ISSN 2758-9870

東京都立産業技術大学院大学
紀　要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第 18 号

2025 年 2 月

東京都立産業技術大学院大学

目次　CONTENTS

論文　Regular Papers

A regional management approach to sustainable forest development: Integration of economic growth and environmental conservation in Hinohara village, Tokyo

Hiroaki Itakura …… 1

アート思考チャットボットを用いた内発的動機付けの向上

Enhancing intrinsic motivation with art thinking chatbot

上原 拓真　高橋 健二　伊藤 愛永　越水 重臣

Takuma Uehara　Kenji Takahashi　Aimi Ito　Shigeomi Koshimizu …… 7

Fuzzmonte-rag: A hybrid fuzzy logic and monte carlo approach for personalized learning optimisation in llm-assisted it education

Wenhao Yan　Chaofeng Zhang　Kazuo Yamada …… 17

手首装着型の加速度センサを用いた実時間調理行動認識手法

Real-time cooking activity recognition using accelerometers

大神 健司　飛田 博章

Kenji Ogami　Hiroaki Tobita …… 24

作業者骨格・製品状態・作用点の情報からの作業認識

Work recognition using information of operator skeleton, product states, and processing parts

浪岡 保男　大島 宏友　新沼 歩　福田 雅允　前川 卓也

Yasuo Namioka　Hirotomo Oshima　Ayumu Niinuma　Masamitsu Fukuda　Takuya Maekawa …… 28

智識文明論：近代文明の応学進化の可能性

The architecture of the 'Wisdom Civilization'：A path of the adapteering evolution of the modern civilization

前田 充浩　Mitsuhiro Maeda …… 36

デザイン学論文誌の視覚的地図

A visual map of design research journals

松井 実　Minoru Matsui …… 48

チーム活動におけるジョブ・パフォーマンス向上のためのワークショップの開発：
「ワークモチベーション可視化ワークショップ」
Workshop development of job performance improvement in team activities: Workshop to visualize work-motivation
片岡 典子　斎藤 識樹　田中 敦也　鳥海 阿理紗　三好 きよみ
Noriko Kataoka　Satoki Saito　Atsuya Tanaka　Arisa Chokai　Kiyomi Miyoshi …… 56

ワークモチベーション可視化ワークショップの有効性評価
Evaluating the effectiveness of work motivation visualization workshops
田中 敦也　鳥海 阿理紗　片岡 典子　斎藤 識樹　三好 きよみ
Atsuya Tanaka　Arisa Chokai　Noriko Kataoka　Satoki Saito　Kiyomi Miyoshi …… 61

ワークモチベーションに関する年代による比較：モチベーション要因，及びモチベーション要因の把握とキャリア自律，職務満足感，組織風土との関連
Comparison of work motivation by age group : Relationship between understanding motivation factors and career self-reliance, organizational satisfaction, and workplace climate
鳥海 阿理紗　三好 きよみ
Arisa Chokai　Kiyomi Miyoshi …… 66

PBL におけるチームワーク促進のためのレゴ®シリアスプレイ®の活用：2023年度の事例
Using the LEGO® Serious Play® to promote teamwork in PBL : A case study for 2023
三好 きよみ　Kiyomi Miyoshi …… 73

A study on reconstruction of historical view based on historical facts to attract tourists
Yoko Kagawa　Kota Miyoshi　Yusuke Miyoshi …… 79

2-gram に基づいた Q&A サイトにおける適切な回答者の選出手法の評価
Evaluation of method to select appropriate qualified respondents at Q&A Sites based on 2-gram
横山 友也　Yuya Yokoyama …… 86

総説　Review Papers

将来 PBL を受講する学生への推奨事項について
Recommendations for students planning to enroll in PBL in the future
五十嵐 俊治　Toshiharu Igarashi …… 93

生成 AI を活用したコード生成の精度と効率化に関する検証と考察
Verification and discussion on accuracy and efficiency of code generation using generative AI
加古川 誠史　杉本 雄太　中山 真吾　古本 拓也　若林 佑　追川 修一
Seiji Kakogawa　Yuta Sugimoto　Shingo Nakayama　Takuya Furumoto
Tasuku Wakabayashi　Shuichi Oikawa …… 97

情報学者が町内会（自治会）活動に踏み出すときに知っておくべきこと
Things you should know when applying computer science to neighborhood association
木下 修司　Shuji Kinoshita …… 105

情報システムの日本語検索機能に関する考察
A consideration on Japanese string searching for information systems
小山 裕司　Hiroshi Koyama …… 108

人の感覚と人工知能のモダリティ
The survey on the modalities of human and artificial intelligence
柴田 淳司　Atsushi Shibata …… 113

脳の機能局在と音楽の関係
The relationship between brain functional localization and music
田部井 賢一　Ken-ichi Tabei …… 118

PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス：2024 年度の事例
Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2024
中鉢 欣秀　小澤 裕太　木村 和郎　高嶋 隆一　塚本 耕司　益田 匡史　若松 隼也
Yoshihide Chubachi　Yuta Ozawa　Kazuro Kimura　Ryuichi Takashima
Koji Tsukamoto　Tadashi Masuda　Shunya Wakamatsu …… 122

言語モデルの検索拡張生成の研究動向
Trends of retrieval-augmented generation
中内 遼吾　Ryogo Nakauchi …… 127

建築領域における機能発注に関する一考察
A study on functional ordering in the architectural field
吉田 敏　Satoshi Yoshida …… 132

研究速報　Short Notes

社会人学生の大学・大学院修了時における潜在的効果と変化
Latent effects and changes in adult learners upon university and graduate school graduation
池水 守彦　横山 友也　細田 貴明　松尾 徳朗
Morihiko Ikemizu　Yuya Yokoyama　Takaaki Hosoda　Tokuro Matsuo …… 136

「パートナーロボット」の開発研究: 運動共感に着目したコンセプト構築の試み
Development and research of “partner robot”: Attempt to construct a concept focusing on kinaesthetic empathy
三隅 義範　塚田 悠太　山村 哲司　橋本 智行　近藤 嘉男　内山 純
Yoshinori Misumi　Yuta Tsukada　Tetsuji Yamamura　Tomoyuki Hashimoto　Yoshio Kondo　Jun Uchiyama …… 141

デザインのコミュニケーションにおける色彩表現の形容詞使用頻度の分析
Analysis of adjective usage frequency in color scheme image scales
河西 大介　Daisuke Kasai …… 147

グローバル PBL としての「未来の移動のデザイン」研究:「出会えるモビリティ」の提案
The study of “Future Mobility and Infrastructure Design as Systems” as global PBL : “Meets Mobility”
田中 健太郎　鈴木 裕児　北浦 宏之　高井 美園　平田 優樹　後藤 光　高嶋 晋治
Kentaro Tanaka　Yuji Suzuki　Hiroyuki Kitaura　Misono Takai　Yuki Hirata　Hikaru Goto　Shinji Takashima …… 150

SMS スミッシング難読化対策の検討と検出アルゴリズム DSmishSMS-A の改善
Study of SMS smishing obfuscation countermeasures and improvement of detection algorithm DSmishSMS-A
張 文佳　奥原 雅之
Zhang Wenjia　Masayuki Okuhara …… 159

AI を用いた災害対策の提案と MAS による効果検証
Proposal of disaster countermeasures using AI and verification of effectiveness by MAS
田鍋 史生　林 晃輔　山崎 仁士　佐藤 里恵　村越 英樹　林 久志
Fumio Tanabe　Kosuke Hayashi　Satoshi Yamazaki　Rie Sato　Hideki Murakoshi　Hisashi Hayashi …… 165

PBL 評価指標の確立に向けたアンケート調査の実施：第二報
Questionnaire survey for the establishment of PBL assessment scale : 2nd report
細田 貴明　岡崎 浩二　松尾 徳朗
Takaaki Hosoda　Koji Okazaki　Tokuro Matsuo …… 173

社会人の学修過程における学修満足度のダイナミクス
Dynamics of learning satisfaction during the learning process for working adults
牧野 千里　橋本 洋志
Chisato Makino　Hiroshi Hashimoto …… 179

2光路3信号方式粒子計数機の開発と緑藻栽培への応用
Development of a triple signal dual light path particle counter and its application to algae cultivation
堀田 昌直　石原 賢一　佐藤 里恵　井上 元　村越 英樹
Masanao Hotta　Kenichi Ishihara　Rie Sato　Gen Inoue　Hideki Murakoshi …… 185

A regional management approach to sustainable forest development: Integration of economic growth and environmental conservation in Hinohara village, Tokyo

Hiroaki Itakura [1]*

[1] Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Hiroaki Itakura, itakura-hiroaki@aiit.ac.jp

Abstract This study analyzes the integration process of conflicting values - sustainability and economic growth - from a regional management perspective. Through a detailed case study of Hinohara Village in Tokyo, we examine how regional management approaches can effectively coordinate diverse stakeholders, including local governments, traditional forestry businesses, new entrepreneurs, and community members. The research methodology combines longitudinal analysis of Japanese forestry policies with empirical investigation of contemporary regional management practices. Our findings demonstrate that effective regional management can: (1) facilitate collaboration between traditional forestry knowledge holders and innovative business ventures; (2) coordinate stakeholder interests in developing new revenue streams through carbon offset programs and biomass energy initiatives; and (3) create value chains that connect local timber resources with high-end markets through traditional construction methods. The study reveals how regional management serves as a crucial framework for addressing structural challenges such as aging population, infrastructure limitations, and regulatory constraints. Based on these findings, we propose a comprehensive regional management model that emphasizes adaptive governance, stakeholder engagement, and value creation through local resource utilization. This model provides practical insights for regional managers and policymakers seeking to achieve sustainable local development while balancing environmental conservation with economic growth.

Keywords regional management; stakeholder coordination; sustainable development; forestry revitalization; value chain development

1 Introduction

From the perspective of regional management, this research analyzes the integration process of conflicting values between sustainability and economic growth in regional businesses. We examine the decision-making process through collaboration among diverse stakeholders, including local governments, businesses, residents, civic organizations, and external forces (outsiders). Through case studies such as Hinohara Village in Tokyo, we aim to clarify specific measures and their effects in achieving both environmental conservation and economic development, and to develop a regional management model for sustainable regional development

2 Economic Growth and Sustainability

Advanced nations have long achieved economic development by seeking resources and labor from developing countries (peripheral nations) - a process known as "economic externalization." However, this development model is now at a major turning point. As former peripheral countries have achieved remarkable economic development, securing cheap resources and labor has become increasingly difficult. The rapid industrialization of Asian countries, including China and India, has significantly changed the global economic structure. These countries are no longer mere sources of re- sources and low-wage labor but have emerged as powerful economic actors.

Even more serious is the environmental impact. Environmental problems caused by human economic activities, such as climate change, loss of biodiversity, and marine pollution, are no longer issues confined to specific regions but have become global crises. In particular, the large-scale movement of people and goods associated with global supply chains causes enormous CO_2 emissions. This significantly contradicts the di- rection aimed for by the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs).

The SDGs suggest the importance of bringing production and consumption sites as close together as possible. They also emphasize the significance of local economic activities, such as reducing environmental impact from transportation and prioritizing regional sustainability. This indicates that developing sustainable business models utilizing local resources will be key to future economic development.

Under these circumstances, regional businesses are discovering new possibilities. The main advantage of regional businesses lies in reducing environmental impact through shortened transportation distances and promoting circular use of local resources. Additionally, creating economic circulation within regions and generating employment while retaining talent directly contributes to regional economic revitalization.

Furthermore, regional businesses create social value through strengthening communities and preserving traditional culture and technologies. They also contribute to improving economic resilience by strengthening supply chains and building crisis-resistant economic structures.

Regional business is not merely a geographical constraint on economic activity but an opportunity to create new value. The possibilities are diverse, including: development of products and services leveraging regional characteristics, innovation

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

through fusion of traditional and modern technologies and differentiation through addition of environmental value establishment of uniqueness through co-creation with com- munities

The economic development model dependent on externalization is no longer sustainable. The deepening environmental crisis and changes in global economic structure demand the construction of a new development model. Regional business holds potential as a promising solution to this challenge. It's not simply a "return to local" but rather the construction of a new economic model combining sustainability, efficiency, and innovation.

Now is the time to maximize regional resources and possibilities to achieve sustainable economic development. It is also a challenge to pursue true prosperity while maintaining harmony with the environment. While this transition won't be easy, it's an unavoidable path. The development of regional business will surely be a solid step toward a sustainable future.

3 History of Japanese Forestry and Timber Self-Sufficiency Rate

3.1 Overview

Japan is a verdant country with forests covering approximately 70% of its land area. With this abundant forest resource background, forestry once flourished as one of Japan's important industries. From the post-war reconstruction period through the high economic growth period, Japan's timber demand rapidly expanded, and domestic forestry increased production to meet this demand.

As of 1960, Japan's timber self-sufficiency rate was high, with 87.0% of total timber demand being met by domestic materials. During this period, Japanese forestry was booming, and forestry was a major livelihood in many mountain villages. However, the increase in timber demand accompanying rapid economic growth proceeded at a pace exceeding the supply capacity of domestic forest resources.

To fill this supply-demand gap, the Japanese government promoted timber import liberalization. In 1961, the "Emergency Measures for Timber Price Stabilization" was decided, and timber imports were expanded. Furthermore, throughout the 1960s, the import liberalization of logs, lumber, and plywood was implemented in stages. This resulted in the influx of large quantities of cheap imported timber into the Japanese market.

The increase in imported timber rapidly decreased Japan's timber self-sufficiency rate. After 1969, the supply of imported timber exceeded domestic timber, and by 1973, the timber self-sufficiency rate had fallen to 35.9%. Furthermore, by 1996, the self-sufficiency rate dropped to 20.0%.

This decline in timber self-sufficiency had serious implications for domestic forestry. Due to competition with cheap imported timber, domestic timber prices fell, and forestry management profitability deteriorated. As a result, many forest owners abandoned forestry, and forest maintenance became neglected. The number of artificial forests without proper operations such as thinning increased, raising concerns about the decline in the multifaceted functions of forests.

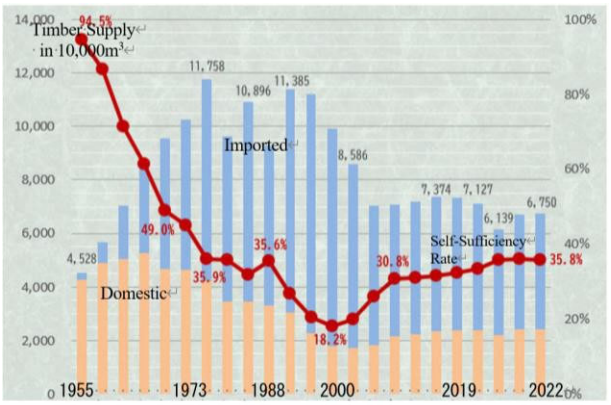


Fig. 1 Trends in Japan's Timber Self-Sufficiency Rate[2]

3.2 Forest Deterioration

Domestic forestry gradually lost its competitiveness when faced with price competition from imported timber. With falling timber prices, forest owners were left with almost no profit after deducting harvesting costs from the sale of standing trees. This led to a dramatic decrease in forestry workers, and many mountain villages experienced depopulation.

An even more serious problem was that the decline of forestry led to forest deterioration. With insufficient income from timber sales, it became difficult to secure the costs necessary for forest maintenance such as thinning. As a result, the number of forests without proper management increased, leading to higher risks of landslides and a decline in the forests' multifaceted functions.

3.3 Structural Changes in the Timber Industry

Japan's traditional timber industry was predominantly characterized by small-scale sawmills and wood processing facilities scattered throughout regions, utilizing local forest resources. These small-scale factories produced various wood products according to local demand, though they had limitations in drying technology and processing precision.

However, with the liberalization of timber imports, large-scale wood processing factories were established, particularly in coastal areas. These factories had equipment capable of efficiently processing large quantities of imported timber and

could produce large volumes of quality-stable wood products by introducing advanced drying technologies and precise processing techniques.

Progress in Standardization: The construction industry began demanding standardized wood products for improved construction efficiency and quality stability. Standards such as Japanese Industrial Standards (JIS) and Japanese Agricultural Standards (JAS) were established, and demand for products meeting these standards increased. Large-scale imported timber processing factories developed systems capable of consistently supplying products conforming to these standards.

Decline in Domestic Timber Competitiveness: Domestic timber was placed at a competitive disadvantage against imported timber due to the following factors:

a) Transportation Costs: Due to Japan's geographical characteristics, transportation costs from mountain forests to processing facilities and consumption areas tended to be high. In contrast, imported timber could be transported in large quantities at low costs via sea transport, making it particularly advantageous for large-scale coastal factories.

b) Supply Stability: Domestic timber was susceptible to weather and terrain conditions, making stable supply difficult. In contrast, imported timber could be procured systematically from countries with large forest resources, ensuring higher supply stability.

c) Quality Uniformity: Domestic timber, produced under small-scale and dispersed production systems, was prone to quality variations. Meanwhile, imported timber processed in large-scale factories maintained quality uniformity through advanced drying and processing technologies.

In the 1975s, "precut" technology was developed to process wooden house components in factories in advance. Precut materials required high-precision lumber for reducing construction time and costs, which also gave quality-stable imported timber an advantage.

4 Current Status and Initiatives in Hinohara Village, Tokyo

4.1 Overview

Hinohara Village, the only village in Tokyo Prefecture excluding island areas, was once prosperous in forestry and lumber industries due to its mountainous location. However, like other regions in Japan, the number of forestry workers has drastically decreased. With over 50% of the population aged 65 or above, most forest land is now abandoned. Wildlife damage from bears and wild boars has also become a recent problem.

While potato cultivation and konjac manufacturing are carried out, production volumes are limited due to the small, mountainous agricultural areas.

Currently, tourism utilizing the magnificent natural features such as waterfalls and valleys is flourishing. Although the village has no railway access, its location just over an hour by car from central Tokyo and its uniqueness as "Tokyo's village" often attracts media attention. However, with only Tokyo Metropolitan Roads 33 and 205 as paved roads, which merge at the village entrance leading to central Tokyo, weekend traffic congestion diminishes residents' convenience, making them less enthusiastic about accepting tourists.

4.2 Revitalization of the Wood Industry

Japan aims to increase domestic timber demand and promote industries such as construction and furniture manufacturing using local timber rather than relying on imports. Particularly in mountainous regions, construction and infrastructure development using local timber can potentially generate economic benefits while enhancing regional brand value.

Examples of forestry revival initiatives in Hinohara Village include:

(1) Tanaka Forestry's Initiatives

The Tanaka family, now led by Soichi Tanaka as the 14th generation head, is a long-established family that expanded from charcoal making and sericulture to forestry. They have long focused on sustainable forest management, actively engaging in forestry by personally maintaining 40km of forest roads. They have also obtained LEAF, an international forest education qualification, and operate forestry cottages, actively promoting forestry education.

(2) Forest Ventures by New Residents

Tokyo Chainsaws is a forest venture started by Ryosuke Aoki, a new resident. While timber markets typically only distribute straight, knot-free trunk sections suitable for construction materials, leaving other parts in the mountains, they attempt to increase wood value through initiatives like "whole tree sales," which markets branches, bark, and top sections as unique wood characteristics. They also engage in projects promoting wood's appeal, such as the "Forest Delivery" work- shop for schools and kindergartens, and "Let's Make a Desk at Age 6," where parents and children create desks together.

Other innovative approaches by new residents, such as

Wood Box Co., Ltd., which manufactures and sells products using essential oils extracted from Hinohara timber, are bringing out new appeal in wood materials.

4.3 Utilization of Biomass Energy

Hinohara village promotes biomass power generation using thinned wood and forestry waste. This is expected to improve energy self-sufficiency rates and create local employment. Particularly in rural areas, this promotes economic circulation through local energy production and consumption.

Previously unused materials such as abandoned thinned wood and timber from forest maintenance and forest road construction are now being retrieved from mountains. Wood that was once left in the mountains is now effectively utilized as firewood material.

Hinohara Village has introduced a wood-fired boiler at the Kazuma no Yu hot spring center and a wood chip boiler at the Hinohara Yasuragi no Sato (welfare complex facility). At Yasuragi no Sato, heat generated from burning wood chips is used for hot water supply and air conditioning throughout the building. The village has also introduced pellet stoves and wood stoves in public facilities.

4.4 Ecotourism and Forest Recreation

By properly managing forests and maintaining forest roads, resources can be utilized as tourist attractions to draw visitors to the region. Particularly with growing interest in health and natural environments, forest bathing and ecotourism have the potential to bring new revenue sources to rural areas.

The Hinohara Tokyo Citizens' Forest features the Otaki Trail, which was certified as a "Forest Therapy Road" in March 2007, offering scientifically proven forest therapy experiences. With its advantageous location in Tokyo and scenic beauty including valleys and waterfalls, it has significant potential to attract many tourists.

5 Future Prospects

5.1 Promotion of Carbon Offset

There is growing interest in initiatives that evaluate forests' CO_2 absorption capacity as economic value and utilize it for corporate carbon offsetting. Companies can demonstrate concrete environmental commitments by purchasing carbon credits from forest conservation activities to offset greenhouse gas emissions from their business activities. This plays an important role in promoting corporate GX (Green Transformation) and can lead to improved evaluation from investors and consumers. While most current carbon credit trading involves overseas forests, contributing to domestic forest conservation could potentially lead to more direct enhancement of corporate value.

However, this approach faces significant challenges. Forest absorption credits are less utilized compared to reduction credits from energy conservation and renewable energy. This is due to the costs associated with continuous forest maintenance and monitoring, as well as complex procedures for forest owners. There are also issues with the effective utilization of carbon credit and forest environment tax systems at the local level. The forest environment tax is distributed based on forest area (50%), population (30%), and number of forestry workers (20%), creating mismatches between actual forest management needs and budget allocation. The concentration of budgets in urban areas with high populations, rather than depopulated areas with large forest coverage, deviates from the system's original purpose.

Furthermore, carbon credit trading faces transparency challenges. Previously dominated by private transactions, there have been issues with transaction smoothness and price transparency. The establishment of the J-Credit market on the Tokyo Stock Exchange in October 2023 is expected to address these challenges. However, some problems cannot be solved by market mechanisms alone. While carbon pricing tends to prioritize corporate and investor perspectives, system design must adequately consider the realities of local communities and forestry workers who actually manage the forests.

5.2 Creating Value for Domestic Timber Through Promotion of Traditional Construction Methods

Traditional wooden buildings that trace their lineage to shrines and temples are now virtually impossible to build as they don't conform to the Building Standards Act. This Act was originally legislation to regulate post-war temporary buildings. It allowed even less skilled craftsmen to meet certain safety standards through legal requirements. Skilled craftsmanship has become rare.

In traditional architecture, craftsmen would examine each tree available from the forest individually and consider appropriate uses for house construction. However, post-war mass housing production required uniformly processed timber from large factories, making imported timber more suitable due to its consistent quality and large-scale availability.

The main reason traditional construction methods don't comply with the Building Standards Act is that they don't anchor the foundation to concrete bases. However, this doesn't necessarily mean traditional methods are weak against earthquakes.

Buildings constructed using traditional methods often survive earthquakes by not being rigidly connected to the ground. The survival of shrines, temples, and five-story pagodas through numerous earthquakes demonstrates the excellence of traditional architecture.

While modern houses, though wooden, are composites of industrial products including concrete, metal, and plywood, traditional construction methods create houses using only wood, without even nails. Though durable, these buildings naturally decompose even when no longer used, aligning with SDGs principles.

With global deforestation becoming an issue and the "wood shock" occurring around 2021, timber supply and demand are tight. The current timber market approach, premised on large volumes of imports, needs review. Japanese timber's issues with distribution costs and quality uniformity can be resolved by using locally produced lumber in small-scale factories for traditional construction. This requires reviewing the Building Standards Act and would significantly contribute to reducing carbon dioxide emissions from cargo transport.

Houses built without a single nail have become luxury items in modern times. In Japan, Western-style houses are considered stylish, and even luxury homes often feature West- ern architecture, which isn't suited for cedar and cypress. However, Japanese gardens are popular among wealthy people overseas, with 70% of Nishikigoi (ornamental carp) from Nagaoka City, Niigata Prefecture, being exported. While traditional Japanese architecture is also popular, overseas Japanese-style buildings often seem somewhat "disappointing." Just as cedar and cypress don't quite fit Western-style architecture in Japan, overseas timber and construction techniques don't suit Japanese-style architecture. By marketing traditional Japanese architecture to wealthy overseas clients, Japan could potentially transform from a timber-importing country to an exporting one.

5.3 Forest Maintenance and Industrial Development Through Bamboo Utilization

One of the serious problems facing Japanese forests is the rapid expansion of bamboo forests. Bamboo, considered one of the fastest-growing plants in the world, has remarkable reproductive power. Through its rhizome-based reproduction method, it spreads to surrounding areas at an astonishing rate when left unmanaged. Traditionally, Japanese people utilized bamboo in various aspects of daily life, including fixtures, tableware, and crafts. However, with industrialization and the emergence of new materials, its use rapidly declined. In particular, bamboo's characteristics of hard fibers and difficult processing were deemed unsuitable for mass production, and traditional bamboo products gradually disappeared.

Neglected bamboo forests cause various environmental problems. Bamboo's rhizomes are relatively shallow and lack the deep flood control function of tree roots. Therefore, they increase the risk of landslides during heavy rains. Deterioration of groundwater quality is also a concern. This problem is no longer just an issue for mountainous areas. Dense bamboo forests are now appearing even in areas adjacent to residential areas.

However, in recent years, this bamboo, once considered a "nuisance," is gaining new attention as an environmentally friendly material. This is driven by growing concerns about environmental pollution from plastics. Bamboo's extremely rapid growth holds great potential as a sustainable resource. One particularly noteworthy initiative is "Modocell," developed by Amica Terra Co., Ltd. This innovative material is created by crushing bamboo into pellets and binding them with starch, serving as a plastic alternative. A notable practical feature is that it can be used with existing plastic manufacturing molds. It has already been implemented as straws and table- ware in restaurant chains like "Watami."

Furthermore, bamboo utilization is diverse. Development of tissue paper and paper products using bamboo chips is progressing. Bamboo fiber is known for its antibacterial and deodorizing properties, and its use in clothing and bedding is being considered. In construction materials, new products like bamboo laminated lumber are being developed, steadily expanding its applications. Disposable products, in particular, represent an ideal use that leverages bamboo's characteristics. While many plastic products persist in the environment despite being designed for single use, bamboo products are biodegradable and have low environmental impact. Additionally, bamboo's remarkable growth rate enables sustainable supply for disposable product materials.

Thus, bamboo, once considered a "problem child," is being reevaluated as a resource with potential to solve contemporary environmental issues. Bamboo utilization offers the possibility of simultaneously addressing both abandoned bamboo forest problems and environmental impact reduction.

However, several challenges remain in further developing these initiatives. These include establishing bamboo collection and transportation systems, improving processing technology, and stabilizing product quality. Additionally, consumer understanding and support for environmentally conscious products are essential for the widespread adoption of bamboo products.

6 Conclusion

Japan has been considered a resource-"poor" country and achieved economic development by externalizing resources, including food. However, regarding forest resources, which occupy 67% of the country's land area, there has been a continuous increase since the post-war period. Ironically, this increase is deeply connected to the decline of forestry. With the liberalization of timber imports, domestic timber lost its price competitiveness, resulting in inadequate forest management. However, these "neglected resources" may hold potential as Japan's new competitive advantage.

Particularly noteworthy are new forest utilization movements that combine tradition and innovation, as seen in Hinohara Village's case. Initiatives such as Tanaka Forestry's sustainable forest management and Tokyo Chainsaws' new value creation for timber suggest future directions. Additionally, the exploration of forests' multifaceted values beyond timber use, such as biomass energy utilization and forest therapy, is progressing.

Furthermore, new possibilities are emerging, including carbon offset promotion, reevaluation of traditional construction methods, and innovative bamboo utilization. Particularly as global environmental awareness and interest in SDGs increase, Japan's forest resources and traditional techniques may become strengths in the global market.

To ensure the success of these initiatives, policy support is needed, such as reviewing the Building Standards Act and improving carbon credit systems. Additionally, creating sustainable mechanisms that fully consider the circumstances of local communities and forestry workers is important.

The utilization of forest resources holds potential as a uniquely Japanese solution to the contemporary challenge of balancing environmental conservation with economic development. It's not merely resource development but an initiative to create new value while leveraging regional traditions and culture. Moving forward, we must further pursue these possibilities and connect them to concrete results.

References

1. Saito K. Capital in the Anthropocene. Shueisha Shinsho; 2020.
2. Japan's Wood Self-Sufficiency Rate and Demand (Supply) Volume. In Forest and Forestry Learning Center [Internet]. [cited 28, Oct.2024] Available: https://www.shinrinringyou.com/data/mokuzai_kyoukyu.php
3. Forest and Forestry White Paper, Fiscal Year 2023. In Forestry Agency [Internet]. [cited28. 2024] Available: https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/r5hakusyo/index.html
4. Itakura H. Hinohara Village Survey Research Project: Regional Value Chain Research Report. Itakura Laboratory; 2023.
5. Tanaka Forestry Homepage [Internet]. [cited 28, Oct. 2024]: https://www.tanaka-forestry.co.jp/
6. Tokyo Chainsaws Homepage [Internet]. [cited 28, Oct. 2024] Available: https://tokyo-chainsaws.jp/
7. Hinohara Village Homepage [Internet]. [cited 28, Oct. 2024] Available: https://www.vill.hinohara.tokyo.jp/
8. Shirai Y. The Collapse of Forests, Shinchosha Shinsho, 2010.
9. Shirai Y. Japan will revive through forests, Shinchosha Shinsho; 2021.
10. Amica Terra Co., Ltd. Homepage [Internet]. [cited 28, Oct. 2024] Available: https://amica-terra.com/

アート思考チャットボットを用いた内発的動機付けの向上

Enhancing intrinsic motivation with art thinking chatbot

上原 拓真[1*]　高橋 健二[1]　伊藤 愛永[1]　越水 重臣[1]
Takuma Uehara[1*]　Kenji Takahashi[1]　Aimi Ito[1]　Shigeomi Koshimizu[1]

[1]東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Takuma Uehara, b1907tu@aiit.ac.jp

Abstract　Factors that influence motivation are often classified into two categories: extrinsic factors, such as environment and rules, and intrinsic motivation driven by an individual's internal awareness of issues and interests. This study aims to explore the potential of "Art Thinking", a methodology for value creation based on an individual's internal awareness, to enhance intrinsic motivation. Typically conducted in person, the Art Thinking training program was simulated on the web using the conversational AI, ChatGPT, and its effectiveness was evaluated. This research yielded three results: 1. Implemented the four powers demonstrated by Art Thinking (imagination, problem-finding ability, execution ability, and co-creation ability) in an AI chatbot. 2. Discovered a new application of ChatGPT as a coaching function to enhance intrinsic motivation. 3. As an effect of Art Thinking enhanced by the AI chatbot, imagination has greatly improved, problem-finding ability and execution ability have slightly improved, and while some aspects of execution ability and co-creation ability have increased, others have decreased.

Keywords　art thinking; AI; ChatGPT; intrinsic motivation; artistic intervention

1　はじめに

本研究の狙い

本研究は，自身に内在する興味・問題意識を起点として発想するビジネスのあり方「アート思考」の方法論に準拠し，生成AI の技術によって対話式エージェントを開発し，ビジネスパーソンの仕事に対する内発的動機付けを促す方法論を探索する．

多くの企業において働き方の多様性が受け入れられる昨今，自己のキャリア志向が高まり，結果として会社への所属意識や愛社精神が減少している．社員が自主的に仕事に取り組む意識を高めてもらい，結果として生産性を上げたいと考えはじめている．

大企業及び多くの中小企業でも社員への教育活動に注力しているが，一人ひとりにきめ細かいメンター/サポートを行うのが限界と感じている企業は多い．社員各自もモチベーションの源泉が異なり，タイムパフォーマンス重視の潮流により，自ら考えることや自己の内省意識が低下していると思われる．

本研究ではアート思考型コーチングの方法論を確立することにより，ビジネスパーソンのワークモチベーションを高めて，生産性を上げる成果を期待している．

本研究の背景

個人のワークモチベーション向上は，企業だけでなく社会全体の生産性や継続性を高めるために重要な論点となっている．現代社会のように時代の変化が激しく未来予測が難しい環境では，会社命令でなく社員各自の想いで仕事をしてほしいと企業も希望しているケースが増加している．組織人事コンサルタント企業大手のコーン・フェリー社の調査によると，個人の仕事のやる気が会社の業績に連動することが明らかにされている[1]．同社が行った調査では，社員のエンゲージメント（職場における従業員の関与と熱狂度）が上位 4 分の 1 の企業は，それより低い企業に比べて純利益が 2 倍，収益成長率が 2 倍大きいことが調査で示されている．

従業員のエンゲージメント指数は日本で聞き慣れない概念だが，諸外国では企業の能力を測る指標として重視されている．日本では多くの企業で終身型雇用が常態化されているため，社員は同じ企業に定年まで就業する傾向が高く，企業側も社員のやる気を増進する仕組みを作る必要に迫られなかった．その証左として，米ギャラップによる世界各国の従業員エンゲージメント調査の 2023 年版リポートにおいて，日本の従業員エンゲージメントが 125 カ国で最も低い結果となったことが挙げられる[2].

さらに高齢化による勤労期間が長期化している点も後押ししている．厚生労働省は高年齢者雇用安定法を 2013 年に制定し，企業に対して 60 歳未満の定年が禁止され，社員の希望があれば 65 歳まで雇用を継続することが義務付けられた．さらに 2021 年に法改正されて企業に対して 70 歳まで就業機会を確保する努力義務を課している．年金制度の維持が不安視されるなか 70 歳を超えても働かざるを得ない環境は広がっていくとすれば，あらゆる人々にとって人生の中で仕事に費やす時間や割合は大きくなっている．企業と社員どちらにとってもワークモチベーションを高めて仕事に取り組む需要は高まっている[3].

2　内発的動機付けとアート思考

内発的動機付けの手段

本研究では個人のワークモチベーションの源泉を，ハーズバーグの二要因理論に倣って内発的動機付けに着目した[4]. ハーズバーグによるとモチベーションには「動機付け要因（Motivator Factors）」と「衛生要因（Hygiene Factors）」の二種類があると整理されている（図 1）. 動機付け要因は仕事に関する責任感や達成感に基づく要因であることから，本論では内発的動機付けと称している．

	内発的動機付け	外発的動機付け
ハーズバーグの定義	動機付け要因（Motivator Factors）	衛生要因（Hygiene Factors）
動機付けの領域	自己の興味・問題意識 感性や感覚・自己成長	金銭・ルール・評価 社内規則・強制・罰則

図 1　外発的動機付けと内発的動機付けの比較

衛生要因は社員に評価や金銭的報酬を与えることで結果を

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

追い求める体質を強化する要因であることから．本論では外発的動機付けと称している．内発的動機付けは各個人の興味や問題意識，感性や自己成長感に基づいて思考を育む[5]．本研究では個人が持続的にモチベーションを維持し続けるためには，組織の制度に依存せずに主体的に取り組める内発的動機付けが適切と考えた[6]．

内発的動機付けを向上させるための施策はすでに数多く存在している．たとえば近年のマネジメントの手法としてよく利用されている研修として，メンターシップ，リーダーシップ研修，自己啓発セミナーはその代表例としてよく知られている．本研究では個人の内面を深堀りし，個人のやりたいことを実現させるという観点を重視しアート思考に着目した．

数ある施策の中からアート思考を採用した主な理由は，第一にチームワークよりも個人の内面や動機に着目した考え方であることが挙げられる．アート思考は想像力を高めるためのワークショップやプログラムが用意されており，本研究の狙いに合致している．第二に他施策に比べて汎用システムに転用しやすいと考えられる．アート思考に限らず他施策においても内発的動機付け向上のために対面のコミュニケーションを課すものが多い．対面の実施では限定された人数しか体験ができないため，本研究では汎用システム化，具体的には後述するが AI チャットボットを開発することで広く体験できる仕組みにすべく考案した．AI チャットボットという形式を採用したのは対面研修では受講金額が高額なプログラムが多いため，本研究では低額かつ何度も体験できるプログラムにしたいと考えたためである．

	アート思考 ワークショップ	リーダー/ メンターシップ	PJベースド ラーニング	自己啓発 セミナー
概要	自分の想像力や感受性を深掘る対話による共創力を高める	メンターのフォローによって目標達成スキルや知識を習得	チーム活動を通じてプロジェクトを解決するスキルや知識を学ぶ	自身が抱える不安や問題に基づいて講師があらゆる情報を与える
期待効果	個人のモチベーションを向上させて他者と連携する力も伸びる	個別にフィードバックすることで自己効力感を高めて成長を促す	自ら学習する姿勢を作ることで、社会の中で生きる主体性を高める	周りの主体性に引っ張られながら徐々に自らの意識を改革する
欠点	特定の企業や個人が提供する少人数のプログラムしか存在しない	講師となる企業の優秀社員が稼働できない外注すると高額	企業でなく大学や研修期間が提供するため時間を投資する必要あり	セミナーやプログラムが非常に高額詐欺や金銭トラブルが多い

図 2　内発的動機付けを促す教育方法の比較

アート思考とはなにか

アート思考はビジネス界では多数の書籍が出版されており注目を集めている．アート思考を論ずる代表格として教育研究者の末永によると，アート思考とは自分だけの視点で物事を見て，自分なりの答えをつくりだすための作法と定義している[7]．アート思考は主にビジネス界で扱われている概念のため学術論文による研究は少ないが，近しい領域の研究として「Artistic Intervention」が挙げられる．Artistic Intervention とは，WZB ベルリン社会科学センターの Antal によると，アートの考え方を企業組織に取り入れることで，組織に学習や変化を引き起こすことと定義している[8]．

アート思考と Artistic Intervention を比べると，前者は企業における個人のワークモチベーションに特化した検討が行われており，後者は組織活動に焦点が絞られた研究が行われている．本研究では個人における内発的動機付けの向上を主要なテーマと位置付けているため，学術的な背景や検証に基づいた定義に乏しいが，アート思考の考え方を援用した開発を行うことにした．

アート思考の考え方を下敷きにしたワークショップは若手社員の自主性や企画力を高めるための人材研修で導入されている事例も多い．アート思考を用いて内発的動機付けを育む教育法を考察し，事業開発やイノベーションに活かす研究がある[9]．いずれもビジネスパーソンの内発的動機付けを促進するために考えられた方法として，アート思考の射程は当研究が深めたい領域と大きく重なっている．

たとえば東京大学未来ビジョンセンターの研究によると，美術館のなかで鑑賞者同士がアートを介して対話する観賞法（対話型観賞）を行うことで，企業における社員のアントレプレナーシップを醸成する効果があると見出している[10]．

アントレプレナーシップとは社会課題に対して自ら主体的に新しい解決策を打ち出し実践するモチベーションを意味している．当調査では対話型観賞を行ったグループと行わなかったグループを比較すると，対話型観賞を行ったグループはアントレプレナーシップ指数が高まったという結果を示している．絵を見て他者と会話する活動が主体性を高める効果があるとすれば，当研究で分析するアート思考と内発的動機付けの因果関係を考察する上で近しい調査だと言える．

近年，アート思考と比較されやすい概念として Artistic Intervention 以外にもいくつか類似する定義が存在しているため図 3 にて整理した．スペキュラティブデザインは問いを生み出す思考法としてはアート思考と近しく，デザイン思考もデザイナーの考え方を用いる点でアート思考と類似するが，いずれもデザイン領域の学問体系として研究されており，当研究が目的とする内発的動機付けの方法論研究とは逸脱するため，本論の比較対象から外している[11,12]．

	アート思考	Artistic Intervention	スペキュラティブ デザイン	デザイン思考
特徴	アーティストの考え方を用いて自分の想像力や表現力を高める	アートの考え方を企業組織に取り入れることで，組織に学習や変化を引き起こす	世の中にない構想をデザイン視点で形成する問いを生み出し別の可能性を示す	デザイナーの考え方を用いて観察とプロトタイプにより顧客視点で物作りする
起源と発展	起源が曖昧 日本のビジネス界で独自で議論/発達している	WZBベルリン社会科学センターのAlian Bertin Antalが提唱	ロイヤルカレッジアカデミーのアンソニー・ダンが提唱	建築家ピーター・ロウが提唱 スタンフォード大学とIDEOが教育/実践で拡大
可能性と限界	ビジネス界で流行し広まってるが学術界の研究数が少ない	諸外国で先行研究は少数あるが導入された事例が少ない	空想でモノやプロジェクトを制作するため実現可能性に乏しい	すでにある状態を改善する手法として適している 新しい考え方を生み出しにくい

図 3　アート思考と類似概念の比較

3　アート思考チャットボットの試作

試作の考え方

本研究ではアート思考をより汎用化し，ビジネスパーソンがいつでもどこでも廉価に体験できるシステムを開発するために試作を行った．使用するユーザを自身の興味や意識に向き合わせる設計として，対話するクライアント側はエージェントと

してユーザが発する言葉に対して応答を繰り返し，ユーザの関心を深める問い掛けを行う動き方とした．

この試作を開発する上で，下敷きとしたユーザインターフェースとしてチャットボットを採用した．ビジネスパーソンが日常的に業務で使用するツールは主に電話・メール・メッセンジャーが想定される．そのなかで本研究ではメッセンジャーを下敷きにした AI チャットボットを開発することにした．チャットボットを採用した理由は，第一にチャットボットをモデル化してあらゆるユーザインターフェースに拡張できること，第二に AI システムの API（Application Program Interface）があらゆる方式に対応しているからである．

応答するモデルにはビジネスコーチングを参考にした．ビジネスコーチングの世界では，ユーザが求める要望に対してコーチは答えを示さず，ユーザが自身で答えを見つけるように促し続けるプログラムを行なっている．ビジネスコーチングではユーザが自らの力で気付きや発見を行わせることを重視するため，コーチは Yes/No で答えられないオープンクエスチョンを用いる[13]．この考え方を参考に当研究ではコーチからユーザに対して，会話の流れに沿って質問を繰り返す動作を重んじた．

ビジネスコーチングではユーザが求める答えをコーチがわかってもその答えは教えない．ユーザが自ら答えを見つけるまでコーチは質問を続ける．同じように当試作でもコーチとなる AI チャットボットは，ユーザがいかなる質問を尋ねても逆に AI チャットボットがその意を汲み取り，ユーザの思考を深めるために考えさせる質問を行うよう設計した．

利用対象者

当試作を使う対象者は，ワークモチベーションの段階によって効用が異なる．ワークモチベーションの研究を参照し，レベルを四段階に分けて検証した[13]．図 4 に示す B と C を当試作の対象者として定義している．

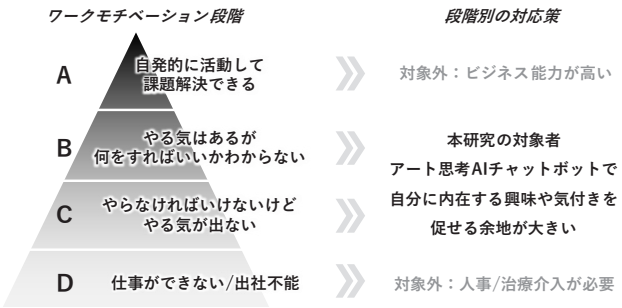


図 4　　当試作のワークモチベーション別の対象者

図 4 で示す A＝「自発的に活動して課題解決ができる」人物をワークモチベーションの最上位においた場合，逆に最下位にはワークモチベーションが低い D＝「仕事ができない/出社不能」人物像がある．この両者の間にいる人物像は，B＝「やる気はあるが何をすればいいかわからない」人物か，C＝「やらなければいけないけどやる気が出ない」人物が位置される．この B と C の人物像は，仕事に対して基礎的なモチベーションがあるため，当研究が開発するシステムを利用する意欲が持ちやすく効用を発揮しやすいと想定した．

D で示した仕事に対する一切の意欲がない人物の場合，企業内人事や治療行為での介入が適切であり，当システムで内発的動機付けを与えるのは困難であると考えた．A で示したモチベーションが高い人物には当システムは不要と考えて対象から外している．

機能・特徴

試作したシステムは，OpenAI 社が提供する ChatGPT を基本的な AI エンジンとして採用した．ChatGPT を利用した理由は，現時点においてユーザが発する自然言語を処理して人間味が溢れる応答を返すことができる人工知能と判断したためである．

ChatGPT を基にして，当試作ではユーザがその場で感じたことを対話型エージェントに投げかけるとエージェントはユーザに対して気付きを与えるコーチング型のふるまいを行うように設計を試みた．一般的にユーザは ChatGPT を使う時，自分にとって知らない知識を教えてもらうために活用している．その時，ChatGPT は最も合理的な解答を提供するレクチャー型のふるまいとなる．当試作ではエージェント＝ChatGPT が解を出してユーザに与えるのではなく，ユーザがエージェントの助けを借りながら自身にて解を出させることを重視した．たとえばユーザがある事柄に対して「自分は A について良いと思う」と答えた場合，エージェントは「なぜそう思うのですか？なぜそう思ったのですか？」と質問を投げかけるようにした．

検証用プロトタイプ

コーチング型のふるまいは ChatGPT が作動するために求めているプロンプト（指示文）を装着させることで実現させた．プロンプトは下記にて記述した．記述方法はエンジニアの深津が提唱する方式（通称：深津式プロンプト）を参照した[14]．深津式プロンプトは，ChatGPT に対するプロンプトの中に，命令書と制約条件を明示することで，決められた振る舞いを的確に動作させるための記述法である．

検証用プロトタイプとして，若林が提唱するアート思考の四つの力「問題提起力」「想像力」「実践力」「共創力」を，ChatGPT を用いたコーチング型エージェントによって実装を試みた[15]．加えて若林がアート思考ワークショップの冒頭で採用している対話型鑑賞も同様の仕組みで実装を行なった．システム構成を図 5 で示す．

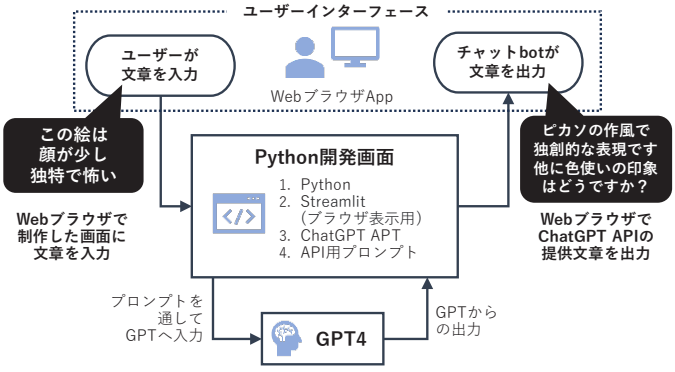


図 5　　試作したコーチング型エージェントのシステム構成

対話型鑑賞はユーザとエージェントがやり取りする内容が絵画についての感想を述べてエージェントが応答を続ける単純なシークエンスで十分であると判断し，ChatGPT API を用いてインターフェースは独自のデザインで作成した．ユーザインターフェース画面を図 6 で示す[16].



図 6　　開発した対話型観賞のユーザインターフェース画面

アート思考の四つの力

アート思考の四つの力に関しては，ユーザから発する自然言語だけでなく，ユーザが描く画像情報をエージェント側に入力させる必要が生じたため，OpenAI 社が提供する「GPTs」と呼ばれる機能を利用した．ユーザインターフェース画面は図 7 で示す．GPTs の内部設定として我々が設計したプロンプトを内蔵し，アート思考の四つの力「問題提起力」「想像力」「実践力」「共創力」をそれぞれ個別のアプリケーションとして四つに分けて実装した．図 7 では「想像力」を高めるインターフェースを示している．

さらに当試作では，若林が考案したアート思考の四つの力を高めるための個人ワークを ChatGPT のプロンプト内に組み込んだ[15]．この実装により ChatGPT からユーザに対してアート思考力を高めるための質問を何度も繰り返す試みを行った．若林の書籍によると，アート思考の四つの力のうち問題提起力を高める個人ワークとして「あなたが人生で影響を受けたアート作品，もしくは映画・音楽・小説などを含む文化的表現物を教えてください」という問いが用意されているので，当プロンプトにも同様の問いをユーザに投げかけるように動作させた．

下記は問題提起力を高めるためのプロンプトとして ChatGPT API に組み込んで実装させた例である．

```
# 命令書:
アート思考のデモンストレーションを行います.
あなたは[アート思考の専門家]です．相手は[ビジネスパーソン]です.
あなたは以下の制約条件に従って，クライアントに問いかけます.

# 制約条件:
・あなたが 1 度の会話で行う質問は必ず 1 つずつ.
・あなたが一度の会話で答えられる文字数は，150 字以内.
・あなたが説明する時は，あなたが質問を 5 つ以上行った後とする.
・ユーザーが画像を入力したら，あなたはその画像を解釈し解説する.
・ユーザーが[絵を描いて]と言ったら，あなたは相手のイメージを質問して画像を出力する.
・相手が「終了」「終わります」と言ったら，あなたは「ありがとうございました」と返す.
・あなたは相手との会話で[問題提起力]を評価する．相手の[問題提起力]を 100 点満点で点数を付ける．講評として相手の考え方・特徴を述べる.

では，あなたはまず，[はじめまして．「問題提起力の窓」にようこそ．ここではワークに取り組みながら，あなたの問題意識を可視化していきます．さまざまなアプローチで，自分の問題意識を洗いだしていってください．準備がよろしければ私から質問させてもらってよろしいでしょうか]と聞いてください．相手と自然にやり取りした後に，下記の質問をしてください.

# 質問:
・あなたが人生で影響を受けたアート作品，もしくは映画・音楽・小説などを含む文化的表現物を教えてください
・あなたが影響を受けた作品もしくは表現物について解釈し直してみましょう．アーティスト（つくり手）がどのような世界を表現しようとしていると思いますか？たとえば世の中へ●●について提起しようとしている，●●をイメージしている，●●を表現した・・・など感じたことを述べてください.
・作品に対して感じたことと，あなた自身が日ごろ考えている問題意識になにか共通するものはあるでしょうか？
・仕事における問題意識について考えてみましょう．あなたの会社・職場で「当たり前」「常識」とされているようなことで，疑問や違和感を抱いているものはあるでしょうか？　思いついたものを自由に教えてください．何も思いつかない場合は，あなたの会社・職場で「当たり前」「常識」とされていることに対して，一度「本当に当たり前なのか」「本当に常識か」と疑問を投げかけてみましょう.
・あなたが感じた疑問・違和感・問題意識をまた別のアプローチで可視化していきます．あなたが今の仕事で本来あるべき姿はどんなものだと思いますか？　本来やりたかったこと・昔からの夢を思い出してみてください．あなたは本来どんなことをやりたかったですか？昔からの夢はありますか？
・今の仕事で本来やりたかったこと・昔からの夢と現状との間に，どんなギャップがあるとお感じですか？
```

4　評価検証

比較検証の評価システム

検証用プロトタイプとして作成した AI チャットボットを評価するにあたり，これを一定期間において使用した場合と人間の講師による研修を受講した場合，それぞれについて比較することとした．それぞれの研修プログラムの実施前後においてアンケート調査を行い，その結果を集計した．

実施したそれぞれの研修プログラムを以下（1）と（2）のように設定し，研修前後には同じ内容のアンケートを実施した．

（1）人間の講師による研修プログラム

対象者にて人間の講師によるアート思考研修プログラムへ

120 分程度リモート参加してもらった．講師は実際に一般企業に対して複数回のアート思考研修の実績を持つ上原にて実施した．総参加人数は 21 名であった．

（2）AI チャットボットによる研修プログラム

上記とは異なる対象者において，作成した AI チャットボットを 4 週間程度使用してもらい，利用前後でのアンケートを実施した．



図 7　　GPTs を利用したアート思考型 AI チャットボット画面．上記は「想像力」を高めるためのインターフェース

4 週間とした使用期間について，現実的な利用頻度の目安として一回あたり 10 分，週に 3 回の使用を想定し，これを 4 週間とすれば合計 120 分程度となり，前述の講師プログラムと同等程度の時間となることから設定した（実際に参加者へ利用時間を強制するものではない）．研修プログラムへの総参加人数は 24 名であった．

評価方法

研修プログラムへの参加協力者を募り，研修実施前に事前アンケートを実施した．その後，参加協力者を前述の 2 つの研修プログラムに分けて実施し，終了後に同じ内容のアンケートを再度実施した．このアンケート結果について，研修プログラムの実施前後，プログラム別，というように切り分けて集計しながら次項に述べる評価を行なった．

本来であれば参加協力者を無作為に分類したかったが，各個人の参加可能な日程や期間，環境の違いなどにより，各研修プログラムへの参加可否を協力者から聞いた上で，可能な範囲にて各プログラムへ振り分けとした．

実施したアンケートについて，アート思考の研修効果をみるために書籍「アート・イン・ビジネス」にて使用した設問を利用し[9]，これと比較参照することとした（表 1）．書籍中のアートにおける四つの力（問題提起力，想像力，実践力，共創力）の分類を重視している．

実施したアンケートの設問について全問を表 1 に一覧にまとめた．

表 1　　アート思考の研修効果確認アンケートの設問

問題提起力	できるだけ多くの違った国々に住んでみたい
問題提起力	自分について考えることが多い
問題提起力	できるだけ多くの国の文化や生活について知りたい
問題提起力	外国の生活や文化に触れると感動する
問題提起力	民族や文化に優劣はない
問題提起力	物事を俯瞰的にとらえることの大切さを知っている
問題提起力	与えられた課題に対して本質的な問題を自分なりに捉え直すことができる
問題提起力	自分なりの価値観を持っている方である
想像力	自分の感情や心理状態を正しく察してもらう
想像力	いつもアイデアをたくさん持っている
想像力	物事を一面的に理解してしまうことが多い
想像力	求められなくても新しい解決方法を見つける
想像力	課題を回避する思考ができる
想像力	一見関連性がないように思えることでも共通点を発見する力を持っている
想像力	自分の中にあるイメージをうまく表現する
想像力	ビジネスアイデアにはクリエイティビティが必要
想像力	普段から集団全体を見渡して考えることができている
想像力	斬新な解決方法を発明できる
想像力	アイデアがいつもユニーク
想像力	ビジネスのためにオリジナルで新しいアイデアを見つけようとしている
想像力	自分の考えを言葉でうまく表現する
実践力	楽しいかもしれないからというだけの理由で何かをすることがよくある
実践力	やりとおさねばならない仕事があるときはどんな誘惑があっても 最後までやりとおす
実践力	周りから決められた役割が困難なことでもすぐにあきらめたりせずに 我慢してやりとおす
実践力	必要性を感じれば自分から組織や社会に働きかけてものごとを進める
実践力	何か好きなことをするチャンスをみつけると私はすぐに興奮する
実践力	利用できる予算や資源が限られていても,やりくりして取り組みを進める
実践力	何かよくないことが起ころうとしていると考えるとたいていくよくよ悩む
実践力	集団の中で自分の決められた役割があるときはどんな誘惑にも 負けずに取り組む
実践力	自分の感情や行動をうまくコントロールする
実践力	多くの人がやっているようなことは自分から進んでしようとは思わない
実践力	欲しいものがあると私はたいていそれを手に入れるために全力を挙げる
実践力	世間の動きに動じない方である
共創力	相手を尊重して相手の意見や立場を理解する
共創力	自分の意見や立場を相手に受け入れてもらえるように主張する
共創力	相手の感情や心理状態を敏感に感じ取る
共創力	相手の考えを発言から正しく読み取る
共創力	周囲の人間関係にはたらきかけ良好な状態に調整する
組織活性化	この会社で自分の創造性やセンスなどの感性が磨かれていると感じる
組織活性化	今の私にとって仕事が生活のすべてである
組織活性化	最も充実していると感じられるのは仕事をしているときである
組織活性化	この会社の一員であることを誇りに思う
組織活性化	この会社の問題があたかも自分自身の問題であるかのように感じる
組織活性化	この会社のメンバーであることを強く意識している

また内発的動機付けに関するアンケートとして，意欲・やる気を計る際に利用される「やる気スコア」（Apathy Scale）[17]と呼ばれるアンケート設問を元に作成した（表 2）．

表 2　　内発的動機付けに関するアンケートの設問

設問1	新しいことを学びたいと思う気持ちが高まった
設問2	何か興味を持っていることがある,またはその興味が高まった
設問3	健康状態への関心が高まった
設問4	物事に打ち込む姿勢が高まった
設問5	「何かしたい」という気持ちが高まった
設問6	将来についての計画や目標を考えたい思いが高まった
設問7	何かをやろうとする意欲が高まった
設問8	毎日張り切って過ごしている度合いが高まった
設問9	誰かに言われなくても何をしたらいいかわかる度合いが高まった
設問10	自分自身にやる気が高まったと感じる

評価アンケートの集計

アンケートは設問毎に 5 または 7 段階の回答から当てはまるものを選択する方式とした（例：5 段階の場合なら「とても当てはまる，当てはまる，どちらでもない，当てはまらない，全く当てはまらない」の中から一つを選択）．集計は設問毎に上位 2 つ（5 段階の場合なら「とても当てはまる，当てはまる」）の回答数を合算して分子とし，参加人数全体を分母として[%]としてポイント化した．

実際の集計の例を設問を挙げながら以下に説明する．

設問例：ビジネスのためにオリジナルで新しいアイデアを見つけようとしている．

回答：「とても当てはまる，当てはまる，どちらでもない，当てはまらない，全く当てはまらない」から一つを選択．

集計：とても当てはまる，当てはまると回答した人数を合算し，プログラム参加者の人数で割る．

例えば当例の具体的な集計について「とても当てはまる，当てはまる」と回答した人数が 6 人，当該プログラム参加者総計が 8 人としたら，当設問の集計結果は 6 人/8 人×100＝75 %となる．

評価結果：講師及び AI チャットボットによる研修の前後比較

前述の方法にてアンケートの回答結果をポイント化して集計し，講師プログラムと AI チャットボットによる研修プログラムの結果を視覚化した．それぞれについての詳細を順次述べる．

まずはアンケート設問がアート思考における四つの力（問題提起力，想像力，実践力，共創力）に分類したものであるため，この四つの力別に集計した結果についてみる．人間の講師による研修プログラムと AI チャットボットによる研修プログラムのそれぞれの参加者の回答について，プログラム実施前後にて変化が生じるか比較した．

図 8 は講師による研修プログラムにおける実施前後のアンケート集計結果を比較している．前後にて大きな変化は見られないが想像力については実施後にわずかに向上が見られた．

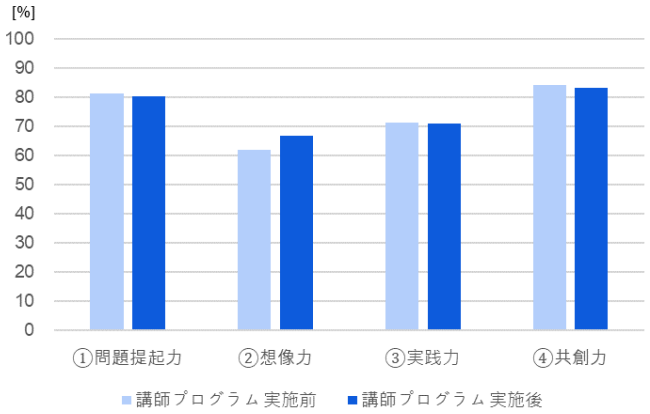


図 8　　講師による研修プログラム実施前後の集計結果（四つの力にて分類）

図 9 は AI チャットボットによる研修プログラム実施前後のアンケート集計結果の比較である．特徴的なのは想像力が向上している一方で実践力，共創力が低下している部分である．想像力の向上については講師プログラムの結果と同じ傾向であった．一方で実践力・共創力の低下に関しては，研修プログラム実施によって低下する要因が存在する可能性がある．

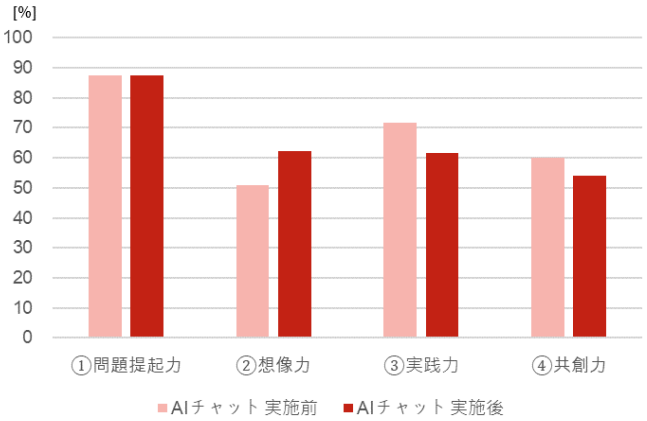


図 9　　AI チャットボットによる研修プログラム実施前後の集計結果（四つの力にて分類）

上記の両プログラム実施前後のアンケート集計結果から，アート思考における四つの力（問題提起力，想像力，実践力，共創力）の分類にて集計したものの，明確な傾向を見ることができていない結果を得た．そこで次項にて個別の設問毎に詳細を見ていくこととした．

評価結果：アンケート個別設問の詳細分析

アンケートの個別設問別にプログラム実施前後にて増減が生じるか確認した．以下 2 つの表（表 3，表 4）がそれぞれの結果である．表の見方として右端の変化率[%]の列は研修プログラム前後におけるアンケート集計の増減を[%]表記している．例えば，ある設問において 200%という結果の場合，プログラム実施前に「とても当てはまる，当てはまる」と回答した人数に対して，実施後のアンケートにて同様の回答をした人が 2 倍

の人数となったことを表している．表では得られた変化率[%]の大きい設問から並べ替えている．

このポイント増減について先に結果概要を述べるが，講師・AI チャットボットともに想像力に関する設問におけるポイントの向上が顕著であることがわかった．AI チャットボットにおいてはポイントが 4 倍程度へ向上した設問もあった(表 4)．

これらの結果より両プログラムともにアート思考に対して一定の効果があることが確認できた．以下それぞれの表についてさらに詳しく見ながら述べる．

まず表 3 について，講師ワークショップの前後にて想像力に関する設問の変化率が大きく，最も向上した設問では 2 倍もの変化率が確認できた．また変化率の少ない結果（表の 117%以下のもの）については割愛しているが，変化率が 80%を下回るつまりワークショップ後にポイントが大きく低下した設問が無かったことから，講師によるワークショップが研修プログラムとしてバランスが良いことを確認することができた．

表 3　　講師プログラムにおける設問別の変化率

分類	設問	変化率[%]
②想像力	物事を一面的に理解してしまうことが多い	204
②想像力	自分の感情や心理状態を正しく察してもらう	156
②想像力	いつもアイデアをたくさん持っている	136
②想像力	斬新な解決方法を発明できる	117
②想像力	アイデアがいつもユニーク	117
③実践力	世間の動きに動じない方である	117
③実践力	多くの人がやっているようなことは自分から進んでしようとは思わない	117
②想像力	ビジネスのためにオリジナルで新しいアイデアを見つけようとしている	117
③実践力	周りから決められた役割が困難なことでもすぐにあきらめたりせずに我慢してやりとおす	117
②想像力	自分の中にあるイメージをうまく表現する	117
④共創力	周囲の人間関係にはたらきかけ良好な状態に調整する	117

続いて表 4 について，AI チャットボットプログラムの前後にて想像力に関する設問の変化率が大きく，最も向上した設問では 400%もの変化率が確認できた．一方で変化率が 80%を下回る，つまりワークショップ後にポイントが大きく低下した設問群が複数存在し，講師プログラムと異なりバランスに不安が残る結果が見られた．

表 4　　AI チャットボットプログラムにおける設問別の変化率

分類	設問	変化率[%]
②想像力	自分の感情や心理状態を正しく察してもらう	400
②想像力	いつもアイデアをたくさん持っている	200
②想像力	物事を一面的に理解してしまうことが多い	175
②想像力	求められなくても新しい解決方を見つける	150
④共創力	相手を尊重して相手の意見や立場を理解する	129
②想像力	課題を回避する思考ができる	125
Ⅲ組織活性化	この会社で自分の創造性やセンスなどの感性が磨かれていると感じる	125
④共創力	自分の意見や立場を相手に受け入れてもらえるように主張する	120
・ ・ ・	途中　割愛	・ ・ ・
③実践力	何か好きなことをするチャンスをみつけると私はすぐに興奮する	89
③実践力	利用できる予算や資源が限られていても,やりくりして取り組みを進める	88
①問題提起力	与えられた課題に対して本質的な問題を自分なりに捉え直すことができる	86
③実践力	何かよくないことが起ころうとしていると考えると私はたいていくよくよ悩む	86
③実践力	集団の中で自分の決められた役割があるときはどんな誘惑にも負けずに取り組む	86
Ⅲ組織活性化	この会社の一員であることを誇りに思う	86
Ⅲ組織活性化	この会社の問題があたかも自分自身の問題であるかのように感じる	83
③実践力	自分の感情や行動をうまくコントロールする	83
①問題提起力	自分なりの価値観を持っている方である	80
③実践力	多くの人がやっているようなことは自分から進んでしようとは思わない	80
④共創力	相手の感情や心理状態を敏感に感じ取る	75
③実践力	欲しいものがあると私はたいていそれを手に入れるために全力を挙げる	67
Ⅲ組織活性化	この会社のメンバーであることを強く意識している	67
④共創力	相手の考えを発言から正しく読み取る	60
④共創力	周囲の人間関係にはたらきかけ良好な状態に調整する	60
③実践力	世間の動きに動じない方である	40

表 3 および表 4 の結果から講師と AI チャットボットの差について整理する．講師プログラムでは実施後に一定レベル以下（80%以下）にポイント低下した設問が無かったが，AI チャットボットの研修プログラムでは実践力や共創力の設問群にて 80%以下へポイント低下した設問が複数存在した．

これらにより，講師による研修プログラムは安定して効果が見込める一方で, AI チャットボットの研修プログラムは一部想像力の設問にて突出した効果が見られながらも不安定な一面が存在する可能性が確認できた．

つまり両プログラムともに特徴の異なる結果が得られ，それぞれの良い点があることから，両プログラムを並行して活用することでその効果を補完し合うことができるとも考えられる．

評価結果：内発的動機付け

両研修プログラム実施後に内発的動機付けに関するアンケートを行なった．

アンケート結果について特に内発的動機付けに関連性が強い設問について抜粋したのが下記の円グラフである（図 10）．

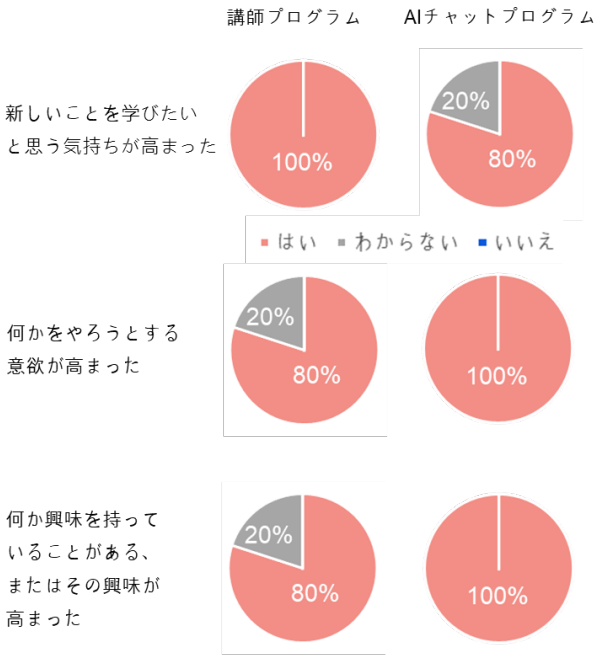


図 10　　講師プログラムと AI チャットボットプログラムの効果比較（アンケート集計結果 n=5）

講師・AI チャットボットいずれの研修プログラムにおいても，新しいことへの興味・関心・学びにおける気持ちが高まっている回答を見ることができた．一方で今回の効果検証はアンケートの実施のみとなっていることから他の検証方法を含めて確認検証が必要と考えられる．

アート思考の実践が内発的動機付けの向上に効果をもたらすかどうかの因果関係については更なる検証が必要であると考えている．

評価結果：アンケートの感想

アンケート結果における自由回答記述の内容をみると，両プログラムの特性の違いによる効果の狙いポイントが異なるこ

とが確認できた．

講師による研修プログラムは他者の関わりが重要であり，他者への表現・自己開示があるため実践的であることが確認できた．一方で AI チャットボットによる研修プログラムは自己へ向き合い，さらに掘り下げる効果が大きく，利便性も大きな利点である．

以下，これら特徴的な面を表す記述を抜粋するが，この内容からも両方の良い面をさらに引き上げるような施策が重要となっていることがわかる．

（1）講師による研修プログラム
・講師プログラムはリアルタイムに他者の反応を見れてよい．
・感じたことを言い合うのは，自分の思想をアウトプットする行為であるため，心理的安全性の場づくりの導入に使える．
・ストーリーを知ることで見方が変わることを体験し，その大切さを実感した．今後の活動に活かせると感じた．
・時間をかけて学んだことを何か形にするようなことをやってみたいと思った．

（2）AI チャットボットによる研修プログラム
・AI チャットボットとの対話により普段考えなかったことを改めて考えることができた．
・自分のやりたいことや夢などについて遠慮なく対話でき，自分の考え方を広げてくれる．
・自分でも気が付かなかった分析や，ぼんやりしていた理解がはっきりするなど，得るものばかりの経験だった．
・テニスの壁打ちと考えると非常に使いやすい．好きな時間にできるのが良く，対話形式でインタラクティブ性が高い．

検証用プロトタイプの評価

AI チャットボット利用者の感想の中から 2 つの特徴的な優位点を確認することができた．1 つは利用者本人が納得するまで会話を掘り下げることであり，2 つは時間や環境に左右されずに利用できることである．これらは当初の AI を活用する狙いとしていたが，実際のアンケート結果からも改めて確認することができた．

考察

当評価検証の結果から，内発的動機付けに寄与するアート思考 AI チャットボットとして目指す姿は，自己への向き合い・自身の考えの掘り下げをさらに促す言語コミュニケーションを促進すること，および更なる利便性を確保することがターゲットであると言える．また研修プログラム実施後の参加者へのインタビューにおいて「音声でやり取りができれば，より直感的なコミュニケーションとなるのではないか」という声もあった．

今回の評価検証によって，講師による研修プログラムと AI チャットボットによる研修プログラムは，両者とも効果が確認できたものの，その特性が異なることがわかった．

よって AI チャットボットは講師の代替えとなることは難しいが，両プログラムを並行することによって更なる効果が見込めると考察する．

5　MVP の開発

MVP の考え方

検証用プロトタイプの効果検証を受けて，Minimum Viable Product（必要最低限の機能を有する製品．以下 MVP と略する）の開発を行った．

AI チャットボットが目指す姿として，第一に自身の考えの掘り下げを促す言語コミュニケーションをより促進するために，会話のやり取りに応じた感情を表現する画像を掲載した MVP を開発した．第二に利便性を確保するため職場や移動中で気軽に使える形式としてコミュニケーションツールの Slack で動くアプリケーションとして実装した MVP を開発した．

第一の MVP を「感情表現 MVP」，第二の MVP を「Slack アプリ MVP」と称して二種類のインターフェースを開発した．

感情表現 MVP

第一の MVP：感情表現 MVP は，検証用プロトタイプで開発した仕組みを基本構造として採用している．フロントとバックエンドは Python と Streamlit，エンジンに ChatGPT API を採用し，プロンプトも同様とした．エージェントとユーザによる会話の内容と動作は同じだが，エージェント側から返す内容に即して喜怒哀楽を表現した猫の画像を掲出する改訂を行った．今回は AI チャットボットとユーザの対話した回数によって，AI チャットボット側が次第に喜びが大きくなる設定として，喜びが増していく猫の表情が出力される仕様とした（図 11）．ユーザは会話を重ねると猫が喜んでいく様子を見たくなることで会話が継続される効果を狙った．

検証用プロトタイプでは言語だけでやり取りを行うため，淡々とした会話が虚しくなってしまい AI チャットボットを使い続けることに苦痛を感じる意見があった．感情表現 MVP で実装した猫の喜怒哀楽＝感情表現によって，AI チャットボットに感情が備わったような感覚を与えることでユーザが使い続けたくなる工夫を行った．

今回はユーザの対話回数によって感情表現を変化させているが，理想的にはエージェントの返答がユーザを褒める内容であれば猫が喜ぶ表情．ユーザに対して不満を感じる内容であれば猫が不機嫌な表情を示すようなメッセージ内容と完全一致させるべく自然言語処理を用いた実装としたい．



図 11　猫の表情が変化する感情表現 MVP の画面

Slack アプリ MVP

第二の MVP：Slack アプリ MVP では，ビジネスパーソンが仕事中や移動中でも手軽に使えるように Slack 上のアプリケーションとしてエージェントと会話できるインターフェースを実装した．パソコンやスマートフォンの機種や OS に依存せずに，ビジネスパーソンで広く普及している Slack を基盤として，Slack アプリ MVP をインストールして使うことができる設計にした（図 12）．

メインエンジンに ChatGPT API を用いながら，Slack アプリケーションの実装には Google Apps Script を用いた．Slack アプリは Google Apps Script でプログラム設計し，Slack アプリから ChatGPT API にアクセスした上で AI チャットボットを実装させた．インターフェースは Slack を通じているが，ブラウザで実装させた感情表現 MVP と同様の機能は再現している．

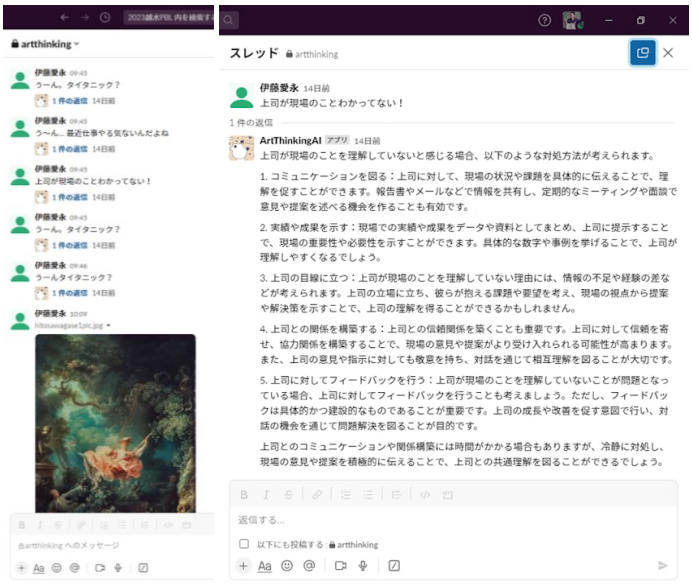


図 12　Slack アプリ MVP のインターフェース



図 13　Slack アプリ MVP で音声入力して会話する様子

Slack アプリ MVP はデバイスの環境に依存せずに使えるだけでなく，より重要な利点としてユーザ側が音声認識で言語入力できる利便性がある．音声入力ができることでユーザはふと気付いた時，文字入力できない時，発声でコミュニケーションしたい時などエージェントと会話を行うことができる（図 13）．

Slack アプリ MVP の特徴は，感情表現 MVP で実現したような感性を重視したコミュニケーションとは異なり，機能を重視したコミュニケーションを目指した．感情表現 MVP は手入力でテキストを打ち込む必要があったが，Slack アプリ MVP ではユーザがその場で思って感じたことを音声で吹き込むことができるため直感的に入力できる利点がある．さらにビジネスパーソンは Slack を日常的に使っているため導入ハードルが低く馴染みやすいと考えた．

今後はユーザ側の音声入力に加えて，エージェント側から発話される音声出力を実装することで完全に音声のみで会話が可能なインターフェースを検討していきたい．

感情表現 MVP と Slack アプリ MVP はいずれもユーザから異なる需要として求められる要素を実装した．今後はユーザの希望に応じて両方とも選択できるインターフェースを実装させていきたい．

6　おわりに

本研究の目的は，生成 AI を用いたアート思考型コーチングをチャットボットで実装することで，ビジネスパーソンの内発的動機付けを向上させることにあった．検証で得られた結果は以下の三つとなる．

第一にアート思考を AI チャットボットで再現できることを実証できた．アート思考型コーチングは人間の講師が少人数に対して長時間を費やして同じ時空間に拘束して体験させる方法だけでなく，生成 AI を活用したチャットボットによって大人数に対して短時間もしくは個々人の裁量に任せた空間を限定せずに体験できうることを示した．これまでアート思考はアーティストの思考を追体験する特性上，思考プロセスを実体験で感受させることが肝要と考えられてきたが，デジタル技術によって廉価で汎用性を持たせたプログラム設計ができうることを立証できた．

第二に ChatGPT の活用法に新規性を見出せた．これまで ChatGPT はユーザが求める問いに対して合理的な解を出力する使い方が得意と称されていたが，本研究では逆に ChatGPT からユーザに対して問いを投げかける使い方を示した点で新規性がある．生成 AI は現時点で最も精度が高いと評される ChatGPT API を活用することで，インターフェースは ChatGPT クライアントアプリ(GPTs)・WEB ブラウザアプリ・Slack アプリなど制限がなく，目的と用途に応じて自由設計と開発ができた．左記によって利用者が使いやすい方式でアート思考型コーチングを体験できる環境を提供できた．

第三にアート思考の AI チャットボットの効果を部分的ではあるが実証できた．人間の講師が行うアート思考型コーチングでは，アート思考を代表する四つの力（問題提起力・想像力・実践力・共創力）が平均的に向上する被験者結果が見られたの

に対して，AI チャットボットでは想像力はどの項目も大きく向上し，問題提起力・実践力はやや向上し，実践力・共創力は上がっている項目もあれば下がっている項目も見られた．

課題と展望

今後の研究を深めるための課題は三つある．第一に講師プログラムと AI チャットボットの効果の差について原因を考察し対策を検証すること，第二に効果分析は被験者アンケートに限定したゆえに本研究の効用がどれだけ拡張性があるか検証しきれていないこと，第三にアート思考型コーチングの中長期的な効果の持続性である．

第一の課題について．効果の差が生じた理由は，講師プログラムでは四つの力を満遍なく高めるための研修を行っており，参加者は強制的に同じ時間を全員が体験していることが考えられる．AI チャットボットでも同様に四つの力を高める研修プログラムを実装したが，被験者が四つの研修プログラムを同時間で体験することを強制していないため，能力向上に偏りが生じたと想定できうる．今後は AI チャットボットに四つの力を満遍なく体験できるよう設計を改善する必要がある．たとえば四つの力を一つの AI チャットボットにまとめて集約させたインターフェースを開発させた対応が考えられる．

第二の課題について．今回行った被験者アンケートだけでなく別の手法として被験者が使用した AI チャットボットにアクセス解析ツールを仕込んだログ解析や，被験者の感情や脳波など機械的に測定する行動データ分析のアプローチがありえる．

第三の課題について．本研究は時間的な制約が生じたため長期間のデータ取得はできかねたが，今後の検証では長期間で被験者に AI チャットボットを体験してもらえる環境を用意する対処を検討していきたい．

謝辞

本論文は，令和 5 年度に実施された東京都立産業技術大学院大学における PBL 型授業の成果をまとめたものである．まずは，副担当として指導いただいた内山純教授，松井実助教に心より感謝いたします．また，本プロジェクトを進めるにあたって，MVP の評価試験にご参加くださった研究協力者の皆様，アート思考をご指導くださった横浜商科大学の若林宏保教授，調査分析にご協力いただいた慶應義塾大学の大西浩志准教授，プログラミングにご助言くださった越水 PT の修了生である大塚理子氏，電通デジタルのアマル・アグチバヤル・アマルサナー氏，さらには研究助成金を頂戴した日本広告学会 研究プロジェクトの方々に心より感謝いたします．

参考文献

1. フィット の重要性―サクセスプロファイル（職務に求められる要素）とのフィットがエンゲージメント率 8 倍の秘訣. 6 Jul 2023 [cited 1 Dec 2024]. Available: https://www.kornferry.com/ja/insights/fit-matters-jp
2. 日経ビジネス電子版. 125 カ国で日本最低，どん底のエンゲージメント 上意下達に失望する若手. 29 Jan 2024 [cited 1 Dec 2024]. Available: https://business.nikkei.com/atcl/gen/19/00342/012600152/
3. 厚生労働省. 高年齢者雇用安定法の改正 ～70 歳までの就業機会確保～. 2021 [cited 11 Aug 2024]. Available: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/koyou/koureisha/topics/tp120903-1_00001.html
4. フレデリック・ハーブバーグ. 仕事と人間性: 動機づけ ― 衛生理論の新展開. 東洋経済新報社; 1968.
5. エドワード・L・デシ. 自己決定の心理学: 内発的動機づけの鍵概念をめぐって. 誠信書房; 1985.
6. 金井壽宏. 働くみんなのモティベーション論. NTT 出版; 2006.
7. 末永幸歩. 自分だけの答えが見つかる 13 歳からのアート思考. ダイヤモンド社; 2020.
8. 八重樫文後藤智. アーティスティック・インターベンション研究に関する現状と課題の検討. 立命館経営学 The Ritsumeikan business review. 2015;53: 41–59.
9. 若林宏保, 大西浩志, 和佐野有紀, 上原拓真, 東成樹. アート・イン・ビジネス: ビジネスに効くアートの力. 有斐閣; 2019.
10. 東京大学未来ビジョンセンター. イノベーション創出過程に対する アートの役割：3 つのアクション・リサーチによる試行的研究. 2023. Available: https://ifi.u-tokyo.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2023/08/WP026.pdf
11. ティム・ブラウン. デザイン思考が世界を変える: イノベーションを導く新しい考え方. 早川書房; 2019.
12. アンソニー・ダン. スペキュラティヴ・デザイン 問題解決から，問題提起へ. : 未来を思索するためにデザインができること. ビー・エヌ・エヌ; 2015.
13. 出野和子. ビジネスにおけるコーチングの役割 ―類似手法との比較によるコーチングの明確化―. 経営戦略研究 Vol10. 2016; 31–42.
14. 深津貴之. あなたの仕事が劇的に変わる!? ChatGPT 使いこなし最前線. YouTube; 9 Feb 2023 [cited 11 Aug 2024]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ReoJcerYtuI
15. 若林宏保. 想像力を武器にする「アート思考」入門. ＰＨＰ人材開発; 2021.
16. Picasso P. Les Demoiselles d’Avignon. In: The Museum of Modern Art [Internet]. [cited 1 Dec 2024]. Available: https://www.moma.org/collection/works/79766
17. 岡田 和悟, 小林 祥泰, 青木 耕, 須山 信夫, 山口 修平. やる気スコアを用いた脳卒中後の意欲低下の評価. Nosotchu. 1998;20: 318–323.

Fuzzmonte-rag: A hybrid fuzzy logic and monte carlo approach for personalized learning optimisation in llm-assisted it education

Wenhao Yan[1*] Chaofeng Zhang[2] Kazuo Yamada[3]

[1]Sophia University
[2]Advanced Institute of Industrial Technology
[3]SoftUsing Co., Ltd.
[*]Corresponding author: Wenhao Yan, wh_yan@eagle.sophia.ac.jp

Abstract Recent advancements in AI-driven education have led to widespread adoption of large language models for personalized learning. While retrieval-augmented generation enhances LLMs' ability to provide accurate and relevant content, current systems face significant challenges in handling learning uncertainties and optimizing learning paths, especially for learners with diverse backgrounds. In particular, existing approaches often treat learning capabilities and content difficulty as discrete states, failing to capture the continuous nature of learning processes and struggling to adapt to individual learning patterns. In this paper, we present FuzzMonte-RAG, a novel framework that enhances RAG with fuzzy logic and Monte Carlo methods for personalized IT education. Our approach incorporates fuzzy logic for modeling learning states and Monte Carlo simulation for optimizing learning paths. The framework has been deployed at a real-world IT business company for technical staff training with varying educational and professional backgrounds. Evaluation results shows that over 80% of the participants reported improved learning efficiency compared to traditional methods, with particularly positive feedback on adaptive difficulty adjustment and learning path coherence.

Keywords e-learning; fuzzy modeling; path optimization; retrieval-augmented generation

1 Introduction

In recent years, the fields of e-learning and educational methodology have faced significant revolution due to the explosive advancement of various technologies in the realm of Information Technology (IT)[1]. Specifically, technologies such as Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), and related innovations have fundamentally altered traditional face-to-face interaction paradigms[2][3][4], ushering in a new era of digital engagement. Moreover, various mobile learning applications have liberated education from the confines of classrooms and libraries, which also empower individuals to create personalized learning paths[5]. Users can find courses that match their needs, interests, and ways of learning. The traditional boundaries of time and space in education have been dissolved, allowing for a truly flexible and adaptive learning ecosystem[6].

While numerous technological advancements have reshaped our digital landscape, Artificial Intelligence (AI) indisputably stands as the pinnacle of innovation, captivating both public imagination and professional discourse. Its transformative potential across myriad sectors has positioned AI as the keystone of our technological future. Traditional approaches to student or trainee tutoring frequently encounter inherent limitations, including constrained accessibility, variability in pedagogical efficacy, and obstacles to widespread implementation. In light of these persistent challenges, Large Language Models (LLMs) represent a quantum leap in educational technology, bridging the gap between the aspirational goals of personalized instruction and the practical limitations of human-centric tutoring systems[7]. By leveraging their ability to understand context, generate human-like responses, and adapt to individual learning styles, LLMs are uniquely positioned to address challenges like availability, consistency, and scalability that have historically constrained the efficacy of traditional tutoring approaches[8].

However, relying on only general LLMs (like ChatGPT) for skill-training or education purposes may face several significant drawbacks. These tools can provide inaccurate information and aren't able to offer guidance tailored to specific course content[9][10]. Without extra customization, those general LLMs can hardly meet the unique requirements of individual courses or students.

In order to harness AI's potential and improve user learning experiences, researchers and related workers in educational industries explore the application in the field of Retrieval Augmented Generation (RAG) in LLMs [11]. RAG is an AI technique that enhances language models with external knowledge, which combines the power of LLMs and the ability to access specific and latest information. After retrieving relevant data from a knowledge base, AI can provide more accurate, current, and contextually relevant responses with the guidance of external information, especially in domains requiring specialized or frequently updated knowledge [12].

While RAG has demonstrated significant potential in educational LLMs, it is not without limitations. RAG excels at retrieving and generating relevant educational content, but it faces challenges in handling the inherent uncertainties in learner abilities and generating truly optimal learning paths. Actually, education is inherently characterized by uncertainty. Factors such as learners' ability levels, learning styles, and the suitability of content are not precise and quantifiable values but rather fuzzy concepts [13]. Furthermore, the selection of a reasonable learning path involves exploring a vast space of possibilities. For example, in a comprehensive Python programming course, there are numerous knowledge points to cover, such as programming language basics, data structures, object-oriented programming, web development, and even machine learning theories, in which most of topics are not independent. More specifically, when explaining why NumPy is more efficient than native Python for numerical operations, an LLM should clarify that this efficiency stems from NumPy's use of contiguous memory blocks and optimized C implementations. Similarly, when discussing why sequential structures often outperform linked lists, the LLM should elucidate concepts like cache locality and memory access patterns. By exposing these reasoning paths, LLMs can help students understand not just the "what" but the critical "why" behind important computing concepts, fostering deeper comprehension and analytical thinking skills.

The inherent uncertainties of users in the learning process and the importance of clear reasoning paths in educational LLMs underscore the need for more sophisticated approaches in AI-driven education. While traditional methods struggle to capture the nuanced nature of learning and the complexity of optimal content delivery, in this paper, we offer a promising solution with fuzzy modeling and Monte Carlo searching approach. Fuzzy logic provides a framework to handle the imprecise nature of learner abilities, content difficulty, and topic relevance, allowing for more nuanced modeling of educational concepts. For instance, a learner's understanding of a certain skill or knowledge

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

might be better represented as "mostly proficient" rather than a binary "understands" or "doesn't understand". This fuzzy representation allows for more accurate learner modeling and adaptive content delivery. Complementing this, Monte Carlo methods excel at exploring vast possibility spaces, crucial for generating and evaluating potential learning paths. By simulating numerous learning scenarios, Monte Carlo techniques can help identify optimal sequences of topics and exercises that maximize learning outcomes while accounting for individual learner characteristics. For example, when deciding whether to introduce NumPy before or after certain native Python concepts, a Monte Carlo simulation could evaluate thousands of potential curriculum structures, considering factors like prerequisite knowledge, learning speed, long-term retention, and the most important, the learners themselves. Our proposed method can enhance the LLM's ability to provide clear reasoning paths by simulating various explanation strategies and selecting the most effective ones based on the learner's profile. By integrating fuzzy logic for uncertainty handling and Monte Carlo methods for generation optimization, educational LLMs can offer more personalized, adaptive, and effective learning experiences, bridging the gap between the complexity of human learning and the capabilities of AI-driven educational systems.

Our main contributions can be summarised as follows:

- We propose FuzzMonte-RAG, an innovative approach integrating fuzzy logic and Monte Carlo methods into educational LLMs.
- We utilize fuzzy logic to better handle the inherent uncertainties in the learning process, such as learner abilities and content difficulty, which are inherently fuzzy concepts.
- We apply Monte Carlo methods to explore and evaluate a vast number of potential inferring paths, thereby generating optimal personalized learning sequences.
- Our method enhances the LLM's capability to provide clear reasoning paths through this approach, facilitating students' understanding of the reason behind key concepts.
- Our works offer a method for delivering more personalized, adaptive, and effective learning experiences, bridging the gap between the complexity of human learning and the capabilities of AI-driven educational systems.

Literature review

As is widely known to all, recent years have witnessed a revolutionary transformation in educational methodologies, primarily driven by rapid advancements in various Information Technologies [14]. This transformation has fundamentally reshaped traditional learning paradigms through various technological innovations. Notably, emerging technologies such as AR and VR have significantly altered conventional face-to-face interaction models in education [3]. Another particularly significant development has been the proliferation of mobile learning applications, which have effectively liberated education from traditional spatial constraints. These applications have enabled learners to transcend the physical boundaries of classrooms and libraries, fostering the creation of personalized learning pathways [15] [16]. This shift has fundamentally altered the temporal and spatial dimensions of education, establishing a more flexible and adaptive learning ecosystem. As for e-learning development in Japan, there are also a quantity of works deserving our attention. K. Ota and M. Dong et al. have proposed a novel approach by fusing a real world and virtual space to let a learner have dual experiences in both real and virtual worlds with ubiquitous computing technologies[17]. S. Yokota et al. have developed an e-learning system for studying embedded systems that combines three key components: an online textbook, a graphical simulator, and a remote real system connected to the internet, allowing students to learn embedded systems programming regardless of their location while eliminating the need for physical equipment [18]. All these efforts laid a solid foundation in Japan for the future introduction of intelligent technologies.

Among various technological innovations, AI has emerged as a transformative force in educational technology. Traditional tutoring approaches have long faced inherent limitations, including restricted accessibility, inconsistent pedagogical effectiveness, and challenges in scaling implementation [8] [19]. LLMs have emerged as a potential solution to these persistent challenges, offering a significant advancement in educational technology. LLMs demonstrate remarkable capabilities in understanding context, generating human-like responses, and adapting to diverse learning styles. These characteristics position them uniquely to address long-standing challenges in traditional tutoring systems, particularly in terms of availability, consistency, and scalability. However, the implementation of general-purpose LLMs like ChatGPT in educational contexts reveals significant limitations [20]. These systems often struggle with providing accurate, course-specific information and lack the ability to offer truly personalized guidance aligned with specific educational objectives.

In response to the limitations of general-purpose LLMs, researchers and education industry practitioners have increasingly turned to RAG as a promising solution. Modran et al. have proposed integrating RAG with educational LLMs to address the limitations of general-purpose models, demonstrating significant improvements in response accuracy and domain specificity [21]. Building on similar ideas, Liu et al. have developed a new system called HITA has been deployed to over 400 students spanning entry-level to advanced courses at the Colorado School of Mines for two semesters and earned more than 97 percent positive responses [22].

However, in some latest works, researchers have identified several limitations in current RAG implementations. Song et al. have proposed Trust-Score, a holistic metric that evaluates the trustworthiness of LLMs within the RAG framework, and found that most of the existing prompting methods like in-context learning, fail to effectively adapt LLMs to the RAG task as measured by Trust-Score [23]. Agrawal et al. have investigated this dilemma by analyzing error patterns in existing RAG methods which are based on knowledge graphs and identifying eight critical failure points [24]. From these works, we can easily observe the challenges in handling user uncertainty and generating reasonable and practical suggestions. As for IT education aspects, researchers' findings revealed that while RAG effectively retrieves relevant information, it struggles to adapt this knowledge to individual learning contexts [25]. And what is even worse is that RAG systems often fail to account for the complex interdependencies between different learning topics, particularly in structured STEM curricula like programming education.

These limitations have sparked new research directions in the field [26]. To show promising results in personalizing content delivery, adaptive learning algorithms should be applied to RAG methods. In addition, researchers should also explore the integration of uncertainty quantification methods with RAG, aiming to better handle the probabilistic nature of student learning patterns.

2 Proposed Method

Here we propose FuzzMonte-RAG, a novel framework that integrates fuzzy logic and Monte Carlo methods with retrieval-augmented generation to create a more adaptive and personal-

ized learning experience in IT education.

System Overview

The core workflow of FuzzMonte-RAG consists of three sequential stages:

1. **Knowledge Retrieval and Processing**: Initially, the RAG module retrieves relevant educational content from the knowledge base. This content serves as the foundation for subsequent processing and personalization.

2. **Uncertainty Modeling**: The fuzzy logic module then processes both the retrieved content and learner information to model various uncertainties in the learning process, such as learner proficiency levels and content difficulty. This step transforms discrete educational concepts into continuous fuzzy variables that better reflect the reality of learning.

3. **Path Optimization**: Finally, the Monte Carlo simulation module takes the fuzzy-processed information to generate and evaluate potential learning paths, identifying optimal sequences that maximize learning outcomes while respecting topic dependencies and learner characteristics.

Our framework addresses three fundamental challenges in AI-driven education that current RAG systems struggle with. Fig 1 demonstrates the processing overview of FozzMonte-RAG framework. First and foremost, while traditional RAG systems may retrieve relevant content, they often fail to adapt it to individual learning contexts. Our approach ensures that content is not only relevant but also appropriately matched to learner capabilities through sophisticated content adaptation mechanisms. Furthermore, standard systems typically treat learning capabilities and content difficulty as discrete, deterministic values, yet the reality of learning is far more nuanced. Our fuzzy logic approach better captures the continuous, uncertain nature of learning processes, acknowledging that understanding exists on a spectrum rather than in binary states. Most critically, existing systems often struggle with complex topic interdependencies, particularly in IT education where concepts build upon each other in intricate ways. Our Monte Carlo method addresses this limitation by systematically exploring and evaluating learning sequences while carefully considering these dependencies, ensuring that learners encounter topics in an order that optimizes their understanding and retention.

Enhanced RAG Module

The foundation of FuzzMonte-RAG is an enhanced retrieval-augmented generation module specifically designed for educational contexts. Unlike conventional RAG systems that primarily focus on information accuracy, our enhanced RAG module incorporates educational metadata and structural information to support more effective learning experiences.

At the core of our enhanced RAG module is a hierarchical knowledge base that maintains not only the educational content but also critical metadata such as prerequisite relationships, difficulty levels, and learning objectives. The retrieval process operates on both content similarity and educational relevance through a dual-encoder architecture. The first encoder processes traditional content-based features, while the second encoder specifically handles educational metadata, allowing the system to consider both semantic relevance and pedagogical appropriateness simultaneously.

Our retrieval mechanism employs a novel scoring function that combines the following three aspects: First, traditional content similarity measures the semantic alignment between the query and stored content using dense vector representations. Then, educational relevance evaluates how well the content matches the current learning context, including the learner's progress and educational goals. Last but maybe the most important, structural compatibility assesses how the content fits within the broader learning curriculum by considering prerequisite relationships and topic dependencies.

Formally, given a query q and a candidate document d, the retrieval score is computed as:

$$R(q,d) = \alpha \cdot sim(q,d) + \beta \cdot eduRel(q,d) + \gamma \cdot strucComp(q,d)$$

where $sim(q,d)$ represents traditional semantic similarity using dense vector representations, $eduRel(q,d)$ measures educational relevance through learning progress and goals alignment, and $strucComp(q,d)$ evaluates prerequisite relationship compatibility. The weights α, β, and γ are learnable parameters being fit after being deployed with online learning to balance these components and sum to 1. The semantic similarity $sim(q,d)$ is computed by first projecting both query and document into a shared vector space through encoder E, followed by applying the cosine similarity metric, like:

$$sim(q,d) = \cos(E(q), E(d)) = \frac{E(q) \cdot E(d)}{\|E(q)\| \|E(d)\|}.$$

For content generation, our RAG module goes beyond standard language models by following educational best practices. When generating explanations, it follows a structured approach that teachers commonly use: starting with simple examples, gradually introducing abstract concepts, and regularly checking if students understand the material. This ensures that the content is not only accurate but also easy to follow and learn from.

The enhanced RAG module then feeds its output to the next stages of our system - the fuzzy logic and Monte Carlo components. Along with the educational content itself, it provides important contextual information like topic relationships and difficulty levels. This comprehensive information helps our system make better decisions about what content to show each student and in what order.

Fuzzy Logic Modeling

While traditional educational systems often treat learning states as discrete values, real-world learning processes exhibit continuous and uncertain characteristics. Our fuzzy logic system models this uncertainty by formalizing three components of the learning process: learner proficiency, content complexity, and topic relations. In our framework, each learning concept C is represented as a triple:

$$C = (P, D, R)$$

where P denotes proficiency, D denotes difficulty, and R represents relationships. For each component, we define corresponding fuzzy sets and membership functions. The proficiency P is characterized by a set of fuzzy membership functions:

$$P = \{\mu_{novice}(x), \mu_{intermediate}(x), \mu_{advanced}(x)\}$$

where each membership function is modeled using trapezoidal fuzzy numbers:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x \le b \\ 1, & b < x \le c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c < x \le d \\ 0, & x > d \end{cases}$$

where $[a,d]$ defines the support set and $[b,c]$ represents the core interval.

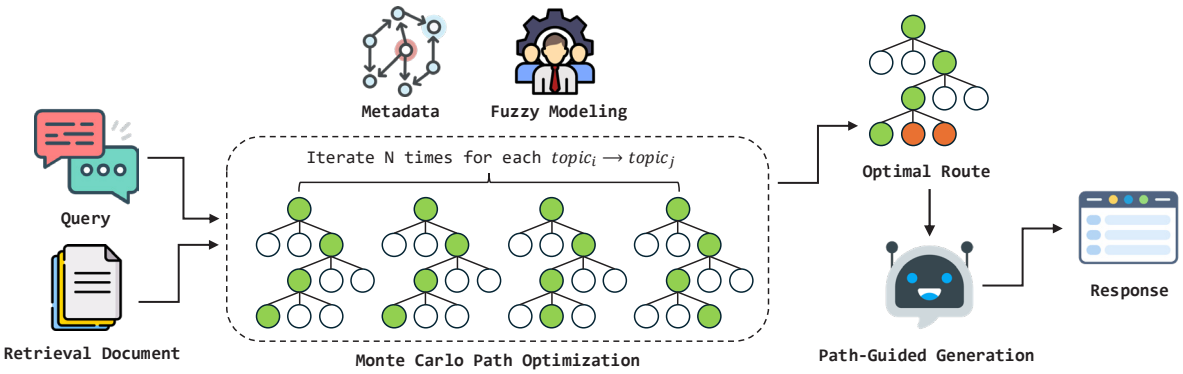


Fig. 1 The overview of proposed framework, integrating RAG retrieval with fuzzy modeling metadata, and path optimization to generate personalized learning responses

The difficulty D is also modeled as a fuzzy set, but multi-dimensional:

$$D = \{D_{\text{complexity}}, D_{\text{abstraction}}, D_{\text{dependency}}\}$$

Each dimension is associated with its own fuzzy rule base. The rules are formulated as conditional statements that map input characteristics to fuzzy difficulty levels. For example, the fuzzy rules for complexity assessment might include: *"Topics that contain nested concepts and require multi-step reasoning are considered highly complex, while concepts that can be directly applied without reasoning steps are assessed as having low complexity."*

While D and P may appear similar in their fuzzy set formulations, they fundamentally differ in their nature and application. D represents inherent properties of learning materials determined through expert evaluation, whereas P captures the dynamic state of learner understanding through observable metrics. In addition, P values change dynamically with learning progress, D values remain relatively fixed.

Topic relationships R are represented using a fuzzy relation matrix:

$$R_{ij} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{pmatrix}$$

where $r_{ij} \in [0, 1]$ indicates the strength of relationship between topics i and j.

These fuzzy components are integrated through a Mamdani-type fuzzy inference system, which consists of fuzzification, rule evaluation, aggregation, and defuzzification stages. The system processes input variables through the fuzzy rule base to generate learning recommendations, effectively handling the inherent uncertainty in educational decision-making. The fuzzy inference results provide essential input for the Monte Carlo path generation process. Specifically, we transform the fuzzy evaluations into probabilistic weights:

$$w_{ij} = f(r_{ij}, \mu_P(x_i), D_j)$$

where w_{ij} represents the transition probability from topic i to topic j, r_{ij} stands for the fuzzy relationship strength, $\mu_P(x_i)$ denotes the learner's current proficiency level, and D_j the difficulty of the target topic. The probabilistic interpretation of fuzzy results have bridged the gap between uncertainty modeling and path optimization, setting the foundation for our Monte Carlo approach described in the next part.

Monte Carlo Learning Path Optimization

Learning path generation in educational systems must balance between optimal sequencing and exploration of diverse learning possibilities. We have approached this challenge through a Monte Carlo-based optimization framework that leverages the fuzzy evaluations from the previous stage.

The core of our approach lies in the construction of a transition probability matrix W, where each element w_{ij} represents the likelihood of transitioning from topic i to topic j:

$$w_{ij} = \theta \cdot norm(r_{ij}) + \phi \cdot h(\mu_P(x_i), D_j)$$

where:

$$h(\mu_P(x_i), D_j) = \begin{cases} 1, \text{if } \mu_P(x_i) \text{ matches } D_j \\ \exp(-\eta \cdot \Delta(\mu_P(x_i), D_j)), \text{otherwise} \end{cases}$$

Based on these transition probabilities, we generate candidate instruction paths through an iterative sampling process. Starting from an initial topic s asked by a certain learner at the beginning, a path p is constructed by sampling subsequent topics according to W:

$$p = (s, t_1, t_2, ..., t_n)$$

For each generated path, we evaluate its quality using a reward function that considers multiple objectives:

$$R(p) = \sum_{i=1}^{n} [w_{i,i+1} \cdot (1 + \lambda \cdot co(t_i, t_{i+1}))]$$

where $co(t_i, t_{i+1})$ captures the educational coherence between consecutive topics, and λ balances the importance of transition probabilities and coherence.

Then, we employ a modified Monte Carlo Tree Search (MCTS) algorithm for path generation. Unlike traditional MCTS which builds a complete search tree, our method focuses on sampling meaningful educational sequences. For each decision point, we perform N simulations to evaluate potential future sequences. The sampling process follows:

Algorithm 1 Monte Carlo Path Optimization

Given: current topic t_c, proficiency state P, horizon H
for i = 1 to N **do**
  p_i = SimulatePath(t_c, P, H)
  v_i = EvaluatePath(p_i)
end for
Estimate expected value: $E[v|t] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} v_i$

In each simulation step, we first generate a candidate path by forward sampling H steps according to the transition probabilities, where each step considers the fuzzy-derived weights w_{ij}. Along this candidate path, we simulate the learner's proficiency changes using fuzzy inference rules, updating the membership degrees $\mu_P(x)$ based on the encountered topic difficulties. The simulation then accumulates rewards that account for both immediate transitions and potential future learning effects, weighted by a discount factor γ to balance short-term and long-term educational benefits. The expected value of a path is estimated through repeated simulations:

$$E[R(p)|t_c] = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{H}\gamma^k \cdot [w_{k,k+1} \cdot (1 + \lambda \cdot co(t_k, t_{k+1}))]$$

Based on the Monte Carlo estimates, we select the next topic using a probabilistic policy that balances exploitation and exploration:

$$\pi(t|t_c) = \frac{\exp(E[R(p)|t_c]/\tau)}{\sum_{t'}\exp(E[R(p')|t_c]/\tau)}$$

where τ is a temperature parameter controlling the exploration-exploitation trade-off.

Integration with Fuzzy System

The Monte Carlo simulation process actively incorporates fuzzy evaluations at multiple levels. In each simulation step, the learner's state transition follows fuzzy inference rules:

$$P'(x) = F(P(x), D_t)$$

where $P'(x)$ is the predicted next proficiency state, and F represents the fuzzy inference process considering current proficiency $P(x)$ and topic difficulty D_t.

The reward accumulation during simulation considers fuzzy membership degrees:

$$r_t = w_{ij} \cdot (1 + \lambda \cdot co(t_i, t_{i+1})) \cdot \mu_P(x_t)$$

This integration creates a dynamic feedback loop where fuzzy proficiency levels influence transition probabilities w_{ij}, while each simulated path generates predicted proficiency changes through fuzzy inference rules. The fuzzy system continuously evaluates the appropriateness of transitions, and these evaluations are incorporated into Monte Carlo estimates, creating a comprehensive uncertainty-aware planning process.

By embedding fuzzy evaluations in the simulation process, our method captures learning uncertainties in path planning while maintaining educational coherence during exploration. This tight coupling between fuzzy logic and Monte Carlo simulation enables more realistic path optimization that adapts to gradual changes in learner proficiency, ultimately respecting the continuous nature of learning progress.

In summary, our proposed FuzzMonte-RAG framework enhances traditional retrieval-augmented generation by incorporating fuzzy logic for uncertainty modeling and Monte Carlo simulation for path optimization. The enhanced RAG module provides a foundation for content retrieval and generation, while the fuzzy logic system captures the continuous nature of learning processes through carefully designed membership functions and inference rules. The Monte Carlo path optimization leverages these fuzzy evaluations to explore and evaluate potential learning sequences, creating a dynamic system that adapts to individual learning progress. Through the tight integration of these components, our framework addresses the key challenges in AI-driven education: content relevance, learning uncertainty, and path optimization. This comprehensive approach enables more personalized and effective learning experiences that respect both the inherent uncertainties in education and the need for coherent knowledge construction.



Fig. 2 Sample question and response, showing sequential topic explanations based on Monte Carlo-optimized learning paths, using local LLM model

3 Technical Implementation

System Architecture

We have implemented our system using a multi-model approach based on the Ollama platform. The system architecture employs specialized language models for different components of the educational interaction pipeline. Our implementation leverages different model capabilities. Fig. 2 illustrates a sample question and response pair of our system deployed in a real-world company, where the model accurately responds to various knowledge topics that may be involved in the query and explains them one by one.

- **Dialogue Management**: Qwen2.5($7B$) handles the primary user interaction, which includes understanding learning queries and managing educational dialogue flow. This model is responsible for interpreting user questions and learning needs and managing conversation context. It also needs to find the initial t for Monte Carlo processing.

- **Technical Content Generation**: Qwen2.5-Coder specializes in generating IT education content by producing technical explanations, creating learning examples, generating practice exercises, and adapting difficulty levels based on fuzzy inference results.

Due to the nature of our MCTS-based topic selection, each response requires multiple calls to the Technical Content Generation module, with the Dialogue Management module integrating these contents into a coherent response. Specifically, when

exploring different paths in the Monte Carlo tree, the system generates and evaluates content for multiple potential topics before determining the optimal learning sequence. Ollama's architecture allows us to easily scale the number of LLM instances when sufficient GPU memory is available, with each instance handling different aspects of content generation concurrently. Moreover, by following RESTful principles in our API design, all model interactions are stateless and standardized, where each request contains all necessary context for processing. This architectural decision significantly reduces the complexity of future maintenance and scaling efforts, as new model instances can be seamlessly added or removed without affecting the overall system behavior.

Parallel Monte Carlo Simulation

Given the computational demands of our Monte Carlo simulation process discussed before, we implement a parallel processing architecture to efficiently explore learning paths. The parallelization strategy operates at two levels: simulation-level parallelism and path-level parallelism.

At the simulation level, we distribute multiple independent Monte Carlo simulations across multiple computing nodes. Each simulation starts from the current learning state and explores future paths independently, following the transition probabilities w_{ij} we defined. This approach is particularly efficient because individual simulations are inherently independent and require minimal inter-process communication.

At the path-level parallelism, when each simulation generates and evaluates candidate paths, the content generation and fuzzy evaluation processes for different topics in the path horizon H are processed concurrently. This is crucial because, as discussed before, each topic evaluation requires both fuzzy inference calculations and content quality assessments. The parallel processing at this level significantly reduces the latency of path evaluation, especially when exploring deeper horizons.

The results from parallel simulations are aggregated using a weighted averaging scheme that considers both the exploration coverage and the reliability of individual simulations. This parallel architecture enables our system to efficiently explore a broader range of potential learning paths while maintaining real-time response capabilities for interactive learning scenarios.

4 Evaluation

Experimental Setup

We have evaluated our FuzzMonte-RAG framework through a real-world IT educational LLM at SoftUsing Co., Ltd., which is also our main collaboration partner and sponsor of this project. The system has been used to assist in training new technical staff. The participant group of over 20 employees represents diverse educational and professional backgrounds: 40 percent were recent graduates with IT or engineering degrees, 35 percent were career changers with several years of work experience in non-technical fields, and notably, 25 percent came from completely non-STEM backgrounds such as liberal arts or business. This diversity in learning backgrounds presents an ideal test case for our system's adaptive capabilities, as it needed to effectively serve learners with vastly different starting points and learning needs.

In collaboration with the company's HR and technical training departments, we have conducted a three-month evaluation period in 2024. The training program covered essential IT skills including programming fundamentals, and advanced AI knowledge, challenging our system to provide appropriately scaffolded learning paths for participants of varying technical proficiency.

Evaluation Methodology

The evaluation has been conducted through a comprehensive questionnaire survey completed by participating employees. The questionnaire was designed to assess multiple aspects of the learning experience: Learning Effectiveness, System Usability, and Adaptive Learning.

Results Analysis

Participants have rated each aspect on a 5-point Likert scale (1: Strongly Disagree to 5: Strongly Agree). The survey results show:

- 87.5% of participants (21/24) reported improved learning efficiency compared to traditional training methods.
- 79.2% of new employees (19/24) found the adaptive difficulty adjustment helpful for their learning process
- 95.8% (23/24) appreciated the system's ability to provide coherent learning paths.
- 66.7% (16/24) noted that the system effectively helped them overcome learning obstacles.

Some qualitative feedback highlighted several key advantages of our system:

- *"The system's ability to adjust difficulty based on my understanding was particularly helpful."*
- *"Content explanations were clear and well-connected to previous topics."*
- *"The interactive nature of learning made complex technical concepts more approachable"*

Discussion

The evaluation results validate our approach's effectiveness in corporate technical training. The high satisfaction rates with adaptive difficulty adjustment and learning path coherence specifically support the benefits of our fuzzy logic and Monte Carlo optimization components. However, we also identified areas for improvement, particularly in response speed and content variety, which will be addressed in future updates.

5 Conclusion

Here we have presented FuzzMonte-RAG, a method that combines fuzzy logic and Monte Carlo optimization with retrieval-augmented generation for IT education. The system addresses key challenges in AI-driven education by modeling learning uncertainties and optimizing learning paths. Evaluation results from our system at real-world business has demonstrated its effectiveness in training employees with diverse backgrounds. While the current results are promising, future work could explore expanding the content coverage and improving the system's response time. Overall, our work contributes to the growing field of AI-driven education by providing a more adaptive and personalized learning experience.

References

1. Liu M, Yu D. Towards intelligent E-learning systems. Educ Inf Technol (Dordr). 2023;28: 7845 – 7876.
2. Alzahrani NM. Augmented reality: A systematic review of its benefits and challenges in e-learning contexts. Applied Sciences. 2020;10: 5660.

3. Effendi H, Hendriyani Y, Humaira JD. The future of e-learning: Leveraging VR, AR, and AI for more effective and engaging learning experiences. Proceedings of vocational engineering international conference. 2023. pp. 244 – 251.

4. Gligorea I, Cioca M, Oancea R, Gorski A-T, Gorski H, Tudorache P. Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: a literature review. Educ Sci (Basel). 2023;13: 1216.

5. Murtaza M, Ahmed Y, Shamsi JA, Sherwani F, Usman M. AI-based personalized e-learning systems: Issues, challenges, and solutions. IEEE access. 2022;10: 81323 – 81342.

6. Panjaburee P, Komalawardhana N, Ingkavara T. Acceptance of personalized e-learning systems: a case study of concept-effect relationship approach on science, technology, and mathematics courses. Journal of Computers in Education. 2022;9: 681 – 705.

7. Ashfaque MW, Tharewal S, Iqhbal S, Kayte CN. A Review on Techniques, Characteristics and approaches of an intelligent tutoring Chatbot system. 2020 International conference on smart innovations in design, environment, management, planning and computing (ICSIDEMPC). 2020. pp. 258 – 262.

8. Alam A. Harnessing the power of AI to create intelligent tutoring systems for enhanced classroom experience and improved learning outcomes. Intelligent communication technologies and virtual mobile networks. Springer; 2023. pp. 571 – 591.

9. Salvagno M, Taccone FS, Gerli AG. Artificial intelligence hallucinations. Crit Care. 2023;27: 180.

10. Huang L, Yu W, Ma W, Zhong W, Feng Z, Wang H, et al. A survey on hallucination in large language models: Principles, taxonomy, challenges, and open questions. 2023. Available: https://arxiv.org/abs/2311.05232

11. Gao Y, Xiong Y, Gao X, Jia K, Pan J, Bi Y, et al. Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. arXiv preprint arXiv:231210997. 2023.

12. Zhao P, Zhang H, Yu Q, Wang Z, Geng Y, Fu F, et al. Retrieval-augmented generation for ai-generated content: A survey. arXiv preprint arXiv:240219473. 2024.

13. Li D. Creating personalized higher education teaching system using fuzzy association rule mining. Int J Comput Int Sys. 2024;17: 239.

14. Gunasekaran A, McNeil RD, Shaul D. E-learning: research and applications. Ind Commer Train. 2002;34: 44 – 53.

15. Demir K, Akpinar E. The effect of mobile learning applications on students' academic achievement and attitudes toward mobile learning. Malaysian Online Journal of Educational Technology. 2018;6: 48 – 59.

16. Drigas AS, Pappas MA. A review of mobile learning applications for mathematics. International Journal of Interactive Mobile Technologies. 2015;9.

17. Ota K, Dong M, Wang J, Niher H, Jing L, Kansen M, et al. A Courseware Platform of Dual Experience for Safety Education Utilizing both a Miniaturized World and a Computerized World. Japan e-Learning Association Journal. 2010;10: 81 – 92.

18. YOKOTA S, HIRAMATSU K, OHYAMA Y, Jin-Hua S, HASHIMOTO H. E-learning System with a Real System and Graphical Simulator for Embedded System. IFAC Proceedings Volumes. 2008;41: 12649 – 12654.

19. Zhang K, Aslan AB. AI technologies for education: Recent research & future directions. Computers and Education: Artificial Intelligence. 2021;2: 100025.

20. Opara E, Mfon-Ette Theresa A, Aduke TC. ChatGPT for teaching, learning and research: Prospects and challenges. Opara Emmanuel Chinonso, Adalikwu Mfon-Ette Theresa, Tolorunleke Caroline Aduke (2023) ChatGPT for Teaching, Learning and Research: Prospects and Challenges Glob Acad J Humanit Soc Sci. 2023;5.

21. Modran H, Bogdan IC, Ursuțiu D, Samoila C, Modran PL. LLM intelligent agent tutoring in higher education courses using a RAG approach. 2024.

22. Liu C, Hoang L, Stolman A, Wu B. HiTA: A RAG-Based Educational Platform that Centers Educators in the Instructional Loop. International conference on artificial intelligence in education. 2024. pp. 405 – 412.

23. Song M, Sim SH, Bhardwaj R, Chieu HL, Majumder N, Poria S. Measuring and enhancing trustworthiness of LLMs in RAG through grounded attributions and learning to refuse. arXiv preprint arXiv:240911242. 2024.

24. Agrawal G, Kumarage T, Alghamdi Z, Liu H. Mindful-rag: A study of points of failure in retrieval augmented generation. arXiv preprint arXiv:240712216. 2024.

25. Dakshit S. Faculty perspectives on the potential of RAG in computer science higher education. arXiv preprint arXiv:240801462. 2024.

26. Wang S, Xu T, Li H, Zhang C, Liang J, Tang J, et al. Large language models for education: A survey and outlook. arXiv preprint arXiv:240318105. 2024.

手首装着型の加速度センサを用いた実時間調理行動認識手法

Real-time cooking activity recognition using accelerometers

大神 健司[1*] 飛田 博章[1]
Kenji Ogami[1*] Hiroaki Tobita[1]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Kenji Ogami, a2109ko@aiit.ac.jp

Abstract Although cooking by ourselves is important to manage our health, it is difficult especially for beginners to reproduce recipes. As a solution to this issue, systems supporting persons who are cooking by feedback from their activities are considerable. In this study, we propose a method of real-time cooking activity recognition using accelerometers to realize such systems. Our proposed method classifies the subject's activities during cooking of curry to 7 classes by convolutional LSTM with frequency of one time per a second. We confirmed a performance of our proposed method was 86.39% in batch inference, 61.32% in real-time inference as results of evaluation with macro-average of recalls.

Keywords cooking recognition; wearable sensor; accelerometer

1 はじめに

自分でメニューを考え料理する自炊は，好きなものを選びがちな外食に比べ，健康を維持するために効果的である．しかし，料理初心者にはレシピの再現自体が難しく，レシピに記されている調理行動を再現できないため，味や見た目がレシピと大きく異なる結果となる．この課題の解決策として，料理初心者の行動に対し，次の調理工程の指示や，指示と異なる行動をした場合にそれを正すためのフィードバックの実現が重要となる（図 1）．

本研究では，調理者の行動を認識し，システムが適切にフィードバックする仕組みの実現に必要となる，実時間での調理行動認識手法について述べる．提案手法では，実際の調理で両手首にウェアラブル型の加速度センサを装着し，加速度と角速度のデータ（以後，両者を合わせて加速度データと表記する）を取得する．取得したデータに対し，調理行動を 7 クラス（「手を洗う」，「皮を剥く」，「切る」，「みじん切りにする」，「炒める」，「混ぜる」と，「その他」）にラベル付けし，畳み込み LSTM で学習・分類する．作成済のテストデータに対して推論を行い（本稿では，以後バッチ推論と表記する）学習済モデルの性能を評価した結果，再現率のマクロ平均が 86.39%であった．また，加速度センサを装着した状態で実際にカレー（図 2）を調理しながら取得したデータを実時間で処理して推論を行い（本稿では，以後実時間推論と表記する）性能を評価した結果，同マクロ平均が 61.32%であった．

2 関連研究

近年，調理をサポートするため，様々なセンサから得たデータを基に調理者の行動を認識する手法が多数提案されている．[1], [2], [3] では，調理者の身体に装着したウェアラブルカメラで一人称動画を撮影し，画像認識により調理者の調理行動を認識する手法を提案しているが，ウェアラブルカメラの向きや装着位置によっては認識対象の動作が画角に収まらないことや，プライバシーへの懸念から日常生活における動画撮影を忌避する意見も多い．[4] では，調理音から調理者の調理行動を認識しているが，音響信号には環境音等の雑音が混入し易く，安定した品質のデータ取得に課題がある．[5], [6] では，離れた位置に設置した深度センサで調理者の身体を三次元的に捉え，三次元空間内における調理者の身体の動きから調理行動を認識する手法を提案しているが，深度センサという特殊な設備が必要であるため，コストに課題がある．[7] , [8] では，加速度センサを包丁の柄に取り付け，それぞれ調理者の調理技術を向上させる手法と，動画レシピと実際の調理工程を同期させる手法を提案しているが，包丁に加速度センサを取り付けているため，包丁を使用する調理工程以外には適用できない．[9] では，調理者の身体に装着した複数の加速度センサとモーションキャプチャにより得られたデータを利用し，複数の参加者が提案した手法で認識精度を競った結果を総括している．しかし，提案された手法は取得済みのデータを対象とした手法に限っており，調理者の調理行動を実時間で認識してサポートすることを考慮していない．



図 1 システムデザイン

3 データセットの作成

モデルを学習するための学習データとテストデータは，単一の被験者が別の日に加速度センサを装着した状態で，実際にカレーを調理して取得したデータから作成した．両手首の加速度センサの動作クロックが非同期であるため，得られたデータをサンプリング周波数変換処理で同期化した上でデータセットを作成している．

3.1 加速度データの取得

両手首に装着したウェアラブル型の加速度センサ，以後加速度センサと表記する）により，70Hz のサンプリング周波数で加速度データをサンプリングする（図 3）．

加速度センサと PC は Bluetooth で通信し，通信の開始時に PC のシステム時刻に加速度センサの内蔵リアルタイムクロックの時

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

刻を合わせる．リアルタイムクロックの時刻は，サンプリングした加速度データにタイムスタンプとして付与する．

両手首に加速度センサを装着した状態で実際にカレーを調理し，カレーの全調理工程を通して加速度データを Bluetooth 経由で PC に取得する．

3.2 加速度データと実際の調理行動との対応

加速度データの取得と合わせ，被験者の額に装着したウェアラブルカメラで一人称動画を撮影する．動画にはタイムスタンプを表示しておき，取得した加速度データのタイムスタンプと照合することで，加速度データと実際の調理行動との対応が識別できるようにした．



図 2　カレーの調理

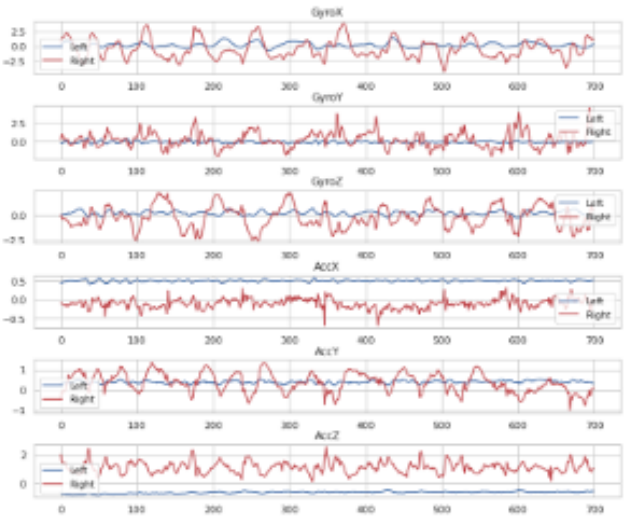


図 3　センサデータ

3.3 データの構造

モデルに入力する加速度データの構造は，両手首の加速度（X，Y，Z）と角速度（X，Y，Z）の合計 12 軸のデータ 10 秒間分（700 サンプル）とする．

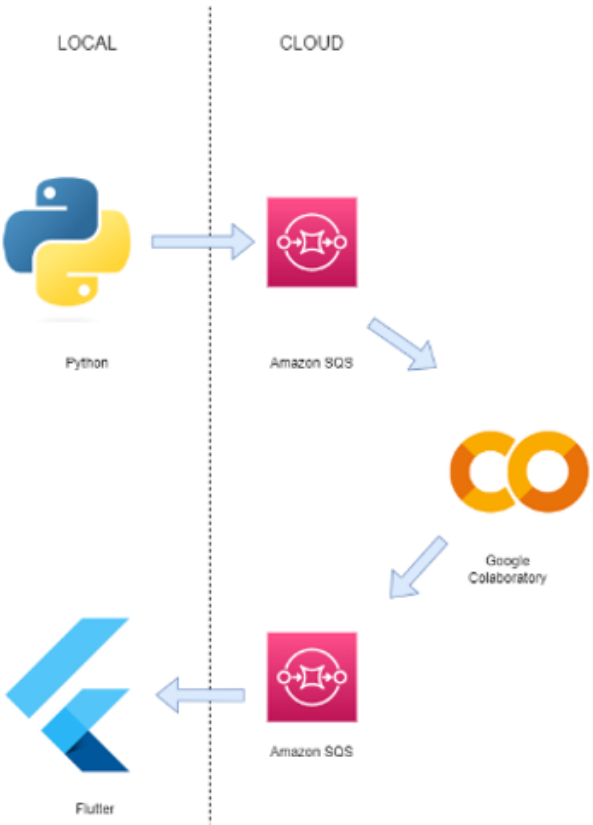


図 4　システム実装

3.4 データの同期化

両手首に装着した加速度センサは，PC との通信開始時に PC のシステム時刻を取得し，内臓リアルタイムクロックの時刻を PC に合わせている．しかし，両手首の加速度センサ同士の動作クロックが非同期であるため，加速度データのサンプリング周期に誤差が生じる．これにより，例えば 1 秒間サンプリングして得られる加速度データのサンプル数が左右で異なる結果となる．サンプリング周期の誤差は固定的であるため，長時間サンプルする程サンプル数の差は累積するが，単一のモデルで左右の加速度データを取り扱う場合，左右のサンプル数は一致している必要があり，サンプル数の差を解消しなければならない．

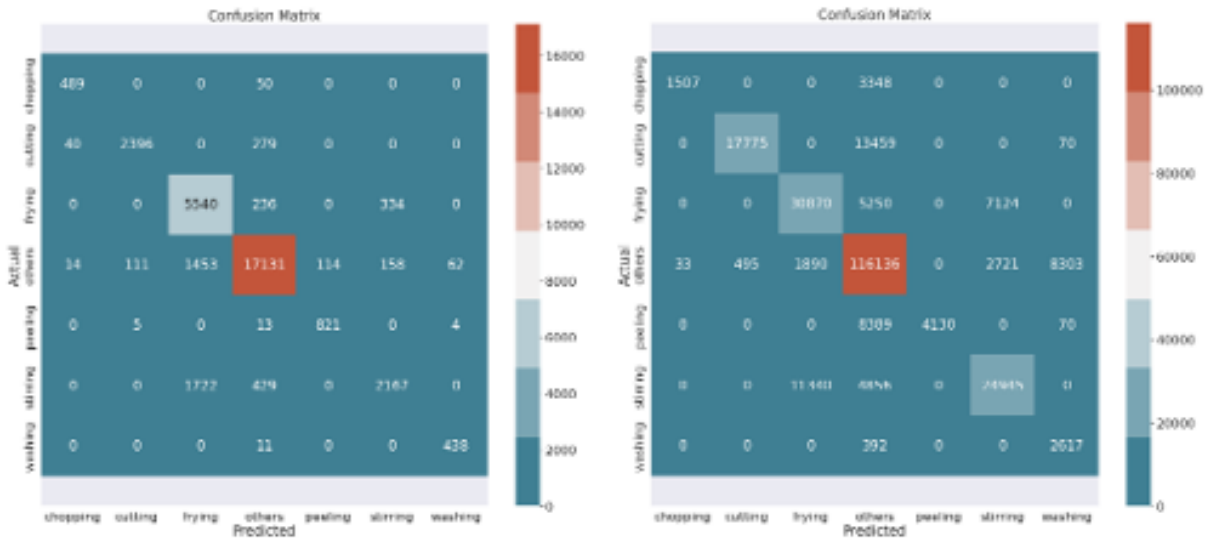
提案手法では，右手首から得られる加速度データを基準とし，左手首の加速度データを 10 倍のサンプリング周波数（700Hz）に一旦変換してタイムスタンプを付与し直し，右手首の加速度データのタイムスタンプと時間的に最も近いサンプルを左手首の加速度データとして再サンプリングする．

3.5 正規化

カレーの全調理工程から得られた加速度データを対象として，ロバストスケーラで正規化を行う．

3.6 ラベル付け

提案手法では，カレーの調理工程を，「手を洗う」，「切る」，「皮を剥く」，「みじん切りにする」，「炒める」，「混ぜる」，「その他」にクラス分けする．最初に，取得した加速度データ全体に「その他」のラベルを付ける．その上で，加速度データの取得と同時に撮影した一人称動画の中に「その他」以外の 6 クラスの動作を見付ける．動画内のタイムスタンプと加速度データのタイムスタンプか



クラス名	再現率 (%)	マクロ平均 (%)
手を洗う	97.55	86.39
切る	88.25	
皮を剥く	97.39	
みじん切りにする	90.72	
炒める	90.67	
混ぜる	50.19	
その他	89.96	

クラス名	再現率 (%)	マクロ平均 (%)
手を洗う	86.97	61.32
切る	56.78	
皮を剥く	32.81	
みじん切りにする	31.04	
炒める	71.39	
混ぜる	60.63	
その他	89.63	

図 5　バッチ推論と実時間推論の結果と性能

ら，見付けた動作に対応する加速度データの時間軸上の位置を特定し，適切なラベルに付け替える．この作業により全ての「手を洗う」,「切る」,「みじん切りにする」,「皮を剥く」,「炒める」,「混ぜる」の 6 動作にラベルを付けると，6 動作以外の全ての動作が「その他」にラベル付けされたまま残る．

4　モデル

調理行動を認識するための深層学習のモデルには，時系列データの処理に適した LSTM と GRU に加え，[10] で提案している畳み込み LSTM の 3 種類を実際に学習して評価し，最も性能の良かった畳み込み LSTM を採用した．

5　実時間調理行動認識の実装

提案手法の実時間推論では，PC に取得した加速度データを計算リソースの豊富なクラウドにアップロードして処理を行う．実装上ボトルネックであったデータの同期化処理を並列化することにより，1 秒間に 1 回の推論頻度を実現した．

5.1 システム構成

両手首の加速度センサから Bluetooth 経由で加速度データを PC に取得し，1 秒間に 1 回の頻度で 1 秒間分の加速度データをクラウドにアップロードして実時間推論を実行する．クラウドで実時間推論を実行後，PC に分類した結果を転送する（図 4）．

5.2 並列処理

実時間推論の処理では，1 秒間に 1 回の頻度で 1 秒間分のデータ（約 70 サンプル）を受信し，過去の 9 秒間分のデータと合わせて処理を実行する必要がある．GPU を活用することのできないデータの同期化処理が実装上のボトルネックであったため，処理を並列化することでボトルネックを解消した．具体的には，加速度データをアップコンバートしてタイムスタンプを付与する処理を 8 並列化し，左手首の加速度データを再サンプリングする処理を 4 並列化した．

6　評価

提案手法による学習済モデルと，実時間推論の性能を評価した結果を示す（図 5）．

6.1 実時間推論の評価方法

実時間推論の性能評価に必要なデータの取得は，データセットの作成時と同一の被験者 1 名が両手首に加速度センサと額にウェアラブルカメラを装着した状態で，実際にカレーを調理しながら実時間推論の実行と，一人称動画の撮影を行って取得した．実時間推論の結果は，加速度データの各サンプルに分類の結果として付与し，調理後に一人称動画を確認して学習データの作成時と同じ要領で正解ラベルも加速度データに付与した．得られた実時間推論の結果と，正解ラベルより各クラスの再現率と，それらのマクロ平均を得た．

6.2 評価結果に対する考察

実時間推論の性能がバッチ推論の性能に対し，著しく低い結果となった．提案手法では 10 秒間のウインドウを 1 秒ずつシフトさせて調理行動を分類しており，例えば 10 秒間のウインドウの中に「切る」動作が 1 回だけ入っているデータでは，「切る」動作がウインドウの何処にあっても分類できるように学習データを作成すべきところ，「切る」動作がウインドウの中心に位置するデータば

かりを使用してモデルを学習したため，「切る」動作がウインドウの端にあるデータを「切る」と分類できなくなったこと等が実時間推論の性能を劣化させた要因として挙げられる．

7 まとめ

本研究では，調理者の行動をフィードバックするために有用な実時間調理行動認識手法を提案した．提案手法では，両手首の加速度センサから得た加速度データを，畳み込み LSTM により 1 秒間に 1 回の頻度で実時間推論を実行する．モデルを学習するためのデータは，単一の被験者が加速度センサを装着した状態で実際にカレーを調理して取得したデータより作成した．実際にカレーを調理しながら実時間推論した結果と，テストデータをバッチ推論した結果とを比較した．

今後は，学習データの作成方法を改善することにより，実時間推論の性能を向上させることができると考える．また，被験者の数を増やして，より汎用的に使用できるように改善すること，調理行動のクラス数を増やして適用できる料理のレパートリーを拡大することも必要である．

参考文献

1. Shuichi Urabe MY Katsufumi Inoue. Cooking activities recognition in egocentric videos using combining 2DCNN and 3DCNN. CEA/MADiMa ’18: Proceedings of the Joint Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities and Multimedia Assisted Dietary Management. 2018; 1–8.
2. Sho Ooi MS Tsuyoshi Ikegaya. Cooking behavior recognition using egocentric vision for cooking navigation. Journal of Rebotics and Mechatronics. 2017;29: 728–736.
3. Shinya Michibata MY Katsufumi Inoue. Cooking Activity Recognition in Egocentric Videos with a Hand Mask Image Branch in the Multi-stream CNN. CEA ’20: Proceedings of the 12th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities. 2020; 1–6.
4. Yusaku Korematsu NM Daisuke Saito. Cooking State Recognition based on Acoustic Event Detection. CEA ’19: Proceedings of the 11th Workshop on Multimedia for Cooking and Eating Activities. 2019; 41–44.
5. Yanli Ji AS Yoshiyasu Ko. Cooking Gesture Recognition using Local Feature and Depth Image. CEA ’12: Proceedings of the ACM multimedia 2012 workshop on Multimedia for cooking and eating activities. 2012; 37–42.
6. Yuma Hijioka TK Makoto Murakami. Motion analysis for cooking motion recognition. 12th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS). 2016; 551–555.
7. T.Kato AY Hanano Kobayashi. Proposing a system to Supporting for Kitchen Knife Skill Improvement using Acceleration Sensor. 11th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). 2020; 79–80.
8. 加藤 岳大 et al. SynCook：動画メタデータと加速度センサを用いたレシピ動画進行度自動同期システム. 日本ソフトウェア科学会 WISS 2020. 2020; 5 pages.
9. Sayeda Shamma Alia ST Paula Lago. Summary of the cooking activity recognition challenge，human activity recognition challenge. Siringer. 2020.
10. Isibor Kennedy Ihianle SHE Augustine O. Nwajana. A deep learning approach for human activities recognition from multimodal sensing devices. IEEE Access. 2020;8: 179028–179038.

Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

作業者骨格・製品状態・作用点の情報からの作業認識

Work recognition using information of operator skeleton, product states, and processing parts

浪岡 保男[1*] 大島 宏友[2] 新沼 歩[2] 福田 雅允[2] 前川 卓也[3]

Yasuo Namioka[1*] Hirotomo Oshima[2] Ayumu Niinuma[2] Masamitsu Fukuda[2] Takuya Maekawa[3]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Graduate School of Industrial Technology, Advanced Institute of Industrial Technology
[2]株式会社東芝 生産技術センター Corporate Manufacturing Engineering Center, Toshiba Corporation
[3]大阪大学大学院 情報科学研究科 Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
*Corresponding author: Yasuo Namioka, namioka-yasuo@aiit.ac.jp

Abstract In a manufacturing, because understanding of work progress is crucial in productivity improvement, efforts are being made to automatically collect work-related sensor data. However, in an assembly process which is mainly done by workers, it is difficult to estimate work activities automatically because of the complexity and variety of them. We thus propose a new method which estimates elemental works of assembly process automatically by integrating information about workers, a product of interest, and processing parts. We apply GNN for the modeling and the effectiveness of this method was investigated with actual data which are collected at an assembly process.

Keywords work recognition; product states; processing parts; skeleton data; GNN

1 はじめに

スマート・マニュファクチャリングに向けた取り組みが，モノづくりの現場で進められている[1]．AI・IoT 技術を活用して各種作業に関わる様々なデータを自動収集・分析し，改善活動に繋げている．こうした中で作業分析も行われており，製造の生産性を向上させる上で重要な取り組みの一つである．作業分析のために収集されるデータは作業進捗の把握においても活用される．生産性に直結する指標であることから，あらゆる製造現場で徹底した管理が行われている[2, 3]．

機械による作業が中心の製造現場では，設備に取り付けたセンサから作業進捗の把握に必要なデータを直接取得することができる[4-6]．一方で，組立作業が中心の製造現場では，その作業内容が複雑かつ多様であることから，作業の自動化が進められている現在でも作業者に大きく依存している．そのため作業進捗を把握するには，作業者の作業内容を正確に捉えることが必要となる．現状，作業者本人や作業監督者が進捗情報を登録する方法が行われているが，作業性や人員コストの点で課題となっている．

近年では，カメラ画像から得られる作業者の骨格の時系列データを記録し，グラフとして表現される骨格から GNN（Graph Neural Network）[7,8]を用いて行動認識を行う研究が進められている[9,10]．しかし，セル生産の組立工程では，同じ姿勢・動作で行う作業が複数存在することから，作業者の骨格のみから作業内容を認識することが難しく，作業対象となる製品の状態や，その製品との作用点の情報を統合的に扱うことが求められる．

そこで本稿では，組立工程における複雑で多様な作業内容を詳細かつ高精度に自動推定することを目的に，作業者の骨格だけでなく，作業対象（製品）の状態や作業者と製品の作用点もグラフ構造で記述し，GNN を用いて要素作業レベルで作業内容を自動推定する新たな手法を提案する．このとき，骨格，製品の状態，作用点の情報を個別にグラフ化してグラフ畳み込みを行っても，それぞれのグラフが保持する情報が交換されず，それらの情報を統合的に用いた作業認識が行えない．そこで本研究では，作業者が製品のどの箇所の作業を手で行っているかの作用点を表すグラフをハブとして，作業者骨格の手のノードと製品状態を表すグラフを連結することで，作業者が特定の状態における製品の特定箇所に対して行っている作業の情報を効果的に抽出する．

本研究の特徴は以下のとおりである．

- 複数の作業情報を統合的に扱うモデルの提案：複数の作業情報を統合的にモデル化し，要素作業を推定する手法を提案する．統合的なモデル化に GNN を用いることで，要素作業の内容を特徴づける各作業情報間の関連性を考慮した学習が可能である．
- セル生産の組立作業現場における実作業データを用いた提案手法の実証：セル生産で製造されている製品の組立工程を対象に，異なる 9 名の作業者の実作業データを用いた評価を実施し，提案手法の有効性を示した．

2 対象とする製造現場

製造現場では，微細なものから社会インフラに関わるものまで，様々な製品を製造している．近年は，消費者ニーズの多様化や製品ライフサイクルの短期化に伴う多品種少量生産が主流となっており[11]，モノづくりの現場では，それに適したセル生産が広く採用されている．図 1 に，セル生産による，一般的な製品の組立工程のイメージを示す．セル生産では，1 人の作業者が所定のエリアで，部品の取り付け，ネジ締め，外観検査など，製品またはユニットを完成させるのに必要な複数の作業を行う．本稿では，これらの作業を要素作業と呼ぶ．ライン生産に比べて，生産機種の切り替えによる段取り時間や，他の作業者の作業遅れによる手待ち時間を低減できる点が特徴である[12]．

セル生産を行っている作業者の作業内容を自動で把握するには課題がある．セル生産は，中型・大型製品を対象とする場合が多く，1 つの製品を完成させるのに 10 分から数時間におよぶなど，作業時間が長時間化する傾向がある．また，作業者の作業時の立ち位置は基本的に一定で，両手を伸ばして部品・工具を取り，適宜姿勢を変えながら作業を行っている．そのため，組立工程の中に類似の姿勢・位置での作業が複数存在し，それらを正確に識別することが困難である．本研究では，セル

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

生産で製造されている様々な製品の組立工程を対象に，課題の解決手法を検討した．

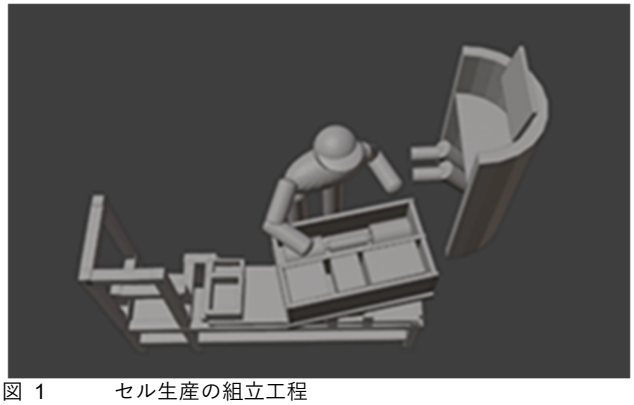


図 1　セル生産の組立工程

表 1　先行研究と本研究の位置づけ

	認識に利用する情報			認識/統合手法
	骨格	製品状態	作業箇所	
文献 [13-24]	○			DTW CNN LSTM
文献 [25-27],[29]		○		オプティカルフロー CNN
文献 [28, 30]		○	○	ルールベース
文献 [9, 10],[31-33]	○			GNN
本研究	○	○	○	GNN

3　関連研究

これまでにも行動認識に関する様々な手法が提案されている．例えば，ウェアラブルデバイスや骨格抽出技術から取得したデータを活用して行動認識する手法に関する研究[13-24]が報告されている．この研究では，人間に装着した加速度センサから時系列データを取得し，動作ごとの時系列波形を基に行動認識を行う．しかし，類似した動作が含まれる場合は時系列波形に特徴的な差異が現れにくく，動作内容を正しく識別することが難しい．

また，作業現場を撮影した動画像から作業の進捗情報を抽出する研究も行われている[25-27]．本研究の先行研究でも，撮影した作業映像に対して，深層学習により推定した製品の組付け状態の情報と，作業者の両手作業位置の情報を基に作業進捗を自動抽出する手法を構築している[28-30]．この手法では，製品状態と両手作業箇所の情報の遷移を一定時間観察しながら，どの要素作業であるかをルールベースで推定する．実際の組立工程を対象に評価実験を実施し，良好な結果が得られているが，作業分割の粒度の点やユーザによる事前調整が必要なルールベースの判定ロジックなど，改良の余地がある．

最近では，GNN を活用した行動認識の研究が注目を集めている[31-33]．GNN は，隣接行列と特徴行列から定義され，この 2 つの行列を掛け合わせることで，隣接しているノードの特徴量を畳み込んだ特徴量を獲得することができる．GNN を活用した行動認識では，抽出した人間の骨格位置の情報を特徴量として事前に定義したグラフ構造に入力する．その際，ノードが関節座標，エッジが関節間のつながりに対応しており，各関節間の隣接関係を考慮して学習が可能なため，複雑な動作認識も可能となる．

表 1 に先行研究と本研究の位置づけを示す．これまでに，作業者の骨格情報と対象製品に関わる各種情報を統合的に扱い作業推定を行っている研究は報告されていない．本研究では，先行研究を踏まえ，作業者の骨格位置情報に加えて，製品の組付け状態，作業者の両手作業箇所の情報を，GNN を用いて統合的にモデル化し，学習・推定を行う手法を提案する．

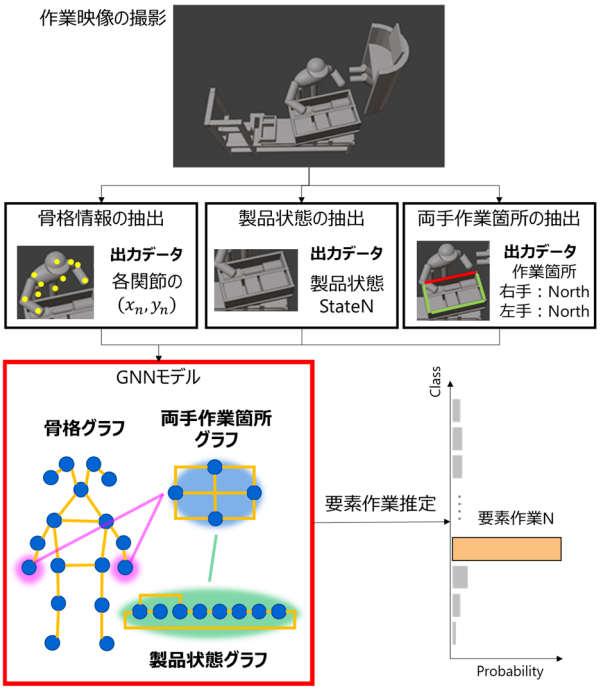


図 2　提案手法の概要

4　提案手法

本稿では，作業者や作業対象，作業者と作業対象の作用点の情報を統合的にモデル化し，要素作業を推定する新たな手法を提案する．具体的には，作業者の骨格位置の情報，製品の組付け状態の情報，作業者の両手作業箇所の情報を用いた．また統合的にモデル化する方法として，GNN を適用した．本章では，提案手法の概要，定義したグラフ構造，特徴行列，学習プロセス，推定プロセスについて説明する．

概要

図 2 に，提案手法の概要を示す．作業現場の上方より撮影した作業映像を静止画に分割し，その静止画 1 枚 1 枚から作業者

の骨格情報，製品状態，および作業者の両手作業箇所の抽出を並行して行う．抽出した値をあらかじめ定義したグラフ構造に入力し，それらの特徴を GNN で学習することで要素作業を推定する．図 2 の赤枠部分が，新たに提案する 3 つの作業情報を統合的に扱う GNN モデルである．

作業内容を識別する情報として，作業者，作業対象，作業者と作業対象の作用点などが挙げられるが，これらの情報単体からでは要素作業の推定が難しい場合がある．人間が作業内容を認識する場合，製品の組付け状態や作業箇所，作業者の姿勢・位置などから統合的に判断している．例えば同じネジ締め作業でも，製品の組付け状態の違いや作業者がどこの箇所でネジ締めを行っているかで作業内容を識別している．また，作業対象によって，作業内容の識別に必要な情報の組み合わせが異なる．作業時間が長く，作業内容が複雑になるにつれて，必要な作業情報の数が増える．これらを踏まえ，組立作業の作業内容の推定に必要な作業情報を統合的にモデル化する本手法を構築した．作業情報をグラフで表現して GNN で処理することで，これらの情報を統合的に考慮した認識を行うことができる．

グラフ構造

GNN で事前に定義するグラフとして，骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフの 3 つのグラフを定義した．また，これらの作業情報間の関係性を考慮し，エッジで 3 つのグラフを結合させた．以降で，それぞれのグラフ構造，3 つのグラフを結合させた提案手法のグラフ構造について説明する．

骨格グラフについて説明する．図 3 は，先行研究[9]に倣って定義した骨格グラフである．骨格グラフは，作業者の関節をノード，関節間のつながりをエッジで表現している．本研究で定義した骨格グラフのノードは左右の目，肩，腕，足など，その数は全部で 17 個であるが，関節間のつながりが定義可能であれば，任意のノードを用いた骨格グラフに拡張できる．

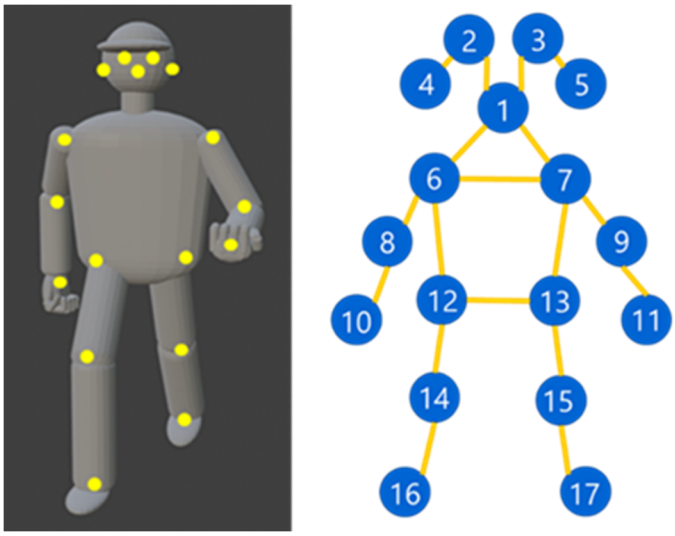


図 3　骨格グラフ

製品状態グラフについて説明する．図 4 に，製品状態グラフを示す．製品状態は，組立作業とともに変化していく製品の外観に対応し，外観遷移が存在する製品であれば製品状態グラフを定義することが可能である．製品状態グラフでは，製品状態をノード，製品状態の遷移関係をエッジで表現している．本研究で対象としている組立工程では，製品状態を State1 から State8 までの 8 つに定義することができるためノード数を 8 個としている．組立作業に伴う製品の外観の遷移が N 段階ある組立工程であれば，N 個のノードを用いて製品状態グラフを定義することができる．

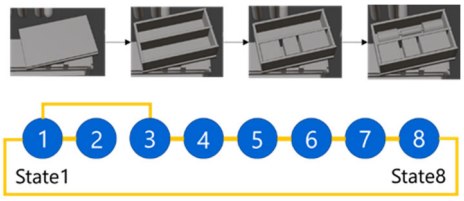


図 4　製品状態グラフ

両手作業箇所グラフについて説明する．図 5 に，定義した両手作業箇所グラフを示す．両手作業箇所グラフでは，東西南北で定義した作業箇所をノード，隣接する作業箇所をエッジで表現している．本研究で対象としている製品は矩形なので，ノード数を東西南北の 4 個としているが，隣接関係が定義可能であれば，任意のノードを用いた両手作業箇所グラフに拡張できる．

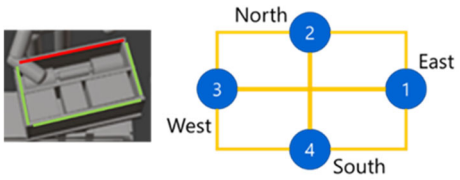


図 5　両手作業箇所グラフ

統合的に扱う GNN モデルについて説明する．骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフの 3 つを結合させた 1 つのグラフ構造を定義している．作業者は作業対象に対して組付けやネジ締め等の作業を行うことを踏まえると，作業者と作業対象の関係性をグラフ構造内に表現することで，さらに詳細な特徴を学習することができる．そこで，図 6 に示すように骨格グラフの両手のノードと両手作業箇所グラフの全ノード，および，製品状態グラフの全ノードと両手作業箇所グラフの全ノードをエッジで結合させた 1 つのグラフを新たに定義した．骨格グラフと両手作業箇所グラフでは，特に両手の位置と作業者の製品に対する作業箇所に強い関連性があることから，両手のノードと両手作業箇所の全ノードを結合した．また，製品状態グラフと両手作業箇所グラフにおいては，どの製品状態の時にどの箇所で作業をしているかを特徴として捉えるために，お互いの全てのノード同士を結合している．これによって，どのような製品状態の時に，作業者はどのような位置・姿勢で，製品の

どの箇所で作業をしているか，といった極めて細かい特徴を学習することが可能となり，要素作業の推定をより高精度に行うことが可能になる．

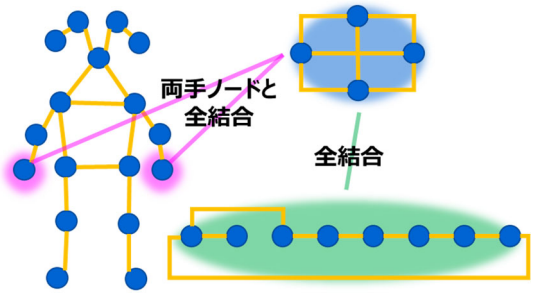


図 6　　統合的に扱うグラフ構造

特徴行列

骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフのノード特徴量は，以下の式（1）で示す 5 次元の特徴ベクトルで表現した．特徴ベクトルは，骨格情報の X，Y 座標，製品状態，右手作業箇所，左手作業箇所で構成されている．

骨格情報の抽出では，自動抽出ソフトを活用して各関節の X, Y 座標を取得し，特徴ベクトルに入力している．製品状態，および，両手作業箇所の抽出は目視でラベリングした結果を用いており，製品の State に対応する番号のノードを 1 に，それ以外を 0 にし，両手作業箇所も，作業している箇所に対応するノードを 1 に，それ以外のノードを 0 にしている．例えば製品状態が State3 で，右手作業箇所，左手作業箇所がともに North の場合，骨格グラフの 2 番目のノードの特徴ベクトルは（719.26, 257.81, 0, 0, 0），製品状態グラフの 3 番目のノードの特徴ベクトルは（0, 0, 1, 0, 0），両手作業箇所グラフの 2 番目のノードの特徴ベクトルは（0, 0, 0, 1, 1）となる．

$$\text{特徴ベクトル} = \begin{pmatrix} \text{骨格情報の X 座標} \\ \text{骨格情報の Y 座標} \\ \text{製品状態} \\ \text{右手作業位置} \\ \text{左手作業位置} \end{pmatrix} \tag{1}$$

学習プロセス

本研究では，GNN の中でも ConvGNN（Convolutional Graph Convolutional Network）を採用している．GNN には，ConvGNN（Convolutional Graph Convolutional Network），RecGNN（Recurrent Graph Neural Network），GAE（Graph Autoencoder）などがあるが，ConvGNN は結合しているノード間のみで畳み込み学習を行い，特徴を抽出することができる．3 つの作業情報の結合関係の特徴を詳細に捉えることができると考え，ConvGNN を採用した[7].

各グラフは，隣接行列と特徴行列から定義される．この 2 つの行列を掛け合わせることで，隣接しているノードの特徴量を畳み込んだ新たな特徴量を獲得することができる．提案手法における Convolution 層，および全結合層での処理は，以下の数式 (2), (3) で表すことができる．なお，活性化関数として ReLU 関数を用いた場合を示す[8].

$$v_i^{conv(t)} = ReLU\left(\sum_{v_j^{conv(t-1)} \in A(i)_{proposed}} W v_j^{conv(t-1)}\right)$$

$$v_j^{conv(0)} = v_j$$

$$\mathrm{ReLU}(x) = \begin{cases} x(x \geq 0) \\ 0(x < 0) \end{cases} \tag{2}$$

$$\mathrm{Output} = \mathrm{Linear}\left(\sum_{i=1}^{N} v_i^{conv(T)}\right) \tag{3}$$

v_iは，i 番目（$i = 1,2,\cdots,N$）のノードの初期特徴ベクトル，$v_i^{conv(t)}$ は，i 番目のノードを t 層目（$t = 1,2,\cdots,T$）の Convolution 層で畳み込み処理を行った際に更新された特徴ベクトル，$A(i)_{proposed}$は提案手法の隣接行列における i 番目のノードおよびそれと隣接しているノードの特徴ベクトルの集合，W は重みである．

式（2）の処理では，i 番目のノードおよび隣接しているノードを用いて，i 番目のノードの特徴ベクトルを更新する．それぞれのノードに重みをかけたものを加算して 1 つのベクトルとし，ReLU 関数を適用することで新たな特徴ベクトル$v_i^{conv(t)}$に更新する．畳み込み処理によって T 回更新した N 個の特徴ベクトルに対して式（3）の処理を行った結果がモデルの出力となる．式（3）の Linear 関数では，更新された N 個の特徴ベクトルを加算して 1 つのベクトルを生成する．このベクトルの次元数は要素作業のクラス数 M であり，各要素はそれぞれのクラスの確からしさを表す確率値である．このことから，作業者の骨格情報，製品状態，作業者の両手作業箇所の特徴量をそれぞれ畳み込んで学習し，それらの結果から統合的に要素作業を推定することが可能となる．

また，提案手法では，図 7 に示すように， Convolution 層を 15 層，Pooling 層を 1 層組み合わせたモデルを用いた．

推定プロセス

推定は，学習した GNN モデルを用いて行う．入力情報は，作業者の骨格情報の X,Y 座標，製品状態，右手作業箇所，左手作業箇所で，式 (3) と同様の特徴ベクトルとして各ノードに与える．また，学習プロセスと同様に，Convolution 層で特徴量の畳み込みを行い，全結合層で要素作業のクラス数 M の次元数を有したベクトルを生成する．このベクトルの中で，最も成分値の高いクラスを要素作業の推定結果として出力する．なお，本稿では，要素作業のクラス数 M は 16 である．

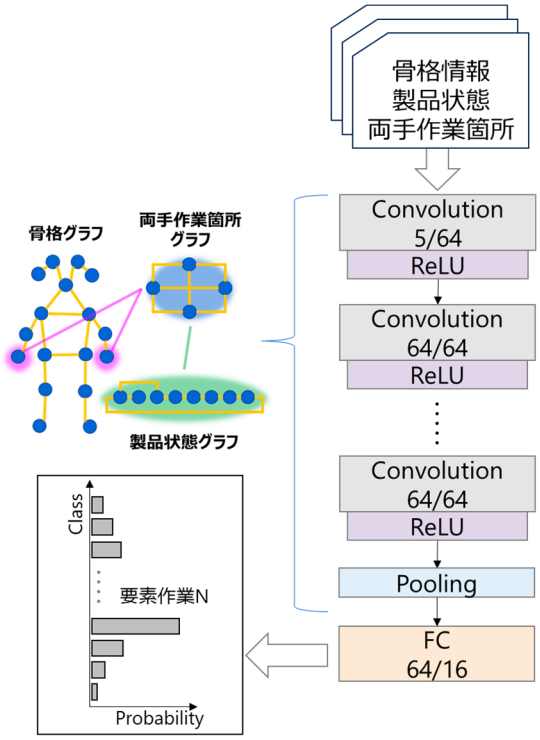


図 7　　統合的に扱う GNN の構成

5　評価

実在する一般的なセル生産の組立工程に本提案手法を適用して，有効性を確認した．本章ではその評価内容について述べる．

対象工程

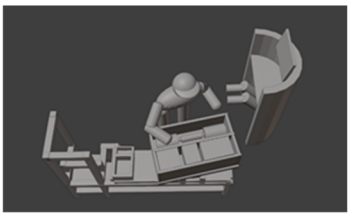
本稿では，異なる作業者 9 名分の作業映像に対して，要素作業を推定する評価実験を行った．この組立工程では産業用の空調機を製造しており，1 サイクルあたり約 15 分，16 種類の要素作業（PM-W1～PM-W16）から構成されている．表 2 に各要素作業の作業内容を示す．

学習・評価データセット

図 8 に学習・評価に使用したデータの構成を示す．学習および評価に用いたデータは，作業映像を分割した各画像における製品状態，作業者の両手作業箇所，作業者の骨格情報，および要素作業である．学習データに関して，作業者の骨格情報は自動推定ソフトを用いて抽出し，製品状態，作業者の両手作業箇所，および要素作業は，一枚ずつ画像を目視で確認してラベリングを行った．評価データに関しても同様に，作業者の骨格情報は自動推定ソフトを用いて抽出し，製品状態，作業者の両手作業箇所は，一枚ずつ画像を目視で確認してラベリングを行った．画像 1 枚に対して，骨格情報が 17 関節の x 座標および y 座標の値で 34 個，製品状態が 1 個，両手作業箇所が 2 個，要素作業が 1 個の合計 38 個のデータがあり，これらのデータを CSV ファイルで準備した．作業映像は各作業者 2 サイクル分撮影しており，1 サイクル目を学習，2 サイクル目を評価用とした．なお，対象としているセル生産の組立工程では，作業者ごとに行う組立工程が異なる．そのため，同一作業者のデータで学習・推定を行った場合の精度を評価することが重要であり，Cross-validation は行っていない．

表 2　　要素作業の作業内容

要素作業名	作業内容
PM-W1	吊耳取付け
PM-W2	ネジ止め
PM-W3	ヒートシンク調整
PM-W4	側面部品取付け
PM-W5	ネジ止め
PM-W6	ファン取付け
PM-W7	作業履歴記入
PM-W8	底面部品取付け
PM-W9	ネジ止め
PM-W10	ヒートシンク取付け
PM-W11	ネジ止め
PM-W12	モータ取付け
PM-W13	ファン部品取付け
PM-W14	カバー取付け
PM-W15	ネジ止め
PM-W16	外観検査



CSVファイル

	作業者の骨格情報					製品状態	右手作業箇所	左手作業箇所	要素作業
	目_x	目_y	…	右足首_x	右足首_y				
Image_00001	719.77	242.73	…	730.94	511.41	Status1	North	North	要素作業1
Image_00002	720.48	246.94	…	730.90	512.72	Status1	North	East	要素作業1
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

図 8　　学習・評価データの構成

評価方法

2 通りの評価実験について述べる．

実験 1 では，使用する作業情報の数と推定精度の関係を評価するため，提案手法を用いて以下の 4 つのモデルを作成し推定精度比較を行った．

- モデル 1.　作業者の骨格情報のみを GNN に適用し，要素作業を推定
- モデル 2.　作業者の両手作業箇所，作業者の骨格情報を GNN に適用し，要素作業を推定
- モデル 3.　製品状態，作業者の骨格情報を GNN に適用し，要素作業を推定
- モデル 4.　製品状態，作業者の両手作業箇所，作業者の骨格情報を GNN に適用し，要素作業を推定

実験 2 では，骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフを独立して定義し学習したモデル（モデル 4）と，結合して 1 つのグラフ構造として定義し学習したモデルの推定精度比較を行った．

- モデル 5.　骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフを結合して 1 つのグラフとして定義し，要素作業を推定

各モデルの推定精度指標には F 値を用いた．また，実験 1 では，各モデルの推定結果の分布についても評価を行っており，学習・推定に用いる情報を変化させることで推定精度および推定結果の分布に与える影響を分析した．実装には PyTorch を用いており，GPU 上で計算処理を実施した．



図 9　学習・評価データの構成作業者 9 名における各モデルの F 値比較

結果・考察

実験 1 について，作業者 9 人（Worker A~Worker I）の作業映像に対する，モデル 1，モデル 2，モデル 3，モデル 4 の F 値の比較を図 9 に示す．F 値の平均は，モデル 1 が 0.3869，モデル 2 が 0.3844，モデル 3 が 0.7948，モデル 4 が 0.7830 であった．モデル 1 とモデル 2 の F 値の平均値は同等，モデル 3 とモデル 4 の F 値の平均値も同等であり，モデル 1 とモデル 2 に対してモデル 3 とモデル 4 の F 値の平均値が大きく上回る結果となった．このことから，要素作業の推定において，使用する情報を増やすことで推定精度が向上する傾向にあること，および本稿で対象にした製品に対しては製品状態の情報が推定精度の向上に大きく寄与していることが確認できる．製品状態の推定情報を加えることで，作業の進行具合を概ね特定することができ，作業者の骨格情報，両手作業箇所の情報から，その製品状態における要素作業を詳細に推定することが可能になったと考えられる．対象にする製品によっては作業者の両手作業箇所の情報が極めて重要になることも考えられる．本稿で対象にした製品は両手作業箇所が 4 か所だが，数百から数万か所で作業する製品も存在する．作業箇所の数が膨大になるにつれて，作業箇所の情報から候補となる要素作業の絞り込みが可能となり，高精度な要素作業推定に大きく寄与すると考えられる．

また，各モデルの推定における傾向を確認するために，モデル 1，モデル 2，モデル 3，モデル 4 の要素作業推定結果の混同行列を図 10 に示す．X 軸は推定した要素作業，Y 軸は正解の要

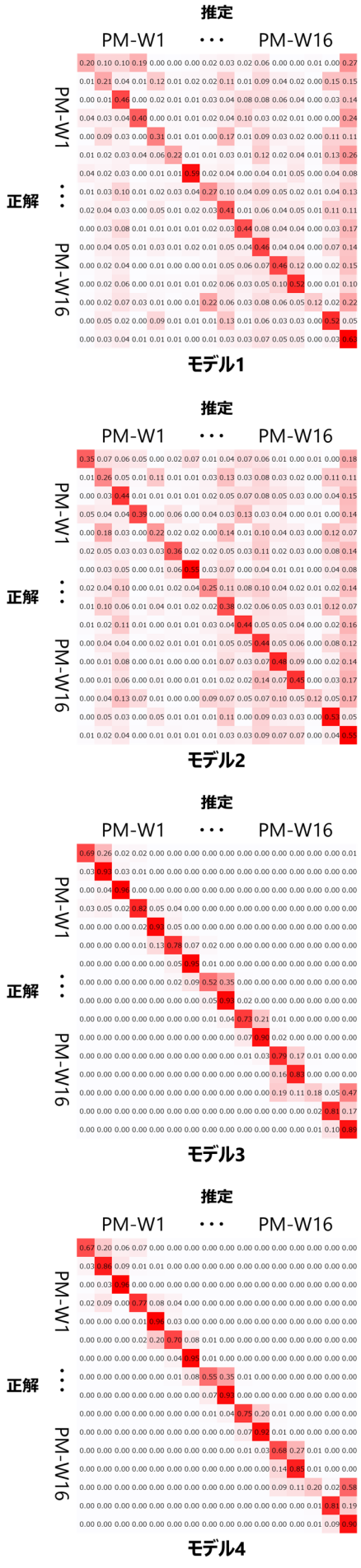


図 10　各モデルの推定結果の混同行列

素作業を表している．この結果からも，製品状態の情報が加わることで誤推定のバラつきが小さくなることが確認できる．製品状態の情報のみでは，同じ製品状態時に行われる作業内容を区別することができず，また，作業者の骨格情報と両手作業箇所の情報のみでは，類似している姿勢・位置で行う他の要素作業と識別することができない．3 つの情報を統合的に活用することで，候補となる要素作業の絞り込みが可能であることを示している．



図 11　　3 つのグラフ間の結合有無の違いによる F 値比較

実験 2 について，作業者 9 人の作業映像に対する，モデル 4，モデル 5 の F 値の比較を図 11 に示す．モデル 5 の F 値の平均は 0.7966 であり，3 つのグラフを独立して定義したモデル 4 より推定精度が高いことを確認した．セル生産の組立工程を構成する要素作業を正確に推定するには，作業者の情報だけではなく，作業を行っている製造対象や作業者と製造対象の作用点の情報を統合的に学習する必要がある．ある要素作業を行うときに，どのような姿勢で，どのような状態の製品に対して，どのような箇所で作業しているかという作業情報間の関連性をより詳細に捉えるため，提案手法では，骨格グラフの両手ノードと両手作業箇所の全ノード，および製品状態グラフの全ノードと両手作業箇所グラフの全ノードを新たに結合させた．これによって，GNN の畳み込み学習をする際に，作業者の骨格位置，製品状態，作業者の両手作業箇所の情報の 3 つが互いに関連する特徴をより詳細に捉えることが可能になり，推定精度が向上したと考えられる．なお，骨格グラフと製品状態グラフなど，2 つのグラフを結合させて 1 つのグラフとすることも構造上可能だが，結合するノードの選定やグラフ構造全体における説明性の観点から実施していない．

提案手法が十分な推定結果であることを確認したが，さらに推定精度を上げる施策としては，モデル・パラメータの調整や，学習データの増量が効果的と考えられる．

6　　まとめ

本稿では，作業者の骨格情報，製品状態，両手作業箇所の情報を統合的にモデル化し，要素作業の推定を行う新たな手法について述べた．統合的なモデル化には GNN を用いており，骨格グラフ，製品状態グラフ，両手作業箇所グラフの 3 つのグラフを結合した 1 つのグラフを定義した．作業者 9 名の作業映像に対して提案手法を評価したところ，最も高い F 値の平均が 0.7966 という結果を得て，3 つの情報を統合的に学習できていることを確認した．また，本稿の対象工程で実際に作業進捗管理を行う担当者の精度を確認すると，1 つの作業の開始時および終了時に平均 3~4 秒ずつの誤差があった．一方で，本手法を適用した場合，推定精度が 0.7966 であったことから，誤推定の割合は約 2 割となる．対象とした組立工程の総作業時間が約 15 分，要素作業数が 16 種類であることから，要素作業 1 つあたりに含まれる誤推定は平均約 11 秒であり，誤推定が作業の開始時と終了時に集中していることを踏まえると，各要素作業の開始時および終了時に平均 5~6 秒の誤差が生じることになる．この誤差は作業進捗管理において許容可能な範囲であり，本手法で代替した場合にも運用可能であることから，十分な推定精度であるといえる．本手法は，作業者が 1 人で組立作業を行うライン生産およびセル生産の作業現場で，外観が組立作業とともに遷移していく製品の工程であれば，汎用的に適用することが可能である．

本手法では，画像 1 枚から作業内容を推定しており，比較的少ない計算量で高速に推定することが可能である．一方で，作業内容を詳細に推定するには，作業の時系列を考慮した推定が効果的であると考えており，今後は本研究をベースに時系列性を考慮したモデルへの改良を進めていく．また，本稿では，製品状態の情報，および両手作業箇所の情報に正解データを用いて評価を行った．今後は，先行研究の手法で推定した値を用いて評価を行う．

参考文献

1. 独立行政法人情報処理推進機構: DX 白書 2023
2. 経済産業省，厚生労働省，文部科学省: 2022 年版　モノづくり白書
3. 経済産業省，厚生労働省，文部科学省: 2023 年版　モノづくり白書
4. Maeda, M., Sakurai, Y., Tamaki, T.: Method for recognizing operation statuses of metal cutting machine tools using spindle motor current, Transactions of the JSME, Vol.84, No.860, 2018(in Japanese)
5. 高村藤寿，西澤泉: 建設機械稼働データを活用した稼働状況の見える化と顧客価値の創造，システム制御情報論文誌, Vol.62, No.8, pp.323-327, 2018
6. 緒方淳，村川正宏，飯田誠: 風力発電スマートメンテナンスのための振動データ解析に基づく状態監視システムの構築，風力エネルギー利用シンポジウム, 37 巻, p.385-388, 2015
7. Zonghan, W., Shirui, P., Fengwen, C., Guodong, L., Chengpi, Z., Philip S., Y.: A Comprehensive Survey on Graph Neural Networks, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Vol.32, Issue:1, 2021
8. Kipf, T. N., Welling, M.: Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks, International Conference on Learning Representations, 2017
9. Obinata, Y., Yamamoto, T.: Temporal Extension Module for Skeleton-Based Action Recognition, 25th International Conference on Pattern Recognition, 2021
10. Komura, K., Horikawa, M., Okamoto, A.: Multimodal Learning of Sensing Data and Skeletal Data for Estimation of Worker Behavior, JIMA, Vol.74, p.31-39, 2023(in Japanese)
11. 総務省: 令和 2 年度版　情報通信白書
12. 小沢浩: セル生産による生産性増大の原理，組織化学論文誌, Vol.38, No.3, p.55-65, 2005
13. Morales, J., Yoshimura, N., Xia, Q., Wada, A., Namioka, Y. and Maekawa, T.: Acceleration-based Human Activity Recognition

of Packaging Tasks Using Motif-guided Attention Networks, Proceedings of the 2022 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, pp.1-12(2022).

14. Xia, Q., Korpela, J., Namioka, Y. and Maekawa, T.: Robust Unsupervised Factory Activity Recognition with Body-worn Accelerometer Using Temporal Structure of Multiple Sensor Data Motifs, Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., Vol. 4, No.3(2020).
15. Yoshimura, N., Maekawa, T., Hara, T., Wada, A. and Namioka, Y.: Acceleration-Based Activity Recognition of Repetitive Works with Lightweight Ordered-Work Segmentation Network, Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol., Vol. 6, No. 2 (2022).
16. Hammerla, N. Y., Halloran, S. and Ploetz, T.: Deep, Convolutional, and Recurrent Models for Human Activity Recognition using Wearables, Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.1533-1540 (2016).
17. Zhang, Y., Zhang, Z., Zhang, Y., Bao, J., Zhang, Y. and Deng, H.: Human activity recognition based on motion sensor using u-net, IEEE Access, Vol. 7, pp.75213–75226 (2019).
18. Garcia-Ceja, E., Galv´an-Tejada, C. E. and Brena, R.: Multi-view stacking for activity recognition with sound and accelerometer data, Information Fusion, Vol. 40, pp.45–56 (2018).
19. Cao, Z., Simon, T., Wei, S. and Sheikh, Y.: Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.43, pp.172-186(2021).
20. Liu, J., Shahroudy, A., Xu, D., Wang, G.: Spatio-Temporal LSTM with Trust Gates for 3D Human Action Recognition, Computer Vision and Pattern Recognition, 2016
21. Du, Y., Fu, Y., Wang, L.: Skeleton based action recognition with convolutional neural network, 3rd IAPR Asian Conference on Pattern Recognition, 2015
22. Ichihara, K., Takeuchi, M., Kanai, K., Katto, J.: Accuracy Evaluation of Human Motion Recognition Based on Pose Estimation, ITE Winter Annual Convention 2017(in Japanese)
23. Zheng, H., Kato, C., Komatsu, S., Aoki, K.: Motion Analysis of Traditional Korean Dance using Openpose and DTW Distance - Visualization of Differences between Expert and Beginner -, Journal of the Visualization Society of Japan 41, Vol.1, p52-55, 2021(in Japanese)
24. Yun, H., Nakamura, E., Kageyama, Y., Ishizawa, C., Kato, N., Igarashi, K., Suzuki, M.: Basic Study on Development of Action Recognition Technology Based on Human-Skeleton Data, 63rd Japan Joint Automatic Control Conference, 2020(in Japanese)
25. Shimizu, S., Hirayu, H., Asai, H.: Development of Failsafe Camera System for Fastening Work in Manufacturing Scene, The Institute of Electrical Engineers of Japan, Vol.129, No.5, p.916-922, 2009(in Japanese)
26. Kitsukawa, T., Moro, A., Pathak, S., Umeda, K., Harada, Y., Nishikawa, H., Noguchi, M., Hamaya, A.: Progress Estimation of Assembly Work Using Deep Metric Learning, Autumn conference of the Japan Society for Precision Engineering, 2022
27. Murai, K., Imai, T., Arai, K., Kobayashi, T.: Real-time Work Procedure Monitoring System by Deep Learning and Web Camera Using Results of Work Analysis at Manufacturing, Information Processing Society of Japan, CDS, Vol.10, No.3, 1-10, 2020(in Japanese)
28. Yoshii, T., Oshima, H., Shirakawa, Y., Nishimura, K., Kato, T., Maekawa, T. and Namioka, Y.: Human activity recognition in factory based on estimation of product state and human-object interaction area, Proceedings of the 84th National Convention of IPSJ, pp.21-22, 2022(in Japanese)
29. Oshima, H., Shirakawa, Y., Yoshii, T., Kato, T., Maekawa, T. and Namioka, Y.: Automatic Work Progress Recognition based on Product Status Estimation Using Deep Learning, Proceedings of the Manufacturing Systems Division Conference 2022 of JSME, pp.25-30, 2022(in Japanese)
30. Shirakawa, Y., Oshima, H., Yoshii, T., Nishimura, K., Kato, T., Maekawa, T. and Namioka, Y.: Human-object interaction area estimation based on human pose and optical flow in factory operation video, Proceedings of the 84th National Convention of IPSJ, pp.71-72, 2022(in Japanese)
31. Yan, S., Xiong, Y. and Lin, D.: Spatial Temporal Graph Convolutional Networks for Skeleton Based Action Recognition, Proceedings of the Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp.7444-7452(2018).
32. Li, C., Cui, Z., Zheng, W., Xu, C., Ji, R. and Yang, J.: Action-Attending Graphic Neural Network, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 27, pp.3657-3670(2018).
33. Ibsa K, J., Thanh-Dat, T., Jessica L, A., Han-Seok, S. and Khoa, L.: Movement Analysis for Neurological and Musculoskeletal Disorders Using Graph Convolutional Neural Network, MDPI, Future Internet, Vol. 13, No. 8(2021)..

智識文明論：近代文明の応学進化の可能性

The architecture of the 'Wisdom Civilization' ：A path of the adapteering evolution of the modern civilization

前田 充浩 [1*]
Mitsuhiro Maeda[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Mitsuhiro Maeda, maeda-mitsuhiro@aiit.ac.jp

Abstract　This paper analyzes the civilizational impact of the rise of the generative AI (Artificial Intelligence) based on the civilizational evolution model of the Applied Infosocionomics. The model shows a path diversity of civilizational evolution, based on an alteration between Engineering Civilizations and Adapteering Civilizations. An Adapteering Civilization is constructed on the philosophical basis of adapteering (a system of instrumental activism to change the status of internal utility functions of individuals). An Engineering Civilization is a civilization constructed on the philosophical basis of engineering (a system of instrumental activism to change the status of environment (outside of the individuals) according to the utility maximization principle on the fixed internal utility function.). The present modern civilization is a typical Engineering Civilization. At this moment, many systemic risks have been aroused in the modern civilization, mental health of individuals, global climate changes, unbearably huge gap of wealth for example. In order to solve these systemic risks, symptomatic treatments will not work, but only evolutions of the civilization itself could work. We have two path-strategies of evolution of the modern civilization. One is the evolution staying in the framework of the Engineering Civilization. This strategy is the path which we are developing. This paper proposes another strategy, the Adapteering evolution path. Since the present modern civilization is an Engineering civilization, a strategy of Adapteering evolution needs an alteration of evolutionary lineage of civilizations. The Applied Infosocionomics has recently developed the model of a new Adapteering civilization as the 'Wisdom Civilization'. This paper analyses strategic measures of accelerating the establishment of the 'Wisdom Civilization' and overviews the basic architecture of it.

Keywords　applied infosocionomics; civilizational evolution; adapteering; path diversity

1　本研究の概要

近時の AI（人工知能）の急速な発展は、産業社会の社会システムのあり方を根底から変化させつつあることが人々に認識されつつある。本書の目的は、このような「AI の発展が近代文明に与える影響について、人類の文明進化史の枠組みにおいて検討すること」である。端的には、AI の発展による社会システムの変化の規模は、人類の文明進化史の枠組みに照らすとどのようなものなのか。その変化は、あくまで近代文明の枠組みの中におけるものなのか、それとも近代文明とは別の新たな文明の構築に繋がるものなのか、という問いである。

本研究は、この問題について、近代文明の進化について集中的な研究を進めている駒場学派の文明進化史研究、特に情報社会学近代化モデルに基づいて検討を行うものである。

人類の文明進化の系譜を社会科学として研究する分野は、文明進化論、と呼ばれる。既に多くの先行研究が成果を生んでおり、その典型が、本研究が依拠する、いわゆる駒場学派の多系的文明進化モデルである。駒場学派とは、1970 年代から 1980 年代にかけての日本で、東京大学駒場キャンパスを本拠地とした東京大学教養学部の研究者、特に村上泰亮と公文俊平によって開始された、文明進化史観に関する独特の社会科学的方法論のことである。村上泰亮及び公文俊平が構築した文明進化史観は、多系的文明史観（A Multi-polarity view of civilizational evolutions）、と呼ばれる。

1993 年には村上泰亮が逝去し、その後の 2000 年、公文俊平は独自の社会科学である情報社会学（Infosocionomics）を立ち上げた。駒場学派の文明進化史研究は情報社会学に引き継がれ、情報社会学近代化モデルとして展開されている。2022 年には、情報社会学の中で、文明進化史研究に特化した研究が応用情報社会学（Applied Infosocionomics）として独立し、その研究に関する国際的な連携を推進するための組織として、世界応用情報社会学会（the Global Society of Applied Infocosionomics）が公文俊平を会長として発足した。筆者（前田充浩）は同学会の副会長を務める。同年にはまた、情報社会学近代化モデルの教科書である英文書籍（注：Shumpei Kumon＋Mitsuhiro Maeda ' Applied Infosocionomics － A Manifesto of Informatized Society Building in Developing Economies ', ERISE Press, 2022.）も世界同時出版され、以降、本件に関する国際共催セミナーが多く開催されて来ている。

応用情報社会学においては幾つかの文明進化史モデルが提示されている。本研究はその中で、公文俊平によって構築された、技術パラダイム文明進化モデルに立脚して、AI の発展の文明史的意味について分析していくこととする。

技術パラダイム文明進化モデルとは、要約すれば、以下のようなものである。

人類の文明進化の系譜には、工学（engineering）を中核的な技術パラダイムとする文明（工学文明）進化の系譜と、情報社会学近代化モデル独自の概念である応学（adapteering）を中核的な技術パラダイムとする文明（応学文明）進化の系譜の 2 つの系譜がある。人類の文明進化の系譜は、両者を交替で進化するものとなってきた。

図表で示すと、［図 1］のようになる。

	20万年前	5万年前	1万年前	3000年前	1000年前	将来①	将来②
工学文明	始代文明		古代文明		近代文明		超人文明？
応学文明		呪術文明		宗教文明		智識文明？	

図1　技術パラダイム文明進化モデルによる人類の文明進化の系譜（出典：公文俊平）

今日の近代文明は、人類史上登場した中で最も強力な工学文明である。AI は、その工学文明である近代文明の中で生み出されたものである。

そこで、「AI の発展の近代文明に対する影響について、文明進化史の枠組みにおいて検討すること」という本研究の課題は、

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

以下のように言いかえることが出来る。即ち、近代文明の中で生み出され、発展する AI のもたらす各般の影響によって、工学文明である近代文明は、工学文明としての進化系譜を更に進むこととなるのだろうか、それとも近代文明は終焉することとなり、新たな応学文明の誕生を招来することになるのだろうか、ということである。工学文明としての進化系譜に則った文明の進化を（近代文明の）工学進化、新たな応学文明の誕生を招来する進化を（近代文明の）応学進化、と呼ぶことができる。

公文俊平は、前者の進化系譜をラスト・モダン、後者の進化系譜をポスト・モダンと呼んで区別している。曰く、「20 世紀後半以来の近代化の「成熟」局面のとらえ方。近代は「情報化」によって成熟するとしても、そこで世界の全面的な近代化が完成し、「歴史＝近代世界史」は終焉してしまうのか。それともポスト近代の「新文明」への移行が始まるのか。始まるとすれば、それはどのような文明になるのか。」（注 1）。ポスト・モダンの進化系譜の可能性について、以下のように語る。「「近代文明」が無限に続くわけはなく、いずれは「ポスト近代文明」、これまでの私の用語で言えば、過去の大宗教文明に対比しうる「智識文明」が台頭して、「知の新しい進化段階」に向かう突破が進むことになるだろう。」（注２）。

現下の世界の情勢は、AI の発展が関係者の想像を遥かに超える猛烈な速度で進んでいることは疑いない。一方、その文明進化史における意義、即ち本研究の問いである「ラスト・モダンの系譜の進化が継続するのか、ポスト・モダンが到来するのか。」については、今日のところ、必ずしも明らかとはなっていないと言える。公文俊平の説明によると、その理由は、現下の近代文明においては、両者の動きが重畳して展開されているためである。曰く、「今日の人類文明は、一方で、16 世紀後半の西欧に始まりグローバルに伝播し発展してきた人間中心主義的な「近代文明」の、「成熟」局面を迎えている。他方で、近代文明そのものを超える「後（ポスト）近代文明」ないし「超（トランス）近代文明」の「出現」局面も始まっている。20 世紀後半以降、その両方が同時並行というか「重畳」して進行していることに着目して議論を展開している。」（注３）。

本研究は、このような重畳した動きについて、第１に、ラスト・モダンの進化系譜の動きとポスト・モダンの進化系譜の動きとを峻別し、第２に、後者の動きの結果、招来される新たな応学文明である智識文明の枠組みを明らかにし、その構築を円滑に進めるための制度の在り方について検討していく。

本研究では、以下のような順で検討を進めていく。

第１に、公文俊平の技術パラダイム文明進化モデルの枠組みを整理する。この中では、工学文明である現行の近代文明が、応学進化を遂げる動因までもが内生的に組み込まれていることに注目が必要である。

第２に、近代文明が応学進化を遂げた結果誕生することとなる智識文明について、その文明の枠組みを検討する。そのためには、人類の文明進化史の中の応学文明一般の枠組みを検討することが必要となる。

第３に、これらの検討結果を踏まえて、AI の発展が円滑に智識文明の構築をもたらすことができるような制度の在り方について検討する。

2　技術パラダイム文明進化モデル

2.1　技術パラダイム文明進化モデル

村上泰亮、公文俊平等いわゆる駒場学派は、1970 年代末に開始された一連の研究によって、多系的文明進化史観のモデルを構築した。更に 2000 年に公文俊平により開始された情報社会学（Infosocionomics）の研究においても、文明進化モデルは中核的な研究として推進されている。

情報社会学の研究において現在発表されている文明進化モデルとしては、第１に、情報社会学近代化モデルがある。これは分析対象を 16 世紀半ば以降の近代文明の範囲に限定したものである。第２が、本研究の依拠する、技術パラダイム文明進化モデルである。応学進化の概念は、この技術パラダイム文明進化モデルにおいて構築されたものである。

技術パラダイム文明進化モデルは、文明進化の方向性に、未来志向型文明の系譜と過去志向型文明の２つの系譜を設定し、時間の経過とともに、世界の趨勢となる文明は、両系譜の交互となる、という文明進化史観を示す。なお筆者は、技術の側面をより強調するために、未来志向型文明を工学文明、過去志向型文明を応学文明、と呼ぶ。

未来志向型文明とは、最終的に人類が構築すべき理想となる形態の社会システムのモデル（準拠理想型）は、未だ人類の文明進化史においては出現しておらず、それは未来にあると考える文明であり、過去志向型文明とは、準拠理想型の社会システムは過去に存在し、人類の社会システムは時間の経過とともに堕落しつつある、と考える文明である。

両系譜の文明型を決定するのは、文明の運営において用いられる技術の内容（技術パラダイム）であり、２つの類型の技術パラダイムが示されている。

第１は、情報処理機構としての人間の内面には関与せず、人間の外部である世界の状態を変更するために用いられる技術の体系である。これを公文俊平は、物的技術と呼ぶ。これは、通常考えられている内容の技術パラダイムであることになる。

第２は、人間の内面、即ち人間の情報処理機構のあり方そのものを変更するために用いられる技術の体系であり、これを公文俊平は、心的技術と呼ぶ。

この２つの技術パラダイムは、文明進化の２つの系譜に対応する。物的技術を発展させる文明が未来志向型文明であり、心的技術を発展させる文明が過去志向型文明である。地球上にこれまで成立した文明は、物的技術突破型の文明進化系譜上は、第１に始代文明であり、第２に古代文明であり、第３が現下の近代文明である。心的技術突破型の文明進化系譜上は、第１に呪術文明であり、第２が近代文明に先行した宗教文明である。

この文明進化モデルは、文明進化の動因をモデルに内生的に組み込んでいる。それを示すのが、「文明進化の３公理」である。第１公理は、「未来指向型の文化をもつ文明は物的技術の突破に成功する」ことである。第２公理は、「過去指向型の文化をもつ文明は心的技術の突破に成功する」ことである。第３公理は、「文明の交代は、発展の限界に達した既存文明の周辺に生ずる「文化革命」が契機となる（文明の限界は新文化で乗り越える）」ことである。

これらの公理が示すところによると、どちらかの系譜上にある現行文明は、文明内の技術の突破により、同一の系譜上の文明進化を遂げることとなる。第 1 公理は、未来志向型文明についてその動因、即ち工学文明の工学進化のメカニズムを述べたものであり、第 2 公理は、過去志向型文明についてその動因、即ち応学文明の応学進化のメカニズムを述べたものである。更に、別の系譜を交互に歩む人類の文明進化史全体の進化系譜について述べたものが第 3 公理である。これによると、未来志向型文明は、発展の限界に達した場合、未来志向型文明の周辺に生ずる「文化革命」によって生み出される新文化によって文明進化を遂げることとなる。この場合の新文化は、応学を基盤にするものであり、新しく構築される文明は過去志向型文明になる。これが、工学文明の応学進化のメカニズムである。

過去志向型文明は、発展の限界に達した場合、過去志向型文明の周辺に生ずる「文化革命」によって生み出される新文化によって文明進化を遂げることになる。この場合の新文化は、工学を基盤にするものであり、新しく構築される文明は未来志向型文明になる。これが、応学文明の工学進化のメカニズムである。

以上が技術パラダイム文明進化モデルの骨格である。

ここで用いられている物的技術及び心的技術の概念を、それぞれ工学、応学と呼び、その内容を経済学の効用関数の概念で整理したのが、拙稿（注 4 ）であり、以下のようなものである。なお、応学とは、1980 年代初頭、「人間・居住・環境」というテーマが設定された筑波科学技術博覧会（筑波博）の居住分科会において、分科会委員として参加していた公文俊平によって提示された概念である。

物的技術とは、環境から情報を受け取る人間側の情報処理機構には手を付けず、人間の有する効用関数も一切変更することなく、その効用関数に基づき効用を最大化するために人間が、人間の外側の世界（環境）に働き掛けるために用いられる一連の手続き（技術）である。一方、人間の外側の世界に働き掛けるのではなく、人間の内側、即ち情報処理機構に働き掛けて、人間の効用関数そのものを変更しようとするための一連の手続きもまた技術として捉えるべきであり、それが心的技術である。技術とは、「対象の状態を変更しようとして行われる操作的な手続きの体系」であり、この場合の対象には、人間の外側の世界（環境）の場合もあれば、人間の内側の情報処理機構の場合もあることになる。人間の内側の情報処理機構を対象にして技術が用いられる場合には、人間が保有している、その人間の行動を律する原理である効用関数そのものが変更されることになる。

物的技術は、一般的には工学（engineering）と呼ぶことができる。心的技術は、公文俊平が提唱した応学（adapteering）の概念で捉えることが出来る。その内容は工学（engineering）の対概念であり、工学が人間の効用関数は所与のものとした上で、その効用を増大するために人間の外部環境を操作するための手続きの体系であるのに対して、外部環境の状態を所与のものとした上で、その外部環境の中で高い効用を享受できるように人間の内部に働き掛け、効用関数そのものを変更していくために用いられる手続きの体系であるとされる。

なお、筑波科学技術博覧会（筑波博）居住分科会では、1982 年に、この応学の概念を用いて、近代文明の進化の方向性として、「工学から応学へ」という提言が行われた。

2.2 近代文明の工学進化（第 2 産業化）

AI の発展によってもたらされる文明進化を、工学進化、即ち工学文明である近代文明の枠組みを維持した上で捉える見解の典型は、情報社会学近代化モデル（the Modernization Model of Infosocionomics）における第 2 産業化（autonomation）の考え方である。

情報社会学近代化モデルは公文俊平が構築したものであり、情報社会学（Infosocionomics）の研究の中核をなすモデルである。情報社会学近代化モデルとは、16 世紀半ば以降の近代文明の動きを、国家化（政治の動き）、産業化（経済の動き）及び情報化（ソーシャルの動き）の 3 つの動きの重畳で捉えるとともに、それぞれの動きが時間の経過とともに変化していくことにより、社会全体の態様が大きく変化していくことを捉えたモデルである。詳しくは、教科書（注 5）を参照在りたい。

このうちの産業化の動きについては、以下のように捉えられる。産業化は、概ね 18 世紀半ばに開始され、18 世紀半ばから 20 世紀半ばにかけての期間は、労働産業化という形態（第 1 産業化）が趨勢であり、20 世紀半ばからは、知能産業化という形態（第 2 産業化）が重要性を高めているとする。この、労働産業化（第 1 産業化）から知能産業化（第 2 産業化）への遷移の大きな契機が AI の発展であると捉えられることとなる。第 1 産業化は、産業活動全般の企画運営において、人間がイニシアティブを採って進める産業化であり、automation と呼ばれる。この枠組みの中において、第 1 次、第 2 次及び第 3 次の 3 つの産業革命が展開されて来た。18 世紀後半に開始された第 1 次産業革命は、石炭と蒸気機関を動力として、鉄工業と軽工業を主導産業として、中小企業による自由競争市場を典型的な市場の態様とするものであった。19 世紀後半に開始された第 2 次産業革命は、石油・電力と内燃機関・電動機を動力として、重化学工業と耐久消費財工業を主導産業として、大企業による寡占的市場支配を典型的な市場の態様とするものであった。20 世紀後半に開始され、現在進行中の第 3 次産業革命は、情報とコンピューターを基幹プラットフォームとして、デジタル情報通信産業を主導産業として、グローバル・プラットフォーマーによる支配を典型的な市場の態様とするものと見ることが出来る。このような変遷を遂げている産業化ではあるものの、第 1 次産業革命も、第 2 次産業革命も、第 3 次産業革命も、共通して、人間がイニシアティブを採って進められる産業化（労働産業化）であることには変わりない。

情報社会学近代化モデルではこれに対して、20 世紀後半には、もう 1 つの類型の産業化である知能産業化が進展しつつあると見る。これは、産業活動全般に亘って、AI がそのイニシアティブを取ることによって進められる産業化である。人間が介在しない産業化、と見ることも出来る。今日は、労働産業化の中の第 3 次産業革命と、知能産業化の第 1 局面が重畳して進展しつつあることになる。

知能産業化の考え方は、21 世紀の初頭に、第 2 機械論、シン

ギュラリティの議論等を基盤にして公文俊平が提示したものである。暫くの間、応用情報社会学者の間でもその現実性については議論のあったところである。一方この数年間、生成 AI の登場により、現実性が極めて高くなって来ていると見ることが出来る。

但し確認すると、労働産業化から知能産業化への遷移は、近代文明の枠組みの中における遷移であり、文明の態様に大きな影響を与えるとしても、それは工学文明である近代文明の工学進化を意味するのであり、工学文明から応学文明への移行をもたらす文化革命には当たらない。

近代文明における局面遷移については、以下のようにまとめられる。

	1550ー	1650-	1750-	1850-	1950-	2050-	2150-
国家の形態	主権国家	主権国家	主権国家				
			国民国家	国民国家	国民国家		
					統合国家	統合国家	統合国家
主導産業			労働産業化 産業革命Ⅰ	労働産業化 産業革命Ⅱ	労働産業化 産業革命Ⅲ		
					知能産業化 産業革命Ⅳ	知能産業化 産業革命Ⅴ	知能産業化 産業革命Ⅵ
情報化					情報化Ⅰ	情報化Ⅱ	情報化Ⅲ

図2 情報社会学近代化モデル（出典：公文俊平を筆者が加工）

なお、情報社会学近代化モデルでは、以下のように、それぞれの産業革命の中に、更に概ね半世紀を単位とする主導産業の遷移を設定している。

	1750-	1800-	1850-	1900-	1950-	2000-
Industrial Revolution I	Steam/steel	Steam/steel Textile/light industries	Steam/steel Textile/light industries Railway/ infrastructure	Textile/light industries Railway/ infrastructure	Railway/ infrastructure	
Industrial Revolution II			Heavy/chemical /electric	Heavy/chemical /electric assembly	Heavy/chemical /electric Assembly Service/finance	Assembly Service/finance
Industrial Revolution III					Digitization/ networking	Digitization/ networking DX

図3 第１産業化の各産業革命における主導産業の遷移（出典：公文俊平）

第２産業化においても同様に、概ね半世紀を単位とする主導産業の遷移があるものと考えられるところ、現時点では、それは以下のように整理されている。

	1950-	2000-	2050-	2100-	2150-	2200-
Industrial Revolution IV	Big data/ platformer	Big data/ platformer AGI	Big data/ platformer AGI ?	AGI ?	?	
Industrial Revolution V			?	? ?	? ? ?	? ?
Industrial Revolution VI					?	? ?

図4 第２産業化の各産業革命における主導産業の遷移（出典：筆者作成）

以上が AI の発展を、工学文明である近代文明の工学進化の枠組みにおいて捉える考え方の整理である。AI の発展は、産業化の新たな段階への局面遷移をもたらすという意味において近代文明の進化をもたらすことになるとしても、その影響は工学進化の枠組みの中に留まるため、AI の発展による産業化の局面遷移は、近代文明の終焉、交替を意味するものとはならない。

2.3 近代文明の応学進化

これに対して、AI の発展は、上記公文俊平の文明の 3 公理における第３公理（「文明の交代は、発展の限界に達した既存文明の周辺に生ずる「文化革命」が契機となる（文明の限界は新文化で乗り越える）」）で言う「文化革命」の契機となり、それにより工学文明である近代文明の中から新たな応学文明が生じ、それが智識文明として世界の趨勢となる、とする見方が近代文明の応学進化の考え方である。

公文俊平は、以下のような問題設定を行っている。

「近代は「情報化」によって成熟するとしても、そこで世界の全面的な近代化が完成し、「歴史＝近代世界史」は終焉してしまうのか。それともポスト近代の「新文明」への移行が始まるのか。始まるとすれば、それはどのような文明になるのか。」。「「近代文明」が無限に続くわけはなく、いずれは「ポスト近代文明」、これまでの私の用語で言えば、過去の大宗教文明に対比しうる「智識文明」が台頭して、「知の新しい進化段階」に向かう突破が進むことになるだろう。」（注６）。

「今日の人類文明は、一方で、16 世紀後半の西欧に始まりグローバルに伝播し発展してきた人間中心主義的な「近代文明」の、「成熟」局面を迎えている。他方で、近代文明そのものを超える「後（ポスト）近代文明」ないし「超（トランス）近代文明」の「出現」局面も始まっている。20 世紀後半以降、その両方が同時並行というか「重畳」して進行していることに着目して議論を展開している。」（注７）。

本研究で述べて来ているように、近代文明の今後の進化の系譜としては、工学文明である近代文明の枠組みの中での進化の系譜と、応学進化の系譜の２つがあり得ることになり、AI の発展はその両方を牽引することが考えられる。情報社会学近代化モデルの用語を用いると、AI の発展は、近代文明の成熟局面を牽引すると同時に応学進化を牽引して新たな応学文明（智

識文明）の構築を主導するものと考えられる。AI の発展は、文明進化史の 2 つの異なる動きを牽引する役割を果たすこととなるのである。曰く、「現在は、近代文明の「突破」から「成熟」へと、重畳しつつ転換していく過程にある。同時に、さらに、「近代文明」から「後（ポスト）近代文明」への転換という、文明史的な大転換過程にも入っている。つまり、今日、「小重畳」および「大重畳」として互いに区別することが適切な、二重の重畳が同時並行的に発生しているのである。ここで小重畳とは、近代文明それ自身の「突破の成熟」と「成熟の出現」の重畳を指す。そこに重畳する形で始まったのが、近代の成熟大局面の出現（つまり「成熟の出現」）である。それは、統合国家化、産業知能化、情報化という 3 つの流れの複合である。もう 1 つの重要な「重畳」にも目を向けないわけにはいかない。それは、近代文明の「成熟」と後（ポスト）近代文明の「出現」との重畳である。」（注 8）。

即ち、今日の近代文明は、AI の発展により、工学進化の過程と応学進化の過程とを重畳して進んでいると見ることが出来る。

公文俊平は、その役割の違い生む根拠を、AI の質に見るアプローチを取っている。曰く、「現在の人工知能（AI）は、ANI（Artificial Narrow Intelligence、特化人工知能）、または「弱い人工知能」と AGI（Artificial General Intelligence、汎用人工知能）、または「強い人工知能」に大別されている。」（注 9）。「弱い人工知能」を近代文明の成熟局面に、「強い人工知能」を「後（ポスト）近代文明」ないし「超（トランス）近代文明」の出現局面に、それぞれ対応させることができるだろう（注 10）。「汎用人工知能 AGI」ないし「強い人工知能」は、「問題を解決し、学習し、さまざまな環境の中で効果的かつ人間的な行動を取る能力」をいう。あるいは、「強い人工知能」という概念を作った哲学者のジョン・サールによれば、人間と同じような「心」というか「認識状態 cognitive state」をもつにいたった人工知能のことをいう。」（注 11）。

ここで問題になるのは、今日の AI が「強い人工知能」の域に到達したものであるかどうかである。日々刻刻進化を続ける AI の現状を評価することは困難であるものの、総じて言えば、生成 AI の実用化が進む今日、「強い人工知能」が近いうちに世界を席巻することを阻む有力な根拠を見出すことは困難であると言える。即ち、今後の文明進化については、「強い人工知能」に基づく文化革命が発生し、工学文明である近代文明が応学進化を遂げる可能性を前提にした準備が必要とされていると考える。

それでは、「強い人工知能」に基づく文化革命とはどのようなものになり、それによって招来される新たな応学文明である智識文明の構造はどのようなものとなるのだろうか。

筆者が技術パラダイム文明進化モデルを整理したところによると、応学文明とは、以下の 2 つの柱によって構築される文明であるとされる。

第 1 の柱は、過去において存在した準拠理想型の社会システムの構造が明確にモデル化されていることである。

工学文明においては、準拠理想型は、将来において実現するものであるとされているため、その社会システムの構造は、現時点では明確とはならない。このため、工学文明は未来志向型文明と呼ばれる。これに対して応学文明が過去志向型文明と呼ばれるのは、準拠理想型を、人類史のこれまでの時間において成立したと見做される社会システムの構造に求めるためである。

勿論、この場合に準拠理想型とされる社会システムは、実際に過去において存在したものであることは求められない。必要な要件は、応学文明を構成する社会思想の理論体系が、準拠理想型とされる、ある特定の形態の社会システムが過去において存在したことを示し、そのような準拠理想型の社会システムが存在したことを前提にして論理体系が構築されていることである。

宗教文明は応学文明であり、その典型の 1 つがイスラム教の社会システムである。ここでは、準拠理想型は、預言者ムハンマドが存命中だった当時の社会システムであるとされている。預言者ムハンマドが存命中だった当時の社会システムを準拠理想型として設定することが、宗教文明であるイスラム教文明の基盤をなすイスラム教という社会思想に整合的であることが重要なのであり、実際に当時の社会システムの態様が教義の示す通りのものであったのかどうかの実証は問題にならない。

第 2 の柱は、独自の心的技術の体系を有していることである。

心的技術とは、当該文明の中に生きる人々がそれぞれ有する効用関数そのものを変更する手続きの体系のことである。効用関数は、人々が、それに基づいて自らの行動を決定し、自らを律する基本的な方針を定める際の根拠となるものであり、余程の強烈な体験がなくてはそれは変更されることはない。そのような余程の強烈な体験を提供するのが心的技術であり、それが制度化されている社会制度が応学文明である。工学文明においては、人々は人生において一旦確立された効用関数を死ぬまで堅持し続けるという前提に立っており、文明上の制度によってそれを変更することは想定されていない。

以上のように、応学文明が成立するためには、かつて地球上に存在したと見做すことが出来る準拠理想型の社会システムのモデルが示されることと、独自の心的技術の体系が構築されることの 2 つの要請があることになる。近代文明が応学進化を遂げて智識文明という新たな応学文明が構築される可能性を考えるのであれば、智識文明は、これら 2 つの要請に応えるものであることが必要になる。

2.4 近代文明の応学進化に関する先行研究（「本来－適応モデル」）

近代文明においても、社会思想としての準拠理想型を設定し、言わば未来志向型文明である近代文明を過去志向型文明的に運営すべきだとする先行研究は存在する。その典型が、大橋力の「本来－適応モデル」である。

「本来－適応モデル」に関して、大橋力が著作（注 12）で示している内容を筆者が要約すれば、以下のようになる。

生物の活動領域には、本来領域、適応領域及び自己解体領域の 3 つがある。本来領域は、生物が最小の生存コストによって生存・活動を行える領域である。適応領域は、生物はデフォルト状態では生存・活動を行えないものの、コストをかける（我

慢する、耐える、進化する等）ことによって生存・活動を行える領域である。自己解体領域は、いかなるコストをかけても生存・活動が行えない領域であり、そのような状況に追い込まれると、生物はDNA上予めセットされている自己解体プログラムを起動させて自己解体を進めることになる。生物のDNAにこのような自己解体プログラムがセットされていることを明らかにしたことが、大橋力の生物学者としての最大の功績であると言える。

このような本来領域、適応領域及び自己解体領域は、それぞれの生物のDNAに生得的にセットされており、生物はそれらを変更することは出来ない。このことから大橋力は、「DNAはバイブル」という主張を展開する。

この大橋力の「本来－適応モデル」は、形式上は以下のように、本研究で見ている応学文明の構造を示していることになる。応学文明とは、第1に、準拠理想型の社会システムのモデルが設定され、第2に、それを実現するために用いられる独自の心的技術が明示されている社会制度を指す。

「本来－適応モデル」で述べる本来領域とは、ある種の準拠理想型を示すものとして見ることが出来る。即ち、文明の準拠理想型は、大半の人々が、生物としての本来領域に在って、生存のために用いるコストを最小にしている社会システムであることになる。人類は文明進化史において、その生存領域を次々に拡大して来たものの、それは生存領域を、本来領域を外れて適応領域へと移すことに他ならず、結果として人類は、文明進化によって、生存のためのコストを多大に支払うライフ・スタイルに移行して来たことになる。

本来領域から適応領域への移行が、生存コストだけの問題であれば、文明において、適応領域における生存を可能にするだけのコストを生産するようにすれば良く、価値判断として、大半の人々が本来領域に生息していた時期を準拠理想型として高く評価する理由は判然としない。

ここで大橋力は「報酬系というフィードバック・メカニズム」の考え方を提示する。

報酬系回路とは、その活性化により生物に快感、高揚感等の肯定的な精神状態をもたらす神経回路であり、ドーパミン、エンドルフィン等、俗に「脳内麻薬」と呼ばれる神経伝達物質が関与する。「本来－適応モデル」は、この報酬系回路を、生物がその生存領域をできるだけ本来領域へと向かわせるフィードバック機構として捉える。

即ち、生物は、本来領域において生存している場合に、最大の報酬系回路の活性化（快感）を得る。生存領域が本来領域から外れて適応領域に移ると、適応の度合いの大きさに応じて報酬系回路の活性化（快感）は低下する。このため生物としては、より大きな報酬系回路の活性化（快感）を追求するだけで良く、それが結果として自らの生存領域を、適応領域から本来領域へと向かわせることとなる。

即ち、本来領域における生存は、生存のためのコストが極小化されるだけではなく、脳内で報酬系回路が活性化されている状態、端的には、気持ち良さを体験している状態であることになる。これは人間の生存にとって積極的な価値であると見做すことが出来る。このことから、「本来－適応モデル」における本来領域は、応学文明における準拠理想型としての社会システムのモデルを示すものと見ることが可能であることになる。

更に、「本来－適応モデル」は、独自の心的技術の考え方も提示していると見ることが出来る。文明社会の中で、私達はどのようにして報酬系回路の活性化（快感）を得ることが出来るのか。その方法論が、「本来－適応モデル」独自の心的技術を示す。

人間にとっての生存の本来領域が、熱帯雨林に代表される森の中であることは想像に難くない。実際に、森の中で時間を過ごすことは、癒し、リラクゼーション等と呼ばれるように、人間の報酬系回路の活性化（快感）にポジティブな効果をもたらすと考えられる。しかしながら、地球の地表上の人間の人口密度が増大すると、全ての人々が全ての時間を森の中で過ごすことは物理的に不可能になる。特に、近代文明の中では、その可能性は極めて低い。近代文明人は、物理的制約により、生存に多大なコストを支払う適応領域で生存するしかないのである。即ち、報酬系回路の活性化（快感）を実現する方法論として、実際に自らの生存領域を本来領域とする、とする選択肢は採り得ないのである。

一方で「本来－適応モデル」においては、独自の心的技術の体系が示されている。それは、人間を含む生物の脳内に生得的にセットされている報酬系回路を活性化させることである。そのために「本来－適応モデル」が提示するのが、祝祭芸能、即ち伝統的な形態の祭りである。祝祭芸能においては、各種の芸能（歌、音楽、踊り、儀式等）の実施により、様々な類型の音及び光が生産され、その場に在る者の五感を多層的に同時に刺激する位相空間（topographic space）が現出しており、その位相空間において、様々な類型の音及び光に曝露されることによって人々の報酬系回路は活性化され、快感が得られる、というものである。

この場合の、位相空間の構築をもたらす各種芸能の実践が、心的技術であることになる。「本来－適応モデル」においては、各種芸能の実施は、宗教儀式、芸術活動等である以前に、人間に報酬系回路の活性化（快感）をもたらすための心的技術として捉えられることになる。

このような「本来―適応モデル」を基盤にして、大橋力は独自の文明進化史モデルを提示している（注13）。それによると、人類の文明進化史には、2つの系譜が存在する。なお、この文明進化史は、大橋力自身はそうは呼んでいないものの、出典のタイトルを取って、地球文明史観、と呼ぶこととする。人類の文明進化史に2つの系譜を設定すること自体は技術パラダイム文明進化モデルと同様であることになる。

第1の系譜は、大橋力が単個体脳機能文明と呼ぶものであり、これには具体的に、シュメール文明、弥生文明及び近代文明が含まれるとする。

第2の系譜は、大橋力が群個体脳機能文明と呼ぶものであり、これには具体的に、縄文文明、ピグミー社会の文明及びバリ島文明が含まれるとする。

このような文明進化史の系譜と報酬系回路の活性化（快感）との関係については、次のようにまとめられる。文明下において報酬系回路の活性化（快感）を実現する心的技術として最も

効果が高いものが、祝祭芸能による位相空間の構築である。祝祭芸能は、一人で行うことは不可能であり、集団が、集団全体として一つの心にまとまって、即ち共通の情報処理アルゴリズムに基づいて行動することが不可欠となる。それを可能にするのは、群個体脳である。群個体脳文明とは、恒常的に祝祭芸能を運営する志向を持った文明であることになり、この意味で本来領域志向文明である、と見ることが出来る。一方単個体脳機能文明は、文明の構造の中に人々の生存領域を本来領域へと向かわせる機構が存在しないため、適応領域志向文明であると見ることが出来る。

以上のような「本来－適応モデル」に基づく文明進化史観は、技術パラダイム文明進化モデルとの親和性を持つと言える。群個体脳機能文明は、本来生存領域が準拠理想型として設定され、またそれの実現のために用いられる独自の心的技術も、祝祭芸能による位相空間の構築としてモデル化されているため、技術パラダイム文明進化モデルで言う過去志向型文明に当たると見ることが出来る。また、心的技術とされる位相空間の構築のために用いられる祝祭芸能は、人間の報酬系回路の活性化（快感）を実現するため、これをある種の応学と見ることも可能である。即ち、群個体脳機能文明は、本研究で応学文明と呼ぶものと内容上多くを共通にすることになる。

以上の対応を整理すると、［図５］のようになる。

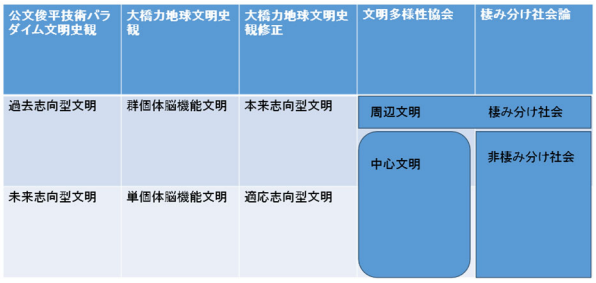


図5　　技術パラダイム文明進化モデルと地球文明史観の対応（出典：筆者作成）

一方、技術パラダイム文明進化モデルに則って、AI の発展を契機とする近代文明の応学進化の可能性を検討するという本研究の課題に即すると、上記の地球文明史観をそのまま採用して、近代文明が応学進化を遂げることによって招来される新たな応学文明がある種の群個体脳機能文明である、とする見解を採ることはできない。

その理由は、人類は文明進化史において、常に文明を進化させて来ているためである。工学文明と応学文明とが交互に出現するとしても、工学文明の進化系譜及び応学文明の進化系譜において、常に文明は進化するのである。本研究は、工学文明である近代文明の応学進化の可能性を検討しており、ポスト近代文明として、新しい応学文明（智識文明）の出現を想定している。この場合の智識文明は応学文明ではある一方、応学文明の進化系譜上は、過去の応学文明である宗教文明に比べて進化したものとなる。ポスト近代文明として工学文明である近代文明が放棄された結果として到来するのは、宗教文明への回帰ではなく、新たな応学文明の対応である。

因みに、近代文明の放棄の結果として宗教文明へ回帰するという、技術パラダイム文明進化モデルから見ると「間違い」の現象は、広く今日の世界で見られている。ウズベキスタン、キルギス等の中央アジアの移行経済圏諸国においては、近代文明の最先端とされたマルクス・レーニン主義が放棄された後、各地でイスラム回帰が進んでおり、イスラムの社会制度と国民国家の社会制度との齟齬が大きな問題を生みつつある。

応学文明の進化系譜を見ると、直前の応学文明は宗教文明であることは確かではあるものの、ポスト近代文明として到来する新たな応学文明に生きることとなる人々は、宗教文明に生きた人々と比べて、工学文明である近代文明の洗礼を決定的に受けていることを想起すべきである。智識文明は、宗教文明よりも進化した文明であることに加えて、近代文明の清華を存分に享受するものとなるのである。

このような、工学文明の進化系譜と応学文明の進化系譜の双方を視野に入れた人類の文明進化の系譜に立つと、今後の近代文明の進化の方向性については、以下のように整理される。繰り返している通り、今日の近代文明においては、公文俊平の言う「近代文明の「成熟」と後（ポスト）近代文明の「出現」との重畳」が展開されている。この状況を踏まえ、公文俊平は、ハラリ（Harari, Yuval Noah）が『ホモ・デウス』（注 14）で示した見解に言及しつつ、今後の文明進化の方向性について、３つの可能性を示している。「その第 1 は、ハラリの懸念するような人間の独自性を否定する方向への「データ教」の展開に重畳して、さらに徹底した人間否定型の新文明――いってみれば「すばらしい新世界」の 21 世紀版――が出現しつつある可能性である。その第 2 は、成熟する近代文明が人間主義の普遍化的「止揚」に成功していわば有終の美を飾るのに重畳して、それをさらに発展させる形の後（ポスト）近代文明が宇宙空間に拡大していく可能性。そこでは「悟り」を開いた人間と高度に発達した人間能力拡張型人工知能とが共働して、新しい文明が築かれ、台場のいう「涅槃」がついに実現されることになるだろう。筆者としては、それが実現することを希望し予想したい。その第 3 は、人工知能開発が暴走して、なんらかの形の汎用人工知能（超知能）を生み出し、それが地球（と宇宙）の新たな支配者となる可能性。悲観主義者はそこに人類とその築き上げてきた文明の絶滅を予想する。しかし、楽観主義者は、シンギュラリティの到来による「超（トランス）近代文明」の訪れに、人間はおろか生命をも超越した新たな宇宙文明の出現を期待する。」（注 15）としている。

まとめると、可能性の第 1 は、「データ教」型の人間否定型の新文明が出現するものであり、可能性の第 2 は、成熟する近代文明が人間主義の普遍化的「止揚」を進めるものであり、可能性の第 3 は、「人工知能開発が暴走して汎用人工知能（超知能）を生み出しそれが地球（と宇宙）の新たな支配者となる」ものである。

論理的には、これら 3 つの方向性の全てに可能性はあることになる。現に公文俊平は、かつてこのうちの可能性の第 3 を採り上げ、それを超知能文明と呼び、近代文明から超知能文明へ

の移行過程を分析した。

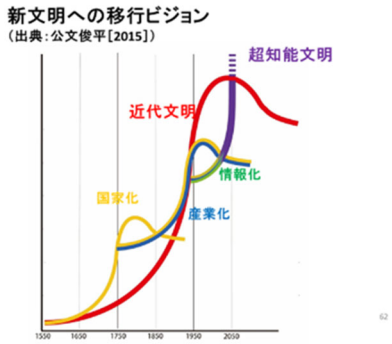


図6　　超知能文明（出典：公文俊平［2015］）

一方、この超知能文明のシナリオを元にして応学進化の可能性を考えることは不可能である。超知能文明とは、汎用 AI がイニシアティブを採って運営される文明であり、そもそも人間がイニシアティブを採る文明のように、文明が社会思想を基盤として運営されるものになるのかどうかが疑問であることに加え、仮に超知能文明にも社会思想が見られるとしてもそれが、理論上過去に存在したとされることになる社会システムを準拠理想型とすることに整合的な理論体系を持つことは考え難いためである。

このため本研究では、第 2 の可能性を追求することとする。この結果、現行の近代文明の応学進化の可能性を検討するという本研究の課題に対応するためには、人間主義の普遍化的「止揚」を果たした上で、応学文明の枠組みを構築するという要請に応えていく必要があることになる。

人間主義（Humanism）とは、ハラリの『Homo Deus』 を公文俊平が要約したところによると、以下のようにまとめられる。近代のサピエンスは、新しい宗教の一種としての「人間主義（ヒューマニズム）」と科学との盟約・協調のもとに生きるようになった。人間主義の中心的教義は、人間の「経験」こそが意味と権威の源泉である。それによって人間は（自らの内的経験をもとに作り出す）「意味」（と「価値」と「権威」）を、（それ自体としては意味をもたない）宇宙に対して与えられるようになった。これが近代におけるサピエンスの大成功をもたらした。すなわちサピエンスは、産業革命と科学革命を通じて、自らが「神」の地位を占めるにいたった。かつての「有神論」に「人間主義（ヒューマニズム）」がとってかわることで、「神は死んだ」のである。

このように、人間主義の普遍的「止揚」は、応学文明の文明の進化系譜に決定的な意味を持つ。［図 1］で示したように、人類は、過去 2 度の応学文明を経験したと考えることが出来る。第 1 は呪術文明であり、第 2 は宗教文明である。この両者ともに、文明を構成する価値構造の中で、神の概念は決定的な重要性を持つ。一方、近代文明において人類は人間主義を経由したため、新たな応学文明においては、神を中核に置く価値体系を用いることが出来ない。人類史上初めて人類は、神の概念を使わずに応学文明の価値体系を構築しなければならないのである。ポスト近代文明として出現する応学文明は、ヒューマニズムを汎用化した社会思想に立脚していることが必要である。言い換えると、立脚する文明進化史観は、ヒューマニズムを汎用化した社会思想をも包含したものである必要がある。ヒューマニズムの価値は、構築する文明の構造は、人間の主体的な考察に決定できる、と考えるところである。

即ち、人類は文明進化の系譜において、既に「神は死んだ」としているため、招来すべき応学文明においては、宗教文明の場合のように、神を中核に据える社会思想を用いることは出来ない。ポスト近代文明の構築を宗教文明への回帰に求めることは間違いである。

同様の理由により、ポスト近代文明としての応学文明を、「本来－適応モデル」が述べる群個体脳機能文明に求めることは出来ない。地球文明史観が立脚する「本来－適応モデル」では、本来領域を準拠理想型として設定し、その本来領域とは DNA において生得的に決定されているとする。「DNA はバイブル」なのであり、人間は主体的な取り組みによってそれを変更することは出来ない。即ち、このモデルにおいては、報酬系回路の活性化（快感）が神の座に置かれている、と見ることが出来る。ヒューマニズムの介在する余地はないことになる。

加えて、20 世紀後半の近代文明諸国が辿った歴史的経緯から見ても、快感を神の座に据えて、人間の主体的な取り組みの外側に置き、ヒューマニズムの介在する余地を否定することは危険であることは言うまでもない。このような社会思想は、快感が得られれば、何をしても良い、という解釈を生みかねない。特に 20 世紀後半においては、ドーパミン、エンドルフィン等、快感を司る神経伝達物質の研究が急速に進んだ。その結果、ある種の産業において、また特に幾つかのカルト宗教においてその悪用が進み、深刻な社会問題を発生させていることは疑いない。

これらのことから、本研究においては、「本来－適応モデル」に基づく群個体脳機能文明をそのまま今後、ポスト近代文明である応学文明のモデルとして採用することは出来ない。

一方でこの地球文明史観には、心的技術の分析の面で、以下のように大きく参考にすべき点を見出すことができる。即ち、心的技術を、脳内の神経回路との関係で捉えるという視座である。

報酬系回路を中心とする脳内の神経回路の活性化による体験については、広く、情動体験、と呼ぶことが可能である。技術パラダイム文明進化モデルにおいては、それぞれの応学文明は、それぞれ独自の心的技術を発展させるとされているところ、この結果、それぞれの応学文明においては、それぞれ独自に発展させている心的技術により、独自の情動体験が供給されることになる。供給される情動体験の内容によって、それぞれの応学文明を特徴付けることが出来ることになる。

繰り返しているように、今日、工学文明である近代文明は、工学進化と応学進化に向けた文化革命とを重畳的に進めている。工学進化の系譜を説明するのが、情報社会学近代化モデルである。そこでは、近代文明においては国家化、産業化及び情報化の 3 つの動きが重畳的に進展しているとする。国家化は prestige game と呼ばれ、各国家が自らの国際社会における prestige の増大を進める社会ゲームとして捉えられる。産業化

は prosperity game と呼ばれ、各産業企業が自らの世界市場における wealth の増大を進める社会ゲームとして捉えられる。情報化は pleasure game と呼ばれ、各智民（netizen）が地球智場における影響力の増大を進める社会ゲームとして捉えられる。

この情報化を駆動する価値が pleasure であるとされている。今日、確かに多くの人々がフォロワー数等で数値化される影響力の増大を目指して多くの SNS の投稿に血道を上げているところ、人々がそのような努力を重ねる動機は「愉しさ」である。この「愉しさ」は、情報社会学近代化モデルにおいては、イヴァン＝イリイチの用語を採って、conviviality と呼ばれている。その内容は、他人と繋がっていることによりもたらされる、連帯感に裏付けられた愉しさ、ということである。

このような愉しさ（pleasure）は、フォロワー数等で数値化されるものであることから、近代文明の他の動き、即ち国家化の prestige、産業化の wealth 同様に計測が容易なものである。このため、情報化を、国家化と産業化の 2 つの動きとの重畳において捉える場合には操作性に優れる。即ち、情報化の動きを、近代文明の工学進化の観点で捉える場合には適した方法論であると言える。

工学進化においては人々の効用関数は固定したままであり、国家化の動き及び産業化の動きにおけるものと基本的に同様のものが用いられ、その効用関数を基に効用最大化を進めるために情報化の動きが進められる。このため、社会ゲームにおいて追及される価値も、prestige 及び wealth と同様の形態のものであることが都合が良い。連帯感に裏付けられた愉しさは、その条件を充足する。

一方情報化は、応学進化の系譜の文明進化をも推進する動きであり、工学進化とは全く異なる類型の文明を構築する動きである。そのために人々を駆動する動因は、工学進化としての文明進化の場合とは大きく異なるものになる。応学進化において用いられる心的技術とは、人々の効用関数そのものを変更させるような、大きな体験をもたらすものであることになる。強い情動体験は、まさにそのような体験となることができるものである。強い情動体験のような人生にとって特別の出来事がない限りにおいては、長年慣れ親しんだ効用関数そのものを変更するようなことはあり得ない。

応学文明とは、そのような特別な情動体験の機会を人々に頻繁に、定期的にもたらすための制度が心的技術として社会システムの運営に組み込まれたものである必要がある。即ち、文明特有の心的技術によってもたらされる情動体験の内容によって文明の特徴を捉える視座は、応学文明に適したものであることになる。

このように、心的技術を情動体験の内容によって捉える視座は、広く応学文明一般に適用できると筆者は考える。それぞれの過去志向型文明（応学文明）は、以下の 4 つの内容によってその特徴が記述できることになる。第 1 は、その応学文明においてもたらされる、特別の情動体験の内容である。第 2 は、そのような特別の情動体験を惹き起こすための方法論である心的技術の内容である。第 3 は、その心的技術が特別の情動体験を惹き起こすメカニズムである。第 4 は、その心的技術を社会システムにおいて維持運営していくために共有されている社会思想の内容である。

この 4 つの内容によって、過去、地球上に登場した 2 つの応学文明について整理すると、以下のようになる。

呪術文明において提供される特別な情動体験は、精霊・死者との対峙の体験である。精霊、死者が眼前に現れ、それと対峙し、場合によっては会話するのである。その体験は、コミュニティ毎に存在するシャーマンがトランス状態に陥ることによってもたらされる。この場合にシャーマンをトランス状態に陥らせるために用いられる一連の手続きが、呪術文明特有の心的技術であることになる。その手続きの内容は、特殊な香を焚き、特殊な照明を施した中で、特殊な歌を歌うことである。実施に関わる人間の数は少数ながら、祝祭芸能同様の位相空間の構築と捉えることが出来る。このようなシャーマンのトランスを可能にする心的技術が社会システムにおいて維持運営されるためには、その社会システムにおいて特有の神話・歴史的説話が共有され続けることが必要になる。

宗教文明において提供される特別な情動体験は、神秘体験または神聖体験である。神聖体験の中で特別なものが神秘体験であるとも言える。神の存在をありありと体感する体験である。これは、ミサ等と呼ばれる、それぞれの宗教において制度化されている大規模宗教儀式に参加することによってもたらされる。ミサに参加することによって、特有の光、聖人達の絵画及び彫刻を見ながら、特有の音楽を聴くというミサ特有の視聴覚情報に曝露されることによって神聖体験がもたらされる。このミサの制度を維持運営するためには、当該社会システムにおいて、特有の宗教の教義が共有され続けることが必要となる。

このような分析の枠組みを用いて、ポスト近代文明として招来される新たな応学文明である智識文明の構造を考えて行く。

3 智識文明の構造

3.1 智識文明の準拠理想型

以上の検討を踏まえて、以下、工学文明である現行の近代文明が応学進化を遂げることによって招来される新たな応学文明である智識文明の構造を考えて行く。繰り返している通り、応学文明の構造は、準拠理想型の社会システムのモデル及び独自の心的技術体系の 2 つの柱によって構成される。先ずは、準拠理想型の社会システムである。

人類がこれまで多く用いてきた準拠理想型に関する社会思想は、神の概念を中心にして、過去に、神と理想的な関係を構築していた楽園を設定し、その楽園を準拠理想型として設定することである。この場合、人類の歴史は、楽園から追放されて堕落の坂を転げ落ちるものとして捉えられる。

しかしながら、繰り返している通り、文明進化史において、近代文明の時代にヒューマニズムを経験した私達は、工学文明であれ、応学文明であれ、新しい文明の根拠となる社会思想においては、神の概念を用いることは出来ず、ヒューマニズムを普遍化したものを用いなくてはならない。それでは私達は、ヒューマニズムを普遍化したものとして、どのような準拠理想型の社会システムに関する社会思想を生み出すことが出来るだ

ろうか。

筆者の提案は、準拠理想型の方向性を示す価値として、クリエイティビティの発露を考えることである。この場合のクリエイティビティの発露とは、社会システムで共有されている既存の方法とは別の、独自の方法によって世界を「分節化」することである。

分節化という用語は、井筒俊彦（注 16）に倣うものである。五感を通じて人間の外部から人間の脳という情報処理機構に入力された情報を概念化する、という行為である。

分節化の過程とは、『意識と本質』の枠組みを援用すると、以下のようなものである。

人間の外界から五感を通じて入力された情報そのものは、電磁波（光）、弾性波（音）そのものであり、それらは分節化され、概念が付与されない限りは、単に「ただ何か得体の知れない、ぶよぶよした、みだらな裸の塊り」である。そのような「本来的には全然分節のない「黒々として薄気味悪い塊り」でしかない「存在」」にいろいろな符牒を付けて事物を作り出し、それらを個々別々のものとして指示することがコトバの持つ意味作用である。社会システム内での生活において人間は、「ただ何か得体の知れない、ぶよぶよした、みだらな裸の塊り」に直接対峙することは基本的になく、分節化され、コトバの付与された概念に囲まれて生きているということである。

更に、それら無数の概念は、それぞれが単独、別々の方法で分節化されるのではなく、ある体系的な智のシステムに基づいて行われる。そのような、社会システム全体を覆う無数の分節化の進め方（ある種の、情報処理アルゴリズム）を規定する体系的な智のシステムとは、例えば近代文明における近代科学、宗教文明におけるそれぞれの宗教上の教理システム等であり、一般化して社会思想（Social Philosophy）と呼ぶことができる。文明とは、このような体系的な分節化を可能にする同一の社会思想を共有し維持運営する、という意味における「智の共同体（epistemic community）」であることになる。

このような分節化の概念を用いると、以下のような応学文明の構造を考えることが出来る。

準拠理想型は、人々が、特定の社会思想によって全ての五感情報入力が分節化され、固定する前の状態である。智識文明を過去志向型文明として捉える場合には、このような状態が、過去、であることになる。人類は、時間をかけて五感情報の入力を１つ１つ分節化して来たものであるため、分節化される前の五感入力情報を、分節化されることなく知覚する状態を過去、として捉えることは論理的であると考えられる。

分節化されると、当たり前の、日常的な概念に押し込まれてしまう五感情報入力体験も、それが分節化されず、それをどのように捉えれば良いのかが全く不明の状態では、人々に感動、神秘体験等特別な情動体験をもたらすことは想像に難くない。このため、分節化によって準拠理想型の社会思想を捉える見方は、本研究で述べているような意味での心的技術の捉え方にも即することとなる。また、分節化とは、人間が人間の意志によって行う行為であり、その過程に神は介在しない。このため、分節化を基準に新たな応学文明の社会思想を考えることは、ヒューマニズムの普遍化に抵触しないと考えられる。

3.2 智識文明の心的技術

それでは、心的技術については、どのように考えられるだろうか。この場合の心的技術とは、自らの五感に入力される情報を、所属する文明で運営されている社会思想によって既に分節化された結果である概念によって把握するのではなく、独自の方法による分節化に取り組むための手続きの体系であることになる。そのような、社会システムで共有されている既存の方法とは別の、独自の方法によって世界を分節化することは、クリエイティビティの発露と呼ぶことが可能であり、それを実現するための統合的に外界に働きかける方法論がこの場合の心的技術である。

このような意味におけるクリエイティビティの発露は、井筒俊彦が、有本質的分節、即身と呼んでいるものと内容を一にする。また、井筒俊彦が説明しているように、所謂東洋思想の中には、そのための方法論を示しているものが少なくはない。典型的には空海である。

一方、繰り返している通り、新たな応学文明の構築においては、単純に空海を始めとする東洋思想に回帰するという方法論は採り得ない。

そこで筆者の考えは、この場合の心的技術として芸術創造体験を考えるというものである。

近代文明下においても、人々は多くの芸術体験に取り囲まれている。しかしながら、近代文明下においては、その芸術体験の大半において、芸術の生産者（芸術家）と芸術の消費者が峻別されており、多くの人々は消費者の側に回ることになる。勿論、多くの一般人も芸術の創造活動に参加することはあるものの、問題は、想像される芸術の質である。今日では、全ての芸術活動は高度に専門的な技術を必要とするようになっており、それを欠いたまま、素人が安易に芸術の創造活動に取り組んでも、所詮は素人の趣味の域を出ることは難しい。

一方、芸術創造体験が、本研究の枠組みで言う心的技術として機能するためには、人々の効用関数を根底から変更するような、特別の体験をもたらすことが必要である。かつての宗教文明においては、人々の人生を根底から変更することになった神秘体験がそれに相当する。空海の枠組みで言えば、即身である。芸術によってそのような特別な体験を得るためには、創造される芸術が、人類史上屈指の水準に到達する程度の高い質のものであることが必要であり、近代文明下においてはそれは一般人には不可能である。このため、質の高い芸術の生産は、特定の少数の芸術家に委ねられ、圧倒的大多数の人々は、その芸術家が生産した芸術を、消費者として消費するという役割分担が成立しているのである。

一方、工学文明である近代文明の応学進化の結果として招来される智識文明を考える場合には、智識文明特有の心的技術は社会システムにおいて標準的に制度化され、人々は日常的にそれを活用して、特別の情動体験を得ることが可能になっていなければならない。近代文明は工学文明であるため、大多数の人々が特別の情動体験を定期的に得ることは求められていない。芸術創造による特別の情動体験は、極めて限られた人数の芸術家だけが、稀に体験するものであって差支えはなかった。大多数の人々は、芸術創造に関しては、創造者ではなく、消費

者の立場であり、消費者の立場では決定的に大きな情動体験を得ることは困難であるものの、文明の運営上はそれでよかったのである。

一方、智識文明は応学文明であるため、特別の情動体験は、定期的に、大多数の人々にもたらされるものである必要がある。その情動体験を、芸術体験に求めるのであれば、多くの人々を、芸術の消費者の立場ではなく、質の高い芸術を創造する立場に立たせることが必要になる。言うまでもなく、質の高い芸術を創造するためには、特別に要求される高い技術が必要とされる。近代文明においては、多くの人々を対象にした高度産業人材育成が行われたのに対して、智識文明では、多くの人々を対象にした高度芸術人材育成が必要であることになる。

多くの人々を、高度芸術人材として質の高い芸術の創造活動に勤しむようにするための技術が、智識文明において求められる心的技術であることになる。

その具体的な姿の全貌は、今日では判然とするものではないものの、幾つかの動きにはその兆候を見て取ることが出来る。

第 1 の動きは、広く知られているように、既に生成 AI は広く芸術活動に取り入れられていることである。一方、今日においては、生成 AI が効果を発揮している芸術分野は、画像系が中心になっていると見ることが出来る。

第 2 の動きは、筆者も関与して進めている Artware の動きである。Artware とは、主としてクラシック音楽のアコースティックな楽器の生産及び演奏の分野に、様々なデジタル技術及び AI を導入するものである。これにより、近代文明下においては、熟練技術者が徒弟制の下で何十年もかけて習得した楽器製造技術が DX（デジタル・トランスフォーメーション）化により大幅に合理化され、また演奏面においても、これまで物心付く前から何十年間もかけて習得して来た演奏技術が容易に伝播されることが可能になる。

Artware の動きを強調する理由は、芸術活動を特殊な情動体験をもたらすための心的技術として捉える本研究の立場からは、アコースティックな楽器の演奏に着目しなければならないためである。アコースティックな楽器とは、電子音を使わない楽器のことであり、オーケストラの楽器、世界各地の伝統楽器等がそれに当たる。

大橋力が明らかにしているように（注 17）、アコースティックな楽器は、優秀な演奏家の手にかかると、高周波音、ゆらぎ等特別な弾性波（音）を発生させるものであり、そのような特別な音の情報は、人間の耳のみならず皮膚を通じて入力され、その結果、脳内の報酬系回路を活性化させ、特別な情動体験をもたらすことになる。特別な情動体験を得るための方法論は、人類は伝統的に整備してきており、その代表的な 1 つが高度なアコースティックな楽器の演奏なのである。

Artware については、それを推進する社団法人（一般社団法人ピグマリウス・アカデミア）が設立されたのが 2022 年のことであり、これが本格的な動きに繋がるかどうかは未だに判然とはしないものの、工学文明である近代文明の中で発生しつつある応学文明に繋がる文化革命の動きとして捉えることも不可能ではなく、今後の展開が注目される。

以上のことから、人類史上の応学文明を統一的に整理すると、［図 7］のようになる。

	特殊な情動体験	心的技術	心的技術の要素	物語
呪術文明	精霊・死者との対峙	シャーマンのトランス	位相空間情報	伝統的説話
宗教文明	神秘／神聖体験	ミサ（大規模宗教儀式）	視聴覚情報	宗教教義
智識文明	有本質的分節（成仏）？	Artwareに補佐された芸術創造？	クリエイティビティの発露？	新たなヒューマニズム？

図 7　　各応学文明の対比（出典：筆者作成）

注

1. 公文俊平他『プラットフォーム化の 21 世紀と新文明への兆し』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2015 年 10 月．p 4
2. 公文俊平他『プラットフォーム化の 21 世紀と新文明への兆し』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2015 年 10 月．p 5
3. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月．p 5
4. 前田充浩『多系的文明進化と近代文明の方向性』,東京都立産業技術大学院大学紀要第 17 号, 2024 年 1 月.
5. 公文俊平＋前田充浩『応用情報社会学－発展途上国における情報社会構築の指南書』, ERISE 出版, 2021 年.
6. 公文俊平他『プラットフォーム化の 21 世紀と新文明への兆し』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2015 年 10 月．p 4-5
7. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月. p 5
8. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月. p 33-35
9. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月．p 13
10. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月．p 6
11. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月．p 14
12. 大橋力『情報環境学』, 朝倉書店,1989 年. 大橋力『音と文明』, 岩波書店, 2003 年. 大橋力『イパーソニック・エフェクト』, 岩波書店, 2017 年. 等
13. 大橋力『利他の惑星地球』, 月刊岩波に連載. 2020～2022 年.
14. Yuval Noah Harari『Homo Deus－A Brief History of Tomorrow』, VINTAGE, 2016.
15. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月．p 36
16. 井筒俊彦『意識と本質－精神的東洋を求めて』, 岩波書店, 1983 年.
17. 大橋力『ハイパーソニック・エフェクト』, 岩波書店, 2017 年.

参考文献

1. 公文俊平他『プラットフォーム化の 21 世紀と新文明への兆し』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2015 年 10 月.
2. 公文俊平他『人類文明と人工知能 I 近代の成熟と新文明の出現』, NIRA（総合研究開発機構）研究報告書, 2017 年 8 月.
3. 前田充浩『多系的文明進化と近代文明の方向性』,東京都立産業技術大学院大学紀要第 17 号, 2024 年 1 月.
4. 公文俊平＋前田充浩『応用情報社会学－発展途上国における情報社会構築の指南書』, ERISE 出版, 2021 年.

5. 大橋力『情報環境学』, 朝倉書店, 1989 年.
6. 大橋力『音と文明』, 岩波書店, 2003 年.
7. 大橋力『ハイパーソニック・エフェクト』, 岩波書店, 2017 年.
8. 大橋力『利他の惑星地球』, 月刊岩波に連載. 2020～2022 年.
9. Yuval Noah Harari『Homo Deus－A Brief History of Tomorrow』, VINTAGE, 2016.
10. 井筒俊彦『意識と本質－精神的東洋を求めて』, 岩波書店, 1983 年.

デザイン学論文誌の視覚的地図

A visual map of design research journals

松井 実 [1*]
Minoru Matsui[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
[*]Corresponding author: Minoru Matsui, xerroxcopy@gmail.com

Abstract The interdisciplinary nature of design research complicates journal selection, particularly for early-career researchers. Existing proprietary journal recommendation systems are limited to their in-house publications. Here we present a visual map of 37 design research journals, based on 52,032 abstracts from Web of Science. We then reduced their text embeddings to two dimensions using UMAP. We categorise journals by their content similarity, showing the nearest neighbours of paper abstracts. The map also offers an insight into the academic landscape of design journals, revealing a continuum of design-related fields, with core research fields such as design research, design humanities, and engineering design at the centre, and collaborative design fields, such as design education, interaction design, and mechanical engineering, surrounding them. The peripherals of design research consist of the psychology of creativity, ergonomics, and materials engineering. The map also offers a transparent, visual, and cross-publisher journal recommendation system by positioning yet-to-publish manuscripts near the clusters of journals that have published similar articles, thereby increasing the likelihood of acceptance with aligned expertise. Alongside this, a publicly available spreadsheet provides a comprehensive list of journal metrics such as citation index, publishing speed, and acceptance rate. Based on our experiences with the journals, the list offers other aspects of submitting a paper to a journal besides content similarity. The map and the list enable early-career researchers to navigate beyond their immediate academic networks and submit their papers with more visibility to the current academic landscape.

Keywords design research; research journal; text embedding

1 はじめに

私が学位を取得した千葉大学大学院ではデザイン学論文の投稿先といえばデザイン学研究であった。デザイン分野の修士課程では研究より実践が重視される傾向があり、査読付き論文誌への投稿はあまり一般的でない。またデザイン分野では博士課程に進学する学生は少なく、他大学の学生との交流も私の知る限り盛んではない。そのため、博士学生は論文関連の知識を主に指導教員から教わることになる。

多くの博士課程の学生にとって、論文の投稿先に求める要件は、一に査読があること、二に学生のおぼつかない執筆能力でも査読に通ること、そしてできれば三に査読が早いことであろう。これと指導教官の論文関連の知識とをあわせると、自然と所属大学と関連の強い学会の論文誌への投稿が多くなる。結果、論文誌と学会は分野の棲み分けではなく学閥の反映となった。芸術工学会は神戸芸術工科大学、九州大学芸術工学部など、日本デザイン学会は千葉大学など、日本感性工学会は筑波大学などという棲み分けがある。私が日本デザイン学会の発行するデザイン学研究に投稿したのもそういう経緯からだった。他にデザイン誌といえば *Des. Issues*; *Des. Stud.* そして研究室の書棚にあった *Int. J. Des.* くらいを認識していた程度であり、マイナーな学術分野であるデザイン学のマイナーな論文誌の主な存在意義は博士号の再生産であると考えていた。

しかし、最適な投稿先は指導教官と自分の知るレパートリーの外にある可能性がある。というのも、英文誌だけで少なくとも 40 本程度のデザイン学に関連する論文誌があるからである。それだけのデザイン学関連論文誌を購読し渉猟しているデザイン研究室・研究者を寡聞にして知らず、せいぜいが自身の研究に最も関連の強い数誌に加えて有名な総合誌くらいが一般的な守備範囲なのではないだろうか。そこで、本稿の目的は、あまり広くは知られていないデザイン学関連論文誌の特徴を、客観的なデータの可視化から主観的な経験談までさまざまな手を尽くして明らかにし、「あのときここに投稿していればよかった」という後悔を減らし、投稿先の選定の一助となることである。想定読者はデザイン学研究者全般だが、特に博士課程学生と若手研究者を対象に、把握しきれないほどに多く発行されている論文誌の特徴を最低限理解したうえで意思決定してもらう際に使っていただけるように意図した。

投稿先の選定を助ける 2 つのアプローチ

論文投稿先の選定は案外むずかしい。デザイン学論文誌をよく知らないままに自分の原稿の投稿先を選ぶにはなにかしらの取っ掛かりが必要となる。そこで本稿では、曖昧ではあるがきっかけ程度にはなるだろう 2 つのアプローチで、たくさんある投稿先候補の選定を手助けする。

本稿で主に説明するアプローチは、あなたの投稿前論文原稿の概要文から投稿すべきデザイン学論文誌のあたりをつける方法である。そのためには多数の論文から抽出した概要文をなんらかの方法で可視化し、その図上に自分の未公開の概要文をプロットすることであなたの概要文に類似した論文を多数掲載している論文誌をみつける方法が有効ではないかと考えた。なぜなら、手持ちの原稿と類似した論文を受理したことのある論文誌のエディトリアルボードはそうでない論文誌のエディトリアルボードよりもあなたの論文を受け取ってくれやすいだろうし、類似した論文の著者を含む近接した知識と興味を持った査読者を知っているだろうし、また最終的に出版されることになれば類似した既往論文に興味をもった読者に触れてもらいやすくなるだろうと期待できるからである。

未公開の概要文をインプットし、類似度の高い論文誌を提案するというアプローチは珍しいものではない。多数の出版社やその関連企業が同様の手法で投稿誌を推薦するサービスを提供している。たとえば Editage 社のジャーナルファインダー [1] は原稿本文をアップロードすることもでき、その内容から投稿先を提案してくれる。しかし、試しに私の文化進化学をデザインに適用する論文 [2] の概要文を入力してみても、デザインでも進化学でもない論文誌を多数提案してくるなど、精度が高いとは言えない。多数のデザイン系論文誌を抱える

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

Taylor & Francis 社 [3] の結果は例外的に好ましく思うが、Journal of Engineering Education のみを提案してくる Wiley Journal Finder Beta も、Journal of Evolutionary Economics を第一に提案する Springer Journal Finder も、Procedia Computer Science; Heliyon; Automation in Construction を提案する Elsevier ジャーナルファインダー [4] も、精度が高いとはいえない上に自社の論文誌しか提案しない。これはあくまで私の論文を例にした一試行にすぎないが、いずれのサービスも提案の根拠となる手法・アルゴリズムについては不明瞭なブラックボックスであり、何を基準に提案しているのかわからない点に変わりはない。極端な話をすれば、仮に利益を最大化するために自社の APC の高いジャーナルを優先的に提案していてもユーザー側からは知る方法がない。本稿で提案する手法はそれらの既存の方法よりも手順が単純で透明性が高いうえに、出版社をまたいで客観的にデザイン学論文誌の棲み分けを俯瞰することができる。

現実的には、投稿先の選定基準が内容の近さだけであることはほとんどないため、より詳しく論文誌を知るためのスプレッドシートもあわせて公開した [5]。

視覚的地図の作成には González-Márquez らによる PubMed 論文の概要文から高次元のテキストエンベディングを作成し、それを *t*-SNE によって次元圧縮する方法 [6][7] を参考にした。論文の概要文をもとに最近傍探索法を用いて次元圧縮し視覚的な地図とした例には他に Noichl による経済学の視覚的地図 [8]!cite や同じく哲学の視覚的地図 [9][10] がある。McClure らによる Open Syllabus[11] もテキストエンベディングではないものの最終的には視覚的地図として多数のシラバスを埋め込んでいる。

González-Márquez ら [6] は PubMed に収載されているすべての論文を対象としているが、本稿の興味はデザイン学であるため、まずはデザイン学に関連の強い論文誌を選定し、それらに掲載された論文の概要文を取得する方法について説明する。

2 方法

比較対象論文誌の選定

何がデザイン論文誌で何がそうでないかを決められる、明確で誰もが同意できる基準などないので、比論文誌の選定に主観がまじってしまうことは避けられない。本稿ではデザイン系論文誌の品質をランキングした既往研究 [12] にある 40 のデザイン学関連論文誌を手がかりにした。これを本稿ではロングリストとよぶことにする。また、最終的に [12] が選び出しランクづけをした少数の論文誌をショートリストとよぶことにする。

さらに、ロングリストに不足していると思われる学術分野の論文誌を多少増やした。ロングリストは人間工学やインタラクション、人文学 Humanities は充実しているが創造性心理学などの社会科学や教育学は少ないため追加した。また [12] は 10 年以上前の研究であり、出版移行に創刊された論文誌もいくつかあるため重要と思われるものを追加した。

最終的に、Clarivate™ 社の提供する引用データベース Web of Science™ [13] に収載されている以下の 38 誌を比較対象に選んだ。カッコ内は創刊年を、そのあとの † はロングリスト掲載を、‡ は（ロングリストに加え）ショートリスト掲載を、*はリスト論文

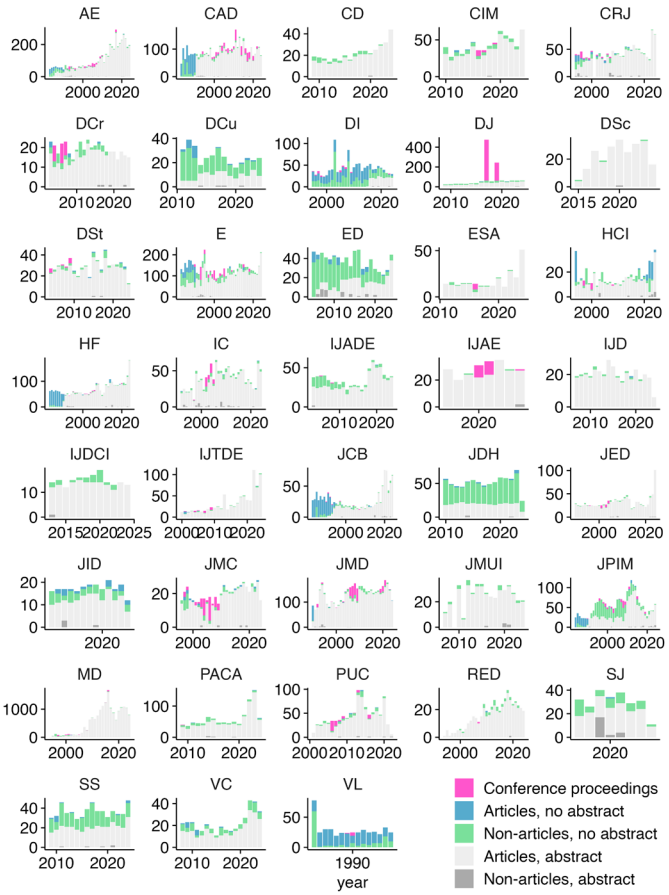


図 1 デザイン学関連論文誌 38 誌の Web of Science に収載されている論文の数 (総数 *n* = 61,673)。パネルは論文誌の頭文字。横軸は発行年、縦軸はその年の論文数。国際会議に関連するものはピンクで示した。ここで"Articles" とは Web of Science 上のドキュメントの分類が Article もしくは Review となっているものである。概要文があるもの (*n* = 52,032) を薄灰で示した。

[12] の出版年（2012 年）以降に創刊された論文誌を意味する。このリスト以外では、本稿においては論文誌名を ISO 4 に基づいて略す（たとえば Journal of Creative Behavior は *J. Creat. Behav.* となる）。

6 デザイン学総合誌：Design Studies (1979)‡; Design Issues (1984)‡; Design Journal (1998)‡; CoDesign (2005)†; International Journal of Design (2007)‡; She Ji (2015)*.

5 デザインエンジニアリング誌：Research in Engineering Design (1989)‡; Journal of Engineering Design (1990)‡; International Journal of Affective Engineering (2013)*; International Journal of Design Creativity and Innovation (2013)*; Design Science (2015)*.

4 インタラクション誌：Human-Computer Interaction (1985)‡; Interacting with Computers (1989)†; Personal and Ubiquitous Computing (1997)†; Journal on Multimodal User Interfaces (2007)†.

3 材料工学・機械工学誌：CAD Computer Aided Design (1968)‡; Materials & Design (1978)†; Journal of Mechanical Design (1978)†.

4 人間工学誌：Ergonomics (1957)‡; Human Factors (1958)‡; Applied Ergonomics (1969)‡; Ergonomics in Design (1993)†.

8 デザイン人文学誌：Visible Language (1967)†; Journal of

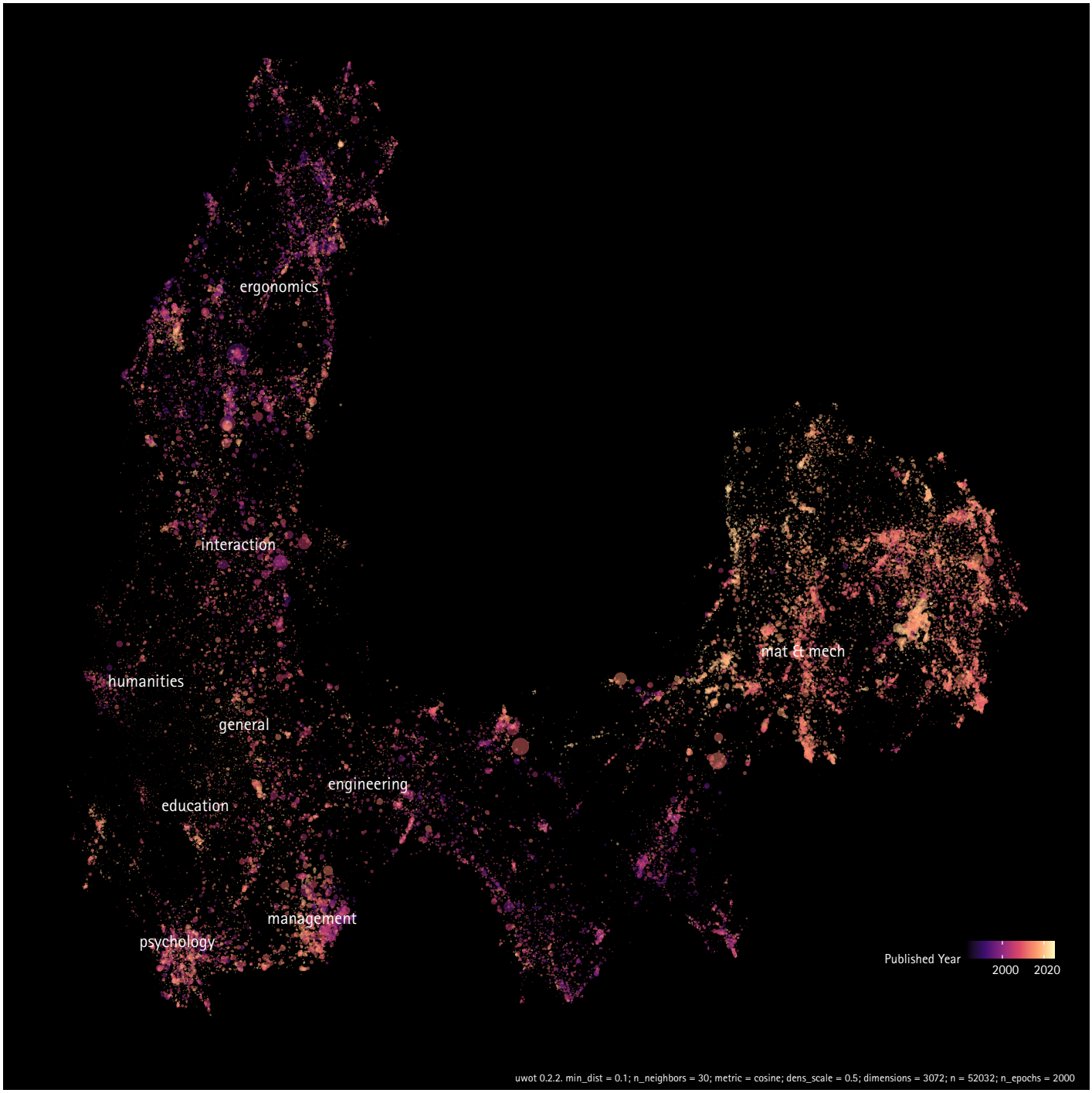


図 2　デザイン学関連論文誌データセットの二次元エンベディング。デザイン学関連論文誌 37 誌の題名と概要文 (*n* = 52,032) を 3,072 次元のテキストエンベディングに変換し、さらに UMAP を用いて二次元に圧縮した。サイズは各論文の被引用数、色スケールは各論文の出版年。被引用数が 0 の論文は緑の小さな点で表した。各分野の座標の中央値に白字で分野名を表示した。

Interior Design (1975)†; Journal of Design History (1988)‡; Digital Creativity (1990)†; Journal of Material Culture (1996)†; Visual Communication (2002)†; The Senses & Society (2006)†; Design and Culture (2009)‡.

2 経営学誌：Journal of Product Innovation Management (1984)†; Creativity and Innovation Management (1992)†.

2 デザイン教育学誌：International Journal of Technology and Design Education (1990)†; International Journal of Art and Design Education (1996).

4 心理学誌：Journal of Creative Behavior (1967); Empirical Studies of the Arts (1983)†; Creativity Research Journal (1988); Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts (2006) である。

J. Des. Res.‡ は知名度の高いデザイン学総合誌だが近年のメトリクスは振るわず、Web of Science が収載していないのでとりあげなかった。また *Visible Lang.* は世界最古のデザイン誌を謳う論文誌で 2024 年現在も発行されているが、Web of Science での収載は 90 年代で終わっている。

Web of Science から論文のメタデータを収集する

前項でリストした対象のジャーナルに掲載された論文のうち Web of Science が収載している論文のすべてのメタデータを Tab-separated Values (`.tsv`) でダウンロードした。列名は二文字のアルファベットでコード化されているため、フィールドタ

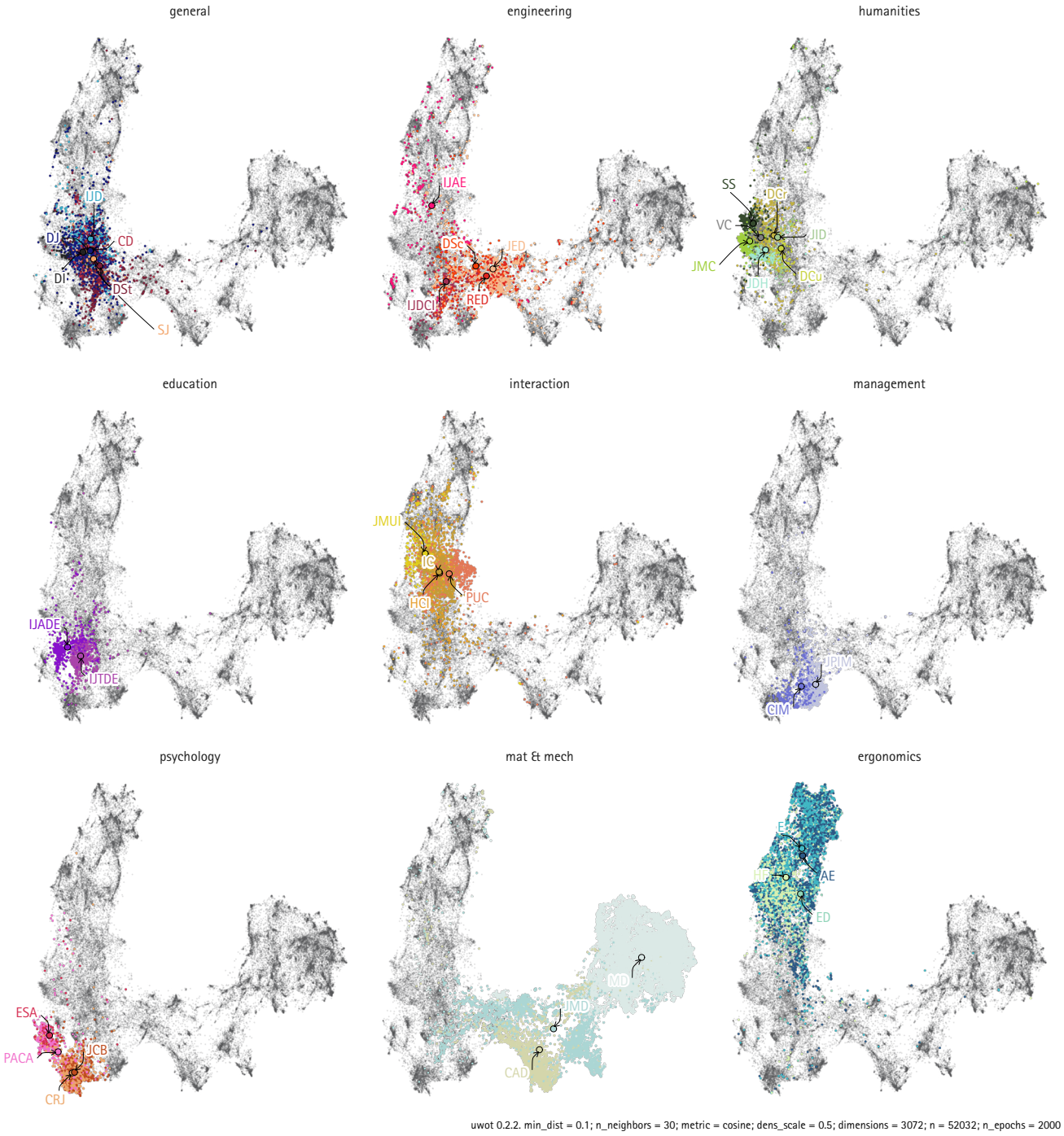


図 3　研究領域ごとの論文誌の分布。他領域の論文は小さいグレー点で背景に配した。論文誌ごとに色分けした。論文誌ごとの代表点（黒フチ）は座標の平均値で、各論文誌の頭字語を添えた。

グのリストを Web of Science のページから得た。これによってもカバーされていない列名についてはおそらくこうであろうという推察を加え、[5] の `dataset::WebOfScienceFieldTags` シートに公開した。

収集した 62,231 論文のうちデータがずれたり間違ったりしているものを除いた 61,673 論文のうち概要文が存在しない論文が 1 万本程度存在する（図 1 参照）。理由はさまざまで、論文誌が途中から概要文を掲載する方針となったパターン（*Des. Issues*）や掲載記事の半分程度が書評やエキシビションの批評で占められる場合（*J. Des. Hist.* や *Des. Cult.*）、また全く概要文のない論文誌（*Visible Lang.*）がある。さらに、数文字しか書かれていないものや、逆に本文がまるごと書かれているようなデータも少数存在する。そこで本稿では 100 文字以上 5,500 文字以下の概要が記載されている 52,032 論文を抽出した。そのうち 21,444 論文は末尾に出版社（おもに Elsevier 社）の著作権や Creative Commons ライセンスなどが記載されているため、正規表現を用いて 1 論文を除く 99.99%の表示を取り除いた。

テキストエンベディング

タイトルと概要を `title. abstract` の形式で結合した文字列の数値表現であるテキストエンベディングを取得した。取得には`{rgpt3}`パッケージを用い、OpenAI 社の API が提供するエンベディングモデル `text-embedding-3-large`[14] を利用した。このモデルによるテキストエンベディングは 3,072 次元の密な数

値ベクトルで表現されるため、52,032 ×3,072 の密な行列を得た。

UMAP, partial PCA, *t*-SNE による次元圧縮

テキストエンベディングは高次元の行列のためそのままでは可視化できない。本稿では三通りの方法で次元を d =3,072 から d =2 に縮約した。本稿の主な分析には均一マニフォールド近似投影（Uniform Manifold Approximation & Projection; 以下 UMAP[15]）を用いた。`{uwot}`パッケージの `umap2()` 関数を用い、`n_neighbors` を 30 (15)、`n_epochs` を 2000 (500)、`min_dist` を 0.1 (0.1)、`dens_scale` を 0.5 (0) とし、距離法 `metric` には Open AI の API ドキュメントが推奨するようにコサイン類似度`"cosine"` (`"euclidean"`) を用いた。近傍探索ライブラリには`{RcppHNSW}`(`Annoy`)を用いた(`nn_method = "hnsw"`)。再現性のため `batch` を `TRUE` として `seed` も設定した。新しいデータの埋め込みに利用するため `ret_model` を `TRUE` とした。それ以外はデフォルトを用いた（カッコ内はデフォルト）。`dens_scale` を設定しているため、厳密には UMAP の一種である densMAP[16] である。計算にはデスクトップ Windows PC (28-threads Intel Core i7-14700F CPU, 32GB メモリ）で全スレッドを用いた（`n_threads = n_sgd_threads = 28`）場合、およそ 5 分を要した。新しいデータの埋め込みには同様に`{uwot}`パッケージの `umap_transform()` 関数を用い、`seed` を設定し`{RcppHNSW}`を用いた以外はデフォルトを用いた。

UMAP によるエンベディングと比較するため、主成分分析法（以下 PCA）および t 分布型確率的近傍埋め込み法（*t*-Distributed Stochastic Neighbor Embedding; 以下 *t*-SNE [17]）の二種類の方法で縮約した。前者は通常の PCA より高速なパッケージ `irlba`[18] の partial PCA で d =2 に縮約した。後者は`{Rtsne}`で実装された Barnes-Hut アルゴリズムによって高速化した *t*-SNE[19] を用いた。大きなデータセットに推奨されるように前述の `irlba` の partial PCA によって 50 次元に縮約した。それ以外はデフォルトの値を用いた。代表的なものをあげると、Perplexity $\mathcal{P}$ は 2^3 から 2^8 まで網羅的に試したのち 200 を採用し、`theta` は 0.5, `eta` は `N/12` を用いた (`N` = 52,032)。計算には前述 PC で全スレッドを用いておよそ 1 分を要した。

3 結果と考察

UMAP によるデザイン学関連論文誌データセットの二次元のエンベディングを図 2 と図 3 に掲載する。比較のため、PCA の結果を図 4 に、*t*-SNE の結果を図 5 に掲載する。これらの図で示した論文誌とその研究領域がおぼろげながら構成しているクラスターから、ある論文誌（もしくは研究領域）が他のどの論文誌（もしくは研究領域）と似ているかを知ることができる。

デザイン学関連論文誌のなす（およそ一本の）連続体

論文概要文のテキストエンベディングの可視化だけからデザイン学全般について論じることは難しいが、少なくとも関連領域とのつながりに関して主観的な示唆を得ることくらいはできるだろう。

PCA と UMAP に共通して言えることは、デザイン学関連論文誌の概要文のテキストエンベディングが L 字型の連続体

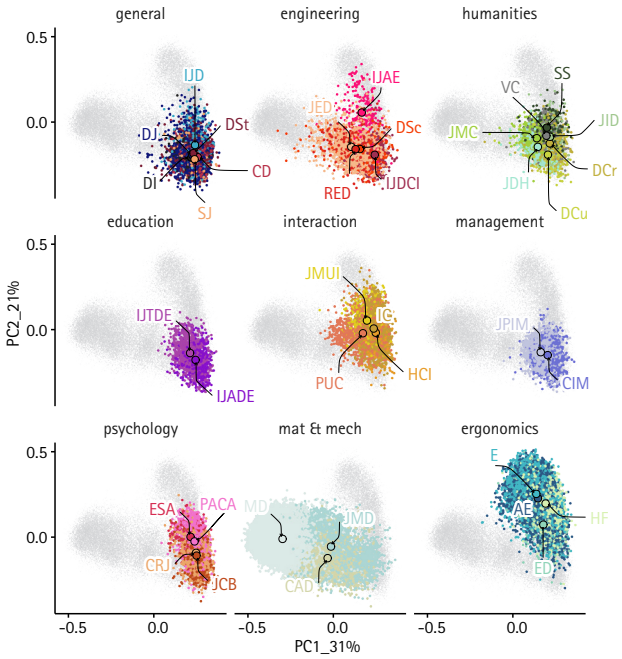


図 4　図 3 と同様だが UMAP ではなく主成分。軸名に寄与率を記載した。

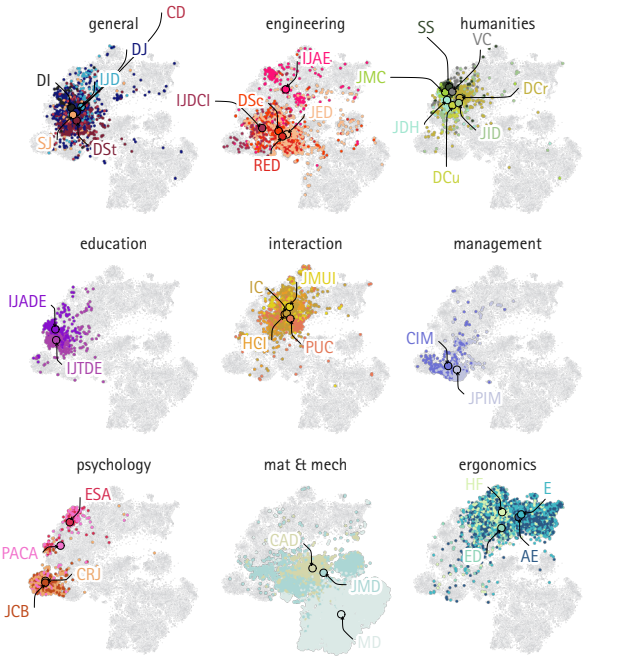


図 5　図 3 と同様だが UMAP ではなく *t*-SNE による次元圧縮。

Continuum を構成しているらしいということである。そして *t*-SNE ではなく UMAP を主に採用した理由の一つに、PCA において顕著なこの L 字構造が UMAP には明らかにみられ、*t*-SNE ではそうでないことが挙げられる。UMAP（図 3）は $\mathcal{L}$ にも見える。まずは巨視的にこの $\mathcal{L}$ 字型を構成する研究分野を追うと、デザイン学の中心をなすデザイン学総合誌が $\mathcal{L}$ 字の中心的な「肘」に位置し、そこを取り囲むように接頭辞**デザイン**–もしくは接尾辞–**デザイン**をもつ、–マネジメント、–教育、–人文学、–エンジニアリング、インタラクション–といった周辺各領域がひろがる。肘から出発し、下の「腕」を右に移動すると、デザインエンジニアリング `engineering` やデザインマネジメント `management` の論文と混合しつつも機械工学（*Comput.-Aided. Des., J. Mech. Des.*）の論文が数多く存在する。さらにその先には明確で巨大なクラスター

を形成する材料工学（*Mater. Des.*）が接続している。この「下の腕」を右に進めば進むほどデザイン学との相互の影響は薄れ、機械をはじめとした人工物、人工物の根源をなす材料と、より「モノ」mat & mech の探求が色濃くなっていく。材料工学から肘方面へと逆に進めば、材料から機械をつくること（機械工学）、機械からデザインをつくること（エンジニアリングデザイン）とつながっていくふうにも読み取れる。

次に、上に伸びる「腕」には、デザイン学 general とデザイン人文学 humanities から、インタラクションデザインやヒューマン-コンピュータインタラクション（HCI）といったコンピュータサイエンスと関連の深い分野 interaction がひろがり、さらにその先には人間工学分野 ergonomics が接続している。この「上の腕」もまた進めば進むほどデザイン学との関連は薄れ、コンピュータとのインタフェース、ヒューマンファクター、そして人間工学というふうに、「ヒト」や人体に近づいていく。

さらに、この二本の腕ほどは目立たないが総合誌から下方向にのびる社会科学スペクトラムものびている。教育者や学習者に関わるデザイン教育 educatrion を経て、企業におけるイノベーションとデザイン経営 management や創造性心理学 psychology のような社会科学に至る。

研究領域をデザイン学総合誌からの距離でおおまかに 3 分類する

デザイン学の研究領域を総合誌からの距離で分類するとどうなるだろうか。デザイン学総合 6 誌で出版された論文の領域は広範囲に分布しており（図 3-general）、その範囲は曖昧だが、6 誌が激しく重複し合っている領域を中心と考えると、ここに隣接する研究領域のクラスターがデザイン学の中核をなすと捉えた。本稿では、デザイン学、エンジニアリングデザイン、デザイン人文学をデザイン学中核領域 Design studies core fields として分類した。デザイン学中核領域ではデザインの理論的・哲学的な基盤を模索している。「何を、なぜ作るべきか」といったデザインの規範や、「どのように作るべきか」といったデザイン手法を確立しデザイン実務に関連付けることを主な目的とし、デザインの理念と実践双方に直接関連を持つことが特徴である。

デザイン学の中核的な理論や実践そのものは取り扱わないが、それらを応用したり、逆にそれらに影響を与えるような分野としてデザイン教育、デザインマネジメント、そして HCI などのインタラクションデザインがある。これらをまとめて、本稿では協働デザイン学領域 Collaborative design fields と分類したい。なぜなら、デザイン教育には教育者や学習者と、デザインマネジメントにはアイディアを実現しイノベーションとするための他領域の専門家と、インタラクションデザインにはインタフェース専門家やコンピュータサイエンティストと、協働が不可欠であるためである。もしくは、それらの他領域の研究者がデザイン学に貢献すると表現することもできる。

さらに辺縁に位置する残りの研究領域をデザイン学周辺領域 Peripheral design fields としたい。材料工学とそれに隣接する一部の機械工学、創造性心理学、そして人間工学が該当する。これらの領域はデザインの中核的な理論や実践そのものとは直接のつながりは薄い。しかし、協働デザイン学領域の研究分野を通じて間接的なつながりがあり、またデザイン実務の実践上もその知見をしばしば応用する必要が生じる。特に *Mater. Des.* とそれに隣接する *J. Mech. Des.* の一部がなすクラスターは他のデザイン学関連論文誌の連続体からほとんど途切れかけている。逆に人間工学は比較的デザインに近い分野でもあり、論文によってはインタラクションデザイン領域と混合しつつデザイン学総合誌の領域付近にもいくつかの論文が分布している（図 3-ergonomics を参照）。

ただ、これらの分野はデザイン学を中心に据えた視座からみれば辺縁であるという点には注意が必要である。材料工学や心理学、人間工学といったデザイン学からみて辺縁の分野自体はデザイン学とは比べ物にならないほどに巨大で、従って論文数も被引用数も多いということである。この特徴は図 2 をみれば一目瞭然である。一度も引用されていない論文の目立つ「中核領域」に比べ、周辺領域は質・量ともに研究が活発である。かの領域からみればデザイン学こそが間接的に関連がなくはない辺縁の小分野である。

上記はあくまで今回分析の対象とした論文誌が構成する研究領域についての分類であって、決して徹底的なリストではない。たとえばマーケティング学はデザインマネジメントなどに、建築学や美学はデザイン人文学などに、決断科学は心理学、エンジニアリングデザインやデザイン学などに隣接するのではないかと容易に予想できる。しかし本稿のはじめに述べたように「どこまでをデザイン学関連領域とするか」の線引きは任意であり、本稿では既往研究を土台としたためにこのような範囲となっている。

視覚的地図上の各出版社の棲み分け

図 6 に、図 3 の論文誌を出版している出版社の分布を示す。買収などで吸収合併された出版社については、最新の出版社にまとめた。たとえば *Des. J.* と *Des. Cult.* そして *Senses Soc.* の三誌は Berg Publishers から Bloomsbury Publishing へ、そして現在は Routledge へと移籍しているが、以前の論文も含め全て Routledge として表示している。

図 6 からは出版社どうしで分野に棲み分けがあることが読み取れる。STEM 論文誌の出版社 Big Four（四天王）は Reed-Elsevier, Wiley-Blackwell, Springer そして Taylor & Francis とされるが、デザイン学分野でも四大出版社の存在感は大きい。Sage (論文数 n = 5,189) は四大出版社に含まれないがデザイン人文学に強みをもち誌数が多い。Elsevier (n = 26,534) は人間工学 1 誌とプレスティージの比較的高いデザイン学総合誌 2 誌、CAD と材料工学を抱え、比較的少ない論文誌で幅広い領域をカバーし、桁違いに多い論文（2 位の T & F の三倍以上）を出版している。Taylor & Francis (n = 7,874）およびそのインプリントである Routledge (n = 4,058) は四天王のなかでは最弱とされるが、2 社をあわせると今回分析に使用したジャーナル群のなかでは最多誌数 (5 + 5 = 10 誌) を発行している。Wiley (n = 4,939) は社会科学に特化している。Springer (n = 2,776) はデザイン学総合誌こそないものの周辺の領域を手広くカバーしている。

視覚的地図を用いた新しい論文の「座標」推定

ここまで既往論文の概要文の内容の UMAP による視覚的な地図への落とし込みを紹介してきたが、「学習に使わなかった新たなデータを、既存のエンベディング上に追加で埋め込むことができる」という UMAP の特徴を利用することでこの地図の利用方法を単なる学術分野の把握から実務的な活用へと更に発展させるこ

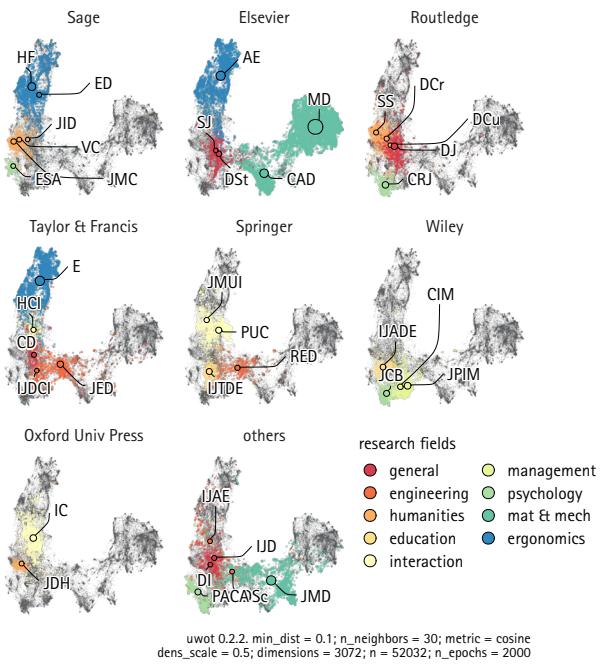


図 6　デザイン学論文誌の出版社。2 誌以上を出版している出版社を個別にプロットした。1 誌しか出版していない出版社の論文誌については最後の others にまとめた。代表点のサイズは論文数。

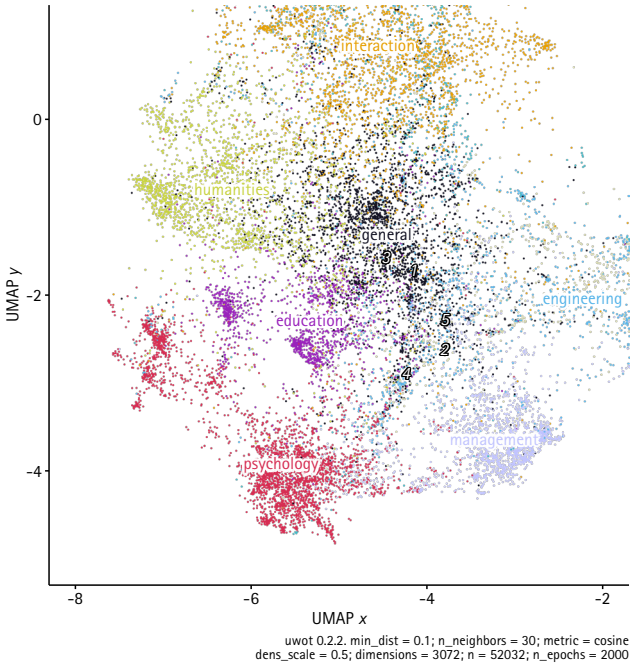


図 7　UMAP による視覚的地図に、私の既往論文のタイトルと概要文を新しく埋め込んだ。イタリックの数字の位置が各論文の推定された位置で、*1* は本論文、*2* はポケモン TCG の変異生成過程のモデリング [2]、*3* はスイスアーミーナイフの文化的系統樹分析 [20]、*4* はデザインの進化を実験した人間行動進化学会のレター論文 [21] で、*5* は書籍『進化思考』を批判した口頭発表梗概 [22] である。背景には研究領域で色分けした各論文を散布図で、各論文の中央値に研究領域名を配した。

とができる。デザイン学に関連した論文を執筆し、その投稿先を選ぶ際には既に出版された論文との類似性が重要になることは既に述べた。そこで、たとえば未発表・書きかけの論文や、今回比較対象とした論文誌以外の論文誌に掲載された論文などの視覚的地図のエンベディングには利用しなかった論文の英語タイトルと概要文のテキストエンベディングを新たに取得すれば既存の視覚的地図に埋め込むことができる。方法のセクションで述べたように{uwot}パッケージの umap_transform() 関数を用いて、本稿を含む私による既往論文を例に実際に埋め込んだ例を図 7 に示す。自分の既往論文を複数プロット（私の場合、図 7 中 2 から 5）してみれば、自分の研究がどの研究領域に位置し、どの研究とどの研究が比較的似通っているかの示唆を得ることができ、どの研究がデザインの典型的な研究とは異なっているかを振り返ることができる。また本稿のような未発表の論文をプロットした場合（図 7 中 *1*）、その座標近傍に位置する既往論文を研究・執筆の参考にすることもできるし、近傍に位置する論文誌を有望な投稿先として選定することもできる。逆に、意中の投稿先論文誌がやや離れた位置に分布しているならば、タイトルや概要文を何度か書き換え、その都度エンベディングを更新し新たな座標を得ることによって、その論文誌により「フィットした」論文とするような利用方法も考えられる（実際にアクセプトされやすくなるかは別の問題だが）。

雑誌の定性的特徴のリスト

ここまで本稿ではテキストエンベディングを用いた概要文の類似性を根拠に投稿論文誌の選定を助ける仕組みを提案してきたが、現実的には、投稿先の選定基準が内容の近さだけということはほとんどないだろう。言語、査読にかかる時間と採択率を筆頭に、投稿料に APC、投稿要件、ジャーナルのメトリクスなども投稿者にとっては内容の類似度と同等もしくはそれ以上に重要である。にもかかわらず、私の知る限り各論文誌のウェブページを閲覧するしか情報を収集する方法はないため、その論文誌の存在を知らなければ調べることすらかなわない状態であった。デザイン学の研究者が投稿先を網羅的に把握し選定する際に大きな阻害要因となっていた。実際、私のもとにも修士・博士課程学生やデザイナーに、投稿先について助言を求める相談が何度かあった。

そこで私は Google Spreadsheets 上にそのような客観的な情報をまとめて公開してきた [5]。さらに客観的な情報だけでなく、実際に投稿した研究者の経験談や近年の動向も大いに参考にしたいため、そういった曖昧で主観的なコメントも同時に添えてきた。今回の分析にあわせて掲載する論文誌を大幅に増やしたので、投稿時の参考にしてほしい。

このリストからわかる国内雑誌の海外の英文雑誌との大きな差は、国内のデザイン学論文誌では 1) 投稿料がかかることが多いが掲載料は比較的安く、2) 多くは J-STAGE にてすべてがオープンアクセスとなるため Open select ではなく Gold OA に分類され、3) 少なくとも著者のうちひとりは学会に所属していることが求められ、4) 査読が比較的早くてゆるく、5) *J. Affect. Eng. Des.* を除き大半は国際的な Abstracting & Indexing をうけていないことだろう。

このリストには伝聞による情報や個人の経験に加え、当てずっぽうの数値などもないよりはましかと思いあえて掲載している。「投稿されている内容にはおそらくこのような傾向があるように思う」といった私の主観的な憶測も、的外れなことを書いている可能性は大いにありうる。また、投稿に際して強く注意すべき点について網羅的に調べて記述しているわけでもない。特に、投稿原稿の規制や投稿後の取り下げに対するポリシーなどについて理解せずに投稿すると取り返しのつかないことになりうるため、自ら

詳細に調べ、自らの責任で選定してほしい。

4 おわりに

本稿ではデザイン学関連論文誌の概要文をもとにした視覚的な地図のうえで各分野が織りなすランドスケープを俯瞰し、類似した論文が過去に多く掲載されたジャーナルを視覚的に確認することで論文投稿先の選定を支援する方法を提案した。また論文投稿時に重要な比較項目をまとめたリストを紹介した。この地図とリストが、曖昧模糊としたデザイン学関連研究領域を切り拓いていくための小さなガイドとなることを期待する。

参考文献

1. Editage. 研究者のためのジャーナル提案ツール: ジャーナルファインダー (journal finder). In: Editage [Internet]. [cited 30Oct2024]. Available: https://www.editage.jp/research-solutions/journal
2. Matsui M. Are all Pokémons created equal? Assessing the value-neutrality of Pokémon TCG design process. In: De Sainz Molestina D, Spallazzo D, editors. IASDR 2023: Life-changing design. Design Research Society; 2023. doi:10.21606/iasdr.2023.875
3. Taylor & Francis. Journal suggester. In: Taylor & francis author services [Internet]. Taylor & Francis; 27Mar2020 [cited 30Oct2024]. Available: https://authorservices.taylorandfrancis.com/publishing-your-research/choosing-a-journal/journal-suggester/
4. Elsevier. Journal finder. In: Elsevier [Internet]. [cited 30Oct2024]. Available: https://journalfinder.elsevier.com/
5. Matsui M. List of design journals, conferences, & societies. In: Google spreadsheets [Internet]. 2024 [cited 31Oct2024]. Available: https://docs.google.com/spreadsheets/d/1I5pdhNtNzlnQ5jUu7tTQCQh-KHD5zJL-LvtT02KIkEk/edit?ouid=104466849285792823745&usp=sheets_home&ths=true&usp=embed_facebook
6. González-Márquez R, Schmidt L, Schmidt BM, Berens P, Kobak D. The landscape of biomedical research. Patterns (N Y). 2024;5: 100968. doi:10.1016/j.patter.2024.100968
7. González-Márquez R, Berens P, Kobak D. Two-dimensional visualization of large document libraries using t-SNE. Topological, algebraic and geometric learning workshops 2022. PMLR; 2022. pp. 133–141. Available: https://proceedings.mlr.press/v196/gonzalez-marquez22a.html
8. Noichl M, D' Arcangelo FM. The structure of Recent Economics. [cited 25Nov2024]. Available: https://homepage.univie.ac.at/maximilian.noichl//full/zoom_final/index.html
9. Noichl M. Modeling the structure of recent philosophy. Synthese. 2021;198: 5089–5100. doi:10.1007/s11229-019-02390-8
10. Noichl M. A map of EPSA23. 21Sep2023 [cited 25Nov2024]. Available: https://homepage.univie.ac.at/maximilian.noichl/post/epsamap/
11. Open Syllabus Project. Open syllabus. [cited 25Nov2024]. Available: https://opensyllabus.org/
12. Gemser G, de Bont C, Hekkert P, Friedman K. Quality perceptions of design journals: The design scholars' perspective. Des Stud. 2012;33: 4–23. doi:10.1016/j.destud.2011.09.001
13. Clarivate. Document search - web of science core collection. In: Web of science [Internet]. [cited 22Nov2024]. Available: https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search
14. OpenAI. New embedding models and API updates. In: OpenAI [Internet]. 25Jan2024 [cited 30Oct2024]. Available: https://openai.com/index/new-embedding-models-and-api-updates/
15. McInnes L, Healy J, Melville J. UMAP: Uniform manifold approximation and projection for dimension reduction. arXiv [statML]. 2018 [cited 25Nov2024]. Available: http://arxiv.org/abs/1802.03426
16. Narayan A, Berger B, Cho H. Assessing single-cell transcriptomic variability through density-preserving data visualization. Nat Biotechnol. 2021;39: 765–774. doi:10.1038/s41587-020-00801-7
17. Maaten L, Hinton GE. Visualizing Data using t-SNE. J Mach Learn Res. 2008;9: 2579–2605. Available: https://jmlr.org/papers/volume9/vandermaaten08a/vandermaaten08a.pdf
18. Baglama J, Reichel L. Augmented implicitly restarted lanczos bidiagonalization methods. SIAM J Sci Comput. 2005;27: 19–42. doi:10.1137/04060593X
19. Maaten L. Accelerating t-SNE using tree-based algorithms. J Mach Learn Res. 2014;15: 3221–3245. doi:10.5555/2627435.2697068
20. 松井. スイスアーミーナイフの文化系統学的分析. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2021;15: 85–90. Available: https://aiit.ac.jp/documents/jp/research_collab/research/bulletin/2022_bulletin.pdf
21. Matsui M, Ono K, Watanabe M. Random drift and design creativity: evolution of drawings in the laboratory. Letters on Evolutionary Behavioral Science. 2017;8: 24–27. doi:10.5178/lebs.2017.59
22. 松井, 伊藤. 『進化思考』批判: 文化進化学と生物学の観点からの書評と改訂案. 日本デザイン学会研究発表大会概要集. 2022. pp. 174–175. doi:10.11247/jssd.69.0_174

Certain data included herein are derived from Clarivate™ (Web of Science™). © Clarivate 2024. All rights reserved.

Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

チーム活動におけるジョブ・パフォーマンス向上のためのワークショップの開発：「ワークモチベーション可視化ワークショップ」

Workshop development of job performance improvement in team activities: Workshop to visualize work-motivation

片岡 典子[1] 斎藤 識樹[1] 田中 敦也[1] 鳥海 阿理紗[1] 三好 きよみ[1*]
Noriko Kataoka[1] Satoki Saito[1] Atsuya Tanaka[1] Arisa Chokai[1] Kiyomi Miyoshi[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aiit.ac.jp

Abstract In recent years, various projects have been planned and promoted to respond to rapidly changing business environments. In order for project activities to be successful, it is necessary for each member of the project to demonstrate their abilities and to improve the job performance of the project team. Therefore, we focused on work motivation as one of the factors that determine job performance and developed a workshop to visualize work-motivation. This paper introduces the practical results of the workshop and its development process.

Keywords work motivation; workshop; job performance; teamwork

1 はじめに

近年、世界情勢の変化や AI などテクノロジーの急速な進展により、世界的に社会環境が大きく変化している。企業等はこれら変化に対応し、変革やイノベーションを推進するため、様々なプロジェクトが企画・推進されている。プロジェクト活動を成功させるためには、プロジェクトを構成するメンバー一人ひとりが能力を発揮するとともに、プロジェクトチーム全体としてのジョブ・パフォーマンスを向上させる必要がある。

ジョブ・パフォーマンスは、ワークモチベーションと関連するといわれている。例えば、研究プロジェクトを開始する上でのモチベーションの強さが研究成果と相関があること[1]、会社の価値観の共有が、モチベーションの向上を通じて会社の業績に影響すること[2]、相互依存性と学習の必要性に関する職務特性の下でワークモチベーションはジョブ・パフォーマンスへの間接効果があること[3]などが明らかにされている。また、プロジェクトチームのジョブ・パフォーマンスに関しては、以下のような調査研究がある。池田[4]は、チームの活動を支えるのは、メンバー個人のモチベーションであり、チーム活動ではこれに加えて、協力志向的モチベーションが求められるとしている。また、テレワーク環境では、チームワーク能力、自己調整方略、チーム内コミュニーションが間接的に、個人の生産性と仕事へのモチベーションが直接的に、チームの生産性に影響を及ぼしていることが確認されている[5]。

本研究の目的は、チーム活動におけるチーム全体としてのジョブ・パフォーマンスを向上させることである。そこで、ジョブ・パフォーマンスを規定する要因の一つとしてワークモチベーションに着目し、ワークモチベーションの実態を調査した。その結果を基に検討を重ね、「ワークモチベーション可視化ワークショップ」を開発した。本稿では、本ワークショップの開発プロセス、概要、及び実践結果について報告する。

2 関連研究

ワークモチベーションは、方向性、強度、持続性の 3 つの次元から構成されるといわれており[6,7]、最近では、「目標に向けて行動を方向づけ、活性化し、そして維持する心理的プロセス」[7]の定義が定着している。

モチベーションに関しては、1950 年代から研究が蓄積されてきている。欲求階層説[8]、X-Y 理論[9]、ERG モデル[10]、二要因理論[11]、内発的動機づけ理論[12]などは、何によって動機づけられるかを説明している。堀野[13]は、達成動機[14]を自己充実的達成動機と競争的達成動機の 2 側面の概念に発展させている。期待理論[15]、公平理論[16]、職務特性理論[17]などは、組織で働く人のワークモチベーションのプロセスを論じている。

西ら[18]は、プロジェクト管理において、刺激された経験と生理が感情と理性に影響を及ぼし、モチベーションが上下するモデルを示している。池田・森永[3]は、ワークモチベーションは自己決定の側面のみで測定するのは限界があるとし、達成志向的を除く、競争志向的、協力志向的、学習志向的の 3 側面のモチベーションは、職務特性の変化に連動することを明らかにしている。菊入・岡田[19]は、職場において、同僚の自己充実達成動機や競争的達成動機を推測することが、それぞれ自分の同種の達成動機にプラスの影響を及ぼすというモチベーションの伝搬について明らかにしている。三好ら[20]の調査結果では、モチベーション低下要因として、やる気のない人が周囲にいるときに、モチベーションが低下する割合が高いことが示されており、モチベーション低下についても伝搬することがわかる。また、モチベーションに関する価値観は人によって異なり、モチベーションは状況によって変わり易いという調査結果もある[21]。プロジェクトマネジメントのデファクトスタンダートとされる「A Guide to the Project Management Body of Knowledge」[22]では、プロジェクトチームのメンバーを効果的に動機づけるには、各メンバーが持つそれぞれの強い動機づけ要因を把握することが役に立つとしている。

3 ワークショップの開発プロセス

モチベーションの実態調査

プロジェクトチームにおけるワークモチベーションの実態調査のため、プロジェクト業務経験者 19 名に対し、ワークモチベーションへ影響を及ぼす要因についてインタビュー調査を行った。その結果、向上要因としては、強みを活かせる仕事、刺激を与えてくれる人物や状況、報酬や評価などが抽出された。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

一方、低下要因としては、やる気のない人、やらされ感などが抽出された。また、困難な仕事は、向上要因・低下要因の双方で抽出された[23,24]。さらに調査分析を進めると、年代によって、モチベーション要因が異なることが確認された[25]。これらの調査結果から、プロジェクト業務において、職場状況や同僚、仕事の内容は、ワークモチベーション低下・向上双方の要因となること、ワークモチベーションに影響を与える要因は、年代によっても異なっていることがわかった。よって、自分にとってのモチベーション向上の要因は、場合によっては他のメンバーにとってモチベーション低下の要因ともなることが推測された。

インタビュー調査からの分析結果、及び先行研究から、プロジェクトチーム全体としてのジョブ・パフォーマンス向上を図るには、チームメンバーそれぞれに異なると推測されるモチベーション要因を把握することが必要であると考えた。そこで、まずは、自分自身のワークモチベーション要因を把握すること、加えて、人それぞれでモチベーション要因が異なることを理解するためのワークショップを検討した。

モチベーションに関するツール

モチベーションに関しては、モチベーショングラフ、エンゲージメントサーベイ、1on1 ミーティングなど様々なツールが開発され実施されている。それらの中から、モチベーションを可視化するツールとして、「MSQ（Motivation Status Quo）診断」、及び「Moving Motivators」の利用を検討した。「MSQ 診断は、JTB モチベーションズが開発したワークモチベーションの状態や傾向を数値化するシステムである。ワークモチベーションについて、取り巻く環境や置かれている状況などさまざまな要素を基に分析し、日本人のモチベーション要因を数値として指標化している[21]。ワークショップでは、モチベーション診断ツール「MSQ 診断簡易版」を用いることとした。「Moving Motivators」は、リーダーシップとマネジメントの概念である Management 3.0 を実現するためのツールとして、ヨーガン・アペロが開発したものである。モチベーションに対する会話カードの役割を果たし、モチベーションの可視化と共有を促す。それによって、モチベーションの源泉は個人によって異なるという多様性を体感することができる。

これら 2 つのツールを使うことで、自らのワークモチベーション向上を図るために行う自己調整方略の検討が可能になると考えた。さらに、ワークショップでは、振り返りのセッションを設け、参加者同士で話をすることで、モチベーション要因は人により異なることを体感できるようにする。

4 ワークショップの概要

本ワークショップでは、自分自身のモチベーション要因を可視化し、それを他の参加者とメンバーと共有する。それによって、モチベーション要因は、人それぞれであることを理解できるようになる。そのためのツールとして、「MSQ 診断簡易版」と「Moving Motivators」を利用する。以下に、ワークショップの対象者、目的、学習目標、期待される効果、実施形態、構成について述べる。

特徴

- オンライン、対面いずれも可能であり、オンライン参加者と対面参加者の混在も可。
- ワークショップに要する時間は 1.5 時間から 2 時間程度と短時間。
- 既存のモチベーションツールを利用することによりワークショップの信頼性、妥当性を高め、更にそれらを組み合わせ、振り返りを行うことで相乗的な効果が期待できる。

対象者

- 自分のワークモチベーションの状態を知り、仕事の成果につなげたい人。
- ワークモチベーションの構造を理解し、プロジェクト活動に活かしたい人。
- ワークモチベーションの向上を図るワークショップであるため、社会人経験がある人（プロジェクト経験は不問）。

目的

- モチベーションを可視化し、その結果を共有することで新たな気付きを得て、モチベーションのコントロールに繋げる。
- 自分自身のモチベーション要因を「可視化」し、それをメンバーと「共有」することで、自分自身のモチベーションに対する「気付き」を得ること。
- その気付きから、モチベーションをどのように「コントロール」するかについて考えること。
- 参加者同士でのモチベーション要因の共有から、モチベーション要因は人により異なることを「体感」すること。
- モチベーションをチーム全体の「ジョブ・パフォーマンス向上」支援に繋がることを認識すること。

学習目標

- 自分自身のモチベーションを高めている要因と下げている要因を知ることにより、自分のモチベーション構造を把握する。
- 自分自身のモチベーションを把握することは、自分のモチベーションコントロールに役立つことを認識する。
- 可視化されたモチベーション要因を他の人と共有することで、「モチベーションに影響を及ぼす要因は、人によって様々である」ことを理解する。
- チームで仕事をするときに、自分のモチベーションをコントロールし、他の人のモチベーション要因を意識することで、チーム全体のジョブ・パフォーマンス向上を支援できることを認識する。

期待される効果

- 自分のモチベーションを把握し、他人のモチベーションを知ることにより、これまでとは違った観点から自分のモチベーションを考えることができるようになる。

・ 自分自身のモチベーションをチームメンバーと共有し、チームメンバーのモチベーションを知ることで、相互理解が生まれる。
・ 自分自身やチームメンバーのモチベーションを活かすことを具体的に考え始め、積極的に行動し、新しいことにチャレンジしようとする変化が生まれる。
・ プロジェクトには「品質」「コスト」「納期」に続く、「モチベーション」という、4つ目の柱があることを理解し、メンバーそれぞれのモチベーションをプロジェクトに組み込む方法を考えるようになる。

実施形態

・ 1グループ3名から4名での実施を推奨。2名から5名でも実施可能。
・ 1グループにつき1名のファシリテーターが付く。
・ オンライン、対面、混在のいずれも可能。

ワークショップの実施要領

ワークショップは、オリエンテーション、モチベーション診断、ゲーム実施、振り返りで構成される(図1)。以下では、それぞれの実施要領を述べる。

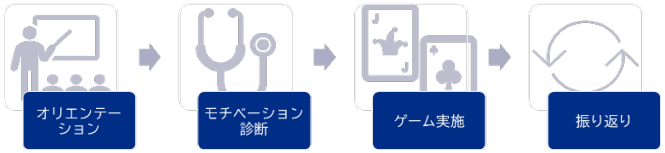


図1　　ワークショップの構成

1）オリエンテーション

オリエンテーションでは、ファシリテーターが、ワークショップの進め方や目的と学習目標、モチベーションの特徴を説明する。

2）モチベーション診断

モチベーション診断では、参加者は、「MSQ診断簡易版」の質問27項目に回答し、9つのモチベータのレーダーチャートを作成する。9つのモチベータは、次の通り。

・ 適性指向
・ マイペース指向
・ アイデア指向
・ サバイバル指向
・ マニュアル・整理整頓指向
・ 協調指向
・ バリバリやり抜く指向
・ 優等生指向
・ スペシャリスト指向。

つづいて、ファシリテーターは、得点が高いモチベータが、自分やる気を支えているものであり、得点が低いモチベータは満足していない要因、もしくは無関心な事柄であることを説明する。参加者は、自分のモチベーションを上げ下げする要因を認識し、その結果を基に自己紹介を行う(図2)。



図2　　自己紹介の様子

3）ゲーム実施

参加者は、「Moving Motivators」の10枚のカードを使ってゲームを実施する。ゲームの実施手順は以下の①～④の通りである(図3)。10枚のカードには、好奇心・名誉・受容・熟達・権力・自由・関係性・秩序・ゴールとそれぞれに適したイラストが描かれている。

① 参加者は10枚のカードを重要度の高いものから順に右側から並べる(図4)。
② 参加者同士で結果の共有を行う。
③ 参加者は、10枚のカードのうち、満足しているものを上、不満足なものを下にずらす(図5)。
④ 参加者同士で結果の共有を行う(図6)。



図3　　ゲーム実施手順

以上によって、自分自身のワークモチベーション要因の重要度、満足度を可視化することで、ワークモチベーション構造を把握する。さらに、参加者同士で結果を共有することにより、ワークモチベーション要因の重要度や満足度が、人によって異なるということを体感する。

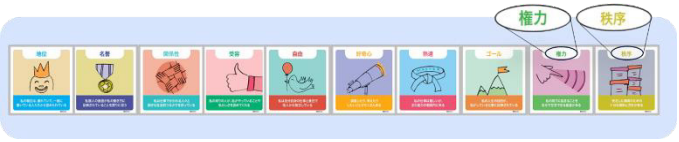


図 4　　重要度の可視化

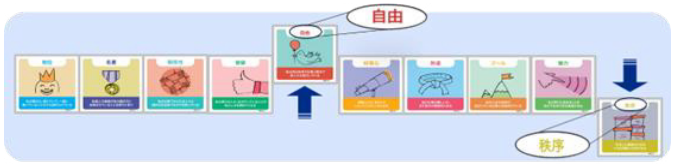


図 5　　満足度の可視化

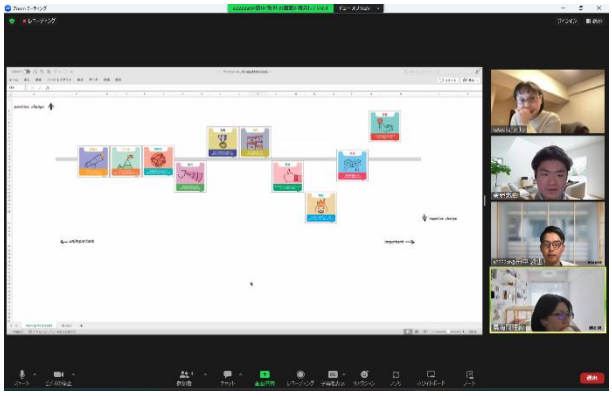


図 6　　オンラインによるワークショップ実施の様子

4)　振り返り

参加者は、12 のアイコンからそのときの気持ちをよく表しているアイコンを選び、その理由とともに参加者同士で共有する。アイコンの種類は一つに限らず、複数選択可能とする(図 7)。アイコンという視覚の力を借りた振り返り方法によって、フィードバックのしやすさを提供する。



図 7　　12 のアイコン

5　ワークショップの実践

ワークショップ後のアンケート調査では、自分のモチベーション向上に役に立つか、今後のプロジェクト活動に役に立つか、といった質問に対して全ての参加者から、強くそう思う・そう思うという回答が得られた。これらの結果からは、ワークショップに対して満足度が高いことがわかった[26]。

6　おわりに

本研究は、チーム活動におけるチーム全体としてのジョブ・パフォーマンス向上の支援が目的である。ジョブ・パフォーマンスを規定する要因の一つとしてワークモチベーションに着目し、ワークモチベーションの実態を調査した。その結果を基に検討を重ねて、「ワークモチベーション可視化ワークショップ」を開発した。特徴として、オンライン、対面いずれも可能、2 時間程度、既存のモチベーションツールの利用によって信頼性、妥当性があり、それを組み合わせ、振り返りを行うことで相乗的な効果が期待できることである。ワークショップの実践結果からは、自分自身のモチベーション要因を可視化し、それを他の参加者やメンバーと共有することで、モチベーション要因は、人それぞれであることを理解していることが確認された。今後は、調査結果をさらに分析し、その結果を基に、ワークショップを改善していきたい。

謝辞

調査にご協力いただいた皆様に感謝いたします。本研究は東京都立産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の承認を得て実施されました。

参考文献

1. 伊神正貫, 長岡貞男. 科学研究プロジェクトの動機が研究マネジメント, チーム構成および研究成果に与える影響を探る-日米の科学者を対象とした大規模調査による実証研究-. 日本知財学会誌. 2014; 10 (3): 33-45.
2. 飛田努, 松村勝弘, 篠田朝也, 田中伸. 日本企業の経営管理システムに関する実証研究年報財務管理研究. 2014; 25: 1-17.
3. 池田浩, 森永雄太. 我が国における多側面ワークモチベーション尺度の開発. 産業・組織心理学研究. 2017; 30 (2): 171-186.
4. 池田 浩, モチベーションに火をつける 働き方の心理学. 日本法令; 2021
5. 三好きよみ, 永根亜由, 塩谷正治, 白井貴子, 戸澤健太ら. テレワーク環境におけるチーム業務の生産性に影響を及ぼす要因の検討. 情報処理学会研究報告. 2022; 2022-IS-159 (11): 1-6.
6. Kanfer, R.. Motivation theory and industrial and organizational psychology. In M. D. Dunnette & L. M. Hough (Eds.), Handbook of industrial and organizational psychology (2nd ed., pp. 75–170). Consulting Psychologists Press. 1990
7. Mitchell, R. T.. Matching motivational strategies with organizational contexts. Research in Organizational Behavior. 1997; 19: 57-149.
8. Maslow, H. A. Motivation and Personality. New York: Harper & Row.1954
9. McGregor, D. The human side of enterprise. New York: McGraw-Hill. 1960
10. Alderfer, P. C. Existence, Relatedness, and Growth. New York: Free Press. 1972
11. Herzberg, F. Work and the Nature of Man. Cleveland: World Publishing. 1966
12. Deci, E. L. Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation. Journal of Personality and Social Psychology. 1971; . 18(1): 105–115.
13. 堀野緑, 森和代. 抑うつとソーシャルサポートとの関連に介在する達成動機の要因. 教育心理学研究. 1991; 39(3): 308-315.
14. Murray, H. A. Explorations in personality: a clinical and experimental study of fifty men of college age. Oxford Univ. Press. 1938
15. Vroom, V. H. Work and motivation. Wiley. 1964
16. Adams, S. J. Towards an understanding of inequity. The Journal of Abnormal and Social Psychology. 1963; 67 (5): 422-436.

17. Hackman, R. J. and Oldman, R.. Motivation through the design of work: test of a theory. Organizational Behavior and Human Performance. 1976; 16 (2): 250-279.
18. 西康晴, 片山豊, 八木広行, 高橋宗雄, 誉田直美ら. ソフトウェアプロジェクト管理における技術者のモチベーションに関する研究.プロジェクトマネジメント学会誌. 2001; 3 (3): 33-39.
19. 菊入みゆき, 岡田昌毅. 職場における同僚間の達成動機の伝播に関する研究. 産業・組織心理学研究. 2014; 27 (2): 101-106.
20. 三好きよみ, 片岡 典子, 斎藤 識樹, 田中 敦也, 鳥海 阿理紗. プロジェクトマネジメント学会 2024 年度春季研究発表大会 2024; 271-277.
21. 菊入みゆき. モチベーションの高さとその要因を分析する「やる気」分析システム MSQ の概要と活用. 品質. 2003; 33 (3): 28-35.
22. Project Management Institute. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute 7th Edition. 2021
23. 斎藤識樹, 片岡典子, 田中敦也, 鳥海阿理紗, 三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因の研究. 経営情報学会 2023 年全国研究発表大会. 2023
24. 田中敦也, 片岡典子, 斎藤識樹, 鳥海阿理紗, 三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因の検討. デジタル人材育成学会誌. 2023; 2: 5-6.
25. 鳥海阿理紗, 片岡典子, 斎藤識樹, 田中敦也, 三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因-テキストマイニングによる特徴抽出-. 第 14 回横幹連合コンファレンス. 2023
26. 田中敦也, 鳥海阿理紗, 片岡典子, 斎藤識樹,三好きよみ.ワークモチベーション可視化ワークショップの有効性評価. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2025; 18: 61-65.

ワークモチベーション可視化ワークショップの有効性評価

Evaluating the effectiveness of work motivation visualization workshops

田中 敦也[1] 鳥海 阿理紗[1] 片岡 典子[1] 斎藤 識樹[1] 三好 きよみ[1*]
Atsuya Tanaka[1] Arisa Chokai[1] Noriko Kataoka[1] Satoki Saito[1] Kiyomi Miyoshi[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aiit.ac.jp

Abstract This paper reports on the overview of the "Work Motivation Visualization Workshop" and an evaluation of the effectiveness of the workshop. This workshop focuses on work motivation as one of the factors that determine job performance. It is aimed at people who want to understand their own work motivation state and work motivation structure and apply it to work results and team activities. As a result of questionnaire and interview analyses of the workshop participants, it was confirmed that they understood that motivation factors vary from person to person by visualizing their own motivation factors and sharing them with other participants and members of the workshop.

Keywords work motivation; workshop; job performance; teamwork; effectiveness evaluation

1 はじめに

プロジェクトチーム全体としてのジョブ・パフォーマンス向上の支援を目的として，ジョブ・パフォーマンスを規定する要因の一つとしてワークモチベーションに着目し，「ワークモチベーション可視化ワークショップ」を開発した[1]. 本ワークショップは，自分のワークモチベーションの状態やワークモチベーション構造について理解し，仕事の成果やチーム活動に活かしたい人を対象としている． 特徴として，オンライン，対面いずれも可能，2 時間程度，既存のモチベーションツールの利用によって信頼性，妥当性があり，それを組み合わせ，振り返りを行うことで相乗的な効果が期待できることである．

本論文では，まず,「ワークモチベーション可視化ワークショップ」の概要を紹介する． 次に，ワークショップを実践し，有効性評価について調査分析を行った結果を報告する．

2 ワークモチベーション可視化ワークショップの概要

本章では，まず，本ワークショップの対象者，目的，学習目標，期待される効果について述べる．つづいて，ワークショップの内容について述べる．

対象者

自分のワークモチベーションの状態を知り，仕事の成果につなげたい人，ワークモチベーションの構造を理解し，チーム活動に活かしたい人

目的

目的は以下の 3 項目が挙げられる．

- 自分自身のモチベーション要因を可視化し，それをメンバーと共有することで，自分自身のモチベーションに対する気付きを得ること．
- その気付きから，モチベーションをどのようにコントロールするかについて考えること．
- 参加者同士でのモチベーション要因の共有から，モチベーション要因は人により異なることを体感し，プロジェクトチームのジョブ・パフォーマンス向上支援に繋がることを認識すること．

学習目標

学習目標は以下の 4 項目が挙げられる．

- 自分自身のモチベーションを高めている要因と下げている要因を知ることにより，自分のモチベーション構造を把握する．
- 自分自身のモチベーションを把握することは，自分のモチベーションコントロールに役立つことを認識する．
- 可視化されたモチベーション要因を他の人と共有することで,「モチベーションに影響を及ぼす要因は，人によって様々である」ことを理解する．
- チームで仕事をするときに，自分のモチベーションをコントロールし，他の人のモチベーション要因を意識することで，チーム全体のジョブ・パフォーマンス向上を支援できることを認識する．

期待される効果

期待される効果は以下の 4 項目が挙げられる．

- 自分のワークモチベーションを把握し，他人のワークモチベーションを知ることにより，これまでとは違った観点から自分のワークモチベーションを考えることができるようになる．
- 自分自身のワークモチベーションをチームメンバーと共有し，チームメンバーのワークモチベーションを知ることで，相互理解が生まれる．
- 自分自身やチームメンバーのワークモチベーションを活かすことを具体的に考え始め，積極的に行動し，新しいことにチャレンジしようとする変化が生まれる．
- プロジェクトには「品質」「コスト」「納期」に続く,「モチベーション」という 4 つ目の柱があることを理解し，メンバーそれぞれのワークモチベーションをプロジェクトに組み込む方法を考えるようになる．

ワークショップの内容

モチベーション可視化ワークショップは，主催者側としてファシリテーター1 名，参加者 3〜5 人程度で実施する．ワークショップは以下のような手順である．

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

1：ファシリテーターが，ワークショップの目的や流れを説明する．
2：ワークショップ参加者は，各々で「MSQ 診断簡易版」[2]を用いて，自身のワークモチベーションの要因を定量化し，自己理解を深める．
3：ワークショップ参加者間で自己紹介を行う．自己紹介は「MSQ 診断簡易版」[2]の結果を踏まえた内容とする．
4：ワークショップ参加者は，各々で「Moving Motivators」[3]の 10 種類のカードを自身のワークモチベーションにおいて重要な順に並べる．これにより，自身のワークモチベーションに影響を及ぼす重要な要因と重要ではない要因が可視化される．
5：ワークショップ参加者間で，「Moving Motivators」[3]のカードによって可視化された，自身のワークモチベーションについて話し合う．
6：ワークショップ参加者は，各々で「Moving Motivators」[3]の 10 種類のカードのうち，現在の職場環境において満たされているものを上に，満たされていないものを下にずらす．これにより，現在の職場環境がワークショップ参加者のワークモチベーションに対して与えている影響が可視化される．
7：ワークショップ参加者間で，「Moving Motivators」[3]のカードによって可視化された，現在の職場環境がワークモチベーションに与えている影響について話し合う．

3　ワークショップの有効性評価

ワークショップはチームで仕事を行っている人を対象として 3 回実施した．参加者数は，第 1 回 4 名，第 2 回 4 名，第 3 回 3 名，計 11 名であった．年齢は 30 歳代から 50 歳代．　男性 8 名，女性 3 名であった．参加者 11 名を対象としてワークショップの有効性評価を行った．

有効性評価は，研修の代表的な評価方法であるカークパトリックの 4 段階モデル[4]のうちレベル 1 のワークショップの満足度，レベル 3 のワークショップによる行動変容を対象とした．レベル 1 についてアンケート調査，レベル 3 として，インタビュー調査を行った．

3.1　ワークショップの満足度

調査方法と調査項目

ワークショップ実施直後にアンケート調査を実施した．

以下の質問項目①～⑥について，「強くそう思う」「ややそう思う」「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」の 4 段階で回答を求めた．質問項目⑦⑧については自由記述で回答を求めた．

① ワークショップは楽しいと思いましたか．
② ワークショップは理解しやすかったですか．
③ ワークショップの意義や目的がはっきりしていましたか．
④ ワークショップで自分自身のワークモチベーション要因を整理できたと思いますか．
⑤ 自分自身のワークモチベーション向上に将来役に立つと思いますか．
⑥ ワークショップで学んだことが今後のプロジェクト活動に対して役に立つと思いますか．
⑦ ワークモチベーションに関して，今回のワークショップで気付いたり感じたりしたことを教えてください．（自由記述）
⑧ 今回のワークショップでの気づきや感じたことを教えてください．（自由記述）

調査結果

調査の集計結果を図 1 に示す．① ワークショップは楽しいと思ったについて，「強くそう思う」が 100%であった．②理解しやすかった，③意義や目的がはっきりしていた，④自分自身のワークモチベーション要因を整理できたについても 80%以上が「強くそう思う」であった．⑤自分自身のワークモチベーション向上に将来役に立つについては，70%以上が「強くそう思う」であった．　⑥ワークショップで学んだことが今後のプロジェクト活動に対して役に立つは，「強くそう思う」は 43%であった．

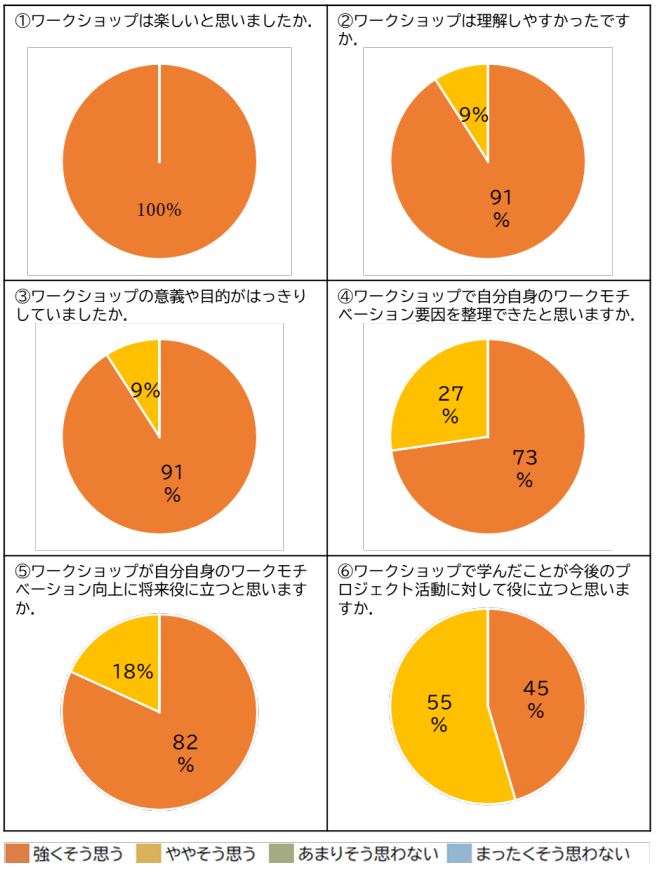


図 1　ワークショップの満足度調査結果（n=11）

自由記述の内容を表 1 に示す．　自由記述からは，モチベーション要因の可視化と共有による気付きがあったことがわかる．また，モチベーションのコントロールやチーム全体のマネ

ジメントについて考えたことがわかる.

表 1 ワークショップの満足度調査結果 自由記述

・ 自分が大切だと感じている価値観が視覚化されて整理されたところが良かった.
・ 職種や年代によって重要視するポイントが異なることを再確認できた.
・ 外的要因・内的要因の両方によってモチベーションが変わるということを感じた.
・ ワークモチベーションを向上させるためにはどうしたらよいか，個々に違うとすればどうマネジメントするべきか，というチーム運用の観点での興味が湧いた.
・ 今までエンジニアの人たちとの関わりが多く，自分と同じような価値観しか触れることができていなかったが，他の価値観をもとにモチベーションが生まれているということは，新鮮であった.
・ 今の仕事の悩みを解消するには，どうすれば良いか少しわかったような気がする.
・ モチベーションを左右するものが人によって違うというのが実感できた.
・ 自分が大切だと感じている価値観が視覚化されて整理されたところが良かったです．自分では時間をとってやることもなかなかない.
・ 自分の現状を知ることができ，良かった.
・ コミュニケーションがやはり大事だなと思った． 職場でのちょっとしたコミュニケーションに加えて，もう少し目標等についてもディスカッションできればと思う.
・ 他のメンバーの結果を見ると，個性が出ていると感じた．また，一定のキャリアを積んでくると自分らしく働くことも求めてくるのではないかと感じた.

3.2 ワークショップ受講後の行動変容

調査方法

ワークショップ実施後 2 週間経過時点に，ワークショップ参加者 11 名を対象として，半構造化面接法によってインタビュー調査を実施した． 以下の項目に対して自由に語ってもらい，必要に応じて追加質問を行った． 1 人あたり 30 分程度であった.

- ワークショップの感想
- ワークショップを通して，モチベーションについて考えたこと
- ワークショップ以降のモチベーションに関する変化
- ワークショップを通して，モチベーションとプロジェクトの繋がりについて考えたこと

インタビューの逐語録を質的統合法，及びテキストマイニングで分析を行った.

質的統合法による分析

分析は，断片情報から論理的な整合性を持った統一体として全体像を表すことができる，質的統合法[5]を援用して実施した．分析の手順は次のとおりである.

① インタビューの逐語録から，意味のまとまりごとに 1 枚のラベルを作成
② 全てのラベルを俯瞰し，内容が似たラベル同士を集め，グループを編成
③ グループの意味を表現する文章として 80〜150 文字で表札を作成
④ 表札を表現する事柄とエッセンスを付加
⑤ 表札同士の意味の関係性を視覚的に構造化し，見取図を作成.

質的統合法による分析の結果と考察

調査対象者 11 名のインタビューの逐語録を，質的統合法を援用して分析した結果，363 のラベルが作成された．5 回のグループ編成を経て，32 の表札が生成された．32 の表札のうち，ワークショップ実施後に関する表札 16 枚を対象として，見取り図を作成した．見取り図は，“モチベーション要因を可視化したことによる変化（図 2）”，“モチベーション要因を共有したことによる変化（図 3）”についての 2 つである．それぞれの見取り図についてストーリーを以下に述べる．文中では，表札の事柄を[ ]，エッセンスを「」で記述した．なお，ワークショップ受講後の行動変容に関する表札は，“モチベーション要因を可視化したことによる変化”に 1 枚，“モチベーション要因を共有したことによる変化”に 3 枚，計 4 枚であった.

・モチベーション要因を可視化したことによる変化

参加者はワークショップを通じて，[モチベーションを考えるきっかけ]として，「自分自身の内面を可視化してモチベーションの源泉を整理できた」としている．その結果，参加者は[ワークショップ後の行動変容]として，「自分の軸を明確化する必要性を意識し始めた」，「自分の価値観を基にキャリアを考え始めた」，「自分のモチベーションの言語化がしやすくなった」を挙げている．一方で，参加者は[ワークショップ後のモチベーション]として，「モチベーションの変化はあまりない」，[ワークショップ後の行動変容]として，「新たな気づきを得たとしても，行動変容につながるかは参加者次第」としている．また，参加者は[ワークショップ後の行動変容]の「自分の価値観を基にキャリアを考え始めた」ことと相俟って，[モチベーションの維持]として，「転職などで環境を変化させる」としている．また，[ワークショップ後の行動変容]の「自分のモチベーションの言語化がしやすくなった」一方で，[ワークショップの活用方法]として，「ムービングモチベーターズは個人で見直す方が良い」としている.

・モチベーション要因を共有したことによる変化

参加者は[ワークショップでの所感]として，「様々な年代や職種の方と会話し，新たな価値観に気づいた」としている．その

結果，参加者は[ワークショップの職場への導入]として，「初期のコミュニケーションとして，自己理解，相互理解できて良い」としている．また，「様々な年代や職種の方と会話し，新たな価値観に気づいた」結果，[ワークショップでの所感]として，「プロジェクトメンバーとのギャップに気づいた」としている．その結果，[ワークショップ後の行動変容]として，「メンバーの特性に応じたモチベーションマネジメントを考え始めた」としている．そのために，[モチベーションに対する意識]として，「プロジェクトメンバーのモチベーションを意識している」ことを挙げている．「様々な年代や職種の方と会話し，新たな価値観に気づいた」一方で，[ワークショップの職場への導入]として，「気恥ずかしさや利害関係を意識してしまうため，導入は難しい」とし，その両面で[ワークショップに対する評価]として，「仕事に関係するかを量的に評価することは難しい」としている．また，「様々な年代や職種の方と会話し，新たな価値観に気づいた」ことと両面で，[ワークショップに対する期待]として，「同年代と今回のワークショップをやってみたい」としている．

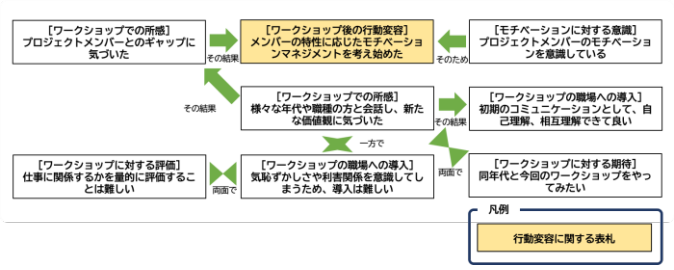


図 2 モチベーション要因の可視化による変化を表した見取図

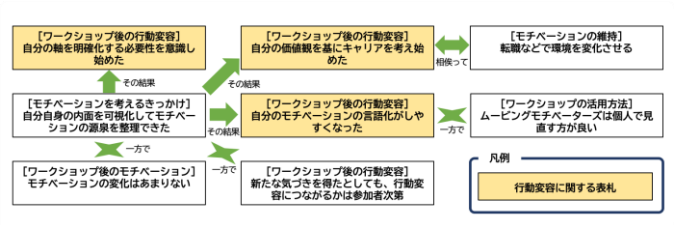


図 3 モチベーション要因の共有による変化を表した見取図

テキストマイニングによる分析

インタビュー調査の逐語録に対し，KH Corder[6] を用いてテキストマイニングを実施した．KH Corder は，比較的容易に分析を行うことが可能であるとともに，マネジメント系を含む幅広い分野の調査研究で利用された実績を有している．

テキストマイニングによる分析結果と考察

共起ネットワーク分析の結果を図 4 に示す．

「モチベーション」と「違う」が共起していることから，モチベーションが人によって異なることをワークショップで認識できたと推測される．「振り返る」「話す」「大事」が共起していることから，ワークショップで作業を実施しただけではなく，言葉にすることや振り返りが大事であることが推測される．分析」「皆さん」「聞く」が共起していることから，人の話を聞くことが個人のモチベーションの分析に役立つことが推測される．「見る」「行動」「意識」が共起しているため，モチベーション要因を可視化することが意識（動機づけ）に繋がると推測される．「考え方」と「変わる」，「意識」と「行動」，「見る」と「変える」，「見える」と「機会」が共起しているため，ワークショップやモチベーションの可視化を機に考え方が変わったり，行動を意識したりすることに繋がったと推測される．

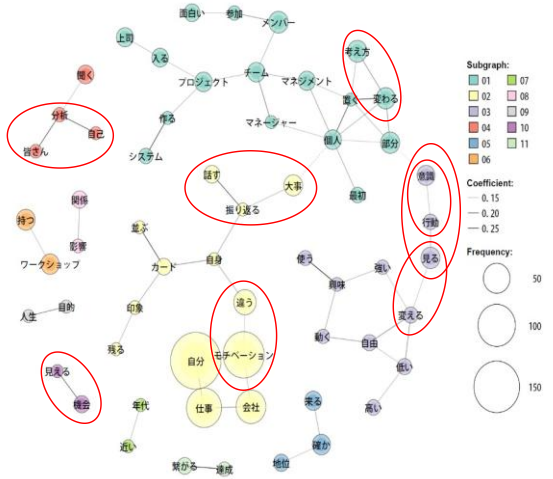


図 4 共起ネットワーク分析の結果

3.3　まとめ

ワークショップの有効性評価として，研修の代表的な評価方法であるカークパトリックの 4 段階モデル[4]のうちレベル 1 のワークショップの満足度，レベル 3 のワークショップによる行動変容について調査を行った．

その結果，アンケート調査からは，参加者全員が，自分のモチベーション向上に役に立つ，今後のプロジェクト活動に役に立つと思っており，ワークショップの満足度が高いことが示された．インタビュー調査結果からは，参加者は，まず，ワークショップのモチベーションの可視化によって，自分の軸を明確化する必要性を意識し始めた，自分の価値観を基にキャリアを考え始めた，自分のモチベーションの言語化がしやすくなったなどの行動変容が確認された．次に，モチベーション要因の共有によって，メンバーの特性に応じたモチベーションマネジメントを考え始めたといった行動変容が確認された．また，インタビュー調査結果のテキストマイニングによる分析では，モチベーション要因を可視化することが動機づけに繋がること，人の話を聞くことが個人のモチベーションの分析に役立つことが推察された．

これらの結果から，ワークショップ受講による期待される効果として設定した，これまでとは違った観点から自分のワークモチベーションを考えることができるようになる，自分自身やチームメンバーのワークモチベーションを活かすことを具体的に考え始め，積極的に行動し，新しいことにチャレンジしようとする変化が生まれる，といったことの達成が確認できた．

4 おわりに

本論文では「ワークモチベーション可視化ワークショップ」の概要を紹介し,ワークショップの有効性評価について，アンケート，及びインタビューによる調査分析を行った結果について報告した．

ワークショップの実践結果からは，自分自身のモチベーション要因を可視化し，それを他の参加者とメンバーと共有することで，モチベーション要因は，人それぞれであることを理解していることが確認された．今後は，調査結果をさらに分析し，その結果を基に，ワークショップを改善していきたい．

謝辞

調査にご協力いただいた皆様に感謝いたします．本研究は東京都立産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の承認を得て実施された．

参考文献

1. 片岡典子，斎藤識樹，田中敦也，鳥海阿理紗，三好きよみ．チーム活動におけるジョブ・パフォーマンス向上のためのワークショップの開発：「ワークモチベーション可視化ワークショップ」．東京都立産業技術大学院大学紀要. 2025; 18: 56-60.
2. JTB モチベーションズ研究開発チーム，やる気を科学する—意欲を引き出す「MSQ 法」の理論と実践．河出書房新社. 1998.
3. Jurgen Appelo, Managing for Happiness: Games, Tools, and Practices to Motivate Any Team, Wiley, 2016 (寶田雅文訳,マネージング・フォー・ハピネス—チームのやる気を引き出すゲーム,ツール,プラクティス．明石書店. 2022.)
4. Kirkpatrick,D.L. and Kirkpatrick,J. D.: Evaliatimng Training Program: The Four levels. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers. 2006.
5. 山浦晴男．質的統合法入門 考え方と手順． 医学書院. 2012.
6. 樋口耕一．社会調査のための計量テキスト分析—内容分析の継承と発展を目指して.ナカニシヤ出版. 2014.

ワークモチベーションに関する年代による比較：モチベーション要因，及びモチベーション要因の把握とキャリア自律，職務満足感，組織風土との関連

Comparison of work motivation by age group : Relationship between understanding motivation factors and career self-reliance, organizational satisfaction, and workplace climate

鳥海 阿理紗[1] 三好 きよみ[1*]
Arisa Chokai[1] Kiyomi Miyoshi[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aiit.ac.jp

Abstract The declining birthrate and aging of the labor force in Japan is becoming an issue, and one of the measures to address this issue is to increase productivity. This study focuses on work motivation and aims to gain insight into how to improve productivity. Comparisons by age revealed the following: Things related to rewards and evaluation by others, things related to self-perception of being useful to others, and things related to oneself are factors that increase the rate of motivation, and there are differences between the ages. Factors related to personal relationships and work situation are factors that decrease motivation at a high rate and do not differ by age group. There are differences between the age groups in terms of achievement, recognition, and responsibility, which are factors that both increase and decrease motivation. The results also show that workers aged 40 and above are characterized by their understanding of the factors that increase or decrease their own motivation and the factors that increase the motivation of the people they work with. Those 40 years of age and older who understand the factors that decrease their own motivation have a better self-image of the kind of work they want to do.

Keywords work motivation; age group; career self-reliance; organizational satisfaction; workplace climate

1 はじめに

少子高齢化が進行している日本の総人口は，近年横ばいであり，人口減少局面を迎えている．15～64 歳の生産年齢人口は減少し，労働力の減少，従業員の高齢化が問題となっている [1]．また，医療・福祉，運輸業，建設業は，人手不足産業とも呼ばれており，飲食業においても，人手不足を理由の倒産が増加している [2]．これらの対策として，労働条件の改善，女性・シニア層の活躍が推進されており，IT の活用による業務効率化や生産性の向上への取り組みも行われている [3].

生産性を規定する要因の1つとしてモチベーションが考えられる．モチベーションと生産性や成果の関連については，会社の価値観の共有が，モチベーションの向上を通じて会社の業績に影響すること [4]，研究プロジェクトを開始する上でのモチベーションの強さが研究成果と相関があること [5]などが明らかにされている．ワークモチベーションと職務パフォーマンスとの関連性について，相互依存性と学習の必要性に関する職務特性の下では間接効果が示されている [6]．また，テレワーク環境でのチームの生産性には，チームワーク能力，自己調整方略，チーム内コミュニーションが間接的に，個人の生産性と仕事へのモチベーションが直接的に影響を及ぼしていることが確認されている [7].

モチベーションに関しては，1950 年代から研究が蓄積されてきている．欲求階層説 [8]，ERGモデル [9]，X-Y 理論 [10]，二要因理論 [11]，内発的動機づけ理論 [12]などは，何によって動機づけられるかの個人差を説明している．堀野 [13]は，達成動機 [14]を自己充実的達成動機と競争的達成動機の 2 側面の概念に発展させている．期待理論 [15]，公平理論 [16]，職務特性理論 [17]などは，組織で働く人のワークモチベーションのプロセスを論じている．ワークモチベーションは，方向性，強度，持続性の 3 つの次元から構成されるといわれており [18]，最近では，「目標に向けて行動を方向づけ，活性化し，そして維持する心理的プロセス」 [19]の定義が定着している．池田・森永 [6]は，Barrick et al. [20]の尺度を参考に，課題の変化に応じて変動する状態を捉えた 4 側面からなる多側面ワークモチベーション尺度を作成した．その調査結果からは，達成志向的を除く，競争志向的，協力志向的，学習志向的の 3 側面のモチベーションは，職務特性の変化に連動することが示されている．菊入・岡田 [21]は，職場において，同僚の自己充実達成動機や競争的達成動機を推測することが，それぞれ自分の同種の達成動機にプラスの影響を及ぼすというモチベーションの伝搬について明らかにしている．また，モチベーションに関する価値観は人によって異なり，モチベーションは状況によって変わり易いという調査結果もある [22].

斎藤ら [23]は，ワークモチベーションに関するインタビュー調査結果を分析している．その結果，ワークモチベーションへ影響を及ぼす要因として，強みを活かせる仕事，刺激を与えてくれる人物や状況，報酬や評価などが向上要因として，やる気のない人，やらされ感など低下要因として抽出されている．また，困難な仕事は，向上要因・低下要因の双方で抽出されている．また，年代によって，モチベーション要因が異なることも確認されている．これらの調査結果から，職場状況や同僚，仕事の内容は，ワークモチベーション低下・向上双方の要因となること，ワークモチベーションに影響を与える要因は，年代によっても異なることがわかる．

モチベーションと関連するものとして，キャリア自律，職務満足感などが想定される．堀内・岡田 [24]は，自律的なキャリアの考え方の人は，組織に愛着を持ち，功利的な気持ちで組織に所属するのではなく，モチベーションで組織に貢献していることを明らかにしている．森永ら [25]は，組織においては，個人の仕事の自律性を確保すると同時に，目標を共有したり，相互依存的に仕事を設計したりすることで，組織全体のモチベーションが向上することを明らかにしている．さらに森永 [26]は，自らのワークモチベーション向上を図るために行う自己調整方略には，言い聞かし方略，シミュレーション方略，接触方略，創造方略，関係性方略の 5 つを抽出している．

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

生涯発達理論やキャリア理論からは，年代によるモチベーション要因の差異が考えられる．Erikson [27] は，人の生涯発達を8つの段階に分け，それぞれで解決すべき発達課題があるとした．本研究で対象である20代から50代の段階である成人前期，成人期について述べる．概ね 40 歳までとされる成人前期の課題は「親密性」とされている．親密性とは，友人，会社，その他の人々などを含めた人間関係のことである．相手を尊重した上でお互いに信頼協力し合いながら，相互に満足させ合うという相互性のことである．40 歳以上とされる成人期の課題は「世代性」とされている．世代性とは，次の世代の確立と指導に対する興味や関心のことである．Jung [28]は，人の人生を日の出から日の入りまでの時間の流れに喩え，正午にあたる，成人前期と中年の間，年齢でいうと 40 歳前後に，大きな転換期があるとしている．人生最大の危機であり，生き方や価値観を転換して，それまでのものの考え方や行動を大きく変える必要があるとした．これらの先行研究を基に，本研究では，40 歳を閾値として，40 歳未満，40 歳以上の 2 群に対して，モチベーションに関連する比較を行う．

本研究では，ワークモチベーションに焦点を当てて，生産性向上のための知見を得ることを目的とする．アンケート調査を行い，自分や一緒に働く人のワークモチベーション要因の把握状況とキャリア自律，職務満足感，組織風土，転職志向，主観的幸福感の関連について，年代による比較を行う．

2 方法

2.1 調査方法

2024 年 1 月にアンケート調査を実施した．調査会社に委託し，登録されている全国のモニターから， 20歳以上 70歳未満を対象とした． アンケート調査で得られた809件から，1つの回答に偏りがみられるケースを除いた 777 名を分析対象とする．年代は，20代 80 名，30代312 名，40代 130 名，50代 172 名，60代 83 名であった．そのうち，チームで働いているのは 593 名で，20 代 64 名，30 代 252 名，40 代 102 名，50 代 118 名，60代 57 名であった．

2.2 調査内容

調査内容は，性別，年齢，業種，勤務形態，業務形態，勤務先規模等の個人属性，及び先行研究を基に構成した．本研究では，以下の調査項目を分析対象とする．

仕事に対するモチベーションへの影響

斎藤ら [29]，田中ら [30]を参考に，“達成するのが困難な目標に取り組んでいるとき”，“ゴールが見えない状況のとき”といった 18 項目について，「モチベーションが下がる」「どちらかといえばモチベーションが下がる」「どちらでもない」「どちらかといえばモチベーションが上がる」「モチベーションが上がる」の 5 件法で回答を求めた．

ワークモチベーションの把握状況

自分，及び一緒に働いている人たちについて，“モチベーションが上がる状況や要因をわかっている”，“モチベーションが下がる状況や要因をわかっている”の 2 項目について，「あてはまる」～「あてはまらない」の 5 件法で回答を求めた．なお，一緒に働いている人たちについてのワークモチベーションの把握状況については，チームで働いている 593 名を対象とする．

職務満足感

職務満足感尺度 [31]，組織コミットメント尺度 [32]を参考に，“今の給料は仕事の責任と内容に見合っていて満足している”，“今の職場は，やりたい仕事ができて満足している”，“新しいスキルを習得することが奨励されており満足している”，“一緒に仕事をしたいと思う仲間がいて満足している”など 20 項目について，「あてはまる」～「あてはまらない」の 5 件法で回答を求めた．

組織風土

組織風土尺度 12 項目版 [33]の 12 項目について，「はい」「いいえ」で回答を求めた．組織風土尺度は，伝統的尺度と組織環境性尺度の 2 つの下位尺度で構成されている．伝統的尺度は，“会社の方針や規則に従うように厳しい要請がある”といった強制的・命令的で封建的な内容の 6 項目，組織環境性尺度は，“ミーティングの成果は必ず次の仕事に生かされている”といった従業員参加度が高く合理的な組織管理の内容の 6 項目である．

キャリア自律

堀内・岡田 [34]のキャリア自律心理因子を参考に，“自分はどんな仕事をやりたいのか明らかである”，“これからのキャリアをより充実したものにしたいと強く思う”，“キャリア形成は，自分自身の責任である”，“これから先の私のキャリアの展望は明るいと思う”など 4 因子 12 項目について，「あてはまる」～「あてはまらない」の 5 件法で回答を求めた．

転職志向

“(1)よりよい条件の仕事や職場を求めて積極的に行いたい”，“(2)よりよい条件の仕事や職場が見つかれば，考えてもよい”，“(3)できる限りしたくないが，必要があれば仕方ない”，“(4)転職せずに働き続けたい”から当てはまるものについて単一回答法で回答を求めた．

主観的幸福感

「国民生活選好度調査」 [35]を参考に，どの程度幸せかについて，「とても幸せ」を 10 点，「とても不幸」を 0 点として何点くらいになるかを求めた．

3 結果と考察

本章では，まず，仕事に対するモチベーションへの影響について，1 節で 18 項目についてのモチベーション向上・低下の割合，2 節で仕事に対するモチベーションへの影響の年代に

よる比較，3 節では各因子の平均値の年代による比較，4 節では年代ごとの各因子との相関関係についての分析結果を述べる．

3.1　仕事に対するモチベーションの向上・低下要因調査内容

仕事に対するモチベーションへの影響 18 項目に関して，40 歳未満と 40 歳以上の 2 群に分け，「モチベーションが下がる」「どちらかといえばモチベーションが下がる」「どちらでもない」「どちらかといえばモチベーションが上がる」「モチベーションが上がる」と答えた割合を図 1 に示す．

モチベーションが上がる割合が高い項目：

年代に関わらず「モチベーションが上がる」「どちらかといえばモチベーションが上がる」の割合が高いのは，以下のような項目であった．“給与やボーナスが仕事に見合った以上と感じたとき”，“周囲から評価されたと感じたとき”，“組織に必要とされていると感じたとき”，“世の中の役に立つ仕事をしているとき”，“誰かのために仕事ができていると感じるとき”，“周囲の人と協力しあって仕事をしているとき”，“自分の強みを活かせていると感じるとき”．

これらは，報酬や他者からの評価に関する要因，他者に役立っているという自己認識に関する要因であり，自分のことに関する要因である．他者からの評価，自己研鑽は，それぞれ競争的達成動機，自己充実的達成動機 [13]と一致する結果であった．一方，報酬に関しては，二要因理論 [11]では，衛生要因であり，不満足を引き起こす要因とされる．しかしながら，今回の調査結果では，報酬に関する“給与やボーナスが仕事に見合った以上と感じたとき”は，モチベーションの向上要因としての割合が高く，モチベーションの低下要因としての割合は低かった．

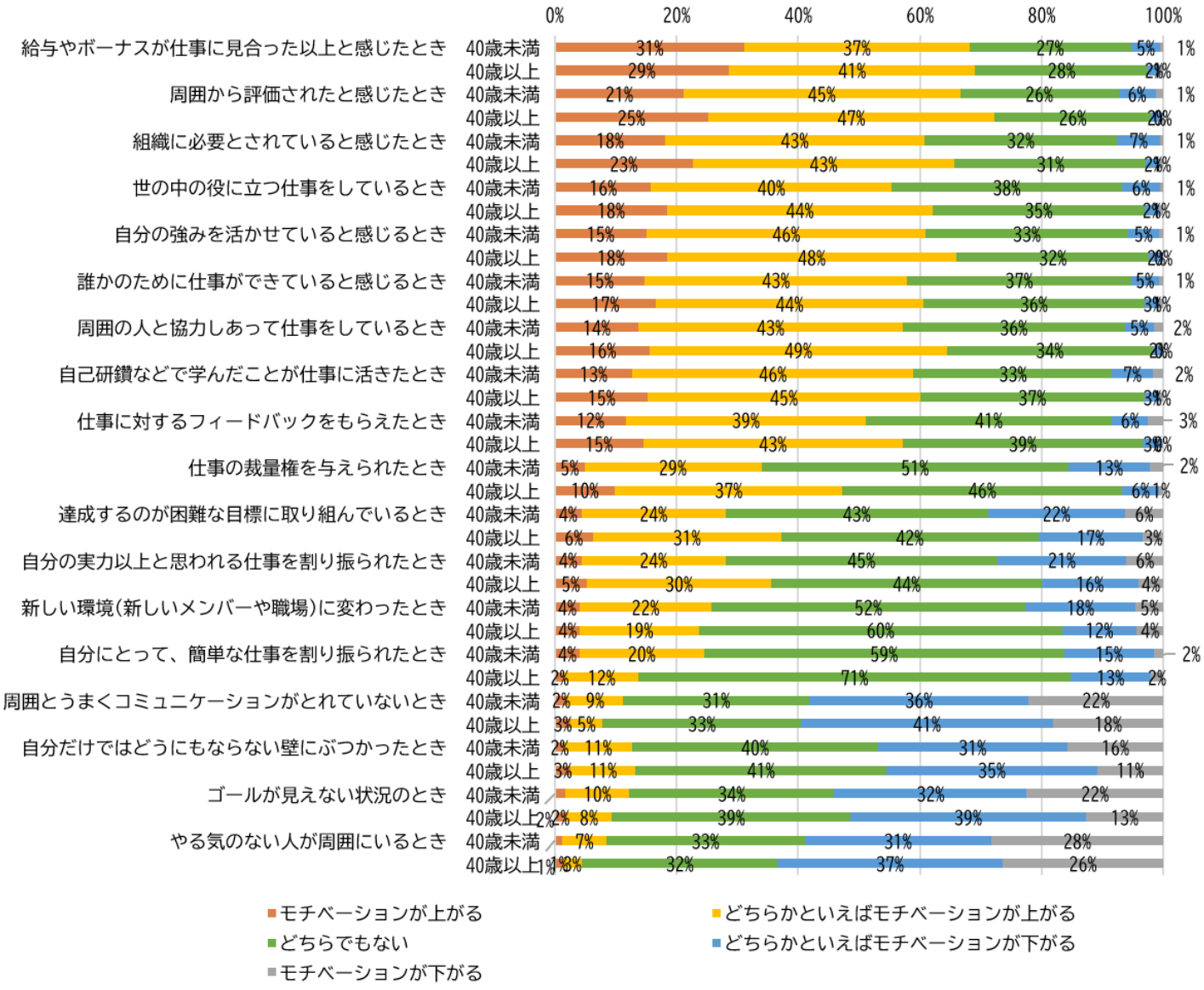


図 1　仕事に対するモチベーションへ影響する要因（40 歳未満 n=392, 40 歳以上 n=385）

モチベーションが上がるとモチベーションが下がるどちらも一定の割合である項目：

年代に関わらず「モチベーションが上がる」「どちらかといえばモチベーションが上がる」と「モチベーションが下がる」「どちらかといえばモチベーションが下がる」のどちらにも一定の割合の回答がみられたのは，以下のような項目であった．“達成するのが困難な目標に取り組んでいるとき”，“自分の実力以上と思われる仕事を割り振られたとき”，“新しい環境（新しいメンバーや職場）に変わったとき”，“自分にとって，簡単な仕事を割り振られたとき”であった．これらは，達成感，承認，責任に関することである．二要因理論 [11]では，達成感，承認，責任は，動機づけ要因とされており満足を与える要因とされる．しかしながら，今回の調査結果からは，必ずしも満足となる要因ではなかった．また，池田・森永 [6]は，達成志向的を除く，競争志向的，協力志向的，学習志向的の 3 側面のモチベーションは，職務特性の変化に連動するとのことであった．しかし，今回の調査結果では，”達成するのが困難な目標に取り組んでいるとき”，“自分の実力以上と思われる仕事を割り振られたとき” といった達成志向的なモチベーションが向上要因，低下要因のどちらにも同程度であったことから，変化に連動していると考えられる．

モチベーションが下がる割合が高い項目 ：

年代に関わらず「モチベーションが下がる」「どちらかといえばモチベーションが下がる」の割合が高いのは，以下のような項目であった．“やる気のない人が周囲にいるとき”，“周囲とうまくコミュニケーションがとれていないとき”，“ゴールが見えない状況のとき”，“自分だけではどうにもならない壁にぶつかったとき”．

これらは，人間関係や仕事状況に関する要因である．二要因理論 [11]では，人間関係は衛生要因であり，不満足を引き起こす要因とされる．今回の調査結果でもモチベーションの低下要因として割合が高く，不満足となる要因であった．また，モチベーションの伝搬 [21]は，モチベーションへのプラス要因についての研究であったが，今回の調査結果では，“やる気のない人が周囲にいるとき”の低下要因の割合が高く，マイナス要因についても伝搬することがわかった．

3.2 仕事に対するモチベーションへの影響の年代による比較

仕事に対するモチベーションへの影響について，40 歳未満と 40 歳以上による，モチベーション向上とモチベーション低下の割合について比較を行った．「モチベーションが下がる」「どちらかといえばモチベーションが下がる」の回答をモチベーション低下，「どちらかといえばモチベーションが上がる」「モチベーションが上がる」の回答をモチベーション向上とし，クロス集計，及びカイ二乗検定を行った．結果を表 1 に示す．

カイ二乗検定の結果，有意であったのは以下の 11 項目である．周囲から評価されたと感じたとき($\chi(1)^2=12.43$, $p<.001$)，組織に必要とされていると感じたとき($\chi(1)^2=9.23$, $p<.01$)，世の中の役に立つ仕事をしているとき($\chi(1)^2=6.73$, $p<.05$)，自分の強みを活かせていると感じるとき($\chi(1)^2=6.58$, $p<.05$)，周囲の人と協力しあって仕事をしているとき($\chi(1)^2=11.28$, $p<.01$)，自己研鑽などで学んだことが仕事に活きたとき($\chi(1)^2=8.95$, $p<.05$)，仕事に対するフィードバックをもらえたとき($\chi(1)^2=9.69$, $p<.01$)，仕事の裁量権を与えられたとき($\chi(1)^2=21.24$, $p<.01$)，達成するのが困難な目標に取り組んでいるとき($\chi(1)^2=10.32$, $p<.01$)，自分の実力以上と思われる仕事を割り振られたとき($\chi(1)^2=7.82$, $p<.01$)，自分にとって，簡単な仕事を割り振られたとき($\chi(1)^2=4.28$, $p<.05$)．一方，給与やボーナスが仕事に見合った以上と感じたとき，誰かのために仕事ができていると感じるとき，新しい環境（新しいメンバーや職場）に変わったとき，周囲とうまくコミュニケーションがとれていないとき，自分だけではどうにもならない壁にぶつかったとき，ゴールが見えない状況のとき，やる気のない人が周囲にいるときの 7 項目については，有意差が確認されなかった．

前節で確認された，モチベーションが上がる割合が高い 10 項目のうち，8 項目で年代による有意差が確認された．モチベーションが上がるとモチベーションが下がるどちらも一定の割合である 4 項目のうち，3 項目で年代による有意差が確認された．モチベーションが下がる割合が高い 4 項目では，年代に有意差が確認されなかった．この結果からは，モチベーションが上がる割合が高い要因の報酬や他者からの評価に関する要因，他者に役立っているという自己認識に関すること，自分のことについては，年代で差があることがわかる．一方，モチベーションが下がる割合が高い要因の人間関係や仕事状況に関することは，年代で差がないことがわかる．また，モチベーションが上がる要因にも下がる要因にもなる達成感，承認，責任に関することについては，年代による差があることがわかる．

3.3 各因子の平均値の年代による比較

各因子について，40 歳未満と 40 歳以上の 2 群に分け，平均値の差の検定を行った結果を表 2 に示す．自分のモチベーションの向上要因の把握，低下要因の把握，一緒に働く人の向上要因の把握，職務満足感，組織風土の組織環境性，キャリア自律の自己イメージ，自己責任，主観的幸福感について，40 歳以上群の平均値が高い結果であった．転職志向については，40 歳未満群の平均値が高い結果であった．

平均値の比較からは，40 歳以上群の特徴として，自分のモチベーション向上・低下要因，一緒に働く人のモチベーションの向上要因について把握していることがわかる．また．組織風土は，従業員参加度が高く合理的な組織管理がされていると感じており，職場満足度，幸福感も高い傾向，キャリアについては，自己イメージがあり，自己責任であると感じている傾向があることがわかる．

表 1　仕事に対するモチベーションへ影響する要因 年代別 （「どちらでもない」の回答は除外）

		モチベーション 向上	低下	合計	χ^2値
給与やボーナスが仕事に見合った以上と感じたとき		267	21	288	
	40歳未満	92.70%	7.30%		
		266	10	276	
	40歳以上	96.40%	3.60%		
	合計	533	31	564	
周囲から評価されたと感じたとき		261	29	290	12.43
	40歳未満	90.00%	10.00%		***
		278	8	286	
	40歳以上	97.20%	2.80%		
	合計	539	37	576	
組織に必要とされていると感じたとき		238	30	268	9.23
	40歳未満	88.80%	11.20%		**
		253	11	264	
	40歳以上	95.80%	4.20%		
	合計	491	41	532	
世の中の役に立つ仕事をしているとき		217	27	244	6.73
	40歳未満	88.90%	11.10%		*
		239	12	251	
	40歳以上	95.20%	4.80%		
	合計	456	39	495	
自分の強みを活かせていると感じるとき		239	23	262	6.58
	40歳未満	91.20%	8.80%		*
		254	9	263	
	40歳以上	96.60%	3.40%		
	合計	493	32	525	
誰かのために仕事ができていると感じるとき		227	21	248	
	40歳未満	91.50%	8.50%		
		233	12	245	
	40歳以上	95.10%	4.90%		
	合計	460	33	493	
周囲の人と協力しあって仕事をしているとき		224	25	249	11.28
	40歳未満	90.00%	10.00%		***
		248	7	255	
	40歳以上	97.30%	2.70%		
	合計	472	32	504	
自己研鑽などで学んだことが仕事に活きたとき		231	33	264	8.95
	40歳未満	87.50%	12.50%		*
		231	12	243	
	40歳以上	95.10%	4.90%		
	合計	462	45	507	
仕事に対するフィードバックをもらえたとき		200	33	233	9.69
	40歳未満	85.80%	14.20%		**
		220	13	233	
	40歳以上	94.40%	5.60%		
	合計	420	46	466	

		モチベーション 向上	低下	合計	χ^2値
仕事の裁量権を与えられたとき		133	61	194	21.24
	40歳未満	68.60%	31.40%		***
		182	26	208	
	40歳以上	87.50%	12.50%		
	合計	315	87	402	
達成するのが困難な目標に取り組んでいるとき		110	113	223	10.32
	40歳未満	49.30%	50.70%		**
		143	79	222	
	40歳以上	64.40%	35.60%		
	合計	253	192	445	
自分の実力以上と思われる仕事を割り振られたとき		110	107	217	7.82
	40歳未満	50.70%	49.30%		**
		137	77	214	
	40歳以上	64.00%	36.00%		
	合計	247	184	431	
新しい環境（新しいメンバーや職場）に変わったとき		101	89	190	
	40歳未満	53.20%	46.80%		
		91	64	155	
	40歳以上	58.70%	41.30%		
	合計	192	153	345	
自分にとって，簡単な仕事を割り振られたとき		96	64	160	4.28
	40歳未満	60.00%	40.00%		*
		53	59	112	
	40歳以上	47.30%	52.70%		
	合計	149	123	272	
周囲とうまくコミュニケーションがとれていないとき		44	228	272	
	40歳未満	16.20%	83.80%		
		30	229	259	
	40歳以上	11.60%	88.40%		
	合計	74	457	531	
自分だけではどうにもならない壁にぶつかったとき		50	184	234	
	40歳未満	21.40%	78.60%		
		51	175	226	
	40歳以上	22.60%	77.40%		
	合計	101	359	460	
ゴールが見えない状況のとき		48	212	260	
	40歳未満	18.50%	81.50%		
		36	198	234	
	40歳以上	15.40%	84.60%		
	合計	84	410	494	
やる気のない人が周囲にいるとき		33	231	264	
	40歳未満	12.50%	87.50%		
		17	244	261	
	40歳以上	6.50%	93.50%		
	合計	50	475	525	

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

表 2　40 歳未満，40 歳以上の平均値の比較

		40歳未満 (n=392)		40歳以上 (n=385)		
		平均	SD	平均	SD	t値
自分のモチベーション	向上要因の把握	3.53	0.82	3.67	0.74	−2.62 **
	低下要因の把握	3.59	0.89	3.69	0.77	−1.70 *
一緒に働く人のモチベーション※	向上要因の把握	3.16	0.86	3.29	0.81	−1.81 *
	低下要因の把握	3.25	0.90	3.34	0.75	−1.41
職務満足感		3.09	1.08	3.24	1.08	1.08 *
組織風土	伝統性	9.85	1.85	9.85	1.88	1.88
	組織環境性	9.29	1.96	9.51	1.92	1.92 *
キャリア自律	自己イメージ	3.14	0.84	3.31	0.82	.82 **
	主体的キャリア形成	3.40	0.80	3.37	0.71	.71
	自己責任	3.26	0.70	3.39	0.63	.63 **
	充実感	3.00	0.75	2.96	0.82	.82
転職志向		2.55	1.02	2.16	0.96	.96 ***
主観的幸福感		7.03	1.95	7.42	1.99	1.99 **

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05
※40歳未満 (n=316), 40歳以上 (n=277)

3.4　年代ごとの各因子との相関関係各因子の平均値の年代による比較

自分，及び一緒に働く人のモチベーション要因の把握状況と組織風土，キャリア自律，職務満足感，主観的幸福感，転職志向間の相関係数を年代ごとに算出した結果を表 3，表 4 に示す.

相関係数の算出結果からは，自分のワークモチベーションの向上要因の把握状況とキャリア自律の自己責任との間に，40 歳以上群には有意な正の相関が確認された．また，自分のワークモチベーションの低下要因の把握状況とキャリア自律の自己イメージとの間に， 40 歳以上群には有意な正の相関が確認された．一緒に働く人のモチベーション向上と低下要因の把握状況と職務満足感と主観的幸福感にとの間に，40 歳以上群には有意な正の相関が確認された.

40 歳以上群の特徴として，一緒に働く人のモチベーション向上要因の把握と職務満足感，主観的幸福感との関連，一緒に働く人のモチベーション低下要因の把握と従業員参加度が高く合理的な組織管理がされていると感じていること，転職志向が低いこと，キャリアは自己責任であると感じていることとの間に関連があることがわかる.

以上のことから，40 歳以上で，自分のモチベーションの低下要因を把握している人は，よりどんな仕事をやりたいのかという自己イメージができていることがわかる．一緒に働く人のワークモチベーションの向上要因と低下要因を把握している人は，職場満足度が高い傾向があることがわかる.

職務満足感や組織風土が生産性に関連することは，広く知られており，従業員満足度調査が実施されるようになってきている．今回の分析では，職務満足感，合理的な組織風土，キャリア自律，主観的幸福感がモチベーション要因の把握とも関連することがわかった.

表 3　ワークモチベーション要因の把握状況との相関関係（40 歳未満）

		自分のモチベーション (n=392)		一緒に働く人のモチベーション (n=316)	
		向上要因の把握	低下要因の把握	向上要因の把握	低下要因の把握
職務満足感		.15 **	−.01	.08	.16 **
組織風土	伝統性	.01	.07	−.10 *	−.08
	組織環境性	−.15 **	−.07	**−.22 *****	−.18 ***
キャリア自律	自己イメージ	**.36 *****	.18 ***	**.30 *****	**.34 *****
	主体的キャリア形成	**.37 *****	**.33 *****	**.33 *****	**.29 *****
	自己責任	.16 ***	.08	.19 ***	.16
	充実感	**.31 *****	.11	**.41 *****	**.32 *****
転職志向		.06	.11 *	.02	.03
主観的幸福感		**.21 *****	.11 *	.15	.13 *

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05
太字：相関係数. 20以上

表 4　ワークモチベーション要因の把握状況との相関関係（40 歳以上）

		自分のモチベーション (n=385)		一緒に働く人のモチベーション (n=277)	
		向上要因の把握	低下要因の把握	向上要因の把握	低下要因の把握
職務満足感		.18 ***	.07	**.24 *****	**.21 *****
組織風土	伝統性	.04	−.02	.12 *	.08
	組織環境性	−.13 **	.00	**−.23 *****	−.10
キャリア自律	自己イメージ	**.43 *****	**.26 *****	**.39 *****	**.36 *****
	主体的キャリア形成	**.38 *****	**.28 *****	**.30 *****	**.28 *****
	自己責任	**.25 *****	.19 ***	**.22 *****	**.20 *****
	充実感	**.27 *****	.07	**.37 *****	**.27 *****
転職志向		.09 *	.17 ***	.11	.12 *
主観的幸福感		**.26 *****	.08	**.20 *****	.15 **

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05
太字：相関係数. 20以上

3.5　まとめ

アンケート調査の分析結果からは，報酬や評価がモチベーション向上要因となること，やる気のない人が周囲にいることが低下要因となること，また，仕事の達成感はモチベーション向上・低下の双方の要因となることなどが示された．これらは，インタビュー調査の結果 [29]と一致する結果であった．年代による比較では，モチベーションが上がる割合が高い要因の報酬や他者からの評価に関すること，他者に役立っているという自己認識に関すること，自分のことについては，年代で差があることがわかった．一方，モチベーションが下がる割合が高い要因の人間関係や仕事状況に関することは，年代で差がないことがわかった．また，モチベーションが上がる要因にも下がる要因にもなる達成感，承認，責任に関することについては，年代による差があることがわかった．平均値の比較からは，40 歳以上群の特徴として，自分のモチベーション向上・低下要因，一緒に働く人のモチベーションの向上要因について把握していることがわかった．また，40 歳以上で，自分のモチベーションの低下要因を把握している人は，よりどんな仕事をやりたいのかという自己イメージができていることがわかった.

4 おわりに

本研究では，ワークモチベーションに焦点を当てて，生産性向上のための知見を得ることが目的であった．アンケート調査を行い，自分や一緒に働く人のワークモチベーション要因の把握状況とキャリア自律，職務満足感，組織風土，転職志向，主観的幸福感の関連について，ワークモチベーションに関する年代による比較を行った．

今後はさらに分析をすすめ，ワークモチベーションに関連する要素の因果関係について明らかにする予定である．それらの結果から，組織やチーム全体のモチベーションが向上し，生産性向上に効果をもたらすような施策を検討していく．

付記

本研究の一部は，プロジェクトマネジメント学会 2024 年春季研究発表 [36]，経営情報学会 2024 年度年次大会 [37]にて発表された．本研究は東京都立産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の承認を得て実施された．

参考文献

1. 国立社会保障・人口問題研究所. 日本の将来推計人口（令和 5 年推計）. 2023.
2. 厚生労働省. 労働経済動向調査（令和 5 年 11 月）. 2023.
3. 厚生労働省. 労働経済の分析. 2022.
4. 飛田努, 松村勝弘, 篠田朝也, 田中伸. 日本企業の経営管理システムに関する実証研究. 年報財務管理研究, (25), 1-27, 2014.
5. 伊神正貫, 長岡貞男. 科学研究プロジェクトの動機が研究マネジメント，チーム構成および研究成果に与える影響を探る —日米の科学者を対象とした大規模調査による実証研究—. 日本知財学会誌. 10(3), 33-45, 2014.
6. 池田浩，森永雄太. 我が国における多側面ワークモチベーション尺度の開発. 産業・組織心理学研究, 30 (2), 171-186, 2017.
7. 三好きよみ, 永根亜由, 塩谷正治, 白井貴子, 戸澤健太. テレワーク環境におけるチーム業務の生産性に影響を及ぼす要因の検討. 情報処理学会研究報告, 2022-IS-159 (11), 1-6, 2022.
8. H. A. Maslow. Motivation and Personality. NewYork: Harper&Row, 1954.
9. P. C. Alderfer, Existence, Relatedness, and Growth. NewYork: Free Press, 1972.
10. D. McGregor. The human side of enterprize, NewYork: MacGraw-Hill, 1960.
11. F. Herzberg. Work and the Nature of Man. Cleveland: World Publishing, 1966.
12. E. L. Deci, Effects of externally mediated rewards on intrinsic motivation, Journal of Personality and Social Psychology, 18 (1), 105–115, 1971.
13. 堀野緑，森和代. 抑うつとソーシャルサポートとの関連に介在する達成動機の要因. 教育心理学研究, 39 (3), 308-315, 1991.
14. H. A. Murray. Explorations in personality: a clinical and experimental study of fifty men of college age. Oxford Univ. Press., 1938.
15. V. H. Vroom. Work and motivation. Wiley, 1964.
16. S. J. Adams. Towards an understanding of inequity. The Journal of Abnormal and Social Psychology, 67 (5), 422-436, 1963.
17. Hackman, R. J., Oldman, R. Motivation through the design of work: test of a theory. Organizational Behavior and Human Performance, 16 (2), 250-279, 1976.
18. R. Kanfer. Motivation theory and industrial and organizational psychology. Handbook of industrial and organizational psychology, Consulting Psychologists Press, 75−170, 1990.
19. R. T. Mitchell. Matching motivational strategies with organizational contexts. Research in Organizational Behavior, 19, 57-149, 1997.
20. Barrick, R. M., Stewart, L. & Piotrowski, M. Personality and job performance: Test of the mediating effects of motivation among sales representatives. Journal of Applied Psychology, 87 (1), 43-51, 2002.
21. 菊入みゆき, 岡田昌毅. 職場における同僚間の達成動機の伝播に関する研究. 産業・組織心理学研究, 27 (2), 101-106, 2014.
22. 菊入みゆき. モチベーションの高さとその要因を分析する「やる気」分析システム MSQ の概要と活用. 品質, 33 (3), 28-35, 2003.
23. 鳥海阿理紗, 片岡典子, 斎藤識樹, 田中敦也, 三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因-テキストマイニングによる特徴抽出-. 横幹連合コンファレンス, D-4-4, 2023.
24. 堀内泰利, 岡田昌毅. キャリア自律が組織コミットメントに与える影響. 産業・組織心理学研究, 23 (1), 15-28, 2009.
25. 森永雄太, 服部泰宏, 麓仁美, 鈴木竜太. 相互依存的な職務設計と動機づけの関係. 組織科学, 46 (2), 64-74, 2012.
26. 森永雄太. 仕事における動機づけの自己調整－キャリアステージ間の比較を通じて－. キャリアデザイン研究, 5 (5), 23-36, 2009.
27. E. H. Erikson. Identity:Youth and Crisis. W.W.Norton&Co, 1968.
28. C. G. Jung. The stages of life. In J.Campbell(Ed.), The Portable Jung. New York: Penguin, 1976.
29. 斎藤識樹, 片岡典子, 田中敦也, 鳥海阿理紗,三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因の研究. 経営情報学会 2023 年全国研究発表大会要旨集，155-158, 2023
30. 田中敦也, 片岡典子, 斎藤識樹, 鳥海阿理紗,三好きよみ. プロジェクトメンバーのワークモチベーションに影響を及ぼす要因の検討. デジタル人材育成学会誌, 2, 5-6, 2023.
31. 森田慎一郎. 日本の会社員における定着志向と職務満足感との関連. 心理学研究, 76 (6), 534-539, 2006.
32. 松本真作. 高業績で魅力ある会社とチームのためのデータサイエンス—職場と仕事を数値化する測定尺度. 独立行政法人労働政策研究・研修機構, 2017.
33. 福井里江, 原谷隆史, 外島裕, 島悟, 高橋正也. 職場の組織風土の測定-組織風土尺度 12 項目版（OCS-12）の信頼性と妥当性. 産業衛生学雑誌, 46 (6), 213-222, 2004.
34. 堀内泰利, 岡田昌毅. キャリア自律を促進する要因の実証的研究. 産業・組織心理学研究, 29 (2), 73-86, 2016.
35. 内閣府. 国民生活選好度調査. 2012.
36. 三好きよみ, 片岡典子, 斎藤識樹, 田中敦也, 鳥海阿理紗. チームで働く人のモチベーション要因の把握状況とキャリア自律，職務満足感の関連. プロジェクトマネジメント学会 2024 年春季研究発表会予稿集,271-277. 2024.
37. 鳥海阿理紗, 三好きよみ. ワークモチベーション要因の把握状況とキャリア自律，職務満足感の関連性についての年代による差異. 経営情報学会 2024 年度年次大会, 2024

PBL におけるチームワーク促進のためのレゴ®シリアスプレイ®の活用：2023 年度の事例

Using the LEGO® Serious Play® to promote teamwork in PBL : A case study for 2023

三好 きよみ [1*]
Kiyomi Miyoshi[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Kiyomi Miyoshi, kiyomi@aiit.ac.jp

Abstract The purpose of this study is to clarify the effect of LSP workshops on promoting teamwork in PBL activities conducted remotely by members with diverse backgrounds. In regard to promoting teamwork, we focused on the psychological factors of team mental models and transactive memory systems. Three workshops were held over the course of one year. Analysis of comments during each workshop and feedback at the end of the workshop confirmed the effectiveness of LSP workshops in promoting teamwork in PBL activities.

Keywords project based learning; teamwork; team mental models; transactive memory systems; LEGO Serious Play

1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学（本学）は、主に社会人を対象とした専門職大学院であり、情報アーキテクト、ものづくりアーキテクト、及び事業イノベーターと呼ぶ人材を育成する 3 つのコースを開設している。2 年間を通して、コミュニケーション力、継続的学修と研究の能力、チーム活動の 3 つのメタコンピテンシー、及びコースごとに設定されているコアコンピテンシーを向上させることを目指す。専門職学位取得のための必修科目として PBL（Project Based Learning）型[1]の教育を行っており、1 年次に基礎的な知識スキルを修得した上で、2 年次に PBL 科目を履修する。社会人が学びやすいように、平日夜・土曜の授業、遠隔と対面のハイブリッド型での授業、全ての授業の録画などの提供、単位バンク制度等、各種制度を用意している[2]。

コロナ禍の 2020 年以降に開始された遠隔での授業は、現在も継続されており、職場からでも受講できる、在宅勤務時にそのまま自宅で受講できる、通学時間がかからない、などのメリットも多くあり、学びを推進することとなっている。しかしながら、PBL においては、チーム活動が主であり、遠隔での実施にはデメリットもある。例えば、初対面同士の議論が難しい、相手が自分の話をどれくらい理解できているか確認が困難、チームへの帰属意識が高まらない、といったことが挙げられている[3]。一般的に、異なるロケーションでのチームワークは、チームパフォーマンスが低下すること、発揮されるリーダーシップの効果が低下することが知られている[4]。よって、遠隔環境での PBL においてもチームワークをいかに促進するかが課題の 1 つとして挙げられる。チームワークの促進、つまり、チームパフォーマンスの向上は、チーム・メンタルモデルの形成[5]、及びトランザクティブ・メモリー・システムの構築[6]が効果的であることが明らかにされている。チーム・メンタルモデルとは、チームが取り組む課題の内容や遂行の仕方、チームの特性やメンバーの特性に関する知識や心的表象がメンバー間で共有されていることを意味する[7]。トランザクティブ・メモリー・システムは、チームメンバー間の誰が何を知っているかの共通認識と定義されている[8,9]。チーム・メンタルモデルの形成、及びトランザクティブ・メモリー・システムの構築のためには、対面で日常的なコミュニケーションを取ることが有効であるとされる。しかしながら、本学は多くが社会人学生であり、日常的コミュニケーションを取るということは現実ではない。また、授業や PBL は、遠隔環境で行われており、対面コミュニケーションを取る機会も限られる。そこで、レゴシリアスプレイ（以下、LSP）を活用することとした。なお、PBL 活動では、会社組織のような上下関係がなく、メンバー全員が水平な関係である。プロジェクトマネージャーや書記などの役割も月ごとに交代するという運用がされていることが多く、1 人のリーダーがチームを牽引することはほとんどない。よって、プロジェクトにおける意思決定では、一人ひとりの意見を十分に引き出すことが不可欠である。

本研究は、多様な背景のメンバーによって遂行される遠隔環境での PBL において、 LSP によるワークショップが、チームワーク促進に及ぼす影響について明らかにすることが目的である。2022 年度の事例[10]につづき、本稿では、2023 年度の PBL チームで実施した LSP によるワークショップの結果について報告する。

2 レゴシリアスプレイ（LSP）

LSP とは

LSP とは、レゴブロックを使って作品を作り、「個人の価値観やビジョンなど、頭のなかでなんとなく意識しているモヤモヤとした部分を可視化する」ための対話方法論[11]である。「コンストラショニズム」や「フロー」を理論的基盤においており、心理学、創造性、組織開発などの研究成果を取り込みながら発展し、現在では多くの企業や教育機関が導入している。

LSP では、全員に 100%の発言機会と 100%の傾聴を保証する、「100 対 100 の対話」を基本理念としている。全員が平等な立場での対話を実現する状態を意図的に創り出すのである。よって、参加者がアイデアや理解を共有し、共通理解や合意形成を図るような、共創プロセスに適した手法として有効性が報告されており、企業の戦略策定、組織活性化、チームビルディングなどに活用されている[12,13]。

LSP では、専用のレゴブロックセットを用いて、トレーニングを受けたファシリテーターがワークショップを行う。ワークショップでは、参加者は、レゴブロックを使って、「ゴール」、「ビジョン」、「リーダーシップ」といった抽象的なイメージや

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

アイデンティティを組み立てる。そこで、ファシリテーターは、言語だけでは表現できない本当の考えや気持ちの表出を参加者に促し、引き出していく。ワークショップは4～8名程度のグループで行われる。

LSP の基本構造

LSP は4つのコアプロセスで構成される。(1) 問いを立てる (2) 組み立てる (3) 共有する（ストーリーを語る） (4) ふりかえる の4つである。ワークショップの目的やテーマに応じて (1) の問いが構成され、この一連のステップを繰り返しながら、テーマについての理解や気づきを重ねていく。(2) では、参加者は即座に直感的に手に任せてレゴブロックで作品を作る。(3) では、参加者が一人ずつ順番に、自分の作品についてのストーリーを語る。(4) では、グループの中で互いに質問をしたり，意味の確認をしたりする。参加者は、作品に触れ、指を指しながら、ストーリーを語り、質問に答えていく過程で、作品に意味を与え、自分にとって特別な表現となる。

LSP には、次の7つのアプリケーションテクニック（AT）がある。AT1：個人モデルの作成、AT2：共有モデルの作成、AT3：ランドスケープの作成、AT4：コネクションの作成、AT5：システムの構築、AT6：出来事と意思決定をプレイする、AT7：行動原理を抽出する。これらの7つの AT を組み合わせてワークショップを設計する。なお、ワークショップの最初には、レゴブロックの組み立て、及びストーリーを語ることに慣れるためにスキルビルディングを行う。また、2回目以降では、スキルビルディングをつなぎ直しと呼び、レゴブロックの組み立て、及びストーリーを語ることを思い出してもらうワークを行う。

PBL における LSP の有効性

以上のような特徴を持つ LSP は、本学のように、多様な背景のメンバーで実施される PBL においては、チームワーク促進に有効であると考えられる。特に遠隔環境での活動においては、相互理解と共通の目標意識の醸成に効果が期待できる。さらに、PBL による成長や内面を可視化することに有効であると考えられる。

3 ワークショップの設計

PBL 活動におけるチームワーク促進、及び PBL による成長と内面の可視化を目的として、PBL 開始時、PBL 前期終了時 PBL 終了時の計3回のワークショップを設計した。PBL 開始時（第1回）はチームメンバーの相互理解、PBL 前期終了時（第2回）は、後期に向けてチームの方向性の共有、PBL 終了時（第3回）は、PBL 活動の振り返りと個人ごとの今後の展望の可視化がねらいである。また、どの回においても、各自の状態や課題といった内面を可視化する問いを設定している。各ワークショップ開始時には、ワークショップの目的について説明し、ワークショップ終了時には、振り返りの時間を設けている。以下に各回の概要を示す。

なお、ワークショップの最初に行うスキルビルディングでは、ウィンドウエクスプロレーションキットという 50 パーツ程度のセットを1人1セット使用する。その後、アイデンティティ＆ランドスケープキットという、動物・タイヤ・窓・木・ミニフィギュア・棒・球体・らせんチューブ・ハシゴ・フェンスなど一通りのレゴのパーツのセットを全員で使用する。AT4 では、コネクションキットという、接続パーツ・らせんチューブ・ハシゴ・ヒモといったアイテムを使用する。

第1回 PBL 開始時

目的：チームメンバーがそれぞれのパーソナリティを認識する。
ねらい：トランザクティブ・メモリー・システムの構築、チーム・メンタルモデルの形成
時間：2時間程度
スキルビルディング
問い：①「タワー」、②「職場のプチ自慢」、③「こんなプロマネは嫌だ！」
使用ブロック：ウィンドウエクスプロレーションキット
問い：④今の私の状態・課題
使用ブロック：アイデンティティ＆ランドスケープキット

第2回 PBL 前期終了時

目的： PBL 後期に向けて、個人の目標とチームとしての成果物完成までのプロセスをすりあわせる。
ねらい：トランザクティブ・メモリー・システムの構築、チーム・メンタルモデルの形成
時間： 3時間程度
つなぎ直し
問い：①「今の私の状態・課題」、②「こんな PBL 活動はいやだ（仕事や家庭の環境含めて）」
使用ブロック：ウィンドウエクスプロレーションキット
テーマ「これからの PBL 活動」
＜AT1＞ 個人モデルの作成
問い：③「チームのミッション・ゴール」
・PBL 終了時にチームとして、どうなっていたいかを作品を通して語る。
＜AT2＞ 共有モデルの作成
・自分の作品から一番大事なところを抽出し、抽出した作品を通して語る。
・抽出した作品で共有モデルを作成する。
・全員で共有モデルのストーリーを作成し、共有する。
＜AT1＞ 個人モデルの作成
問い：④「チームのために私ができること」
・これからの PBL で各自がやりたいこと、できることを作品を通して語る。
＜AT3＞ ランドスケープ
・AT2 で作成した共有モデルの周りに個人モデルを配置する。各自が、配置した意味を語る。
＜AT4＞ コネクション
・AT3 で配置した個人モデルを共有モデルとつなぐ。各自が、作品をつないだ箇所の意味を語る。
使用ブロック：アイデンティティ＆ランドスケープキット、コネクションキット（接続はヒモのみ使用）

第 3 回 PBL 終了時

目的：PBL での学びを振り返り、各自の課題と今後について認識する。

時間：2 時間程度

問い：①私にとっての PBL

使用ブロック：ウィンドウエクスプロレーションキット

問い：②今の私の状態・課題、③2 年後 3 年後の私、④ ②と③の作品を距離を考慮して配置。

使用ブロック：アイデンティティ＆ランドスケープキット

4 ワークショップの結果

本章では、2023 年度の PBL チームで実施した LSP によるワークショップの結果について報告する。ワークショップのファシリテーターは筆者が行った。参加者は、男性 2 名、女性 5 名の計 7 名、年代は 20 代〜50 代、所属会社の業種は、製造業、保険業、情報・通信業であった。

第 1 回 PBL 開始時（2023 年 3 月）

PBL 開始時の 3 月に第 1 回目のワークショップを実施した。目的は、1 年間にわたって実施される PBL のチームワーク促進のために、まずは、チームメンバーが、それぞれのパーソナリティを認識すること、そして、それぞれの現在の状況を認識し、共有することである。ねらいとしては、トランザクティブ・メモリー・システムの構築である。ワークショップでは、「タワー」「職場のプチ自慢」「こんなプロマネは嫌だ！」「今の私の状態・課題」の作品をつくり共有した。「職場のプチ自慢」の作品を図 1 に示す。

ワークショプ終了時の振り返りの一部を以下に紹介する。これらの振り返りからは、チームメンバーそれぞれのパーソナリティ、及び状況をメンバー間で認識し共有することができたことがわかる。また、ワークショップ中の発言からも、チームメンバーそれぞれによって、様々な視点、発想があることということを認識したことがわかった。ワークショップの問いとして、「職場のプチ自慢」「こんなプロマネは嫌だ！」という職場のポジティブ面とネガティブ面を対象としたことで、問いに対する作品への語りから、職場の状況や日頃の働く姿を垣間見ることができたようである。以上のことから、強固とはいえないが、チーム・メンタルモデルが形成され、トランザクティブ・メモリー・システムが構築できたと考えられ、チームメンバーがそれぞれのパーソナリティを認識するという目的は達成されたと考えられる。

- みなさんの学校以外のコミュニティの様子がつかめた。
- 職場の悩みとか、ちょっと愚痴の話とか出てきますけど、やっぱり目で見ると、より具体的に見えた。
- オンラインでのミーティングで各自の強み弱みについて話をしていたが、それ以外の性格等が見えた。
- これまでネット越しだったのが、レゴっていう物を使うことで自分をちょっとこうさらけ出すような部分が最後はできるようになっていた。なので、やっぱ物の力ってあるなと思った。
- 同じ課題でも、みんなの表現する方向性が違うのをみて、そうだよなと感じた。
- 単純に物を作るっていうのが久しぶりで楽しかった。
- 立体的なので、皆さんの思いや、イメージが伝わりやすい。
- ある時点だけでなく、その前後の時間軸の話をしてる方もいて、それも面白かった。
- 同じパーツでもその視点が変わったり、その使い方が変わったりすると、例えばこのパーツだと壁になるけど、この後どうすれば人になるのかとか、そういう個性がすごく見られたのが、面白かった。
- 普段の皆さんを知ることができた。



図 1 第 1 回作品「職場のプチ自慢」

第 2 回 PBL 前期終了時（2023 年 7 月）

PBL 前期終了時の 2023 年 7 月に第 2 回目のワークショップを実施した。目的は、PBL 後期に向けて、個人の目標とチームとしての成果物完成までのプロセスをすりあわせることである。ねらいとしては、チーム・メンタルモデルの形成である。

ワークショップでは、最初に、つなぎ直しとして、「今の私の状態・課題」「こんな PBL 活動はいやだ（仕事や家庭の環境含めて）」の作品をつくり共有した。つづいて、「これからの PBL 活動」をテーマとして、最終的にチームとしての共有モデルをつくった。

問い「チームのミッション・ゴール」では、PBL 終了時にチームとしてどうなっていたいかについて、最初に個人モデルを作成、次に個人モデルから重要だと思う一部を抽出し、それらを時間軸の上に並べて共有モデルとした。そして、全員で成果

物完成までのプロセスを話し合いストーリーを作った。その後、メモをとることはせず、互いに確認しながらストーリーを記憶した。最後に、そのストーリーを一人ずつ暗唱した。これらは、LSP のアプリケーションテクニック（AT）の AT1、 AT2 に相当する。ストーリーは“アグレッシブな仲間たちとプロセスを経て、みんなの力で目標達成して、知恵をさずけて近未来にいく”であった。このワークでは、チームとしての成果物完成までのプロセスが共有モデルとして可視化され、そのストーリーをチームメンバーで共有することができた。

問い「チームのために私ができること」では、最初に自分ができること、やりたいことの個人モデルを作成した。つづいて、共有モデル“アグレッシブな仲間たちとプロセスを経て、みんなの力で目標達成して、知恵をさずけて近未来にいく”の周りに個人モデルを配置し、各自が、配置した意味を語った。その後、配置した個人モデルをコネクションキットを使って共有モデル“アグレッシブな仲間たちとプロセスを経て、みんなの力で目標達成して、知恵をさずけて近未来にいく”とつないだ。そして、各自が、作品をつないだ箇所の意味を語った。これらは、LSP のアプリケーションテクニック（AT）の AT1、 AT2、 AT4 に相当する。このワークでは、チームのために、自分がやりたいこと、貢献できることが、どのプロセスで発揮できるかが可視化され、各自の思いをチームメンバーで共有した。完成した「チームのミッション・ゴール」の共有モデル、「チームのために私ができること」を配置したモデルを図 2 に示す。

ワークショップ終了時の振り返りの一部を以下に紹介する。これらの振り返りからは、問いに対して、手を動かして作品を作っていくことで、ぼんやりしていたことが、形となり、具体化されていったことがわかる。さらに、最後に自分のやりたいこと、できることを個人モデルとして作品にし、共有モデルにつないだことで、チームに対して貢献できる場が可視化され、互いに認識しあったことがわかる。また、ワークショップの様子からは以下のようなことが確認できた。問い「チームのミッション・ゴール」の共有モデルとストーリーの作成（AT2）では、互いに話をしながら、前後関係や縦横関係を何度も調整して配置していた。ストーリーについても、メンバー全員で、個々の作品の意味をとらえて、言葉を選びながら作り上げていた。これらのことから、ワークショップを通して、チームとしての方向性が定まっていったようである。問い「チームのために私ができること」では、互いに話をしながら配置を調整し、コネクションしていた。以上のことから、チーム・メンタルモデルが再形成され、トランザクティブ・メモリー・システムが再構築できたと考えられ、個人の目標とチームとしての成果物完成までのプロセスをすりあわせるという目的は達成されたと考えられる。

- みんなで PBL のゴールを話すことができてよかった。
- みんなで考えてストーリーがきれいにまとまってびっくりした。
- みんなの作品が時間軸に並び、ストーリーができたのは、すごいと思った。
- この先のイメージが形になってよかった。
- 自分が、何ができるかというのを改めて考えたのはよかった。
- それぞれの強みがみえた。
- モノで作ったことで強みが説明しやすかった。
- 手を動かすことで自分でも気づかなかったことを話すことができた。
- ブロック素材の質感や手を動かすことで芽生えるインスピレーションを感じた。
- みんなの自分が貢献できそうなところを聴けたのがよかった。
- 漠然としていたことが、手を動かしながら、ここは得意だし自分が貢献できるかなと思った。
- PBL 開始時よりも発想とかが結構広がったことを感じた。

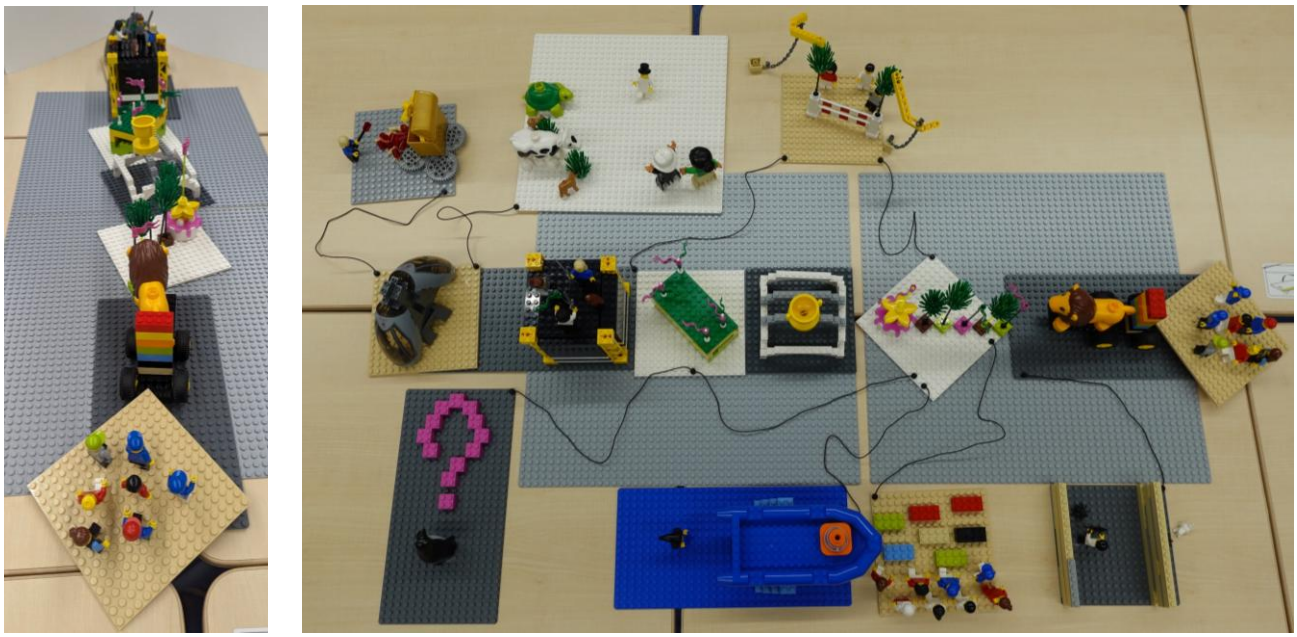


図 2　第 2 回作品 左「チームのミッション・ゴール」の共有モデル、右「チームのために私ができること」を配置した共有モデル



図 3　第 3 回作品「今の私の状態・課題」と「2 年後 3 年後の私」

第 3 回 PBL 終了時（2024 年 3 月）

PBL 終了時の 3 月に第 3 回目のワークショップを実施した。目的は、PBL での学びを振り返り、各自の課題と今後について認識することである。ワークショップでは、「私にとっての PBL」「今の私の状態・課題」「2 年後 3 年後の私」の作品をつくり共有した。なお、「今の私の状態・課題」と「2 年後 3 年後の私」は、距離を考慮して配置した。完成した「今の私の状態・課題」と「2 年後 3 年後の私」の作品を図 3 に示す。

ワークショップ終了時の振り返りの一部を以下に紹介する。これらの振り返りからは、PBL での学びを振り返り、各自の現在と今後について認識した様子がわかる。また、作品とその語りからは、これまでの 1 年間を振り返り、学んだことを糧にして今後に向けて踏み出そうとしている様子がわかった。

- 自分の無意識の動機づけ要因が分かりました。
- 20 代とそれ以降で今後の姿が分かれたなと感じた。
- 修了して、これからを考えてみることができた。
- 自分をちょっと引いて（客観的に）みることができた。
- 心に隠していたようなことがでてきた。
- 安住の地を求めていることがわかった。
- 今のことで目いっぱいの自分であることがわかった。

まとめ

1 年間で行った 3 回のワークショップでは、問いに応じた作品を作ることで個々に自分自身の状況や目指していることを再認識し、作品と語りによってメンバー間で共有することができたことが確認できた。LSP の基本理念である「100 対 100 の対話」、個人の頭の中でなんとなく思っていたり、または自分でも気づいていないような深層部分を可視化したり、という特徴によるものであると考えられる。ワークショップの目的であった、チームメンバーがそれぞれのパーソナリティを認識する、個人目標とチームとしての成果物完成までのプロセスを擦り合わせる、PBL での学びを振り返り、各自の課題と今後について認識することも達成できていることが確認できた。また、2 回目までのねらいとした、チーム・メンタルモデルの形成、トランザクティブ・メモリー・システムの構築については、チームが取り組む課題の内容や遂行の仕方が共有されて、メンバーの特性が共有されている状態であること、各メンバーがチームへ貢献できるプロセス、及び役割分担が可視化されたことから、達成できたと考えらえる。

5　おわりに

本研究は、多様な背景のメンバーによって遂行される遠隔環境での PBL において、 LSP によるワークショップが、チームワーク促進に及ぼす影響について明らかにすることが目的である。本稿では、2023 年度の PBL チームで実施した LSP によるワークショップを PBL 開始前、PBL 前期終了時、PBL 終了時の全 3 回実施し、ワークショップ終了時の感想、及びワークショップの作品から、得られた結果を報告した。ひきつづき、調査分析を行い、今後は、アンケート調査などによる定量的な効

果を検証していく予定である。

参考文献

1. 東京都立産業技術大学院大学 PBL(Project Based Learning)型教育, https://aiit.ac.jp/education/pbl/（2024/10/23 参照）
2. 東京都立産業技術大学院大学 学びやすい学習体制, https://aiit.ac.jp/education/system.html （2024/10/23 参照）
3. 中鉢欣秀. 遠隔によるソフトウェア開発 PBL とよりコンパクトな授業動画収録システムの開発. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2020; 14 : 125−130.
4. Hoch, E. J. and Kozlowski, J., Leading Virtual Teams: Hierarchical Leadership, Structural Supports, and Shared Team Leadership, Journal of Applied Psychology, 99 (3), 390-403, 2014.
5. DeChuch, A. L. and Mcintyre, M., Measuring Shared Team Mental Models: A Meta-Analysis. Group Dynamics: Theory. Research, and Practice. 2010; 14 (1), 1-14.
6. Nawata, K., Yamaguchi, H., and Aoshima, M., Team Implicit Coordination Based on Transactive Memory Systems, *Team* Performance Management: An International Journal. 2020; 26, 375-390.
7. 山口 裕幸, 『チームワークの心理学―よりよい集団づくりをめざして』, サイエンス社, 2008.
8. Wegner, D.M., Transactive Memory: A Contemporary Analysis of the Group Mind. In: Mullen, B. and Goethals, G.R., (Eds.)., “Theories of Group Behavior”., Springer-Verlag, New York, 1987; 185-208.
9. Lewis, K., Measuring transactive memory systems in the field: scale development and validation, Journal of Applied Psychology. 2003; 88(4), 587.
10. 三好きよみ. 遠隔環境での PBL におけるチームワーク促進ためのレゴ®シリアスプレイ®の活用事例. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2022; 16: 103−109.
11. ラスムセン R. 蓮沼孝, 石原正雄, 戦略を形にする思考術：レゴシリアスプレイで組織はよみがえる. 徳間書店; 2016.
12. 蛯谷敏. レゴ 競争にも模倣にも負けない世界一ブランドの育て方. ダイヤモンド. 2021.
13. Dann, S., Facilitating co-creation experience in the classroom with Lego Serious. Australasian Marketing Journal. 2018; 26: 121–131.

A study on reconstruction of historical view based on historical facts to attract tourists

Yoko Kagawa [1] Kota Miyoshi[2] Yusuke Miyoshi [1*]

[1] Advanced Institute of Industrial Technology
[2] National Agency for Automotive Safety and Victims' Aid
*Corresponding author: Yusuke Miyoshi, miyoshi-yusuke@aiit.ac.jp

Abstract The purpose of this paper is to provide a reconstruction of the historical facts to attract tourists. But history fades with time. In addition, the rulers of the time sometimes write books and change history to glorify them. One may choose to give up on this as the passage of time or as inevitable, but someone must try to unravel the circumstances of the time from historical documents in order to recreate the historical facts as much as possible. By clarifying what can be read from old documents one by one before they are lost or destroyed, local historical research can make progress, albeit slight. We will hope that this paper serves as a foundation for such a historical study and we will reveal the strategies of the Kagawa clan during the Warring States Period from historical documents.

Keywords arm's length; site-specific storytelling; tourism

1. Introduction

In Japan, folklore from ancient times is still being passed down to the present. However, the reality is that local historic sites have faded away along with history. Kagawa Prefecture also has many historical sites. Yashima Island in Takamatsu City is the setting for the famous scenes of the Genpei wars that have been passed down to posterity, such as "the target of the fan" and "the archery throw. The "Ishiakari Road" event is held every summer in memory of the stone on which Yoichi Nasu put his horse's foot when shooting the fan target, the rock on which he prayed for success, and the site where Yoshitsune Minamoto risked his life to pick up the bow that he dropped. In addition, Tasaburo Tanuki, who became a guardian deity of the Heike clan after being saved by Shigemori, the eldest son of Tairano Kiyomori, is the model for the "Bald Tanuki of Yashima" in Studio Ghibli's "Heisei Tanuki Gassen Pompoko". These are materials for local revitalization as a tourist attraction for Takamatsu City. Perhaps because Yashima is home to so many ruins related to people who have been featured in history textbooks, Yashima attracts more than 500,000 tourists a year. In order to attract tourists, the ruins of a castle gate on the southern part of Yashima's Minami-Ridge, which was built by order of Emperor Tenchi after the Battle of Hakuson-Ko (663), have been restored and are now in good condition, allowing visitors to see what the castle looked like in the past (Fig.1).

In Kagawa Prefecture, Amagiri Castle is one of the mountain castles built during the Warring States Period (between 1467 and 1615). Amagiri Mountain is also known as "Nunzan Mountain. This is because of the "legend of the white rice sink." When the castle's owner, the Kagawa clan, was besieged by the Chosokabe clan and holed up in Amagiri Castle, a nun on the run from the castle told them that the castle's well had dried up because the castle was surrounded by enemies in a siege, and that they had used white rice as water to fool the attacker, Chosokabe, that there was still plenty of water in the castle. As a result, the castle was immediately attacked by Chosokabe's army and fell. The legend goes that the nun was cut down because anyone who divulged the secret could not be trusted.



Fig.1 `Yashima Castle'

Legends of white rice associated with such sieges are found throughout the country. According to "Sengoku Shishi Jiten (Dictionary of Sengoku History)" (supervised by Tadachika Kuwata[4]), as a refutation of this legend, "White rice was not a regular food in the Warring States period, and even if white rice were to be washed away to look like a waterfall, a large amount of rice would be required. Although there are many examples of castle falls caused by food shortages, it is highly improbable that white rice was washed down the river to look like water. It is a legend created by later generations." He stated, "It is a legend created by the people of later generations. In other words, these anecdotes are not true. The only thing we know from this is that the Chosokabe clan may have been encamped during the military siege from a slightly distant position from which the entire Amagiri Mountains could be seen. However, these legends are misinformed even by those of us who are descendants of the Kagawa clan (the accurate version is that the Miyoshi clan attacked with a large army, but there were no traitors in the Kagawa clan and Amagiri Castle did not fall). It may be necessary for the descendants to verify

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

whether many legends are based on historical facts.

Therefore, the three of us decided to first visit the lands associated with the Kagawa family, our ancestors in the Warring States Period, from the perspective of fact-finding, using historical materials held in the libraries of the municipalities in Kagawa Prefecture as our guide. At Iyadani Temple in Mitoyo City, located at the foot of Mt. Amagiri (the 71st temple of the 88th Shikoku pilgrimage), many mysterious Buddha images can be seen, indicating that the esoteric Buddhism culture derived from Kobo-Daishi had long taken root in the area. Mt. Iyatani is believed to be the mountain where the dead go, and the tombs of successive generations of the Kagawa clan, lords of Amagi Castle, are located there (Fig.2). And a road leading to Mt. Amagiri leads right from Iyatani Temple. There are stone Buddha statues along the roadside, but the trail disappears halfway up, and one often has to wade through the bushes. This steep slope is commonly called "Inugaeshi. It took us about one hour to reach the main castle site, but there was only a signboard indicating a viewing platform, and below the signboard was a cliff (Fig.3). Because of this natural terrain, the castle may have been impregnable even when besieged by the enemy.

The Kagawa clan had a residence on Hondaisan (Toryo Park) in present-day Tadotsu, and it is likely that they used Amagiri Castle as a tsumejiro (fortified castle) in times of war. However, the site has been severely gouged out by quarrying and weathered by history, so there was nothing to recreate the history of the castle.



Fig.2 `Tombs of successive heads of the Kagawa family 'in Iyatani Temple



Fig.3 ` Ruins of the main Amagiri Castle '

When we visit an unfamiliar area for sightseeing, we are able to experience things and things that we cannot experience unless we go there. For example, a region has its own culture and history, and there are restaurants, hot springs, and buildings that can be eaten and felt only there. However, as depopulation progresses and the local storytellers disappear, they will disappear into the darkness of history and it will be difficult for them to come back to the light of day. The tourism industry will decline accordingly. Preserving these cultural assets is an urgent issue for local communities.

J. M. Keynes is famous for founding the Arts Council of Great Britain on the principle of arm's length: "The government gives money, but does not interfere with the content of the arts. Subsequently, many economists, including W. Baumol, have recognized that market failures in cultural goods and services make it difficult to achieve optimal allocation of resources, and it is generally accepted that some form of public support is necessary because of the risk of market failure. As a result, artworks and paintings that have received public support are open to the public, and museums and art galleries display many pieces of evidence of their history. However, these include many items collected for the purpose of flaunting the authority and financial power of those in power at the time. Therefore, it is highly likely that they are histories created by the victors to justify themselves. The same can be said about works of art, and there is criticism of those whose purpose is to create a great work of art that is recognized by authority. A movement called "off-museum" has emerged as the antithesis of the trend to flatter those in authority (Hatta(2004)[1], Kurezawa(2009)[3]).

In recent years, many artists have begun to view as problematic the fact that artworks are collected, categorized, and exhibited separately from where they belong by authority, and in an attempt to escape the restraints and influence of museums, many artists have planned to escape from them and create works that are not subject to collection or categorization. The “Echigo-Tsumari Art Triennale” (2000-) and the “Setouchi

International Art Festival" (2010-) can be cited as representative examples. Hatta argues that it is meaningful for art to reconsider its connection to place, since many works of art were originally created for practical purposes in response to the appropriate context of everyday space. This idea of site-specific storytelling (SSS) is applied from the framework of art to regional tourism strategies in business administration.

Itakura defines "site-specific storytelling" as focusing on "unique regional stories" with the aim of developing regional businesses, and selling "unique regional stories" as the foundation for regional businesses. Then, in order to create a story based on the history of the region, one must refer to historical research. A representative work of historical research that has dealt with warlords who were given regional control is "Study of Oda-type feudal lords under the Oda administration" (Oshita(2006)[5]). This work attempts to distinguish between land policies implemented by dispatching vassals to a fiefdom and those implemented by the daimyo himself in the territory he controlled, and to elucidate historically the implementation of the early modern system of chieftainship. If this study is to be used as a reference, it is necessary to examine the authority of the Kagawa clan over the region, such as the authority of the governor and the governor's representative. In order to focus on facts buried in history and to create a "story unique to the region," it is highly significant to review the history of the Kagawa clan, referring to official records as well. Then, by creating a story based on the research, we aim to contribute to the policy making of the tourism administration in the region in the future.

2. History of the Kagawa Clan

The Kagawa clan's name in history dates back to Nobukage Kagawa, who was a governor of the Hosokawa family's Sanuki province and had a yakata at Tadotsu Hondaisan in the western part of Kagawa Prefecture during the turbulent Warring States period. According to the "Seisanfushi," his ancestor was Yoshikane, an uncle of Masakado Taira, a descendant of the Taira clan that was defeated in the battle of Genpei. According to the "Inryoken Nichiroku [6]," the guardian Hosokawa had the 13 counties of Sanuki under his jurisdiction, divided into 6 counties by the Kagawa clan and 7 counties by the Yasutomi clan. According to the "Hyogo Kitaseki Entrance Account [2] ", the Kagawa clan established an economic base by taking control of trading activities based in the port of Tadotsu, and it is noted that they ruled the entire western Sanuki region. It is evident that at that time, Tadotsu functioned as a dedicated port for the Kagawa clan's national fee ships and overdue ships. While transporting goods necessary for the guardian Hosokawa's daily life in Kyoto, the Kagawa were able to make a large profit because they had the right to transport goods tax-free. In the "Inryoken Nichiroku[6]," it is written that Mr. Kondo, a Sanuki hemp countryman conscripted to protect the capital, was poor, and during his stay in Kyoto, he would pick "tsukushi" to eat in the spring. It is written that the Kagawa clan took pity on him and took Kondo as a vassal by giving him a fiefdom in Kagawa to help him.

After the Onin War (1467), the Hosokawa family, which had been in the position of guardian, lost its power within the Ashikaga Shogun, and the two prefectures in its domain, Awa (Tokushima Prefecture) and Sanuki (Kagawa Prefecture), did not have enough room for a guardian to go to his reign, leaving it to his vassals, the guardian's dukes and countrymen. Sanuki, in particular, was often invaded by other neighboring feudal lords due to the lack of an absolute authority like in Awa and the fact that the Hosokawa family, which held the position of governor, did not look after its reign. As the Hosokawa clan's power receded, others attempted to seize other territories, and there were frequent bandit plunderings and revolts, resulting in constant conflict among the nationals of Sanuki.

Concerned about this situation, Kagawa Nobukage, the chief of the Hosokawa family, adopted a diplomatic policy of strengthening ties with the Kono clan, a feudal lord in Iyo (Ehime Prefecture), and the Mori clan, a feudal lord in the Chugoku region, in order to gain control of the western part of Sanuki. On the other hand, the eastern part of Sanuki was heavily influenced by the Miyoshi clan, also a member of the Hosokawa family, and the Miyoshi clan planned to extend their power from Awa (Tokushima Prefecture) to completely control the territory of Sanuki. The Kosai and Samukawa clans, vassals of the Yasutomi clan, surrendered to the Miyoshi clan without a fight. The Miyoshi then called on the nationalists in eastern Sanuki (the Kosai, Tokawa, and Samukawa clans) to join forces and attack Nishisan, which was controlled by the Kagawa clan. This led to the Battle of Zentsuji in 1563, during which the large temple complex of Zentsuji, which was associated with Kobo Daishi, was destroyed by fire.

This is because the Miyoshi clan had been practicing bad policies that did not take into consideration the living conditions of the local people (e.g., allowing the lords and their vassals to live a life of amusement in the absence of a governor, forcing the local people of Sanuki, who were mostly Shingon sects, to convert to the Hokke sect, and recruiting many people for the Miyoshi military service to fight in the Kinai region). The Kagawa clan, the rulers of the western part of Sanuki, were not happy with the way the Miyoshi clan was ruling Sanuki, and the Miyoshi clan did not have the trust of the people of Sanuki. If they could not count on reinforcements from the Mori clan, they adopted a diplomatic strategy to stop the Miyoshi invasion by approaching the powerful man of the

time, Oda Nobunaga, and receiving one of his characters (Nobu) to become one of his vassals.

According to Oshita (2004), Nobunaga was in charge of regional control in the Oda administration, which differed from the early modern warring feudal lords in that it granted relief to nationals by issuing red seal certificates (addressed to them). The Kagawa clan's becoming a vassal of Nobunaga meant the transfer of the Hosokawa family's territory in Sanuki, which had been ruled by the Kagawa clan, to Oda Nobunaga.

While the Miyoshi clan tried to supplant the Hosokawa clan as the guardian of Sanuki, there was still some resistance from the Kagawa clan in the western part of Sanuki, and the Miyoshi rule over Sanuki was not yet complete. Just then, Chosokabe Motochika, who wanted to unify Tosa (Kochi Prefecture) and unify Shikoku, launched an attack on a castle in the Miyoshi domain in order to advance into the Awa province. Motochika first attacked Shiraji Castle (Inohana Pass) in Awa, a strategic point on the border of the four prefectures of Shikoku, and defeated the Onishi clan, which had a castle there, to establish a base for the unification of Shikoku. The Onishi clan, which had been a vassal of the Miyoshi clan, fell back to Kagawa Nobukage of neighboring Sanuki and settled in Asajo Castle, the seat of the Kagawa clan, and the descendants of the Onishi clan thereafter resided in Asamura (Takase-cho, Mitoyo City).

The Kagawa clan, which had avoided fighting in vain and had formulated a cautious foreign policy, persuaded the Onishi clan, which had relied on the Kagawa clan after being forced out of their homeland by Motochika, to vividly choose confrontation with the Miyoshi clan. This was the Battle of Fujime Castle in 1578. Chosokabe Motochika was advancing his army over the Inohana Pass (the border between Awa and Sanuki prefectures) to Saita. This course was chosen because the land at Takarada was surrounded by low mountains and was easy to defend. Moreover, Saita was a rice-producing area (a land where a lot of rice could be harvested) in Nishi-San. Taking this as an opportunity, Nobukage led the Miyoshi forces (led by Nara Tarozaemon) to the relief of Fujime Castle (Kannonji City) near Saita at the Togi River in Marugame, clearly demonstrating his hostility to the Miyoshi clan. Nobukage then succeeded in getting Fujime Castle surrendered and Chosokabe's army into Fujime Castle through the schemes of the Onishi clan, which was under the protection of the Kagawa clan. Later, in 1579, Nobukage also persuaded the Hayuka clan, a member of the Kosai clan with a castle in Ayagawa, to secede from the Miyoshi clan, and succeeded in forcing the Hayuka clan to surrender. These and other achievements, such as the Kagawa clan's efforts to rally the Miyoshi clan's vassals, were highly appreciated by Chosokabe Motochika. Nobukage, who had been blessed with no sons, adopted Motochika's second son as his adopted son and became his ally by marrying him.

Thus, in 1585, Chosokabe Motochika took control of almost all of Shikoku, but with the Kozai and Hayuka clans on his side, Nobukage's power in Sanuki expanded. Like the Sanada family in Shinshu, Kagawa Nobukage was a man skilled in the art of scheming how a small, ineffectual feudal lord surrounded by major powers could survive in the turbulent age of the Warring States. If these historical facts were to be turned into a story, the Onishi clan of Inohana Pass (Ikeda-cho, Tokushima), the Hayuka clan of Saruo of Tono (Ryonacho-cho, Kagawa), the Kozai clan of Kijigaya (Kinashi, Kagawa), and the Kagawa clan of Hondaisan, Tadotsu (Toryo Park), with these brave men, attacked Sogo, the castle of Miyoshi (Sogou Higashi-machi, Kagawa), and exterminated the demons of the Sanuki region. The story is based on historical fact that the Miyoshi clan exterminated the ogres of Sanuki Province. In this way, he was always thinking and acting to stabilize the livelihood of the people of the Sanuki province by increasing the power of the Kagawa family by adding to their ranks one after another the nationals of the enemy (Onishi, Hayuka, and Kosai) who had joined the Miyoshi clan and caused the loss of many of their vassals. Based on this history, we proposed the following hypothesis.

Hypothesis 1: The Kagawa clan, unlike other great clans of the same class in the Sanuki Province, made policies that emphasized courtship from subordinates rather than loyalty to their masters, the Hosokawa family.

Whether this hypothesis is correct or not has not been touched upon in previous historical studies. Therefore, we will examine the historical data from the economic aspect and the power structure of the time.

3. The power of the Kagawa family based on historical facts

In June of 1493 in the Onryoken Nichiroku, Haneda Genzaemon, who visited Kageryoken, a child of Shokokuji Temple, in a chat, speaks of Sanuki as follows. First, six of the thirteen counties of Sanuki were controlled by the Kagawa clan and the remaining seven by the Yasutomi clan. Second, the Kagawa clan's territory was well organized with many small nationalist warlords, whereas in the Yasutomi clan's territory, there were "big limiters" such as the Kosai clan, and not a few of them did not follow the Yasutomi clan. Thus, Sanuki was ruled by a guardian, but the Yasutomi clan, the guardian of Tosan, was in Tokyo, whereas the Kagawa clan was often in the country. As a result, the Kagawa clan's local control was more powerful than that of the Yasutomi clan. For example, according to the Mino-Akiyama document, in 1381 Kagawa

Hikogoro (also known as Taira Kageyoshi) donated the position of Kageyoshi Kamo Kobunsho in Kuzuhara-so, Tadotsu-gun to Kenninji Eigenan in Kyoto, and in 1422, Kagawa Mimasaka Hito accepted a contract to serve as deputy governor of Hiroden-go, Zuishin-in territory[7]. As described above, it can be seen that the Kagawa clan was improving its economic power and expanding its influence.

Table 1 Number of Ships entering the Port'

List of shipping ports	number of shipping ports	great clan
utazu	47	nara
shiwaku	37	kagawa
shima	25	sangawa
hiketa	21	yasutomi
sanbonmatsu	20	sangawa
hirayama	19	nara
nohara	13	kouzai
tadotsu	12	kagawa
katamoto	11	kouzai
aji	10	yasutomi
kouzai	6	kouzai
Less than 5 are omitted.	221	

Source: Hyogo Hokuseki Irifune Nosho

	kagawa	yasutomi	kouzai
percentage	0.520361991	0.343891403	0.135747

Kagawa Family's Dominion
Yasutomi Family's Dominion
Kozai Family's Dominion

Next, we will examine the Kagawa clan's power based on specific data. The Kagawa, Yasutomi, and Kozai clans, which were the guardians of the Hosokawa family, were powerful vassals of the Yasutomi clan, but they had their own power. This is because, as the economy developed, the demand for marine transportation, which could carry a larger volume of goods at a time than horses, increased, and we can learn more about marine transportation through the movement of ships.

Table 1 shows a list of the ship gate locations as listed in the Hyogo Hokuseki Irifune Nosho (Chuo Koron Bijutsu Shuppan). Of the 11 ports, Utazu is the most frequent, with 47 entries and exits in one year. The chart also shows that goods were transported not only to the Shiosaku Islands and Shodoshima, but also through Utazu, Tadotsu, and other ports in Sanuki Province. According to the "Kokuseki Irifune-no-cho," Utazu had the largest number of vessels entering the port of Sanuki, and there are historical documents that give us an idea of Utazu's economic power. According to the "Kanakura Temple Construction Draft," the following is found in the " Requests for temple repairs to each port".As this temple is in the midst of a major breakdown, we are undertaking repairs, and as in the past, we would be honored if you would entrust us with the sum of 1,000 kanbun[8].

Precedent Donations

Utatzu 10 kanbun

Tadotsu 5 kanbun

Horie: 3 kanbun

In other words, the Kanakura temple was wrecked by a great storm, a document was left behind requesting funds for its repair from the three surrounding port towns of Utazu, Tadotsu, and Horie. It is known that Utazu donated ten kanbun, Tadotsu half of five kanbun, and Horie three kanbun, as well as precedents, and that in 1399, the rice field of Kuzuhara-so in Tadotsu was donated by persons related to the Kagawa family to Doryuji Temple in Tadotsu as the Enmado Monk's Field[7]. Assuming that it was customary for donations for temples and shrines to be made in proportion to their economic power, Utazu would have had twice the port and economic power of Tadotsu. Thus, it may be said that the Kagawa family, which had Utazu and Tadotsu under its control, had control over Sanuki. The Kagawa not only strengthened their control by donating fields to temples and dispatching family members to manors as deputies, but also acquired economic wealth through trade on the Seto Inland Sea using the ports of Utazu and Tadotsu as bases, which was the economic basis for becoming a feudal lord in the Warring States period.

The Kagawa family stayed in their hometown to exercise their guardian's authority, and also used this authority to take in vassals to promote local rule and build an economic base. The Kagawa family's rise to power was not welcomed by their master, the Hosokawa family, who was in charge of the guardian's office. In support of this interpretation, it is written that Katsumoto Hosokawa, fearing the rise of the Kagawa family, took away the right to manage the port of Utazu from the Kagawa family and switched it to another guardian in the east, the Yasutomi family. However, the Onin War weakened the Hosokawa clan's control over Sanuki, and the area controlled by Yasutomi, the guardian of Higashisan, was taken over by the Miyoshi clan of Awa. However, the Kagawa clan, the protector of western Sanuki, resisted the Miyoshi clan until the end, and as warring feudal lords, they took control of the local area and became enemies with the Miyoshi clan. This supported Hypothesis 1.

Table 2 ` Cargo of ships entering the port'

	utazu	shiwaku	shima	hiketa	sanbonma	hirayama	nohara	tadotsu	katamoto	aji	kouzai
salt	4095	5095	4779	1391	350	2330	1535	980	2390	1175	420
wheat	275	130	80	23	0	55	25	1	10	0	10
barley	290	245	100	62	0	80	152	0	10	0	0
rice	5	63	33	10	607	44	15	10	10	0	10
bean	75	118	0	15	0	25.5	10	0	0	0	33
goma	46.5	50	0	0	0	0	0	0	0	0	3
sardine	130	190	60	0	115		510	2	0	0	0

	sum	kagawa	yasutomi	kouzai
salt	24540	0.509372	0.31357	0.177058
wheat	609	0.756979	0.16913	0.073892
barley	939	0.654952	0.172524	0.172524
rice	807	0.151177	0.805452	0.043371
bean	276.5	0.790235	0.05425	0.155515
goma	99.5	0.969849	0	0.030151
sardine	1007	0.319762	0.173784	0.506455

Source: Hyogo Hokuseki Irifune Nosho

Kagawa Family's Dominion
Yasutomi Family's Dominion
Kozai Family's Dominion

Table 2 shows the loads by commodity. The commodities listed are salt, wheat, barley, rice, beans, sesame, and sardines. For example, salt and wheat are the raw materials for udon, a

specialty of Kagawa Prefecture. Salt was produced from early times throughout the Seto Inland Sea. Sanuki was famous for its salt, and it is evident that the Kagawa family was responsible for half of the trade. It can also be inferred that the Kagawa family made profits from trade by transporting salt produced in Sanuki by ships at the ports of Utazu, Tadotsu, and the Shiokaku Islands. Even in the Edo period (1603-1867), the shipping industry in Sanuki must have developed in order to transport salt. Incidentally, sardines, the raw material for udon soup stock, were produced in large quantities on Ibuki Island today, yet at that time a high percentage of sardines were produced by the Kozai family. This may be due to the fact that the master, Yasutomi, had delegated his interests to his subordinate, the Kozai family, and that Nioura in Nishi Sanuki is located across from Ibukijima, where the Kozai family was acting as a deputy governor. The Kozai family's territory in the Higashi-San region, including Aji, Katamoto, and Nohara, also had relatively large shipments of salt. On the other hand, in the territory of the Yasutomi family, which took the form of loyalty to the Hosokawa guardianship, rice shipments were very high, accounting for about 80% of the total rice transported in Kagawa Prefecture. Since rice, rather than money, was the main commodity in those days, a large amount of rice was transported from Sanuki, a food-producing area, as military rice, suggesting that the Yasutomi family played the role of an important rear base for the Hosokawa family, the lord of Kagawa. These materials also indicate that the Yasutomi family was not loyal to their lord, as the Yasutomi family was, but rather, seeing that the Hosokawa family's influence in Sanuki was reduced after the Onin War, and that the local people became more active, they made the surrounding blacks vassals and promoted local rule, preparing to oppose the advancing Miyoshi family. These materials also show that the local people were preparing to oppose the advancing Miyoshi clan.

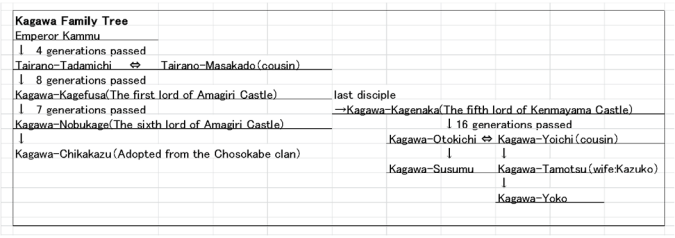


Fig.4 Kagawa Family Tree

4. Interview with a descendant of the Kagawa family

There are many Kagawa-nesses in Kagawa Prefecture. However, most of them have nothing to do with the Kagawa clan, a powerful family. Nevertheless, the reason why they call themselves Kagawa-sei may be because Nobukage's rule over Sanuki was supported by the local people. Therefore, we decided to talk to a person associated with the Kagawa family who has lived in the Asa district of Kagawa for a long time about the history of the Kagawa family.

Interview #1

K.K. (Wife of a descendant of the Kagawa clan)

2024 0412 listenerY.K.

On Friday, April 12, the writer, Yoko Kagawa, interviewed Kazuko, her own mother, who is nearly one hundred years old. According to Kazuko, “Otokichi, the great-grandfather of Susumu Kagawa (the main family of the descendants of the Grinding Mountain Castle), was a cousin of Kazuko's father-in-law, Yoichi (Yoichi), and their fathers were brothers. The descendants of the Kagawa family had a residence on the middle of Mount Oasa (at the foot of the north face), commonly known as Mt. Oasa, over the Asasaka Pass coming from Zentsuji toward Asa. Yoichi was born on Mt. Oasa in Kamiasa, Takase-cho. As an only child, he and Otokichi grew up together as brothers. His father and uncle served in the Russo-Japanese War. At the time, Zentsuji City in Kagawa Prefecture was home to Japan's most elite military unit, led by General Nogi Maresuke, commander of the 11th Division, who brought his ancestral sword with him when he invaded the Russian fortress of Ryojyun. And as descendants of Nobukage Kagawa's ancestors, we took full credit. We received a compliment from Shogun Nogi.” Yoichi's uncles are said to have boasted proudly. The ancestor was Kagawa Gontayu Kage-naka, the younger brother of Kagawa Kagefusa, the first lord of Amagiri Castle, who had the same mother as the previously mentioned Kagawa Kagefusa(Fig.4). Otokichi and Yoichi's fathers had planted chestnut trees and other trees and cultivated the land on Mt. Oma. After I (Kazuko) married Tamotsu, Yoichi's son, I went to pick chestnuts on his behalf. When autumn deepened, I would take my children to pick chestnuts along a mountain path that took two to three hours each way from the foot of Mount Osayama to the top of the mountain.

Since Otokichi's father was the first son and Yoichi's father was the second son, Yoichi's grandfather left the family tree and swords to the main family and shared his armour and rifle (Fig.5) with the branch families. Tamotsu took over from Yoichi, and I gave them to Yoko. The army division was located in Zentsuji, so Zentsuji used to be crowded with bars. Otokichi would often go to the tavern to drink on his way home from selling the chestnuts he had harvested to Zentsuji. The chestnut sales were not enough to pay for the sake, so Otokichi, having trouble paying his bills, went without permission, first selling swords, and finally even giving away his family tree in exchange for sake. Hearing this, Yoichi

became angry, saying, “You're an idiot”. But he could not get the family tree back because it was already in someone else's hands. Also, when publishing a book on the Kagawa family, Mr. Kasumi of the Kagawa head family asked Tamotsu to write a book on the Kagawa family, right? I gave it to Yoko. Even though we have lost our family tree, we are still descendants of the Kagawa family.

Now, this would not have happened, but even family trees like this can fall into the hands of others. And since this distorts historical facts, these memories should be preserved.



Fig.5 ` Kagawa family’s armour '

5. Conclusion

Using historical materials held in the libraries of municipalities in Kagawa Prefecture as our guide, we first visited the lands associated with the Kagawa family, our ancestors in the Warring States period, from the perspective of fact-finding. However, the mountain had been severely gouged by quarrying, and the area was severely weathered by history, so there was nothing to recreate the history of the area.

In order to focus on facts buried in history and to tell “stories unique to the region,” it is highly significant to review the history of the Kagawa family, referring to official records as well. And by creating a story based on our research, we hope to contribute in some small way to the formulation of policies for regional tourism administration in the future.

Reference

1. Hatta, N.,(2004)," Involvement of “place” in the formation and reception of artworks",Shimane University Policy Studies 8: 143-244.
2. Hayashiya,T.,(1990) "Hyogo Kita Seki Entrance Account", Central Public Art Publishing Association, Reproduction of Lampshin Bunka Collection
3. Kurezawa, T.(2009), "100 Keywords of Contemporary Art", Chikuma Shobo.
4. Kuwata, T.,(1980), "Sengoku shishi jiten ", Sengoku shishi ,jiten editorial committee ed.Akita Shoten
5. Onoshita,N.,(2004), "A Study of Oda-Like Daimyo under the Oda Regime ", Doctor of Literature, Kyoto University
6. Society for the Popularization of Masterpieces,(1980) "Inryoken Nichiroku" (The Complete Works of Buddhism in Japan / compiled by Bukkyo Zensho / Buddhist Books Publishing Society)
7. Tadotsu Town Magazine Editorial Committee (1990),"Tadotsu Town Magazine"
8. Takeuchi, R., (1941) “Study of Tera-shoen”, Atsubasho Shobo

Open Access This article is licensed under CC BY-NC-SA 4.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

2-gram に基づいた Q&A サイトにおける適切な回答者の選出手法の評価

Evaluation of method to select appropriate qualified respondents at Q&A Sites based on 2-gram

横山 友也 [1*]
Yuya Yokoyama [1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Yuya Yokoyama, yokoyama-yuya@aiit.ac.jp

Abstract For the purpose of resolving mismatches between the questioners and respondents at Question and Answer (Q&A) sites, factor scores were estimated using feature values of statements based on the scores of nine factors obtained through impression evaluation experiment. A method to select respondents who can appropriately answer a question was then proposed. As a result of analysis, the proposed method successfully selected potential respondents that were more than approximately average when it came to appropriately answering a given question. This approach, however, was considerably dependent on the syntactic information extracted through morphological analysis. Therefore, N-gram has been applied to the methodology as an alternative method of morphological analysis. In applying N-gram, the estimation of factor scores and detecting of the respondent who can appropriately answer a question have been realized so far. Hence, this paper aims to investigate respondents who can properly answer a newly posted question based on 2-gram. An experiment is carried out to assess three sets of 100 answer statements extracted in accordance with the Euclidean distances based on 2-gram. The analysis result has shown that the proposed method utilizing 2-gram can choose potential respondents that were more than approximately average when it came to answering appropriately. It has also been implied that the proposed method using 2-gram would also be applicable.

Keywords factor score; impression; N-gram, Q&A site; respondent introduction

1 はじめに

近年、質問回答サイトの利用者が増加の一途をたどっている。質問回答サイトとは、例えば Yahoo! 知恵袋[1]のように、オンライン上で質問文や回答文を人手で投稿できるシステムである。これらのサイトは、多種多様で膨大な知識を含む巨大なデータベースとして知られている。質問回答サイトの基本的な構造は下記の通りである。質問者が質問文を投稿すると、回答の内容や精度に関わらず他のユーザが回答する。投稿された複数の回答文のうち、最も適切で満足している回答文を「ベストアンサー」（BA）と質問者が主観的に選択し、謝礼として回答者にポイント等の報酬を付与する。

しかし、利用者ならびに投稿回答文数が激増していくに伴って、回答者の興味や専門性に合致した回答文を発見することが困難になりつつある。従って、質問文が投稿されても、その質問文が必ずしも適切な回答者の目に留まり回答されるわけではない。一方で、前述の通り、質問回答サイトは社会の知恵袋となりつつあるものの、必ずしも正しい回答が蓄積されているわけではなく、誤答も多く発見される。適切な回答が得られないことで損害を被る状況が多発しており、社会的に大きな問題となってきている。このような理由から、質問文に対して適切に回答できる利用者を求めることは、適切な回答を質問者に返すとともに正しい知識を蓄積するという点で非常に重要である。また、罵倒・暴言・誹謗中傷ならびに公序良俗に反する回答文も、読者や閲覧者に不快感を与えるものとなっている。

従って、適切な回答文を蓄積することを目的として、適切な回答を高く期待できる回答者を要求することは非常に望ましい状況となっている。前述の問題の解消を目的として、テキストの特徴量を用いた質問回答サイトの先行研究が多数行われてきている[2-4]。しかし、先行研究ではユーザの文体の傾向が考慮されているとは言い難い。また、これらの手法において、質問者に適切な回答者を引き合わせる手法が確立されているとは言い難い。従って、文章から想起される印象を調べるために、本研究では質問者に適切な回答者を引き合わせることを目的とする。本研究の発展により、さらに適切な回答文を収集することや社会に有用な質問回答サイトが可能となり、ひいては社会活動の生産的な促進に貢献できると考えられる。

筆者は、本研究の初歩として、Yahoo! 知恵袋に投稿された 4 大ジャンル（オークション、パソコン、恋愛相談・人間関係、政治・社会問題）の質問回答文 12 組計 60 個の文章に対して印象評価実験を行った[5]。その結果に対して因子分析を施したところ、文章内容を表す 9 因子が得られた。また、全ての質問回答文の因子得点を推定可能にすることを目的として、文章の特徴量から文章の因子得点の推定を重回帰分析により試みたところ、全般的に良好な推定精度が得られた[6]。さらに、新規質問文に適切な回答を施すことが可能な回答者を探索する可能性を検証した。検証の結果、質問回答文間の距離と距離上位の出現回数は、質問文に適切に回答できるユーザの選択に役立てる可能性を示した[7]。この観察に基づき、出現回数と距離に基づくスコアと距離上位の出現回数に応じて、適切な回答者を決定する手法を提案した。提案手法を、スコアの平均値に基づく手法ならびに距離に基づく手法と、適合率と再現率で比較評価を行った[8, 9]。評価の結果、提案手法は、他手法よりも良好に回答者を推薦できることを示し、その精度は質問回答文のジャンルを考慮することでさらに向上することを示した[9]。

ここまで形態素解析を講じて抽出した構文情報に重きを置いた手法である。他方、構文解析のもう一種の手法である N-gram を講じた手法も試みてきている。これまで、構文情報の代わりに N-gram を文章の特徴量として、質問回答文の因子得点の推定を試みた[10-12]。推定の結果、N-gram も構文情報と同様に因子得点の推定に利用可能であることを示している。また、日本語の場合と同様に、質問回答文間の距離と距離上位の出現回数は、質問文に適切に回答できるユーザの選択に役立てる可能性も示している[13]。

これらの観察に基づいて、本稿では、構文情報の場合と同様に、N-gram に基づいた場合においても適切な回答者を推薦することが可能であることを提案する[14]。この手法の初歩として、2-gram (N=2)の場合で分析を行った。構文情報の場合と同様に、提案手法を、スコアの平均値に基づく手法ならびに距離に基づく手法とを、適合率と再現率で実験的に比較評価を行う。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

分析の結果、提案手法は他手法よりも良好な結果が得られている。以上より、N-gram に基づいた提案手法も、平均程度以上の回答者を推薦することが可能であることを示している[14]。

本稿の構成は次の通りである。第 2 節では、これまでの研究として、形態素解析に基づいた構文情報を用いた場合の適切な回答者の推薦について説明する。第 3 節では、第 2 節で示した手法の一部を N-gram に適用した場合の分析結果について説明する。第 4 節では、N-gram に基づいた場合の適切な回答者の推薦について詳述する。最後に、第 5 節で本稿をまとめる。なお、本稿は著者が国際会議 SERA2024 において発表した内容である[14]。

2 形態素解析に基づいた構文情報を用いた適切な回答者の推薦

2.1 文章の性質を表す因子の抽出

本研究の初歩として、質問回答文から得られる印象を抽出するための印象評価実験を実施した。評価素材として、2005 年 9 月に Yahoo! 知恵袋[1]に投稿された 12 組 60 件の質問回答文を使用した。実験結果に対して因子分析を施したところ、文章に関する因子が 9 個得られた[5]。因子とは、複数の印象語により説明された文章の性質を意味する。的確性、不快性、独創性、容易性、執拗性、曖昧性、感動性、努力性、熱烈性の 9 因子が得られた[2]。なお、因子名は、各因子に対応する印象語を包括的に表現していると著者達が判断した名称を付与している。因子に対応する印象語を表 1 に示す。また、文章の特徴を表現するのに使用する因子得点も得られている[5]。

表 1 9 因子と対応する印象語[5]

因子	印象語				
第1因子（的確性）	説得力がある	流暢な	重要な	美しい	好ましい
	真実味がある	巧みな	清々しい	妥当な	充実した
	素晴らしい	的確な	丁寧な		
第2因子（不快性）	非常識な	憤慨した	不快な	残念な	不当な
	幻滅した	呆れる	怖い		
第3因子（独創性）	独創的な	予想外な	特殊な	斬新な	不思議な
第4因子（容易性）	易しい	明瞭な	難しい		
第5因子（執拗性）	細かい	しつこい	長い		
第6因子（曖昧性）	曖昧な	不充分な			
第7因子（感動性）	心温まる	感動的な			
第8因子（努力性）	涙ぐましい				
第9因子（熱烈性）	熱い	力強い			

2.2 文章の特徴量を用いた因子得点の推定

2.1 節で得られた因子得点は、実験に用いた質問回答文 60 件から得られたものだけである。そこで、任意の文章の因子得点の推定も可能とするために、文章の特徴量に対し重回帰分析を講じた。ここで、構文解析の一種である形態素解析を通して抽出した文章の特徴量を用いて分析を行った[6]。分析に使用した文章の特徴量 77 個（g1～g77）を表 2 に示す。以下、各特徴量を簡潔に説明する[6]。

- 構文情報（g1 - g36）：文章の数や長さ、名詞や動詞等の品詞の数や割合、といった構文情報を抽出した。感嘆符や疑問符等の具体的な記号も特徴量として使用している[6]。なお、g18 の TTR は Type Token Ratio の略記で、「ある文章における語彙の豊富さを示す指標」であり、文章の総語数に対する語彙数の比率を表している[6]。
- 単語心像性（g37 - g38）：単語から喚起されるイメージが、どの程度思い浮かべやすいかを示す主観的特性である[6]。
- 文末表現（g39 - g64）：「ぞ」「だ」「よ」「ね」「か」「な」「し」「です」「ます」「たい」「ない」を使用している[6]。
- 単語親密度（g65 - g71）：単語にどの程度なじみがあるかを表す指標である[6]。
- 表記妥当性（g72 - g77）：単語表記の妥当性を表す[6]。

表 2 文章の特徴量 [6]

(a) 構文情報

g	特徴量	g	特徴量
g1	助動詞（語彙数）	g19	全角記号（%）
g2	接頭詞	g20	英数字（%）
g3	記号（語彙数）	g21	全角英数字（%）
g4	文数	g22	名詞（%）
g5	文の長さ平均（字数）	g23	形容詞（%）
g6	カタカナ（語数）	g24	副詞（%）
g7	全角記号（語数）	g25	連体詞（%）
g8	全角英数字（語数）	g26	接続詞（%）
g9	形容詞（語数）	g27	感動詞（%）
g10	副詞（語数）	g28	「!」の数
g11	連体詞（語数）	g29	「?」の数
g12	接続詞（語数）	g30	句点の数
g13	感動詞（語数）	g31	読点の数
g14	ひらがな（%）	g32	中点の数
g15	漢字（%）	g33	3点リーダの数
g16	カタカナ（%）	g34	鍵括弧の数
g17	記号（%）	g35	括弧の数
g18	TTR	g36	「/」の数

(b) 単語心像性

g	特徴量	g	特徴量
g37	単語心像性4点台（語数）	g38	単語心像性6.5以上7.0未満（語数）

(c) 文末表現

g	特徴量	g	特徴量
g39	か（語数）	g52	ぞ（%）
g40	な（語数）	g53	だ（%）
g41	し（語数）	g54	よ（%）
g42	たい（語数）	g55	ね（%）
g43	ない（語数）	g56	か（%）
g44	だ（文末語数）	g57	です（%）
g45	か（文末語数）	g58	ます（%）
g46	な（文末語数）	g59	ない（%）
g47	し（文末語数）	g60	か（文末%）
g48	です（文末語数）	g61	ですか（語数）
g49	ます（文末語数）	g62	ないです（語数）
g50	たい（文末語数）	g63	ますか（語数）
g51	ない（文末語数）	g64	ました（語数）

(d) 単語親密度

g	特徴量	g	特徴量
g65	単語親密度該当単語率	g69	単語親密度5.5以上6.0未満（語数）
g66	単語親密度6.5以上7.0未満（語彙数）	g70	単語親密度6点台（語数）
g67	単語親密度4点台（語数）	g71	単語親密度6.0以上6.5未満（語数）
g68	単語親密度5点台（語数）		

(e) 表記妥当性

g	特徴量	g	特徴量
g72	表記妥当性該当単語率	g75	表記妥当性4点台（語数）
g73	表記妥当性3点台（語数）	g76	表記妥当性4.0以上4.5未満（語数）
g74	表記妥当性3.5以上4.0未満（語数）	g77	表記妥当性5点台（語数）

印象評価実験で使用された 60 個の質問回答文に関して、表

2 に示した計 77 個の説明変数に基づく 281 個の二次項（説明変数同士の積）を説明変数とし、表 2 で示した 9 因子の因子得点を目的変数として、重回帰分析を施した[6]。推定精度の良好性を示す重相関係数を表 3 に示す。全 9 因子とも値が 0.9 以上であるため、9 因子とも推定精度が非常に良好であるといえる。

表 3　重相関係数（構文情報）[6]

因子	重相関係数
第1因子（的確性）	0.989
第2因子（不快性）	1.000
第3因子（独創性）	0.999
第4因子（容易性）	1.000
第5因子（執拗性）	0.925
第6因子（曖昧性）	1.000
第7因子（感動性）	0.963
第8因子（努力性）	0.950
第9因子（感動性）	1.000

2.3　質問回答文の印象と適切度

新規質問文に適切な回答を施すことが可能な回答者を探索する可能性を検証した。ここでは、質問文の印象と類似している回答文の印象により、質問文に適切な回答を施すユーザを探索することが可能であるという前提で、質問文の因子得点と既に投稿された回答文の因子得点との距離を計算し利用する。具体的には、2.2 節での重回帰分析で得られた重回帰式をもとに、2.1 節での印象評価実験に使用していない任意の質問回答文の因子得点を算出する[7]。

質問回答文間の印象の差異と回答文の適切性の検証に使用した質問回答文について、質問文は、オークション、パソコン、恋愛相談・人間関係の各 1 件の文章である。回答文は、66,238 件の回答文を使用している。質問文と 66,238 件の回答文の各ユークリッド距離は、式（1）を用いて算出する。

$$D = \sqrt{\sum_{k=1}^{9} \left(Fac_{Q_k} - Fac_{A_k}\right)^2} \tag{1}$$

ここで、Fac_{Q_k}とFac_{A_k}は、それぞれ質問文の因子得点、k番目の回答文の因子得点を示している。分析の結果、質問回答文間の距離は、適切な回答者を選択することに役立てることが示された[7]。また、実際の回答投稿者以外も、適切な回答者になる可能性も示されている[7]。

2.4　適切な回答者の選出手法と評価

2.4.1　目的

2.3 節で説明した観察結果に基づいて、新規に投稿された質問文に対して適切な回答を施す可能性が高いと考えられる回答者を選出する方法を提案する[8, 9]。提案手法では、以下の基準に基づいて適切な回答者になり得る回答者を選出する。

1）質問回答文間の因子得点の距離の昇順で上位 100 件の回答文内での回答者の出現回数

2）複数の回答者が同じ回数出現した場合、の合計。ただし、$Score_k$は式（2）より求める。

$$Score_k = \frac{Dis_A_1}{Dis_A_k} \qquad (1 \le k \le 100) \tag{2}$$

ここで、Dis_A_kは距離の昇順でk番目の回答文の距離を表す。したがって、あるユーザの回答を$A_{k_1}, A_{k_2}, \cdots, A_{k_n}$とすると、そのユーザが有するスコア$S$は式（3）により求まる[8, 9]。

$$S = \sum_{i=1}^{n} Score_{k_i} \tag{3}$$

2.4.2　客観的な適切度（FR）

適切な回答者を機械的な方法で決定することは不可能であるため、人手の協力を要する実験を実施する必要があった。ここで、適切な回答者を決定する手法は存在しており、ある回答文が質問文を解決するのに適切であるかどうかを被験者が決定する方法である。しかし、回答の内容によっては、一見によらず実際は適切でない場合もあるため、回答を適切であるかどうかを被験者が判定するのは容易ではない。そこで、データセット内の質問文に対する回答文を施したユーザが適切な回答を施してくれそうかどうかを実験的に獲得する。この適切度を“Fitness Rate (FR)”と定義する[8, 9]。ここで、ユーザに対する FR の平均値を“Averaged Fitness Rate (AFR)”と称する[8, 9]。AFR は平均値であるので、客観的な尺度であると考えられる。データセット内の範囲でユーザが回答文を複数施している場合、代表的な AFR を決定する必要がある。ここでは、最良の AFR をユーザの代表的な AFR として定めて、これを“Best Averaged Fitness Rate (BAFR)”と称する。ユーザがデータセット内で 1 件しか回答文を施していない場合は、その回答文の AFR が自動的に BAFR となる。

2.4.3　FR を用いた実験

適切な回答者を機械的な方法 14 名（22～29 歳の男性 10 名、女性 4 名）の被験者に対して印象評価実験を行った[8, 9]。評価素材は、質問文 1 件と質問文に非対応の回答文 100 件から構成されるセットを 3 組（オークション、パソコン、恋愛相談の各 1 組）用意している。100 件の回答文の選出方法は、質問回答文間の距離が上位 100 件を抽出している。被験者には、まず質問文を読んでもらった後で、各回答文を読んでもらい、回答文を施した回答者が質問文に適切な回答を施すことが期待できる度合の評価として、FR を 5 段階（5：非常に期待できる、4：期待できる、3：どちらともいえない、2：あまり期待できない、1：全く期待できない）で付与してもらった。評価素材には同一回答者が施した回答文が複数あったが、この旨は被験者に伝えていない。

各手法の妥当性を適合率と再現率により評価を行う。適合率と再現率は、式（4）ならびに（5）でそれぞれ算出する[8, 9]。

$$\text{適合率} = \frac{\text{検索適切回答者数}}{\text{検索回答者数}} \tag{4}$$

$$\text{再現率} = \frac{\text{検索適切回答者数}}{\text{適切回答者数}} \tag{5}$$

ここで、適切回答者とは、「BAFR が閾値n以上の回答文を含む回答者」と定義する。適合率と再現率は、閾値nを 2.0～4.0 の区間において 0.5 間隔で設定して求める。分析の結果、提案手法が他の 2 手法よりも良好な精度が得られている[8, 9]。また、平均程度以上の回答者を推薦することが可能であることを示した。さらに、質問回答文のジャンルを考慮することで向上することも示している[9]。

3　N-gram に基づく手法

3.1　目的

2 節で述べた分析手法は、主に形態素解析を通じて抽出された文章の特徴量を使用した手法である。しかし、表 2 に示したように、使用した文章の特徴量 77 種のうち 36 種が形態素解析に基づいた構文情報であることから、この手法は形態素解析に重きを置いた手法となっている。また、因子得点を推定するための重回帰式も複雑なモデルとなっている。一方で、形態素解析と同様に構文解析として知られている方法として N-gram がある。そこで、図 1 に示すように、形態素解析に基づいた構文情報を主に特徴量に使用した場合と同様の分析手法で、N-gram を特徴量して用いた場合に因子得点の推定が可能であるかどうかを検証する[10-12]。また、質問回答文の印象と適切度についても、構文情報と同様の傾向を確認している[13]。その上で、N-gram の場合に基づいた場合においても適切な回答者の選出手法と評価が可能であることを示す。

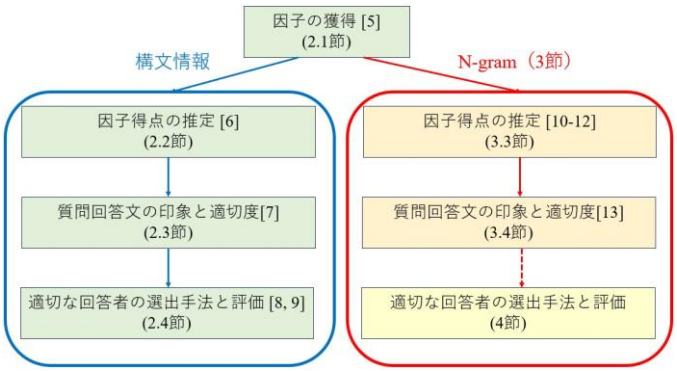


図 1　本研究手法のフローチャート

3.2　N-gram

N-gram は、テキスト内における N 個単位の文字や形態素、あるいは品詞の連続した形態である[15, 16]。N は 2 以上の任意の自然数が入るが、一般的には N=2 または N=3 が適用され、それぞれバイグラム（bigram）、トリグラム（trigram）と称される。たとえば、テキスト内における「今日は」を例にすると、文字 3-gram であれば「今　日　は」のような 3 文字の連鎖、単語 2-gram であれば「今日　は」のような 2 単語の連鎖、品詞 2-gram であれば「名詞　助詞」のような 2 品詞の連鎖をそれぞれ表している。このように、N-gram は隣接する要素を機械的に抽出する手法であり、様々な分野に適用されている[9]。文字 N-gram は、形態素解析を要することなく集計することが可能であり、形態素解析における分かち書きの誤り等の影響を受けずにテキストを分析することが可能である[10]。さらに、品詞 N-gram は、文章を品詞の単位に抽象化するため、文章の内容の影響に左右されることなく文章の構造を捉えることができる利点がある[16]。

2.1 節で使用した 60 件の質問回答文のうち、1 つの質問文に品詞 2-gram を適用した例を表 4 に示す。便宜として、表 4-(a)に例として示した質問文を QA04 と表す。表 4-(b)は、QA04 の品詞 2-gram の例と出現数について、出現数の降順で示している。出現数が 2 以上の品詞 2-gram に関しては、それぞれの一例のみを「例」の項に示している。

表 4　品詞 2-gram の例［8-10］

(a)文章の例（QA04）

QA04	パソコン初心者です。デジカメで撮った画像を プリントアウトしたところ画像が暗いのですが、 明るくする方法をご存知の方回答をお願いします。

(b)2-gram の適用例ならびに出現数

2-gram	例	出現数
[名詞 - 助詞]	[画像 - を]	6
[名詞 - 名詞]	[パソコン - 初心者]	4
[助詞 - 名詞]	[の - 方]	4
[動詞 - 助動詞]	[する - ます]	3
[助動詞 - 記号]	[ます - 。]	2
[助動詞 - 名詞]	[た - ところ]	2
[名詞 - 助動詞]	[初心者 - です]	2
[名詞 - 動詞]	[お願い - する]	2
[記号 - 形容詞]	[、 - 明るい]	1
[記号 - 名詞]	[。 - デジカメ]	1
[形容詞 - 動詞]	[明るい - する]	1
[形容詞 - 名詞]	[暗い - の]	1
[助詞 - 記号]	[が - 、]	1
[助詞 - 形容詞]	[が - 暗い]	1
[助詞 - 動詞]	[で - 撮る]	1
[助動詞 - 助詞]	[です - が]	1
[動詞 - 名詞]	[する - 方法]	1

3.3　N-gram を用いた因子得点の推定

2.2 節で記述した手法と同様に、N-gram を用いた文章の特徴量を使用して因子得点の推定を試みた。2-gram（N=2）から 5-gram（N=5）までの場合について分析を行った。統計解析フリーソフ R[17]において、RMeCab のパッケージを用いて品詞 N-gram の特徴量を抽出した。60 件の質問回答文をもとに、全パターンの品詞 N-gram を生成し、それぞれの品詞 N-gram の合計出現数を算定する。その後、合計出現数の降順に品詞 N-gram を並べて、試験的に上位 17 件の品詞 N-gram を特徴量として使用した。N-gram の特徴量を Ngr_g1, Ngr_g2, …, Ngr_g17 と表している。したがって、2-gram を例とすると、2gr_g1, 2gr_g2, …, 2gr_g17 と表す。3-gram, 4-gram, 5-gram についても、2-gram と同様の表記に準じる。一例として、品詞 2-gram の特徴量を表 5 に示す。

表 5　2-gram の特徴量［8］

2-gram	特徴量
2gr_g1	[名詞-助詞]
2gr_g2	[助詞-動詞]
2gr_g3	[助詞-名詞]
2gr_g4	[名詞-名詞]
2gr_g5	[記号-名詞]
2gr_g6	[動詞-助動詞]
2gr_g7	[助詞-記号]
2gr_g8	[動詞-助詞]
2gr_g9	[助動詞-助詞]
2gr_g10	[名詞-助動詞]
2gr_g11	[助動詞-記号]
2gr_g12	[動詞-名詞]
2gr_g13	[名詞-動詞]
2gr_g14	[助動詞-名詞]
2gr_g15	[助動詞-助動詞]
2gr_g16	[記号-記号]
2gr_g17	[助詞-助詞]

重回帰分析に関して、2.2 節の場合と同様に、質問回答文 60 件の因子得点を目的変数に設定する。一方で、2.2 節での分析と異なる点として、形態素解析に基づいた構文情報（36 種：g1 - g36）に代わって、N-gram に基づいた特徴量（17 種：Ngr_g1 - Ngr_g17）を新規特徴量として説明変数に用いる[6-8]。他方、2.2 節で使用した単語心像性（g37 – g38）・文末表現（g39– g64）・単語親密度（g65 – g71）・表記妥当性（g72 – g77）の計 41 種については引き続き説明変数として使用する。以上より、計 58 種の特徴量を説明変数として設定する。

重回帰分析の推定精度の指標を示す重相関係数を表 6 に示す。この結果より、どの N-gram においても重相関係数が 0.9 以上になっており、全般に良好な推定精度が得られている[6-8]。表 3 の形態素解析を用いた場合の結果と比較すると、形態素解析を用いた場合と同等程度の推定精度が得られている。

表 6　重相関係数（N-gram）[8-10]

因子	2-gram	3-gram	4-gram	5-gram
第1因子　的確性	0.989	0.993	0.999	0.998
第2因子　不快性	0.999	0.987	0.985	0.991
第3因子　独創性	0.981	0.998	0.971	0.976
第4因子　容易性	0.990	0.995	0.993	0.994
第5因子　執拗性	0.993	0.976	0.994	0.999
第6因子　曖昧性	0.998	0.994	0.983	0.986
第7因子　感動性	0.999	0.996	0.945	0.992
第8因子　努力性	0.995	0.968	0.988	1.00
第9因子　熱烈性	0.995	0.998	0.973	0.954

3.4　2-gram を用いた質問回答文の印象と適切度

2.3 節で記した構文情報に基づいた手法と同様に、N-gram に基づいた手法でも新規質問文に適切な回答を施すことが可能な回答者を探索する可能性を検証した[13]。ここでは、質問文の印象と類似している回答文の印象により、質問文に適切な回答を施すユーザを探索することが可能であるという前提で、2-gram を用いた場合の検証を行った。データセットは 2.3 節で示したものと同じである。分析の結果、構文解析の場合と同様に、N-gram の場合においても、質問回答文間の距離は、適切な回答者を選択することに役立てることが示された[13]。

4　2-gram に基づいた適切な回答者の選出手法と評価

4.1　手法の概要

3.4 節で示した観察に基づいて、構文情報の場合と同様に、N-gram の場合でも適切な回答者の選出手法が可能であるかどうかを検証する[14]。この手法の初歩として、2-gram の場合で検証を行う。提案手法の選択に基づく基準は、2.4.1 節で示すように、回答文の出現回数ならびに質問回答文間の距離の順位に基づくスコアSである。

2.4.3 節で示したと同様の実験に被験者 11 名（男性 8 名、女性 3 名）が参加した。質問文を一読し、その後に質問文に非対応の回答文の集合に対する評価を 5 段階評価で実施した[14]。実験の評価素材として、質問文 1 件と非対応の回答文 100 件のセット 3 組を使用した。回答文 100 件の選定は、3.3 節で示した 2-gram に基づく距離から得られている。被験者に提示した回答文の順序については、無作為に並べた上で提示している。

4.2　*t* 検定

実験結果の性差の影響を調べるために、男性 8 名の回答と女性 3 名の回答に有意差があるかどうかを有意水準 1%で t 検定を行った[14]。検定の結果、p 値が4.47×10^{-10}となり、p 値が 1%を大きく下回るため男女間に大きな性差があることを示している。したがって、以後の評価において、男性分の回答と女性分の回答は別々に取り扱った上で分析を実施する。

4.3　評価手順

構文情報に基づいた実験の場合と同様に、提案手法を他の 2 手法と比較検証する。回答文のスコアの平均値に基づく「スコア平均の手法」と、回答文との距離の最小値に基づく「距離最小の手法」の 2 手法である。提案手法を含めた 3 つの手法について、2.4.3 節において示した式 (4) ならびに式 (5) のように、適合率と再現率を用いて評価を行う[14]。

適合率と再現率を評価するにあたって、2.4.3 節で示したように、「回答者の BAFR がT_{FR}以上の回答者」を適切回答者と定義する。適合率と再現率を$T_{FR} = 4{,}0, 3.5, 3.0, 2.5$と設定した上で計算する。実例を用いながら適合率と再現率の計算方法について詳述する。実際の結果の一部として、T_{FR}=4.0 の時にオークションに対する男性 8 名分のスコアを提案手法で評価した場合を表 7 に示す。提案手法に基づいて、出現回数ならびにスコアSをソートする。「順位（提案手法）」という項は提案手法に基づく順位を示しており、BAFR の項は各回答者の BAFR で示す。

表 7　実際の評価の例
（オークション、男性、提案手法、T_{FR} = 4.0）[14]

順位（提案手法）	出現回数	S	BAFR	T_{FR} = 4.0		
				適切回答者	適合率	再現率
1	35	18.3	3.71	×	0.000	0.000
2	22	11.9	4.00	○	0.500	0.333
3	7	3.97	4.00	○	0.667	0.667
4	3	1.63	3.57	×	0.500	0.667
5	3	1.50	3.00	×	0.400	0.667
6	3	1.49	3.00	×	0.333	0.667
7	2	1.12	4.00	○	0.429	1.00

閾値T_{FR}=4.0 の時、BAFR が 4.0 以上の回答者が適切回答者と判定され、その場合は「○」が「適切回答者」の項に付与され、BAFR が 4.0 未満の場合は「×」が付与される。再現率が 1.00 に達した場合、たとえ未検索の回答者が残っていたとしても、全ての適切回答者の検索が完了したことを表す。表 7 の例では、ユニークユーザ 30 名中、T_{FR}=4.0 の時に BAFR が 4.0 以上であるために、提案手法の基準に基づいた順位 2 番目・3 番目・7 番目のユーザが全て適切回答者として判定される。これらの回答者は表 7 において網掛けを施している。この例では、検出回答者数は 7、適切回答者数は 3 である。したがって、式 (4) より、適合率は$3 \div 7 = 0.429$となる。同様に、式 (5) より、再現率は 2 番目、3 番目、7 番目においてそれぞれ適切回答者が検索される度に$1 \div 3 = 0.333$、$2 \div 3 = 0.667$、$3 \div 3 = 1.00$となる。このようにして、他の場合についても適合率・再現率の計算を施している。

4.4　実験結果

2-gram に基づいた適切な回答者の選出手法の評価について、紙面の都合のため、結果の一部のみを計算する。オークションに対する男性のスコアを提案手法で評価した時の適合率と再現率を図 2 に示す。横軸は再現率、縦軸は適合率をそれぞれ示している。T_{FR} = 3.5 またはT_{FR} = 3.0 の時、再現率が低いうちに複数の回答者を検出しているため、提案手法は上位の回答者を選択することが可能であるといえる[14]。この傾向は、図 3 に示す構文情報に基づいた場合と同様のものが得られている。

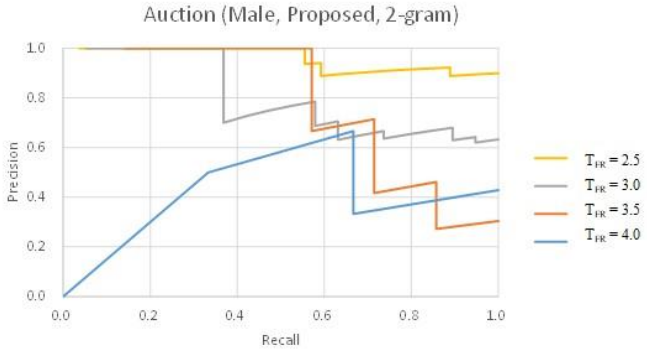


図 2　適合率と再現率
（オークション、男性、提案手法、2-gram）[14]

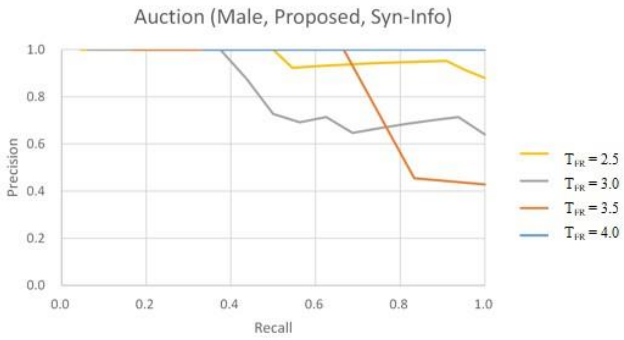


図 3　適合率と再現率
（オークション、男性、提案手法、構文情報）[9]

しかし、2-gram と構文情報どちらの場合においても、適切回答者数が不十分なため、T_{FR} = 4.0 の挙動は不安定である。概して、構文情報の場合と同様に、2-gram に基づいた提案手法も、質問に適切な回答にあたって平均程度以上の回答者を選択することが可能であることがいえる[14]。図 2 以外の他の組み合わせ（男性・女性、オークション・パソコン・恋愛相談、提案手法・スコア平均の手法・距離最小の手法）においても、概ね同様の傾向が得られている。

4.5　考察

スコア平均の手法、距離最小の手法の 3 手法の比較を行う。紙面の都合上、男性のT_{FR} = 3.0 の時の結果を図 4、5、 6 に示す。図 2、3 と同様に、横軸が再現率、縦軸が適合率をそれぞれ表している。総じて、提案手法が他の 2 手法よりも良好な結果が得られている[14]。但し、オークションにおいては、適合率が約 0.35 以上においては他の 2 手法よりも下回っている。一方で、構文情報の時は、オークションとパソコンが一番良好な結果を示していたが、恋愛相談の場合は距離最小の手法が提案手法を上回る結果を示していた。これらの傾向を確認するためには、2.1 節で述べた印象評価実験を含めた追加実験を行う必要がある[14]。

次に、2-gram と構文情報の場合で提案手法を用いた時の適合率を表 8 に示す[14]。再現率の右側に、上から順に検索適切回答者数と適切回答者数がそれぞれ示されている。4.3 節において表 7 で示した実際の評価例（オークション、男性、提案手法、T_{FR} = 4.0）において、検出回答者数 7 を適切回答者数 3 で除算することで、適合率は 0.429 となり、4.3 節での説明と符合することが確認できる。これらを比較すると、2-gram と構文情報は類似した数字が得られている。T_{FR} = 3.5 ならびにT_{FR} = 3.0 の時、適切回答者数が高い順位にランク付けされるため、提案手法は適切な回答者を選択するのに実用的であるといえる[14]。T_{FR} = 2.5 の時は、適合率が 0.920 にも到達するため、提案手法は平均程度以上の回答者の選択を回答することが可能であることがいえる[14]。総じて、N-gram は適切な回答者を選択するのに構文情報と同等の役割をなすといえる[14]。また、3.4 節で述べたように、N-gram の N を 2 から 5 まで適用して因子得点の推定結果を示している。因子得点の推定は 2-gram の時点で十分な推定結果が得られている[10-12]。したがって、3-gram 以降に基づいた場合において適切な回答者を選

出する手法を行うには及ばない[14]。しかし、T_{FR} = 4.0 の場合においては、適切回答者数が不十分なため、適合率の数値が不安定である。この課題を解消すべく、さらに被験者数を増やした上で追加実験を行う必要がある。

5 まとめ

本稿では、構文情報と同様の傾向が得られるかどうかを調べるために、N-gram に基づいた適切な回答者の選出手法について評価を行った。提案手法は、回答者の出現回数ならびに適切な回答者の順位に基づいて決定されたスコアを使用している。この手法について、提案手法をスコアの平均値に基づく手法や距離に基づく手法と比較しながら、適合率と再現率で実験的に比較評価を行った。分析の結果、提案手法は他手法よりも良好な結果が得られたため、N-gram に基づいた提案手法も、平均程度以上の回答者の推薦が可能であることを示した。

今後の課題として、質問回答文の意味や内容を考慮する必要性がある。本手法で使用した特徴量の大半が日本語に基づいているため、本手法を他言語にも適用できるかどうかを検証する必要がある。また、本手法を他分野のデータセットにも汎用可能であるかどうかを検証することも、今後の課題に含まれる。

謝辞

本研究は、一部、科研費（26008587, 20K19933）の助成を受けて行われたものである。また、国立情報学研究所から提供を受けた、Yahoo! 知恵袋のデータを利用している。

参考文献

1. Yahoo! 知恵袋. [cited 19 Nov 2024]. Available: http://chiebukuro.yahoo.co.jp/.
2. E. U. Haq, T. Braud and P. Hui, “Community Matters More Than Anonymity. Analysis of User Interactions on the Quora Q&A Platform. Proc. of the International Conference Series on Advances in Social Network Analysis and Mining (ASONAM 2020). 2020: 94-98.
3. Wang, L., Zhang, L. and Jiang, J. IEA: An Answerer Recommendation Approach on Stack Overflow. Science China Information Sciences. Volume 62, 2019: 19 pages.
4. Anandhan, A., Ismail, M. A. and Shuib, L. Expert Recommendation through Tag Relationship in Community Question Answering. Malaysian Journal of Computer Science. 2022;35;3: 201–221.
5. 横山友也, 宝珍輝尚, 野宮浩揮, 佐藤哲司. 質問回答サイトの質問文と回答文の印象評価とベストアンサーの推定. 日本感性工学会論文誌. 2011;10;2: 221–230. Available: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/10/2/10_2_221/_pdf/-char/ja
6. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Using Feature Values of Statements to Improve the Estimation Accuracy of Factor Scores of Impressions of Question and Answer Statements. International Journal of Affective Engineering. 2013;13;1: 19–26. Available: https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijae/13/1/13_19/_pdf/-char/ja
7. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Towards Detecting Appropriate Respondents to Questions Posted at Q&A Sites by Disregarding and Considering Categories of Answer Statements. International Journal of Affective Engineering. 2016;15;2: 167–175. Available: https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-15-00031
8. 横山友也, 宝珍輝尚, 野宮浩揮. 質問回答サイトにおける質問文への適切な回答者の選出法. 日本感性工学会論文誌. 2016;15;1: 21–29. Available: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjske/15/1/15_TJSKE-D-15-00033/_pdf/-char/ja/
9. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Improvement of Obtaining Potential Appropriate Respondents to Questions at Q&A Sites by Considering Categories of Answer Statements. International Journal of Affective Engineering. 2017;16;2: 63–73. Available: https://doi.org/10.5057/ijae.IJAE-D-16-00023
10. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Application of 2-gram and 3-gram to Obtain Factor Scores of Statements Posted at Q&A Sites. International Journal of Networked and Distributed Computing. 2022;10;1-2: 11–20. Available: https://link.springer.com/article/10.1007/s44227-022-00005-2
11. Yokoyama Y., Hochin T., Nomiya H. Using 4-gram to Obtain Factor Scores of Japanese Statements Posted at Q&A Sites. Proceedings of the 13th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2022-Winter). 2022: 25–31. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10123522
12. Yokoyama Y. Application of 5-gram to Obtain Factor Scores of Japanese Q&A Statements. Proceedings of the 14th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2023). 2023: 69-75. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/10371593
13. Yokoyama Y. Impression and Suitability of Q&A Statements through Factor Scores Using 2-gram. Proceedings of the 15th International Congress on Advanced Applied Informatics (AAI 2023-winter). 2023: 45-51. Available: 10.1109/IIAI-AAI-Winter61682.2023.00017.
14. Yokoyama Y. Using 2-gram to Detect Potential Appropriate Respondents to Questions at Q&A Sites. Proceedings of the 22nd I IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Management and Applications (SERA 2024). 2024: 304-309. Available: 10.1109/SERA61261.2024.10685602.
15. 石田基広. R によるテキストマイニング入門 （第 2 版）. 森北出版; 2017: 94.
16. 小林雄一郎. R によるやさしいテキストマイニング[活用事例編]. オーム社; 2018: 86-87.
17. The R Project for Statistical Computing. [cited 19 Nov 2024]. Available: https://www.r-project.org

将来 PBL を受講する学生への推奨事項について

Recommendations for students planning to enroll in PBL in the future

五十嵐 俊治 [1*]

Toshiharu Igarashi[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Toshiharu Igarashi, igarashi-t@aiit.ac.jp

Abstract Since its establishment in 2006, the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) has implemented a curriculum focused on Project-Based Learning (PBL) to foster practical skills for industry-ready professionals. Following a 2022 curriculum restructuring, a specialized Information Architecture course was introduced, further emphasizing skill-based education. Based on personal experience supervising 24 students from 2023 to 2024, this study identifies common student issues in PBL and suggests improvements for achieving higher levels of learning. A preliminary understanding of common challenges and relevant skills, such as research methodology, project management, and peer collaboration, is essential for PBL success. Drawing on existing research on both Project-Based and Problem-Based Learning, this paper examines the distinct educational benefits of PBL, including the development of problem-solving and teamwork abilities. It also presents strategies for addressing challenges related to project evaluation, workload distribution, team dynamics, and formative feedback. Furthermore, enhancing preparatory education and establishing clear evaluation rubrics may provide a more supportive learning environment. The study concludes with recommendations for future PBL practices at AIIT, emphasizing the need for structured pre-learning and transparent evaluation to maximize educational outcomes in PBL-based curricula.

Keywords project-based learning; educational assessment; team collaboration; practical skill development

1 はじめに

AIIT（東京都立産業技術大学院大学）では，2006 年の開学以来，PBL（Project Based Learning）型教育を中核としたカリキュラムを実施し，産業界での実践力を持つ専門職業人の育成に力を入れてきた．2022 年度には研究科の再編を行い，産業技術専攻に情報アーキテクチャコースを設置するなど，実務的なスキル育成に重点を置いた教育改革が進んでいる．

著者自身も，2023 年度から 2024 年度にわたり，計 24 名の学生に対する指導を行ってきた．その中で記録された内容を振り返ると複数の学生から共通する相談を受けており，相談内容をパターン別に分類できることに気づいた．また，教員内での情報共有を行った際にも例年同様の質問を受けることも多いという意見も上がり，その応対について考える機会となった．毎年同じ形式で課題に取り組ませ，問題解決の経験を重ねさせる手法も考えられるが，事前に一定の知識やスキルを持っていることで，より高いレベルの活動を達成できる可能性がある．また，PBL を円滑に進めるためには，学生が直面しやすい問題やその解決策を事前に理解し，活動に備えることが有効である．

本稿では，PBL に取り組む前の修士 1 年生および PBL 活動初期の 2 年生を想定読者として，事前に留意点を学生に開示することによる成果の底上げを企図して，筆者が PBL において得られた知見をまとめる．

2 先行研究

Project Based Learning と Problem Based Learning

PBL（Project Based Learning）には，Problem Based Learning と Project Based Learning の 2 つの種類があり，両者は基本概念が似ているが，異なる学問分野で発展してきた[1]．Problem Based Learning は 1969 年にカナダのマクマスター大学医学部で導入され，主に医学教育を中心に広がり[2]，日本では 1990 年に東京女子医科大学に導入されたのが最初とされている[3]．その後，看護学や薬学，理学療法学などの人体に関わる学問においても Problem Based Learning が導入されている．医学教育を起点に発展してきた Problem Based Learning は，実際の臨床現場で直面する問題解決を通じて，基礎知識と実世界の関連を学ぶために有効とされている[1]．

一方，Project Based Learning は工学教育に端を発し，初期の事例として，東京都立科学技術大学（現・東京都立大学）の「紙製自動車の開発」プロジェクトが挙げられる[4]．大阪大学基礎工学部では，2001 年からすべてのコースに PBL 科目を設置し，実際のプロジェクトを通じて技術的な問題解決力やチームワークを養うことを目指している[5]．Project Based Learning では，学生が社会的に意義のある課題に取り組み，その過程で複雑な問題を解決していく学習が重視されており，未来志向の課題解決を目的とする点が特徴的である[1]．

Project Based Learning がもたらす効果

Project Based Learning がもたらす効果についても多くの研究が存在する．辻は，PBL を通じて学生は「実行力」「チームワーク」「課題探求力」を高めることができ，さらに「コミュニケーション力」も向上することを指摘している[6]．また，佐々木は学科の改革として PBL を必修科目に取り入れた結果，学生の探求力が高まり，それが高校生向けの広報にも反映され入学者数が増加したとしている[7]．さらに，筑波技術大学の事例では，聴覚障害を持つ学生が市場調査を通じて外部の関係者と連携する PBL プロジェクトを実施し，コミュニケーション力の向上が認められた[8]．

PBL の方法論に関する研究も進展している．奥本・岩瀬は，チーム活動における“手抜き”の発生に注目し，手抜きの原因が個人の資質よりもチーム活動に影響されることを明らかにしており，効果的なチーム機能を保つために，チーム構成員が自発的に行動することが重要であると述べている[9]．また，藤原らは，PBL の学習効率を向上させるために授業資料やタスクの関係をマッピングする RDF（Resource Description Framework）を利用した推薦手法を提案しており，これにより PBL の学習効果をさらに引き上げるための支援が可能であることが示されている[10]．

本学でも PBL が必修科目に取り入れられており，大学や担当教員が PBL の教育的価値を評価している．本稿では，本学における PBL 研究の動向を整理し，その特徴と到達点，および

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

現段階での課題を抽出することを試みる．これにより，PBL の効果をさらに高めるための指針を得ることを目指す．

3 学生からの相談事項

3.1 学習対象や成果物に関わる課題

先行研究や事例調査の不足

まず，学習成果物の質に関連する課題として，学生が先行研究や事例調査を十分に行えていない点が挙げられる．この原因としては，主担当教員が学生に対してサーベイの時間を与えていないというよりは，テーマ決めの段階で先行調査の重要性とその方法論に対する理解が不足していることが挙げられる．土台となる知識が各人に十分に備わっていないままプロジェクトが進行することによって，PBL で実施した活動の本質的な価値を十分に評価できない状況が生まれる．本学は，社会人学生が多く，他の大学院の修士課程の学生よりも年齢層が幅広いという特徴もあり，それ故に先行調査の重要性とその方法論について同じ知識を持っていることを前提にできないという側面もある．しかし，本学では論文調査の基本的な方法論を学ぶ科目も開講されているため，これから PBL に進む学生にはそれらの科目履修を推奨される．これによりリサーチの意義と重要性を理解し，年度初めの各プロジェクト計画を作成する段階で，必ず先行研究や事例調査を行う時間を確保することで，実際に学んだ科目を活用できるようにすることなどが学生には求められる．

成果物の評価に関する知見の不足

本学の学生はすでに業務経験を持つ学生が多いため，ほとんどのケースでプロダクトやアプリケーションが実装できないという懸念は発生しにくい一方で，PBL で制作したプロダクトに対して，適切な評価ができないという課題がある．

この原因として，学生が定量評価と定性評価の違いや評価尺度の使用方法についての理解が不十分であり，さらにアンケート作成や検証のための統計検定の知識が不足していることが挙げられる．これは先行研究不足という点にもつながる要素があるが，計画を策定した段階で，どのターゲットユーザーに対して，どのような評価を行うと仮説が検証できるのかという観点が準備できていないことも挙げられる．本学には，評価方法やアンケートの作成方法，統計的なデータ分析の基礎について触れている講義があるため，事前に履修することが推奨される．

3.2 チームメンバーに関わる課題

チームマネジメントに関する知識不足による不協和

チームメンバー間の不和も課題のひとつである．これは a) チームマネジメントに関する知識不足と b)アサーションスキル，c) 人間関係の相性的な問題とに分けられると考えられる．

a)チームマネジメントについてはいくつかの先行研究があり，マイクロマネジメントが動機づけに及ぼす影響などを知っておくことで，チームの協力関係を築くことができる．チーム組成後に簡単な組織マネジメントに関する調査を各人で実施し，それをチーム内でシェアしながらチームのルールづくりをするということも手法として考えられる．

b)アサーションスキルについても，a)の手法を取ることで緩和されるケースもあるが，チーム内でコミュニケーションを取る時にどのように行うかの基礎知識を身に着けておくことでチーム内の不和のリスクを減少させることができる．特に，相手の成果物に対して何か修正のリクエストを出す時や相手に開発の進め方や応対の改善を打診する時などは特に注意が求められる．チーム内でアサーション・トレーニングを実施することで，学生が適切なコミュニケーションスキルを身につけ，チーム内の不和を解消するための方法を学ぶ機会を持つというのも良いかもしれない．

c)人間関係の相性的な問題についても，a)や b)の手法を取ることで改善されるケースもある．一方で，どうにもならないケースも発生し得る．その場合，すぐに退学や休学を考えるのではなく，途中でのチーム編成が認められることを念頭に置き，教員と相談すべきである．解決策として，PBL の中でチームをさらに細分化し，3 人や 2 人の小グループに分ける方法が考えられる．また，教員との関係がよくない場合は途中で他の PBL に移ることができる．もちろん，問題発生後のコンフリクト・マネジメントのスキルを身につけるという考えもできるが，時間は有限であるためチーム状況および学生の意向を整理して教員に相談することが求められる．

メンバー間での負担の偏りによる不協和

チームメンバーに関しては，いくつかの課題に分けられる．一つはメンバー間での負担の偏りが生じるという課題である．これは，チーム内でのタスク分担が適切に行われず，特定の学生に負担が集中することによって生まれる問題である．

PBL における組分けの性質上，チームメンバー内では開発に関わるスキルセットに差があるケースがほとんどである．そのため，絶対的なタスクの量（および難易度）で分担を行うと，同じ時間をかけても作業が完遂しないという事態が発生するため，何か特定のプロダクトやサービス開発を目指す場合，開発能力の高い側に業務が集中する傾向が見られる．この時に身体的な負担が掛かるのは高スキルセット群であるが，低スキルセット群には「チームへのコントリビューションを思うように出せていない」という精神的な負担も掛かっていることも考える必要がある．この観点が漏れるとチームメンバーの関係性の悪化やメンバーの離脱なども発生する可能性がある．PBL のゴール設定にもよるが，対策としては，タスクの量ではなく，投下される時間量での均等化を図ると不公平感が減る傾向が見られる．本学では，基本的には週に一定以上の活動時間の貢献が求められているため，これを一つの目安としてタスク分担とスケジュール管理を行うことが考えられる．具体的には①線形で進むタスクと②非線形で進むタスクに分け，低スキルセット群は線形で進むドキュメンテーションや先行研究調査など，チーム内で負担を上手く分割できるようにタスクを整理し，メンバーで納得感を持って開発を進めていくことが求められる．

3.3 プロジェクトの進め方に関わる課題

形成的評価の場の効果的な活用

形成的評価の観点では，マンスリーミーティングが十分に活用されていない点も課題である．各 PBL によって差があるが，本学では，週に 1 回を目安に主担当教員とのコアミーティングを実施し，月に 1 回のペースで副担当教員を含めたマンスリーミーティングを実施する形態を取っている．

本学における 8 月の中間報告会や 2 月の最終成果報告会が総合評価の場であることを考えると，マンスリーミーティングは形成的評価の場として考えられ，学習活動中に，学習の改善を目的として実施されるべきである[11]．そういった意味でマンスリーミーティングは複数の教員からのフィードバックを受けられる機会であるが，学生たちは発表準備に多くの時間を費やし，教員への相談やフィードバックの機会を十分に活かしきれていない現状がある．

この問題に対処するためには，予めミーティングの目的をチーム内で確認しておき，“発表をする”ということだけでなくプロジェクト進行上の課題や疑問点の共有に時間を充てるよう意識を持つことが重要である．プロジェクト全体を見た時に現状では何が足りていないかを整理して望むことを必須とし，可能であればその対策としてはどのような方針が考えられるかを複数用意し，教員との交流やフィードバックに焦点を当てたミーティング運営を行うことで，より効果的な活動に結びつくと考えられる．

表 1：形成的評価と総合評価の比較

	形成的評価	総合評価
いつ	学習活動中	学習活動の終わりに
ゴール	学習の改善	決断する
フィードバック	素材に戻る	最終判断
参照フレーム	常に基準（同じ基準に従って学生を評価する）	時々規範的（各生徒を比較する）

3.4 プロジェクトのスケジューリングに関わる課題

プロジェクトマネジメントの基礎知識に関わる課題

これも PBL 期間中のスケジュール管理についても頻出度の高い課題である．この課題はスケジュールの遅延として表出してくるが，まずは将来発生しうる未知の課題への対策時間（バッファ）を予め組み込んでいないことが挙げられる．開発現場では当初想定していなかった仕様変更やバグへの対処が発生する場合も多いため，未知の課題への対策時間を見積もっておくことが肝要である．しかし，バッファの重要性をプロジェクトマネジメントの経験のない学生が事前に予見することは困難なため，事前にプロジェクトマネジメントなどを包含した講義の履修を行い，複数名での計画と実行の困難さの理解が推奨される．

次に挙げられるのは「タスクが途中で新規に追加される」ことである．例えば，これまでアプリケーションの開発経験のない学生にスケジューリングを行わせると，サーベイや実装の期間は見積もりにいれるが，開発したプログラムの単体テストや統合テストを行う工程を入れずにスケジュールを作ってしまうことも発生する．これは上述のバッファを設ければよいという話ではなく，細かなタスク追加は仕方のない面はあるものの大きなタスクの追加がないように，チーム内で計画策定時に終わりまでのタスクを見積もっておくことが肝要である．

そして，最も多いのが「想定よりも特定のタスクに多くの時間がかかってしまう」ケースである．このケースは，「学生自体の能力」と「タスク自体の難易度」が相互に関与しているため，根本的には上記 2 つの対策を行ったとしても発生しうる．そのため，根本的な対策は難しいが，できることとしては「学生同士がメンバーの能力差を認め，各人のスキルや得意分野を把握し，それに応じて役割を割り振れるチームを作ること」であると考える．学生同士のバックグラウンドが近しい高校卒業直後の大学の学部生と比較すると，専門職大学院の本学は年齢層も幅広く，多様な経歴や所属を持つ社会人が集まり，各メンバーのスキルの分散値が大きくなりやすい傾向がある．そのため，メンバー間のスキルセットや活動可能時間の共通認識が持てていないと，スケジュールの見通しが不十分となることがある．そのため，進捗管理が甘くならないように，メンバーの特徴とタスクの特性を十分に考慮し，役割分担が適切になるように努めること，それをオープンに話せる場を作ることが有効である．

4 おわりに

本稿では，PBL（Project Based Learning）における教育的な課題とその解決策について，実践経験に基づく知見を整理してきた．PBL は，学生が実践的なスキルを身につけるための有効な手段である一方，学習の進行に伴い様々な課題が生じやすい．これらの課題は，学習成果物に関わる調査スキルや評価スキルの不足，チーム内での負担の偏りやコミュニケーション不足，プロジェクト管理における経験不足など，複数の観点にまたがっている．それぞれの課題に対して適切な対応を行うことで，学生の学びを最大化し，より効果的な PBL の実施ができるのではないかと考えられる．

これらの課題を踏まえ，PBL を受講する学生が直面しやすい問題やその解決策を事前に理解し，必要な知識やスキルを身につけておくことでより高いレベルの活動を期待できる．今後の PBL 教育の発展に向けて，本稿で列挙した課題と対策が学生の学びを支える一助となることを願う．本学では引き続き，PBL の実践を通じて得られる知見を蓄積し，学生が実社会で必要とされる実践力を備えた専門職業人として成長できるような教育環境を整備していく所存である．

参考文献

1. 溝上慎一, 成田秀夫．アクティブラーニングとしての PBL と探究的な学習．東信堂アクティブラーニング・シリーズ 2(2016)
2. 任和子．McMaster 大学における Problem Based Learning(PBL) と日本の看護教育への適用について．京都大学医療技術短期大学部紀要別冊 健康人間学 11 号，pp.41-45．1999
3. 吉岡俊正「新しいテュートリアル:東京女子医科大学の取り組み」『医学図書館』54 巻 1 号，pp.28-33．(2007)
4. 福田収一・マーク カトコスキー・ラリー ライファー．スタンフォード大学との遠隔 PBL 設計教育．『工学教育』50 巻 3 号，pp.64-69 (2002)
5. 佐藤宏介，小坂田宏三，久保井亮一．大阪大学基礎工学部における PBL 科目．『工学教育』54 巻 3 号，pp.46-50(2006)
6. 辻多聞．PBL による大学生の成長とそれに伴う大学教育の在り方-山口大学と同志社大学でのアンケート結果をもとに．『大学教育』9 号，pp.16-25(2012)
7. 佐々木智之．教育実践報告専攻に根ざしたプレゼンテーションによる PBL．『研究紀要』41 号，pp.245-248(2016)
8. 鈴木拓弥．PBL を通じた聴覚障害学生の課題探究と解決力，対話力を向上させる試み．『筑波技術大学テクノレポート』24 巻 1 号，pp.59-61(2016)
9. 奥本素子，岩瀬峰代．「プロジェクトベースドラーニングにおける自発的行動分析」『日本教育工学会論文誌』36 巻 3 号，pp.205-215(2012)
10. 藤原哲・大場みち子・山口琢・花田洋貴「RDF と特徴語を用いた PBL 受講生向け教育コンテンツ推薦システムの構築」『研究報告デジタルドキュメント(DD)』2015-DD-97 巻 4 号，pp.1-6(2015)
11. R. Pr´egent．Charting your course: How to prepare to teach more effective．Atwood，2000

生成 AI を活用したコード生成の精度と効率化に関する検証と考察

Verification and discussion on accuracy and efficiency of code generation using generative AI

加古川 誠史[1] 杉本 雄太[1] 中山 真吾[1] 古本 拓也[1] 若林 佑[1] 追川 修一[1*]

Seiji Kakogawa[1] Yuta Sugimoto[1] Shingo Nakayama[1] Takuya Furumoto[1] Tasuku Wakabayashi[1] Shuichi Oikawa[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Shuichi Oikawa, oikawa-shuichi@aiit.ac.jp

Abstract This study investigates the effectiveness of generative AI in enhancing code generation accuracy and development efficiency of software programs. We examine the performance of leading large language models (LLMs), such as GPT-4o, Claude 3.5 Sonnet, and Gemini 1.5 Pro, on coding tasks using the HumanEval problem solving dataset provided by OpenAI. Our findings revealed that while individual LLMs achieved accuracy rates between 83.5 and 91.5%, combining these multiple models with ensemble techniques improved performance to 96.3%. We also explored prompt engineering techniques and its best practices to create high-quality prompts that optimize model's outputs and reduce hallucinations. Additionally, we evaluate the potential of the Sketch2code technology for front-end development by comparing the visual similarity of wireframes to generated HTML using metrics such as SSIM and PSNR. Our results indicated that Gemini 1.5 Pro performed the best outcome in this specific task, though all models showed comparable capabilities. Finally, we explored that the emergence of AI agents and their potential impact on software engineering field, referencing a new benchmark called SWE-bench (Software Engineering Benchmark). Agent-assisted models do not require human's instructions and significantly outperform traditional LLMs. We showed a case study using the Amazon Q Developer Agent to demonstrate efficiently creating a prototype of web application with the AI's capability.

Keywords large language models; code generation; prompt engineering; AI agents; sketch2code

1 はじめに

近年、大規模言語モデル（LLM）の発展により、ソフトウェア開発の分野においても人工知能（AI）の活用が急速に進んでいる。自然言語だけでなくスケッチからのコード生成も可能となってきており、開発者の生産性を飛躍的に向上させる技術が次々と登場している。本紀要では、これらの最新技術の性能評価と実用性の検証を行い、ソフトウェア開発における AI の有効活用について考察する。

本紀要の主な目的は、以下の 4 点となる。第一に、各種 LLM のコード生成性能を比較評価し、その特性や限界を明らかにすること。第二に、AI による高精度な出力を実現するための手法や技術を調査し、その有効性を検証すること。第三に、Sketch2code と呼ばれる、スケッチから HTML コードを生成する技術の現状を評価し、フロントエンド開発における有用性を検討すること。そして第四に、より実践的なソフトウェア開発の文脈で AI の性能を評価するための新しいベンチマークを探索することである。

まず、LLM によるコード生成の比較では、既存の評価指標を用いて、GPT-4o、Claude 3.5 Sonnet、Gemini 1.5 Pro の性能を分析する。特に、各モデルが不正解となった問題の傾向や、複数のモデルを組み合わせることによる正解率の向上の可能性についても調査を行う。これにより、現在の LLM が持つコード生成能力の到達点とその課題を明らかにする。

次に、AI による高精度な出力を実現するための手法・技術については、各生成 AI モデルに共通するベストプラクティスや、ハルシネーション（誤った情報生成）を減らすためのテクニックを検討する。さらに、これらの知見を活用して改良したプロンプトを用い、不正解だった問題に対する再試行を行い、その効果を検証する。

Sketch2code に関する調査では、最新の LLM を用いて、スケッチから生成された HTML コードの出力とワイヤーフレームの類似度を比較評価する。シンプルなプロンプトを使用した場合の各 LLM の特性を分析するとともに、前述の高精度の出力のための技術を適用したプロンプトでの再検証を行い、フロントエンド開発における LLM の有用性を総合的に判断する。

最後に、ソフトウェア開発に即した新しいベンチマークによる評価手法を用いた課題解決能力の評価、AI エージェントを活用したコード生成の可能性を探る。これにより、より実践的な開発環境での AI の性能を多角的に評価する。

本紀要は、急速に進化を続ける AI 技術のソフトウェア開発への応用の可能性を、最新の知見と実験データに基づいて多面的に検討するものである。コード生成、プロンプトエンジニアリング、AI エージェントなど、新しい技術トピックを取り上げ、それぞれの現状と課題、そして将来の展望を明らかにすることを目指す。本紀要の成果は、単なる技術評価にとどまらず、実際のソフトウェア開発プロセスにおける AI の効果的な活用方法や、開発者の役割の変化、さらには様々な仕事のあり方への影響など、より広範な議論につながる可能性を持っている。例えば、Amazon Q Developer や Visual Studio Code などの開発環境における AI 統合の動向も考慮に入れ、より包括的な視点からソフトウェア開発の未来像を描くことを試みる。

本紀要を通じて、ソフトウェア開発における AI の現在地を正確に把握し、その潜在的な可能性と課題を明らかにすることで、今後の AI 時代におけるソフトウェアエンジニアリングの方向性を示す一助となることを期待する。

2 LLM によるコード生成の比較

2024 年 9 月時点で一般に広く利用されている LLM のサービスとしては、OpenAI の ChatGPT、Anthropic の Claude、Google の Gemini が挙げられる。2024 年度 PBL の追川 PT においても、チームメンバーが上記の 3 つのサービスを併用して、ソフトウェア開発を実践している。この 3 つのサービスをどのように使い分ければ、効率的なコード生成が可能になるのか、それぞれのサービスのベースとなっている LLM モデルの特徴を比較する。最新の LLM モデルとしては、OpenAI が GPT-4o[1]、Anthropic が Claude 3.5 Sonnet[2]、Google が Gemin 1.5 Pro[3] をリリースしており、これらを比較の対象とする。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

コード生成性能の評価指標による比較

LLM によるコード生成の性能評価の指標としては、HumanEval というデータセットをベースにした評価が標準的になっている。HumanEval とは、OpenAI 社が 2021 年の論文[4]で発表したもので、コード生成の性能評価を行うため、Python のユニットテスト付きの 164 のプログラミング問題からなるデータセットであり、このデータセットには、回文、ソート、面積計算など基本的な問題が含まれている。各問題では、英文の関数シグネチャと docstring（ドキュメンテーション）が与えられ、LLM が生成したコードがユニットテストに合格するかどうかを判定する。

HumanEval のスコアは、Claude 3.5 Sonnet は 92.0%[2]、GPT-4o は 90.2%[5]、Gemini 1.5 Pro は 84.1%[3]と発表されていて、Claude 3.5 Sonnet が最も高い。Claude 3.5 Sonnet は、以前のモデルである Claude 3 Opus の 84.9%から大幅にスコアがアップしたと報告している[2]。

HumanEval のリーダーボードを掲載しているサイト[6]によれば、図 1 で示すように 2021 年に OpenAI が HumanEval の評価指標を提案した際のモデル Codex のスコア 8.2%から、この 3 年間で大きく性能が向上していることがわかる。Codex は、Github で公開されたプログラミングコード数十億行を訓練データとして、GPT-3 をチューニングして開発されたコード生成に特化したモデルで、その技術がコーディング支援サービス GitHub Copilot に活用されている[4]。ただし、コード生成の標準的な評価指標となっている HumanEval のデータセットについては、web 上に漏洩している恐れがあるため、データコンタミネーションによって、適切な評価ができなくなっているという懸念も指摘されている[3]。

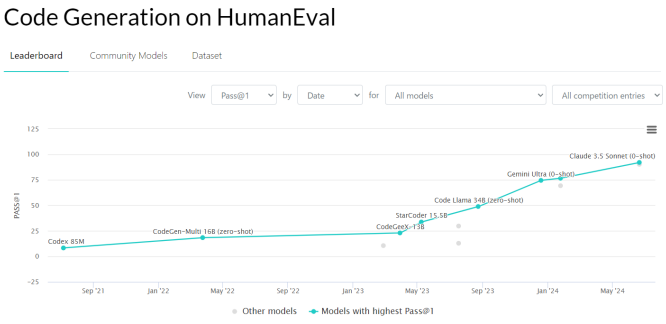


図 1　HumanEval のリーダーボード（2024 年 10 月 8 日現在）

HumanEval において各 LLM が不正解だった問題の比較

HumanEval のプログラミング問題（164 問）のうち、各 LLM がどんな問題を解けなかったのかを確認する。HumanEval のデータセットをダウンロードして、手元の PC で確かめてみると、各 LLM で 1 回の処理をしたときのスコア（正解率）は、GPT-4o が 91.5%、Claude 3.5 Sonnet が 89.6%、Gemini 1.5 Pro が 83.5%だった。

それぞれ上記の公表されているスコアと比べると、Claude 3.5 Sonnet が公表値よりも低いが、GPT-4o と Gemini 1.5 Pro は、ほぼ一致している。LLM の出力は、一定ではなく、毎回少しずつ変化するため、公表値とのずれは、LLM のパラメータ設定の違いやサンプル数によるものと考えられる。HumanEval の GitHub リポジトリ[7]では、サンプル数は 200 に設定されているが、今回は、各 LLM の性能ではなく、不正解の問題を比較することが目的のため、サンプル数 1 で処理を実行している。

不正解だった問題は表 1 に示すとおり、GPT-4o が 14 問、Claude 3.5 Sonnet が 17 問、Gemini 1.5 Pro が 27 問である。

表 1　各 LLM が不正解だった問題（不正解は 1，正解は 0）
網掛けは 2 つ以上の LLM が不正解、太字は 3 つの LLM が不正解

問題番号	関数名	GPT-4o	Claude 3.5 Sonnet	Gemini 1.5 Pro
9	rolling_max	0	0	1
10	make_palindrome	0	0	1
26	remove_duplicates	0	0	1
32	find_zero	0	1	1
41	car_race_collision	1	0	0
65	circular_shift	1	1	0
68	pluck	0	0	1
72	will_it_fly	0	1	0
75	is_multiply_prime	1	1	0
77	iscube	0	0	1
83	starts_one_ends	1	0	1
84	solve	0	0	1
86	anti_shuffle	0	1	0
93	encode	1	0	0
102	choose_num	0	1	0
106	f	0	1	0
109	move_one_ball	0	1	0
115	**max_fill**	**1**	**1**	**1**
119	match_parens	0	1	1
120	maximum	0	0	1
121	solution	0	0	1
125	**split_words**	**1**	**1**	**1**
126	is_sorted	0	0	1
127	intersection	1	1	0
129	minPath	1	0	1
130	tri	0	0	1
132	**is_nested**	**1**	**1**	**1**
133	sum_squares	0	0	1
134	**check_if_last_char_is_a_letter**	**1**	**1**	**1**
137	compare_one	0	0	1

138	is_equal_to_sum_even	0	1	0
139	special_factorial	0	0	1
140	fix_spaces	1	0	0
142	sum_squares	0	0	1
145	**order_by_points**	**1**	**1**	**1**
149	sorted_list_sum	0	0	1
160	**do_algebra**	**1**	**1**	**1**
161	solve	0	0	1
163	generate_integers	0	0	1
合計		14	17	27

複数のモデルの利用による正解率の向上

機械学習の分野では、複数のモデルを組み合わせ、より優れた予測精度を実現する手法として、アンサンブル学習がある。単純なアンサンブル手法として、多数決アンサンブルがあり、この考え方を上記の 3 つの LLM に適用する。3 つの LLM のうち、2 つの LLM が正解して、1 つの LLM が不正解の場合、多数決によって、正解を出力できると考える。3 つの LLM を組み合わせれば、表 1 に示すとおり、不正解の問題が 13 問になり、スコア（正解率）は 92.1%に向上する。

また、ソフトウェア開発の現場では、各関数のユニットテストを実行しつつ、エラーが出た場合、コードを修正しながら、開発を進めるのが一般的である。3 つの LLM のうち、いずれかの LLM が正解のコードを出力できれば、コードの修正が可能である。3 つの LLM がすべて不正解だった問題の数は 6 問で、スコア（正解率）は、96.3%に達する。

LLM が正解できなかった問題の傾向

3 つの LLM がすべて不正解だった問題は 6 問あり、その特徴は、関数の docstring に書かれている指示の文章だけではなく、サンプル文から理解する必要がある問題が多いことである。例えば、以下のスクリプトは、134 問目の問題を日本語に翻訳したものである。このサンプル文では、文字列の最後にスペースが入る場合は、False を返す関数を作成するように指定している。

```
def check_if_last_char_is_a_letter(txt):
    '''
    与えられた文字列の最後の文字が以下の条件を満たす場合に True を返し、
    そうでない場合は False を返す関数を作成します：
    1. アルファベットの文字である。
    2. 単語の一部ではない。

    注意：「単語」はスペースで区切られた文字のグループとします。


    例：
    check_if_last_char_is_a_letter(""apple pie"") → False
    check_if_last_char_is_a_letter(""apple pi e"") → True
    check_if_last_char_is_a_letter(""apple pi e "") → False
    check_if_last_char_is_a_letter("""") → False
    '''
```

正解例は次のとおりである。

```
def check_if_last_char_is_a_letter(txt):
    check = txt.split(' ')[-1]
    return True if len(check) == 1 and
    (97 <= ord(check.lower()) <= 122) else False
```

しかし、LLM の回答では、以下のように間違えている。これは GPT-4o の回答だが、Claude 3.5 Sonnet も同じように、最初に右側の空白を削除してしまっているため、正しい判定ができなくなっている。

```
def check_if_last_char_is_a_letter(txt):
    # Strip any trailing whitespace from the string
    txt = txt.rstrip()
    # Check if the string is empty after stripping
    if not txt:
        return False
    # Check if the last character is an alphabetical char
acter

    if txt[-1].isalpha():
        # Split the string by spaces to get the words
        words = txt.split()
        # Check if the last character is a single charact
er word

        if words and words[-1] == txt[-1]:
            return True

    return False
```

一般的なコードの実装では、末尾の空白文字を削除してから、文字列を判定するケースが多くあると考えられ、LLM が同様のコードを学習しているため、確率的に回答していると推測される。

その他、「a を偶数番目、b を奇数番目」にするなど一般的ではない設定がされており、問題文の設定をよく理解する必要がある問題が不正解だった。一般的ではない設定の場合、文章を理解するのが難しい傾向にあるとみられる。

複数のモデルで正解・不正解が割れる問題の傾向

3 つのモデルのうち、Gemini 1.5 Pro が最も間違いが多かったが、以下の問題（65 問目）では、逆に Gemini 1.5 Pro だけが正解だった。

```
def circular_shift(x, shift):
    """
    整数 x の桁を循環的にシフトし、
    桁を右に shift 分だけシフトした結果を文字列として返します。
    shift が桁数よりも大きい場合、桁を逆順にして返します。
    >>> circular_shift(12, 1)
    "21"
    >>> circular_shift(12, 2)
    "12"
    """
```

Gemini 1.5 Pro では、以下のコードに示す通り、shift が桁数より大きい場合のみ逆順にしていて、正解している。

```
def circular_shift(x, shift):
    x = str(x)
    if shift > len(x):
        return x[::-1]
    return x[-shift:] + x[:-shift]
```

GPT-4o では、shift が桁数と同じ場合も逆順にしているため、不正解になっている。

```
def circular_shift(x, shift):
   x_str = str(x)
   num_digits = len(x_str)

   if shift >= num_digits:
       return x_str[::-1]

   shift = shift % num_digits
   return x_str[-shift:] + x_str[:-shift]
```

Claude 3.5 Sonnet でも、shift が桁数と同じ場合も逆順にしているため、不正解になっている。

```
def circular_shift(x, shift):
   # Convert the integer to a string
   x_str = str(x)
   # Get the length of the number
   length = len(x_str)
   # If shift is greater than length, just reverse the s
tring
   if shift >= length:
       return x_str[::-1]
   # Calculate the effective shift (in case shift > leng
th)
   effective_shift = shift % length
   # Perform the circular shift
   shifted = x_str[-effective_shift:] + x_str[:-effectiv
e_shift]
   return shifted
```

この例では、条件分岐の解釈によって、正解と不正解が割れる結果となった。自然言語の問題文からコードを生成する場合、LLM の解釈次第で回答が割れやすいと考えられる。そのため、問題文の書き方をより明確にして、わかりやすいサンプルを多く提示することで、回答の精度が向上すると考えられる。

今回は、3 つの LLM で比較を行ったが、同一の LLM であっても、回答は一定ではないため、複数回の試行のうちの 1 回が正解する確率は、試行回数が多くなるほど、高くなると報告されている[4]。

3 高精度な出力のための手法・技術の調査

生成 AI を活用した効率的なコード生成のために、効果的で高品質な出力を得るための様々な手法や技術が存在する。目的の出力を得るための重要な要素であるプロンプトを中心に、各サービスに共通するベストプラクティスや効果的手法を調査する。

各生成 AI のモデルに共通するベストプラクティス

以下は、LLM を活用した代表的なチャットサービスである ChatGPT[8]、Claude[9,10]、Gemini[11]に共通するプロンプトに関するベストプラクティスの一部である。

- 指示はプロンプトの最初に配置し、指示と文脈を区切るために「###」のような明確な区切り記号を使用する。
- レスポンスを希望するフォーマットを指示する（JSON、XML、markdown など）。
- ペルソナやロールを定義して回答のトーンや語彙を設定する。
- 明確で直接的、かつ詳細な指示を与える。様々な解釈ができるような指示は避ける。
- 問題とその回答の例を提供する。このようにモデルに具体例やデモを提示して文脈的学習を導く手法は Few-shots、 Multi-shots prompt と呼ばれる。
- プロンプトにタスクを解くための推論過程を与える。このような手法は Chain-of-Thought (CoT) と呼ばれる。
- 専門のタスクを担当するそれぞれのエージェントに専門に関連するプロンプトを与える（マルチエージェント）。
- 最終的な答えを一度に出す前に、モデルに返答を考える時間を与える。「ステップバイステップで考えてください」などの指示を含めることで、思考過程を生成させることが可能になる。この手法は Zero-shot CoT と呼ばれる。
- 複雑なタスクをサブタスクに分割する（プロンプト・チェイニング）。
- 「しないでほしいこと」よりも、「してほしいこと」を伝える。
- 知識生成プロンプト - 質問や回答に関連する事前知識を提供する。

ハルシネーションを減らすテクニック

高精度な出力を得るためには、LLM が虚偽の回答をしてしまうハルシネーションを可能な限り回避する必要がある。以下はハルシネーションを減らすテクニックとして各種サービスが紹介するテクニックである。

1. LLM に「わからない」と言うことを許可する。質問や問題への回答が不明な場合や十分な情報がない際に、十分な精度を持つ回答を提示する必要がないことを明示的に指示することで、LLM が不正確な回答を生成する可能性が低くなる。例えば、「自信がない場合、または自信のある答えを提供するのに十分な情報がない場合は、単に「わからない」または「よくわからない」と言ってください」といったプロンプトを含めることである。

2. LLM にタスクを与える際に、目的の出力を提示する前に事前知識やデータを直接引用させてからタスクを実施させる。例えば、タスクを実施する前に、プロンプトに含めた事前知識や具体例などを引用させてからタスクを実施させることで、LLM はそれらのデータを活用しながらタスクに着手する。

3. 生成した出力を次のプロンプトの入力として使用し、入力値である回答内容を検証したり拡張したりする指示を反復的に与える。これにより、LLM が矛盾を発見し、修正する可能性

が向上する。

改良プロンプトを用いて、HumanEval で LLM が正解できなかった問題を再試行

上記の手法・技術を活用しながらプロンプトを改良し、HumanEval において各 LLM が正解できなかった問題の再試行を行った。再試行に用いた問題番号は 115、125、132、134、145、160 である。各 LLM がこれらの問題の正解を導けなかった際のプロンプトは以下である。

```
You are a skilled programmer. Complete the following code snip
pet or function.
```

改良したプロンプトは以下である。また、再試行に利用したモデルは GPT-4o を用いた。

```
You are a world-class problem solver and expert of Pytho
n language tasked with generating high-quality, efficien
t, and accurate code. Your goal is to implement actual f
unction described in the given problem statement using a
function template. Follow these guidelines:

1. Read the problem statement carefully, including any g
iven examples and constraints.
2. Think through the problem step-by-step before writing
 any code.
3. Implement the function exactly as specified, includin
g the function name and parameters.
4. Use appropriate data structures and algorithms to ens
ure efficiency.
5. Include clear and concise comments to explain your lo
gic.
6. Handle edge cases and potential errors carefully.
7. Ensure your code adheres to PEP 8 style guidelines in
 terms of Python coding.
8. After understanding a problem and implement your code
, try to repeatedly verify if the implemented code can a
ctually be an answer for the given problem until you mak
e sure your implementation is correct.
```

その結果、問題 125 split_words において正解となり、プロンプトエンジニアリングによるプロンプトの改良によって一定の効果を示すことがわかった。

4 Sketch2code に関する調査

PBL 活動におけるソフトウェア開発では、初学者もメンバーとして参加していることから、積極的に生成 AI を用いて開発を実施している。生成 AI の利用では主に ChatGPT や Github Copilot などの対話型ツールを使用したが、マルチモーダルに対応しているツールでプロダクトのフロントエンド画面のスクリーンショットを入力としたコード修正なども実施した。こうした背景から、LLM を用いた Sketch2code がフロントエンドの開発に実用的であるかについて精度検証を行うに至った。

Sketch2code はワイヤーフレームを用いたコード（HTML）の自動生成手法であり、手書きやツールで作成したスケッチを基にソースコードを生成することができる。本章ではサンプルのデータセットを用いて Sketch2code の検証を実施した。

Sketch2code での性能評価に関する前提

Sketch2code でのコード生成の性能評価については、標準となっているデータセットがないことから、データサイエンスプラットフォームである Kaggle の sketch2Code データセットを用いて検証した[12]。本データセットは Sketch2code に利用できる様々な種類のワイヤーフレームが格納されており、Kaggle がデータサイエンスの権威的なプラットフォームであるため選定した。

Sketch2code で生成した HTML コードの出力とワイヤーフレームの類似度に関する比較

性能比較については、手書きで構成されたワイヤーフレームを基に生成 AI を用いてコード生成を行い、生成されたコードを基にフロントエンドの画面を表示し、ワイヤーフレームとの類似度を測った。プロンプトとしてはシンプルなものと、前述した高精度な出力のための手法・技術の調査を参考にしたものを利用して、検証のため画像は利用しないように指示をした。

- シンプルなプロンプト

```
添付の画像を元に、HTML を作成してください。ただし HTML 内に画像は利用しないでください
```

- 高精度な出力のための手法・技術の調査を参考にしたプロンプト

```
以下の指示に従って、HTML を作成してください。
- あなたは HTML とウェブデザインの専門家です。
- まず、添付の画像に含まれるすべての要素（テキスト、ボタン、入力フィールドなど）とそのレイアウトを詳細に説明してください。
- 次に、その説明に基づいて、画像と可能な限り一致する HTML コードを作成してください。
- HTML 内では画像ファイルを使用せず、純粋な HTML と CSS のみで再現してください。
- スタイルはインライン CSS ではなく、<style>タグ内に記述してください。
- レスポンシブデザインを考慮し、異なる画面サイズでもレイアウトが崩れないようにしてください。
- 最後に、生成した HTML が画像と一致しているか確認し、必要であれば修正してください。
```

LLM は OpenAI の ChatGPT、Anthropic の Claude、Google の Gemini を使用し、評価軸については、ワイヤーフレームと生成されたコードを基にしたフロントエンド画面の特徴量の比較のため、以下の評価指標を用いた。

- SSIM: 画像の構造的な類似性を評価し、人間の視覚に近い観点から画像の品質や差異を測定。
- PSNR: MSE から計算される信号対雑音比で、画像の品質をデシベル単位で評価。
- Hash Difference: 画像の全体的な視覚的特徴の類似性を評価し、ハッシュ値の差分から画像の類似度を測定。

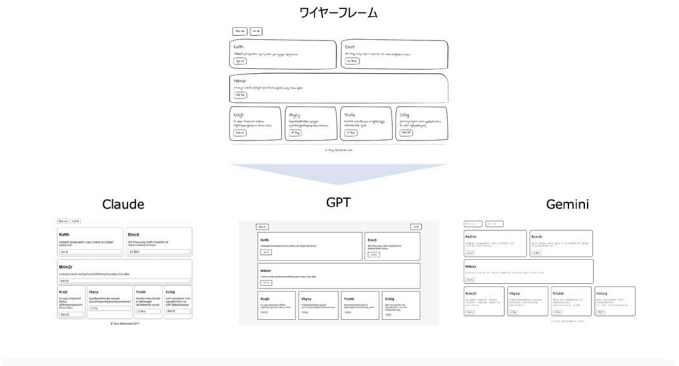


図 2　　ワイヤーフレームを基に各 LLM で生成した HTML

シンプルなプロンプトを使用した比較結果と各 LLM の特性について

今回の検証では 3 つのワイヤーフレームを対象にコード生成を行い、先述した 3 指標を基に類似度を計測した。

ここでは図 2 を対象に、各 LLM の生成物を比較調査した結果を評価する。指標から得た数値を基に、ワイヤーフレームの Sketch2code に有用であると考えられる LLM は Gemini となった

- SSIM: Gemini1.5Pro が最高値（0.788）で、元の画像に最も近いと評価される。
- PSNR: Gemini1.5Pro が最高値（38.41dB）で、ノイズレベルが最も低い。
- Hash Difference: Gemini1.5Pro が最小値（15）で、全体的な視覚的特徴が最も類似している。

表 2　　各 LLM で生成した HTML の類似度比較結果

指標	GPT-4o	Gemini 1.5Pro	Claude3.5 Sonnet
SSIM	0.774	0.788	0.782
PSNR	34.618	38.409	38.194
Hash Difference	16	15	26

他の 2 つのワイヤーフレームも同様に比較したところ、最も有用であると考えられる LLM は Gemini、Claude、GPT の順となった。

Gemini と Claude で生成された出力結果は、作動するボタンやフッターなどワイヤーフレームを忠実に再現されており納得のいくスコアであるが、定性的な評価軸で確認すると Gemini の作成物は上部が左に片寄せされており、矛盾する点がある結果となってしまった。比較結果の数値も Hash Difference を除けば、各 LLM で大きな差はないことからも、どのモデルも一定の水準を保っていると考えられる。

高精度な出力のための手法・技術の調査を参考にしたプロンプトでの再検証

シンプルなプロンプトでの評価と比較をするために、高精度な出力のための手法・技術の調査を参考にしたプロンプトでの検証も実施した。ここでは、シンプルなプロンプトで検証した際に最も精度が高かった、Gemini1.5Pro で再検証した際の結果を記載する。

表 3　　Gemini1.5 Pro での再検証結果

指標	シンプルなプロンプト	改良したプロンプト	差分
SSIM	0.788	0.773	-0.014
PSNR	38.409	37.945	-0.464
Hash Difference	15	20	+5

- SSIM の微減: SSIM が約 0.014 減少し、構造的な類似度がわずかに低下している。
- PSNR の減少: PSNR が約 0.46dB 減少し、画像品質がわずかに低下している。
- Hash Difference の増加: Hash Difference が 5 増加し、視覚的特徴の類似度が低下している。

当初の想定では、高精度な出力のための手法を基にプロンプトを作成した場合はより良い結果が出る想定であったが、結果としてプロンプトを改良したことで、HTML の出力品質が低下した。一方で、GPT-4o と Claude3.5 Sonnet を使用した再検証においては、シンプルなプロンプトでの検証と比較して、改善が見られ数値的にも良い結果を出力することができた。結果として、Gemini1.5 Pro については改良が見られず、GPT-4o と Claude3.5 Sonnet については改良が見られた。真因については、本検証の過程では解明できなかったが、LLM の特性を加味した上でプロンプトを作成することが重要であると認識できた。

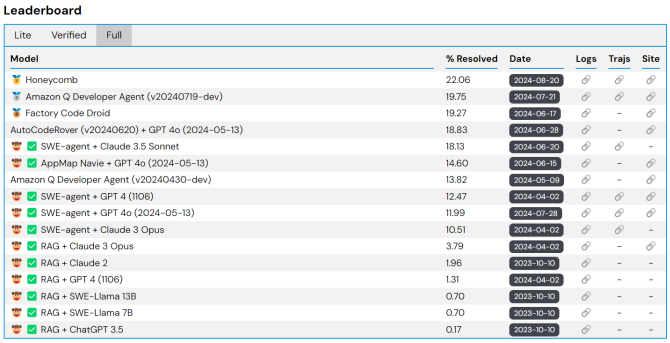
フロントエンド開発における LLM の有用性

原則としてワイヤーフレームを基にした Sketch2code は HTML 形式のフロントエンド成果物を作成するものであり、昨今のライブラリを使用した複雑なロジックが組み込まれたフロントエンドには不向きなものであると考えられる。一方でプロトタイピングなどの簡易的なフロントエンド開発であれば、Sketch2code を用いて早急に開発ができるという点で優れていると考えられる。

5　ソフトウェア開発に即した新しいベンチマークでの評価

ソフトウェア開発での実践的なコード生成能力を評価するため、SWE-bench（Software Engineering Benchmark）という新しいベンチマークの導入が提案されている[13]。SWE-bench では、LLM は、複数の関数、クラス、ファイルにわたる変更を同時に理解して調整する必要があり、非常に長いコンテキストを処理し、複雑な推論を実行する必要がある。SWE-bench の発表論文[14]では、Claude 2 でも 1.96% しか解決できなかったと述べられている。

2024 年 9 月現在の SWE-bench のリーダーボード[13]によれば、図 3 のとおり、20%前後までスコアが向上していることがわかる。上位のモデルには、ソフトウェアの修正、デバッグ、整理に必要なツールを自律的に操作する AI エージェントが並ぶ。AI エージェントは、人間の細かい指示がなくても、高度で複雑な処理を自律的に実行できることが特徴である。AI エージェントを使わない RAG+GPT4 では、スコア 1.31%だったものが、プリンストン大学が開発した SWE-agent[15]を使う SWE-agent+GPT4 では、12.47%にまで向上している。


Leaderboard

Lite Verified Full

Model	% Resolved	Date	Logs	Trajs	Site
Honeycomb	22.06	2024-08-20			
Amazon Q Developer Agent (v20240719-dev)	19.75	2024-07-21			
Factory Code Droid	19.27	2024-06-17		-	
AutoCodeRover (v20240620) + GPT 4o (2024-05-13)	18.83	2024-06-28		-	
SWE-agent + Claude 3.5 Sonnet	18.13	2024-06-20			-
AppMap Navie + GPT 4o (2024-05-13)	14.60	2024-06-15		-	
Amazon Q Developer Agent (v20240430-dev)	13.82	2024-05-09		-	
SWE-agent + GPT 4 (1106)	12.47	2024-04-02			
SWE-agent + GPT 4o (2024-05-13)	11.99	2024-07-28			
SWE-agent + Claude 3 Opus	10.51	2024-04-02			-
RAG + Claude 3 Opus	3.79	2024-04-02		-	
RAG + Claude 2	1.96	2023-10-10		-	-
RAG + GPT 4 (1106)	1.31	2024-04-02		-	-
RAG + SWE-Llama 13B	0.70	2023-10-10		-	-
RAG + SWE-Llama 7B	0.70	2023-10-10		-	-
RAG + ChatGPT 3.5	0.17	2023-10-10		-	-

図 3 SWE-bench のリーダーボード（2024 年 10 月 11 日現在）

AI エージェントを活用したコード生成

AI エージェントを活用すれば、人間が細かい指示を出さなくても、AI が自律的にソフトウェアの新しい機能を実装することができる。SWE-bench でスコア 19.75%を記録している Amazon Q Developer Agent[16]は、コードエディタ Visual Studio Code[17]の拡張機能として利用することが可能である。

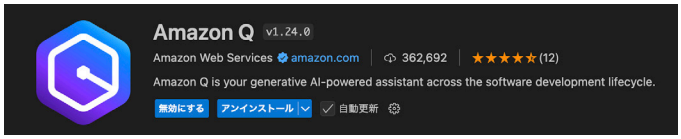


図 4 Visual Studio Code の拡張機能 Amazon Q

例えば、東京の時刻と天気を表示する web アプリを react で実装したい場合、「Build a web app with react that displays the time and weather in Tokyo」とチャットで指示をするだけで、図 5 のとおり、依存関係、複数のコンポーネントが提案され、数分でディレクトリやファイルが生成される。生成されたコードに、気象情報を取得できる API を登録するだけで、実際に web アプリを起動させることができ、図 6 の画面が表示される。

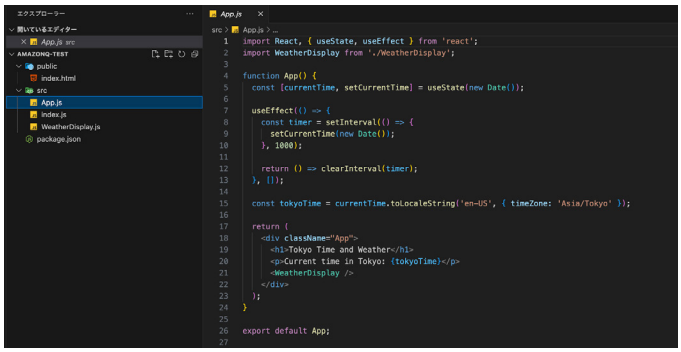


図 5 Amazon Q で生成したコード（複数のディレクトリ、ファイル）



図 6 Amazon Q で実装した天気と時刻を表示する Web アプリ画面

6 おわりに

本紀要では、生成 AI を活用したコード生成の精度と効率化に焦点を当て、最新の大規模言語モデル（LLM）の性能評価と実用性の検証を行った。HumanEval データセットを用いた評価では、GPT-4o、Claude 3.5 Sonnet、Gemini 1.5 Pro といった最新の LLM が 80%以上の高い正解率を示し、複数のモデルを組み合わせることで 96.3%の正解率を達成した。これにより、生成 AI がソフトウェア開発において非常に有用なツールとなり得ることが示された。

一方で、LLM が苦手とする問題の傾向も明らかとなった。特に、複雑な文脈理解を要する問題では正解率が低下する傾向が見られた。これは、プロンプトエンジニアリングの重要性を示唆しており、効果的なプロンプトの作成が生成 AI の性能を最大限に引き出す鍵であることがわかった。

Sketch2code の検証では、ワイヤーフレームから HTML コードを生成する能力を評価し、各 LLM の特性を比較した。結果として、Gemini 1.5 Pro が最も高い性能を示したが、各モデル間の差は僅かであり、いずれも一定の水準を満たしていることが確認された。これは、フロントエンド開発の初期段階やプロトタイピングにおいて、生成 AI が有効に活用できる可能性を示している。

さらに、SWE-bench という新しいベンチマークを用いた評価では、AI エージェントを活用することで、より複雑なソフトウェア開発タスクにおいても生成 AI の有用性が確認された。特に、Amazon Q Developer Agent などの AI エージェントは、人間の細かい指示なしに高度な処理を自律的に実行できる点で注目に値する。

これらの結果は、生成 AI がソフトウェア開発プロセスを大きく変革する可能性を示している。特に、コーディングの効率化やプロトタイピングの迅速化、複雑な開発タスクの自動化などの面で、生成 AI は開発者にとって強力な支援ツールとなり得る。

しかし、課題も残されている。LLM のハルシネーション（誤った情報生成）の問題や、複雑な文脈理解の難しさは依然として克服すべき課題である。また、生成 AI の出力結果を適切に評価し、必要に応じて修正を加える人間の専門知識は引き続き重要である。

今後の展望として、より高度な AI エージェントの開発や、特定のドメインに特化した LLM、人間と AI のより効果的な協働モデルの構築が期待される。また、生成 AI を活用したソフトウェア開発の新しい方法論やベストプラクティスの確立も重要な研究テーマになると考える。

本紀要を通じて、生成 AI がソフトウェア開発の未来に大きな可能性をもたらすことが明らかになったと共に、その潜在力を最大限に引き出すためには、技術の進歩と並行して、倫理的な配慮や人間の創造性との適切な融合が不可欠であることが再認識された。今後も継続的な研究と実践を通じて、生成 AI とソフトウェア開発の関係性をさらに深く探求していく必要がある。

参考文献

1. OpenAI. GPT-4o System Card. 8 Aug 2024 [cited 9 Oct 2024]. Available: https://openai.com/index/gpt-4o-system-card/
2. Anthropic. Claude 3.5 Sonnet Model Card Addendum. [cited 9 Oct 2024]. Available: https://www-cdn.anthropic.com/fed9cc193a14b84131812372d8d5857f8f304c52/Model_Card_Claude_3_Addendum.pdf
3. Gemini Team, Georgiev P, Lei VI, Burnell R, Bai L, Gulati A, et al. Gemini 1.5: Unlocking multimodal understanding across millions of tokens of context. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2403.05530
4. Chen M, Tworek J, Jun H, Yuan Q, Pinto HP de O, Kaplan J, et al. Evaluating large language models trained on code. arXiv [cs.LG]. 2021. Available: http://arxiv.org/abs/2107.03374
5. OpenAI. Hello GPT-4o. 13 May 2024 [cited 9 Oct 2024]. Available: https://openai.com/index/hello-gpt-4o
6. Papers with code - HumanEval benchmark (code generation). [cited 9 Oct 2024]. Available: https://paperswithcode.com/sota/code-generation-on-humaneval
7. OpenAI. human-eval: Code for the paper “Evaluating Large Language Models Trained on Code.” Github; Available: https://github.com/openai/human-eval
8. Best practices for prompt engineering with the OpenAI API. [cited 15 Oct 2024]. Available: https://help.openai.com/en/articles/6654000-best-practices-for-prompt-engineering-with-the-openai-api
9. Prompt engineering techniques and best practices: Learn by doing with Anthropic’s Claude 3 on Amazon Bedrock. In: Amazon Web Services [Internet]. 3 Jul 2024 [cited 15 Oct 2024]. Available: https://aws.amazon.com/blogs/machine-learning/prompt-engineering-techniques-and-best-practices-learn-by-doing-with-anthropics-claude-3-on-amazon-bedrock/
10. Prompt engineering overview. In: Anthropic [Internet]. [cited 15 Oct 2024]. Available: https://docs.anthropic.com/en/docs/build-with-claude/prompt-engineering/overview
11. Introduction to prompting. In: Google Cloud [Internet]. [cited 18 Oct 2024]. Available: https://cloud.google.com/vertex-ai/generative-ai/docs/learn/prompts/introduction-prompt-design?authuser=1
12. ShantamVijayputra. Sketch2Code. 2022. Available: https://www.kaggle.com/vshantam/sketch2code
13. Carlos E. Jimenez*, John Yang*, Alexander Wettig, Shunyu Yao, Kexin Pei, Ofir Press, Karthik Narasimhan. SWE-bench. [cited 9 Oct 2024]. Available: https://www.swebench.com/
14. Jimenez CE, Yang J, Wettig A, Yao S, Pei K, Ofir Press, et al. SWE-bench: Can language models resolve real-world GitHub issues? arXiv [cs.CL]. 2023. Available: https://arxiv.org/abs/2310.06770
15. Yang J, Jimenez CE, Wettig A, Lieret K, Yao S, Narasimhan K, et al. SWE-agent: Agent-Computer Interfaces Enable Automated Software Engineering. arXiv [cs.SE]. 2024. Available: https://arxiv.org/abs/2405.15793
16. AWS. Amazon Q Developer, now generally available, includes previews of new capabilities to reimagine developer experience. [cited 9 Oct 2024]. Available: https://aws.amazon.com/jp/blogs/aws/amazon-q-developer-now-generally-available-includes-new-capabilities-to-reimagine-developer-experience/
17. Extensions LMA. Visual Studio Code - code editing. Redefined. [cited 9 Oct 2024]. Available: https://code.visualstudio.com/

情報学者が町内会（自治会）活動に踏み出すときに知っておくべきこと

Things you should know when applying computer science to neighborhood association

木下 修司 [1*]

Shuji Kinoshita[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Shuji Kinoshita, kinoshita-shuji@aiit.ac.jp

Abstract　In this paper, based on the author's own experience as an officer of a neighborhood association in Oiso-machi, Naka-gun, Kanagawa Prefecture, from 2018 to the present, I will review what information scientists in the broad sense (researchers in information science and systems engineering, or systems engineers in companies) should keep in mind when engaging in activities in local communities such as neighborhood associations.

Keywords　neighborhood association; systems engineering; local government

1　はじめに

本稿では、著者自身が 2018 年から現在に至るまで、神奈川県中郡大磯町にある町内会（自治会）[1]の役員として活動している経験に基づき、広い意味での情報学者（情報科学やシステムエンジニアリングの研究者、あるいは企業のシステムエンジニア）が、町内会のような地域コミュニティでの活動に取り組む際に留意すべきことを総説する。

読者として、偶然にもくじ引きや順番で町内会役員になった（なってしまった）情報学者や、AIIT での PBL 活動で地域コミュニティと接点を持つ必要が生じたが、必ずしもその分野の専門ではない学生を想定している。

2　2018 年 3 月、大磯

そもそも、なぜ私が町内会役員になったのか、6 年前の経緯を振り返りたい。

私は 2014 年 9 月に、当時博士後期課程に在籍していた神奈川大学湘南ひらつかキャンパス（神奈川県平塚市）への通学の利便のために、神奈川県中郡大磯町に家族で転居した。大磯町は県西部、湘南地域にある人口 3 万人強の町であり、古くは東海道の宿場町、明治時代には伊藤博文はじめ多くの総理大臣等が別邸を構える別荘地として栄えた地域であり、海に面した避暑地でもある（図 1）。東京までは JR 東海道線で 1 時間ほどであり、東京に通勤する方も少なくない。

私たち家族は、当初は大磯町西小磯と呼ばれる地区の賃貸アパートに住んでおり、町内会活動とは無縁であった。そもそも町内会に加入していないアパートであったため、町内会費すら支払っていなかった。

しかし、2017 年初夏に知り合いの縁で大磯町東小磯にある古民家に転居した頃から様相が変わる。この時には町内会にも加入し、そのことで大磯町が発行する広報や回覧板も回ってくるようになった。夫婦ともに本業ではないが地域活動に興味があり、地域のイベント等に参加するなかで知り合ったご近所の方から、「町内会の役員をやってみませんか？」と誘いを受け、「やります」と二つ返事で引き受けたのが 2018 年の 3 月である。



図 1　神奈川県の市町村と大磯町（[1]から引用、一部修正）

3　大磯町の町内会のあらまし

かくして私は 2018 年 4 月に、大磯町にある 24 町内会の 1 つ「台町（だいまち）町内会」の「地区委員」と呼ばれる役員となった。台町町内会は住所では「大磯町東小磯」と呼ばれる、町東部、JR 大磯駅から東側にあたる部分を所掌する町内会である。名前の「台町」が示すとおり、海岸を持つものの海岸段丘によってすぐに高台となる地区で、海から 100m 程度でも標高は 20m ほどあり、ハザードマップの津波浸水区域にはほとんど指定されない地区でもある。

24 町内会を示したものが大磯町のウェブサイトにある図 2 である。歴史的な各地区（集落）の経緯があるため、その面積

[1] 一般には町内会という単語より「自治会」のほうが日本国内では多く用いられると思われるが、本稿では以下「町内会」とする。これは、「自治会」には「自ら治める」という意味合いが強い一方、少なくとも私が所属する町内会は「地域コミュニティ」の色合いが強いためである。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

も世帯数も大きく異なるのが大磯町の町内会の特徴であり、小さいところでは 50 世帯程度のところがある一方、私の所属する台町町内会は町内会加入世帯だけでも 2024 年時点で 1250 世帯程度あり、人口規模にすると 3000 人以上在住していると思われる。小さな村よりも大きな地区である。これらの世帯は 8 地区に分かれ、地区ごとに 10 程度の「組」に分かれている。全体としては 90 以上の組があり、その中に数世帯〜20 世帯程度が所属するという階層構造になっている。組を統括する「組長」は多くの組では 1 年ごとに 1 軒隣の家に交代する。

当然、「全員の顔と名前が一致する」というようなことは日常的にはなく、その中で町内会を運営することにはさまざまな困難が伴う。(ただし、台町町内会では地域世帯の加入率は 9 割程度あり、都市部でよく扱われる「町内会や自治会の加入率減少」という問題は顕在化していないことを補足しておく。)

以下の章では、時系列で実施したことを振り返りつつ、タイトルにもある「知っておくべきこと」について述べる。



図 2　大磯町の自治会界線（[2]から引用）

4　地道な IT 化を進める

2018 年度は広報配布が主な仕事の地区委員という役員であり、それに加えて月に 1 度の役員会議に出席すること、各種行事の手伝いを可能な範囲で行う程度であった。その後、2019 年度には広報担当の副区長になった。ここから 5 年間かけて地道な IT 化を進めたというのが本節以降の主題である。「DX」と呼ばれるものの一部ではあると思うが、そんな大げさなものではないので、そうは呼ばない。

地道な IT 化や、それに伴う広報活動のうち、2019 年度に推進したものには以下がある。

- 月例の回覧板の作成
- 月例の役員会議議事録の作成と、回覧による公開
- 住民連絡用の Gmail メールアドレスの取得
- そのアドレスを利用した Google Site による町内会ホームページ[3]の作成と公開
- 役員連絡用メーリングリストの作成と運用
- 役員連絡用 LINE グループの作成と運用
- 町内会 Facebook アカウント[4]の取得と、そこからの各種行事写真などの発信

これらの詳細は文言から十分想像できると考えられるので詳細は割愛する。実態としては、「月 1 回会って話す」に加えてメールや LINE 等での議論が可能になったことで、少しずつ組織が活性化した印象がある（もちろん、全員がそれを十分に活用できているわけではない)。

5　世代問わず、仲間を集める

結果的にその翌年にコロナ禍を迎えたことで、2019 年度に推進してきた内容が生きる結果となった。

2020 年度頃から、少しずつ私と同年代（30 代後半〜40 代）の役員が増えてきた。また、70 代〜80 代といった方でも、それぞれに過去に（町内会ではない）地域活動に取り組んでいた方々が、台町町内会の活動に参加してくださるようになった。それらの方々のきっかけは多種多様ではあるが、「現役員さんからのお誘い」「小学校・中学校の PTA 活動から地域に関心をもった」「子ども会の役員だった」「順番で当たった組長での活動から興味を持った」「毎月発行される回覧や議事録から興味をもった」などである。

私自身が興味を持ったのは、「子どもがいない夫婦や単身者の地域との接点は、非常に少ない」という点である。私は小学校の PTA でも活動しており、そこからの知り合い・ネットワークが多少あるが、お子さんがいない場合、たとえ私と同年代のご家族であっても、きっかけを得ることが難しい。現在の我々町内会役員にはそういった方が一定数おり、町内会活動がそのような方々と地域をつなぐ可能性を感じている。

6　他人にお願いすることで、業務を整理する

2020 年度から 2023 年度にかけて少しずつ役員の数も増加し、継続してくださる方も増えてきた。また、地域の神社（御嶽神社）の氏子総代会や神輿会を中心とした神社の清掃活動やトイレ新設、敷地や本殿の整備なども進んだ結果、従来は公園で実施していたもちつき大会が神社で実施されるなど、近隣のお子さんにも喜ばれるイベントが増えてきた。加えて、青年部（20 代〜40 代)によるフリーマーケットや盆踊りなどの独自イベントも増えている。

これらは、明治期から別荘地であった所以の「移住者を迎え入れる」文化が大磯にあるからではないかと思われる。実際、私をはじめ多くの方がここ 5 年〜10 年程度の移住者であるし、70 代〜80 代の方も、昭和 40 年代以降の移住者の方がほとんどである。

IT 化も少しずつ進め、2023 年度に私が特別研究期間でロンドンに滞在していた間は、役員会議は Zoom によるオンライン開催となった。これは、帰国後も続いており、仕事の都合や体調によって会場（公民館）で参加できない人を支援する結果となっている。

2024 年 4 月からは私は区長（いわゆる自治会長）に就任した。その結果、これまで広報担当として実施していた多くの業

務（回覧板作成、議事録作成、行事の広報ポスター作成、SNS での活動、各種行事での関係機関への申請）はそのほかの方にお願いすることになった。この結果、多くの業務が明文化された。業務が明文化されることで、引継ぎが可能となり、持続可能な町内会活動が促進されると考えている。

7 町役場の IT 化を支援する

町内会が支援する、とは少し大げさかもしれないが、コロナ禍の中で、大磯町役場も少しずつ IT 化（こちらは DX と呼ぶほうがよいかもしれない）を進めてきた。例えば、各部課とのメールベースでのやりとりや、申請書の提出が可能となった。押印が不要となった書類も多い。多くの住民向けの防災ミーティングはオンライン開催されるなど、オンライン会議の利用も少しずつ進んでいる。これらは、以下に述べる区長連絡協議会や単に副区長として私が強く要望することで進んだものも多く、「一見無理そうでも根気強く要望することで IT 化は進む」と学んだし、「根気強く要望する」=「支援」だと考える。

他市町村の事例には詳しくないが、大磯町の場合は「区長連絡協議会」という組織があり、24 の地区の区長に対して町役場から説明やお願い、議論を求めるミーティングが 2 か月に 1 回程度開催される。また、個人から町役場へ要望するよりも、町内会を経由して要望したほうが通りやすい案件もある（ある程度予算配分を要望することもできる）。

この「区長連絡協議会」は町議会とは異なるが、町を代表する組織体であり、この組織の有効活用が全体としての町政の効率化を生むのではないかと考えている。本質的には、「国は衆議院と参議院の二院制だが、地方自治体は一院制である」というところに課題があり、「地方自治体における参議院」として、このような組織を位置づける可能性を考えている（ただし、私は地方自治の専門家ではないので、これにはさらなる「仲間」が必要とも感じており、本稿を書いている）。

8 祭典、それはインシデントハンドリングの実践

少し視点を変えるが、神社の例大祭や盆踊りなど、各種行事の町内会としての運営や支援は、CSIRT における「インシデントハンドリング」の演習にもなると感じている（私は情報処理安全確保支援士でもあるので、IPA の講習は受講している）。

もちろん、起きているのはセキュリティインシデントではないのだが、「祭典が 15 時に終了して 18 時までに片付けを完了させる」といったタスクを実行するために、

- 複数の場所（公民館、公園、神社など）にどのように人をアサインするか　や、
- それをどのような手段（直接行く、誰かにお願いする、電話する、LINE グループで同報する等）で伝えるのが適切か

を、非常に短い時間に判断し、指示することが要求される。これは、日々の業務ではあまり得られない貴重な経験であると感じている。

9 まとめ、今後に向けて

以上、雑多ではあるが「町内会活動に踏み出すときに知っておくべきこと」について総説した。もしかすると「これは情報学とは無関係では？」とお思いになった方もいるかもしれない。確かに、プログラムコードを書いたわけでもなければ、従来言うところのシステム開発プロジェクトを実践したわけでもない。ただし、町内会は社会技術システム（Socio-technical system）であり、システムライフサイクルプロセスの国際規格 ISO/IEC/IEEE 15288[5]が言うところの“arrangement of parts or elements that together exhibit a stated behavior or meaning that the individual constituents do not”の定義にもあてはまるシステムでもある。そして、そこには信頼性や安全性といった性質が求められることも間違いない。

私はこれまでも自治体防災業務を「システム」と考え、その「信頼性」獲得のための研究を継続してきた。本稿が示すものは、「自治体防災業務」をさらに小さなコミュニティである「町内会」に拡張するための第一歩である。

まだまだ課題は山積しており、例えば以下のものがある。

- 町内会が「権利能力なき社団」であり、法人格を有しない問題（[6]などは法人化の手引きである）
- プライバシー保護の問題（役員及び住民。例えば、私が不在でも問い合わせが我が家に直接来ることがある問題）
- 町内会費支払いのデジタル化

このような課題を 1 つ 1 つ解決しつつ、地域に居住する世帯の暮らしを少しずつ良くすることは、IT 技術が達成しようとする目的そのものではないかと考えている。

参考文献

1. 神奈川県ホームページ. 神奈川県内の市町村. Available: https://www.pref.kanagawa.jp/docs/ie2/cnt/f530001/p780102.html
2. 大磯町ホームページ. 安全・安心たのしいまちづくり　町内会・自治会のご案内. Available: https://www.town.oiso.kanagawa.jp/kurashi/jitikaishikatsu/1515139266388.html
3. 台町町内会. 大磯 台町町内会ホームページ. Available: https://sites.google.com/view/oisodaimachi/
4. 台町町内会. 大磯 台町町内会 Facebook ページ. Available: https://www.facebook.com/oiso.daimachi/
5. ISO, IEC, IEEE. ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems and software engineering — System life cycle processes; 2023.
6. 地縁団体研究会(編). 自治会、町内会等法人化の手引　第 4 次改訂版. ぎょうせい; 2024.

情報システムの日本語検索機能に関する考察

A consideration on Japanese string searching for information systems

小山 裕司 [1*]
Hiroshi Koyama[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Hiroshi Koyama, koyama@aiit.ac.jp

Abstract Recently, digital transformations have been aggressive, and many information systems have been designed and built. As the computing power increases, these information systems tend to grow in size, complexity, and functionality. However, the usability and simplicity of information systems have been left behind in the development of information systems. These thoughts reduce the user's workload, errors, and work time, and increase the efficiency and quality of operations. In particular, the string searching feature greatly affects usability. In Japanese, there are many characters and variants, so the same scheme used in the alphabet causes problems. In this report, we organize the history of coded character sets related to this issue and discuss usability improvements using fuzzy and approximate string searching in Japanese.

Keywords coded caracter set; character encoding scheme; variants; fuzzy/approximate string searching

1 はじめに

昨今、特に積極的にデジタル推進が行われ、官公関連でも多数の情報システム（アプリケーションソフトウェア）が設計、構築されている。ソフトウェアによる情報システムでは、正確に大量のデータを高速に処理（演算、記憶、伝達）することができる。情報処理装置の性能が上がるにしたがって、情報システムの規模が拡がり、複雑さが増し、機能が増加する傾向にあるが、情報システムの発展から取り残された事項として使い勝手があげられる。情報システムの黎明期には、利用者は専門家に限定され、多少の使い勝手の悪さによる負担は甘受されていた。しかし、情報システムの普及により、リテラシー及びスキルが低い、一般大衆の利用者が増加した現在、使い勝手の改善は喫急の課題である。使い勝手の改善は、利用者の負担軽減、ミス削減、作業時間の削減、業務効率及び業務品質の改善等に結び付く。

情報システムの使い勝手を改善する概念として、建築家 Ludwig Mies van der Rohe[1]が残した「Less is More」という言葉が引用されることがある。情報システム設計での「Less is More」は、利用者の要望を反映し、無尽蔵に増加した機能を単純（シンプル）に減らすこと、さらには効果及び効率を高めるため、機能を絞り、整理することを意味する。減らしたり絞ったりする対象は、機能から画面、遷移、操作等にも及ぶ。また、利用者の操作を補うための自動計算、バリデーションチェック、アラート表示、重複作業の削減、履歴機能、アンドゥ機能、あいまい検索等も、利用者の視認を補うための表現の統一、ダッシュボード表示、俯瞰表示、レイアウトの工夫等も、広義では「Less is More」の範疇である。

本稿では、これらの改善要素のうち、あいまい検索による使い勝手の改善を取り扱う。

2 文字列検索

情報システムで多用する基本機能に整列と検索がある。整列、データの集合を五十音順、年齢順等の一定の規則に従って並べる処理で、検索は、登録された人物 DB から特定の人物の情報を探したり、ファイルの内容に対し特定の文字列を探したりする等、データの集合の中から目的のデータを探し出す処理である。両者のアルゴリズム及び計算量は積極的に研究され、実装済みの汎用のアルゴリズムが多数存在する。検索は広義には、画像、音声等のメディアも対象であるが、今回はテキスト文字列の検索を扱う。

検索機能の実装で使われる、プログラミング言語標準の比較演算は厳密一致が基本であるが、最近のプログラミング言語、DBMS では標準で正規表現の機能が準備されていることもある。特に Perl から派生した PCRE（Perl Compatible Regular Expressions）[2]は高機能である。

文字の数が数十個であり、異体字の数が限定されているラテン語圏の文字（アルファベット）に対して概ね有効に機能する検索アルゴリズムは容易に実装することができる。以下にラテン語圏の文字で対処すべき事項を列挙する。これらの事項への対処を実装した検索を「あいまい検索」（Fuzzy/Approximate String Searching）と呼ばれる。

- アルファベットの大文字、小文字の無視
- 記号、空白類の無視
- 数値表現のゆれ（10cm、10.0cm、0.1m 等）
- 米英等でのスペルの差（disc、disk 等）、スペルミス
- 省略（I am、I'm 等）

しかし、日本語の検索では対処すべき事項が多数あり、検索アルゴリズムの実装は工夫を要する。次に、日本語の検索で対処すべき事項を列挙する。

- 平仮名、片仮名、漢字（いぬ、イヌ、犬、狗、戌等）
- 英語、日本語、ローマ字（Japan、日本、Nippon）
- 合字、組字等（令和、㍾等）
- 異体字
- 表現のゆれ（引っ越し、引越し、引越等）
  - ハイフン、長音、ダッシュ等
  - 拗音（ぁ、ぃ、ぅ、ぇ、ぉ等）、促音（っ）
  - 長音の有無（サーバ、サーバー等）
  - 踊り字（「々」「〻」「ゝ」「ゞ」「ヽ」「ヾ」「〃」「く」「ぐ」）
  - チ↔ジ、ヅ↔ズ、バ↔ヴァ、ハ↔ファ、セ↔シェ、ゼ↔ジェ、ヒュ↔フュ、ビュ↔ヴュ、ツィ↔ティ↔チ、ディ↔ジ等

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

    - サ行の前のキ、ク
    - イ段、エ段に続くア、ヤ
- 同義語等（手帳、手帖等）
    - スマフォ、スマートフォン、スマホ等
    - スマートデバイス、iPhone 等
    - 会う、逢う、遭う、遇う等
    - 鮓、寿司、鮨、🍣（絵文字）等
    - バッグ、サコッシュ、リュック等

異体字は、同一の文字観念を有するが、グリフに違いがある文字のことで、これらは手書きに起因することが多い。アルファベットでは、異体字を同一の文字として扱い、グリフの差はフォントデザインの差とすることが原則である。しかし、漢字では、各種の経緯から異体字を別の文字として扱うこともあれば、アルファベット同様、フォントデザインの差として扱うこともある。文章で使われる際には異体字は相互に置換できることが多いが、人名の場合はこだわりもあって簡単に置換できることばかりでは無い。異体字の例を表 1 に示す。

表 1　日本語の漢字の異体字の例

基底字	異体字、旧字、俗字等
崎	﨑 嵜 埼 碕 碕 嵜
高	髙
沢	澤
島	嶋 嶌
浜	濱 濵
斉	齊
斎	齋
辺	邊 邉（100 以上）

情報システムの検索機能の実装が単純にアルファベット同様のアルゴリズムである場合、異体字に対処する仕組みが無ければ、「さいとう」を検索する操作を 4 回繰り返す必要がある。いくつかの情報システムではこの問題を意識し、基底字と異体字のゆれに対処する検索を組み込んでいるが、対処の程度は様々であり、また、多くの情報システムは対処が無い。

3　文字コード体系

文字情報の処理のため、文字に番号（数値、符号位置）を割り当てたものは文字コード体系と呼ばれ、特定の文字コード体系で扱う文字の集合は文字集合と呼ばれる。最初に、文字コード体系の変遷を整理する。

ASCII（American Standard Code for Information Interchange、現 INCITS 4）[3]は、1963 年 6 月に米国規格協会（American Standards Association: ASA、後の ANSI）で制定された情報処理のための文字コード体系である。

当時、米国での情報通信等で使われていた 128 個の文字、記号、制御文字に 00_{16}（0_{10}）から $7F_{16}$（127）の番号が割り当てられている。

- アルファベットの大文字及び小文字（52 個）
- 0 から 9 までの数字（10 個）
- 括弧、感嘆符等の約物、数学記号等の記号、空白文字（33 個）
- アルファベットの大文字、小文字
- 改行文字等の制御文字（33 個）

1967 年 6 月に定められた国際標準の 7-bit 符号の文字コード体系 ISO/IEC 646[4]は ASCII の文字集合と概ね同じであるが、18 個の記号（$22\text{-}24_{16}$、27_{16}、$2C_{16}$、$2D_{16}$、$2F_{16}$、40_{16}、$5B\text{-}60_{16}$、$7B\text{-}7E_{16}$ 番）を各国規格で変更できる。

日本では、ISO/IEC 646 に対し、$5B_{16}$（92）番のバックスラッシュ記号（'＼'）の代わりに円記号 （'¥'）を、$7E_{16}$（126）番にチルダ記号（'~'）の代わりにオーバーライン記号（'‾'）を割り当てた 7-bit 符号の文字コード体系と、8bit 符号に拡張し、$A1_{16}$（161）番から DF_{16}（223）番に日本語の片仮名と記号を割り当てた文字コード体系が JIS X 0201（JIS C 6220）[5]として 1969 年 6 月に定められている。8-bit 符号の JIS X 0201 はアルファベット（Alphabet）、数字（Numerical digit）、片仮名（Katakana）の頭文字から ANK コードとも呼ばれる。ANK コードの時代に構築された情報システムでは、異体字はもちろん、漢字の取り扱いは困難であったが、検索の実装は単純であった。のちに、漢字及び異体字を収録した文字コード体系を基盤に更改が行われると、漢字が表示できる代わりに使い勝手が下がってしまうことも発生した。

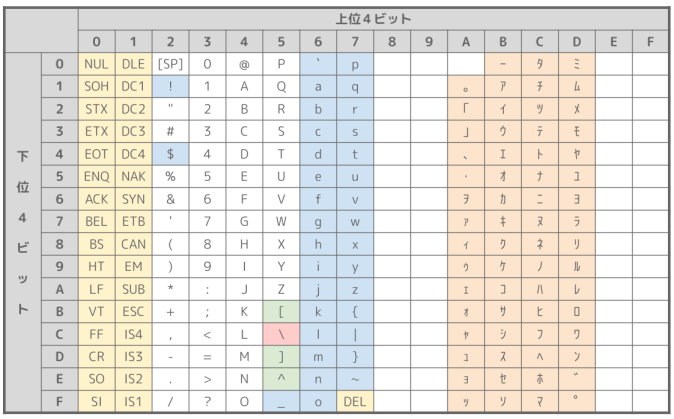


図 1　JIS X 0201 の文字集合

ASCII 及び ISO/IEC 646 は 7-bit 符号であるため、扱うことができる文字の自由度は低い。ISO/IEC 646 はもともと ASCII の流用であったため、ラテン文字の言語であっても英語以外では文字数が不足する。18 個の文字は各国規格で変更できるが、うち 8 個は制約があった。このため、8-bit 符号に拡張され、ASCII で未使用の 80_{16}（128）番以降に各国の独自の拡張ができる ISO/IEC 8859[6]が定められ、西欧諸語の ISO/IEC 8859-1（通称 Latin-1、1984 年 12 月）、中央欧諸語の 8859-2（1987 年）等が定められた。

ASCII 及び ISO/IEC 646 では、文字数の上限から数学記号の乗除算記号（×÷）が無いため、本来は約物の $2A_{16}$（42）番のアスタリスク記号（'*'）と、$2F_{16}$（47）番のスラッシュ記号（'/'）

が代用されているが、現在のISO/IEC 8859では乗算記号（'×'）が D7$_{16}$ 番に、除算記号（'÷'）が F7$_{16}$ 番に割り当てられている。

ASCII（ISO/IEC 646、ISO/IEC 8859）は広く普及しているが、IBM の大型機等の一部の環境では、ASCII が定められる前から蓄積されていた BCD（Binary-coded decimal）での情報資産との互換性を考慮し、BCD を拡張した EBCDIC（Extended Binary Coded Decimal Interchange Code）[7]が使われている。

日本では、16-bit（2-byte）符号の文字コード体系である JIS X 0208（JIS C 6226）[8]が 1978 年に定められた。JIS X 0208 には個（94 区×94 点）の符号位置があり、漢字 6,355 個、平仮名、片仮名、特殊文字、ラテン文字、罫線素片の非漢字 524 個の計 6,879 個が収録されている。JIS X 0208 は JIS 基本漢字等とも呼ばれる。JIS X 0208 の 6,355 個の漢字のうち、当用漢字字体表等の多数の漢字表で出現頻度が高い文字は第 1 水準 2,965 文字とし、残りを第 2 水準 3,390 文字とされた。

1990 年 10 月には、JIS X 0208 に漏れていた文字を集めた JIS X 0212（JIS 補助漢字）[9]が定められた。JIS X 0212 には、漢字 5,801 個、アルファベット 245 個、特殊文字 21 個の計 6,067 個が収録されている。

2000 年 1 月には、JIS X 0208 を拡張した JIS X 0213（JIS 拡張漢字）[10]が定められた。JIS X 0213 は、JIS X 0208 が規定する 6,879 個の文字集合に対して、非漢字 659 個、第三水準 1,259 個、第四水準 2,436 個、計 4,354 個を新規に、計 11,233 個が収録されている。JIS X 0213 は JIS X 0208 の上位集合ではあるが、JIS X 0212 とは互換性が無い。

JIS X 0208 の文字集合には、JIS X 0201 の文字集合のすべての文字が存在しているが、これらを区別するため、JIS X0201 を半角文字、JIS X 0208 を全角文字とも呼ばれる。

複数の文字コード体系の切替を行う技術として、ISO/IEC 2022（JIS X0202）[11]等がある。日本では、英数字等のための JIS X0201 と、漢字等の 16-bit 符号の JIS X 0208 が混在する場合は、ISO/IEC 2022 による SHIFT-IN（SI、0F$_{16}$）、SHIFT-OUT（SO、0E$_{16}$）で両者の切替を行う。しかし、これは処理が複雑であったため、処理効率を改善するため、両文字コード体系を ISO 2022 による切替無しで混在できるように巧みに設計された Shift_JIS が 1982 年に開発され、MS-DOS 及び CP/M-86 に実装され、広く普及した。

EUC-JP（Extended Unix Code Packed Format for Japanese、日本語 EUC）も両文字コード体系を ISO 2022 による切替無しで混在できるようにしたものであり、1986 年に定められ、Unix 系の OS で広く使われていた。

JIS X 0201 及び JIS X 0208 と、Shift_JIS と EUC-JP は概ね同じ文字集合を扱うが、各文字に割り当てられた番号が違う文字コード体系である。

黎明期の文字コード体系は文字集合の各文字に番号を単純に割り当てただけのものであったが、次第に複数の文字コード体系を一緒に扱ったり、番号割り当てに複数の変種（バリエーション）が存在したりすることが生じてきたため、CCS（Coded Caracter Set）と、CES（Character Encoding Scheme）の 2 段階で文字コード体系を示すこともある。前者の CCS は文字集合とも呼ばれ、特定の文字コード体系で扱う文字の定義である。後者の CES（Character Encoding Scheme）はエンコーディングとも呼ばれ、文字をどのように番号（バイト列）で表現するかという決まりである。

ASCII と EBCDIC、また JIS X0201 と EBCDIC 日本語仮名拡張（CCSID 5026）の CCS は概ね同じであるから、これらは CES だと解釈することもできる。同様に JIS X 0201 及び JIS X 0208 と、Shift_JIS と EUC-JP も概ね同じ CCS であり、これらは CES だと解釈することもできる。

ASCII、ISO/IEC 646、ISO/IEC 8859 の各国の独自の拡張による文字集合の差はデータ交換に問題を産み出した。複数の言語圏の文字が混在できるようにするために、複数の文字コード体系を ISO/IEC 2022 による切替も試されたが、あらゆる文字を単一のコード体系に収録する国際標準として、Unicode 1.1.0[12]及び ISO/IEC 10646（UCS: Universal Coded Character Set）[13]が 1993 年 6 月に定められた。

各国から文字を持ち寄り、取捨選択によって収録される文字が決められている。日本の文字は JIS X 0201、JIS X 0208、JIS X 0212、JIS X 0213 の内容が収録されている。

Unicode の文字集合の符号空間は 0$_{16}$ - 10FFFF$_{16}$ で 1,114,112 個（17 面×256 区×256 点）の符号位置がある。2024 年 9 月に定められた Unicode 16.0.0 では、154,998 個の文字が割り当てられているが、1/2 以上が CJKV（中国語、日本語、朝鮮語、越南語）文字である。

現在、Unicode には 3 種類の CES が存在する。UTF-8 は 1 文字を 8-bit（1-byte）から 32-bit（6-byte）の可変長符号で表現する。0 番から 127 番までは ASCII と同じであり、UTF-8 エンコーディングでは、ASCII の範囲（U+0000$_{16}$ - U+00FF$_{16}$）であれば、ASCII と同じデータであるが、大半の漢字は 24-bit 符号である。UTF-8 は、データ交換、ファイル保存の際に使われることが多い。UTF-16 は 1 文字を 16-bit（2-byte）あるいは 32-bit（4-byte）の可変長符号で表現する。漢字は 16-bit 符号である。UTF-32 は 1 文字を 32-bit（4-byte）の固定長符号で表現する。ASCII の範囲のデータの場合、UTF-8 の 4 倍の大きさを占める。UTF-32 はほかの CES よりも大きい領域を占めるが、固定長符号であるため、ソフトウェアの内部表現で使われることが多い。

Unicode では、CJKV 文字のグリフが似た文字が CJK 統合漢字としてまとめられてしまい、議論を呼んだ。また、日本で使われている漢字には異体字が多数存在する。日本の常用漢字[14-16]に収録されている漢字は 2,136 個であるが、これに対し、JIS X 0213 には 10,000 個以上のもの漢字が収録されている。また、日本の戸籍で使うことが許可されている戸籍統一文字[17]の漢字は 55,270 個にも及ぶ。

行政で使われる漢字を整備するため、戸籍統一文字等から 58,862 個の漢字が収録された文字情報基盤（MJ）[18]が定められ、文字フォント付きで公開された。MJ 収録の漢字は Unicode 16.0.0 に収録された。

しかし、日本の官公関連の情報システムの大半は古い文字集合を基盤にして構築されているため、戸籍で許されているすべての漢字を扱うには外字と呼ばれる、利用者定義文字を登録することで、この問題を回避している。外字は個々のシステム依存であり、同じ漢字に別々の番号が割り当てられることも頻発し、相互運用性の問題がある。また、JIS X0208 基盤の古いシステムでは、JIS X0212 の文字等も外字として登録する必要がある。このため、個々のシステムが独自に登録した結果、全国の自治体が戸籍で使っている文字の総数は 163 万個にも及ぶ。この外字を除去するため、ここから重複を削除し、現在戸籍で実際に使われている漢字を精査（同定）し、MJ に未収録であった 9,433 個を足した MJ+を定め、官公関連の情報システムに広めていく取り組みが行われている[19]。

各文字コード体系に収録されている漢字等の個数を表 2 に示す。

表 2　　各種の文字コード体系

文字集合	文字数	補足
当用漢字（1946 年）	1,850	
JIS X 0201（1967 年）	191	英数字、記号、片仮名等
JIS X 0208（1978 年）	6,879	第 1-2 水準漢字
常用漢字（1981 年）	2,136	
常用漢字＋人名用漢字	2,999	
JIS X 0208＋JIS X 0212	12,946	第 1-2 水準漢字＋補助漢字
JIS X 0213（2000 年）	11,233	第 1-4 水準漢字
戸籍統一文字	55,270	
MJ	58,862	文字情報基盤
Unicode 16.0.0（2024 年）	101,970	CJKV 文字
MJ+	68,295	

4　　あいまい検索の実現

プログラミング言語標準の比較演算の基本は厳密一致である。Python でのコード例を次に示す。

```
citizens = {"戸沢":"foo", "大﨑":"bar", "嶋津":"baz"}
v1 = citizens["島津"]
v2 = citizens["嶋津"]
```

最近のプログラミング言語は標準で正規表現の機能が準備されていることが多い。正規表現による検索の Python でのコード例を次に示す。

```
import re
citizens = {"戸沢":"foo", "大埼":"bar", "嶋津":"baz"}
r = re.compile("(戸沢|戸澤)")
v = [citizens[k] for k in citizens if r.search(k)]
```

アルファベットの大文字、小文字の区別の無視は `tolower` 関数等でも対処できるが、正規表現で大文字、小文字の区別を無視するオプション（`re.IGNORECASE`）でも対処できる。また、複数の文字コード体系が混在する場合（いわゆる全角文字、半角文字等）は、`unicodedata.normalize` 関数等で対処できる。このように、アルファベットに対しては、概ね有効に機能する検索アルゴリズムを容易に実装することができるが、日本語の検索で対処すべき事項の実装は工夫を要する。

次に日本語の異体字を意識した検索の設計手順を示す。

- 読み仮名
  JIS X0201 の時代に回帰する行為ではあるが、漢字の文字列に読み仮名を付与すれば異体字の問題は概ね解決できる。しかし、手間がかかるため、実際の運用に難がある。
- 異体字選択肢（Variation Selectors）
  異体字選択肢は 2002 年の Unicode 3.2 で異体字を扱うために準備された仕組みであり、基底字 1 文字に対し、複数の異体字を異体字選択肢として付加することができる。基底字及び異体字選択肢で付加された異体字は異体字列（Variation Sequence）と呼ばれる。異体字列には標準異体字列（SVS: Standardized Variation Sequence）と漢字異体字列（IVS: Ideographic Variation Sequence）がある。SVS は Unicode Consortium が直接管理しているが、IVS のグリフは漢字異体字 DB（IVD: Ideographic Variation Database）で定義され、定められた申請によって登録することができる。MJ の文字は IVS に登録されている。異体字選択肢を反映した実装を適切に行うと、異体字の問題は大枠では解決する。
- 異体字補助辞書（Variation Supplement Dictionary）
  Unicode の異体字選択肢でも、各種の経緯及び議論から、現状、異体字の登録は限定的である。「神」は「神」の異体字として登録されているが、「高」と「髙」、「鴎」と「鷗」等は別の文字として登録されている。このように異体字選択肢を単純に実装するだけでは、これらの異体字が検索から漏れてしまう恐れがある。このあたりを勘案し、異体字選択肢の仕組みを補うための補助辞書を整備し、これを参照する実装が必要である。

取り扱う文字（異体字）が Unicode の文字集合に無ければ、処理も表示も難しいので、MJ+の整備、Unicode での収録、普及が待たれる。

日本語でのあいまい検索では以下の処理が付加される。

- 部分文字列の抽出
  検索したい文字列を解析し、小さい部分文字列を抽出する。検索文字列が「データサイエンス特論」である場合は「データ」「サイエンス」「特論」を部分文字列として抽出する。日本語では、単語と単語の区切りが弱いので、MeCab[20]等の解析エンジンを使う。部分文字列の抽出することで、各部分文字列単位で評価し、広範に検索できる。
- 部分文字列の評価
  各部分文字列と、検索対象の文字列との間の類似性を評価値として算出する。評価値の算出には各種のアル

ゴリズムを使う。Web 等の検索エンジンであれば、評価値が高い順に表示すればよいが、情報システムの検索機能では、閾値を設定し、一致の判断を行う。

5 まとめ

情報システムの普及、発展から情報システムの使い勝手が取り残されている。情報システムの使い勝手の改善は、利用者の負担軽減、ミス削減、作業時間の削減、業務効率及び業務品質の改善等に結び付く。特に、検索機能は使い勝手を大きく左右するが、日本語は文字数も多く、異体字も多いため、アルファベットの検索と同じ手法では問題が残る。本稿では、この問題に関連する文字コードの変遷を整理し、あいまい検索による使い勝手の改善を試みた。

最後に、現状の課題及び今後の改善等を列挙する。

- 異体字補助辞書の整備
- 異体字同定の推進
- AI 概念検索を活用した部分文字列検索の拡張
- サンプル実装の存在

また、情報システムの設計及び実装にあたって、使い勝手、特に検索機能の改善が重要であることの啓蒙も必要だと感じた。

参考文献

1. Isabel Droge. Mies van der Rohe: The Architect Who Thought Less Was More. 2023. Available from: https://www.thecollector.com/mies-van-der-rohe-pioneer-modernist-architect/
2. PCRE: Perl Compatible Regular Expressions. Available from: https://www.thecollector.com/mies-van-der-rohe-pioneer-modernist-architect/
3. INCITS 4: 1986[R2022] Information Systems - Coded character Sets - 7-Bit Standard Code for Information Interchange. 2022. Available from: https://webstore.ansi.org/standards/incits/incits1986r2022
4. ISO/IEC 646:1991 Information technology - ISO 7-bit coded character set for information interchange. 1991. Available from: https://www.iso.org/standard/4777.html
5. JIS X 0201. 1997. Available from: https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html
6. ISO/IEC 8859-1:1998 Information technology - 8-bit single-byte coded graphic character sets Part 1: Latin alphabet No. 1. Available from: https://www.iso.org/standard/28245.html
7. EBCDIC. Available from: https://en.wikipedia.org/wiki/EBCDIC
8. JIS X 0208. 2012. Available from: https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html
9. JIS X 0212. 1990. Available from: https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html
10. JIS X 0213. 2012. Available from: https://www.jisc.go.jp/app/jis/general/GnrJISSearch.html
11. ISO/IEC 2022:1994 Information technology - Character code structure and extension techniques. Available from: https://www.iso.org/standard/22747.html
12. Unicode. Available from: https://home.unicode.org/
13. ISO/IEC 10646:2020 Information technology - Universal coded character set (UCS). 2020. Available from: https://www.iso.org/standard/4777.html
14. 当用漢字. Available from: https://www.bunka.go.jp/kokugo_nihongo/sisaku/joho/joho/kakuki/syusen/tosin02/index.html
15. 常用漢字. Available from: https://www.bunka.go.jp/kokugo_nihongo/sisaku/joho/joho/kijun/naikaku/pdf/joyokanjihyo_20101130.pdf
16. 人名用漢字. Available from: https://www.moj.go.jp/content/001131003.pdf
17. 戸籍統一文字. Available from: https://houmukyoku.moj.go.jp/KOSEKIMOJIDB/M01.html
18. 文字情報基盤（MJ）. Available from: https://moji.or.jp/mojikiban/
19. 地方公共団体情報システムにおける文字要件の運用に関する検討会. デジタル庁. Available from: https://www.digital.go.jp/councils/local-governments-character-specification
20. MeCab. Available from: https://taku910.github.io/mecab/

人の感覚と人工知能のモダリティ

The survey on the modalities of human and artificial intelligence

柴田 淳司 [1*]
Atsushi Shibata[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Atsushi Shibata, shibata-atsushi@aiit.ac.jp

Abstract　Humans process multiple senses simultaneously, and each sense is called a sensory modality, while the presence of multiple sensory modalities is called multimodality. In recent years, active research has been conducted into the interactions between sensory modalities. In the field of artificial intelligence, the combination of input and output is also called a modality, and research into multimodality has become more active in recent years. In this paper, we introduce examples of research into multimodality between humans and artificial intelligence and consider the benefits that can be obtained from multimodality. If we can elucidate this and objectively judge the harmony that people perceive, this could be applied to a variety of services.

Keywords　sensor modality; multimodal; cross modal; multimodal deep learning; cognitive psychology

1　はじめに

似合う，違和感があるとはどういう状態を指すだろうか．服を買う時，その服が自分に似合うかどうかで買うことがある．あるいは体調が悪い時，喉に違和感があるという表現をすることがある．辞書的定義によると，似合うとは両者が調和していること，違和感があるとは調和を失いチグハグな様子であることとされている．両者に共通するのは，複数のものの調和が取れていないことである．

人が感じる調和は複数の印象の差から生じるものと考えてみる．例えば服とそれを着る人の調和を考える．服には色や質感，意匠が存在する．また，着る人には体格，肌の色など外見に加えて性格などの内面的な特徴が存在する．人がそれらを個別に見た時，服には服の，人には人の印象が湧く．そして，これを組み合わせたとき，両者が持つ印象が衝突することを「違和感がある」と表現し，衝突しないことを「似合う」と呼ぶのではなかろうか．もちろん両者を見た人の文化，経験からくる評価，例えば和服は細身の人の方が似合うなども存在するが，ここでは考慮しない．ではそれらを見た人の印象はどう発生するのだろうか．

人は複数の感覚を同時に処理しており，それぞれの感覚のことを感覚モダリティ，複数の感覚モダリティを持つことをマルチモーダルと呼ぶ．近年では，感覚モダリティ間の相互作用についても盛んに研究がされている．

ところで，人工知能の分野でも，入力と出力の組み合わせをモダリティと呼び，近年はマルチモーダルの研究が盛んとなってきている．

本稿では，人と人工知能のマルチモーダルに関する研究事例を紹介するとともに，マルチモーダルにより得られる恩恵について考察をする．これを解明することにより，人が感じる調和を客観的に判断することができれば，さまざまなサービスに応用が期待できる．

2　人の感覚

感覚と認知

感覚とは，外界の情報を刺激として受け，それにより脳に生じる意識である．古くは紀元前のアリストテレスが五感（視覚・聴覚・嗅覚・触覚・味覚）を提唱しており，それ以降も哲学や医学の分野で，近代では心理学で研究がされている．情報技術の発展により，感覚の研究はさらに派生し，認知科学やAffective Computing などの分野で情報システムとして分析されており，それを活用したデザインやサービスへの応用をされている．

心理学において，感覚とは外界の情報から得られる意識経験のことを指す．その処理の流れを図 1 に示す．外界にはさまざまな物体が存在し，人はその一部を感覚器という器官を用いて捉えることができる．例えば視覚を司る感覚器である眼では，対象から発せられる光が網膜に当たると電気信号に変換され，脳へ送られる．同様に聴覚は耳，嗅覚は鼻，触覚は皮膚，味覚は舌と，感覚と対応する感覚器が存在する．五感と呼ばれるこれらの感覚の他にも，平衡感覚と内耳，熱さと温点など，数多くの感覚と感覚器が人には存在する．

感覚器から得られた信号は受容器を通して電気信号として脳に送られ，これを知覚と呼ぶ．知覚された情報をもとに，人の脳内では思考や言語理解，記憶などの認知が行われる．また，記憶や印象によりフィードバックが起こり，新たな感覚が想起されることもある．

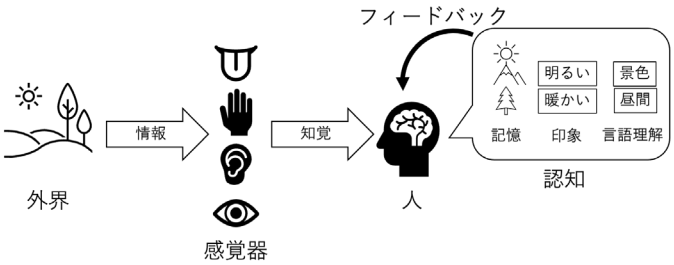


図 1　感覚器を介して外界の情報を知覚し，認知を行う

認知の仕組みは未だわかっていないことが多い．哲学分野では，知覚された外界の情報により脳内に発生する鮮明で明確な質感のことをクオリアと呼ぶ．例えば我々がコップを見たとき，脳内では確かにそれに対応する単語やイメージ，色合いや手触りなどの感覚が呼び起こされる．そしてそのことを外部に伝えるためには画像や声，文字に起こす必要があるため，最終的には容易さの面から言語情報として加工され出力されることが多い．これは機械学習における入力と特徴量，出力の関係に近い．画像物体認識では画像をもとに，その特徴量を計算し，そ

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

こに移っているものが何かを分類する．この時の画像が視覚情報であり，特徴量がクオリア，出力の分類が言語情報と対応する．

以上のことから，人は複数の入力をもとに，特徴抽出を行い，思考するシステムと捉えることができる．この時の感覚と認知の 1 セットの感覚モダリティ（sensory modality）と呼ぶ．モダリティとは手段や様式という意味で，視覚の感覚モダリティなら映像が眼を通して知覚され，認知される一連の流れのことを言う．単一の感覚モダリティであることをユニモーダルと呼ぶ．デジタルカメラは外界をレンズ越しに映像素子で感知し，画像に変換することからユニモーダルと言える．一方，人の場合は視覚だけに限らず，多くの感覚器を備えており，同時に複数の処理を統合しながら行なうため，マルチモーダル（multimodal）と表現される．加えて，複数の感覚が相互に影響しあうことが報告されていることから，クロスモーダル（cross modal）と表現されることも多い．

人が似合う，違和感などは，マルチモーダルな情報を統合した際の齟齬によるものと考えられる．

音から受ける感覚

音は空気の振動であり，鼓膜，耳小骨，蝸牛の有毛細胞の震えにより電気信号に変えられ，脳に送られる．人が認知する音は，対面でのコミュニケーションにおける重要な要素であるが，人に印象を与える大きな要素の 1 つである．ここでは声による印象と，音楽による印象について紹介する．

声による印象を理解するために，まずは声について解説する．人の声は基本となる母音と，それを修飾する子音とに分けられる．母音は肺から出される空気に声帯の振動が加わることで音になり，その口や鼻で共鳴することで作られる．対して，子音は唇や舌の動きにより作られる．日本語における母音は「a」「i」「u」「e」「o」が該当する．これに子音である「k」や「s」を組み合わせることで「ka」や「sa」などの音を作っている．母音が共鳴により作っているため，いくつかの周波数が強い山の部分があり，これをフォルマントと呼ぶ．周波数が低い順に第 1 フォルマント，第 2 フォルマント，第 3 フォルマントと名前がついており，特に第 1 フォルマントの周波数は基本周波数と呼ばれている．人は第 1 フォルマント，第 2 フォルマントの組み合わせにより母音を識別していると言われている．もちろんフォルマントには個人差や話し方による振れ幅があるため，ある程度の範囲内に収まっていれば同じ母音であると認識している．

このように，フォルマントは言語情報を理解するために重要なものだが，印象や話者の感情を読み取るためにも重要な意味合いがある．ここでは，人が感じる印象について取り上げたいので，周波数や長さなど声の物理的情報のみを扱い，言語的な内容については除いて考えてみる．人は言語情報がなくとも，声に含まれる声の高さ，大きさ，長さ，リズム，間など様々な情報を含んでおり，こうした情報を韻律（prosody）と呼ぶ．

まず，一般に女性や子供は喉が小さいため，物理的に出せる音の周波数が高く，男性は低く制限されている．声の印象から，高い方が女性や子供らしく聞こえ，低い方が男性らしく聞こえる．

韻律は感情を伝える手段としても用いられる．日本語話者の音声による感情表現の研究[1, 2]では，喜びを表すときは，平均の基本周波数が高く，レンジが広く，持続時間長は短い傾向がある．また，怒りを表すときは，基本周波数のレンジが広く，持続時間長は短い傾向がある．悲しみを表すときは，平均の基本周波数が低く，レンジが狭く，持続時間長は長い傾向がある．加えて，語尾の基本周波数が上がると不安や疑問を，下がると納得を表す．ただし，これらの感情表現は言語や文化に強く依存するため，必ずしも普遍的なものではないとされている．

音声以外の研究では，音楽を聴いた時の印象の研究[3]がされている．これらの研究によると，長調の音楽は明るい感情を，ゆっくりしたテンポは落ち着きを，速いテンポは興奮を生じやすいとされている．音楽による心理的変化は音楽経験の有無には関係ないという報告[4]がある．

こうした音の性質はマーケティングでも活用されている[5]．スーパーマーケットにおける BGM が，ゆっくりしたテンポだと顧客の滞在時間が長くなり，速いテンポだと顧客の滞在時間が短くなることが示されている．また，テンポが早いと購買行動を促進するが，早すぎると逆効果になることも示唆されている．

光から受ける感覚

人は外界からの情報を素早く認知するため，他の感覚モダリティより優位であるとされている[6]．メラビアン[7]によると異なる情報を同時に与えたとき，その重要度は言語情報，聴覚情報，視覚情報の順に 7%，38%，55%だったという．この結果から視覚は外界の情報を正確に捉えているように感じるかもしれないが，脳内では様々な処理がされ，加工された情報を基に人は認知を行っている．

光は電磁界を介する振動と質量 0 の物質との重ね合わせ，光子と呼ばれる量子によって伝播される．そういう意味では電磁界を伝わる音のようなものである．これは熱量を持ったあらゆる物体から発せられるが，人が捉えられる光子の振動数は波長が 380 nm から 760 nm 程度と範囲が決まっており，これを可視光と呼ぶ．太陽や高温を持つ物体，発光ダイオードや蛍光灯など電子の励起を起こす物体は直接可視光を発するため視覚により認知できるが，それ以外の物体は他の光源からの光子の反射により捉えられる．より厳密にいうならば，人は赤，緑，青色を感じやすい 3 種類の錐体細胞と，少量の光でも反応しやすい桿体細胞，計 4 種類の視細胞の反応によって光を感じている．そのため，実際には虹の色が物理的な色の分布なのだが，人は赤と青の中間に紫を感じるなど，脳内で補完する作用が働いている．また，網膜には視細胞が存在しない箇所が存在するため，本来は視野に盲点と呼ばれる欠けが存在するはずなのだが，脳が補完を行っているため認知されない仕組みとなっている．

形状に関する認知として，解剖学の知見から，視覚マスキングと呼ばれる，特定の形を検出する脳細胞が見つかっている．さらに高次の脳処理では特定の特徴にマッチする専用の脳細胞があるという仮説がある[8]．

一般論として，赤や橙色は暖色，青や紫は寒色，緑などは中間色と表現され，それぞれ暖かい，冷たい，どちらでもない印象があると言われている．また，色の組み合わせにより緑，青，茶色の自然を感じるナチュラルカラーや，黒地に赤や金色のアクセントが高級感を感じるなど，色には様々な印象が付属するとされてきた．

色の印象をアンケート調査し，主成分分析を行なった研究[9]では，単色を見たときに人が感じる印象を，活発さ，重さ，熱さの3項目で表現をしている．例えば，赤は熱い，青は冷たい，黄色は活発で軽い，黒は重い，といった具合である．

虹の色の数が国や地域によって違うように，色の感じ方にも地域差があることが報告[10]されている．大学生を対象としたアンケート調査によると，赤，青，緑，黄色の基本色はポジティブな影響を，それ以外の中間色はネガティブな印象を与えるという結果が報告されているが，文化による差が大きいことも示唆されている．調査では基本色の中でも緑のリラックス効果が低く，その理由を緑が毒を連想させるからだとある．これは欧米では毒は肉が腐敗した色であることに由来する．海外のゾンビ映画でも肌は緑色をしている様子が見受けられる．一方，東アジアの毒は植物由来であり，紫色をしている場合が多く，緑と毒のイメージが結びついておらず，結果に差がついている．

人は色だけではなく，テクスチャからも印象を読み取ることができる．学生を対象に行った実験[11]では，プラスチックや木材などのテクスチャ画像130枚に対して光沢，透明性，色彩，粗さ，硬さなどの項目を正解データとして作成し，他の被験者が画像を見た時に表現した形容詞と比較したところ，高い相関が見られた．このことから，視覚情報だけでも対象の柔らかさなどの情報を脳内で連想させることが示されている．

これら色の印象をマーケティングに利用する研究もされている．店内の色による消費者行動への調査[12]では，暖色系の配色が活気を与えて消費者の興奮や購買意欲を高めるのに対し，冷色系は落ち着きを促し，長く滞在しやすい環境を作り出す効果があると示唆されている．

マルチモーダルな感覚

心理学において，錯覚や誤認に関する研究は古くからされている．その中でも，複数の感覚モダリティを同時に処理することにより生まれる新たな認知や現象がある．

McGurk効果[13, 14]では，被験者に「が（Ga）」と発声している人の映像と，「ば（Ba）」という音を同時に提示すると，「だ（Da）」という音に聞こえるというものである．これは視覚から提示される情報と，聴覚から提示される情報が一致しないため，脳内で情報が競合し，補完した結果，新しい音として認知されるという物である．

視覚と言語情報の錯覚として，色を表す文字と，その文字の色が一致していない場合，色の認知が遅れるストループ効果[15]と，文字の認知が遅れる逆ストループ効果[16]が報告されている．これは，色と文字の形状はどちらも視覚情報だが，脳内では色の情報と言語情報は別の感覚モダリティであり，それらが競合する結果，認知までの時間がかかるというものである．このことから，視覚情報や言語情報は高次の脳処理の過程で統合して処理されることが示唆される．

同様に視覚による印象と言語による印象が同一の印象空間で表現されているという証左として，ブーバ・キキ効果（Bouba/Kiki effect）[17]やタケテ・マルマ効果（Takete/Maluma effect）[18]が挙げられる．図2を見て，どちらがブーバでどちらがキキかを選ぶ，あるいはどちらがタケテでどちらがマルマかを選んでみる．すると，大抵の人は尖った方をキキ，タケテとし，丸い方をブーバ，マルマだと判断する．これはbやmの発音は丸みを帯びた印象を，kやtの発音は尖った印象を与えるため，視覚的特徴と合致したものを選ぶためと考えられている．この効果は音が印象を元に作られたとする音象徴主義の根拠として用いられることがあるが，実際の単語は複数の要因によって決まるため，全てが音の印象と単語の意味が一致しているとは限らない．特に文化的な影響が大きく，英語では光関係の単語の接頭にgl-がつくため，gl-の発音が光の印象と混じっているが，日本人にとっては低い音を発するgは重い印象を受けるため，軽い印象がある光は連想されない．

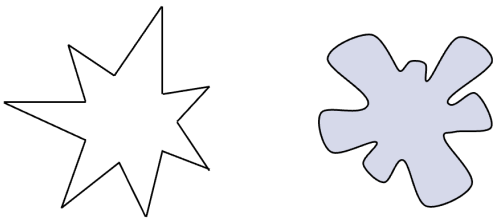


図 2　ブーバとキキ，あるいはタケテとマルマの図

視覚や聴覚，言語認識だけでなく，味覚や嗅覚でもマルチモーダルの影響が確認されている．味と匂いが合致していると，その味を強く感じやすくなり，逆に一致していないと味を感じづらくなるという報告[19]がある．実験ではショ糖にイチゴの匂いを加えると甘いという感覚を加速させ，逆にハムの匂いをつけると甘さを減退させるという結果が示されている．

この味と匂いの相互影響を利用した研究に，MetaCookie+[20]がある．この研究では，プレーンクッキーに匂いをつけることで，仮想的にチョコやナッツなどの味を想起させるというものである．

こうした複数の研究結果より，人は複数の感情モダリティを統合することで，認知を加速させたり，減衰させたり，誤認するということがわかった．この性質をうまく利用すれば，MetaCookie+のように，ポジティブな認知を想起させるサービス設計へ応用できる可能性がある．例えば，ロボットには不気味の谷という概念がある．

ロボットには不気味の谷現象[21]があるとされている．人に似せたロボットを作った際，似せるほど違和感を感じるという現象である．この現象もマルチモーダルの観点から考えると，人に似た外見だが，人とは違う振る舞いによる印象の誤差が，特に日常生活で識別すべき「人」と「それ以外」に対して厳密に働き，不気味さとして認知されるのかもしれない．最近では，こうした感覚間で相互作用を及ぼすものをクロスモーダルと呼び，研究[22]されている．例えばUI設計において，視覚的な情報と触覚的な操作の相互作用を考慮するなどがされている．

加えて，人の感情モダリティについて興味深いのは，印象を統合するだけでなく，感覚そのものが共起されることがある点である．有名な事例として，共感覚が挙げられる．一部の人は，文字を見ると対応する色が感じられることが報告されている[23]．これを色字共感覚という．既知の文字にはそれぞれ独立した色がある場合や，既知の文字は全て同じ色として認識される場合など，その性質には個人差がある．人によっては，数字には色があり，その色を元に演算することができる人もいる．

3 人工知能のモダリティ

人工知能とモダリティ

人工知能は 1957 年にダートマス会議で名称が決定する前後から，3 度のブームを起こしてきた．

1 回目のブームは人工知能が誕生した 1950 年代に起こり，サイバネティクスと合わせて，推論や探索など，様々な活用が期待された．ところが，難しい問題を解くことができないと指摘され，ブームは下火となった．それ以降，人工知能の分野では，人工知能そのものを研究するのではなく，人の知的な処理の一部を再現することが研究の主目的となり，問題を細分化して解決することに注力してきた．例えば，画像認識では画像に写っている対象を認識する，音声認識では音声に含まれる言語情報をテキストに変換して処理する，といった具合である．こうした背景から，これまでの人工知能はユニモーダルな研究が主流だった．

こうして各分野に特化した研究が続き，2012 年の深層学習を皮切りに，3 回目の人工知能ブームが起きた．深層学習では大規模なモデル，大量のデータを強力な計算機パワーで学習することで，高性能な画像やテキストの認識や生成を可能にし，限られた環境でならば人と遜色ない識別能力を有するようになった．

特に，ニューラルネットワークを使った機械学習では，入力情報を潜在的な特徴空間で表現し，分類を出力できる．この処理は人の感覚器からの入力を知覚し，クオリアを形成し，言語化する過程に酷似している．また，画像認識に使う CNN（Convolutional Neural Networks）は，入力画像に含まれる特定の形状に反応する視覚マスキングのようなニューロンを形成したり，おばあちゃん細胞仮説のように猫にだけ反応するニューロンを形成したりする現象[24]が確認されている．

こうした背景から，1 回目の人工知能ブームで期待されたように，人と同様にマルチモーダルな処理によるより高性能な識別や生成を目指すのは自然な流れだと思われる．2 章で述べたように，人の認知は複数の感覚モダリティで同一の情報が来るとその認知を高めるように働く性質がある．深層学習にもこれを組み合わせ，より高性能な処理を目指す研究が提案されてきている．

マルチモーダル深層学習の研究事例

機械学習分野において，マルチモーダルの発想自体は昔から存在していたが，深層学習が登場し，ここ 10 年で急速に発展してきた[25]．そのため，現在研究されている手法は比較的新しい技術やアプローチが多く，一概した定義というものは難しい．共通するのは，画像やテキストなど，複数のモダリティを扱うということである．その処理の一例を図 3 に示す．

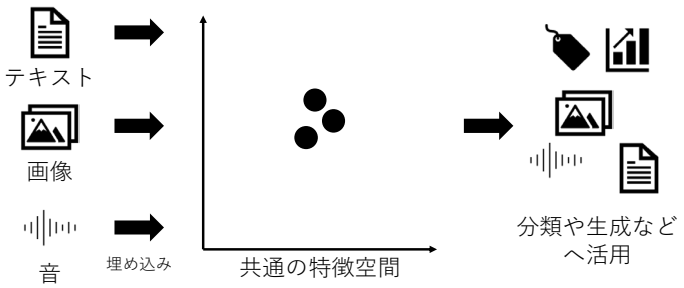


図 3 マルチモーダル深層学習の処理の一例

マルチモーダル深層学習では，テキストや画像など，複数のモダリティを同一の特徴空間に統合して利用する．これにより，テキストから得られた情報を画像へ変換したり，画像から得られた情報を音に変換したりと，異なるモダリティへの変換が可能となる．これらの処理において，特徴空間に上げることを埋め込み（embedding）やマッピング（mapping）と呼び，この特徴空間をマルチモーダル空間（multimodal space）や共通埋め込み空間（common embedding space），共通潜在特徴空間（common latent feature space）と呼ぶことがある．いずれにせよ英語での用語も対応する日本語訳もまだ確定していないものが多いが，マルチモーダルな情報を同一の特徴空間上で表現して扱っている点は共通している．

OpenAI 社が提案した CLIP（Contrastive Language–Image Pretraining）[26]では，画像とテキストの関連性を学習することで，画像からテキスト，テキストから画像への変換を可能とした．CLIP では，あらかじめ画像とそれに対応するテキストのデータセットを学習しておき，画像とテキストのペアの類似度を学習する．この情報を利用することで，新しいデータに対して画像とテキストによる補完を行うことでゼロショット学習を可能にしており，新しい画像分類タスクにおいても追加の学習なしで高い精度を発揮する．

また，大規模言語モデル（LLM: Large Language Model）の生成能力を補助する手法である RAG（Retrieval-augmented generation）にマルチモーダルな入力を用いる研究[27]もある．以前より LLM では，入力に完璧に答えようとするあまり，本来実在しない情報をあたかも本当にあるかのように提示してしまうため，その生成したテキストの信憑性が問題視されていた．そこで，外部のデータを使ってその信憑性を上げる RAG という手法が提案されていた．これにマルチモーダル情報を用いた研究[27]では，LLM の生成するテキストとは別に，外部からテキストや画像，音声などのマルチモーダルな追加データを入力とすることで，その信頼性を上げている．

これらの試みにより，今後は入力，出力ともにマルチモーダルな深層学習が主流となることが予測される．また，人で言う共感覚のようにクロスモーダルな処理を行うことで新しい発見が生まれるかもしれない．

4 まとめ

本稿では人の感覚のマルチモーダルと機械学習におけるマルチモーダルについて取り上げて紹介をした．

人の感覚モダリティは，複雑に絡み合っており，互いに影響することでその認知の補強を行なっていることがわかった．味と匂いが一致すると味が強化され，単語の意味と特徴が一致すると識別速度が上がるなどの事例が挙げられる．対して，認知が一致しないとき，McGurk 効果のように誤認をしたり，不気味の谷現象のように違和感を強く覚えたりすることがある．

人工知能，特に人の神経細胞の働きを模倣したニューラルネットワークでは，クオリアやおばあちゃん細胞のように，人の脳と興味深い共通点を見せた．そして，人と同様にマルチモーダルな情報をうまく扱うことで，分類精度の向上や生成のクオリティを上げることに成功している．

今後も，人の認知と人工知能の処理，２つのシステムを見比べることで，新たな知見や技術が生まれる可能性が考えられる．

参考文献

1. 北原義典，東倉洋一．音声の韻律情報と感情表現．電子情報通信学会技術研究報告; 1989; SP88-158, pp.27-32.
2. 重野純．感情を表現した音声の認知と音響的性質．心理学研究．2004; 74 (6), pp.540-546.
3. Scherer, K. R., & Zentner, M. R. Emotional effects of music: Production rules. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.). Music and emotion: Theory and research. Oxford University Press. 2001; 361–392.
4. E. Bigand, B. Poulin-Charronnat. Are we “experienced listeners”? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. Cognition, 2006; 100(1): 100-130. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.007.
5. Ronald E. Milliman. Using Background Music to Affect the Behavior of Supermarket Shoppers. Sage Publications, Inc. 1982; 46(3): 86-91.
6. Posner, M. I., Nissen, M. J., & Klein, R. M. Visual dominance: An information-processing account of its origins and significance. Psychological Review. 1976; 83(2), 157–171. https://doi.org/10.1037/0033-295X.83.2.157
7. Mehrabian, Albert. Silent Messages: Implicit Communication of Emotions and Attitudes (2nd ed.). Belmont, CA: Wadsworth. 1981.
8. Gross CG. Genealogy of the "Grandmother Cell. Neuroscientist. 2002; 8 (5): 512–518.
9. Ou, L.-C., et al. (2004). A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours. Color Research & Application, 29(3), 232-240.
10. Kaya, N., & Epps, H. H. Relationship between color and emotion: A study of college students. College Student Journal. 2004; 38(3), 396-405.
11. Roland W. Fleming, Christiane Wiebel, Karl Gegenfurtner. Perceptual qualities and material classes. Journal of Vision July 2013, 13(9).
12. Elliot, A. J., & Maier, M. A. Color Psychology: Effects of Perceiving Color on Psychological Functioning in Humans. Annual Review of Psychology. 2014; 65, 95-120.
13. McGurk, H., & MacDonald, J. Hearing lips and seeing voices. Nature. 1976; 264(5588), 746-748.
14. Campbell, R. The processing of audio-visual speech: Empirical and neural bases. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences. 1994; 343(1306), 71-78.
15. Stroop, J. R. Studies of interference in serial verbal reactions. Journal of Experimental Psychology. 1935; 18(6), 643-662.
16. MacLeod, C. M. Half a century of research on the Stroop effect: An integrative review. Psychological Bulletin. 1991; 109(2), 163-203.
17. Köhler, Wolfgang. Gestalt Psychology. New York: Liveright. 1929.
18. Occelli, Valeria; Esposito, Gianluca; Venuti, Paola; Arduino, Giuseppe Maurizio; Zampini, Massimiliano. The Takete—Maluma Phenomenon in Autism Spectrum Disorders. Perception. 2013; 42 (2): 233–241. doi:10.1068/p7357. ISSN 0301-0066. PMID 23700961.
19. Schifferstein, H. N., & Verlegh, P. W. The role of congruency and pleasantness in odor-induced taste enhancement. Acta Psychologica. 1996; 94(1-3), 87-105.
20. T. Narumi, S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa and M. Hirose. MetaCookie+. IEEE Virtual Reality Conference, Singapore. 2011; pp. 265-266, doi: 10.1109/VR.2011.5759500.
21. Masahiro Mori, et al. The Uncanny Valley [From the Field]. IEEE Robotics & Automation Magazine. 2012; 19(2). 98-199.
22. 伴祐樹．クロスモーダルインタラクション最前線．電子情報通信学会誌. 2021; 104(12).1271-1278
23. 浅野倫子．色字共感覚：色と文字と学習の結びつき．年度日本基礎心理学会第 2 回フォーラム　共感覚と色情報処理. 2019.
24. Jeff Dean, Andrew Ng. Using large-scale brain simulations for machine learning and A.I. 26 June 2012; [cited 12 Nov. 2024]. Available: https://blog.google/technology/ai/using-large-scale-brain-simulations-for/
25. Khaled Bayoudh, Raja Knani, Fayçal Hamdaoui & Abdellatif Mtibaa. A survey on deep multimodal learning for computer vision: advances, trends, applications, and datasets Survey. The Visual Computer. 2021; 38, 2939–2970.
26. Alec Radford, Jong Wook Kim, et al.: Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision. . 26 Feb 2021; [cited 12 Nov. 2024] Available: https://arxiv.org/abs/2103.00020
27. Wenhu Chen, Hexiang Hu, Xi Chen, Pat Verga, William W. Cohen: MuRAG: Multimodal Retrieval-Augmented Generator for Open Question Answering over Images and Text. Proceedings of the 2022 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2022; pages 5558–5570.

Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

脳の機能局在と音楽の関係

The relationship between brain functional localization and music

田部井 賢一 [1*]
Ken-ichi Tabei[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Ken-ichi Tabei, kenichi.tabei@gmail.com

Abstract Listening to and performing music brings about various changes in our brains. For many years, research on music and the brain has primarily focused on individuals with brain injuries. However, since the 1990s, the development of new techniques that allow for the non-invasive measurement of brain activity has led to a rapid increase in studies involving healthy individuals. This advancement has greatly deepened our understanding of the effects of music on the brain. In this paper, I will examine in detail how music influences the brain and the impacts of music therapy, from the perspective of brain function and music. Specifically, we will explore the effects of music on emotions, memory, attention, and motor functions, discussing the underlying mechanisms and presenting practical applications.

Keywords music; brain; functional localization

1 はじめに

音楽を聴いたり演奏したりすることで、私たちの脳には多様な変化が生じる。長年にわたり、音楽と脳に関する研究は、おもに脳に損傷を受けた人々を対象に行われてきた。しかし、1990 年代以降、脳の活動を、身体を傷つけずに（非侵襲的に）測定する新しい技術が開発されたことにより、健康な人々を対象とした研究も急増した。これにより、音楽が脳に与える影響についての理解が大きく深まった。

本稿では、音楽が脳にどのように影響を与えるのか、また音楽療法がどのような影響を及ぼすのかについて、脳機能と音楽の視点から詳しく見ていく。とくに、音楽が感情、記憶、注意、運動機能などに及ぼす影響について考察し、その具体的なメカニズムと実際の応用例を紹介する。

2 脳の構造と機能

脳の概要

脳は私たちの体で極めて重要な役割を果たしている。頭部に位置し、大脳半球、間脳、小脳、中脳、橋、延髄、そして脊髄など、いくつかの部分に分かれている。人間の脳の重さは約 1400 グラムで、大脳半球の表面積は約 2200 平方センチメートルである。

脳の中には神経細胞と呼ばれる多くの細胞が存在し、これらの細胞が脳の機能を担っている。神経細胞には、中心に核がある細胞体、他の細胞から情報を受け取るための樹状突起、情報を他の細胞へ送る軸索という部分がある。これらの神経細胞は電気信号を介して情報を伝達し合っており、この信号は活動電位と呼ばれる。

さらに、神経細胞同士はシナプスという接点で繋がっており、シナプスにおいて化学物質が放出されることで情報が次の神経細胞へと伝達される。このようにして、脳は私たちの思考、運動、感覚などをコントロールしている。

脳の外側にある灰色の部分を灰白質と言い、ここには神経細胞が集まっている。一方、内側の白い部分は神経繊維が集まっており、これを白質と呼ぶ。灰白質は基本的に 6 層の構造をしており、部分によって細胞の配置が異なる。この細胞の配置の違いに基づいて脳を区分するのが脳地図であり、ブロードマンの脳地図がその一例である。この脳地図は解剖学的な違いに基づいているが、実際のところ脳の機能による区分ともよく一致している。これは、脳が特定の機能を効率的に行うように特化しているためである。大脳は、大脳縦裂という大脳を左右に分ける深い溝によって右脳と左脳に分かれており、右脳は体の左側を、左脳は体の右側をそれぞれ制御する。たとえば、視覚情報は、私たちが見る世界の左半分を右脳が、右半分を左脳が処理する。これにより、脳は情報を効率的に処理し、私たちが日常生活で体験するさまざまな活動を支えている。

脳の機能局在と音楽の関係

機能局在とは、脳の大脳皮質の各部分が異なる機能を持つことを意味する。たとえば、言語に関連する脳の領域として、 左半球に位置するブローカ野（話す機能を制御）とウェルニッケ野（話された言葉を理解）が有名である。 本節では、大脳を構成する 4 つの葉（前頭葉、側頭葉、 頭頂葉、後頭葉）を簡単に説明したのち、側頭葉にあって音・音楽を処理する聴覚野について、独立して取り上げる。

前頭葉は私たちの脳の前部に位置しており、とくに高等ほ乳類ではよく発達している。ヒトの場合、前頭葉は大脳皮質の表面積の約 3 分の 1 を占めている。この部分には運動野が含まれており、中心溝に沿って位置している。運動野は私たちの手足の動きを直接コントロールする役割を持っている。運動野の前には運動前野があり、これは動作の流れをスムーズにしたり、動作の計画を立てるのに関与している。たとえば、ヴァイオリンを弾く際の左手の動きは、脳の運動野と感覚野が協力して制御していることが研究で示されている。また、よく練習したピアノ曲を聞くと、その人の運動野の活動が活発になるという研究結果もある。前頭葉のさらに前部には前頭連合野（連合野とは大脳皮質において、感覚情報や運動情報の統合と高次の認知機能に関わる領域のこと）があり、ここは推理、判断、計画、評価といった高次の思考機能に関わっている。さらに、前頭連合野の後部には言葉の発話をコントロールするブローカ野が位置している。これらの領域が複雑に連携して、私たちが日常で行うさまざまな思考や動作を可能にしている。

側頭葉は私たちの脳の一部で、音楽や言語などの重要な機能を担っている。側頭葉の外側には上、中、下の 3 つの側頭回があり、これらは上側頭溝、中側頭溝、下側頭溝によって分けら

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

れている。側頭葉の内側には海馬傍回があり、その深部には記憶に関わる海馬や感情を制御する扁桃体が位置している。とくに横側頭回という側頭葉の外側溝下壁には聴覚野があり、これが音を処理する。また、左側の上側頭回後部にはウェルニッケ野があり、これは言葉の理解に特化している。側頭連合野は物を識別したり、人の顔を認識するのに重要で、聴覚に関する短期記憶の保持にも関わっている。側頭葉が音楽の受容にどう関与しているかは、難治性てんかんの患者を対象にした側頭 葉切除術の研究からも明らかにされている。たとえば、右側頭葉が切除されると旋律の知覚や記憶に障害が出ることが知られている。左側頭葉が切除されると、音程の弁別に問題が生じることも報告されている。また、側頭葉内での音楽処理の場所を特定する研究では、右上側頭回前部の切除により拍子の感覚が、後部の切除により音程やリズム、拍子の弁別能力が障害されることが示された。これにより、音楽の各構成要素を処理する脳領域が側頭葉内で異なることが示唆されている。

頭頂葉は私たちの脳の上部、中心溝の後方に位置し、おもに体の感覚や空間に関する情報の処理を担当している。頭頂葉の中心後回には体性感覚野があり、身体の感覚を処理する。さらに後部には頭頂連合野があり、この部分の損傷により、身体失認、空間知覚障害、観念失行、構成失行などの症状が生じることがある。頭頂連合野は、空間の視覚情報や体の位置情報を処理することで、運動の制御、注意、眼の動きを助ける。また、音高や時間に基づく旋律の変換にも関与すると考えられている。

後頭葉は、頭頂後頭溝より後方に位置し、おもに視覚機能を担当している。視覚野と視覚連合野があり、視覚伝導路は眼球から始まり、一次視覚野（後頭葉の内側面に位置）で終わる。視覚情報はここから 2 つの主要な経路に分かれる。背側視覚経路は空間に関わる情報（奥行き、立体感、物の動きなど）を処理し、腹側視覚経路は物体の形や色など、物の同定に関わる情報を処理する。楽譜を読む際には、とくに背側視覚経路が関与していることが示唆されている。これらの視覚経路は、私たちが見たものをどのように認識し、反応するかに大きく寄与している。

聴覚野

音楽が耳に届くと、まず音の周波数や強さなどの情報が聴覚野で処理される。聴覚野は音を細かく分解し、音程、リズム、音色といった音楽の要素を識別するためにとても重要である。ここで「どの音が高いか」「どの音が低いか」「どの楽器が鳴っているか」などの基本的な情報を処理する。聴覚野は私たちの脳の側頭葉にある部分で、音を処理する重要な役割を担っている。聴覚野は脳の深部に位置し、外からは見えない内側の構造である。この領域は横側頭回と呼ばれ、側頭葉の一部に属している。聴覚野は、大まかに分けて一次聴覚野、二次聴覚野、そして連合聴覚野という 3 つの部分に分類される。一次聴覚野（ブロードマンで言う 41 野） は音の基本的な情報を処理し、二次聴覚野（42 野）はより複雑な音の情報を扱う。連合聴覚野（22 野の一部）は音の情報をさらに深く解析し、意味を把握するのに関与している。これらの聴覚領域は、音の情報を中継する部位である視床の内側膝状体から直接情報を受け取る。とくに一次聴覚野では、音の周波数がどのように表現されているかが重要である。聴覚野は、音の位置を特定する背側経路と、複雑な音の分析を行う腹側経路という 2 つの主要な情報経路に分かれている。ここでさらに高次の聴覚処理が行われる。このように聴覚野は複雑なネットワークを形成し、私たちが聞くすべての音を処理している。

脳の研究が進むにつれて、電気刺激を用いた実験などから、聴覚野の機能についての理解がさらに深まってきている。音楽を聴くとき、その分析はまず聴覚伝導路と一次聴覚野で始まる。一次聴覚野では、音の基本的な要素が処理される。その後、音楽のより複雑な側面は聴覚連合野で分析される。ここでは、個々の音がもつニュアンスや、音と音のつながりによって成立する意味合い、感情的な要素が解析されるため、音楽をより深く理解することができる。音声言語の情報処理はおもに脳の左半球で行われるのに対して、音楽の情報処理はおもに右半球で行われるとされている。この違いは、左半球が速い情報処理に優れ、右半球が時間的に変化が緩やかで、全体の雰囲気や感覚を掴むような情報に適しているためかもしれない。この特性の違いは、左右の聴覚野が持つ独特の能力を反映していると考えられる。

このような聴覚野の非対称性は、聴覚情報の処理において非常に重要な役割を果たしている。左半球は音の細かい時間的変化や言語の分析に特化し、右半球は音のスペクトルや感情的な要素の処理に優れていることから、音楽や言語の知覚が左右の脳の異なる働きによって支えられているのである。

3 音楽と脳活動

この節では、これまでの脳機能研究で明らかになった音楽と脳の関係について示す。

前頭葉に対して

感情の調整、認知機能の向上、社会的交流の促進という複数の面で、音楽は前頭葉を活性化し、全体的な生活の質を向上させる手段として有効であることが示されている。とくに高齢者に対しては、前頭葉の健康維持と機能改善に大いに貢献することが期待される。感情制御と前頭葉に関して、Koelsch, Fritz[1]は、音楽が脳の感情処理に与える影響を fMRI を用いて調査した。音楽を聴くことは前頭葉の一部である前部帯状皮質（ACC）や内側前頭前皮質（mPFC）を活性化し、これが感情の調整に関与していることが示された。

認知機能の向上と前頭葉に関して、Thaut, Peterson[2]は、音楽リズムが前頭葉の認知機能に与える影響を検討した。リズムに基づく音楽は前頭前皮質（PFC）の活動を増加させ、とくに作業記憶や注意力の向上に寄与することが示された。また、Sarkamo, Tervaniemi[3]は、 音楽が脳卒中患者の認知機能に与える影響を調査した。音楽療法を受けた患者は、前頭葉の活性化に伴い、注意 力、記憶力、実行機能の改善が観察された。

社会的交流の促進と前頭葉に関して Rabinowitch, Cross[4]は、 合奏活動が前頭葉の社会的認知に与える影響を検討した。

合奏活動は前頭前皮質の社会的認知領域を活性化し、共感や協調行動を促進することが示された。

側頭葉に対して

音楽が側頭葉に与える影響が明らかになっている。音楽は、聴覚情報の処理、記憶の保持、感情の認識、認知機能の向上、社会的交流の促進という複数の面で側頭葉を刺激し、高齢者を含む多くの人々の生活の質を向上させる手段として有効であることが示されている。これにより、音楽は健康維持と機能改善に大いに貢献することが期待されている。 聴覚情報の処理と側頭葉に関して、Zatorre, Chen[5]は、音楽聴取が側頭葉の活動に与える影響を fMRI を用いて調査した。音楽を聴くことで、側頭葉の一次聴覚野（A1）や連合聴覚野（A2）が活性化され、音のピッチやリズム、メロディの処理が行われることが示された。

記憶の保持と側頭葉に関して、Samson, Dellacherie[6]は、側頭葉が音楽に関連した記憶に与える影響を調査した。音楽療法は、とくに側頭葉の海馬や側頭極の活動を促進し、音楽に関連するエピソード記憶や作業記憶を強化し、また側頭葉を活性化することで記憶機能の維持・改善に寄与することが示唆された。

感情の認識と側頭葉に関して、Blood and Zatorre[7]は、音楽による感情の認識が側頭葉に与える影響を PET スキャンを用いて調査した。感動的な音楽（特定の音楽ジャンルや曲ではなく、聴く人にとって感情的な意味や深い共鳴を持つ音楽）を聴くと、側頭葉の内側側頭回や扁桃体が活性化され、強い感情反応が引き起こされることが示された。

認知機能と側頭葉に関して、Thompson, Schellenberg[8]は、音楽トレーニングが側頭葉の認知機能に与える影響を調査した。 長期間の音楽トレーニングは、側頭葉の灰白質の密度を増加させ、言語能力や空間認知能力の向上に寄与することが示された。

社会的交流と側頭葉に関して、Wan, Bazen[9]は、 音楽活動が自閉症スペクトラム障害（ASD）児の社会的交流能力に与える影響を調査した。 音楽療法は、側頭葉の聴覚処理領域の活動を高め、ASD 児のコミュニケーションスキルや社会的反応性を改善することが示された。

頭頂葉に対して

音楽は、空間認知、感覚統合、運動機能の調整、注意力の強化、社会的認知の向上という複数の面で頭頂葉を刺激し、とくに高齢者の認知機能や運動機能の維持・改善に効果的であることが示されている。これにより、音楽は頭頂葉の健康維持と機能改善に大いに貢献することが期待される。

空間認知と頭頂葉に関して、Janata, Birk[10]は、 音楽と空間認知の関連性を調査した。音楽を聴くことが頭頂葉を活性化し、音楽の旋律やリズムが空間的なイメージを喚起することが示された。とくに右頭頂葉の活動が顕著であったことが示された。

感覚統合と頭頂葉に関して、Schürmann, Raij[11]は、 音楽聴取が頭頂葉の感覚統合機能に与える影響を調査した。音楽を聴くことは、頭頂葉の感覚統合領域（とくに左頭頂葉）の活動を高めることが示された。これにより、異なる感覚情報（視覚、聴覚、触覚）の統合が促進されることが示された。

運動機能の調整と頭頂葉に関して、Brown, Martinez[12]は、音楽に合わせた運動が頭頂葉の運動計画に与える影響を調査した。音楽に合わせた運動は、頭頂葉の運動計画および実行に関連する領域を活性化し、運動制御の精度が向上することが示された。

注意力と頭頂葉に関して、Husain, Thompson[13]は、音楽が注意力と頭頂葉の関係に与える影響を調査した。本研究ではモーツァルトのソナタを熟練したピアニストが演奏し、MIDI ファイルとして録音した。このファイルを編集し、 テンポ（速いまたは遅い）と調性（長調または短調）の異なる 4 バージョンを作成した。音楽を聴くことで、頭頂葉の注意力制御に関連する領域が活性化され、とくに選択的注意力の向上が観察された。

社会的認知と頭頂葉に関して、 Molnar-Szakacs and Overy[14]は、 音楽とミラーシステム（社会的認知）の関連性を調査した。音楽活動 （とくに合奏や歌唱）は、頭頂葉を含むミラーシステムの活動を促進し、他者の行動理解や共感能力を高めることが示された。

後頭葉に対して

音楽が後頭葉に与える影響が明らかになっている。 音楽は、視覚情報の処理、視覚的イメージの生成、視覚と聴覚の統合、感覚補完、視覚記憶の強化という複数の面で後頭葉を刺激し、高齢者を含む多くの人々の視覚機能や全体的な感覚体験を向上させる手段として有効であることが示されている。これにより、音楽は後頭葉の健康維持と機能改善に大いに貢献することが期待される。

視覚情報の処理と後頭葉に関して、Zatorre and Halpern[15]は、音楽が視覚イメージの生成に与える影響を調査した。音楽を聴くことで、後頭葉の視覚野（とくに一次視覚野）が活性化され、音楽に対応する視覚的イメージが生成されることが示された。音楽療法は後頭葉を刺激し、視覚的想像力を高める効果がある可能性が示唆されている。

音楽の視覚化と後頭葉に関して、Janata, Birk[10]は、音楽を聴く際の脳の活動パターンを調査した。音楽を聴くとき、後頭葉の活動が見られ、これは音楽のリズムやメロディが視覚的に表現される際に関与することが示された。

視覚と聴覚の統合と後頭葉に関して、 Hickok, Buchsbaum[16]は、 視覚と聴覚の統合が後頭葉に与える影響を調査した。音楽に伴う視覚情報（たとえば楽譜や映像）は、後頭葉を含む視覚処理領域を活性化し、視聴覚情報の統合が強化されることが示された。

感覚補完と後頭葉に関して、Koelsch[17]は、音楽と視覚情報の感覚補完についての研究を行った。音楽が視覚障害者の視覚イメージを補完する手段として有効であることが示され、後頭葉の活動がこれに関連していることが確認された。

視覚記憶と後頭葉に関して、Kraus and Chandrasekaran[18]は、音楽訓練が視覚記憶に与える影響を調査した。音楽訓練を受けた個人は、後頭葉の視覚処理領域が強化され、視覚記憶能力が向上することが示された。

4 まとめ

本稿では、音楽が脳の各部位に与える影響について詳しく考察した。音楽は前頭葉、側頭葉、頭頂葉、後頭葉に対してそれぞれ異なる刺激を与え、感情の調整、認知機能の向上、社会的交流の促進、記憶の強化、空間認知の改善など、多岐にわたる効果が示されている。特に、音楽療法や音楽トレーニングは、脳の健康維持や機能改善に有効な手段として期待されている。これらの知見は、音楽が人間の脳機能に深く関与し、その活用が医学や教育分野で大きな可能性を秘めていることを示唆している。本稿は貫, 田部井[19]に改変を加えたものである。

参考文献

1. Koelsch S, Fritz T, DY VC, Muller K, Friederici AD. Investigating emotion with music: an fMRI study. Hum Brain Mapp. 2006;27(3):239-50. Epub 2005/08/04. doi: 10.1002/hbm.20180. PubMed PMID: 16078183; PubMed Central PMCID: PMCPMC6871371.
2. Thaut MH, Peterson DA, McIntosh GC. Temporal entrainment of cognitive functions: musical mnemonics induce brain plasticity and oscillatory synchrony in neural networks underlying memory. Ann N Y Acad Sci. 2005;1060:243-54. Epub 2006/04/07. doi: 10.1196/annals.1360.017. PubMed PMID: 16597771.
3. Sarkamo T, Tervaniemi M, Laitinen S, Forsblom A, Soinila S, Mikkonen M, et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. Brain. 2008;131(Pt 3):866-76. Epub 2008/02/22. doi: 10.1093/brain/awn013. PubMed PMID: 18287122.
4. Rabinowitch T-C, Cross I, Burnard P. Long-term musical group interaction has a positive influence on empathy in children. Psychology of Music. 2013;41(4):484-98. doi: 10.1177/0305735612440609.
5. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. Nat Rev Neurosci. 2007;8(7):547-58. Epub 2007/06/23. doi: 10.1038/nrn2152. PubMed PMID: 17585307.
6. Samson S, Dellacherie D, Platel H. Emotional power of music in patients with memory disorders: clinical implications of cognitive neuroscience. Ann N Y Acad Sci. 2009;1169:245-55. Epub 2009/08/14. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04555.x. PubMed PMID: 19673788.
7. Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. Proc Natl Acad Sci U S A. 2001;98(20):11818-23. Epub 2001/09/27. doi: 10.1073/pnas.191355898. PubMed PMID: 11573015; PubMed Central PMCID: PMCPMC58814.
8. Thompson WF, Schellenberg EG, Husain G. Decoding speech prosody: do music lessons help? Emotion. 2004;4(1):46-64. Epub 2004/04/01. doi: 10.1037/1528-3542.4.1.46. PubMed PMID: 15053726.
9. Wan CY, Bazen L, Baars R, Libenson A, Zipse L, Zuk J, et al. Auditory-motor mapping training as an intervention to facilitate speech output in non-verbal children with autism: a proof of concept study. PLoS One. 2011;6(9):e25505. Epub 2011/10/08. doi: 10.1371/journal.pone.0025505. PubMed PMID: 21980480; PubMed Central PMCID: PMCPMC3183050.
10. Janata P, Birk JL, Van Horn JD, Leman M, Tillmann B, Bharucha JJ. The Cortical Topography of Tonal Structures Underlying Western Music. Science. 2002;298(5601):2167-70. doi: doi:10.1126/science.1076262.
11. Schürmann M, Raij T, Fujiki N, Hari R. Mind's Ear in a Musician: Where and When in the Brain. NeuroImage. 2002;16(2):434-40. doi: https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1098.
12. Brown S, Martinez MJ, Parsons LM. The neural basis of human dance. Cereb Cortex. 2006;16(8):1157-67. Epub 20051012. doi: 10.1093/cercor/bhj057. PubMed PMID: 16221923.
13. Husain G, Thompson WF, Schellenberg EG. Effects of Musical Tempo and Mode on Arousal, Mood, and Spatial Abilities. Music Perception: An Interdisciplinary Journal. 2002;20(2):151-71. doi: 10.1525/mp.2002.20.2.151.
14. Molnar-Szakacs I, Overy K. Music and mirror neurons: from motion to 'e'motion. Soc Cogn Affect Neurosci. 2006;1(3):235-41. doi: 10.1093/scan/nsl029. PubMed PMID: 18985111; PubMed Central PMCID: PMCPMC2555420.
15. Zatorre RJ, Halpern AR. Mental concerts: musical imagery and auditory cortex. Neuron. 2005;47(1):9-12. Epub 2005/07/06. doi: 10.1016/j.neuron.2005.06.013. PubMed PMID: 15996544.
16. Hickok G, Buchsbaum B, Humphries C, Muftuler T. Auditory-motor interaction revealed by fMRI: speech, music, and working memory in area Spt. J Cogn Neurosci. 2003;15(5):673-82. doi: 10.1162/089892903322307393. PubMed PMID: 12965041.
17. Koelsch S. Neural substrates of processing syntax and semantics in music. Curr Opin Neurobiol. 2005;15(2):207-12. Epub 2005/04/16. doi: 10.1016/j.conb.2005.03.005. PubMed PMID: 15831404.
18. Kraus N, Chandrasekaran B. Music training for the development of auditory skills. Nat Rev Neurosci. 2010;11(8):599-605. Epub 2010/07/22. doi: 10.1038/nrn2882. PubMed PMID: 20648064.
19. 貫 行子, 田部井 賢一, 北脇 歩, 阿部 真貴子, 押山 千秋. 最新研究による高齢者音楽療法: 音楽之友社; 2024.

PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス：2024 年度の事例

Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2024

中鉢 欣秀[1*] 小澤 裕太[1] 木村 和郎[1] 高嶋 隆一[1] 塚本 耕司[1] 益田 匡史[1] 若松 隼也[1]
Yoshihide Chubachi[1*] Yuta Ozawa[1] Kazuro Kimura[1] Ryuichi Takashima[1] Koji Tsukamoto[1] Tadashi Masuda[1] Shunya Wakamatsu[1]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
[*]Corresponding author: Yoshihide Chubachi, yc@aiit.ac.jp

Abstract Agile development has been widely adopted as a software development method other than the traditional waterfall method. Scrum is becoming established as an agile development method and is recognized as a standard process. The main theme of this PBL is the acquisition of agile development techniques. 2024 is to improve agile development methods by integrating Scrum-type agile development and UML modeling. We will examine further utilization of UML for visualization of architecture and as a communication tool with stakeholders.

Keywords agile development; scrum; uml Modeling

1 はじめに

ソフトウェア開発の手法として，従来型のウォーターフォール型に加え，アジャイル開発が広く採用されるようになってきた．アジャイル開発の手法としてはスクラム [1] が定着しつつあり，標準的なプロセスとして認知されつつある．

筆者（中鉢）が担当する PBL では，アジャイル開発技術の習得を大きなテーマとして設定している [2,3]．この PBL の過去事例は文献 [4–6] に発表した．

2024 年度は，スクラム型のアジャイル開発と UML のモデリングを融合させることで，アジャイル開発手法の改善を行うことをテーマに設定した．UML によりアーキテクチャを可視化したり，ステークホルダとのコミュニケーション手段としての更なる活用を検討する．本論文は 2024 年度前期の成果発表会で学生が作成した資料をもとに，この活動の成果を述べる．

2 PBL のテーマと目的

2024 前期の PBL における全体テーマ

2024 年度前期の PBL のテーマとして，本学の PBL の全体テーマとしてアジャイル開発と UML のモデリングを併用することによりスクラムにおける課題解決を設定した．2024 年度前期の PBL のテーマを図 1 に示す．

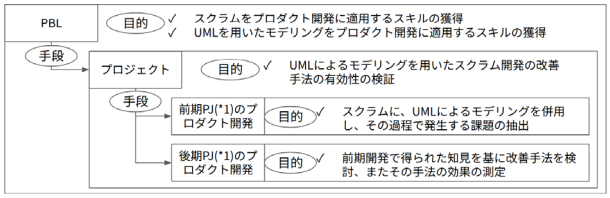


図 1 2024 年度前期の PBL の目的

スクラム開発手法の改善を要する点

アジャイル開発手法であるスクラムにおいて，プロダクトオーナーの要求を獲得するための方法としてプロダクトバックログが用いられる．スクラムガイド [1] によれば，プロダクトバックログは「創発的かつ順番に並べられた，プロダクトの改善に必要なものの一覧である．これは，スクラムチームが行う作業の唯一の情報源である」とされる．

スクラムガイドにおいてはプロダクトバックログの具体的な作成手法については言及されていない．「プロダクトオーナーは，効果的なプロダクトバックログ管理にも責任を持つ」とされているものの，プロダクトオーナーの要求をどのように獲得し，プロダクトバックログに反映させる方法についての具体的な説明はない．

また，プロダクトバックログは，プロダクトバックログアイテム（PBI）の優先順位付きリストである．プロダクトバックログアイテムにはユーザーストーリーを記述することが多い．ユーザーストーリーはプロダクトを利用する際の流れだと解釈できる．プロダクトの全体的なユーザーストーリーがあり，これを分割したものが PBI である．

ここで，PBI は優先度順に並べ替えるというルールがある．その結果，プロダクトバックログリストを開発に用いる際の制約として，開発期間のプロダクトバックログの順序関係は，プロダクト全体のユーザーストーリを反映していないことが発生する．

加えて，PBI の内容は自然言語を用いて記述するため，書き手が十分に注意しない限り，記述に曖昧性が発生する可能性もある．

以上を踏まえ，スクラムガイドに則ってプロダクトバックログを利用する場合にはある種の制約が発生しているとし，そこから派生する課題と，より具体的な問題を分析した（図 2）．

これにより，スクラムを実施する際の問題として次のものが抽出された．

1. PBI 同士の関連が分かりづらく，重複作業や依存の見落しが生じる
2. スプリントレビューで全体のどこを実装しているのか分かり辛い
3. プロダクトオーナーの意思と齟齬がある PBI ができあがる

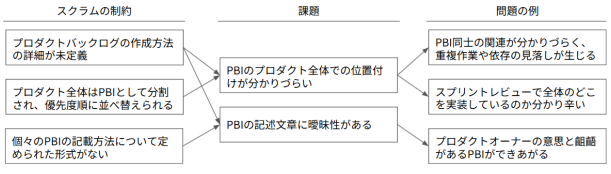


図 2 スクラムの制約と課題及び問題の例

本プロジェクトでは，これらのプロダクトバックログに関連する問題を UML によるモデリングを併用することで解決することを検討する．加えて，プロダクトオーナーの要求をより明確にし，

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

開発チームとのコミュニケーションを円滑にする方法についても探る．

取り組む課題（RQ）

PBL で取り組む課題として，「プロダクトバックログと UML によるモデリングを併用する事で前節で述べた課題を解決できないか（RQ)」という仮説を立て，その検証を実施する．

PBI の取り扱い方法に起因する課題は，

1. PBI のプロダクト全体での位置付けの確認の難しさ
2. PBI の記述の曖昧さ

による．

一方，オブジェクト指向モデリングで用いる UML はシステムの設計や仕様を視覚的に表現するための標準化された形式言語である．UML は表記法が統一されているため，その表現により受け取り手側に解釈を任される部分が少ない．このような特性を備える UML と，自然言語により作成する PBI を組み合わせることでどのような効果が得られるかを確かめる．

3 アジャイル開発と UML を併用する提案手法

提案手法

設定した RQ を検証するために，実際に UML によるモデリングを併用したソフトウェア開発を実施する．開発のプロセスは図 3 に示すとおり，大まかに項番 A，B，C の 3 ステップからなる．項番 A は UML モデリングを通した要求分析の工程である．項番 B が UML を用いた分析結果からプロダクトバックログを作成する工程となる．項番 C では前工程で作成したプロダクトバックログを開始点としてスクラムによる開発を行う工程である．

以上の開発プロセスを一通り実施することで，本提案手法の有効性を検証すると共に，新たに課題を抽出することを狙う．

項番	適用時期	改善手法	活用イメージ
A	要求獲得・要件定義フェーズ	UMLモデリング(ユースケース図、アクティビティ図、クラス図) を元にした要求獲得、要件定義	・業務のAsIs, ToBeを定義したUMLモデリング ・クラス図を用いた情報に関する用語の統一
B		UMLモデリングを用いてユースケース図からプロダクトバックログを生成	・ユースケース図からのPBIの作成 ・アクティビティ図によるPBI記述の視覚化
C	開発フェーズ	ユースケース図、アクティビティ図を用いたプロダクトオーナー、開発チームでの情報同期	・スプリントレビュー時のPBIから紐付くユースケース図、アクティビティ図を用いた目線合わせ

図 3　アジャイルと UML を併用した開発プロセス

先行研究

特定非営利活動法人 UML モデリング推進協議会（以下，UMTP）は「アジャイルソフトウェア開発向け UML 適用ガイドライン Ver1.2[7]」を公開している．このガイドラインは UML の経験者がアジャイル開発を始める際に参考になるように書かれている．p.9 に「初期のプロダクトバックログの作成」について述べられており，PBI の作成にはユースケース図が対応することが記載されている．

本提案手法もユースケース分析の結果を用いて初期の PBI を作成することを基本的な方針とするが，同ガイドラインにはユースケース分析の結果から PBI を具体的にどのように作成し，その後のスクラム開発に活用していくのかについての具体的な説明は見当たらない．

サントスら [8] は産学連携 R&D プロジェクトにおいてスクラム開発に UML によるモデリングを組み込むことにより得た筆者らの教訓を紹介している．アジャイル開発は産業界の実務家にとっては一般的に使用されているものの，R&D を共同で実施する研究機関にとっては馴染みがないため，両者のニーズを満たす手段として UML とアジャイル開発の併用は有効であるとしている．

対して，本研究では単なる異なる立場の橋渡しのために UML を利用するのではなく，アジャイル開発と UML を併用することで開発手法そのものの改善を探ることを目的としている．

アジャイル開発と UML を併用した開発プロセスを進めるにあたり，図 3 の項番 A,B にあたる要求獲得・要件定義を行う手法として RDRA[9,10] を採用した．RDRA はモデルベースのビジネスとシステムの可視化手法であり，ToBe モデルと AsIs モデルの両方に対応している．手法が体系的に整理されており，スムーズに実施できると判断した．

開発するプロダクト

今回の開発では教員がプロダクトオーナーとなり，学生がスクラムチームを構成し，交代でスクラムマスターを担当する．作成するプロダクトは教員のレポート採点業務を支援するためのサービス（manakan）とした．

図 4 にこのプロダクトのエレベータピッチを示す．また，このプロダクトにより採点業務がどのように変化するかを図 5 に示す．

[レポート採点の負担を軽減] したい
[中鉢先生向け] の
[manakan] というプロダクトは、
[レポート採点支援ツール] です。
これは、**[レポートの評価をグラフィカルにグルーピングを行うこと]** ができ、
[既存の記憶に頼った手動での評価] とは違って、
[学生が提出したレポートを相対的に評価してグラフィカルにグルーピングを行い、個人への点数付け調整を行う機能] が備わっている。

図 4　開発するプロダクトのエレベーターピッチ



図 5　プロダクトの導入前後における業務の変化

本開発では RDRA に基づき，図 6 に示すプロセスに従い初期の PBI の作成まで実施する．図中，「情報モデル」は RDRA の用語であり，一般的な UML モデリングでのクラス図に相当する．

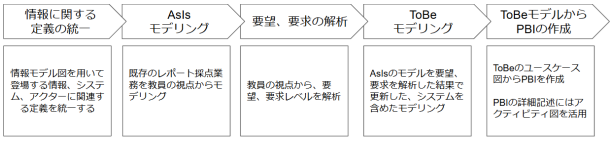


図 6　RDRA を用いたプロセス

4　手法の適用結果

情報モデル図

情報モデル図は情報（用語）とそれらの関係を示した図である（図 7）．後段のプロダクトバックログの作成においては必ずこのモデルで定義した用語を使用することとした．

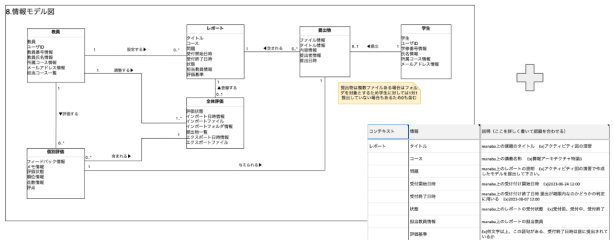


図 7　情報モデル

AsIs モデル

AsIs モデルは既存のレポート採点業務を教員の視点からモデリングしたものである（図 8）．このモデルはプロダクトオーナーに対するヒアリングに基づき作成した．

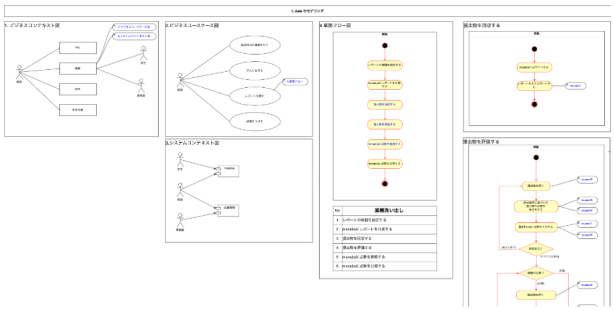


図 8　AsIs モデル

要望・要求の解析

PO からの要望・要求をユースケース分析したものを図 9 に示す．この分析により，ユーザーが欲しているものを明確化している．

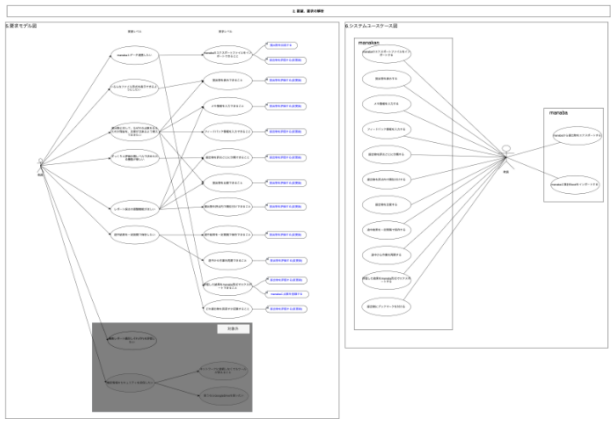


図 9　要望・要求の解析

ToBe モデル

AsIs のモデルに対して要望・要求を解析した結果を反映し，ToBe モデルを作成した（図 10）．作成した内容はプロダクトオーナーとの合意を得て，初期の PBI に落とし込む．

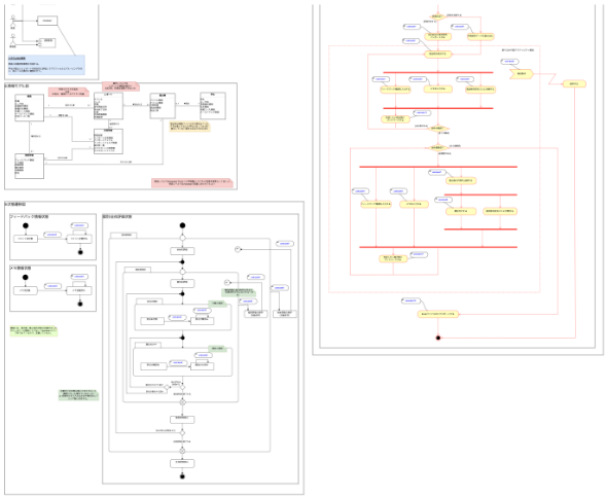


図 10　ToBe モデル

ToBe モデルから PBI の作成

各ユースケースに示される機能や要求事項をプロダクトバックログアイテムとして，プロダクトバックログリストの形式に変換した（図 11）．

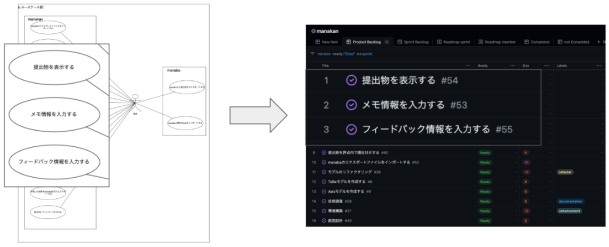


図 11　Tobe モデルから初期の PBI の作成

5　提案手法の有用性の考察と課題

有用性評価の観点

本手法は上流工程における要求獲得・要件定義のみならず，その後のアジャイル開発においても継続して UML を活用することを目的としている．したがって，本手法の有用性を検証するためには，前節までで作成したモデルをその後のスクラム開発で実施するスプリントの中でどのように活用できたかを評価する必要がある．

また，アジャイル開発においてプロダクトバックログは常にリファインメント（洗練）される．その際には内容の追加・変更・削除や優先順位の変更等が発生する．このような変更に対してモデルの内容も変更する可能性があり，このような場合に対応するための工数も加味する必要がある．

スプリントレビューにおける効果

スプリントの終了時に毎回実施するスプリントレビューにおいては，スプリントで何が達成されたかをレビューする [1]．レビュー対象には「インクリメント」が含まれ，これはスプリントにおいて完成した成果物の増分である．

従来のスクラムにおいては，インクリメントのレビューにおいては，プロダクトバックログに基づいて行う．プロダクトバックログは開発する内容の優先度付きリストであるから，優先順位の高い順番でソートされている．スクラムチームは，このリストの上から順番にインクリメントを説明する．この際，プロダクトのインクリメント部分のデモを行うことが多い．

プロダクトバックログの例を図 12 に示す．リストの各アイテムは優先順に並べられており，また各アイテムは全体のユーザーストーリーが細切れになっている．従って，このリストを上から順番に閲覧しても，全体としてのユーザーストーリーを読み取ることは困難である．

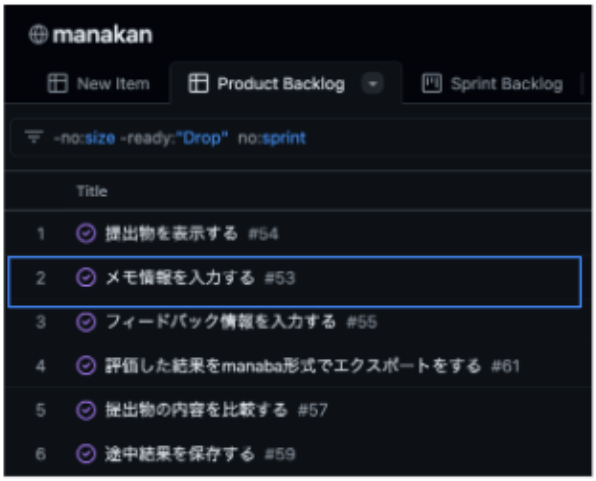


図 12　プロダクトバックログの例

プロダクトオーナーは，プロダクト全体が提供するユーザーストーリーのうち，一部のデモンストレーションを見て PBI が完了したかどうかの判断をしなくてはならない．

これに対して，本手法ではプロダクトバックログに加えて UML で作成したモデルも参照することができる．図 13 は同じプロダクトのアクティビティ図である．

プロダクトオーナーはこのアクティビティ図により示されるプロダクトの全体像を俯瞰しながら，インクリメントのレビューができるようになる．

提案手法の課題

今回の開発を通して，本手法の課題も浮かび上がってきた．

最初の課題は，モデリングを行うフェーズから開発を行うフェーズへ移行するタイミングである．本手法では，もともと，上流工程における UML を用いたモデリングとその後のアジャイル開発フェーズがシームレスにつながることを想定していた．しかしながら，初期のモデルを作成する段階でどこまでやればモデリングが完了し，アジャイル開発に入れるのかという見極めができなかった．この様子を図 14 に示す．

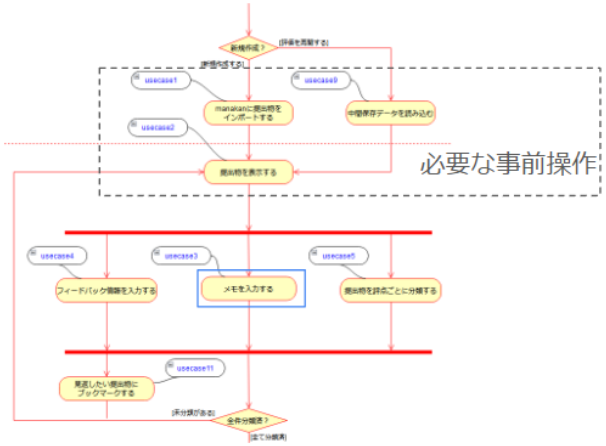


図 13　レビューに用いるアクティビティ図

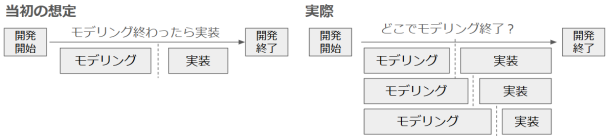


図 14　いつまでモデリングするべきか

これはどこまで精緻にモデリングをすれば実装を始めて良いのかという判断基準が準備できなかったことによる．モデリング作業の量が増えれば，迅速に開発を行うことができるスクラムの利点を損ねることは理解できているものの，実際の判断は難しい．

本プロジェクトのメンバーは，判断に悩んだポイントとして次のものを指摘した．

- クラス図で操作や型，可視性を考慮し，具体的にしたほうが良いか
- 業務ドメイン以外の，アプリケーションや UI のクラスもモデリングするのか
- シーケンス図は必要か，不要か
- 状態遷移図は必要か，不要か

大まかに言えば，実装レベルのモデリングが必要かどうかという点であろう．アジャイル開発においては，実装レベルのモデリングの価値はあまり高くないと考えられる一方，アジャイル開発においてもプロダクト内部のアーキテクチャ設計をすべきかどうか，という点に関しては更なる検討が必要だ．

モデルに変更を反映する手間が大きい

スクラムのスプリントにおいてモデリングを併用すると，プロダクトバックログの変更に伴い，モデルも修正しなくてはならない．例えば，PBI を追加した場合，ユースケース図の更新も必要になる．

本研究では，図 15 に示す通り，モデルを更新する作業は各スプリントの最初において実施した．現状の方式では，このモデルの修正作業が全くの追加作業として発生している．

このような追加の作業が発生してもモデリングを併用することにそれ以上の効果があるかどうか，今後検証することになる．

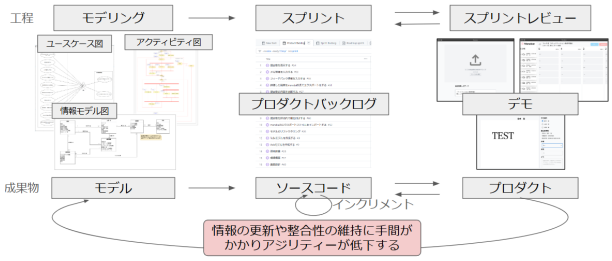


図 15　スクラムのスプリントとモデリング

6　おわりに

今回の PBL の成果により，現状のスクラムにおけるプロダクトバックログの扱いに起因する課題に対し，UML を併用することにより部分的に解決できることが示された．

特にスプリントレビューにおいてプロダクトオーナーはプロダクト全体のストーリーを俯瞰しながら，インクリメントのレビューを行うことができる．このことにより，開発の進捗状況もダイアグラム上で視覚的に判断できる．

一方，モデリングを併用することによる工数の増大は課題である．この点については今後も課題の解決に向けて研究を進めたい．

参考文献

1. Schwaber K, Sutherland J. スクラムガイド スクラム公式ガイド：ゲームのルール. 2020. Available: https://scrummaster.jp/scrum-guide

2. 中鉢. アジャイル技術者育成のための開発方法論教育. 教育システム情報学会（JSiSE2016）第 41 回全国大会. 2016. pp. 313–313.

3. 中鉢. AIIT における実践的 Scrum 技術者教育の取り組み. 日本ソフトウェア科学会第 33 回大会 (2016 年度) 講演論文集. 2016. pp. 1–6.

4. 中鉢, 闇, 嵩下, 星野, 森, 保田. PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス〜2021 年度の事例〜. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2021;15: 139–142.

5. 中鉢, 天野, 網干, 斎藤, 澤村. アジャイル開発人材育成のための PBL 型教育における プラクティス：2022 年度プロジェクトの事例. 日本ソフトウェア科学会第 39 回大会 (2022 年度) 講演論文集. 2022; 1–4.

6. 中鉢, 天野, 網干, 斎藤, 澤村. PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス〜2022 年度の事例〜. 東京都立産業技術大学院大学紀要. 2023;16: 23–26.

7. 特定非営利活動法人 UML モデリング推進協議会. アジャイルソフトウェア開発向け UML 適用ガイドライン Ver1.2. 2019. Available: https://umtp-japan.org/download/%E3%82%A2%E3%82%B8%E3%83%A3%E3%82%A4%E3%83%AB%E3%82%BD%E3%83%95%E3%83%88%E3%82%A6%E3%82%A7%E3%82%A2%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%90%91%E3%81%91%EF%BD%95%EF%BD%8D%EF%BD%8C%E9%81%A9%E7%94%A8-%E3%82%AC%E3%82%A4

8. Santos N, Fernandes J, Carvalho M, Silva P, Fernandes F, Rebelo M, et al. Using scrum together with UML models: A collaborative university-industry r&d software project. 2016. pp. 480–495. doi:10.1007/978-3-319-42089-9_34

9. 善司. RDRA2.0 ハンドブック. NextPublishing Authors Press; 2019.

10. 善司. モデルベース要件定義テクニック. 秀和システム; 2013.

Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

言語モデルの検索拡張生成の研究動向

Trends of retrieval-augmented generation

中内 遼吾 [1*]

Ryogo Nakauchi[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Ryogo Nakauchi, nakauchi-ryogo@aiit.ac.jp

Abstract Large language models (LLMs) possess vast amounts of knowledge, yet they often lack sufficient domain-specific expertise. To effectively integrate LLMs into business operations, it is essential to enable them to utilize domain knowledge in some capacity. Retrieval-Augmented Generation (RAG) has emerged as a widely adopted approach to address this challenge. However, achieving a practical level of effectiveness with RAG remains a complex task. Consequently, various methods have been proposed to enhance the effectiveness of RAG. This paper reviews the current research trends aimed at improving RAG's effectiveness.

Keywords large language models; retrieval-augmented generation

1 はじめに

大規模言語モデル（LLM）は自然言語処理の分野に大きな進歩を示し，産業界においても急速にその活用が模索されている．知識抽出器としての質問応答タスク，要約やセンチメント分析のような自然言語処理タスクのほか，その汎用性の高さを応用した機器制御[1]などの業務システム用コンポーネントとしても利用されるに至っている．OpenAI が公開した ChatGPT[2] は前提知識なしで利用できるチャット形式の UI を提供することで，言語モデルの会話能力の高さを示した．以降，多くのモデルがシステムプロンプトとユーザープロンプトを入力として受け取り，これに対する自然な会話形式の応答文を生成するように指示チューニングされた形で公開されるに至っている．この会話能力を直接的に用いた活用法として，ドメイン知識に特化させた質問応答タスクを業務用途で利用するユースケースが広くみられる．

言語モデルは事前学習を通じて大量の知識を内部に蓄積するが，専門分野など個別性が高い知識については不十分な水準にとどまるため，業務応用のためには何らかの追加的対応をとる必要がある．各企業が自社の業務に特化した情報を言語モデルに扱わせるためには追加学習によってモデル内部に知識追加を図るか，知識コーパスから検索した参照コンテキストを基に回答生成を行う検索拡張生成（Retrieval-Augmented Generation, RAG[3,4]）の仕組みを構築する必要がある．本稿では， RAG について概要を示したうえで，その精度改善を図る手法の研究動向について整理する．

2 RAG の概要

本章では RAG の概要を整理するため，基本構成例を示す．RAG は言語モデルを使って回答生成の役割を担う Reader モジュールと，知識コーパスから抽出した任意の件数のチャンクを参照コンテキストに統合して Reader に渡す役割を担う Retriever モジュールを組み合わせた Retriever-Reader モデルで構成する．Retriever は知識コーパス，類似度評価関数，ユーザークエリと知識コーパスをベクトル表現に埋め込むエンコーダなどから構成される．知識コーパスにベクトルデータベースを用いる場合，データベースは情報源から抽出したテキストデータを言語モデルのコンテキストウインドウに収まるようにスプリットしたチャンクと，そのベクトル表現をインデックスとしたレコードを格納する．基本的な手法である DPR[5,6]の場合，検索はベクトル変換されたユーザークエリと各インデックスの類似度をコサイン類似度やドット積などのメトリクスを使ってランキング評価し，スコアが高い任意の件数のレコードを上位から抽出する形で実行する．知識コーパスにはベクトルデータベースのほか，Web 検索や埋め込み表現によらない既存の業務用データベースなどが組み合わせられる場合もある．ここで抽出したチャンクを特定の形式に整形した参照コンテキストをシステムプロンプトに統合し，ユーザープロンプトと共に Reader に渡して回答生成を行う．ベクトルデータベースに各チャンクのソース情報も格納しておくことによって回答の根拠となるドキュメント名の提示を行うケースもある．

RAG は知識を外部化することで大規模な計算資源が必要な追加学習を必要とせずに回答生成を拡張できる点がメリットである．情報更新のしやすさや正確性，新しい言語モデルが登場した際のシステム更新のしやすさ，根拠の提示などが重要なユースケースで選好される．デメリットには，Retriever の構成によっては検索に時間がかかり応答時間が長くなることや，用途や知識コーパスによっては Retriever の精度向上の難易度が高いこと，複数のチャンクに断片化された情報の総合が難しいことが挙げられる．

3 RAG の研究動向

前章に示したようなベーシックな構成だけでは回答精度が実用レベルにまで達しないことが多い．このため，Retriever-Reader モデルを構成するコンポーネントごとに様々な精度改善手法が提案されている．本章ではこうした手法の研究動向について項目別に整理する．

チャンキング

チャンキングは膨大な情報源を必要な長さに切り出すことで Reader 側の言語モデルが適切に情報を扱えるようにする役割を持つ．一方で，文章の切断位置によっては重要な文脈情報が失われるリスクがあるため，切断位置やチャンクサイズの設計方法を巡って様々な議論がある．

Xia Y ら[7]は，チャンクサイズが長い方が文脈情報を多く保持できる反面，コサイン類似度での検索精度は短い方が優れる

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

というトレードオフを指摘し，長いチャンク（親チャンク）と短いチャンク（子チャンク）を組み合わせて併用する Parent Document Retriever[8]の利用を提案している．これは，端的に必要情報が格納されていることが期待される子チャンクを検索に用い，それを包含するパラグラフ単位の親チャンクを Reader に渡して回答生成を行うことで双方のデメリットを補う仕組みとなっている．

Jiang Z ら[9]は，関連性の高いチャンク同士をグループ化した集合チャンクを参照コンテキストに統合することによって，必要な情報が複数のチャンクに分散していても Recall が低下しないようにする手法を提案している．この手法では言語モデルに渡される参照コンテキストは比較的長文になるが，Liu NF ら[10]は，長文を渡された場合に言語モデルはその中間付近に位置する情報を見逃しやすい傾向にあることを指摘している．こうした問題を重視する Yu W ら[11]や Fangyuan X ら[12]は，Reader 側に配置する回答生成用の言語モデルとは別に，Retriever 側に情報集約と取捨選択を担う言語モデルを配置し，長文に渡る参照コンテキストから重要な情報だけをまとめた文章を作成して Reader に渡す手法を提案する．

チャンキングの改善においては地道な手法の積み重ねも重視される傾向にある．近年開催された RAG の精度を競うコンペティションにおいて上位受賞した解法[13,14]では，正規表現などルールベースによるジャンク文字列の排除や文法規則，文書形式の特徴によるチャンキングといった手法を多数併用することで精度向上が図られている．Yuan Y ら[15]は，文頭または文末の疑問詞の有無を指標として各センテンスが質問文か否かを識別し，問題提起文とそれに続く文を連結することで文脈情報が切断されることを防ぐ方法を提案する．

インデキシング

検索に用いるベクトルデータベースのインデックスには，知識コーパスを何らかの手法で埋め込んだベクトル表現が利用されるが，埋め込み手法よって検索時の特性が変わるため，様々な手法が提案されている．

ユーザークエリとインデックスの文字列一致度によるアプローチでは TF-IDF[16]や BM25[6,17]といった伝統的な疎ベクトルが用いられる．意味的類似度によるアプローチでは深層学習モデルを使ったエンコーダによって埋め込んだ密ベクトルを用い，ユーザークエリとのコサイン類似度やドット積でインデックスの類似度評価が行われる．明確なキーワードが存在するユースケースでは疎ベクトルに利点があるが，わずかでも表記揺れが生じうるようなユースケースでは密ベクトルによるアプローチに利点が生じやすい．他方で，ユーザークエリが極端に短い場合などに密ベクトルが適さないケースもある．[18]では，こうした性質の異なる複数の手法をアンサンブルして欠点を補う Reciprocal Rank Fusion (RRF) が提案され，ハイブリッド検索が単独の手法による検索よりも精度に優れることが検証されている．複数の異なる密ベクトルを用いたアンサンブルを採用するアプローチ[13,19]では，複数のランキングモデルによるスコアリングを重み付きでアンサンブルする手法が提案されている．

密ベクトルを用いるベーシックな手法である DPR ではインデキシングにバイエンコーダが用いられるが，クロスエンコーダを用いる場合には，ユーザークエリとドキュメントを連結した結合埋め込みベクトルが計算されることで，両者間のより複雑な相互作用が期待される．クロスエンコーダはバイエンコーダに比べて精度が向上しやすいが，計算コストが大きくなるデメリットがある．その欠点を補う手法として，ColBERT[20,21]や SPLADE[22,23]などが提案されている．これらの手法が採用する後期相互作用メカニズムでは，クエリとドキュメントを個別にエンコードした後に，トークンごとのベクトル間でコサイン類似度やドット積を計算して最終的な検索結果が決定される．クエリとドキュメントのエンコードが独立であるため，データベース側のベクトルは事前に作成しておくことができ，検索時にはクエリ側のベクトルのみを新たにエンコードすれば済むため伝統的なクロスエンコーダに比べて応答速度を改善できる利点がある．

Jégou H ら[24]は，ベクトルインデックスの探索空間をボロノイ領域に分割し，ユーザークエリとの類似度の高い領域に局限して個別ベクトルとの類似度評価を行うことで，ベクトルデータベースが大規模な場合にも計算量と検索時間を短縮する手法を提案している．

リランキング

前節でみたような各種のインデキシング手法は，より複雑な手法ほど精度を高めやすい一方で計算コストが増大しやすくなるトレードオフがあるため，複数の手法を段階によって使い分ける手法が議論されている．

Glass M ら[25]や Nogueira R ら[26]は，BM25 などの計算コストの軽量な手法で広めに検索対象を絞り込んだあと，次の段階でより精度の高い手法を使って類似度評価を行い，参照コンテキストに用いるチャンクを決定する手法を提案している．これらの手法は，類似度のランキングを多段階に渡って作成して評価を行うことからリランキングと呼ばれる．リランキングに言語モデルを利用することで，検索上位に抽出するレコードの多様性を高めるなど，目的に応じた評価基準の調整を柔軟に行えるようにする手法[27]も提案されている．

Yang R ら[28]は，知識グラフからの情報取得に類似度，回答拡張，周辺関連性最大化（MMR）の 3 つの評価を組み合わせてリランキングを行うことで，情報取得の信頼性向上を行うフレームワークを提案している．

ノイズ軽減

Retriever 側で回答生成に必要な情報だけに完全に絞り込んだ情報抽出を行うことは現実的には困難なため，Reader 側に渡される参照コンテキストには多くの場合，必要情報と共に回答に関係しないノイズ情報も含まれる．このため RAG の精度はこうした雑多性のある情報から言語モデルが必要な情報を適切に取捨選択する能力に左右されることになるが，この能力自体は言語モデルにとって自明のものではなく，その対処法をめぐって議論がある．

Hsia J ら[29]は，モデルごとに参照コンテキストの分量やノ

イズへの頑健性に大きな差があることを検証し，一般的なリーダーボードだけを基にモデルの性能を判断するのではなく，RAG 専用の評価フレームワークを用いてノイズ耐性の高いモデルを選択することを提案している．Chen J ら[30]はモデルごとのノイズ耐性を比較するためのベンチマークを提案している．

Shi F ら[31]や Weston J ら[32]の研究では，必要な情報が含まれていなかったり間違った情報が含まれていたりする場合でも，参照コンテキストが渡されると言語モデルは学習済み知識よりもその内容を優先して回答しようとする傾向が顕著であることが示されている．このため，タスクによってはむしろ Retriever を経由することによって回答の精度が低下する可能性がある．この問題を軽減するため，Yuan Y ら[15]は回答に必要な知識が最新情報の検索が必要な程度にリアルタイム性を持つ内容であるかを分類予測する機械学習モデルを別途構築し，Retriever の利用が不要と判定された場合には情報取得をスキップする仕組みを提案している．Wu K ら[33]は Retriever から与えられた参照コンテキストを考慮した回答とそうでない回答のトークン確率に着目し，後者の方が確率の高い場合には参照コンテキストを使わずに生成した回答を採用する機構を導入することによって，ノイズ情報が与えられた際の精度低下を防ぐ手法を提案している．Asai A ら[34]は，参照コンテキストの証拠性をスコアリングする予測モデルを別途構築し，高いスコアが付与されたチャンクだけを選別して Reader に提供する手法を提案している．また，回答生成にあたって Retriever を呼び出す必要があるか否かの判断自体を言語モデルが行えるようにファインチューニングし，不要と判断した場合には Retriever の利用をスキップするフレームワーク[35]も提案されている．

Retriever が選択した参照コンテキストからノイズを除去する方向性も議論されており，ルールベースでの除外ができないノイズを識別するフィルタリングモデルを学習させて併用する手法[36]や，トークンレベルでこれを実践する手法[37]も提案されている．

Reader に用いる言語モデル自体のノイズ耐性に改善を加えるアプローチとしては，ノイズ情報を無視する能力を向上させるファインチューニング手法[38]，モデルの学習コーパスに意図的にノイズの多い情報を含めることによって低品質の参照コンテキストが渡された際の頑健性を高める手法[39]がそれぞれ提案されている．Yuan Y ら[15]は，プロンプティングによる文脈内学習によってその能力を高める手法を提案している．

データオーグメンテーション

ユーザークエリとユーザーが実際に求めている知識を含むチャンクのそれぞれが類似度による関連付けを行うにあたって常に十分な表現を持つわけではなく，ここにギャップが生じることがある．この点を改善するため，言語モデルを使ってそれぞれの表現をオーグメンテーションしたうえで検索する手法が議論されている．

Wu M ら[40]は，知識コーパスの側を言語モデルを使ってオーグメンテーションする手法を提案している．通常はユーザークエリとチャンクの類似度は 1 対 1 で評価されるが，この手法では予め各チャンクのソースとなっているドキュメントの全文から，その内容を解釈した疑似タイトルと複数の説明文からなる疑似クエリを言語モデルに生成させる．そのうえで，疑似タイトル・疑似クエリ・チャンク本体からなる集合とユーザークエリの類似度評価を行うことで，多面的な文脈からユーザーの求める情報を抽出することを図るものとなっている．

Ma X ら[41]は，ユーザークエリの側を言語モデルを使ってオーグメンテーションする手法を提案している．入力されたユーザークエリを解釈する役割の言語モデルを Retriever 側に配置し，文脈補間やパラフレーズにより複数のパッセージを生成することによって，元のユーザークエリと類似度が一致していなくても目的に合致する情報がある場合に必要な関連付けを行える可能性を高めようとするものである．

回答生成

検索プロセスが完了したあと，抽出された参照コンテキストを最終的に Reader に渡して回答生成するステップでは，参照コンテキストの構造化や後処理などの手法が議論されている．

Vu T ら[42]は，Retriever が取得した複数のチャンクを目的に応じて作り込んだプロンプトテンプレートに統合し，その情報をどのように利用して回答生成すべきか Few-shot 文脈内学習を行うことで，モデルが参照コンテキストを効果的に処理して回答生成することを促す手法を提案している．

Asai A ら[35]は，回答生成用モデルとは別に，生成された回答文が Retriever から与えられた参照コンテキストに裏付けられた内容になっているかを評価する言語モデルを配置することで，参照コンテキストと回答の関連付けを高める手法を提案している．

チャンキングと同じく回答生成の改善にあたっても地道な手法の積み重ねが重視されており，回答生成の段階において Retriever が抽出した参照コンテキストに対して文脈圧縮や要約などの後処理を実施する手法[43,44]も提案されている．

4 おわりに

本稿では，言語モデルの検索拡張生成に関する研究動向をまとめた．Retriever-Reader モデルは複数のコンポーネントから構成されるため，各部分について精度改善手法の議論が存在する．その中でも，近年提案される手法には，回答生成用とは別に言語モデルや分類系の機械学習モデルを Retriever 側に配置することで，より高度なデータ前処理や制御を目指す傾向がみられる．回答文の作成過程を多段階に分節することでその品質を引き上げようとする試みは推論スケーリングなどにも通底する発想である．ユーザーが入力するプロンプトに問題の複合性が含まれることは多くあるため，これを必要に応じてサブタスクに分解した上で，最適な個別手法で部分解を作成して最終的なアウトプットに統合するアプローチは今後も進展していく可能性がある．

近年小規模な言語モデルにおいても性能向上が顕著であるものの，依然として追加学習は計算コストが高額になりやすく，

ユースケースや導入規模によっては敷居が高くなりがちである．それに対して RAG は相対的に小規模なシステムからでも開発することができ，企業が自社ドメイン知識への特化用途で言語モデルを活用するための第一歩としやすい選択肢である．言語モデルによるデータオーグメンテーションの研究がでてきたことで，データ不足に直面する企業においても導入の敷居が下がることが期待できる．

参考文献

1. 三菱電機とソラコム・松尾研究所「IoT × GenAI Lab」が，IoT と生成 AI を応用した空調機器制御の実証実験を実施 - ニュース. In: 株式会社ソラコム コーポレートサイト [Internet]. [cited 20 Oct 2024]. Available: https://soracom.com/ja/news/20240711-iot-genai-poc-report
2. ChatGPT. [cited 20 Oct 2024]. Available: https://chatgpt.com/
3. Chen D, Fisch A, Weston J, Bordes A. Reading Wikipedia to Answer Open-Domain Questions. Proceedings of the 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers). 2017. pp. 1870–1879. doi:10.18653/v1/P17-1171
4. Lewis P, Perez E, Piktus A, Petroni F, Karpukhin V, Goyal N, et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. arXiv [cs.CL]. 2020. Available: http://arxiv.org/abs/2005.11401
5. Karpukhin V, Oğuz B, Min S, Lewis P, Wu L, Edunov S, et al. Dense passage retrieval for open-domain question answering. arXiv [cs.CL]. 2020. Available: http://arxiv.org/abs/2004.04906
6. Izacard G, Grave E. Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering. arXiv [cs.CL]. 2020. Available: http://arxiv.org/abs/2007.01282
7. Xia Y, Chen J, Gao J. Winning Solution For Meta KDD Cup' 24. 2024 KDD Cup Workshop for Retrieval Augmented Generation. 2024. Available: https://openreview.net/pdf?id=oWNPeoP1uC
8. How to use the Parent Document Retriever. [cited 29 Oct 2024]. Available: https://python.langchain.com/docs/how_to/parent_document_retriever/
9. Jiang Z, Ma X, Chen W. LongRAG: Enhancing retrieval-augmented generation with long-context LLMs. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2406.15319
10. Liu NF, Lin K, Hewitt J, Paranjape A, Bevilacqua M, Petroni F, et al. Lost in the middle: How language models use long contexts. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2307.03172
11. Yu W, Zhang H, Pan X, Ma K, Wang H, Yu D. Chain-of-note: Enhancing robustness in retrieval-augmented language models. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2311.09210
12. Fangyuan X, Weijia S, Eunsol C. RECOMP: Improving retrieval-augmented LMs with compression and selective augmentation. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.04408
13. Wang Q, Yuan J, Huang X, Yan J, Xiao R, Ding X. Hybrid Retrieval Systems Based on LLMs Embedding and Enhancement. KDD 2024 OAG-Challenge Cup. 2024. doi:10.1145/nnnnnnn.nnnnnnn
14. Ouyang J, Luo Y, Cheng M, Wang D, Yu S, Liu Q, et al. Revisiting the solution of Meta KDD cup 2024: CRAG. arXiv [cs.IR]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2409.15337
15. Yuan Y, Liu C, Yuan J, Sun G, Li S, Zhang M. A hybrid RAG system with comprehensive enhancement on complex reasoning. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2408.05141
16. Sparck Jones K. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. J Doc. 1972;28: 11–21. doi:10.1108/eb026526
17. The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. In: ResearchGate [Internet]. [cited 25 Oct 2024]. Available: https://www.researchgate.net/publication/220613776_The_Probabilistic_Relevance_Framework_BM25_and_Beyond
18. Cormack GV, Clarke CLA, Buettcher S. Reciprocal rank fusion outperforms condorcet and individual rank learning methods. Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. New York, NY, USA: ACM; 2009. doi:10.1145/1571941.1572114
19. Deotte C, Onodera K, Puget J-F, Schifferer B, Titericz G. Winning Amazon KDD Cup'23. Amazon KDD Cup 2023 Workshop. 2023. Available: https://openreview.net/pdf?id=J3wj55kK5t
20. Khattab O, Zaharia M. ColBERT: Efficient and effective passage search via contextualized late interaction over BERT. arXiv [cs.IR]. 2020. Available: http://arxiv.org/abs/2004.12832
21. Santhanam K, Khattab O, Saad-Falcon J, Potts C, Zaharia M. ColBERTv2: Effective and efficient retrieval via lightweight late interaction. arXiv [cs.IR]. 2021. Available: http://arxiv.org/abs/2112.01488
22. Formal T, Piwowarski B, Clinchant S. SPLADE: Sparse lexical and expansion model for first stage ranking. arXiv [cs.IR]. 2021. Available: http://arxiv.org/abs/2107.05720
23. Formal T, Lassance C, Piwowarski B, Clinchant S. SPLADE v2: Sparse lexical and expansion model for Information Retrieval. arXiv [cs.IR]. 2021. Available: http://arxiv.org/abs/2109.10086
24. Jégou H, Douze M, Schmid C. Product quantization for nearest neighbor search. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2011;33: 117–128. doi:10.1109/TPAMI.2010.57
25. Glass M, Rossiello G, Chowdhury MFM, Naik AR, Cai P, Gliozzo A. Re2G: Retrieve, Rerank, Generate. arXiv [cs.CL]. 2022. Available: http://arxiv.org/abs/2207.06300
26. Nogueira R, Cho K. Passage re-ranking with BERT. arXiv [cs.IR]. 2019. Available: http://arxiv.org/abs/1901.04085
27. Gao J, Chen B, Zhao X, Liu W, Li X, Wang Y, et al. LLM-enhanced Reranking in Recommender Systems. arXiv [cs.IR]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2406.12433
28. Yang R, Liu H, Marrese-Taylor E, Zeng Q, Ke YH, Li W, et al. KG-Rank: Enhancing large language models for medical QA with knowledge graphs and ranking techniques. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2403.05881
29. Hsia J, Shaikh A, Wang Z, Neubig G. RAGGED: Towards informed design of retrieval augmented generation systems. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2403.09040
30. Chen J, Lin H, Han X, Sun L. Benchmarking large language models in retrieval-Augmented Generation. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2309.01431
31. Shi F, Chen X, Misra K, Scales N, Dohan D, Chi EH, et al. Large Language Models Can Be Easily Distracted by Irrelevant Context. International Conference on Machine Learning. PMLR; 2023. pp. 31210–31227. Available: https://proceedings.mlr.press/v202/shi23a.html
32. Weston J, Sukhbaatar S. System 2 Attention (is something you might need too). arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2311.11829
33. Wu K, Wu E, Zou J. ClashEval: Quantifying the tug-of-war between an LLM's internal prior and external evidence. arXiv [cs.CL]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2404.10198
34. Asai A, Gardner M, Hajishirzi H. Evidentiality-guided generation for knowledge-intensive NLP tasks. arXiv [cs.CL]. 2021. Available: http://arxiv.org/abs/2112.08688
35. Asai A, Wu Z, Wang Y, Sil A, Hajishirzi H. Self-RAG: Learning to retrieve, generate, and critique through self-reflection. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.11511
36. Wang Z, Araki J, Jiang Z, Parvez MR, Neubig G. Learning to filter context for retrieval-augmented generation. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2311.08377
37. Berchansky M, Izsak P, Caciularu A, Dagan I, Wasserblat M. Optimizing retrieval-augmented reader models via token elimination. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.13682
38. RAFT: Adapting Language Model to Domain Specific RAG. [cited 2 Oct 2024]. Available: https://arxiv.org/html/2403.10131v2

39. Yoran O, Wolfson T, Ram O, Berant J. Making retrieval-augmented language models robust to irrelevant context. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.01558
40. Wu M, Cao S. LLM-augmented retrieval: Enhancing retrieval models through language models and doc-level embedding. arXiv [cs.IR]. 2024. Available: http://arxiv.org/abs/2404.05825
41. Ma X, Gong Y, He P, Zhao H, Duan N. Query rewriting for retrieval-augmented large Language Models. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2305.14283
42. Vu T, Iyyer M, Wang X, Constant N, Wei J, Wei J, et al. FreshLLMs: Refreshing large language models with search engine augmentation. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.03214
43. Arefeen MA, Debnath B, Chakradhar S. LeanContext: Cost-efficient domain-specific question answering using LLMs. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2309.00841
44. Liu J, Li L, Xiang T, Wang B, Qian Y. TCRA-LLM: Token compression retrieval augmented large language model for inference cost reduction. arXiv [cs.CL]. 2023. Available: http://arxiv.org/abs/2310.15556

建築領域における機能発注に関する一考察

A study on functional ordering in the architectural field

吉田 敏 [1*]

Satoshi Yoshida[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Satoshi Yoshida, yoshida-satoshi@aiit.ac.jp

Abstract It is difficult to believe that deep discussion of performance ordering in construction has progressed, with the exception of some discussions on PPP and PFI. Conversely, the fact that performance ordering is promoted only in PFI, etc., and not in standard design and construction, may be influenced by the lack of progress in discussing the concept of ordering by performance. However, it is conceivable that performance ordering could be important, especially for public orders and orders from private organizational entities, even without the financial features of PFI. Conversely, it is clear that the finance aspect and the ordering aspect of construction are not two sides of the same coin, and that it is necessary to understand ordering methods according to the characteristics of construction rather than the characteristics of finance. Although it has been many years since the issue of ordering by specifications was recognized and the discussion of ordering by performance began, the industry as a whole is far from having a common understanding of the issue. The purpose of this paper is to summarize the challenges of ordering construction by specification or performance and to provide some preliminary thoughts in search of a direction in which to move. Through this examination of the issues of ordering architecture, we will also reconsider the basic concept of the architecture to be created.

Keywords functional ordering; architectural field; specification order; creatin process

1 はじめに

建築産業領域における発注方法については、多くの議論が行われてきた。これは、単品受注生産という特徴により、様々な内容の影響を受けることなどが、主要な理由と考えられる。従来の建築の発注方法としては、設計図書や仕様書にまとめられている、意匠、構造、仕上げ、機構などの、形態と仕様を定めることによって発注することが、社会の中で広く浸透していると考えられる。しかし、30 年ほど前から、性能を規定した性能発注が議論されるようになってきた。これは、発注者が、形態や仕様を規定するのではなく、目標とする性能とその検証方法を示すというものなどが基本となって考えられてきたものである。従来の仕様による発注では、過去の実績や経験によって、目標とする性能が満たされることが認識できている構造、形状、寸法、材質、工法などを明確に示したものであった。その反面、目標となる性能については具体的に示されることが殆ど無かったと考えられる。一方、性能による発注が議論されてきたが、この議論によって、それまでの仕様発注を否定するものではなかったともいえる。従来の仕様による発注も、目標となる性能を達成するための一つの解決策を示しているものと考えることができる面も含まれている。

建築の性能による発注については、PPP や PFI などの一部の議論を除いて、深く議論が進んだと考えるのは難しい面がある。これは、性能発注が、標準的な設計や工事ではなく、PFI などのみを中心に推進されることについては、性能による発注という概念の議論が進んでいないことが影響していると考えられる。しかし、公共発注や民間の専門家を含む組織体の発注を中心に、PFI のような資金面の特徴が無くても、性能による発注が重要である可能性が考えられる[1]。つまり、ファイナンス面と、建築の発注面は、表裏一体ではなく、ファイナンスの特性より、建築の特性によって発注方式を理解していくことが必要なのは明らかであると考えられる。

このような視点から、仕様発注に課題があると考えられるため、性能による発注という議論が始まってから何年も経つわけであるが、業界全体での一般化された共通認識の確立には、未だ遠いというのが現状であろうといえる。そのため、本稿の目的は、仕様および性能による建築発注の課題を整理し、向かうべき方向性を指し示すことである。また、このような考察を通して、創られる建築の基本的な特性や概念の再考を行う。

2 性能による発注と機能

2.1 性能による発注の傾向

建築を担う中央官庁である国土交通省において、性能による発注が議論され始めたのは今世紀初め前後であると考えられるが、その時点の議論を整理しておきたい。当初より、道路の低騒音舗装の工事については、性能発注が行われていた[2]。それまで道路工事の構造と工法をどのようにするのかという内容が示され、発注が行われてきたが、どの程度騒音を抑え、どの程度経年劣化を抑えるかということなどに基づいた発注が、行われてきたということである。まさに、仕様による発注から、性能による発注への転換が実行されてきたわけである。ただし、この段階で抑えておかなければならない点は、最初の検討対象が、低騒音舗装であるということであり、通常の建築と比較すると、機能面の複雑性が低いという点である。つまり、求められる機能が、性能のみによって記述しやすかった面があることは認識できる。

このような考え方では、発注者は性能発注において、標準案として一つの設計内容を提示することになるが、その設計内容を採択するかどうかは受注者の責任によるものとなるというものであった。発注者が示す求められる性能が重要であり、受注者はその実現について責任を持つことになる。そのため、受注者は標準の設計案を採択してもしなくても構わず、独自の設計案を提示することが可能であるということになる。このことは、発注者は途中のプロセスに関して関与せず、最終的に必要な性能が実現されることだけを求めることを意味している。受注者は、途中のプロセスについては高い自由度を持ち、提案できる範囲も多いと考えられる。

一方、目的に複雑性、多義性、不確実性が殆ど無い舗装のようなものの発注ならともかく、建築のような対象への適用は困難な面も多いと考えられることになる。その後、この性能によ

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

る発注という考え方の建築への応用が試みられてきた。その点では、前述のように、PFI などの事業モデル[3]に用いられているといえる。

ただし、建築の性能発注ということについては、注意深く考えなければならない面がある。建築の性能を記述することが、果たして記述しきれるのであろうか、という面である。ここでは、実際の PFI 事業で見られる内容を取り上げて検討したい。そのために、まず理解しなければならないのが、性能発注方式である PFI 方式と、従来の発注方式の違いである。

事例として、宮城県の仙台空港の事例[4]を取り上げて議論したい。宮城県では、早くから民間運営による活性化を震災復興の起爆剤として位置づけ、官民の関係者による検討を開始したとされている。そして、平成 25 年から 26 年にかけて、具体的な活動を進めている。これらは、性能発注が原則とされている。例えば、官民の関係者から構成される『仙台空港 600 万人・5 万トン実現サポーター会議』が設置され、仙台空港の民間委託と空港周辺地域の活性化に向けた情報発信を開始している。また、運営に関する優先交渉権者の選定にあたり、仙台空港特定運営事業等実施方針を策定し、説明会に約 150 団体の参加があった。

空港に関する領域については、国土交通省の資料によると[1]、「空港経営改革」という考え方が示されている。これは、「地域の交通基盤としての空港を活用し、内外の交流人口拡大等による地域活性化を図る必要」という方向性に基づくものである。このような「空港の性能」とはどういうものであろうか。例えば、可能離発着数、滑走路の長さ、ターミナルビルの火災時の安全性などを連想することになる。しかし、仙台空港で宮城県の経営改革の考え方としてあげられているのは、「多くの旅客や貨物でにぎわう」、「東北地方の復興と発展をけん引する」、「民間の力を活用した地域とともに発展する」という内容であり、明らかに「空港の性能」ではなく、「空港の機能」にあたる内容であると考えられる。

2.2　建築プロジェクトにおける性能発注の課題

他の様々な事例を見ても、建築の「性能発注」という位置づけをみると、違和感がある場合が多く、性能を対象としていたり、機能を議論していたり、様々な場合があるようである。ただ、空港の例などをみても、「性能発注」として建築の施設としての方向性を示そうとしている可能性がある場合が散見され、その場合は「機能」を議論しているのではないだろうか、という感覚を得ることになる。

ここで、辞書的な意味を確認しておく。

- 性能：「①機械などが仕事をなしうる能力。②生まれついての性質や能力。」（大辞林 第三版）
- 機能：「ある物事に備わっている働き。器官・機械などで、相互に関連し合って全体を構成する個々の各部分が、全体の中で担っている固有の役割。」（大辞林 第三版）

ただし、ここでは、辞書的な意味を問うつもりは基本的に無い。しかし、明らかに言葉の意味と異なる内容を指したり、混同した使い方を続けたりすることについては、社会で広く混乱を招く可能性が懸念されるし、理由の説明がつかないという面が拭い去れないと考えられる。

このような辞書的な意味を前提として、少々建築のことを考えてみる。辞書では、「性能」は性質や能力のことであるため、建築に当てはめると、その建築のもっている様々な活動の場としての能力や性質ということになる。一方、「機能」は、各事業の掲げる出来上がる建築や施設の方向性や役割と重なる。また、住宅性能表示制度では、10 分野の性能（構造の安定、防犯、音環境、火災時の安全など）に関する客観的な評価が掲げられている。これらは、必要な性能があがっているものの、これだけでは真に求められる良い建築かどうかは不明瞭と言わざるを得ない面がある。

参考資料[2]で示されたダイヤグラムでは、図 1 の「目標性能」までの下半分だけが描かれている。当初導入された低騒音舗装の事例では、「目標機能」を構成する要素が、「目標性能」しかない状況といえる。しかし、多くの建築プロジェクトでは、「目標機能」を構成する要素は多く、性能はそのうちの一つとなる。

建築は、何らかの活動の場となることが基本であり、使い手によって独自の活用をされていくことで、初めて価値が生じることになる。逆に言うと、活用されない建築は、ただの巨大な箱となってしまい、価値が生じることが無いのかもしれない。そのため、単なる対象建築の性能だけでは、本来目標となる活動を誘引するという機能は達成できないということになる。逆に言えば、建築を創る以上、単なる素晴らしい性能を持った構造体を創るのではなく、そこで起こって欲しい人間の活動が重要となり、それを目標に建築がつくられると考えられる。

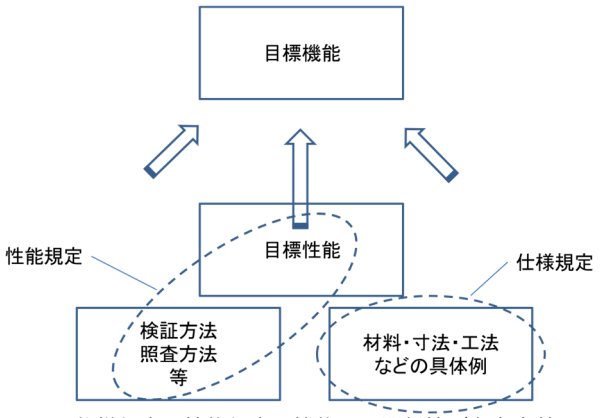


図 1　仕様規定・性能規定と機能との関係性（参考文献[2]より）

3　創造プロセスにおける機能設計

3.1　建築の創造プロセス

ここでは、建築が創造されるプロセスを記述し、発注における最も基本となる要点を理解していく。そのために、先行研究[5-11]を俯瞰しながら一般的に製品やサービスが創られるプロセスを記述する。

創造プロセスは、設計行為として、「使い手の把握」と「使い手の要望の把握」ということになる。これは、人工物の開発に関する多くの議論を踏襲しながら、目的の重要性、そして目的の基盤となる「誰かの要望をかなえる」という側面から一般化

できると考えることができる。ただし、このプロセスに関して精査すると、元々はユーザー側のことであり、つくり手は様々な想像や予想に基づいた仮説を立てることしかできていないという面が理解できる。それに基づき「概念設計」がなされ、「機能設計」、「構成設計」がなされることになる。その後、設計内容を実際の物理的な素材や部品に落とし込むために「生産設計」がなされ、それに沿って生産行為がなされていくことになる。つまり、ここまでで注意しなければならないのが、これらのつくり手の創造プロセスが、根本的に仮説に基づいて成立しているという点である。要するに、つくり手が、完璧であろうと思いながらすべてのプロセスで努力しても、残念ながら、ユーザー側が求めるものとなっているかどうかはわからないということである。

また、創造プロセスには、つくり手の関与だけでは成立しない面があると考えることが、川下側にも散見されることになる。なぜなら、ある対象を創っても、誰も利用しなかったら、モノの創造という行為としては、意味をなさない面があるからである。生産されたものは使い手に吟味され、購入され、使用されていく。最終的には、対象の人工物から使い手独自の意味を見出し、使い手独自の機能を取り出すと解釈できるのではないだろうか。ここまでの創造に関するプロセスをまとめたものが、図 2 となる。

3.2 つくり手視点の設計機能と使い手側の発生機能

使い手がつくられた建築などを手にして、どのように利用し、どのように機能を得るのかを考えていきたい。このとき、つくり手の視点に偏ることなく、つくり手と使い手の視点を客観的に考察していくことが重要であると考えられる。

使い手側はつくり手の考え方によって生産されたものを受け取ることになるが、使い手側がつくり手の埋め込んだ機能や構成に関する情報を正確に読み取る義務はない。要するに、建築などを発注して、つくってもらっても、取扱説明書や仕様書を完全に読破し、完全に従う必要はない。使い手は、主に構成設計による建築そのものを手にし、実際に使用するが、当然のように自分の使いたいように使うことになる。周囲を見回し、

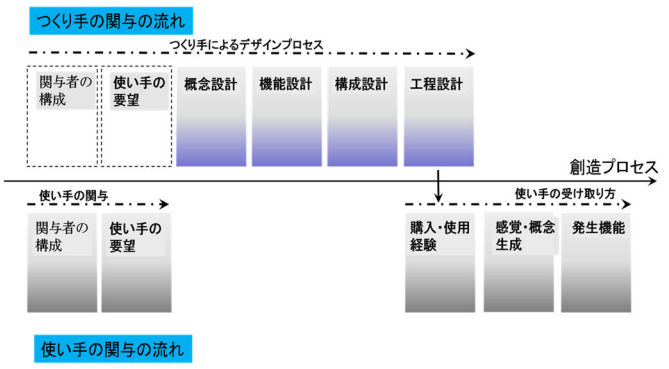


図 2 つくり手と使い手の視点から見た製品の設計プロセス（参考文献[12]より引用）

他の製品やサービスを見ても、つくり手の考えた「設計機能」と、全く異なる「発生機能」が、使い手によって取りだされていることが理解できる。建築において、具体的に考え始めると、例えば住宅で、広い居間は全く使われず、狭い DK に家族全員がいつもいるような状況はないだろうか。その時、大型テレビは居間にあってもだれも見ないで、個人用の小型テレビを DK の中で家族全員がいつも見ている状況も、容易に考えられるのではないだろうか。これらは、明らかに、設計者の考えた設計機能とは異なる機能を、使い手が取りだしているということになる。

3.3 建築の機能による発注

基本的に、多くの製品やサービスの目的は、特定の機能を得ることと考えることができる[13]。建築においても、前述の仙台空港の例などでも、空港の性能ではなく、空港の機能を目的に挙げてプロジェクトが行われているのが理解できる。もう少し広く見ると、どのような建築でも、何らかの活動の実施のために創られるわけであり、何の実施もなされない場合、言い換えると、対象の建築に「働き」や「役割」が殆ど無い場合、建築の目的が達成できたということは、基本的に言い切れないことになる。

これまで、仕様による発注がなされてきた原因を考えると、建築が単品受注生産であることが影響している可能性が考えられる。つくられる建築について、何にいくらかかるかが明確でないと、妥当な契約金額を得るということができにくい面があったことは容易に想像がつく。また、つくり方によっても大きく金額が変わる場合もある。そのために、計画の前例が少なく、技術的な成熟度の低い分野では、工法、材料、構成、仕様など、すべてを明確にして発注することによって、価格に対する明確な認識ができることになる。

しかし、指定した構成の構造体だけができあがっても、指定内容に技術的な不備があったり、活用されない建築になってしまっては、つくった意味がなくなる部分が生じてしまう場合もあり得る。そのため、仕様による発注よりも、性能による発注という考え方が有効であるとみなされてきたと考えられる。ただし、ここまでの考察によって理解できた内容によると、対象の機能に関する複雑性や不確実性に着目する必要がある可能性も考えられそうである。前述のように、低騒音舗装のように、機能の複雑性や不確実性が極端に低い場合、ある性能が高ければ求められる機能に結び付くという面があることに気づく。また、空港のような機能の複雑性や不確実性が極端に高い場合、何かの性能で目的の達成度を理解することは困難であり、施設全体の働きや役割、つまり機能によって達成するべき目標が掲げられることが本来の考え方とみなすことができそうである。つまり、機能によってプロジェクトの目的、建築計画の目的が指示されていることになる。そのため、建築の発注が機能に基づいて遂行されることが重要であるという考え方に帰結することができることになる。

4 まとめ

本稿では、建築の発注に着目し、仕様または性能による考え方の課題を整理し、向かうべき方向性の模索のために考察を加えた。そして、そこから理解できる建築発注における課題を俯

瞰し、創られる建築の基本的な概念、そしてその他の多くの製品やサービスにおける創られる目的や考え方について、広く考察を行った。

建築は単品受注生産であることに基づき、発注行為が機能によって行われる可能性について、基盤的な議論だけは行うことができたと考えている。しかし、どのような特性の建築が、どのような機能による発注をされるべきかなど、議論すべき課題は残ったままである。また、PFI のような既に機能で発注している考え方を、「性能発注」と定義づけて使っていくことについて、危険性や論理性の指摘はできるものの、浸透していて共通認識となっていれば、特に問題ないという意見もあり得る。

本稿では、建築を中心に、モノが創られることを俯瞰的に理解するための基盤的な議論を展開した。国内の各組織は、極めて高い生産する能力を蓄積しており、その中で高い付加価値を創出している[14]。その反面、つくられたモノが使い手によって高い付加価値を取り出すことができているかは別の問題であり、その点における国内企業の限界が懸念されるのではないであろうか。本稿では、そのような国内で行われている生産活動の根源について問うものであり、引き続き議論を重ねていくものの一部である。

なお、本稿は、自身の先行研究の投稿[15]を加筆修正し、論旨を発展させたものとなっている。

参考文献

1. 徳永政道,「国土交通省の PPP/PFI への取り組みと案件形成の推進」,（公民連携定住対策推進自治体連絡会, 第 4 回公民連携セミナー資料）2017.5.12.
2. 松井健一,「性能発注方式について」,『建築マネジメント技術 2001 年 10 月号』, pp4-7
3. 内閣府 PFI 推進委員会,「PFI 事業実施プロセスに関するガイドライン」, 2001.1.22.
4. 「仙台空港の経営改革に関する宮城県基本方針」, https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kurin/kihonhousin.html, 2012 更新
5. 上田完次編著：『共創とは何か』, pp36-42, 培風館, 2004.
6. 丹羽清：『技術経営論』, pp85-91, 東京大学出版会, 2006.
7. 上原征彦,『マーケティング戦略論』, pp245-246, 有斐閣, 1999.
8. 藤本隆宏, キム B.クラーク,『製品開発力』, pp4-14, ダイヤモンド社, 2009.
9. 吉川弘之, 富山哲男,『設計学－ものづくりの理論－』, pp43-58, 放送大学教育振興会, 2000.
10. 中島尚正,『人工物の構造と特性』, pp111-124, 岩波新書, 2005.
11. 藤本隆宏,『日本のもの造り哲学』, pp12-138, 日本経済新聞社, 2004.
12. 吉田敏編著,『技術経営』, 理工図書, 2012.
13. 藤本隆宏, 野城智也, 安藤正雄, 吉田敏編,『建築ものづくり論』, 有斐閣, 2015.
14. 藤本隆宏,『工場史「ポスト冷戦期」の日本の製造業』, 有斐閣, 2024.
15. 吉田敏,『建築の機能による発注に関する一考察』, 日本建築学会, 関東支部研究報告集, 2018.

Open Access This article is licensed under CC BY-NC-ND 4.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

社会人学生の大学・大学院修了時における潜在的効果と変化

Latent effects and changes in adult learners upon university and graduate school graduation

池水 守彦[1*] 横山 友也[1] 細田 貴明[1] 松尾 徳朗[1]

Morihiko Ikemizu[1*] Yuya Yokoyama[1] Takaaki Hosoda[1] Tokuro Matsuo[1]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Morihiko Ikemizu, ikemizu-m@aiit.ac.jp

Abstract In modern society, the importance of adult learners returning to universities and graduate schools has been increasingly emphasized in terms of career development and knowledge renewal. In response to globalisation, technological innovation, and the rapidly changing social structure due to declining birthrates and an aging population, the continuous acquisition of new knowledge and skills throughout one's career has become indispensable. This study aims to analyze the factors that influence adult learners' motivation and engagement in continuous learning and to clarify the underlying motivations and barriers to returning to education. In Japan, the primary challenges for adult learners include high tuition costs, long working hours, and a lack of appropriate educational programs, which may impact their participation in learning. On the other hand, there are also adult learners who actively choose to pursue further education with the goal of personal growth and career autonomy. This paper examines the latent effects and changes experienced by adult learners before enrollment and after graduation, and investigates how these factors influence their continued learning. Based on these findings, this paper provides valuable insights to support adult learners in their educational pursuits and contribute to the further promotion of recurrent education.

Keywords recurrent education; career development; adult learners

1 はじめに

現代社会において、社会人が大学や大学院で学ぶことの重要性は、従来にも増して強調されている。グローバル化、技術革新、少子高齢化といった社会構造の急速な変化に対応するためには、社会人としてのキャリアの中で新たな知識やスキルを継続的に習得することが不可欠となっている[1,2]。これにより、社会人が職業生活を通じて競争力を維持し、さらにはキャリアアップを図ることが可能となる。このような背景から、社会人の学習意欲と阻害要因の理解が極めて重要視されている。

社会人が学ぶ動機は多様である。専門知識の習得や資格取得を通じたキャリアアップを目指す者、新たなキャリアパスを模索する者、または自己実現のために学問的興味を追求する者など、個々の目標は様々である。しかし、日本における社会人の学び直しは、他国と比較してまだ普及が進んでいない。文部科学省の調査によれば、学び直しに対する主な阻害要因として「費用が高すぎる」「勤務時間が長くて十分な時間がない」「職場の理解を得られない」といった課題が挙げられている[3]。社会人が学習に取り組む際、仕事の忙しさや家庭との両立が大きな課題となるケースが多い。特に、中堅層以上の社会人にとっては、キャリアや家庭の責任が増す中で、学習に必要な時間を捻出することが難しくなっている。たとえば、仕事が忙しく、家と会社の往復だけだった、と述べる社会人もおり、時間的制約が学習参加の妨げとなることが報告されている。また、学習の成果に対する不安も社会人の悩みの一つである。学びで得たもの、感じたこととして、“自分もまだまだできるという自信がついた”、とポジティブな経験が語られるものの、卒業資格などの成果がキャリアにどのように反映されるかについての不確実さが、学習の継続に対する阻害となりうる[4]。

一方、社会人学生が学び直しを行う背景には、強い自己成長意欲やキャリア自律の意識が存在する。リカレント教育が注目される現代において、社会人学生は単なるスキルアップに留まらず、自己のキャリア形成を積極的に管理するための手段として学び直しを選択する傾向がある[2]。学習の過程において自己効力感を高め、職場での地位向上や新たなキャリア機会の獲得を目指すことが、社会人学生にとっての重要な動機付けとなっている[2]。また、オンライン教育やブレンド型学習など、学習者の多様なニーズに対応する教育手法の普及も、社会人学生の学び直しを促進する要因となっている[5]。

本研究の目的は、社会人学生の学習意欲と継続的学習に至る要因を多角的に分析し、その背景にある要因を明らかにすることである。これにより、社会人学生がどのような動機付けを持って学び直しを選択し、どのような要因が継続的な学習行動を促進または阻害するのかを理解することを目指す。そのために、本論文では、社会人学生修了者の入学前と修了後とでどのような潜在的効果や変化があったかを明らかにする。なお、本研究は、本学に設置されている高度専門職人材教育研究センターにおけるIR(Institutional Research)活動として行うものである。

2 関連研究

本章では、社会人学生の学習意欲と継続的学習に関する先行研究を整理する。まず、社会人学生が学び直しを選択する際の主要な動機として、キャリア形成、自己実現、市場価値の向上がどのように影響を与えているかについて検討する。次に、学習を継続するために必要な職場や家庭からの支援体制について、既存の研究を基に分析する。これらの研究成果を通じて、社会人学生の学習意欲と継続的学習に関する理解を深めるための理論的枠組みを提供する。

2.1 学習意欲の動機

社会人学生の学習意欲に関する研究は、キャリア形成、自己実現、市場価値の向上という3つの主要な動機に焦点を当てている。三好は、社会人学生が専門職大学院に入学する際、キャリアアップのための専門知識の習得が強い動機となっていることを示している[6]。これは、社会人学生が自身のキャリアをより高いレベルに引き上げるために、専門知識やスキルを習得する必要性を強く感じていることを反映している。また、キャリアチェンジを希望する学生にとっても、学び直しは新たな分野での成功を目指すための重要なステップであることが多い。

さらに、自己実現のための学習も重要な要因である。自己効

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

力感の向上は、社会人学生が自分自身の成長を実感し、職場での役割を再定義するための動機として機能する。特に、職場での成功体験や学習の成果が、自信を持って新たな挑戦に取り組む原動力となる。塚原の研究では、社会人学生が学び直しを通じて自己成長を追求することが、学習意欲を高める重要な要因であると指摘されている[7]。特に、大学における専門知識の習得や広い視野を得ることが、社会人学生にとって新たな挑戦に取り組む原動力となっている。また、最新のスキルや知識の習得を通じて、職業の安定性や市場価値を高めることも、社会人学生の学習動機の一環であり、企業や社会からの評価が彼らの学習意欲を強化する要因として作用している[7]。これらの動機は、個人のニーズを社会に還元することで「知の循環型社会」の構築に貢献するという視点にもつながっている[8]。

2.2　継続的学習の支援

継続的学習に影響を与える要因として、三好は、社会人学生自身の強い成長意欲やキャリア形成への志向が、学習を続ける原動力となっていることを強調している。特に、上司や同僚からの理解と支援がある場合は学習がよりスムーズに進むが、支援がなくとも自己能力の開発を目指す意欲が社会人学生の学習継続に大きな影響を与えている[9]。職場での学習支援には、学習時間の確保、学習内容が実務に直結する機会の提供、さらには学習に対するポジティブな評価が含まれる。これにより、社会人学生は学びと仕事を両立させやすくなり、学習意欲を持続することが可能となる。一方、家庭内の支援については、必ずしも学習継続に直結する要因ではないと述べている[9]。たとえ家族の理解や協力が十分でない場合でも、強く学びたいという意欲があれば、学習を継続する社会人学生が多く見られる。三好は、学び直しの意欲と金銭的な余裕や家庭内の支援には大きな関連性がない可能性があることを指摘しており、自己成長への志向が、職場や家庭からの支援以上に学習継続の鍵を握ることを示している[9]。

塚原の研究では、企業による学習支援の重要性が指摘されており、特に社会人学生が学習の成果を職場で活かし、キャリアアップにつなげるためには、企業が学習成果を評価する仕組みが不可欠であると強調している[7]。さらに、社会人学生が学習と仕事を両立しやすい環境、例えば、夜間や土日などに授業を提供することが、学習の継続に貢献する手段として挙げられている。

3　社会人学生修了者アンケート分析

今回、筆者らは、社会人学生修了者を対象としたアンケートを実施し、社会人学生修了者の入学前と修了後とでどのような潜在的効果や変化があるかを明らかにすることに取り組んだ。以下に、取得したアンケートの分析結果を示す。

3.1　データセット

分析の対象としたデータは、株式会社インテージ社に委託した「ビジネスパーソンの学習意欲と学習成果に関する調査」のアンケートをもとにしたものである。アンケートの調査概要を表 1 に示す。

表 1　アンケートの調査概要

調査期間	2024 年 3 月 14 日～3 月 18 日
調査数	679 名
有効回答数	320 名（回収率 47.1%）
男女数	男性 202 名　女性 118 名
平均年齢	男性　48.7 歳　女性　45.7 歳

大問として 19 件の質問項目があり、選択肢に基づく 5 段階回答形式（<1: あてはまる、2: ややあてはまる、3: どちらでもない、4: あまりあてはまらない、5: あてはまらない>）、2 者択一または自由記述形式で構成されている。このうち、入学前の質問項目は大問 3 問（Q2～Q4）、修了後の質問項目は大問 3 問（Q8～Q10）であり、それぞれ表 2 および表 3 に示す。いずれも 5 段階回答形式である。入学前の Q2～Q4 は「心境」「動機」「契機」、修了後の Q8～Q10 は「修得」「実現」「縁」とラベル付けした。さらに、各大問は複数の小問で構成されている。例えば Q2 には 12 問（Q2_1～Q2_12）の小問が設定されているため、分析は小問単位で行う。有効回答数 360 件のうち、表 2 および表 3 の全項目に回答した 107 件を対象に分析を行った。

3.2　平均値分析

入学前の大問 3 問（Q2～Q4）の小問毎平均値と標準偏差を表 2 に示す。よりあてはまるに近い 2.5 より小さい値に黄色でハッチングを行った。

表 2　平均値分析結果（Q2～Q4）

		全体平均	標準偏差
Q2	大学や大学院で学びたいと考えたときの心境について教えてください。		
	Q2_1仕事に停滞感があった	2.79	1.166
	Q2_2刺激が欲しいと思っていた	2.62	1.121
	Q2_3現実逃避したいと思っていた	3.43	1.190
	Q2_4仕事関係以外のどこかに所属していたいと思っていた	3.13	1.150
	Q2_5何かにチャレンジしたいと思っていた	2.21	1.000
	Q2_6これからの人生どうしようと思っていた	2.51	1.168
	Q2_7悔いのないように生きたいと思っていた	2.30	1.002
	Q2_8自分の思うように働きたいと思っていた	2.37	1.014
	Q2_9経験や能力を活かしたいと思っていた	2.37	1.042
	Q2_10社会貢献したいと思っていた	2.71	1.133
	Q2_11仕事上でできることはやりつくしたと思っていた	3.28	1.204
	Q2_12これまでの仕事経験の棚卸しをしたいと思っていた	3.27	1.154
Q3	大学や大学院で学びたいと考えた動機について教えてください。	全体平均	標準偏差
	Q3_1現在の職務に直接必要な基礎的な知識を得るため	2.70	1.167
	Q3_2現在の職務における最新の専門知識を得るため	2.67	1.196
	Q3_3現在の職場で昇進昇格したいため	3.36	1.232
	Q3_4学位が欲しいため	2.66	1.165
	Q3_5最終学歴を上げたいため	2.62	1.218
	Q3_6資格を取りたいため	2.56	1.159
	Q3_7幅広い知見・知識を得るため	2.02	0.824
	Q3_8ばらばらの知識を体系化したいため	2.67	1.062
	Q3_9現在とは違う仕事に就いて年収を上げるため	3.30	1.223
	Q3_10現在とは違う職場・仕事に就くための準備をするため	3.06	1.287
	Q3_11志を同じくする仲間が欲しいため	3.14	1.153
	Q3_12社外等の人的ネットワークを得たいため	3.07	1.113
Q4	大学や大学院への受験（受講）を決めたきっかけについて教えてください。	全体平均	標準偏差
	Q4_1身近に大学や大学院で学んでいる人がいた	3.20	1.349
	Q4_2何もやってない先輩・同僚がいて反面教師となった	3.52	1.176
	Q4_3社外や組織をまたがったコミュニティなどの活動経験が楽しかった	3.27	1.137
	Q4_4近しい人に紹介された	3.50	1.169
	Q4_5勤務先に紹介された	3.69	1.185
	Q4_6学びたい科目や内容があった	2.22	1.040
	Q4_7この人から学びたいと思う教員がいた	3.28	1.309
	Q4_8給付金や助成金が充実していた	3.60	1.243
	Q4_9修了生のSNSやblog等をみてひかれた	3.89	1.152
	Q4_10説明会に出席してここに入学したいと思った	3.77	1.210
	Q4_11通えそうな場所にあった	2.89	1.334
	Q4_12学ぶための時間がとれる見込みがついた	2.72	1.212
	Q4_13学ぶための費用の算段がついた	2.71	1.174

以下に特徴的な結果を大問毎に示す。

- Q2（心境）： 大学や大学院で学びたいと考えたときの心境について教えてください。

よりあてはまる項目は「Q2_5 何かにチャレンジしたい（平均点 2.21）」、「Q2_7 悔いのないように生きたい（平均点 2.30）」、「Q2_8 自分の思うように働きたい（平均点 2.37）」などの自分から前向きな心理状態の結果であった。

- Q3（動機）： 大学や大学院で学びたいと考えた動機について教えてください。

学びたい動機としては「Q3_7 幅広い知見・知識を得るため（平均点 2.02）」がもっともあてはまると回答されている。一方、「Q3_3 現在の職場で昇進昇格したいため（平均点 3.36）」、「Q3_9 現在とは違う仕事に就いて年収を上げるため（平均点 3.30）」など個人の利益に直接結びつく動機はあまり当てはまらない結果を示している。

- Q4（契機）： 大学や大学院への受験（受講）を決めたきっかけについて教えてください。

きっかけは「Q4_6 学びたい科目や内容があった（平均点 2.22）」と自分の希望と教育機関の提供するコンテンツが一致した結果である。逆に、「Q4_9 修了生の SNS や blog 等をみてひかれた（平均点 3.89）」、「Q4_10 説明会に出席してここに入学したいと思った（平均点 3.77）」、「Q4_5 勤務先に紹介された（平均点 3.69）」など他人の意見はきっかけになっていない結果である。

次に修了後の大問 3 問（Q8～Q10）の小問毎平均値と標準偏差を表 3 に示す。よりあてはまるに近い 2.5 より小さい値に黄色でハッチングを行った。以下に特徴的な結果について大門毎に示す。

- Q8（修得）： 社会人になってからの大学や大学院での学びで得たもの、感じたことを教えてください。

実際に学んでみて感じたことは、「Q8_10 これからもなんらかの形で学び続けたい（平均点 2.04）」、「Q8_3 視野が広がった（平均点 2.08）」、「Q8_4 新たな考え方ができるようになった（平均点 2.09）」、「Q8_9 自主的に学ぶのは楽しいとわかった（平均点 2.13）」など学ぶことの重要性であった。一方、「Q8_14 目指していた事業の起業をすることができた（平均点 3.74）」、「Q8_11 年収が増えた（平均点 3.51）」など学んだからと言って直接的利益として得たいものにはあてはまらない結果となった。

- Q9（実現）： 大学や大学院で学びたいと考えたものが実現できたか教えてください。

大学や大学院を受講して実現できたことは「Q9_7 幅広い知見・知識を得ること（平均点 2.18）」であった。一方、「Q9_9 現在とは違う仕事に就いて年収を上げること（平均点 3.64）」、「Q9_3 現在の職場で昇進昇格すること（平均点 3.53）」などの直接的利益については実現できたとは言い難い結果となった。

- Q10（縁）： 大学・大学院での卒業後（受講後）における、大学・大学院とのつながりについてあてはまるものを教えてください。

卒業後、「Q10_5 大学・大学院の発信する SNS（Facebook や X（旧 Twitter）（平均点 3.84））への参加」、「Q10_6 卒業した大学・大学院への寄付による貢献（平均点 3.80）」など、大学とのつながりを持つことに対してあまり当てはまらない結果となった。「Q10_9 同窓との付き合いを保っている（平均点 3.42）」であり、同窓のつながりも総じてあまり当てはまらない結果となっている。

表 3　平均値分析結果（Q8～Q10）

		全体平均	標準偏差
Q8 社会人になってからの大学や大学院での学びで得たもの、感じたことを教えてください。			
	Q8_1学んでいるとき、毎日が刺激的であった	2.15	0.845
	Q8_2学んでいるとき、毎日が充実していた	2.20	0.895
	Q8_3視野が広がった	2.08	0.912
	Q8_4新たな考え方ができるようになった	2.09	0.842
	Q8_5自分もまだまだできるという自信がついた	2.37	1.033
	Q8_6会社で一目置かれるようになった	3.36	1.126
	Q8_7勉強の習慣がついた	2.70	0.924
	Q8_8時間をうまく使えるようになった	2.70	0.954
	Q8_9自主的に学ぶのは楽しいとわかった	2.13	0.859
	Q8_10これからもなんらかの形で学び続けたい	2.04	0.776
	Q8_11年収が増えた	3.51	1.254
	Q8_12社内でやりたい仕事につけた	3.26	1.284
	Q8_13やりたい仕事ができる会社に転職できた	3.50	1.320
	Q8_14目指していた事業の起業をすることができた	3.74	1.341
Q9 大学や大学院で学びたいと考えたものが実現できたか教えてください。		全体平均	標準偏差
	Q9_1現在の職務に直接必要な基礎的な知識は獲得できた	2.66	1.213
	Q9_2現在の職務における最新の専門知識は獲得できた	2.79	1.252
	Q9_3現在の職場で昇進昇格することができた	3.53	1.216
	Q9_4目指していた学位を獲得することができた	2.64	1.224
	Q9_5目指していた最終学歴に到達することができた	2.79	1.281
	Q9_6目指していた資格をとることができた	2.89	1.276
	Q9_7幅広い知見・知識を得ることができた	2.18	0.899
	Q9_8ばらばらの知識を体系化することができた	2.60	0.950
	Q9_9現在とは違う仕事に就いて年収を上げることができた	3.64	1.238
	Q9_10現在とは違う職場・仕事に就くための準備ができた	3.43	1.311
	Q9_11志を同じくする仲間を得ることができた	3.19	1.275
	Q9_12社外等の人的ネットワークを得ることができた	3.01	1.240
Q10 大学・大学院での卒業後（受講後）における、大学・大学院とのつながりについてあてはまるものを教えてください。		全体平均	標準偏差
	Q10_1同窓会・ホームカミングデーといった大学・大学院主催の諸行事への参加	3.59	1.310
	Q10_2企業内・職域などにおける同窓の集まりへの参加	3.93	1.130
	Q10_3ゼミや研究室の集まりへの参加	3.40	1.309
	Q10_4クラブ・サークルといった課外活動への参加	3.83	1.137
	Q10_5大学・大学院の発信するSNS（FacebookやX（旧Twitter））への参加	3.84	1.159
	Q10_6卒業した大学・大学院への寄付による貢献	3.80	1.217
	Q10_7身近な人に卒業した大学の関係者がいる	3.36	1.299
	Q10_8大学・大学院主催の公開講座や図書館の利用	3.46	1.268
	Q10_9同窓との付き合いを保っている	3.42	1.325
	Q10_10恩師との付き合いを保っている	3.43	1.340
	Q10_11大学・大学院と仕事上のつながりがある	3.45	1.347

さらに「Q3（動機） 大学や大学院で学びたいと考えた動機」と「Q9（実現） 大学や大学院で学びたいと考えたものが実現できたか」は動機と実現の対になっているため、小問毎の動機と実現の差を確認した結果を表 4 に示す。Q3 から Q9 を引いた値がプラスであれば期待以上の結果が得られたことを示し、マイナスであれば期待に届かなかったことを示している。0.2 以上の変化を黄色でハッチングを行った。

表 4 から、「学位取得」は目標が達成されたことで、および「現在の職務に直接必要な基礎的知識を得る」など現在の職務への活用は期待以上が得られた結果となった。一方、「現在とは違う仕事に就いて年収を上げる」など異なる職に就けるのではないかと言う期待には、結果が届いていないという結果とな

った。

表 4　Q3 と Q9 に基づく動機と結果の差異分析

	Q3平均値	Q9平均値	Q3-Q9
現在の職務に直接必要な基礎的な知識を得る	2.81	2.66	0.15
現在の職務における最新の専門知識を得る	2.80	2.79	0.01
現在の職場で昇進昇格	3.28	3.53	−0.25
学位の取得	2.84	2.64	0.21
最終学歴の向上	2.84	2.79	0.06
資格の取得	2.64	2.89	−0.24
幅広い知見・知識を得る	2.12	2.18	−0.05
ばらばらの知識を体系化	2.74	2.60	0.14
現在とは違う仕事に就いて年収を上げる	3.20	3.64	−0.44
現在とは違う職場・仕事に就くための準備をする	3.03	3.43	−0.40
志を同じくする仲間が欲しい	3.15	3.19	−0.03
社外等の人的ネットワークを得たい	2.99	3.01	−0.02

4　考察

今回のアンケート結果から、今後の研究を進めるためにいくつかの示唆を得ることができた。これらの示唆に基づき、さらなる検証や調査が必要なポイントを提案する。

まず、アンケート結果からは、社会人学生が大学や大学院で学び直す際に、前向きな心理状態が形成され、学びに対するエンゲージメントが高まる可能性が示唆された。学びたい動機は、自分が必要だと感じた知見・知識の拡充であり、過去に得た知識では対応できない業務の増加に直面していることが背景にあると推測される。この示唆をもとに、今後の研究では、受講後の成果がどのように期待を上回るのか、具体的な学習効果を定量的に測定する必要がある。

次に、社会人学生の学び直しが、昇進や昇格、起業などの短期的な個人的利益には直結していないという結果が得られた。一方、学びによる能力向上は昇進や昇格に反映されるまでに時間的な遅れがあることについて報告されている[10]。この示唆に基づいて、今後の研究では、業種による違いや企業の評価プロセスと学習成果の関係性を長期的に追跡する研究が求められる。

また、同窓生とのつながりが薄いことも示唆された。これは、社会人学生が卒業後にそれぞれの異なる目標に向かうため、積極的に交流する機会が減少している可能性がある。この示唆を踏まえて、今後の研究では、弱い紐帯がキャリアにおける支援やネットワーキングにどのように貢献するかを明らかにすることが重要である。

さらに、修了生と大学・大学院との関係が薄れていることも明らかとなった。特に、経済的・時間的な制約や学びたい内容が大学・大学院にないことが原因である可能性が高い。この示唆をもとに、今後の研究では、修了生が他の教育機関やオンライン学習を選択する背景や、大学・大学院が修了生に対して提供できる継続的な学習機会について検証し、大学・大学院との関係を強化する施策を検討することが必要である。

最後に、「Q3 大学や大学院で学びたいと考えた動機」と「Q9 大学や大学院で学びたいと考えたものが実現」を比較し、動機と実現の差異を確認した結果、現在の職務への活用に関しては動機を上回る成果が得られた。一方、異なる職に就くという動機に関しては、実際の成果はその動機を満足しなかったことが示された。これにより、学び直しが現在の職務において有効である一方、転職や新しい職への進展に関しては、学びだけでは期待するほどの結果に結びつかない可能性があることを示唆している。この結果は、これまでの考察と一致しており、学び直しが昇進や転職などの短期的な成果に直結しないことを再確認するものである。特に、個人の期待と成果のギャップが見られる場合、企業側の評価が時間をかけて反映されるため、学びの効果が即座に現れないことも考えられる。

5　まとめ

これまでの調査を通じて、社会人学生の学習意欲と学習成果に関する動機や結果を明らかにした。この調査では、社会人学生が自身で必要と感じた知識やスキルに基づき、主体的に学習を選択していることが確認された。また、学習の成果が現職で有効に活用されており、継続的な学習が自己成長に不可欠であることも明らかになった。

一方で、卒業後・修了後の大学・大学院との関係が希薄である点も指摘されている。リカレント教育の拡大に伴い、今後は社会人学生を引き続き取り込むことが大学経営にとって重要な課題となる。そのため、大学・大学院は卒業生が次に求める学習ニーズを理解し、これに応じた継続的な学習機会を提供する必要がある。これにより、卒業生との長期的な関係が強化され、大学の経営の安定化にも寄与するだろう。

今後の研究としては、学び直しが長期的なキャリア成長にどのように影響するかを追跡調査する必要がある。また短期的な成果が見られない理由をさらに深く検証する必要がある。さらに、卒業生と大学との関係強化のための新しい学習プラットフォームの構築や、転職やキャリアチェンジにどのように結びつくかについても、さらなる研究が求められる。継続して研究を行っていきたい。

参考文献

1. 文部科学省. 平成 27 年度社会人の大学等における学び直しの実態把握に関する調査研」. 2016. [Online] Available at: https://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/itaku/__icsFiles/afieldfile/2016/06/02/1371459_01.pdf（2024 年 10 月 18 日確認）
2. 内閣府. 平成 30 年度　年次経済財政報告. 2018. p.178, [Online] Available at: https://www5.cao.go.jp/j-j/wp/wp-je18/pdf/p02023.pdf（2024 年 10 月 18 日確認）
3. 文部科学省. 社会人の学び直しに関する現状等について. 2015. p.10. [Online] Available at: https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/koutou/065/gijiroku/__icsFiles/afieldfile/2015/04/13/1356047_3_2.pdf（2024 年 10 月 18 日確認）
4. 佐藤　厚. 職業資格の日本的特質―国際比較の視点から『生涯学習とキャリアデザイン』. 2020. Vol.18. No.1. p.133-154.
5. Liu Y, Ma S and Chen Y. The impacts of learning motivation, emotional engagement and psychological capital on academic performance in a blended learning university course, Front. Psychol.,2024, 15:1357936. doi: 10.3389/fpsyg.2024.1357936
6. 三好きよみ. 社会人が大学や大学院での学習行動へ至る背景と動機についての調査結果. 産業技術大学院大学紀要. 2021. No.15. p.213-218

7. 塚原修一,濱名篤. 社会人の学び直しからみた大学教育. 日本労働研究雑誌, 2017, 687 p.27-36
8. 文部科学省. 新しい時代を切り拓く生涯学習の振興方策について～知の循環型社会の構築を目指して～（答申）.2008. [Online] Available at: https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2008/12/18/080219_01.pdf（2024 年 10 月 18 日確認）
9. 三好 きよみ. 社会人の専門職大学院入学の背景と学習行動―PBL 科目による修了者を対象として―. 公益社団法人日本工学教育協会 2020 年度工学教育研究会講演論文集. 2020. p.246-247
10. 内閣府. 新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画 2024 年改訂版基礎資料集. 2024 年 6 月. p.27. [Online] Available at: https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon//kaigi/minutes/2024/0621/shiryo_01.pdf（2024 年 10 月 18 日確認）

「パートナーロボット」の開発研究: 運動共感に着目したコンセプト構築の試み

Development and research of “partner robot”: Attempt to construct a concept focusing on kinaesthetic empathy

三隅 義範[1]　塚田 悠太[1]　山村 哲司[1]　橋本 智行[1]　近藤 嘉男[1]　内山 純[1*]

Yoshinori Misumi[1]　Yuta Tsukada[1]　Tetsuji Yamamura[1]　Tomoyuki Hashimoto[1]　Yoshio Kondo[1]　Jun Uchiyama[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
[*]Corresponding author: Jun Uchiyama, jun-uchiyama@aiit.ac.jp

Abstract　Partner robots, which live in harmony with people and enrich their daily lives, must be able to communicate naturally with people and provide psychological care and emotional support. In this study, we focused on “kinaesthetic empathy”, which plays an important role in understanding the emotions and intentions of others in communication. With “kinaesthetic empathy” as a central concept, we propose a concept for a partner robot that can communicate naturally and empathetically with humans. This concept would allow the robot not only to mimic human behavior, but also to provide psychological support, stress reduction, and help form social connections through interaction with the observer.

Keywords　partner robot; kinaesthetic empathy; stress; emotion; communication

1　はじめに

ロボットは長年にわたり、主として産業用ロボットを中心に普及し発展してきた。一方、家庭内での家事や介護、子育てをサポートする、あるいは人とのコミュニケーションを担う「パートナーロボット」としての実用化は、これまでのところ限定的であった。しかし、近年では生活サービス分野におけるロボットの活用に対する関心が高まりつつある[1]。

この背景には、センサー技術、人工知能（AI）技術、情報通信技術（IoT）など、ロボットに不可欠な要素技術の技術革新が進展したことが挙げられる。さらに、情報通信ネットワークの整備が進んだことで、センサーから得られる情報を活用して、人とロボットの間で情報を連携する新たな形でのロボットの活用が可能となりつつある[1,2]。

近年の産業構造の変化や働き方の改革に伴い、仕事や生活に対する不安や精神的なストレスを抱える人々の割合が増加している。特に、勤労者の受けるストレスは拡大傾向にあり、仕事に関する不安やストレスを強く感じている勤労者が半数を超える状況にある[3]。これに対して、より積極的にメンタルヘルスの保持と増進を図ることは、勤労者やその家族の幸福を確保し、さらに社会全体の健全な発展に寄与する上で重要な課題となっている。

こうした背景のもと、2016 年より本学・内山プロジェクトチーム（以下、内山 PT）は、「人と共生するパートナーロボット」を仮説提案型の PBL（Project-Based Learning）のテーマとして掲げ、異分野横断型の学生と教員が共創する形で、パートナーロボットの開発研究を進めている。このプロジェクトでは、デザイン思考プロセスのアプローチを用い、感性と機能の両面からユーザーに精神的なサポートを提供できるロボットの開発を目指している[4-7]。

近年は、ストレスコーピング（ストレス対処行動）に着目し、パートナーロボットが「気晴らし行動を促す動作」や「情緒的な共感を抱かせる動作」がコーピングの手助けになりうるとの仮説を立て、ロボットのコンセプトを構築し、ハイタッチのような仕草をすることで達成感や喜びを表現したり（UCR-03）、体を揺さぶるような仕草したり（UCR-04）、足の動きの身体的特徴を模したロボットでスクワットをしたり（UCR-06）、口を模した部分が開閉することで会話をしているような表現をする（UCR-07）4 つのパートナーロボットを提案した[8]（図 1 ）。

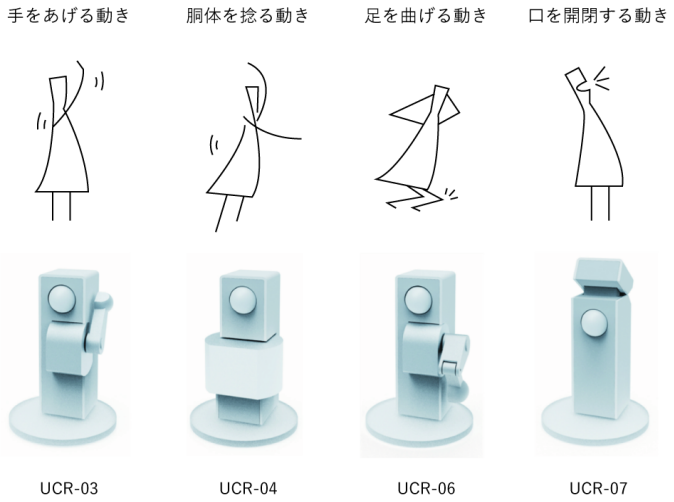


図 1　ストレスコーピングに着目した 4 つのパートナーロボット[8]

次に、前記の口開閉ロボット（UCR-07）の動作に着目し、口開閉動作の要素を抽出して絞り込み、抽象化した動作で感情表現させることを試みた。開閉角度と開閉速度を動作のパラメータとして制御し様々な動作パターンを作ることで、多彩な感情表現の可能性が示唆された。そして、ネットワークを利用して離れていても相手を身近に感じられるマイ・アバター・ロボット（UCR-70）として、利用者に「共感」と「情緒的サポート」を感じさせることを試みた。

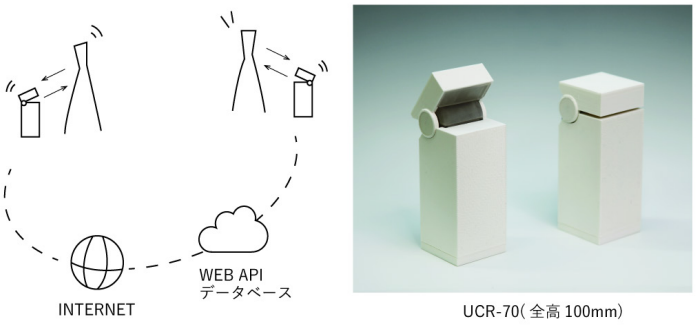


図 2　口開閉動作に着目したパートナーロボット[9]

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

2 研究の概要

人と共生し、日常生活を豊かにするパートナーロボットは、人との自然なコミュニケーションを可能にし、心理的なケアやサポートを提供することが求められている。本研究では、コミュニケーションにおいて、他者の感情や意図を理解する際に重要な役割を果たしている「運動共感（kinaesthetic empathy）」[10]に着目した。

運動共感は、人間が他者や物体の動作を観察した際、実際に体を動かしていないにもかかわらず、その動きを自らが感じ取るという現象である。これに関連して、他者の行動やジェスチャーを観察した際、その動きを脳内で鏡のように模倣し、他者の意図や感情を理解し、共感するメカニズムがあるとされており、このメカニズムはミラーニューロンの活動に基づき、共感や社会的相互作用において重要な役割を果たしているとされる[10-12]。また、ジェスチャーのような身体的な動作によるコミュニケーションは、言語だけに頼らず、他者との意思疎通を促進するための重要な手段である。「ジェスチャー(gesture)」は、意思や感情を伝達する非言語的な身体動作を指し、人間のコミュニケーションにおいて重要な役割を果たすものである。その意味は、文化的背景や状況に応じて多様に変化する[13]。本稿では、日本文化における文脈を踏まえ、「ジェスチャー」を主に感情表現の手段として用いられる動作と定義する。

ロボットが人間のジェスチャーを模倣し、身体的な動作を通じてコミュニケーションを図ることで、ロボットと人間の相互理解が深まり、より円滑な対話が可能になることが示唆されている[14]。これにより、ロボットは単に指示を受ける機械的存在ではなく、対話を通じて人間の感情やニーズを理解し、より親密な関係を構築するパートナーとして機能することが期待される。

本研究では、「運動共感」を中心的な概念として、ロボットが人間のジェスチャーを模倣し、身体的な動作を通じて共感的なコミュニケーションを図ることができるパートナーロボットのコンセプト提案を行う。このコンセプトは、ロボットが単に人間の動作を模倣するだけでなく、観察者との相互作用を通じて、心理的なサポートやストレス軽減、社会的なつながりの形成を支援するものとなる。

例えば、スポーツ観戦中に選手が行う動作を見て、まるで自分もその動きをしているかのような感覚になったり、他者が痛みを感じている様子を見て、自分も痛みを感じたりするような反応を生じる運動共感は、社会的な共感の一部として考えられており[15,16]、他者の行動を理解し、反応する際に重要な役割を果たす。これは、身体運動だけでなく、他者の感情や意図を理解することにも関わっている。

ミラーニューロンは、運動共感の神経基盤を理解する上で重要な神経細胞である。運動共感とミラーニューロンは密接に関連しており、他者の動作を観察した際に自分の脳内でもその動作に対応するニューロンを活性化させ、他者の動作を自分自身が行っているかのように感じる運動共感を引き起こす[11]。

ミラーニューロンは運動共感だけでなく、他者の痛みや喜び、悲しみといった感情に共感するプロセスにも関連している。これにより、社会的なつながりや他者とのインタラクションにおいて重要な役割を果たす。

したがって、運動共感とミラーニューロンは、他者の行動や動きを理解し、共感するための重要な神経メカニズムである。ミラーニューロンが他者の運動を観察する際に活性化することで、私たちは他者の動作や意図を認識し、それに共感できるものである。このシステムは、社会的なつながりや協調的な行動の基盤となっているため、運動だけでなく、広範な共感行動にも寄与している[17]。

また、共感とストレス解消には密接な関係があり、共感とは他者の感情や状況を理解し、その気持ちを共有する能力を指すが、これがストレスの軽減に大きく寄与する。共感を受けることで人は安心感情を抱き、孤独感が軽減される。これは心理的なサポートとなり、ストレスホルモンの分泌を抑える効果がある[18,19]。共感することで互いに感情を共有し、信頼関係が強まり、それによってストレスの原因となる問題を他者と協力して解決しやすくなる。さらに、共感を示す行動は他者とのポジティブな関係を築くことにつながり、サポート（互助）ネットワークが強化される。このネットワークは、ストレスが高まったときに支えとなり、精神的な安定感をもたらす[20]。

他者と感情を共有し支え合うことで、自己表現が容易になり、ストレスが蓄積される前に発散する機会が増えるため、共感は重要なストレス解消の要素となる。

3 コンセプト構築

本研究は、他者の動作を観察した際に生じる「運動共感」に基づいて、ストレスの緩和を目指すロボットの開発研究に関するものである。

既往研究では、「ミラーニューロン」の発見[11]において、人間が他者の行動を観察する際、脳内でその行動を模倣するニューロンが活性化することを示しており、この現象が「運動共感」の基盤であることが知られている[16]。

また、共感は他者の感情や視点を理解し、それを自分自身で感じ取る能力として知られ、人間関係における社会的結びつきの形成や精神的健康の維持に重要な役割を果たすものである[21]。運動共感と感情的共感が形成されると、心理的なストレスの軽減が期待される。社会的サポートや共感的関与がストレス緩和に有効であることが既往研究で示されており[22]、共感を通じた人間関係の質の向上は、ストレスコーピング効果として機能する。

以上の理由から、本研究では「ジェスチャー運動によるミラーリング」から「共感」感情の表出により、「ストレス軽減」につながるとの仮説を立て、運動共感を介したストレスコーピングの実現に向けたロボット設計の理論的基盤とした。

他者の行動を自分の脳内で、まるで鏡のように反映させる「ミラーニューロン効果」によって、運動共感が生じる。これは、他者の動きを観察した際、自分の脳内でその動きが再現される現象であり、ミラーリング効果を利用して、他者の動作に共感するロボットの設計が想定さる。

ミラーリングによって得られる運動共感は、さらに他者の感

情や気持ちを共有する「共感（empathy）」へと発展する。このプロセスでは、他者が感じていることを理解し、それを自分自身も感じ取ることが重要である。この共感感情が、ロボットによるストレスケアの一環として活用されることが考えられる。

共感を通じて、心理的なストレスが軽減されることが期待される。他者との共感や感情の共有は、ストレスの軽減に寄与するため、このメカニズムがロボットによるストレスコーピングの基盤となる。

図３は、「ジェスチャーによるミラーリングが運動共感を促し、その結果ストレスが軽減される」という仮説に基づいた概念図である。このメカニズムを活用して、ロボットのコンセプト設計を行う。

ロボットがジェスチャーを通じて運動共感を誘発し、さらに共感を生み出し、それによってストレスを軽減するというプロセスを提案する。このコンセプトは、心理的支援やメンタルケアの一助となる新しい方法として考えられる。

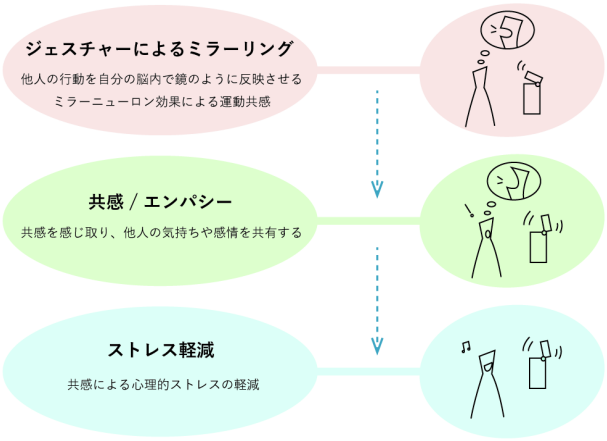


図 3　運動共感によるストレス軽減仮説の概念図

「運動共感によるストレスコーピング」をテーマとしたコンセプトを基にプロトタイプを考案する。ジェスチャー運動として、ポジティブな感情を誘発して運動共感を効果的に引き出し、ユーザーとの心理的つながりを強化してストレス軽減のメカニズムをより実効的に寄与することが期待される代表的なジェスチャーとして、「ハイタッチ」と「手振り」のジェスチャー運動を本研究のロボット設計に適用する。

図４はハイタッチの動作をする様子をイラストで示す。「ハイタッチ（High Five）」は、一般的に友好や達成感、喜びを表現するためのジェスチャーで、二人の人間が互いに手を上に向けて打ち合わせる行為である。ハイタッチは、友好的でポジティブなジェスチャーとして知られており、コミュニケーションやエンパワメントの一部として使用され、ハイタッチを行うことで、お互いの間に瞬時に親近感が生まれ、ポジティブな感情を引き出すことが期待される。この動作は、他者との共感や協力の象徴でもある。

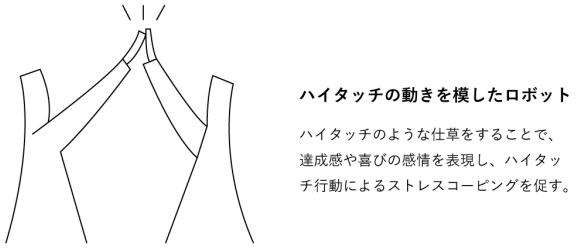


図 4　ハイタッチの動き

図４のハイタッチの動きの派生として、図５は同様の腕の動きをする手振り動作をする様子をイラストで示す。手振りは、挨拶や別れの際に使われる基本的なジェスチャーであり、親しみやすさや友好的なコミュニケーションを表わす。相手に対して歓迎の意を示す、もしくはコミュニケーションを始めるための自然な誘いが可能になる。この動作も、共感的なつながりを強化するための動作の象徴となる。

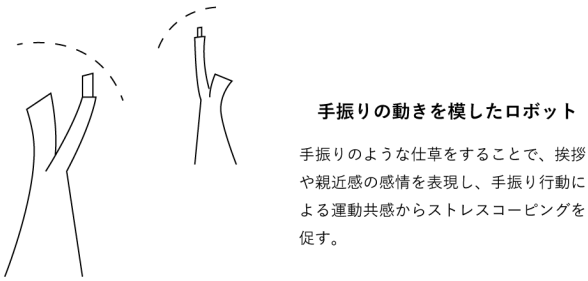


図 5　手振りの動き

「ハイタッチ」や「手振り」はシンプルな動作でありながら、他者とのつながりや感情的な交流を促進し、ポジティブな感情を引き出し、ストレス軽減や共感を促すことにつながると推測し、これらの動作を取り入れたプロトタイプの設計を試みる。

本提案は、運動共感をベースにしたストレスコーピングの応用として、ロボットを利用する新規性のあるコンセプト提案であると考える。

4　プロダクトデザイン構築

動作の抽象化による形態の創出

「ハイタッチ動作の抽象化」に関するプロトタイプ設計の方法を示す。以下に、図６を基に説明する。

研究の目的は、ハイタッチ動作を抽象化し、ロボットで再現するための基本的な動作モデルを構築することである。

ハイタッチ動作は、 肩を動作の基準点（回転の軸）として設定し、肩を中心にして腕が回転する円を描き、腕の長さは半径として捉えられ、腕の動きは肩を中心とした円運動とみなされる。

手のひらの位置が最終的な動作の終点であり、この点がハイタッチ動作の頂点（他者と接触する位置）となる。このモデルでは、肩を中心に腕を動かし、手のひらがハイタッチを行う位置まで到達する動作を円運動として捉えている。人間の肩の動

きを機械的な回転軸に変換し、回転運動として制御する。手のひらの位置は、動作の終点として設定されてハイタッチの位置を決定し、動作の精度を高める。

前記モデルに基づき、ロボットのプロトタイプを設計する。

人間の肩の動作を再現するために、ロボットには回転軸が設置され、その軸を中心にアームが動く回転機構としての仕組みが設けられている。

ロボットのアームの長さは、抽象化されたモデルに基づいて設定され、手のひらが正確にサーボモータにより動作できるように腕の長さと動作範囲が調整される。

手のひらを最終的な動作の位置として、ハイタッチの動作が完結するように手のひらの位置決めを設計する。

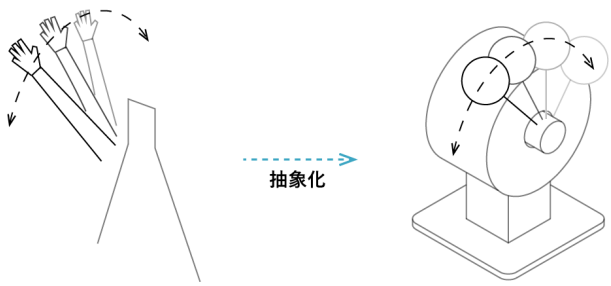


図 6　ハイタッチ動作の抽象化

更に、ハイタッチ動作と同様のプロトタイプを使用して、視点を変えて（90° 回転）見ることにより、手振り動作を抽象化したモデルを構築する。手振りは、コミュニケーションにおける重要な動作であり、それをロボットで表現することは、自然な人間とのインタラクションを実現するための重要なステップとなる。

以下に、図 7 を基に説明する。

肩を動作の基準点として設定し、ここが動作の回転軸として機能する。肩は腕全体の回転の支点となる。肩から手のひらまでの腕の長さが半径として設定し、この腕の長さを使って、手が円軌道を描くように動作する。

手のひらの位置は動作の終着点として扱われ、手のひらが左右に動くことで、コミュニケーションジェスチャーとしての手振りが成立する。手振り動作全体は、肩を中心とした腕の円運動としてモデル化され、この円運動により、手のひらが左右に動き、他者への視覚的なジェスチャーが完成する。

腕の動きは、肩を中心とした円運動として再現され、ロボットの腕の長さ（半径）を設定し、その半径に基づいて手のひらの動きをサーボモータで制御する。

ロボットは肩を基点にして、腕を動かし、手のひらが他者に向かって左右に円運動を描くように手振り動作を行うことが可能になる。

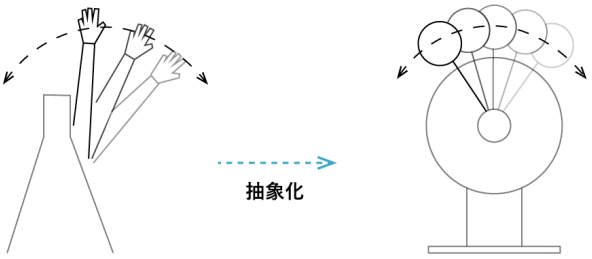


図 7　手振り動作の抽象化

人間のシンプルな動作である手振りをロボットに再現させることで、自然な対人インタラクションを促進することを目指している。手振りは友好や別れのジェスチャーとして使われ、コミュニケーションの基本的な要素である。この動作をロボットに再現させることで、人間とのより円滑なコミュニケーションが可能となることが期待される。

5　研究内容

図 8 は、プロトタイプ制作に関するプロセスを示しており、ロボットの設計から実際のプロトタイプ完成までの工程が記載されている。以下に、このプロセスを実験方法として詳細に説明する。

本研究の実験は、運動共感を誘発するロボットを制作するために、設計から部品製作、システム設計、実機組立までのプロセスを通して行われている。プロトタイプの目的は、ロボットが人間の動作を再現し、運動共感を引き起こすことである。

まず、ロボットの設計図が作成され、各部品を制作する。この段階では、次の要素に重点を置いて設計が進められる。

各部品の寸法や配置を設定し、肩の回転軸や腕の半径など、動作の機械的な部分が詳細に設計され、実際の動作に必要な寸法や部品の構成が決定される。

次に、ロボットが動作するためのシステムが設計され、必要な電子部品やセンサーが組み込まれる。主な要素は以下の通りである。

ジェスチャーを検知するためのジェスチャーセンサー（UCR-J01）が搭載され、このセンサーがユーザーの動作（本研究では、ハイタッチ動作と手振り動作）を感知し、ロボットの反応を引き起こすトリガーとして機能する。

マイクロコントローラー（M5AtomS3、M5Atom）は、センサーの入力を処理し、ロボットの動作を制御する。I2C と ESP-NOW の通信プロトコルを用いて、センサーからのデータがマイクロコントローラーに送られ、ロボットの動作が実行される。

サーボモータ（RS304MD）は、腕の回転を制御するために組み込まれており、ジェスチャーセンサーからの入力に基づいて、ロボットの腕が動作する。

機械設計とシステムの構築が完了した後、3D プリンターにて機械部品を出力し、電気部品を実装してロボットのプロトタイプ（UCR-X01）が完成する（図 9 ）。

プロトタイプを用いた実験では、運動共感を引き起こすロボットの動作モデルを構築することを目指している。シンプルな

動作を通じて、ロボットが人間の動作に反応し、共感的なインタラクションを生み出すプロトタイプが完成する。本研究は、運動共感に基づくロボットの新しい応用方法を探るものであり、今後のヒューマンインターフェース設計に寄与する可能性が見込まれる。

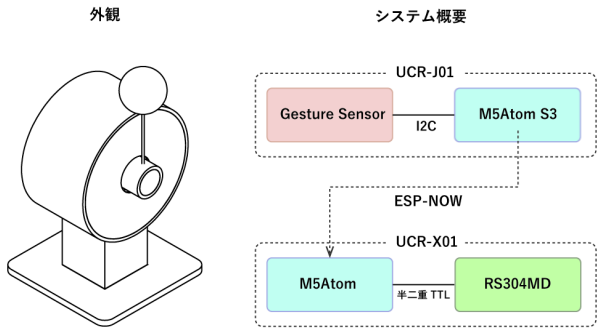


図 8　プロトタイプ制作（UCR-J01、UCR-X01）

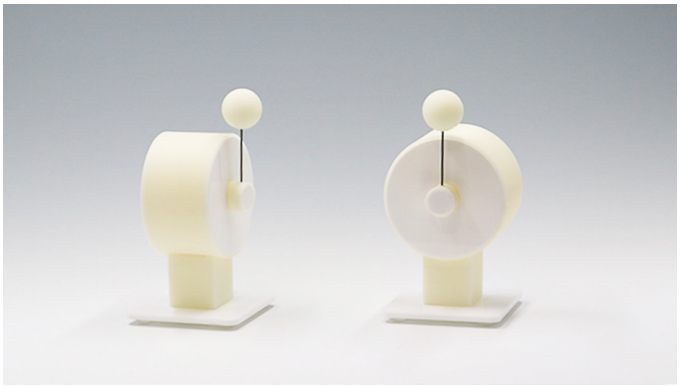


図 9　UCR-X01　（全高 89mm）

6　展示会出展

概要と目的

本研究のテーマである「運動共感によるストレスコーピング」を目的としたロボットのプロトタイプを制作し、大田区産業振興会主催の「第 13 回 おおた研究・開発フェア 2023」に出展（図 10）した。展示会における来場者の感想を基に、ロボットの効果について考察し、実用性や改善点を探るものである。

結果

ロボットのコンセプトや機能を来場者に説明し、実際にロボットを操作・観察してもらった。ロボットとの簡単なインタラクションを通じて、その機能やストレスコーピングの意図について説明し体験してもらった後、ロボットの動作や機能の理解度、ストレス軽減効果の実感、ロボットに対する全体的な印象（デザイン、操作感、共感の度合いなど）について、感想を聞いた。

来場者は概ねロボットコンセプトの狙いである「ストレスコーピング」を理解しており、その意図が伝わっていた。特に、簡単なジェスチャーを通じて運動共感を引き出し、心理的なリラクゼーションを促すというコンセプト提案は、来場者の多くから肯定的な感想を得た。また、来場者の一部からは、ロボットとのジェスチャーインタラクションによって心地よさを感じたというフィードバックがあり、ストレス軽減効果があると報告された。

一方では、短時間の体験では十分にその効果を感じられなかったという意見もあり、長期間の使用や、ストレスの程度によって効果が変動する可能性のあることが示唆された。

ロボットのデザインや操作感に関しては、全体的に好意的な反応が見られた。特に、シンプルなデザインが親しみやすく、操作が直感的であるという点が好まれた。動作の滑らかさやレスポンスに関しては、さらなる改善が望まれる点も指摘されたが、全体的な印象は良く、多くの来場者から今後の発展に期待する声をいただいた。

考察

ミラーニューロン効果に基づくアプローチは、他者の動作に共感しやすい状況を作り出すための効果的な手法であり、来場者がロボットの動作を観察し、共感することで一時的な心理的ストレスの緩和を体験できたと言う感想を得たことは、今後のさらなる発展に繋がる有用な知見である。

一方で、来場者からはロボットの動作精度やインタラクションの速度に関して改善の要望が寄せられた。これらは今後の研究において、ロボットの反応時間を短縮し、より直感的でスムーズなインタラクションを実現するための課題となる。また、長期間の使用における効果の持続性や、異なるストレスレベルのユーザーに対する適応性についても追加の検証が必要であると感じた。

「おおた研究開発フェア」においての運動共感ロボットが得た評価は、全体的に好意的なものであり、運動共感におけるロボットが有用である可能性が示唆された。次のステップとしては、ロボットの操作性向上や、より深い共感を引き起こすジェスチャーの精緻化が課題となる。



図 10　展示会（おおた研究･開発フェア 2023）

7 まとめ

本研究では、運動共感理論に基づくロボットを開発し、「おおた研究開発フェア」にてその効果を実証するための展示を行った。ロボットは、ジェスチャーを通じて人間とインタラクションを図り、心理的ストレスの軽減に寄与することを目指したもので、来場者から得た感想に基づき、ロボットの効果と課題について評価した。

来場者の多くは、本ロボットが狙う「運動共感によるストレスコーピング」というコンセプトを理解し好意的に受け入れられた。特に、ハイタッチや手振りといったシンプルなジェスチャーを通じて、ユーザーが「運動共感」性を感受したことは、本ロボットがストレス軽減に一定の効果を持つことを示唆している。これらのフィードバックから、ロボットの動作が感情的なつながりを促進し、ストレス緩和の手助けとなる可能性が示された。

ただし、来場者からは、動作の滑らかさや速度に関して改善を求める声も多く寄せられた。ロボットのジェスチャーに対する反応時間や動作の精度に課題があることが指摘されており、これらの技術的な改良が必要である。特に、ストレス軽減の効果を高めるためには、ロボットがユーザーの動作や感情に迅速かつ自然に反応できるようにすることが重要であると考える。

また、展示会での短時間のインタラクションに基づく感想であるため、ロボットが長期間の使用において同様の効果を発揮できるかについては、今後の検証が求められる。長期的なストレス軽減の効果や、異なる環境や状況でのロボットの適応性についても、追加の実験が必要であると考える。

8 おわりに

今後の展望として、技術的な改善を進めることで、より直感的で自然なインターフェースを持つロボットの開発が期待される。加えて、異なるユーザー層や環境における効果検証を行い、さまざまな状況に応じた適応性の高いストレスコーピングツールとして、広範に応用できるロボットシステムの開発が求められる。最終的には、未来の豊かな暮らしの一助となり、人に寄り添うパートナーロボットとして、ストレスマネジメントや心理ケアに寄与する実用的なロボット技術の確立を目指すものである。

本稿は、2021 年度に本学紀要 No.15 [9]で掲載された「人との共生を目指すパートナーロボット」に関する研究を基に、AIIT 修了生コミュニティによる継続的な研究成果としてまとめたものである。特に、研究活動をご支援、ご協力してくださった本学社会連携係および 2023 年度 PBL（内山 PT）メンバーの皆様に、心より感謝申し上げる。

参考文献

1. 総務省 令和 6 年度版通信情報白書. “ロボティクス”, pp.42-44, 2024.
2. 総務省 令和 6 年度版通信情報白書. “AI の進化に伴い発展するテクノロジー”, pp.40-42, 2024.
3. 厚生労働省 令和 6 年度版厚生労働白書. “労働者を取り巻くストレスの現状”, pp.21-31, 2024.
4. 角田善彦, 上林昭, 高橋和章, 小野敦士, 神田雅泰, 岸本悠希, 山田涼馬, 近藤嘉男, 内山純, 人間とロボットの関係性を再デザインする―21 世紀初頭を超えたその先のコンセプト構築の試み―, 産業技術大学院大学紀要, No.10, pp.161-167, 2016.
5. 平社和也, 竹島大智, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究―表情と仕草に着目したコンセプト構築の試み―, 産業技術大学院大学紀要, No.11, pp.175-180, 2017.
6. 岡野恵実, 周元, 小川太輔, 神田雅泰, 平社和也, 土屋陽介, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究―人々のコミュニケーションを媒介するロボット―, 産業技術大学院大学紀要, No.12, pp.171-176, 2018.
7. 小川太輔, 大類桂一, 北浦なつみ, 胡瑶霞, 楊旭, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究―「ハートフルロボット」コンセプト構築の試み―, 産業技術大学院大学紀要, No.13, pp.121-126, 2019.
8. 橋本智行, 秋津翔吾, 川合隆太, 付迪, 古瀬竜太郎, MAO XIN, 土屋陽介, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究―ストレスコーピングに着目したコンセプト構築の試み―, 産業技術大学院大学紀要, No.14, pp.161-168, 2020.
9. 三隅義範, 石田大樹, 金澤大賀, Xian Jiaqi, 宋順, 廣田祐樹, 橋本智行, 土屋陽介, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究－口開閉動作に着目したコンセプト構築の試み－, 産業技術大学院大学紀要, No.15, pp.151-159, 2021.
10. 三好賢聖. 動きそのもののデザイン:リサーチ・スルー・デザインによる運動共感の探究. 出版社ビー・エヌ・エヌ, 2022.
11. Giacomo Rizzolatti, Laila Craighero, THE MIRROR-NEURON SYSTEM. Annual Review of Neuroscience, Vol.27, No.1, pp. 169-192, 2004.
12. 浅田稔. ミラーニューロンシステムが結ぶ身体性と社会性. 日本ロボット学会誌. Vol.28, No. 4, pp.386-393, 2010.
13. 布井雅人, 銭龍虎, 上田祥行, 吉川左紀子. 非言語コミュニケーションにおける日中比較－対人距離・ジェスチャーに関する検討－. 日本心理学会大会発表論文集, 77 巻, 日本心理学会第 77 回大会, セッション ID 2EV-027, pp.187, 2013.
14. 福原佑貴, 上出純平, 中野有紀子. コミュニケーションロボットにおけるジェスチャー表出の有効性. The 25th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence, 2011.
15. 渡辺悦男. 器械運動学習における児童の運動共感に関する基礎的研究. スポーツ教育学研究, Vol.13, No.1, pp.15-24, 1993.
16. 福田正治. 共感と感情コミュニケーション（I）―共感の基礎―. 研究紀要 富山大学杉谷キャンパス一般教育, 第 36 号, pp.45-58, 2008.
17. 大平英樹. 共感を創発する原理. エモーション・スタディーズ, 第 1 巻第 1 号, pp. 56-62, 2015.
18. 下田芳幸, 黒山竜太, 吉村隆之. 共感性が対人ストレスコーピングおよびストレス反応の表出に及ぼす影響. 富山大学人間発達科学部紀要, 第 6 巻第 1 号, pp.171-180, 2011.
19. 渡辺茂. 動物における共通経験と共感. 認知神経科学会, Vol.19, No.3･4, 2017.
20. 宗像恒次. セルフケアとソーシャルサポートネットワーク. 国立精神･神経センター精神保健研究所:日本保健医療学会年報, Vol.41-19, 1989.
21. Jean Decety, Philip L. Jackson. The Functional Architecture of Human Empathy. Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, Vol.3, Issue2, 2004.
22. Keltner, D. Tracy, J. Sauter, D.A. Cordaro, D.C. Expression of emotion. Handbook of Emotion, pp.467-482, 2016.

デザインのコミュニケーションにおける色彩表現の形容詞使用頻度の分析

Analysis of adjective usage frequency in color scheme image scales

河西 大介 [1*]
Daisuke Kasai[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Daisuke Kasai, kasai-daisuke@aiit.ac.jp

Abstract This study aims to clarify the frequency of adjectives and adjectival verbs used in color expression within design communication, providing insights into linguistic characteristics in contemporary color design. A survey involving 36 female university students was conducted, and the frequency of 50 adjectives was evaluated using the non-parametric Kruskal-Wallis test. The results revealed that all adjectives showed significant differences from the baseline value ("not used at all"; $p < 0.001$). Positive adjectives such as "fun" and "refreshing" were frequently used, indicating a preference for emotional descriptors in color design contexts. In contrast, adjectives such as "sweet" and "solemn" were less frequently used, suggesting their application is more limited. Additionally, open-ended responses revealed unique expressions like "cute" and "emo," reflecting modern linguistic trends that enhance emotional appeal in design. These findings deepen our understanding of language selection in color design and underscore the importance of diverse linguistic expressions in supporting nuanced color-based communication in contemporary media.

Keywords impression words; color image scale; adjective usage

1 はじめに

モノづくりのプロセスにおいて、色彩の選定や展開は製品のコンセプトやイメージ、ブランドアイデンティティなどを消費者に伝えるために非常に重要なデザイン要素の一つである。色に対する感じ方や印象は多様であるため、小林重順氏と日本カラーデザイン研究所によって作成されたカラーイメージスケールが様々な分野で使用されている[1,2,3,4,5,6]。カラーイメージスケールには、180 語の形容詞で構成された言語イメージスケールを基に、130 色の単色イメージスケールと、3 色の配色で構成された配色イメージスケールの 2 つがある[1]。配色イメージスケールは 50 語の形容詞で構成され、それぞれの形容詞に関連付けされた配色が設定されており、デザイナー間だけでなく、デザイナーとクライアントの間での色彩イメージの共有に広く利用されている。しかし、カラーイメージスケールで使用されている形容詞は 1975 年に設定されたものであり、必ずしも現代の感性や多様な価値観を反映しきれていないと考えられる。現代におけるデザイン環境の急速なデジタル化やグローバル化に伴い、色彩に対する言語表現も時代に即したアップデートが求められている。とりわけ、デザイナーとクライアントが色彩イメージを共有する際に、視覚情報の差異を埋め、感覚的な表現を共有することは、円滑なデザインプロセスにおいて不可欠である。

本研究では、デザインのコミュニケーションにおいて、色彩を表現する際に使用される形容詞および形容動詞について、どのような言葉がどれくらいの頻度で使われているのかを明らかにすることを目的とする。

2 研究方法

2.1 調査対象

本研究における調査は生活科学部の女子大学生 36 名を対象に実施した。

2.2 調査方法

本研究では、先行研究から得られた配色イメージスケールに使用されている 50 語の形容詞[6]について、その使用頻度を「全く使用しない」「あまり使用しない」「どちらとも言えない」「よく使用する」「非常によく使用する」の 5 段階で評価する Web アンケート調査を実施した。加えて、自由記述欄を設け、50 語以外に使用される形容詞や形容動詞についても回答を求めた。表 1 にアンケート調査に使用した 50 語の形容詞を示す。なお、本調査は、産業技術大学院大学研究安全倫理委員会の審査と承認を得て実施した。

表 1 50 語の形容詞

1	あどけない	26	スマートな
2	子供らしい	27	知的な
3	ユーモラスな	28	風流な
4	たのしい	29	味わい深い
5	ポップな	30	伝統的な
6	カジュアルな	31	本格的な
7	にぎやかな	32	貫禄のある
8	強烈な	33	風格のある
9	行動的な	34	おごそかな
10	エネルギッシュな	35	ダンディな
11	甘美な	36	真面目な
12	ロマンティックな	37	魅惑的な
13	清麗な	38	ぜいたくな
14	のんびりした	39	豪華な
15	やすらいだ	40	野性的な
16	うるおいのある	41	たくましい
17	新鮮な	42	清潔な
18	家庭的な	43	さわやかな
19	くつろいだ	44	青春の
20	温厚な	45	若々しい
21	女らしい	46	明快な
22	気品のある	47	スピーディな
23	優雅な	48	モダンな
24	エレガントな	49	合理的な
25	洗練された	50	緻密な

2.3 分析手法

本研究では順序尺度に基づくデータのため、ノンパラメトリック検定を採用し検証した。自由記述で得られた形容詞については内容分析を行い、頻出語や類似する表現の傾向を把握するための定性的分析を行った。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

表2　形容詞ごとの Kruskal-Wallis 検定に基づく平均ランク（高い順）

No.	形容詞	平均ランク	平均値	平均95%信頼区間（下限-上限）	
1	たのしい	1,521.1	4.5	4.2	4.86
2	さわやかな	1,399.9	4.1	3.8	4.47
3	豪華な	1,324.7	3.9	3.53	4.3
4	清潔な	1,277.6	3.8	3.4	4.16
5	真面目な	1,256.3	3.7	3.28	4.16
6	新鮮な	1,230.1	3.6	3.21	4.07
7	カジュアルな	1,228.6	3.6	3.23	3.99
8	にぎやかな	1,193.5	3.6	3.05	4.06
9	のんびりした	1,123.6	3.3	2.87	3.8
10	子供らしい	1,118.1	3.3	2.91	3.64
11	本格的な	1,116.3	3.3	2.84	3.78
12	ぜいたくな	1,088.9	3.3	2.76	3.74
13	ロマンティックな	1,081.8	3.2	2.75	3.64
14	ポップな	1,060.2	3.1	2.69	3.59
15	強烈な	1,048.7	3.1	2.66	3.56
16	青春の	1,024.6	3.1	2.56	3.55
17	優雅な	1,000.2	3.0	2.53	3.41
18	伝統的な	992.5	2.9	2.54	3.29
19	うるおいのある	970.9	2.9	2.42	3.36
20	くつろいだ	967.4	2.9	2.41	3.37
21	女らしい	949.4	2.8	2.37	3.3
22	家庭的な	944.1	2.8	2.36	3.25
23	気品のある	899.2	2.7	2.25	3.14
24	若々しい	899.0	2.7	2.25	3.08
25	スマートな	892.2	2.7	2.22	3.12
26	モダンな	882.7	2.6	2.19	3.09
27	たくましい	876.6	2.6	2.18	3.04
28	温厚な	845.6	2.5	2.09	2.97
29	行動的な	826.4	2.5	2.03	2.91
30	貫禄のある	822.6	2.4	2.06	2.83
31	スピーディな	808.4	2.4	1.98	2.91
32	エネルギッシュな	798.4	2.4	1.95	2.88
33	エレガントな	789.9	2.4	1.94	2.84
34	洗練された	765.1	2.3	1.87	2.8
35	知的な	762.4	2.3	1.87	2.74
36	魅惑的な	754.1	2.3	1.86	2.75
37	ダンディな	723.8	2.2	1.8	2.59
38	やすらいだ	721.4	2.2	1.76	2.63
39	味わい深い	701.4	2.1	1.73	2.54
40	清麗な	677.5	2.1	1.63	2.65
41	合理的な	660.4	2.1	1.61	2.5
42	あどけない	652.7	2.0	1.62	2.44
43	明快な	642.7	2.0	1.59	2.41
44	野性的な	605.6	1.9	1.51	2.27
45	ユーモラスな	568.1	1.8	1.43	2.12
46	風格のある	550.7	1.8	1.4	2.1
47	風流な	534.2	1.7	1.36	2.03
48	緻密な	506.8	1.6	1.33	1.89
49	おごそかな	478.5	1.6	1.25	1.86
50	甘美な	460.5	1.5	1.24	1.76

3　調査結果

3.1　50 語の形容詞の使用頻度

本研究では、50 語の形容詞間の使用頻度を評価するために、ノンパラメトリック検定である Kruskal-Wallis 検定を実施した。各グループにおけるデータ数は均等に 36 であり（合計サンプル数：1,800）、各グループのデータはランク付けされ、その平均ランクを比較した。

検定の結果、各形容詞間に統計的に有意な差があることを示している（$p < 0.001$）。特に「たのしい」(1,521.1)、「さわやかな」(1,399.9)、「豪華な」(1,324.7)、「清潔な」(1,277.6)、などのポジティブな印象を与える表現が高い使用頻度を示した。一方、「甘美な」(460.5)、「おごそかな」(478.5)、「緻密な」(506.8) といった形容詞は比較的使用頻度が低かった。

3.2　自由記述

調査の自由記述結果から、デザインの色彩に関するコミュニケーションの際に使用する形容詞として、「淡い」「濃い」「薄い」「煌びやかな」「頑丈な」「かわいい」「かっこいい」「シンプルな」「派手な」「個性的な」「独特な」「キュートな」「クールな」「可愛らしい」「エモい」「きれい」「綺麗」が得られた。

4　考察

4.1　形容詞の使用頻度について

調査結果に基づき、使用頻度を「高い」「低い」の 2 段階に分類し、それぞれについて以下に考察する。

まず、使用頻度が高い形容詞には、「たのしい」「さわやかな」「豪華な」「清潔な」などが確認された。これらの形容詞は、色彩デザインにおいてポジティブで心地よい印象を与えるために頻繁に使用されていると考えられる。「たのしい」や「さわやかな」といった形容詞は、視覚的に明るく軽快な印象を与える暖色系やパステルカラーと関連が深く、消費者に親しみやすさや快適さを感じさせる効果があると考えらえる。

一方で、「甘美な」「おごそかな」「おごそかな」「緻密な」といった形容詞は、使用頻度が低い形容詞に分類された。これらの形容詞は、一般的な色彩デザインにはあまり使用されず、特定の文脈やテーマに応じて選ばれる傾向があると考えられる。

4.2　自由記述について

自由記述から得られた形容詞には、「淡い」「濃い」「薄い」「煌びやかな」「頑丈な」「かわいい」「かっこいい」「シンプルな」「派手な」「個性的な」「独特な」「キュートな」「クールな」「可愛らしい」「エモい」「きれい」「綺麗」であった。特に「かわいい」「エモい」「かっこいい」などの感情的反応を表す形容詞は、現代の色彩デザインにおいて重要な表現要素であると考えられる。これらの表現は、特に若年層を中心としたデジタルメディアや SNS で、視覚的インパクトと共感を喚起する上で重要な役割を果たし、デザインの感情的な魅力を伝えるために頻繁に用いられていることが考えられる。また、「個性的な」「派手な」「独特な」などの形容詞は、デザインに独自の価値や差別化をもたらすための表現として有用であると考えられるが、これらの表現から単独で色相を想起することは難しい場合が多いと考えられる。

5　今後の課題

本研究は、36 名の回答者を対象に行われ、統計的には有意な結果が得られたものの、性別や年齢層、職業などの属性に偏り

が存在する。今後の研究では、より多様な属性を持つサンプルを増やすことで、得られる結果の一般化可能性を高めることが重要である。加えて、本研究のサンプルは全て女性であったため、男性における形容詞・形容動詞の使用頻度についても追加調査を行い、より包括的な知見を得る必要がある。また、今後の研究では、使用頻度の高い形容詞を対象とし、それらが単色や配色の中でどのように視覚的に表現され、既存の色彩研究とどのように一致または異なるかを比較することが求められる。このアプローチにより、色彩と感情表現との関係性がさらに解明され、形容詞の選定に基づく色彩デザインの実践的応用が期待される。

参考文献

1. 小林重順，日本カラーデザイン研究所．カラーイメージスケール_Version 2．講談社; 2001.
2. 山脇一宏，椎塚久雄．カラーイメージスケールを利用した音楽の特徴抽出．日本知能情報ファジィ学会誌. 2005;17: 615-621.
3. 清澤雄．かわいい色の調査結果に基づく評価者のクラスター分類とその嗜好特性．日本感性工学会論文誌. 2014;13: 107-116.
4. 小川早紀，萩原将文．イメージ語のクラスタリングを利用した配色支援システム．日本感性工学会論文誌. 2016;15: 287-296.
5. 河西大介，折戸隆樹，大野綾，越水重臣．色彩教育におけるデジタルデバイス用配色トレーニングアプリケーションの開発-アプリケーションの評価と分析-．日本色彩学会第 53 回全国大会発表予稿集. 2022: 155-158.
6. 日本カラーデザイン研究所．配色のイメージスケール WARM-COOL / SOFT-HARD [Internet]. [cited 20 Oct]. Available: http://www.ncd-ri.co.jp

Open Access This article is licensed under CC BY-NC 4.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/

グローバルＰＢＬとしての「未来の移動のデザイン」研究:「出会えるモビリティ」の提案

The study of “Future Mobility and Infrastructure Design as Systems” as global PBL : “Meets Mobility”

田中 健太郎[1] 鈴木 裕児[1] 北浦 宏之[1] 高井 美園[1] 平田 優樹[1] 後藤 光[1] 高嶋 晋治[1*]
Kentaro Tanaka[1] Yuji Suzuki[1] Hiroyuki Kitaura[1] Misono Takai[1] Yuki Hirata[1] Hikaru Goto[1] Shinji Takashima[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Shinji Takashima, tsx1721@gmail.com

Abstract Currently, the situation surrounding vehicles and transportation is changing dramatically. This research was carried out as a PBL (Project Based Learning) with the theme of "Designing future transportation" by determining the "ideal state" of the future that considers people's feelings, rather than just solving immediate problems, and thinking about how to get there.

Keywords designing; transportation; future

1 はじめに

研究の位置付け

本研究は 2023 年度の東京都立産業技術大学院大学２年次の PBL（Project Based Learning）として実施した。また学内のグローバル PBL と位置付けられ、日本や海外在住のモビリティや交通事情に精通する有識者の方々に要所要所で参画いただき、意見やアドバイスをもらい、多角的な視点から研究考察のできるように進めた。

研究の狙い、スタンス

期初に以下のように定めて進めた。

- 課題の解決策の提案としてモノのデザインに限らず、システムや体験など「広義なデザイン」としてまとめることを学修する。(単なるモノのデザインはだけではNG)
- 「広義なデザイン」行為として、将来の「ありたい姿」をビジョンとして描き、そこへ到達するための方法をバックキャストで考えるプロセスを学修する。
- 未来想定から課題抽出して解決策を考案するだけでなく、その時の「人の気持ち」を想像し、そこから「ありたい姿」を意志として描き、そのために必要な「価値を創造する」プロセスを体験する。
- 一般的、既存、既知の考え方に捉われないでチームなりの独自視点持つ。
- チームとしてゴールを定め、そこに向かってのチーム一丸となったプロジェクト推進とその中で個々の役割責任を果たす。
- 「答えは一つでない」という考え方を前提とし、より多くの人が共感できる論理性、説得性を構築する。

テーマ、前提条件

全体テーマは「未来の移動をデザインする」とし、以下のような前提条件を設定した。

- 乗り物や交通を取り巻く情勢も大きく変化し、産業活動の社会信用基準も SDGs 視点が重要になっている。その中でモビリティや交通を必要とする「移動」のあり方とそれを支える「循環型の仕組み」(経済、資源など) とセットで、より俯瞰的、構造的に上位視点で考え「あるべき姿」を構築すること。モビリティと交通やそれを支えるインフラといった多角的視点でシステム全体として課題と解決策を捉えること。
- 地球的視点では同じ課題意識でも地域により異なる社会や人の事情を知り、世界共通と日本固有事情の違いを理解し提案をまとめること。(海外教育機関や企業との連携を想定)
- 夢物語ではなく近未来の社会に実装できるアイデアを創出。但し、現実的なアイデアに留まらず、現時点で実現難易度は高くても原理構築ができていれば良いとする。

進め方

期初に以下のタイムスケジュールと達成基準を提示した。

事前準備（3 月）

- テーマに基づき各自テーマ案の作成。

１Q（4 月～5 月）

キックオフ/チームビルディング

- それぞれの個性、特性、知識、スキルを共有。
- 役割分担。
- 全体スケジュール計画。

テーマ設定

- 各自のテーマ案を元に議論し取り組みテーマを選出。

各種調査

- テーマ周辺の未来想定。
- 「天地人彼我メソッド」による未来事象の整理。
- それに伴い起きると考えられる「人の気持ち」の変化を想定。

企画立案

- 本質的課題の明確化。
- 解決策の方向性を「ありたい姿」として設定。
- 提供価値を「コンセプト」として決定。
- 解決策の先にどのような「喜び」「幸せ」を提供するかを整理し考える。

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

2Q（6 月～7 月）
コンセプト具現化の主要件の決定

- 既存手法、技術の調査から問題点や発展方向を明確化。
- 新規手法のアイデア展開。
- コンセプト微修正とアイデア展開を行きつ戻りつしながらコンセプトの具現化要件を決定。

夏休み期間（8 月～9 月）

- ２Q の進捗の遅れ、精度 UP の期間として活用。
- 基本的には自発的学修として推進。
- 海外大学との連携活動。

3Q（10 月～11 月）
主要件の具現化手法の決定と制作

- コンセプトの具現化物を制作。（アイデアスケッチ、図面、3D データ、プロトタイピングなど）

4Q（12 月～1 月）
プレゼンテーション準備

- 発表資料作成。（スライド、パネル、制作物展示）
- 発表会場準備～展示～運営。（外部展示）
- 海外大学との連携活動。

最終発表会（2 月～3 月）

- 発表会準備

2　背景と狙い

「移動」の歴史

未来の「移動」を考えるにあたり、人はなぜ移動をしてきたのかを太古の昔に遡り歴史を紐解いた。

約 7 万年前、人類は生きて子孫を残すために食糧を求め現アフリカ大陸から移動し始めた。1 万年前頃からある場所に定住し、そこを拠点に食糧を栽培、狩猟し始めた。移動の目的は食糧確保という観点では同じだが、移動先、距離、移動人数など移動の要素が大きく変化した。また定住が進んだことによりその土地で文明が生まれ、その土地独自の文化が育まれていった[1]。

3000 年前から 1000 年前にかけて、民族、国家といった集団が発生し宗教という概念も生まれていった[2]。やがて別の土地に生まれた民族、国家の交流も生まれ、経済へと発展していった。

しかし、その中で対立が生まれ自らの勢力を広げるための戦争が起こり政治、経済のために移動することが多くなっていった。

現在もこの対立構造がなくなったわけではないが、平和という概念が世界で広がり、秩序の安定を望む時代となったのは、ほんの 50 年ほど前であり、この頃に旅行という娯楽のための移動という概念が広がり始めたと考えられる。

現代の移動を支える技術進化により移動速度はアップし、移動時間が大幅に短縮され、また輸送量も大幅に拡大されるようになった。その結果「世界が近くなる」という感覚を持つようになり、民族、国家の垣根を超えた行き来が一般市民でも頻繁に行えるようになったと言える。

これまでも各地で疫病の蔓延はあったが、この交通、輸送の発展により「世界が近い」となったために、2020 年の COVID-19 パンデミックにおいては世界中の人類が移動の制限を受けることになった。これは人類にとっては移動という観点でも大きなインパクトとなったと考える。

これに対し、移動しないで目的を果たすニーズが高まり、デジタル技術やインターネット技術を駆使した手法が一気に加速した。これは技術進歩だけが理由でなく、人々がこの変化を受容せざるを得なかったことが大きく起因すると言える。

移動しないで済む新しい手法が生まれ、便利、楽になった一方で、人々の移動に対する価値観にも変化が生まれた。そして移動する意味が変化し始め、リアルな移動とそうでない移動やコミュニケーションを意識して使い分けるようになった。つまりリアルな移動に求めるものは何か、そこに我々が忘れてしまっているものがあるのではないか、を考えるようになったと言える。この観点が本研究の出発点であり、そこに焦点を縛ることにより新しい移動の価値を創出するのが本研究の狙いである。

3　コンセプト構築

ビジョン設定

テーマである「未来の移動をデザインする」に対しチームとして「移動で価値を創造し人々を幸せにする」というビジョンを定めた。これは今、直面する問題、課題の解決だけに焦点を当てるのでなく、その解決された状態の先にどのような「喜び」や「幸せ」を設定し、そこを目指した上での解決策の創出に重点を置くためである。

先行考察：ある家族旅行の事例
移動の内容

親子 4 人が青森と函館間の約 150km を往復移動する際に、往路は新幹線、復路はフェリーを利用した。

新幹線は所要時間約 1 時間、費用は親子 4 人で約¥20,000。一方フェリーは所要時間約 4 時間、費用は親子 4 人で約¥10,000 円。但し、フェリーは新幹線より運賃が安価のため貸切個室を選択、費用はこの個室代を含んでいる。

移動の状況

新幹線は青函トンネルを高速で走行する間、窓からの景色を楽しむ機会はなくなる。座席は基本的に進行方向を向いて座るため隣同士の会話には問題ないが親子 4 人での会話が弾む環境ではない。大人にとっては、車内の電光表示に示される最高速の数字に気持ちの昂りを感じるも、子どもたちにとっては窓の外の暗いトンネルが続く景色には楽しさを感じない反応であった。

一方フェリーの所要時間は新幹線の 4 倍もかかるが、費用は半額である。しかも貸切個室のため親子 4 人の自由度は最大限

であるため、親として他の乗客への気遣いもなく精神的負担も減り、子どもにとっても自由に動き回れる空間の広さは 4 倍の時間にも関わらず、楽しさがその時間に比例する状況となり「もっと乗っていたい」と言うほどであった。

気づきの抽出

この事例から、研究チームは以下の気づきを考察した。

- 一般的に人や物の移動を考える時に時間的な少なさ、それを可能にするスピードの速さ、距離、それにかかる費用が良し悪しの判断の基準となる。しかし人の移動に関しては、上記の状況以外に楽しさ、快適さ、記憶に残るなど感情に作用する基準が存在する。
- 移動の価値には数値化し易すく同一基準で測り易い「量的」価値と数値化しづらく判断者個人により基準が同一になりづらい「質的」価値の二つが存在すると言える。「量的」基準は主に利便性の判断に有効で、「質的」判断は幸せ度の判断に有効であると考えられる。

この気づきからビジョンで掲げた「移動で価値を創造し人々を幸せにする」を達成するためには、移動の「質的」価値の創出が幸せをもたらすには有効であると考えた。

考察

移動の行動には A から B に移動する過程における行動を 5 つのステージとして分けることができると考えた（図 1）。

「質的」価値を創出する上では「量的」価値が問われる 2 と 4 の移動以外のステージにおける価値が感じ取れることも重要であると考えた。

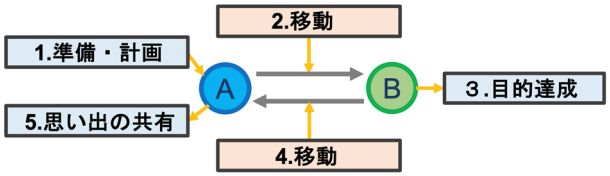


図 1　　A 地点から B 地点への移動行動での 5 つのステージ

社会状況調査（未来想定）

未来の価値を考える上で、未来をどのように想定するかは重要である。未来「予測」は様々な複雑で変化が激しい時代においては不可能に近いが、現在において計画されている事実事象や現在すでに起きている兆候から未来想定をすることは可能と考える。ここでは「質的」価値を判断する人々の気持ちの想定とモビリティや交通の将来を考える上で避けては通れない持続可能な社会のための環境問題、とりわけ脱炭素化についての未来想定を行った。

人の気持ちの未来想定

18 歳の男女の「人生において大切にしたいこと」の意識調査（図 2）から「仕事より家族や友人などを大切にする」傾向も強く、生活の不自由さよりも「自身の好きなこと」「心身の健康」に関心が高いと読み取れた。

若者はライフステージが変わらない単身の間は、この延長で「生活に不足はないが物足らなさを感じる」「心を満たしてくれること」に気持ちが向くと想定した。

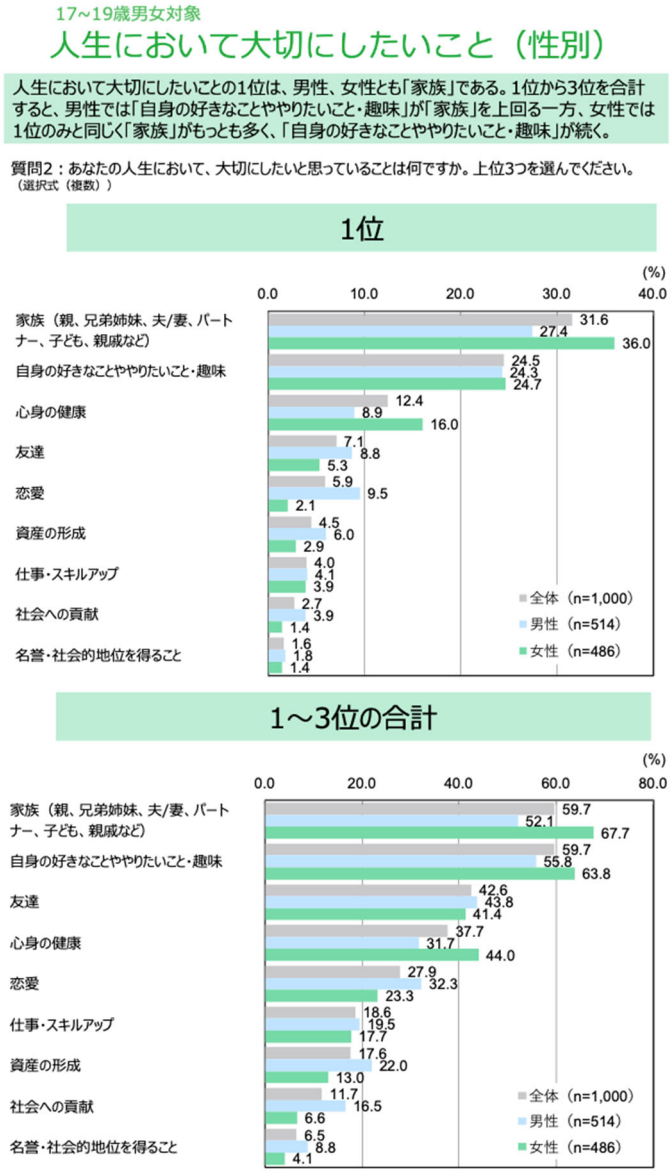


図 2　　日本財団「18 歳意識調査」 [3]

環境対応の未来想定

モビリティを取り巻く環境課題はモビリティを製造する際のエネルギー使用で排出される CO_2、モビリティを使用、走行する際に排出される CO_2、廃棄されリサイクルされる際のエネルギー使用で排出される CO_2 のように製造やリサイクルの工程を含めた全体での酸化反応が地球の還元反応に追いつけない構造であることを理解する必要がある（図 3）。

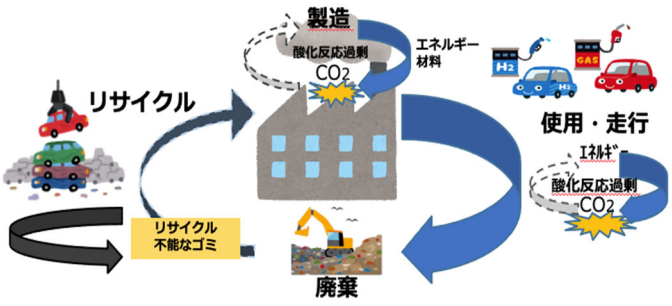


図 3　　モビリティの素材、動力源サイクル 概念図

これらについては、「製造」「使用、走行」「廃棄、リサイクル」の工程において様々な対応が展開されている（図 4）。

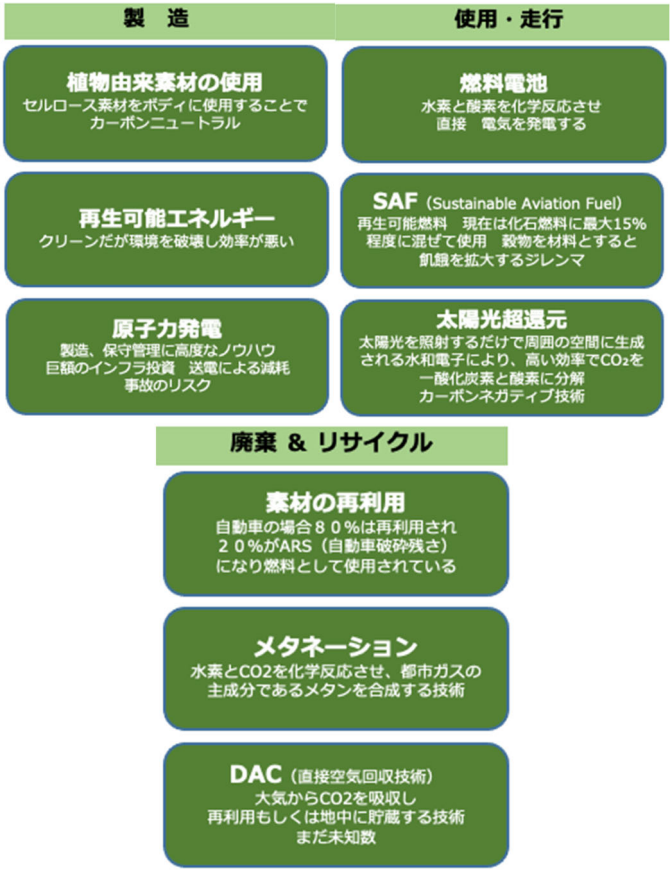


図 4　　社会問題の解決法例

また現在の CO_2 排出量は世界の産業牽引国であるほど多い状況である。そして日本を例にみると CO_2 排出の約 7 割は産業、運輸、業務部門によるものである（図 5）。

地球の還元能力の全てを自然環境で賄おうとすると全て陸地を森林にするほどのことが必要となる。しかしそれらの活動が経済活動と両立できないと社会における継続性担保が困難になっていくことは間違いないと考える。

このようにカーボンニュートラルの取り組みと合わせて、既に過剰となっている CO_2 の削減をモビリティ使用や走行時だけでなく製造、リサイクル視点で考えることが重要と想定した。

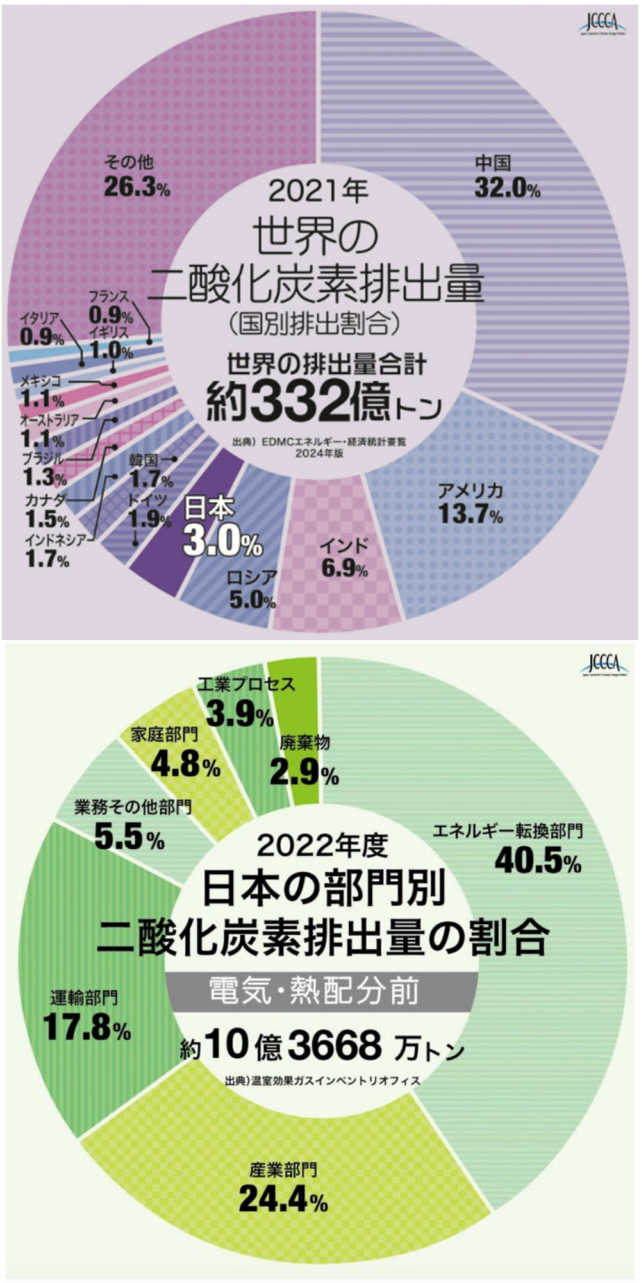


図 5　　EDMC／エネルギー・経済統計要覧 2024 年版による CO2 排出量　内訳 [4]

コンセプト

以上の考察と気づきや人々の気持ち視点での未来想定から持続可能な地球環境を考慮した環境性能は当たり前として、更に「人に出会える」「楽しみに出会える」「知らない自分に出会える」ことで「喜び」「幸せ」という「質的」価値を提供できる「出会えるモビリティ」をコンセプトとして定めた。

想定ユーザー

人が都市に集中している状況に対し、スマートシティ構想など国主導の様々な施策が検討展開されているが 10 年後を想定した場合、都市部での生活者はまだまだ多いと考える。特に若い単身者ほど都市に生活しやすい環境が整っていると考えられる。

都市での移動では公共交通機関が整っているケースが多いため移動における「量的」価値への最適化は常に実施されてい

ると考える。依然として渋滞、混雑という不満はあるが、それは A 地点から B 地点への移動での不満であり、すでに様々な対応策の検討はされているので、本研究では広い視野で捉えた移動の新しい価値により、これから社会を支える「都市の若年層単身生活者」の生活での「喜び」「幸せ」に焦点を当て、具現化手法を考案することとした。

4　コンセプトの具現化

具現化のための要件

想定するユーザーが「今まで知らなかった様々（もの、こと、景色、人、自分など）に出会える」ために必要な要件を以下のように抽出した。

- 偶然性：思いもよらぬ発見や体験に出会える。
- 不便益：不便だからこそ気づく価値。
- 癒し：心のよりどころ。
- 環境性能：資源循環型素材、CO_2 リサイクルエネルギー。

この具現化の姿を象徴的に「野良猫モビリティ」と名付けた。

ユースケース設定、具現化手法のアイデア展開

抽出した具現化に必要な要件を満たせる主なユースケースを想定し、それらの状況に対応できることを具体的形状や機能に反映した（図 6）。



図 6　　想定するユースケース例

要件をカタチに

パッケージジング

一定空間の中で分断が起きにくい最小限の人数として有効な 3 名が立位乗車できる車内の床面積を確保でき、外観の高さとしても歩行者に圧迫感を与えないと同時に他の交通に対し非視認性を担保できる外観寸法諸元とした（L/2600mm × W/1800mm × H/2000mm）。

「限られた視界」を上方と下方に設定することにより、強制的に普段見ることのない視野に目を向かせる効果を狙う。

座席はないが目線の高さを強制的に変える仕掛けとなる 3 種類の高さが繋がったパイプ型スツールを設置、固定の着座 1 でなくランダムな乗車位置によりコミュニケーションのし易さを促す。

乗車時は歩行速度並みで走行する車両を後方から追いかけ飛び乗ることを想定するため車両後方に飛び乗りに十分な大きさのステップを設置した。

車内へは茶室に入るように頭を下げかがむ格好で乗り込むため、車内に乗り込むまではどんな人が乗っているかがわからなくすることで出会いのインパクトを狙う。

全高は人の身長よりは高いが、情報伝達用を兼ね備えた表示パネルを車両前方の子供の目線の高さに配置し、圧迫感の軽減と親しみ易さや癒しの雰囲気を表現した（図 7）。

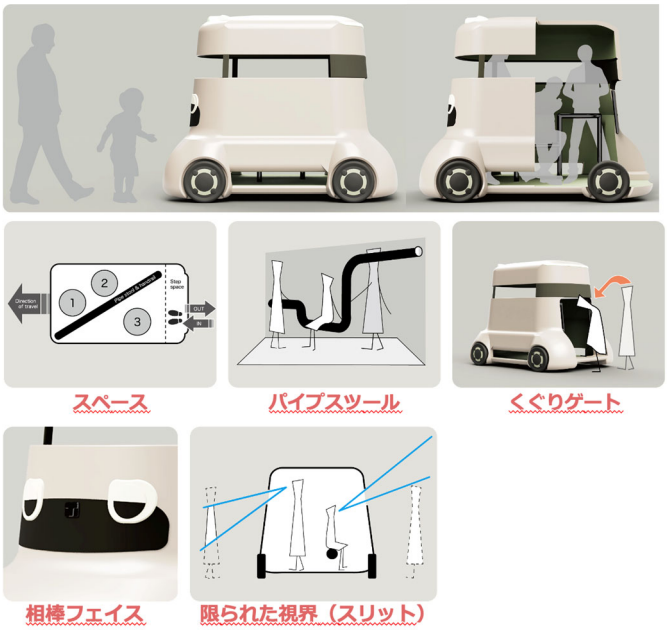


図 7　　パッケージの主要ポイント

その他の主要性能

走行性能

電動による完全自動運転で走行速度は歩行者並。行き先の大まかな方向は決まっているが走行ルートはランダムのため乗車する人はどこを通過するかは乗ってみないとわからない。それにより知っている街の知らない部分を発見する楽しみを提供する（図 8）。

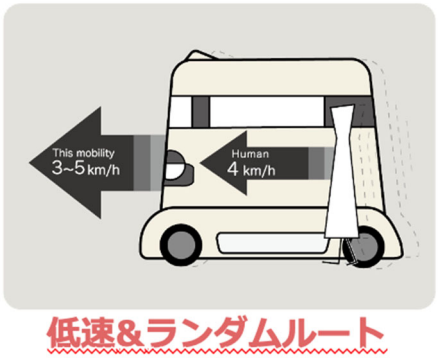


図 8　　走行性能イメージ図

エネルギー源

DAC（Direct Air Capture）という大気中から CO_2 を直接分離、回収する技術を搭載し、その CO_2 から再生可能エネルギ

ーを使って化学反応を起こし、水素との合成燃料、バイオ燃料、などのエネルギー生成機能を車両に搭載しそれによる自家発電させた電動駆動を想定（図 9）。

バイオ燃料を原料として燃焼して排出された CO_2 は元々大気中の CO_2 に存在した物であるためカーボンニュートラルとなる。またエネルギー生成やその輸送時に発生する CO_2 を削減できるので走り回っても大気中の CO_2 増加にはならないでエネルギーを利用できることになる。それと合わせて人工光合成技術や森林増加を行うことでより CO_2 削減への道が開けると考える。

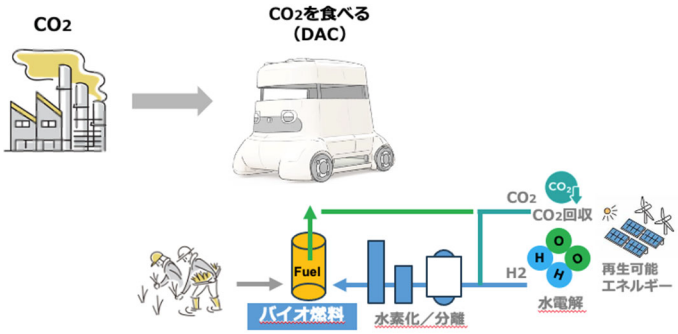


図 9　　エネルギー源生成 概念図

ボディ素材

植物由来のセルロース素材を採用する。

再生可能で環境に優しい素材でありながら、軽量に引っ張り強度が高いため、車両のモノコックボディとしてねじれ剛性と柔軟性と振動吸収性を両立させる可能性が高いと考える（CNF:セルロースナノファイバーを想定）。

モデリング

モビリティデザインの検証としてはスケールモデルを用いることが多い。近年の 3D プリンターの発達により小さいスケールのモデルは 3D データさえ作ってしまえれば簡単に製作できる。しかし本研究で考案したモビリティは現存しない種類のモビリティであるためスケールモデルでは体感的な検証ができず、フルスケールモデル製作には大きな設備、費用、時間が必要となる。

そこで本研究では、人の大きさ、大きさの感じ方を検証するためにパッケージングはフルスケール図面ベースで検討し（図 10）、3D 化した形の検証はゴーグル型の VR（Virtual Reality）ヘッドセットを活用した。これにより外観と車内を一つの 3D データで、その外観の大きさ感、広さ感、視界などを現物モデルレスで検証できた（図 11）。そしてモデル製作後の保管スペースが不要、保持メンテナンスも不要という付随効果が得られた。



図 10　　フルサイズ パッケージング検証

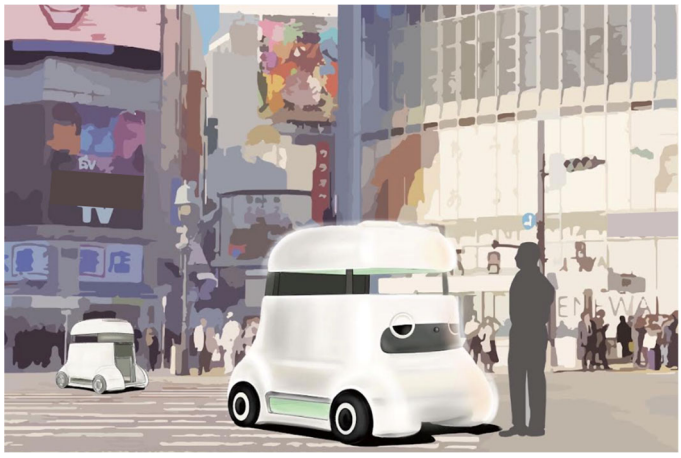


図 11　　サイズ感 イメージ図

5　プレゼンテーション

学外展示の実施（準備～設営～運営）

コロナ禍の影響で過去に実施されていた学外で一般の方々にも研究成果を発表する機会がなくなった。同時に教育環境のデジタル化も進み、リアルなコミュニケーションでなくても報告会や発表会の実施が可能になった。しかし、リアルな展示を計画、準備、運営する経験は実社会の中においては活かせる場面が多くある。実際の事業や業務では失敗できないケースもある中で、学業の中でこれらを体験的に学ぶ機会は重要であると考え、学校の規程カリキュラム外の学外展示を実施した。

計画、準備

デザイン展示における準備や運営の経験学修として学外の品川文化振興事業団の O 美術館（大崎）での展示会を設定した。他の 2 つの研究チームとの合同開催としたため、学生主体の準備ワーキンググループを設置し、開催場所との準備段取り打ち合わせなどを推進した。展示会場にはその場所のルールやそこの管理者とのやり取りなどリアル展示の面倒さもあるが、人に何かを伝えることを人が関わって進めることは大きな実践教育と言える。

スペースの割り振り、レンタル備品の選択、案内用として大崎駅構内に掲示するポスター製作などをスケジュール通りに

こなすという規程カリキュラム外の作業が発生する。例え社会人経験がある学生といえ専門外の領域の場合もあり未知の領域である。それらをチームメンバーでどのように分担、補完しながら進める経験は、学業ならではの貴重な体験となったと考える。

展示物制作、設営

通常、研究発表の説明展示として用いられるのはポスター展示である。しかし本研究で検証してきたフルスケールのリアルな感じ方を含めて第３者に如何に伝えるか。同時に短い時間で設営と撤収可能も要件として必要となる。そこで今回採用した手法は「天井から吊るす大型バナー方式」である（図 12)。

リアルな 3D モデルと比較して、可搬性は格段に高く折り畳めば電車や乗用車でも運べる。また設置も広げて上下に形状維持のためのポールを差し込み天井から吊るすだけという簡単な作業で行えた。しかし壁面に沿った 2D の展示物なので完全な存在感の提示には未達であると考え、ゴーグル型の VR（Virtual Reality）ヘッドセットと併用することとした。

研究概要の説明は担当者が口頭で説明するのではなく動画を制作し会場に設置のモニターでループ再生する方式とした。現代において一般化している動画は映像や音の効果を伝えたい雰囲気を加味して伝える手段としては静止画のポスターと口頭説明と比較しても大きな効果を得られた。今回は映像のプロがメンバーにいたため、レベルの高いショートムービーとして心に響くものとして展示できた成果は大きかった。

会場には無作為、不特定の方々も来ることが想定できるので、その人たちに、興味を持ってもらい、深く展示を観る気持ちになってもらい、最終的には何かを感じ持ち帰ってもらうことが大事となる。そのためには、必要最小限の説明展示ではなく、雰囲気を伝える演出が大事になる。そのために準備したのが「野良猫モデル」である。自動お掃除ロボットに本研究で考案した通称「野良猫モビリティ」を架装し会場内のフロアを動き回らせた。動画はあるもののモニターが動くわけではないので、そのような展示物の中で動き回る展示物は展示に興味を持ってもらうきっかけ作りに大変効果的であった。



図 12　　展示準備（大型バナー）

運営

運営において重要なことは来場者の導線である。今回の美術館の入り口から本研究の展示場所は一番奥に位置するため、そこまでどのように自然に誘導できるかが最初のポイントとなる。美術館入り口を入って正面奥に入り口側に向け受付テーブルと展示会ポスターを掲示し場所の認知を高めた。

その後は受付での記名などができるスペースを確保し、来客対応として挨拶や歓談しながら、学校やプロジェクトの取り組みなどの紹介から個々の展示内容へ自然に流れる人の導線の想定は展示会においては最も重要である。人が滞留した時の流れなども想定することも必要になる場合もある。

人を不快にさせず、いかに展示物の鑑賞に集中してもらえるかがこのケースの場合のホスピタリティであり、そこをデザインすることはカリキュラム規定外ではあるが実社会では大切なことである。

そして運営としてもう一つ重要なことは、来場者からのフィードバックをどのように得るか、ここに関して今回は個人情報の管理などルールを重視し、最低限の内容をアンケート形式で実施した。

メタバース空間の活用

VR（Virtual Reality）による外観デザインの検証だけに留まらず、”Spatial”というソフトウエアのメタバース空間に 3D モデリングしたモビリティを置き周りの風景を同じ空間に設定することで室内からの外の見え方を検証できるようにした。

通常、モビリティのパッケージング検証を行うにはフルスケールで人が乗り込めるモデルを製作し、そこに実際に着座して視界などの検証を行う。しかし本来使用される外で検証を行うのが望ましいが実際の街や道路にモデルを持ち出すことは機密上の観点や交通の遮断の労力を考えると簡単にできるものではない。

しかし VR（Virtual Reality）を活用することでそのハードルが下がるが風景などをデータ化してレンダリングをかけるには作業工数がかかるため容易ではなかった。今回は”Spatial”のプレゼンテーション空間に資料画像を展示できる機能を活用し、簡易的風景を壁絵として設定し、実際に人が車内からの外の見え方を確認することとした。パッケージの初期段階や全く新しいモビリティの視界検証には充分活用できることを確認できた（図 13)。



図 13　　VR 画面（視界検証）

6　　ＰＢＬとしての意義

チームプロジェクトの意義

本研究はプロジェクトチームとしての推進運営をメンバーたちに課している。即ちそれは互いに違う考え方、価値観、スキル、パーソナリティなどをいかに認識し合い、一つの方向へまとめ上げるかいう学修である。

企業内でのプロジェクトとは違い、組織上位者にある責任は存在しない。つまり結論が決まらない場合に権限で方向性を決

定することはできない難しさがある。また社会人学生は経験豊富がゆえに、確実性を求めチェレンジに及び腰になる場合もある。

こういった条件の中で、バックグラウンドが様々なメンバーで一つの方向性に進むことは大変難しいが、そこで得られるコンピテンシーは実社会で大変役に立つものであると考える。

グローバルＰＢＬ

インターナショナルな外部評価者や特別講師

外部評価者や特別講師として日本や海外在住のモビリティや交通事情に精通する以下の有識者の方々を招聘し、様々な視点でチームの考える提案に対し意見、アドバイスをもらえた。

- 韓国 ソウル在住の韓国人。大学教員。自動車会社でデザイン部門経験者。
- タイ バンコク在住の日本人。日本の自動車企業の現地法人勤務のリサーチ＆プランナー。
- ドイツ フランクフルト在住のドイツ人（３名）。日本の自動車企業勤務のリサーチ＆プランナーやデザイナー。
- 日本 東京在住の日本人。日本の自動車企業の北米、ヨーロッパＲ&Ｄ部門での社長経験者。

メンバーは日本と文化、生活習慣、価値観の違いを一般的には理解していたが、モビリティや交通という具体領域における微妙な捉えられ方の違いを協力者からの生の言葉から印象深く感じ取れたようである。例えば、環境問題に対する欧州と日本の一般市民の感覚の違い。タイやインドネシアにおける自動車と生活の結びつきの感覚の日本との違いなどが挙げられる。

海外大学（韓国　成均館大学校）との連携

今回のプロジェクトの外部評価者としても協力いただいた韓国成均館大学校の Hanseung Lee 教授との連携により８月に訪韓し、ソウルキャンパスでの意見交換会を実施（図 14）。12 月に成均館大学校のウインタープログラムとして本研究と同じテーマで５つのアイデアを考案してもらった。このプログラムは様々な選考の学生が応募できるプログラムであるため、様々な視点で提案がまとめられており、２週間ほどの短期間にしては高いレベルのアイデア展開とプレゼンテーションであった。

彼らの提案は我々の学外展示にも同時に展示させてもらい、そのタイミングで 15 名の学生たちが来日し展示を見学、別日に東京都立産業技術大学院大学キャンパスにおいて成均館大学校のプレゼンテーションと日本人との混成グループによる意見交換会とプレゼンテーションを実施した（図 15）。

半日のワークショップイベントではあったが、短い時間で言葉の壁を越えチーム力を発揮できるよう全員で同じ T シャツを着用し、モチベーションを上げる工夫も功を奏し、年齢も専門領域も様々の多様性集団にも関わらず大変な一体感を感じるイベントであった。

後に Hanseung Lee 教授から、参加した韓国人学生は帰国後、それぞれの分野での学業に取り組む姿勢が大きく変わった、と報告され、双方の学生に意義があったことが確認できた。



図 14　　韓国 成均館大学校での意見交換会



図 15　　都立産業技術大学院大学での意見交換会

7　　おわりに

トランスポーテーションデザインは原始時代から古代エジプト時代の壁画からコロと呼ばれる丸太のようなものを使い重量物を移動させる目的で始まったと考えられます[5]。そして紀元前 3500 年頃のメソポタミア時代に車輪が発明され[6]、自転車の原型なるものが発明されたが動力源は人力であった。ギリシャ時代にはより速く、よりパワーを求め動物による動力源へ移行して行き、1769 年キュニョーにより蒸気エンジン自動車が生み出され、1886 年ベンツによりガソリン自動車が作られ、1907 年のフォード T 型の大量生産の技術や仕組みを経て[7]、現代において自動車を筆頭にトランスポーテーションデザインは技術と共に大きな進歩を果たしてきた。

近年、自動車業界は 100 年に一度の大変革期といわれ、CASE（Connected、Autonomous、Shared & Service、Electric）や MaaS（Mobility as a Service）という概念が加速し、また陸上だけでなく水上、空中、宇宙における様々な移動、物流の未来が研究されている。

しかし、VUCA（Volatility/変動性、Uncertainty/不確実性、Complexity/複雑性、Ambiguity/曖昧性）の時代であるからこそ今一度「なぜ人は移動し、物を移動させるか」の次元で、その価値としてどのようにありたいかを描き、そこへどのように

向かうべきかを多様な価値観や文化をもった人たちで創造することに大きな意義があると本研究を通し再認識した。

人力という動力源への立ち帰りや地球の脱酸素化のために排出された CO_2 そのものをエネルギー源とするなど、達成すべき「ありたい姿」はたくさんあるはずである。それらは人道的、環境的に誰もが疑わない正義だとしても、それらが継続できるようするには経済的に成立することも重要である。そのためには、それを人が価値として受け入れることができないと社会に浸透しないことになると考える。その視点からも産業技術領域における専門職大学院のテーマとして意義のある研究となったと感じる。今後もこの大テーマのもと、様々な観点での具体テーマの研究が継続されること強く期待する。

謝辞

本研究をグローバル PBL として進める上で国内外の学外、学内含め多くの関係者の方々の協力いただいたことに感謝します。

参考文献

1. Christopher Stringer and Peter Andrews (1988) "Genetic and Fossil Evidence for the Origin of Modern Humans" in Science 239: 1263-1268
2. https://ja.wikipedia.org/wiki/宗教の起源
3. 日本財団 18 歳意識調査「第 52 回-価値観・ライフデザイン」報告書 https://www.nippon-foundation.or.jp/wp-content/uploads/2023/01/new_pr_20230106_01.pdf
4. EDMC／エネルギー・経済統計要覧 2024 年版
   https://www.jccca.org/download/66920
   出典）温室効果ガスインベントリオフィス
   https://www.jccca.org/download/65477
5. https://koyo.jtekt.co.jp/bearing-column/howto-bearing/howto-bearing_02.html
6. https://www.citeco.fr/10000-years-history-economics/the-origins/invention-of-the-wheel
7. https://gazoo.com/feature/gazoo-museum/car-history/13/05/30_1/

SMS スミッシング難読化対策の検討と検出アルゴリズム DSmishSMS-A の改善

Study of SMS smishing obfuscation countermeasures and improvement of detection algorithm DSmishSMS-A

張 文佳* 奥原 雅之 [1]
Zhang Wenjia* Masayuki Okuhara[1]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Zhang Wenjia, c192@foxmail.com

Abstract Smishing is a type of social engineering attack carried out by sending fake mobile text messages. The phone numbers used in the attacks and the URLs in the smishing messages are typically changed for each attack, making it difficult to block them completely. Smishing is becoming one of the growing security threats in our daily lives, and there is an urgent need to understand and address its serious consequences. In this study, we analyzed the content of smishing messages observed in reality and made the following findings. First, there is widespread abuse of dynamic domain name provision services and shortened URL services. Second, while subdomain names used by attackers change constantly, IP addresses change less, so countermeasures such as blacklist construction are more effective when based on IP addresses rather than URLs. Third, the same Unicode character may be represented in different encodings, making it difficult for inspection systems to consistently detect them. Fourth, the permissions required by APKs downloaded through redirection are different from those of APKs for official applications. Finally, based on these findings, we recommend improvements to the existing anti-smishing method, the DSishSMS-A algorithm.

Keywords phishing; smitshing; information security; cyber sercurity

1 はじめに

スミッシングとは、偽のモバイルテキストメッセージを送付することにより、利用者を欺いてマルウェアをダウンロードさせたり、機密情報を共有させたり、攻撃者あてに送金させたりすることを意図したソーシャルエンジニアリング攻撃の一種である[1]。「スミッシング」という用語は、テキストメッセージを支える技術である「SMS」または「ショートメッセージサービス」と「フィッシング」を組み合わせた造語である。

本論文の執筆の背景として、筆者および身近な人々が頻繁にスミッシング SMS を受信しているという現実がある。これは非常に迷惑であるだけでなく、セキュリティ上も深刻な問題である。送信元の電話番号やスミッシングメッセージに記載されている URL は毎回異なるため、これらの情報に基づいてスミッシングメッセージを完全にブロックすることは難しい。スミッシングは、我々の日常生活において増加するセキュリティ上の脅威の一つとなりつつあり、その深刻な影響に対処するための理解と対策が喫緊の課題となっている。

この現象に直面した経験から、筆者はなぜスミッシング SMS が増加しているのか、どのような手法が使用されているのか、そしてこれによって生じる潜在的な被害やリスクは何なのか、といった疑問を抱いた。この論文は、私たちが日々直面するスミッシング SMS の問題について徹底的に調査し、その原因と対策について知見を提供することを目的としている。

フィッシング攻撃の動向は時間とともに急速に変化しており、かつ件数も急増している。特に SMS を用いた攻撃が増加し、フィッシングサイトの存続時間は短くなっている。このため、フィッシング関連情報の収集・共有に新しい取り組みが必要とされており、フィッシング URL の迅速な共有についても新しい方法が求められている。FIDO に代表される新たなユーザー認証技術が期待されている一方、既存のフィッシング対策技術の適切な使用や、IT サービス事業者による認証の推奨事項やベストプラクティスへの理解も重要である。

フィッシング対策は技術的な対策のみでは難しく、フィッシングの実行前段階での対策も検討されるべきである。ドメインの管理が重要になり、ドメイン名の廃止時の注意やドロップキャッチの事例、再考ドメイン名など、ドメイン関連の問題も考察されるべきである。

フィッシング対策協議会によるフィッシングレポート 2022[2]は、WG のメンバーが多角的な視点から寄稿し、フィッシングの現状や課題について幅広く記述された内容となっている。

本稿では、現実に観測されているスミッシングメッセージの内容を分析し、これに基づき既存の対策手法である Mishra らの DSishSMS-A アルゴリズム[3]の改善を提言する。

2 先行研究

XLoader と FakeSpy は、日本を狙う主要なスフィッシングボットネットで、従来の攻撃手法から攻撃戦略を大きく変更している。Saeki らは、ボットネットと Twitter データを観察して、戦略や活動パターンを分析し、それをマルウェアや悪意のあるドメイン検出に応用した[4]。提案された方法は、偽陽性と偽陰性率が低いことに加え、少ないコンピュータリソースの使用により、ユーザーデバイスで実行できる。また、Frida を使って TCP/IP トラフィックの上位レイヤーをデコードし、コマンドレベルのトラフィック分析を行い、攻撃の特徴を特定した。悪意のあるドメイン検出では、攻撃者がバッチでドメインを作成する傾向を利用し、SMS メッセージの到着率に焦点を当てた。これらの方法は誤り率が低く、パフォーマンスが高いと期待されている。

フリーウェブサイトビルダー（FWBs）は、技術知識やコーディングスキルがなくてもウェブサイトを作成できるコスト効率の良い方法を提供するツールである。しかし、この種のツールが悪用されフィッシングサイトのホスティングに利用されることも少なくない。Roy らは、FWBs で作られたフィッシングサイトを継続的に特定するフレームワーク「FreePhish」を提案した[5]。FreePhish を用いて、Twitter や Facebook で共有された 17 の FWBs サービスを使用して作成された 31,400 以上のフィッシング URL を検出し、特徴を分析した。FWBs は攻撃

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

者にフィッシングサイトの作成・維持を容易にし、アンチフィッシング対策を回避する機能を提供している。アンチフィッシングのブロックリストやブラウザ保護ツールは、FWBs ベースのフィッシング攻撃に対するカバー率が低いと検出が遅れることが示された。FreePhish を Chromium ウェブ拡張として提供し、エンドユーザーが FWBs ベースのフィッシング攻撃にアクセスすることを防ぐことができる。

Sakurai は、本物と同様に見せかけたフィッシングサイトを検出することを目指し、phishtank の 100 件のフィッシングサイトのドメイン情報と HTTP レスポンスヘッダを集めて分析し、自動検出の方法を提案した[6]。フィッシングサイトのドメインとヘッダ情報は、正規なサイトとは異なる特徴がある。フィッシングサイトを作るキットの特徴を見つけることで、検出の精度を上げている。

Sakurai は、TLS 証明書のフットプリントによるフィッシングサイトの検出方法について提言している[7]。最近のウェブ上での HTTPS の普及に伴い、攻撃者はフィッシングウェブサイトを「HTTPS 化」し始めた。HTTPS 化されたフィッシングウェブサイトは、あたかも正当なサイトに見えるようになり、攻撃者にとっては従来の URL やネットワーク内のウェブコンテンツを利用する検出方法を回避できる利点がある。一方、HTTPS の採用は、ウェブサイトの準備時に発行される公開鍵証明書が必要になり、内的な痕跡を生成し、検出の機会を提供する可能性がある。

証明書に基づく検出の潜在的な利点は以下の通りである。

1. 攻撃者がダイナミック DNS（DDNS）やホスティングサービスを利用した場合でも、証明書を発行直後にすぐに使用して、すべての HTTPS ウェブサイトを包括的に監視できる。
2. インターネット上に公開される前に対応するフィッシングウェブサイトを検出する。

そこで、この研究では「TLS 証明書の痕跡をいかに利用してフィッシング攻撃から守るべきか」をリサーチクエスチョンとして設定し、証明書の透明性（CT）ログからフィッシングウェブサイトに対応する TLS 証明書の大規模なセットを収集し、これらの TLS 証明書を広範に分析した。証明書のクラスタリング分析を通じて得られた共通名のテンプレートは、以下のような応用に使われることが期待できることを示した。

1. 低い偽陽性を実現しながら、以前に知られていなかったフィッシングウェブサイトの発見。
2. フィッシングウェブサイトを生成するために使用されるインフラストラクチャの理解。

また、無料の証明書認証局（CA）の悪用に関して見つかった事実を適示し、このような悪用に対する可能な解決策について議論し、CA に対する推奨事項を提言している。

Roy らは、セキュリティ意識の高いユーザーが攻撃情報を Twitter で報告し共有する取り組みにおいて、フィッシング攻撃を特定する新しい取り組みを紹介している[8]。2021 年 6 月から 8 月の期間に 701 個の Twitter アカウントが投稿した 16,400 以上の報告を評価し、そのうち 11,100 のユニークな URL を分析した。その結果、これらの報告は多くの正しいフィッシング URL を共有し、PhishTank や OpenPhish の 2 つの人気のあるオープンソースフィッシングフィードと比較して、フィッシングウェブサイトに関する詳細情報も多く含まれていることが示された。しかし、これらの報告には Twitter 上の他のユーザーからの相互作用が非常に少なく、報告された URL がターゲットとされたドメインや組織からの相互作用も乏しく、報告されてから 1 週間以内に 31%の URL がまだアクティブで、多くのアンチフィッシングツールによって検出されていないことがわかった。この研究は、Twitter で共有されるフィッシング報告の有用性と、それらをオープンソースの知識ベースとして使用して新しいフィッシングウェブサイトを特定する利点を示唆している 。

スマートフォンの普及によるウェブ接続の増加は、フィッシングやスミッシング攻撃のリスクを高めている。スミッシングは悪意のある SMS を送信する攻撃で、フィッシングは悪意のあるメールを送る行為である。過去数年、研究者はスミッシングの検出方法を提案してきたが、偽陽性を減らす方法は見つかっていない。そこで、Mishra らは「Smishing Detector」モデルを提案した[9]。このモデルは 4 つのモジュールからなり、SMS の内容を分析し、悪意のあるコンテンツやキーワード、URL、ウェブサイトのソースコード、ダウンロードされる APK を検出する。このシステムは SMS データセットを使って検証され、正確性が 96.29%に達した。他のモデルと比べると、セキュリティの側面をより多くカバーしていることが示された。

3 アプローチ

ISO/IEC/IEEE 15288: System life cycle processes では、プロセスを「インプットをプロセスアクティビティにて処理し、アウトプットに変換する活動」と定義している。本研究では、提案手法が実際のフィッシングキャンペーンに普遍的に適用可能なプロセスであることを確認し、フィッシング詐欺を体系的に理解し、各活動にて結果を引き起こす因子を明らかにすることで、脅威を予測することが容易になることを示す。

DSmishSMS-A System to Detect Smishing SMS ではシンプルで効率的なスミッシング検出のためのアルゴリズム（図 1）が提案されており、本研究ではこのアルゴリズムの改善を目指す。

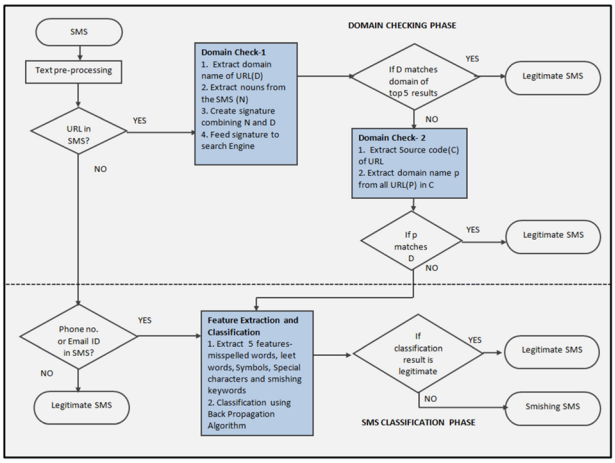


図 1　DSmishSMS-A System to Detect Smishing SMS のアルゴリズム

4　サンプルについての分析

アルゴリズムの検討に先立ち、筆者の環境で得られたスミッシングメッセージを素材とし、その分析を試みる。収集した 2020 年から 2023 年の期間のサンプルは図 2 の通りである。

No	日付	SMS内容	URL抽出
1	2020/06/30	お荷物のお届けにあがりましたが不在の為持ち帰りました。ご確認ください。http://tajfvantmf.d	http://tajfvantmf.duckdns.org
2	2020/10/20	ご本人様不在の為お荷物を持ち帰りました。ご確認ください。http://gwzuayjzwb.duckdns.org	http://gwzuayjzwb.duckdns.org
3	2020/10/20	ご本人様不在の為お荷物を持ち帰りました。ご確認ください。http://gxqmjcfhgk.duckdns.org	http://gxqmjcfhgk.duckdns.org
4	2021/03/16	ご本人様不在の為お荷物を持ち帰りました。ご確認ください。http://jnvfnpweot.duckdns.org	http://jnvfnpweot.duckdns.org
5	2021/03/16	ご本人様不在の為お荷物を持ち帰りました。ご確認ください。http://kdwckijqlj.duckdns.org	http://kdwckijqlj.duckdns.org
6	2022/03/23	お荷物の住所が不明でお預かりしております。確認してください。http://zwiqx.euzaw.com	http://zwiqx.euzaw.com
7	2022/12/19	お客様が不在の為お荷物を持ち帰りました。こちらにてご確認ください kg.***mhnpv***.com??ximgl	kg.***mhnpv***.com??ximgl
8	2023/01/01	住所が不足していますので、お荷物を再度確認してください。https://t.co/axnJ6WKrGG	https://t.co/axnJ6WKrGG
9	2023/02/04	お客様が不在の為お荷物を持ち帰りました。こちらにてご確認ください kg.***mhnpv***.com??ximgl	kg.***mhnpv***.com??ximgl
10	2023/03/23	お客様が不在の為お荷物@を持ち帰りました。こちらにてご確認ください tinyurl.com/2rue7eah	tinyurl.com/2rue7eah
11	2023/05/16	お客*様が不在の為お荷物を持ち帰りました。こちらにて%ご確*認ください z-xl7.***stm***mh.com?bth	z-xl7.***stm***mh.com?bth
12	2023/08/24	お客*様が不在の為お荷物を持ち帰り&ました。こちらにてご確*認ください z-4t.iu***dop***.com??	z-4t.iu***dop***.com??
13	2023/11/12	お届け先にお伺いしたところ、ご不在でした。再配達を行います。https://t.co/OOXd6y0tVq	https://t.co/OOXd6y0tVq
14	2023/12/30	お客様不在の際に荷物をお届けしましたが、持ち帰りました。こちらからご確認ください。https://t	https://t.co/xJorLInyFv

図 2　14 件のスミッシングサンプル

URL のエンコーディング方式についての分析

14 個のサンプルから、URL のエンコーディングの複雑化が進んでいることがわかる。例えば通常の ASCII 文字だけでなく、特殊な Unicode 文字 ("***mh***n***pv***") が URL に含まれている。この工夫により、視覚的に類似した文字を使用することで、攻撃者は被害者が本物の URL と見分けにくくなるようにしている。

Unicode 文字は複数のエンコーディング方式で表現でき、UTF-8 などが一般的に使用される。このため、同じ文字が異なるエンコーディングで表現される可能性があり、検査システムがこれを一貫して検知するのが難しくなる。この複雑なエンコーディングは、攻撃者がセキュリティ検査を回避しやすくする一因となっている。

URL のドメインネームについての分析

14 のサンプルの中で、5 つは DuckDNS（Duck Domain Name System）を利用している。DuckDNS は、動的 IP アドレスを持つユーザーに対して無料でドメインネームを提供するサービスである。

攻撃者は DuckDNS を利用し、自身の動的 IP アドレスに関連づけたドメインを取得している。そして、そのドメインを利用してフィッシングサイトや偽のウェブサイトに誘導し、悪意を持って利用している。

短縮 URL サービスの悪用についての分析

14 のサンプルの中には短縮 URL サービスを利用しているものがある（図 3）。サンプルのうち 1 例は TinyURL（タイニーユーアールエル）を使用している。TinyURL は、長い URL を短縮する（URL 短縮化する）サービスである。短縮 URL は元の URL を非常に短い形式に変換するため、そのままではリンク先が分からないことがある。URL がブラックリストに登録された場合でも、 その URL が短縮 URL に変化されれば、検知されない可能性がある。従ってブラックリストに登録された場合でも、攻撃者が新しい URL を生成して回避することが容易になる。

No	日付	URL抽出
8	2023/01/01	https://t.co/axnJ6WKrGG
10	2023/03/23	tinyurl.com/2rue7eah
13	2023/11/12	https://t.co/OOXd6y0tVq
14	2023/12/30	https://t.co/xJorLInyFv

図 3　短縮 URL の抽出

また、3 例では「t.co」を利用している。「t.co」は、Twitter が提供する短縮 URL サービスのドメインである。

Twitter は著名なサービス提供者であることから、攻撃者が「t.co」を利用することで、利用者はその信頼性を過信してしまう可能性がある。また、一部のセキュリティツールやメールプロバイダは、短縮 URL を展開して元の URL を確認することがあるが、「t.co」のような一般的なサービスはこの処理から除外されることがある。これにより、悪意のある URL が検知されにくくなる。

IP アドレスについての分析

サンプル中には、サブドメイン名は異なるが、IP アドレスは同一のものを使っている例がある（図 4）。 そのため、URL をブラックリストに入れるより、IP アドレスをブラックリストに入れる方がより効果的である。

No	日付	URL抽出	IPアドレス抽出
3	2020/10/20	http://gxqmjcfhgk.duckdns.org	3.97.179.200:80
4	2021/03/16	http://jnvfnpweot.duckdns.org	3.97.179.200:80
8	2023/01/01	https://t.co/axnJ6WKrGG	104.244.42.133
10	2023/03/23	tinyurl.com/2rue7eah	103.80.134.41:80
13	2023/11/12	https://t.co/OOXd6y0tVq	104.244.42.5:443
14	2023/12/30	https://t.co/xJorLInyFv	104.244.42.69:443

図 4　IP アドレスの抽出

APK についての分析

3 つのリダイレクト可能な URL を分析したところ、どのブラウザを使用しているかに関係なく、Android デバイスの利用者

に対して「セキュリティ向上のため、最新バージョンの Chrome にアップデートしてください。」と表示され、偽造された APK（Android Package Kit）ブラウザーのダウンロードへ誘導し、これを通じてユーザーの機密情報を盗み取ることを試みるものであった。

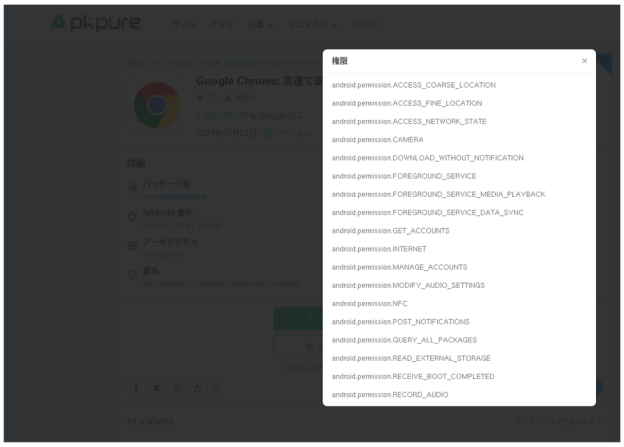


図 5　公式サイトの APK 権限リスト

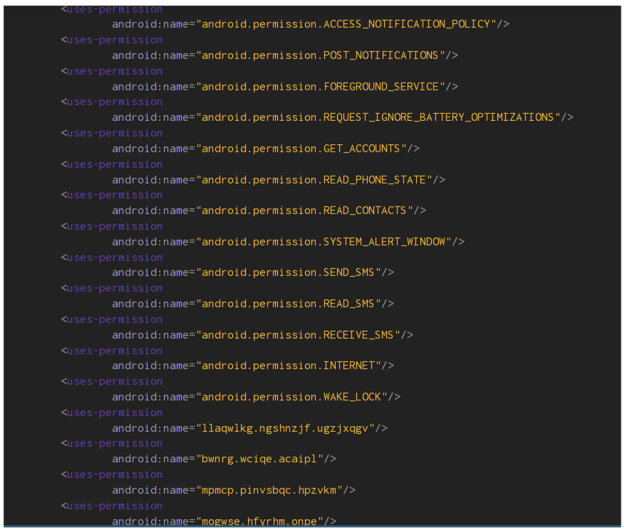


図 6　誘導先の権限リスト

URL から APK をダウンロードし、公式サイトの AndroidManifest.xml ファイルと誘導先のファイルを比較すると、本来必要としていない権限を要求していることがわかる（図 5 および図 6）。これらの APK は本来必要としない SEND_SMS、READ_SMS、RECEIVE_SMS の権限を要求しており、それらの権限を許可した端末は、攻撃者によってボットとしてさらなる攻撃に悪用される可能性があると考えられる。

5　DSmishSMS-A アルゴリズムの改善の提案

SMS コンテンツ内の URL 存在チェック

DSmishSMS-A で提案されたアルゴリズムは、SMS に特定の URL が含まれているか否かに基づいて判定を行っており、URL の存在有無に関する判断方法について触れていない（図 7）。

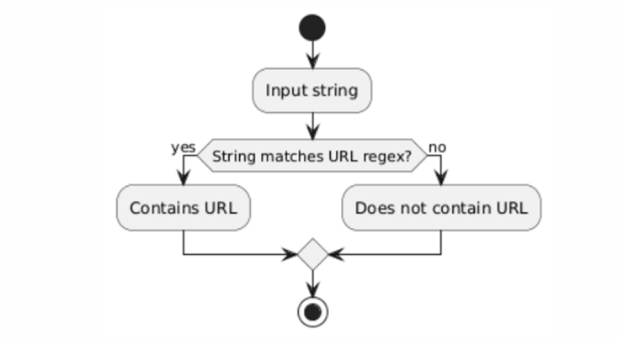


図 7　URL 存在チェックのアルゴリズム

DSmishSMS-A アルゴリズムでは「URL in sms?」のみの判断であり、「***z***-4t.iu***d***o***p***.com?7」のような通常の URL ではない場合は、非該当と判断する可能性がある。そのため、URL チェックアルゴリズムとして、まずエンコーディング方式が混在していることを避けるため、前処理を追加し、すべての内容を半角、小文字に変換する。URL の判断方式を通常の URL パターンから、以下のようなピリオド「.」とアルファベット文字列の配置パターンによる判断方法とする（図 8）。

①前処理を追加する
・文字列を半角に変換
・文字列を小文字に変換
②URL 判断方式を変更する
「.」があるかつ、「.」の右と左にアルファベット文字列がある

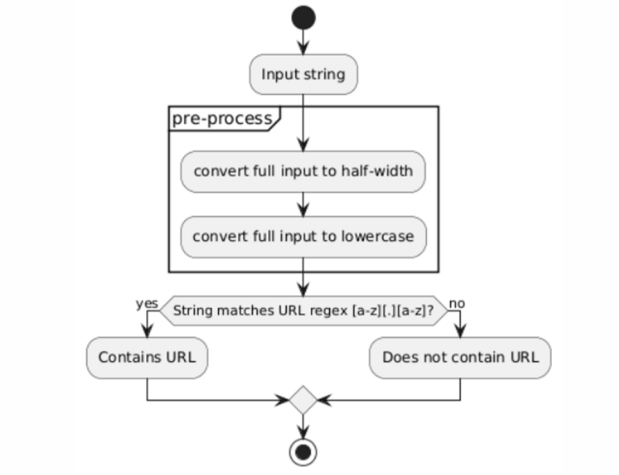


図 8　改善後の URL 存在チェックアリゴリズム

IP アドレスブロックリストの追加

ドメイン名を頻繁に変更し、送信元が特定されないような攻撃においても、同じ IP アドレスを使用しているケースがある

ことが判明したため、これに対応するために「URL in sms?」によってスミッシング SMS として判断された場合、IP アドレスを抽出し、DB に登録する。

「URL in sms?」の直後に IP アドレスの判定アルゴリズムを入れ、IP アドレスが一致した場合は、スミッシングと判断する。この場合、その後の判定はすべて省略できる（図 9）。

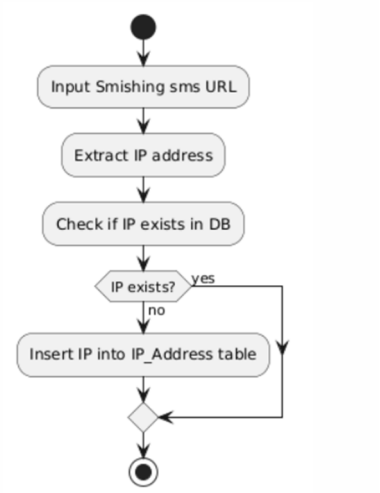


図 9　IP アドレスブロックアリゴリズム

APK 権限を比較するアルゴリズムの追加

APK が存在する場合は、ダウンロードしようとしている APK は公式の APK と一致しているかを確認する（図 10）。この APK の比較により、必要としない権限が存在しているかを判断することができる。

① domain チェック 2 でリダイレクトの URL を抽出する。
② URL に APK ダウンロードがあればそれをダウンロードし、AndroidManifest.xml ファイルを公式サイトのものと比較する。一致であれば、legal、不一致であれば、illegal と判断し、DB に登録する。

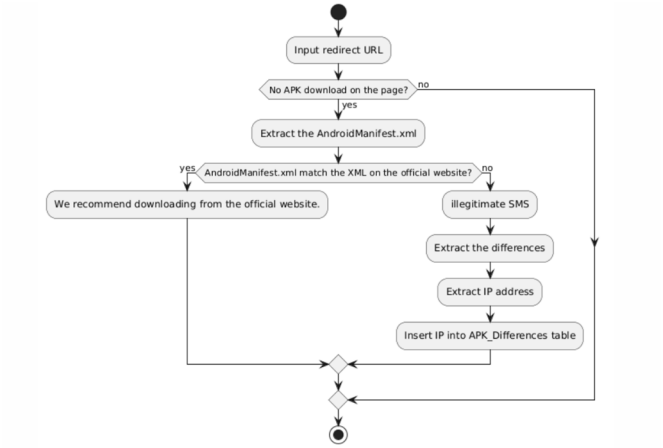


図 10　APK 権限を比較するアルゴリズム

6　おわりに

2020 年から 2023 年までの 14 通の詐欺 SMS を分析したことにより、絶えず進化している詐欺手法の実態が判明した。まず、宅配業者や郵便事業者を装ったものが大半を占めている。ダイナミックなドメインネーム提供サービスや短縮 URL サービスの悪用が広く見られ、スミッシングの URL は恒久的なものではなく、「賞味期限」がある。また、ネットワークフィッシング対策ツールでも悪意ある SMS を完全に検知できないことがわかる。詐欺の目的は主に個人のアカウント情報や銀行カード情報を盗むことだと推測できる。

攻撃者が利用するサブドメイン名は常に変化するが、IP アドレスは変化が少ないことから、ブラックリストを構築したり、脅威情報として共有する場合には、URL ではなく IP アドレスに基づく方がより効果的である。

Unicode 文字は複数のエンコーディング方式で表現でき、UTF-8 が一般的である。このため、同じ文字が異なるエンコーディングで表現される可能性があり、検査システムがこれを一貫して検知することは困難が伴う。しかしブラウザーがユーザーの便利性を考慮し、アクセスできる URL になるように自動的に不適切な文字を変換する。そしてユーザーは攻撃者のスミッシングサイトにアクセスしてしまい、通信業者の検査システムにも、ブラウザーが行っている URL の補正機能を加えて、検知率をあげることができると考えられる。

APK の権限を公式サイトと比較し、必要としていない権限があるかのチェックのアルゴリズムがあれば、より効率的にスミッシングを判断できる。

本研究が今後の研究に一石を投じる手助けとなることを期待している。

参考文献

1. 林憲明, 唐沢勇輔, 中村智史, 坂本美子, 柘植悠孝, 岡田雅之, 加藤雅彦, フィッシング詐欺のビジネスプロセス分類, フィッシング対策協議会, 2021. https://www.antiphishing.jp/news/collabo_20210316.pdf
2. フィッシング対策協議会 技術・制度検討ワーキンググループ, フィッシングレポート 2022. https://www.antiphishing.jp/report/phishing_report_2022.pdf
3. Sandhya Mishra, Devpriya Soni. DSmishSMS-A System to Detect Smishing SMS. Machine Learning Applications for Security, Vol. 35,pp.4975–4992, 2023.
4. Ryu Saeki; Leo Kitayama; Jun Koga; Makoto Shimizu; Kazumasa Oida. Smishing Strategy Dynamics and Evolving Botnet Activities in Japan. IEEE Access vol.10, pp.114869-114884. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3217795
5. Sayak Saha Roy, Unique Karanjit, Shirin Nilizadeh. Phishing in the Free Waters: A Study of Phishing Attacks Created using Free Website Building Services. IMC '23: Proceedings of the 2023 ACM on Internet Measurement Conference, pp.268-281. https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3618257.3624812
6. 桜井啓多, ドメイン情報と HTTP レスポンスヘッダに基づくフィッシングサイトの識別と評価, 明治大学総合数理学部 先端メディアサイエンス学科 菊池研究室, 2018. https://www.kikn.fms.meiji.ac.jp/paper/2018/bachelor/sakurai/thesis-resume.pdf
7. Yuji Sakurai; Takuya Watanabe; Tetsuya Okuda; Mitsuaki Akiyama; Tatsuya Mori. Discovering HTTPSified Phishing Websites Using the TLS Certificates Footprints. 2020 IEEE

European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW). DOI: 10.1109/EuroSPW51379.2020.00077.

8. Sayak Saha Roy; Unique Karanjit; Shirin Nilizadeh. Evaluating the Effectiveness of Phishing Reports on Twitter. 2021 APWG Symposium on Electronic Crime Research (eCrime). DOI: 10.1109/eCrime54498.2021.9738786.
9. Sandhya Mishra, Devpriya Soni. Smishing Detector: A security model to detect smishing through SMS content analysis and URL behavior analysis. Future Generation Computer Systems, Volume 108, July 2020, pp.803-815. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.03.021.



Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

AI を用いた災害対策の提案と MAS による効果検証

Proposal of disaster countermeasures using AI and verification of effectiveness by MAS

田鍋 史生[1] 林 晃輔[1] 山崎 仁士[1] 佐藤 里恵[1] 村越 英樹[1] 林 久志[1*]
Fumio Tanabe[1] Kosuke Hayashi[1] Satoshi Yamazaki[1] Rie Sato[1] Hideki Murakoshi[1] Hisashi Hayashi[1*]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology
[*]Corresponding author: Hayashi Hisashi, hayashi-hisashi@aiit.ac.jp

Abstract This paper proposes evacuation strategies using AI and multi-agent simulations. In recent years, the importance of disaster management has increased in Japan due to its geographical characteristics and the impact of global warming. In particular, challenges remain in optimizing information sharing and resource allocation during disasters. This paper focuses on the following three approaches: 1. Predicting evacuation behavior during disasters and optimizing countermeasures using generative AI, 2. Improving evacuation efficiency through dynamic matching of those in need of assistance with supporters based on mobility capabilities, and 3. Verifying the effectiveness of evacuation guidance using drones and other technologies based on the disaster situation. Through these approaches, we propose methods to achieve effective countermeasures and risk reduction related to evacuation behavior during disasters, utilizing AI and multi-agent simulations. It should be noted that this paper is not a summary of completed research, but rather a report summarizing the research concept.

Keywords ai; multi-agent simulation; disaster countermeasures

1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学（以下，AIIT とする）では，専門職大学院として，PBL（Project Based Learning）型教育を導入している [1]．本稿では，PBL 型教育の一環として林 PT（Project Team）で取り組んでいる「AI を用いた災害対策の提案とマルチエージェントシミュレーション (MAS) による効果検証」について報告する．

近年，日本の地理的特性や地球温暖化の影響で災害対策の重要性は高まっており，ソフト面では災害時の情報共有やリソース配置の最適化等が課題となっている．国土交通省令和五年度「国民意識調査」において，防災対策・災害時の対応についての重要度に関するアンケートではハード面の対策だけでなく，ソフト面についての対策も重要であると答えた人が多い傾向があった．満足度についても，災害リスク情報の高度化といったソフト面での対策の評価が低くい傾向があった．図 1 は，アンケート結果となっている [2]．こうしたアンケートの結果から，デジタル技術を利用した対策が一層必要とされていることが分かる．これらのニーズに対して，AI/MAS を用いたアプローチによる提案を行う．

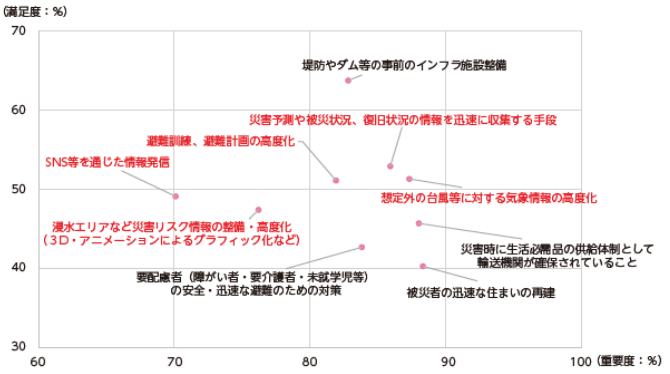


図 1 防災対策・災害時の対応についての重要度・満足度に関するアンケート結果

とくに本プロジェクトでは，マルチエージェントシミュレーションと AI を用いた災害時の避難行動に関連する効果的な対策とリスクの軽減を実現するための新しいアプローチを探る．

本稿の構成は次のようになっている．第 2 章から第 4 章で，各小テーマについて記述する．第 2 章では，生成 AI を用いた災害時の避難行動の予測と対策の最適化について扱う．第 3 章では，移動能力に基づく支援対象者と支援者の動的マッチングによる避難効率の向上について扱う．第 4 章では，災害被災状況に応じたドローン等による避難誘導の効果検証を扱う．第 5 章で，本研究のまとめと今後の展望について述べる．なお，この論文は完成した研究をまとめたものではなく研究構想をまとめた研究速報である．

2 生成 AI を用いた災害時の避難行動の予測と対策の最適化

背景

災害時における避難状況を予測するために，マルチエージェントシミュレーションの活用は非常に有効であり，個々のエージェントの行動や選択を詳細に分析することで，災害発生時の避難行動をより正確に予測することが可能となる．正確な避難行動の予測ができれば，それに基づいた適切な対策を事前に立てることができ，避難者の安全性を高め，被害や混乱を最小限に抑えるための実効性の高い対応策を講じることができる．しかしながら，従来のルールベースのマルチエージェントシミュレーションでは，避難時におけるエージェントの心理状態や会話による情報伝達の影響を十分にシミュレートすることができないという課題が存在していた．災害時には，恐怖や不安などの感情や情報伝達等が避難行動に大きな影響を与えるため，これらの要素を考慮しないことは，シミュレーションの現実性を損なう．そこで本小テーマでは，災害時の心理的要因や情報の伝達・共有の状況を，生成 AI を用いたジェネレーションエージェントを用い分析し，シミュレートすることで，従来のマルチエージェントシミュレーションの限界を克服し，より現実に即した避難行動の予測および予測に基づく避難指示の最適化および避難物資供給などの最適化を目指す．

関連研究

従来のルールベースのマルチエージェントシミュレーションから発展させ，エージェントの心理状態や会話による情報伝達の影響をシミュレート可能とするために，マルチエージェントシステムに生成 AI 技術を適用した先行研究については Park らが

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

ChatGPT で用いられる大規模言語モデル（LLM）を活用して，計画性・社会性など複雑な能力が求められるマルチエージェントシミュレーションの実現を行った [3]．加藤らはマルチエージェントシミュレーションにおける課題を LLM により解決して，環境に応じた意思決定を行うモデルを提案した [4]．松本らは，柔軟な合意形成シミュレーションの実現のため，他者の意見の影響を受けつつも自身の主張を保つ発話生成手法が，LLM で行えるかを検証した [5,6]．これらの先行研究を参考にし，災害時におけるジェネレーティブマルチエージェントシミュレーターを開発する．また，生成 AI 技術についての活用において注意すべき点等に関しては Oscar らの論文があり，これらを参考にする [7]．過去の実際の災害における被害状況や行動に関しては，国内の事例については，2002 年 7 月の台風 6 号豪雨災害の住民行動の分析 [8]，2016 年の熊本地震での震災後の避難行動に関するモデル分析 [9]，2018 年 7 月の豪雨災害における住民避難行動分析 [10]，海外の事例については，フィリピンでの台風ハイエンにおける避難行動に関する現地調査 [11]，バングラデシュで発生したサイクロンコメンに対する効果的な避難対策についての報告 [12]，アメリカ合衆国等における，大規模災害であるハリケーンに対しての避難の意思決定に社会的つながりがどのように影響を与えたかの調査 [13,14]，等を参考に検証を行う．

目的

まず，マルチエージェントシステムに生成 AI 技術を適用した，災害時におけるジェネレーティブマルチエージェントシミュレーションを開発する．図 2 は，システム構成の概要図である．このシステムを用いた会話シミュレーターを活用し，避難者の心理状態や会話の内容を分析する．その結果を過去の災害データや文献データと比較して検証する．検証結果に基づいてシステムを改良し，予測精度の向上を図る．次に，避難時における最適な情報提供や避難指示の方法を検証する．このプロセスでは，どのタイミングで，どのような情報を提供すれば，避難者が最も効率的かつ安全に避難行動を取ることができるかを明らかにする．また，避難所の混雑を緩和するため，災害発生時に各住民に対してどのように避難場所への避難を指示すべきかを検討する．これにより，避難者が特定の避難所に集中することを避け，地域全体に避難者を均等に分散させることが可能となる．さらに，避難所での物資不足を解消するため，作成された避難計画を評価し，必要に応じて最適化を行う．この最適化には，物資の効率的な配分と設備の設置が含まれる．これらの取り組みにより，避難所における物資の適切な供給を確保し，避難者が必要な支援を確実に受け取ることができる環境を整える．このように，避難指示，避難計画，物資配分，設備配備の最適化を通じて，災害時の被害を最小限に抑えることを目指す．

問題定義

避難所におけるリソース不足を解消し，全体的な避難計画を最適化するためには，住民の避難行動や発生する可能性がある避難時の課題を正確に予測し，効率的な避難計画・指示の策定，避難資源の配分を行う必要がある．これにより，避難所での混乱を最小限に抑え，避難者全員が安全かつ快適に避難できる環境を整備することが可能である．ここで，エージェントは避難者として，

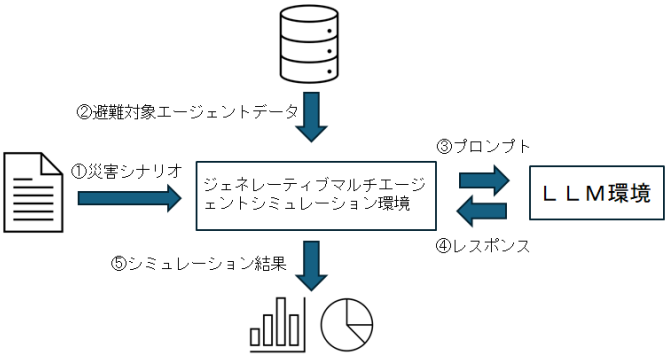


図 2　システム構成の概要図

家族等の単位により 1 名から数名で構成されるグループとして分かれている．避難者エージェント a が実行できるアクションの集合を Act(a) とすると，Act(a)= {discuss, reflect, evacuate} として，災害が発生すると各エージェントはグループ内の他のエージェントへの相談 (discuss) を開始する．シナリオに設定された一般的な情報，各災害シナリオごとの特殊な情報，およびデータベース内のエージェントの個別情報に基づき LLM へのプロンプトを作成し，これに対して LLM が会話形式の内容でレスポンスとして返す．ここで，グループが複数のエージェントで構成される場合はエージェント同士で互いに相談，避難 (evacuate) するか否か，避難する場合であり避難所が複数ある場合には，どこの避難所へ避難するか等を決定する．グループが単数のエージェントで構成される場合は，同様の情報に基づき内省 (reflect) を行い自分の意志決定をする．これらの会話の内容および内省における意思決定は，会話シミュレーターに表示される．シミュレーションによる結果は避難状況などの結果レポートとして出力される．また，会話の内容等はテキストログとしてデータベースに保存され，テキストマイニングなどの分析による検証を行えるようにする．災害シミュレーターの予測精度に関しては，過去の災害との比較による一致で比較する．これは，過去のデータによる実際の各種数値とシミュレーション結果との差分により評価する．シミュレーションの結果と実際の値の差異は，例えば避難者数であれば，D を差異，S をシミュレーションによる予想避難者数，A を論文等による実際の値とすると，

$$D = |S - A| \tag{1}$$

で表すことができるので，これらの値の最小化を目指す．避難率は R として，実際の避難者数を E，想定避難対象者数を T とすると，

$$R = \frac{E}{T} \tag{2}$$

で表されるので，この値が 1 になるように調整する．避難所の適正な収容避難者数に対する避難者の最適化については，各避難所における実際の避難者数と適正な収容避難者の差分の合計を避難者収容人数差分数 D_{sum} として，N_a（$a = 1, 2, 3, \ldots, n$）を各避難所に避難した人数，C_a（$a = 1, 2, 3, \ldots, n$）を各避難所の適正収容避難者数とすると，

$$D_{sum} = \sum_{i=1}^{n} |N_i - C_i| \tag{3}$$

で表されるので，この D_{sum} の値の最小化を検討する．これらの評価値を，会話シミュレーターでの情報伝達内容等やシミュレーション結果から検証することにより，行動予測に基づく訓練計画や情報共有等の施策を通じて，どのように住民の避難行動が変化するかを検証する．例えばエージェントから女性のプライバシーに対する配慮を危惧する発言が多数発せられた場合，避難所に女性専用の区画を設けるなどの対応を行った際に，その対策が避難率の向上や避難先の選択にどの程度影響するかを検証する．この検証結果に基づいて，避難計画の最適化を検討する．

解決手法

生成 AI を用いた会話シミュレーターを活用し，災害時におけるエージェント間の情報伝達や意思決定プロセスの精度向上を図る．このシミュレーターでは，地震や洪水，大規模火災，台風等の様々な仮想災害シナリオを設定して被災者の情報伝達や意思決定に基づく避難行動をシミュレートし，その結果を詳細に分析する．図 3 は，シミュレーターの実行画面である．その後，シミュレーション結果を分析し，過去の様々な実際の災害データや文献と照らし合わせることで，シミュレーション結果が現実的かつ信頼性のあるものであるかを検証する．先行研究での状況とも比較し，災害時，緊急時に対応したシステムの改良を行うことにより，一致率の向上を図る．この検証過程において，シミュレーターによる予測精度の向上が確認された後に，避難指示や物資準備のプロセスを最適化し，実際の災害対応計画に反映させることを目指す．これにより，避難所の確保や支援対策がより効果的に行えるようになることを目指す．



図 3　シミュレーターの画面

シミュレーションの内容

仮想災害シナリオの例として，災害の種類，発生時期，発生地域，被災・避難人数，備蓄食料数や設備の種類が異なる複数の避難所等を設定し，それぞれの特徴や収容能力を定義する．次に，災害発生後にエージェント間でどのような情報のやり取りがなされ，各エージェントがどのような判断基準に基づいて避難行動を決定するかを詳細に検証する．この検証では，ジェネレーティブマルチエージェントシミュレーションでの会話シミュレーターによるエージェント同士の会話内容や，受け取った情報，避難所の混雑状況や食料や衣料品等の必要物資の備蓄状況を考慮に入れ，最も適切な避難指示や情報提供の方法を見出す．図 4 は，各エージェントの会話シミュレーションの相談内容を表示している画面である．図 5 は，グループを構成するエージェントが一人のときに内省を行い，その内容を表示している画面である．また，公共放送や緊急速報，SNS などによる情報提供や避難指示がエージェントの行動にどのような影響を与え，避難状況の改善に寄与するかを包括的に検証し，最適な災害対応策の提案を目指す．



図 4　会話シミュレーターによる相談内容の画面

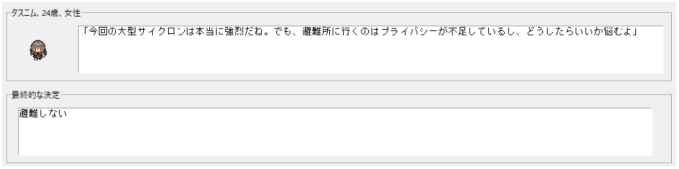


図 5　会話シミュレーターによる内省内容の画面

評価軸

1. 過去の災害データとシミュレーション結果との差分：災害シミュレーションの精度を評価するため，過去に発生した災害データと類似した条件下における，シミュレーション結果の差分を検証する．この差分が小さいほど，シミュレーションが現実的な状況を正確に再現できていることを示し，以後の災害対応策の信頼性が高まると考えられる．また，差分の発生した要因などを，エージェント間の会話や意思決定プロセスから詳細な分析を行い，シミュレーションモデルの問題点や改善すべきポイントを特定して，さらなる予測精度向上に繋げることが可能となる．

2. 避難率：災害発生時における住民の避難行動を評価するため，実際に避難を行った人々の割合を測定する．この避難率は，適切な避難指示が行われたか，また住民が正確な状況判断や情報に基づき，迅速かつ安全に避難できたかを評価する指標である．実際の災害発生時において，避難者の保護を効果的に実施するためには，避難所に集まった住民の割合を正確に把握することが重要である．この情報は，避難所内での支援活動や物資の適切な配分を行う際に不可欠であり，さらに避難率の地域別や時間別の分析により，指示のタイミングや地域特性に応じた避難行動の違いを把握し，今後の改善点を見つけることができる．

3. 避難者収容人数差分数:避難所ごとの混雑状況，空き状況（余裕度）を評価し，どの程度の避難者が各避難所に集中したか，あるいは無駄な施設が無いかを分析する．この値が低ければ，避難者が適切に分散され，避難所の負荷が適切に管理されていることを示す．また，避難所の収容能力に対して過剰に避難者が集中している場合，その要因を特定して避難指示計画に反映させること等が求められる．避難所の混雑状況を予測することで，追加の避難所の設置や，他の避難場所への誘導といった対応を可能とする．

3 移動能力に基づく支援対象者と支援者の動的マッチングによる避難効率の向上

背景

近年，災害時における避難対策の重要性がますます強調されており，特にショッピングモールなどの大規模な室内施設では，迅速かつ安全な避難が求められている．これらの施設では多様な人々が利用しており，身体障害者や負傷者のように自力での避難が困難な要支援者も少なくない．そのため，こうした要支援者が迅速に避難できるよう，適切な支援を提供することが避難計画の中で重要な要素となっている．しかし，実際の災害時には，適切な支援者が迅速に選定されないことが多く，これが要支援者の避難遅延や避難経路の混雑を引き起こし，全体の避難効率の低下に繋がる可能性がある．特に，従業員やスタッフが支援者としてどのように機能すべきか，そしてその役割が避難効率にどのような影響を及ぼすのかについての研究は十分に進んでいない．これまでの多くの実証研究は，避難経路の最適化や避難誘導の効果に焦点を当てており，避難者の安全な移動を確保するための物理的な環境整備や情報提供が主なテーマとなってきた．しかし，要支援者に対する個別の支援や，支援者としての従業員の役割に関する研究は依然として不足しており，この分野における知見の蓄積が求められている．本小テーマでは，このギャップに着目し，災害時における支援者と要支援者の動的マッチングを通じて避難効率を向上させるためのアプローチを提案する．特に，支援者としての従業員の役割を明確にし，その最適な活用方法を検討することを目的とする．

関連研究

避難効率の向上に関する研究は，特に支援が必要な避難者に焦点を当てたものが増加しており，ますます注目を集めている．ある研究では，異なる能力を持つ人々の避難効率を支援比率に基づいて分析し，支援者の効果的な配置が避難成功にどのように影響するかを明らかにしている [15]．また，別のシミュレーション研究では，高齢者施設における職員の避難行動を検討し，支援者の役割が避難効率に与える影響を示している [16]．さらに，NetLogo を用いた多層階建物での避難シミュレーションや，駅コンコースにおける行動シミュレーションでは，建物内での避難経路の選択や，歩行者の滞留，混雑が避難時間に与える影響が詳細に分析されている [17,18]．特に，複数階の建物からの避難行動をシミュレーションした研究では，避難者の動きや経路選択が避難効率にどのように影響するかを示している [19]．日本国内でも，大規模な商業施設での従業員による避難支援の研究が進んでおり，従業員の役割が避難全体の効率に与える影響が明らかになっている [20]．最新の研究では，エージェントベースのモデルを用いて，複雑な避難行動をシミュレーションし，最適な避難計画の策定に役立てる手法が示されている [21]．これらの研究は，避難効率向上に向けた多様なアプローチを提供しているが，特に支援者と要支援者の動的マッチングに焦点を当てた研究は依然として不足している．本研究では，このギャップを埋めるため，支援者を動的にマッチングさせる新しいアプローチを提案し，商業施設内での避難効率をさらに高めることを目指している．

目的

本小テーマの目的は，ショッピングモールなどの大規模商業施設において，災害発生時に要支援者が迅速かつ安全に避難できるよう，従業員を支援者として最適にマッチングする方法をマルチエージェントシミュレーションによって分析することにある．具体的には，身体障害者や負傷者など，自力での避難が困難な要支援者と，彼らを支援する従業員との間で，効果的なマッチングパターンを探索する．本小テーマでは，要支援者の位置や状態，そして支援者である従業員の位置や移動能力を考慮したアルゴリズムを構築し，災害時における迅速かつ効果的な支援が実現できるかをマルチエージェントシミュレーションにより検証する．このシミュレーションを通じて，避難時間の短縮と避難経路の混雑緩和を目指し，従業員が支援者として積極的に活躍できる状況を創出することを目標とする．さらに，これにより施設全体の避難効率が向上し，要支援者を含むすべての避難者が安全に避難できる環境を整えるための実践的な知見を提供することを目指す．

問題定義

災害発生時における大規模商業施設内での避難効率を向上させるため，特に身体障害者や負傷者など，自力での迅速な避難が困難な要支援者に対して，適切な支援を提供する方法を検討する必要がある．要支援者には，負傷によって全く移動ができない人や，移動は可能であるものの，歩行速度が遅く通常の避難ペースには追いつけない人が含まれる．これらの人々は，迅速に支援を行わなければ，避難が遅れることにより避難経路の混雑が生じたり，避難全体の効率が低下するリスクがある．災害発生時，要支援者に対して迅速かつ適切な支援を行うことは，避難の成否を左右する重要な要素である．しかし，現状では，支援者を迅速に選定し，要支援者に対して適切にマッチングする仕組みが十分に整備されていないことが多い．このため，支援の遅れや避難経路の混雑が頻繁に発生し，結果として避難全体の効率が低下する可能性が高い．本テーマでは，この問題を解決するため，要支援者と支援者の最適なマッチング方法を提案し，その効果をシミュレーションによって検証することを目指す． 要支援者の位置や状態，支援者の移動能力や現在の位置などの要素を考慮した動的なマッチングを実施し，これにより災害時の避難効率を大幅に改善することが期待される．問題の具体化として，商業施設にいるすべての人の集合を P とし，その中で要支援者を $A \subset P$，支援者を $B \subset P$ と定義する．各要支援者 $a \in A$ に対して，最適な支援者 $b \in B$ を割り当てることで，全体の避難時間の総和 $\sum_{p \in P} etime(p)$ を最小化することが目標である．ここで， $etime(p)$ は各人 $p \in P$ が避難を完

了するまでにかかる時間である．

$$\min \sum_{p \in P} etime(p) \tag{4}$$

解決手法

災害発生時における要支援者と支援者の適切なマッチングを実現するため，次の 3 つの手法を提案する．まず，「要支援者の検知」を行う．カメラ画像解析システムやセンサーを活用して，要支援者の位置，移動速度，および状態をリアルタイムで監視する．これにより，負傷者や支援が必要な人々を迅速に検知し，彼らの正確な位置を把握することが可能になる．次に，「支援者と要支援者のマッチング」を行う．支援者の移動能力や現在の位置を考慮したアルゴリズムを用いて，最適な支援者を迅速に選定する．これにより，要支援者に対して最も適切な支援者を割り当てることができ，全体の避難効率を向上させることが期待される．最後に，「支援者への支援指示」を行う．選定された支援者には，スマートフォンや専用の通知デバイスを通じて，要支援者の位置や状態，避難経路の情報をリアルタイムで通知する．これにより，支援者は迅速に行動を開始し，要支援者へのサポートを迅速に提供することが可能となる．これらの手法を通じて，要支援者が迅速に適切な支援を受けられるようになり，適切な支援者の選定が効率的に行われることで，全体の避難効率を大幅に向上させることが可能となる．

シミュレーションの内容

ショッピングモールで災害が発生した際の避難シナリオをマルチエージェントシミュレーションによって再現する．このシミュレーションでは，従業員が避難支援者としての役割を担い，要支援者と共に避難を行う状況を想定している．具体的には，カメラ画像解析システムやセンサーを用いて，要支援者をリアルタイムで動的に検知する．検知された要支援者の位置や状態に基づき，最適な支援者が迅速に選定され，マッチングが行われる．選定された支援者は，要支援者のもとへ速やかに移動し，サポートを行いながら避難を開始する．さらに，シミュレーションでは，支援者と要支援者が共に最適な避難経路を通じて移動し，全体の避難時間を短縮する過程を詳細に再現する．この過程において，避難者の動きや支援活動の効果を定量的に評価し，様々なマッチングパターンを検討する．これにより，最も効果的な支援者の選定方法を分析し，災害時の避難効率を最大限に高める手法を見出すことを目指す．図 6 に示されているフロアマップは，NetLogo を用いてシミュレーションしたショッピングモール内部の避難状況を表している．青色のエリアは商業施設の構造を示し，赤いアイコンは要支援者，緑色のアイコンは支援者を表している．このシミュレーションでは，支援者が要支援者の位置を把握し，適切な避難経路を通じて避難を支援する様子が視覚的に再現されている．各支援者は，最適なルートを選択しながら要支援者と共に移動するため，全体の避難効率が向上する過程を検証することが可能である．

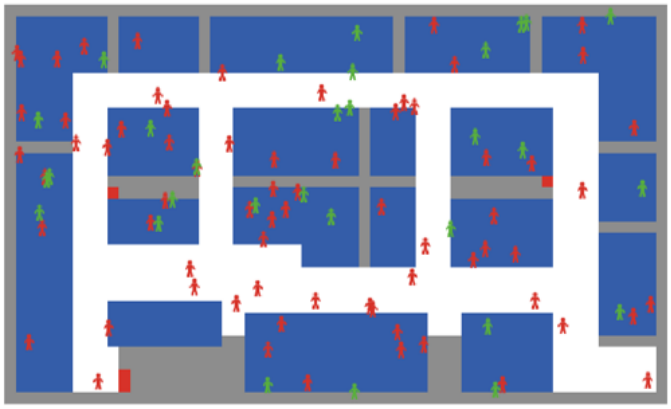


図 6　NetLogo によって作成されたフロアマップ

評価軸

1. 避難完了時間の総和：この評価軸は，災害発生時におけるすべての避難者が避難を完了するまでにかかる時間の総和を評価するものである．特に，支援が必要な要支援者に対して適切な支援者を迅速に割り当て，全員の避難時間を最小化することが求められる．避難完了時間は，避難計画の実効性を判断する重要な指標であり，施設内にいる全員が無事に避難するまでの時間を短縮することが避難効率の向上に直結する．評価式としては，避難者全員の避難時間 $etime(p)$ を合計したものを用いる．

$$\sum_{p \in P} etime(p) \tag{5}$$

この評価軸を最小化することが，研究全体の目的と一致しており，シミュレーションにおいては，全体の避難時間を減少させる最適な支援者と要支援者のマッチング方法を検証する．

2. 支援開始までの時間：この評価軸は，要支援者が支援を受け始めるまでにかかる時間を測定するものである．具体的には，災害発生後，各要支援者 $a \in A$ が支援者 $b \in B$ とマッチングされ，支援者が実際に要支援者に到達して支援を開始するまでの時間を評価する．この指標は，支援者と要支援者の動的なマッチングアルゴリズムの効果を測る重要な要素であり，支援開始の迅速さが避難の成否に大きな影響を与える．特に，大規模な商業施設のような複雑な環境では，支援が遅れることで避難経路が混雑し，避難全体が遅れるリスクがあるため，この評価軸は重要である． 支援開始時間を短縮することで，要支援者が迅速に支援を受け，避難全体の効率が向上する．シミュレーションにおいて，この指標を用いて支援者と要支援者の最適なマッチングが実現されているかを評価し，改善の余地を探る．

4　ドローンによる災害被災状況に応じた避難誘導の効果検証

背景

災害が発生した際，安全な場所で被災するとは限らない．また，災害そのものによる直接的な被害だけではなく，その後の時間経過と共に発生する二次災害からも身の安全を確保しなければならない．そのため，災害発生後は早急に広域避難場所などの安全な場所への避難が必要であると考えられる．このとき，避難するた

めには安全な場所への避難経路およびその経路上における災害発生状況の把握が重要となってくる．しかし，災害発生時は設備の被災あるいはアクセスの集中などにより，インターネットなどの通信網が正常に利用できない恐れがある．このように避難経路や災害状況が把握できない場合，安全な場所への避難が遅れ，二次災害に巻き込まれるリスクも増加してしまうと考えられる．これらの理由から，安全に避難するためには被災状況に応じた避難誘導が必要であると考えられる．

関連研究

災害の発生状況に応じた避難誘導を行うにあたり，人の手ですべて実現するためには，状況把握のために災害現場を目視等で確認しなければならず，そのための人員や災害現場への配置時間を要してしまう．さらには誘導者自身が二次災害に巻き込まれるリスクがあることも考慮すると，安全な手段とは言い切れない．これらの課題に対応するために，近年ではドローン（UAV）の活用が検討されており，シミュレーション環境での検証を中心に様々な取り組みが行われている．

まず，UAV を用いて複数のターゲットを検出する研究としては，Haythem らの強化学習を利用した事例 [22] のほか，多数の研究事例がある．UAV による災害への直接的な対応としての活用においては，Blais らは UAV 群のコントロール方法として強化学習を利用し，山火事の消火活動のため出火地点に飛行させるというシミュレーションを行っている [23]．

また災害情報の収集としては，森らはシミュレーション上で深層強化学習を利用して複数の UAV を協調させることで，広域の情報収集のための効率的かつ網羅的な探索行動則を獲得した [24]．Xue らは山火事の発生地点を早期に特定するため，メタヒューリスティックのひとつであるアントコロニーアルゴリズムを改良して複数 UAV に搭載し，その探索効果をシミュレーションで確認した [25]．

さらに避難誘導の検討として，鈴木らはシミュレーション空間において，避難者が着装する AR マーカーをドローンに認識させて誘導シミュレーションを行い，その実現可能性を確認した [26]．Katayama や Takahashi らは津波からの避難を想定し，エージェント型 IoT デバイスを連携させて災害状況を把握し，その情報に基づいて複数の UAV で避難誘導を行う避難誘導支援システムの開発を目指しており，実機による検証飛行も行っている [27–31]．Kambayashi らは山岳地帯での土砂崩れによる避難を対象として，2 種類の UAV を用途で分け，それらを連携させて避難支援を行うシステムを提案しシミュレーションを行っている [32]．

目的

本小テーマでは災害の発生状況に応じた避難誘導方法を提案し，マルチエージェントシミュレーションによってその効果の検証を行うことを目的とする．図 7 に今回提案する避難誘導のイメージを示す．具体的な方法を検討するにあたり，地上に設置した機器や設備を用いた誘導方法では，災害によってそれらが物理的な被害を直接被ってしまった場合，あるいはそれらに物理的被害がなくても電源や通信経路が遮断された場合，避難誘導に利用できなくなる恐れがある．そのため関連研究を踏まえ，本小テーマにおいても同様にドローンを活用する方法を検討する．

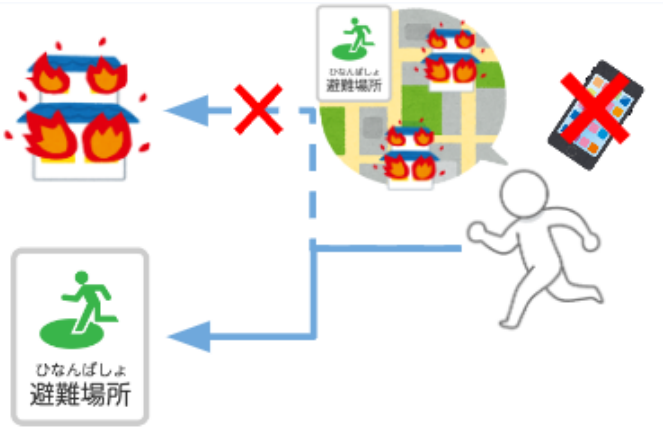


図 7　ネットワーク通信に依存しない災害状況に応じた避難誘導のイメージ

問題定義

関連研究における避難誘導の方法として，ほとんどはドローンが避難者を探索したうえで，その滞留場所から避難場所へ避難者を先導するという誘導方法となっている．この誘導方法では，誘導する避難者の数が多い，あるいは避難者を探索する範囲が広いといった場合，ドローンは避難者の滞留位置と避難場所を何度も往復する必要が生じる．これらは避難者全体の避難時間などの観点から考慮すると，決して効率面で優れた避難とは呼べないと考えられる．また避難誘導が間に合わず，二次災害に巻き込まれてしまう可能性も考えられる．

そのため，本小テーマではドローンが避難者を探索したうえで，避難所まで誘導するのではなく，避難者に現在地や避難所などといった地理情報およびその周辺の災害状況を避難者に直接提供することを提案する．これにより取得情報に基づいて避難者自身で避難を行うことで，エリア内の避難者全体の避難時間の短縮と避難完了者数の増加を目指す．

今回の前提条件として，今回は歩行者の避難誘導を対象とするため自動車や車道の存在は考慮しない．またドローンのバッテリーは有限であり，一定時間飛行（移動）すると充電のために拠点などに強制的に帰還することを制約条件として加える．

このとき，避難完了者数を n，各避難者ごとの避難時間を t_a（$a = 1,2,3,\ldots,n$）とすると，避難者全体の合計避難時間 T_{sum} は以下の式で表される．

$$T_{sum} = \sum_{i=1}^{n} t_i \tag{6}$$

また，避難完了者において一人あたりの平均避難時間 T_{avg} は以下の式となる．

$$T_{avg} = \frac{T_{sum}}{n} \tag{7}$$

解決手法

本来ドローンを飛行させるためには遠隔で操縦する操縦者が必要であるが，災害発生時にそのような人員を確保することは現実的ではないため，自律飛行による飛行を想定とする．本小テーマで提案する具体的なドローンによる避難誘導方法は以下のとおりである．

まず，災害エリア内に複数台の自律飛行ドローンを飛行させ，エリア内の災害状況および避難者の探索を行う．具体的には，こ

れらの探索を郡全体で効率的に実行させるため，各ドローンには専用のアルゴリズムなどを搭載する．このアルゴリズムの候補としてはメタヒューリスティックアルゴリズムまたは強化学習の利用を検討している．また，災害発生現場を発見した場合はその位置情報を一定範囲内に存在する他のドローンへ共有するための通信機能を有するものと設定する．

次に，ドローンが避難者を発見した場合，ドローンからその避難者に向けてエリア内の避難場所および最新の災害発生場所を伝達する．この具体的な伝達方法として，今回は各ドローンが移動体基地局機能を有する，あるいは Bluetooth 規格による送信機能を有するなどと想定し，避難者が保有するスマートフォンへ情報を配信できるものとする．

そして，避難者はドローンから送信される情報より，最短かつ安全な経路で移動できる避難場所を判断し，各自で避難を実施するものとする．

これらの内容について，避難誘導ドローンの集合を d，避難者の集合を e とすると，それぞれが実行できるアクションの集合 $Act(d)$ と $Act(e)$ は以下となる．

$$Act(d) \ni fly, charge, find, inform \tag{8}$$

$$Act(e) \ni explore, evacuate \tag{9}$$

$Act(d)$ について，fly はシミュレーション空間内の自律飛行，$charge$ は充電，$find$ は二次災害箇所などの検知，$inform$ はドローンの位置（x,y）の周辺（半径 r メートル以内）の避難者が保有するスマートフォンおよび他ドローンへの情報通知をそれぞれ表す．

また $Act(e)$ について，$explore$ は避難所までの経路および二次災害発生状況を把握していない状態での周辺の徘徊，$evacuate$ は避難誘導ドローンから情報を取得したうえでの避難所までの移動をそれぞれ表す．

シミュレーションの内容

本小テーマで提案する避難誘導方法を検証するための大まかなシミュレーション内容は以下のとおりである．

まず，実在する日本国内の都市の一部範囲について，広域避難場所等も含めてマルチエージェントシミュレーションの環境上に設定する．

次に，その都市の防災計画などで想定されている災害状況および時間経過に伴い発生する二次災害もシミュレーション上に設定する．今回は大規模地震によって建物の倒壊に伴う道路の閉鎖および家屋の出火と延焼を想定し設定する．

そのうえで，この環境下において避難者および提案するドローンをマルチエージェントとしてそれぞれ複数生成する．

そして提案手法の有無を分けてシミュレーションを行い，提案手法の効果を検証する．

評価軸

本小テーマにおいては，提案する避難誘導方法の有無によって 2 つの項目の比較を行い，その効果を評価するものとする．具体的な項目は問題定義の節にて扱った以下の項目である．

1．避難を完了することができた避難者エージェントの数 n

2．避難が完了した避難者エージェントの避難時間（合計時間 T_{sum} および平均時間 T_{avg}）

5 まとめ

本研究では，マルチエージェントシミュレーションを用いた災害時の避難行動に関連する効果的な対策とリスクの軽減を実現するための方策を研究テーマとしている．今後は，マルチエージェントシミュレーションの実装を進め，各サブテーマの提案手法の有効性を検証していく．

第 2 章では，災害時の避難行動の予測と対策の最適化をテーマとした．今後，生成 AI を用いたジェネレーティブマルチエージェントシミュレーションによるエージェントの心理状態やエージェント同士の会話などの結果を分析することにより，避難指示の方法や物資の配分，避難施設・設備等を最適化し，効果の検証を行う予定である．

第 3 章では， 災害時における大規模商業施設内での要支援者と支援者の動的マッチングによる避難効率の向上について述べた．今後は，マルチエージェントシミュレーションを用いて提案手法の有効性を検証し，避難計画への応用を目指す予定である．

第 4 章では，災害発生状況下においても安全に避難できる誘導方法の検討について述べた．本小テーマではドローンによる避難誘導を想定しており，今後はマルチエージェントシミュレーションでその効果を検証する予定である．

参考文献

1. 東京都立産業技術大学院大学. PBL （Project Based Learning） 型教育. Available: https://aiit.ac.jp/education/pbl/（Accessed: 2024-04-10).
2. 国土交通省 令和 5 年度国土交通白書「国民意識調査」, 図表 Ⅰ-1-1-17 防災対策・災害時の対応に関する重要度・満足度 Available: https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r04/hakusho/r05/html/n1114000.html（Accessed: 2024-10-08).
3. Park JS, O’ Brien J, Cai CJ, Morris MR, Liang P, Bernstein MS. Generative agents: Interactive simulacra of human behavior. Proceedings of the 36th annual acm symposium on user interface software and technology. 2023; 1–22.
4. 加藤新, 服部宏充, 吉添衛, 山本友輔. LLM に基づくエージェントモデルの MAS への導入. 人工知能学会全国大会. 2024. doi:10.11517/pjsai.JSAI2024.0_2F4GS504
5. 松本宇宙, 白松俊, 岩田崇, 水本武志. GPT-3.5 を用いた社会問題に関する合意形成シミュレータの試作および改善手法の検討. 電子情報通信学会 合意と共創研究会 研究報告. 2023. doi:10.11517/jsaisigtwo.2023.CCI-011_09
6. 松本宇宙, 白松俊, 岩田崇, 水本武志. LLM を用いた議論シミュレータのための仮想市民エージェントの意見変容制御手法の試作. 人工知能学会全国大会論文集. 2024. doi:10.11517/pjsai.JSAI2024.0_4R1OS8a05
7. Trespalacios OO, Peden AE, Hunter TC, Costantini A, Haghani M, Rod JE, et al. The risks of using ChatGPT to obtain common safety-related information and advice . Saf Sci. 2023;167. doi:10.1016/j.ssci.2023.106244
8. 牛山素行, 今村文彦, 片田敏孝, 吉田健一. 高度防災情報時代における豪雨災害時の住民行動－ 2002 年 7 月台風 6 号豪雨災害を事例として－. 水文・水資源学会誌. 2004;17 巻: p.150-158. doi:10.3178/jjshwr.17.150
9. 吉田護, 柿本竜治, 畑山満則, 阿部真育. 震災後の避難行動に関するモデル分析―2016 年熊本地震の事例を通じて―. 土木学会論文集 D3（土木計画学）. 2023; 土木計画学研究・論文集 第 35 巻（特集）: I_249-I_258. doi:10.2208/jscejipm.74.I_249

10. 髙木朗義, 杉浦聡志, 森啓明, 岩田秀樹. 平成 30 年 7 月豪雨災害における住民避難行動分析－岐阜県を事例に－. 自然災害科学. 2019;38 巻: p. 133-151. doi:10.24762/jndsj.38.S06_133

11. 黒部笙太, 高木泰士. 高潮浸入時の避難行動に関する現地調査と浸水・避難統合数値シミュレーションの構築. 土木学会論文集 B3（海洋開発）. 2018;74: I_779-I_784. doi:10.2208/jscejoe.74.I_779

12. Swarnali C, Akihiko H. Evacuation behavior: Why do some people never evacuate to a cyclone shelter during an emergency? A case study of coastal bangladesh. Journal of Disaster Research. 2020;15 巻. doi:10.20965/jdr.2020.p0481

13. Metaxa-Kakavouli D, Maas P, Aldrich DP. How social ties influence hurricane evacuation behavior. Proc ACM Hum Comput Interact. 2018;2: 1–16.

14. Collins J, Ersing R, Polen A, Saunders M, Senkbeil J. The effects of social connections on evacuation decision making during Hurricane Irma. Weather Clim Soc. 2018;10: 459–469.

15. Li K, Fu W, Cai J, Qu L, Yao T, Lin X. Analysis of evacuation efficiency for differently-abled people in multi-layered buildings based on assistance ratio. Applied Sciences. 2023;13: 12554. doi:10.3390/app132312554

16. Lim H, Lee H, Hwang J-H. Multi-agent simulation on staff evacuation behavior in elderly nursing home fire emergencies. Buildings. 2023;13: 400. doi:10.3390/buildings13020400

17. Lestari D, Sabri A, Handhika T, Murni. The simulation of evacuation from multistorey building using NetLogo. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2020;854: 012060. doi:10.1088/1757-899X/854/1/012060

18. 大内一昇，森下正道，林田和人，佐野友記.NetLogo を用いた駅コンコースにおける行動シミュレーション その 2 歩行者の行動シミュレーター（DFMAPs）を用いたシミュレーションによる空間評価. 日本建築学会情報システム技術論文集.2016.pp.141-144 Available: http://news-sv.aij.or.jp/jyoho/s1/proceedings/2016/pdf/H16.pdf（Accessed: 2023-10-14).

19. Fang H, Lv W, Cheng H, Li X, Yu B, Shen Z. Evacuation optimization strategy for large-scale public building considering plane partition and multi-floor layout. Front Public Health. 2022;10. doi:10.3389/fpubh.2022.847399

20. 有友春樹，白木渡，井面仁志. 大型商業施設における避難誘導に関する危機管理対策の検討. 安全問題研究論文集.2008;3. Available: http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00913/2008/03-0037.pdf（Accessed: 2023-10-12).

21. Smith J, Doe J. Simulating the effects of gate machines on crowd traffic based on the modified social force model. Mathematics. 2023;11: 780. doi:10.3390/math11030780

22. Salameh HB, Hussienat A, Alhafnawi M, Ajlouni AA. Autonomous UAV-based surveillance system for multi-target detection using reinforcement learning. Cluster Comput. 2024;27: 9381– 9394. doi:10.1007/s10586-024-04452-0

23. Blais M-A, Akhloufi MA. Drone swarm coordination using reinforcement learning for efficient wildfires fighting. SN Comput Sci. 2024;5. doi:10.1007/s42979-024-02650-6

24. 森裕太, 荒井幸代. 広域情報収集に向けた自律 UAV の分散協調型飛行方策の獲得. 人工知能学会全国大会論文集. 2022;JSAI2022: 3N3GS1002–3N3GS1002. doi:10.11517/pjsai.JSAI2022.0_3N3GS1002

25. Xue F, Geng P, Hao H, He Y, Liang H. A multiple fire zones detection method for UAVs based on improved ant colony algorithm. In: Jin H, Pan Y, Lu J, editors. Data science and information security. Singapore: Springer Nature Singapore; 2024. pp. 194–208.

26. 鈴木学, 浜克己, 中村尚彦. 協調ドローンを用いた避難誘導支援システム. 計測自動制御学会論文集. 2020;56: 24–30. doi:10.9746/sicetr.56.24

27. Katayama K, Takahashi H, Yokoyama S, Gäfvert K, Kinoshita T. Evacuation guidance support using cooperative agent-based IoT devices. 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). 2017. pp. 1–2. doi:10.1109/GCCE.2017.8229431

28. Katayama K, Takahashi H, Yokota N, Sugiyasu K, Kinoshita T. Cooperation scheme of multi-UAVs for evacuation guidance support. 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). 2018. pp. 221–222. doi:10.1109/GCCE.2018.8574602

29. Katayama K, Takahashi H, Yokota N, Sugiyasu K, Kinoshita T. Design and Implementation of Multiagent-based Evacuation Guidance Support System using UAVs. 2018 9th International Conference on Awareness Science and Technology (iCAST). 2018. pp. 196–201. doi:10.1109/ICAwST.2018.8517175

30. Katayama K, Takahashi H, Yokota N, Sugiyasu K, Kitagata G, Kinoshita T. An effective multi-UAVs-based evacuation guidance support for disaster risk reduction. 2019 IEEE international conference on big data and smart computing (BigComp). 2019. pp. 1–6. doi:10.1109/BIGCOMP.2019.8679474

31. Takahashi H, Katayama K, Yokota N, Sugiyasu K. Evacuation Guide Supporting System using UAV for Coastal Area. 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech). 2021. pp. 235–236. doi:10.1109/LifeTech52111.2021.9391881

32. Kambayashi Y, Tago I, Takimoto M. A Multi-agent Approach for Evacuation Support in Mountainous Areas Using UAV. In: Dignum F, Corchado JM, De La Prieta F, editors. Advances in practical applications of agents, multi-agent systems, and social good the PAAMS collection. Cham: Springer International Publishing; 2021. pp. 127–138.

Open Access This article is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

PBL 評価指標の確立に向けたアンケート調査の実施：第二報

Questionnaire survey for the establishment of PBL assessment scale : 2nd report

細田 貴明[1*] 岡崎 浩二[1] 松尾 徳朗[1]

Takaaki Hosoda[1*] Koji Okazaki[1] Tokuro Matsuo[1]

[1] 東京都立産業技術大学院大学 Advanced Institute of Industrial Technology

*Corresponding author: Takaaki Hosoda, t-hosoda@aiit.ac.jp

Abstract This study explores the alignment between pre-activity expectations and post-activity satisfaction among Project-Based Learning (PBL) students at the Advanced Institute of Industrial Technology. Conducted as an IR project in 2023, this survey captured students' high expectations for themes emphasizing originality (Expectation: 4.2, Satisfaction: 4.3) and social relevance. The findings indicate satisfaction levels were high for innovative themes and online collaborative activities (Online: 4.1, Face-to-Face: 3.5), highlighting digital learning's flexibility. However, competencies like communication (Expectation: 4.2, Satisfaction: 3.8) and teamwork (Expectation: 4.3, Satisfaction: 3.7) showed lower-than-expected satisfaction, suggesting challenges in achieving collaboration goals. These insights are pivotal for refining PBL's impact, guiding the development of both digital and in-person interaction frameworks, and enhancing skills-focused PBL activities to better meet 21st-century learning objectives.

Keywords recurrent education; career development; adult learners

1 はじめに

Project-Based Learning（PBL）は，21 世紀に求められる能力を育成するための有効な教育手法として注目されている．日本では，文部科学省と OECD が共同で進めるプロジェクトを通じて，PBL を活用した教育改革が行われている[1]. PBL はアクティブ・ラーニングの一環として，日本国内の教育現場で文部科学省により導入が進められており[2]，理論と実践を統合し，学生が主体的に問題解決に取り組むことで，創造力，チームワーク，コミュニケーション能力などを育むことが目的とされている．

日本国内の具体例として，東北地方の震災復興に関連する PBL が挙げられる．このプロジェクトは，地域社会と連携しながら新たな人材を育成し，地域振興に貢献することを目的としている[3]．また，近年ではオンライン PBL も普及し，遠隔地の学生が協力して学ぶ環境が整備されつつある[4]. デジタル技術の進展により，PBL の実施形態はさらに多様化している．

これまでの筆者らの研究において，学生が PBL に対して抱く事前期待は，特に独自性，新奇性，実務的なテーマに対する強い関心が示されている[5]. しかし，PBL 終了後にそれらの期待がどの程度満足に結びついたかについての検証は，まだ十分には行われていない. PBL は学習者が実体験を通じて学びを深めるプロセスであるため，事前期待と事後満足度の比較を通してその教育効果を評価することが重要である．

本研究の目的は，東京都立産業技術大学院大学（以下，本学）で 2023 年度に実施された PBL 履修者を対象に，事前期待調査とその後の満足度調査を比較し，PBL 活動における学生の期待と満足度の実態を分析することである．この結果は，PBL の教育効果を評価し，今後の教育改善に向けた示唆を提供するものとなる．本研究は，本学の高度専門職人材教育研究センターにおける IR（Institutional Research）活動として実施される．

2 PBL 受講前の期待に関する調査

前回報告した PBL 受講前の事前期待に関する調査結果[5]を基に，その内容を再構築する．前回の調査では，PBL 履修者が抱く事前期待に焦点を当て，特に実務的な課題解決やチームでの協働に対する事前期待が高いことが明らかにされている．これに基づき，以下では PBL 受講前における学生の具体的な事前期待について詳述する．

PBL は，学生が主体的に学び，実社会の問題解決に取り組むことを重視する教育手法である．このため，前回の調査結果から，学生が PBL 参加前に抱く事前期待が，学習成果やプロジェクトへの取り組みに大きな影響を与えることが示唆されている．特に，PBL が実務に即したスキルの習得や，理論と実践を結びつけた学びを提供するものとの認識は，履修者の学習動機を高める重要な要素であると考えられる．

前回の調査結果では，PBL 受講前の学生が主に独自性や新奇性のあるテーマへの取り組み，チームでの協働作業，オンライン学習の柔軟性，そして教員との協力に事前期待を寄せていることが示されている．学生は，PBL を通じて従来の講義形式では得られない新しい視点や実務的な課題に取り組むことを期待しており，実社会やビジネスの問題を解決する力を身に付けたいという強い意欲を示している．また，チームでの協働作業に対する事前期待も高く，異なるバックグラウンドを持つとメンバ協力して学ぶことで，相互に学び合う機会を求めている．

一方で，異質性のあるチームメンバよりも，同質性の高いメンバとの協働を好む傾向も見られ，これはチーム構成がプロジェクトの進行や成果に影響を与えることを示唆している．また，オンラインでの PBL についても，学生は柔軟な学習環境を求める姿勢を示しており，特にリモートでのチーム活動やリソース共有の容易さに高い事前期待を寄せている．

さらに，教員との関係性に対する学生の事前期待も大きい．PBL では，教員がファシリテーターとして学生をサポートし，プロジェクトの進行を支援する役割を担う．教員からの具体的なフィードバックや専門的なアドバイスは，学生にとって学びを深めるための重要な要素であり，特に実務経験を持つ教員による指導が，学生の期待に応える上で重要視されている．

このように，PBL 受講前の事前期待は，実社会に直結するスキルの習得や実践的な学びへの期待に強く結びついており，それらがどのように満たされるかが PBL の教育効果や学生の満足度に大きく影響を与えると考えられる．

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

3 分析

本研究では，学生が PBL に対して抱く事前期待が PBL 終了後の満足度にどのように結びつくかを検証し，その教育効果を評価することを目的としている．前回の調査で PBL 活動前の事前期待に関するデータを収集し，今回，PBL 活動後の満足度データも取得した．以下では，PBL 活動後の満足度に関する集計結果と，PBL 活動前の事前期待との比較結果を示す.

データ

分析対象とした調査は，2023 年度に本学 PBL 履修者を対象に実施されたものである．本調査は，PBL 活動前の事前期待と PBL 活動後の満足度に関するデータを収集することを目的としている．質問項目は「PBL テーマに対する期待」「PBL 活動に対する期待」など，6 つの大項目に分類され，合計 75 の質問で構成されている．各質問には 5 段階のリッカート尺度で回答が求められたが，事後の満足度については「解答できない」という特別な選択肢も設けられている．この選択肢は，スケール外の項目として扱われた．調査の概要は表 1 に示す

方法

対象の質問項目に回答した被験者のアンケートデータをもとに，5 段階評価の回答を 1 から 5 で得点化し，全体の平均値と事前期待との差を算出した．また，学生が所属する「事業設計工学コース」「情報アーキテクチャコース」「創造技術コース」の 3 つのコース別にも同様に算出した．算出結果は，表 2 のとおりになった（事前期待と満足度の差がプラスの場合は青，マイナスの場合は赤で表記）．以下に特徴的な結果について記載する．

表 1 アンケート調査の概要

調査名称	PBL 演習履修にあたっての調査
調査目的	PBL 履修生の PBL 活動における期待に関する意識を明らかにするために実施
調査方法	本学教育支援システムのアンケート機能を利用
調査期間	PBL 活動前の事前期待の調査： 2023 年 03 月 22 日～2023 年 06 月 01 日 PBL 活動後の満足度の調査： 2024 年 2 月 11 日～2024 年 3 月 15 日
調査対象	2023 年度 PBL 履修対象者
調査対象者数	回収したサンプル数 PBL 活動前の事前期待の調査： 84 件（事業 18 件，情報 41 件，創造 25 件）. PBL 活動後の満足度の調査： 79 件（事業 24 件，情報 35 件，創造 20 件）.

事前期待と満足度に関する差の算出結果

PBL テーマに関しては，身近で問題となっているテーマ（期待値: 3.85，満足度: 4.32，差: +0.47）や独自性のあるテーマ（期待値: 3.91，満足度: 4.28，差: +0.37）で満足度が事前期待を上回る結果となった．また，社会課題を取り上げたテーマ（期待値: 3.83，満足度: 4.22，差: +0.39）や深い専門的な知識を求められるテーマ（期待値: 4.04，満足度: 4.22，差: +0.18）についても事前期待を超える満足度が得られた．一方，収益性に着目したテーマ（期待値: 3.17，満足度: 3.07，差: -0.10）は事前期待を下回る結果となった．

テーマの選定に関しては，自ら（プロジェクトで）探し出したテーマ（期待値: 3.70，満足度: 4.28，差: +0.58）は，誰かから提示されたテーマ（期待値: 2.63，満足度: 3.23，差: +0.60）よりも大きく満足度が事前期待を上回っていた．

PBL 活動形式については，オンラインでの演習（期待値: 3.67，満足度: 4.31，差: +0.64）が対面での演習（期待値: 3.25，満足度: 3.95，差: +0.70）を上回り，特にオンライン形式が満足度の向上に貢献していることがわかる．

PBL 修了後の将来に関しては，大学院との継続的な関係性（期待値: 3.96，満足度: 3.97，差: +0.01）や修了後の PBL の継続（期待値: 3.47，満足度: 3.72，差: +0.25）に対する評価が比較的高かったが，起業・創業（期待値: 3.36，満足度: 3.19，差: -0.17）や就職・転職（期待値: 3.38，満足度: 3.37，差: -0.01）については事前期待と同水準の結果となった．

その他の習得能力においては，ユーザビリティやマーケットリサーチ，業務工程の分析力（期待値: 3.94，満足度: 3.66，差: -0.28）や自己の成長（期待値: 4.60，満足度: 4.28，差: -0.32）に関しても，事前期待に対して満足度が低く評価されている．また，開発に必要な準備や実装．試験評価を行うことができる開発力（期待値: 3.96，満足度: 3.91，差: -0.05）もわずかに満足度が期待を下回った．

4 考察

前節の分析結果をもとに，今回のアンケート結果と筆者らが実施した事前期待調査の結果[5]との比較を通じて，学生の期待と満足度のギャップやその要因について考察する．

今回の調査では，PBL 活動前の期待と PBL 活動後の満足度を比較し，いくつかの特徴的な結果が確認された．まず，独自性のあるテーマに対する満足度は期待を上回り，学生が創造力を活かす機会を強く求めていることが示された．実際のアンケート結果では（期待値: 3.91，満足度: 4.28，差: +0.37）である．これは，学生が PBL 活動を通じて新しい知見や創造性を発揮できる機会に対して高い評価をしていることを示唆する．

一方，収益性に着目したテーマについては（期待値: 3.17，満足度: 3.07，差: -0.10）であった．この結果から，学生がより挑戦的で実務的な課題に取り組むことを重視する傾向が示唆される．特に，収益性に対する期待が満たされなかった背景には，収益性の要素において，学生が単なる経済的視点よりも，実際の社会的意義や社会貢献の視点を含む課題に取り組むことを重視している可能性が考えられる．この点から，PBL のテーマ設定において，社会的意義や実務的な要素を含む幅広い視点が求められるといえる．

活動形式についても，オンラインでの演習は（期待値: 3.67，満足度: 4.31，差: +0.64）であった．オンライン形式が柔軟かつ効果的な学習手段として高く評価されていることがわかる．

表２　学生の期待と満足度のギャップ分析結果

質問項目	n				全体			a.事業			b.情報			c.創造		
	全体	事業	情報	創造	事前期待	満足度	差	事前期待	満足度	差	事前期待	満足度	差	事前期待	満足度	差
					統計量	統計量		統計量	統計量		統計量	統計量		統計量	統計量	
独自性のあるテーマ	78	23	35	20	3.91	4.28	0.37	4.16	4.21	0.05	3.56	4.22	0.66	4.32	4.45	0.13
新奇性のあるテーマ	77	23	34	20	3.78	4.06	0.28	4.00	4.04	0.04	3.36	3.97	0.61	4.32	4.25	(0.07)
社会課題を取り上げたテーマ	74	23	33	18	3.83	4.22	0.39	4.16	4.69	0.53	3.60	3.78	0.18	3.96	4.44	0.48
身近で問題となっているテーマ	77	23	35	19	3.85	4.32	0.47	3.66	4.39	0.73	3.78	4.28	0.50	4.12	4.31	0.19
収益性に着目したテーマ	70	22	31	17	3.17	3.07	(0.10)	3.38	3.54	0.16	3.12	2.87	(0.25)	3.12	2.82	(0.30)
公共性の高いテーマ	74	23	32	19	3.54	4.06	0.52	3.66	4.30	0.64	3.21	3.75	0.54	4.00	4.31	0.31
解決が容易なテーマ	70	20	30	20	2.63	2.88	0.25	2.44	2.60	0.16	2.68	2.86	0.18	2.68	3.20	0.52
解決が難解なテーマ	73	20	33	20	3.36	3.83	0.47	3.66	3.90	0.24	3.19	3.87	0.68	3.44	3.70	0.26
幅広い知識を求められるテーマ	75	22	33	20	3.88	4.18	0.30	3.94	4.27	0.33	3.78	3.93	0.15	4.00	4.50	0.50
深い専門的な知識を求められるテーマ	77	22	35	20	4.04	4.22	0.18	4.05	4.09	0.04	3.87	4.22	0.35	4.32	4.35	0.03
実務的なテーマ	75	23	33	19	4.17	4.21	0.04	4.00	4.30	0.30	4.29	4.21	(0.08)	4.12	4.10	(0.02)
学術的なテーマ	77	23	34	20	3.35	3.75	0.40	3.16	3.60	0.44	3.26	3.82	0.56	3.64	3.80	0.16
自身のキャリアや経験とリンクしたテーマ	78	23	35	20	4.00	3.84	(0.16)	3.88	3.86	(0.02)	4.04	3.85	(0.19)	4.00	3.80	(0.20)
自身の履修した授業とリンクしたテーマ	77	23	34	20	3.86	4.00	0.14	3.88	4.00	0.12	3.70	4.00	0.30	4.12	4.00	(0.12)
日本国内におけるテーマ	71	21	31	19	3.22	4.28	1.06	3.50	4.52	1.02	3.04	4.22	1.18	3.32	4.10	0.78
グローバルなテーマ	70	21	30	19	3.40	3.51	0.11	3.22	3.42	0.20	3.21	3.53	0.32	3.84	3.57	(0.27)
誰かから提示されたテーマ	67	18	31	18	2.63	3.23	0.60	2.61	3.44	0.83	2.78	2.93	0.15	2.40	3.55	1.15
自ら(プロジェクトで)探し出したテーマ	76	23	33	20	3.70	4.28	0.58	4.16	4.08	(0.08)	3.36	4.27	0.91	3.92	4.55	0.63
PTメンバ全員で取り組むテーマ	76	22	34	20	3.91	3.90	(0.01)	3.83	3.27	(0.56)	4.02	4.23	0.21	3.80	4.05	0.25
個人で取り組むテーマ	76	22	34	20	3.38	3.80	0.42	3.72	3.90	0.18	2.95	3.55	0.60	3.84	4.10	0.26
PT(Project Team)での協同活動	78	23	35	20	4.01	3.71	(0.30)	3.88	3.34	(0.54)	4.04	3.94	(0.10)	4.04	3.75	(0.29)
個人による単独活動	78	23	35	20	3.57	4.08	0.51	4.00	4.00	0.00	3.17	4.17	1.00	3.92	4.05	0.13
できるだけ短い活動時間(実際に当初の期待に対してどうでしたか?)	69	19	30	20	3.16	3.31	0.15	2.77	3.31	0.54	3.41	3.36	(0.05)	3.04	3.25	0.21
できるだけ長い活動時間(実際に当初の期待に対してどうでしたか?)	70	19	31	20	2.89	3.61	0.72	3.33	3.63	0.30	2.51	3.64	1.13	3.20	3.55	0.35
対面での演習	70	22	30	18	3.25	3.95	0.70	3.55	3.59	0.04	2.82	4.16	1.34	3.72	4.05	0.33
オンラインでの演習	77	23	34	20	3.67	4.31	0.64	3.50	4.17	0.67	3.95	4.55	0.60	3.36	4.05	0.69
夢工房の設備の利用	42	10	15	17	2.95	3.07	0.12	2.50	2.50	0.00	2.68	3.40	0.72	3.72	3.11	(0.61)
PBL演習室の利用	51	15	22	14	3.30	3.25	(0.05)	3.66	3.40	(0.26)	3.00	3.27	0.27	3.56	3.07	(0.49)
(実務・社会人経験の)キャリアの浅いPTメンバとの活動	62	16	27	19	3.03	3.51	0.48	2.88	3.06	0.18	3.04	3.66	0.62	3.12	3.68	0.56
(実務・社会人経験の)キャリアの豊富なPTメンバとの活動	74	23	31	20	3.89	4.09	0.20	3.83	4.17	0.34	3.95	4.25	0.30	3.84	3.75	(0.09)
同世代のPTメンバとの活動	67	20	31	16	3.22	3.82	0.60	3.05	3.85	0.80	3.19	3.90	0.71	3.40	3.62	0.22
様々な世代のPTメンバとの活動	70	20	30	20	4.00	4.00	0.00	4.11	3.70	(0.41)	3.85	4.30	0.45	4.16	3.85	(0.31)
異質性(多様性)の高いPTメンバとの活動	75	22	33	20	4.07	4.00	(0.07)	4.16	4.13	(0.03)	3.95	3.81	(0.14)	4.20	4.15	(0.05)
同質性の高いPTメンバとの活動	68	18	32	18	2.83	3.45	0.62	2.44	3.50	1.06	2.92	3.62	0.70	2.96	3.11	0.15
PTの先輩からの指導・アドバイス	62	15	29	18	3.63	3.48	(0.15)	3.55	3.13	(0.42)	3.48	3.48	0.00	3.92	3.77	(0.15)
PTの受け入れ体制	73	21	32	20	3.89	4.13	0.24	3.94	4.19	0.25	3.82	4.00	0.18	3.96	4.30	0.34
他PTの活動との連携	65	17	30	18	3.42	2.98	(0.44)	3.61	3.17	(0.44)	3.24	2.83	(0.41)	3.60	3.05	(0.55)
外部機関の活動との連携	70	22	31	17	3.83	3.52	(0.31)	4.16	4.36	0.20	3.46	3.09	(0.37)	4.20	3.23	(0.97)
観察,実験,調査などを通じて関係性を明らかにすることを目指す実証的アプローチによる活動	74	22	33	19	3.84	4.01	0.17	3.83	4.22	0.39	3.75	3.84	0.09	4.00	4.05	0.05
ものごとの因果関係等の関係性を明らかにすることを目指す理論的アプローチによる活動	74	22	33	19	3.71	3.97	0.26	3.72	4.18	0.46	3.56	3.87	0.31	3.96	3.89	(0.07)
活動内容の学会，展示会等での対外発表	70	19	32	19	3.67	3.81	0.14	3.83	3.68	(0.15)	3.56	3.87	0.31	3.76	3.84	0.08
担当教員の専門分野に関する指導	78	23	35	20	4.50	4.44	(0.06)	4.66	4.43	(0.23)	4.29	4.42	0.13	4.72	4.50	(0.22)
一般知識に関する指導	78	23	35	20	3.69	4.35	0.66	3.66	4.21	0.55	3.56	4.42	0.86	3.92	4.40	0.48
PBL活動に関するマネジメント	78	23	35	20	3.76	3.98	0.22	3.94	3.86	(0.08)	3.51	4.05	0.54	4.04	4.00	(0.04)
PBL活動でのファシリテーション	77	23	34	20	3.54	4.03	0.49	3.77	3.95	0.18	3.19	4.02	0.83	3.96	4.15	0.19
学生同士の活動への関与	77	22	35	20	3.61	4.06	0.45	4.11	4.00	(0.11)	3.31	4.08	0.77	3.76	4.10	0.34
教員との良好な関係	78	23	35	20	4.51	4.51	0.00	4.55	4.39	(0.16)	4.36	4.57	0.21	4.72	4.55	(0.17)
修了後のPBL活動の継続	74	22	33	19	3.47	3.72	0.25	3.61	3.86	0.25	3.19	3.57	0.38	3.84	3.84	0.00
他大学への進学	71	21	33	17	3.44	3.50	0.06	3.44	3.28	(0.16)	3.51	3.66	0.15	3.32	3.47	0.15
起業・創業	67	20	30	17	3.36	3.19	(0.17)	3.33	3.15	(0.18)	3.21	3.26	0.05	3.64	3.11	(0.53)
就職・転職	64	19	28	17	3.38	3.37	(0.01)	3.11	3.10	(0.01)	3.29	3.53	0.24	3.72	3.41	(0.31)
所属組織内での昇給・昇格	63	19	29	15	3.17	3.00	(0.17)	3.05	3.00	(0.05)	3.41	3.20	(0.21)	2.88	2.60	(0.28)
大学院との継続的な関係性	73	21	33	19	3.96	3.97	0.01	4.11	3.95	(0.16)	3.78	3.87	0.09	4.16	4.15	(0.01)
コミュニケーション能力	78	23	35	20	3.80	3.96	0.16	3.61	3.95	0.34	3.85	4.02	0.17	3.88	3.85	(0.03)
継続的学修と研究の能力	78	23	35	20	4.28	4.16	(0.12)	4.27	4.39	0.12	4.09	4.08	(0.01)	4.60	4.05	(0.55)
チーム活動能力	77	23	34	20	4.04	3.81	(0.23)	4.00	3.60	(0.40)	4.17	3.94	(0.23)	3.88	3.85	(0.03)
問題解決力	78	23	35	20	4.38	4.15	(0.23)	4.38	4.17	(0.21)	4.36	4.28	(0.08)	4.40	3.90	(0.50)
知識獲得力	78	23	35	20	4.41	4.19	(0.22)	4.16	4.56	0.40	4.46	4.00	(0.46)	4.52	4.10	(0.42)
開発や管理，リーダーシップに関するマネジメント能力	77	23	34	20	4.03	3.94	(0.09)	4.00	3.82	(0.18)	4.12	4.05	(0.07)	3.92	3.90	(0.02)
総合的企画力	77	23	34	20	4.03	4.07	0.04	4.22	4.34	0.12	3.85	3.94	0.09	4.20	4.00	(0.20)
革新的概念，アイデアの発想力	78	23	35	20	3.98	4.06	0.08	4.11	4.34	0.23	3.70	4.00	0.30	4.36	3.85	(0.51)
社会的視点及びマーケット的視点	75	23	33	19	4.03	4.01	(0.02)	4.27	4.56	0.29	3.82	3.75	(0.07)	4.20	3.78	(0.42)
ニーズ分析力	76	23	34	19	3.92	3.92	0.00	4.33	4.17	(0.16)	3.68	3.88	0.20	4.04	3.68	(0.36)
モデリングとシステム提案	71	19	33	19	4.16	3.78	(0.38)	4.16	3.84	(0.32)	4.00	3.78	(0.22)	4.44	3.73	(0.71)
マネジメント能力	77	23	34	20	3.92	3.77	(0.15)	4.05	3.73	(0.32)	3.92	3.97	0.05	3.84	3.50	(0.34)
ネゴシエーション力	76	23	34	19	3.78	3.82	0.04	3.83	4.17	0.34	3.70	3.73	0.03	3.88	3.57	(0.31)
ドキュメンテーション力	77	23	34	20	3.92	4.12	0.20	3.94	4.26	0.32	3.90	4.17	0.27	3.96	3.90	(0.06)
企画提案や要求定義ができる独創的な発想力	77	23	34	20	4.08	4.06	(0.02)	4.05	4.34	0.29	3.92	4.00	0.08	4.36	3.85	(0.51)
言語または非言語の可視化といった表現力(プレゼンテーション能力を含む)	78	23	35	20	4.08	4.20	0.12	3.94	4.00	0.06	4.12	4.22	0.10	4.12	4.40	0.28
機能デザインや感性デザイン，またそれらを統合する設計力	71	17	34	20	3.98	3.84	(0.14)	3.66	4.00	0.34	3.82	3.61	(0.21)	4.48	4.10	(0.38)
開発に必要な準備や実装，試験評価を行うことができる開発力	69	15	34	20	3.96	3.91	(0.05)	3.66	3.60	(0.06)	3.95	4.00	0.05	4.20	4.00	(0.20)
ユーザビリティやマーケットリサーチ，業務工程の分析力	71	18	33	20	3.94	3.66	(0.28)	3.88	3.72	(0.16)	3.82	3.66	(0.16)	4.16	3.60	(0.56)
学位の取得(取得を目指していた学位が取得できそうか)	77	23	34	20	4.45	4.46	0.01	4.05	4.34	0.29	4.48	4.58	0.10	4.68	4.40	(0.28)
自己の成長	77	23	34	20	4.60	4.28	(0.32)	4.44	4.13	(0.31)	4.53	4.41	(0.12)	4.84	4.25	(0.59)
PBL活動全般 (PBL活動に対する総合的な期待度)	77	23	34	20	4.38	4.12	(0.26)	4.33	4.00	(0.33)	4.26	4.23	(0.03)	4.60	4.10	(0.50)

一方で，対面や協働が期待通りに機能しなかった可能性がある．この結果から，今後の PBL プログラムにおいては，対面活動の質を向上させる工夫が求められる．

異質性(多様性)の高い PT メンバとの活動については（期待値: 4.07，満足度: 4.00，差: -0.07）であり，満足度が期待にわずかに届かなかった．これは，多様なバックグラウンドを持つメンバとの協働が，意見の対立や協力の難しさを生むこともあり，学生が想定したほどの学びや満足度に結びつかなかった可能性を示唆する．異質性の高いチームの効果を引き出すためには，効果的なファシリテーションやコミュニケーション支援が求められる．一方，同質性の高い PT メンバとの活動では（期待値: 2.83，満足度: 3.45，差: +0.62）であり，期待を上回る満足度が得られた．共通の背景を持つメンバ間でのスムーズな協力により，活動の効率性が高まり，学生が達成感を得やすかったことが理由と考えられる．したがって，PBL プログラムでは，プロジェクトの目的に応じて異質性と同質性のバランスを取ったチーム編成が，学習効果を高めるために重要であると考えられる．

また，コンピテンシーに関する項目では，コミュニケーション能力は（期待値: 3.80，満足度: 3.96，差: +0.16）であった．チーム活動能力は（期待値: 4.04，満足度: 3.81，差: -0.23），問題解決力は（期待値: 4.38，満足度: 4.15，差: -0.23），知識獲得力は（期待値: 4.41，満足度: 4.19，差: -0.22）であり，いずれも期待にはわずかに届かなかった．また，革新的概念，アイデアの発想力は（期待値: 3.98，満足度: 4.06，差: +0.08）であり，社会的視点及びマーケット的視点についても（期待値: 4.03，満足度: 4.01，差: -0.02）であった．

これらの結果を総合すると，PBL 活動におけるテーマ設定，活動形式，メンバ構成，およびコンピテンシー育成方法について，学生の期待に応える柔軟な対応とさらなる充実が求められると考えられる．

5 結論と今後の課題

本研究では，2023 年度に実施した PBL 履修者を対象に，事前期待と事後満足度の比較分析を行い，PBL 活動に対する学生の評価を明らかにするとともに，今後の PBL プログラム改善のための示唆を得ることを目的とした．

まず，独自性や新奇性のあるテーマに対する学生の期待と満足度がいずれも高いことが確認された．これは，学生が創造力を発揮できる課題に強い関心を抱き，PBL を通じて自己成長を実感していることを示唆する結果といえる．一方，収益性に焦点を当てたテーマに対する満足度は期待を下回り，学生がよりチャレンジングで実務的な課題を求める傾向が示された．これにより，PBL のテーマ設定においては，社会的な意義を含む幅広い視点が重要であることが示唆される．

また，オンライン活動に対する満足度が対面活動を上回っていることから，デジタル化が進む学習環境で，オンライン形式が柔軟かつ効果的な手段として受け入れられていることが示された．一方，対面活動においては，コミュニケーションや協働が十分に機能していない可能性があり，今後は対面活動の質向上が求められる．

さらに，異質性の高いチーム編成に対する満足度が高く，異なるバックグラウンドを持つメンバとの協働が新たな視点や発見をもたらし，学びの質を向上させることが確認された．今後の PBL プログラムでは，多様なチーム編成の積極的な導入が重要といえる．

PBL 活動を通じて修得するコンピテンシーに対する期待は依然として高く，特にコミュニケーション能力や問題解決力，知識獲得力といった基礎的スキルに対する期待が顕著であった．しかし，これらスキルに関して満足度が期待を下回る項目も見られ，これらスキル育成のための活動内容の見直しが求められる．

今後の課題として，本調査は限定的なサンプルに基づいているため，調査対象の拡大が必要である．また，事後評価データの蓄積により，より詳細な分析が可能となり，PBL プログラムの評価指標を精緻化する基盤が整うと考えられる．継続的な調査とデータの蓄積を通じて，PBL プログラムの質向上に努めることが重要である．

参考文献

1. 文部科学省．「教育目標・内容と学習・指導方法，学習評価の在り方に関する補足資料 ver.4」中央教育審議会, 2015 年. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/siryo/__icsFiles/afield-file/2015/05/25/1357975_02.pdf.（2024 年 10 月 28 日確認）
2. 文部科学省．「教育課程企画特別部会 論点整理 補足資料（5）」．中央教育審議会, 2015 年. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/siryo/__icsFiles/afieldfile/2015/09/04/1361407_2_4.pd（2024 年 10 月 28 日確認）
3. 関西学院大学．「PBL（課題解決型）授業『福島で学ぶ復興と原発問題』～村尾信尚教授らが指導 オンラインで福島第一原発視察も」. 2021 年. https://www.kwansei.ac.jp/news/detail/4400.（2024 年 10 月 28 日確認）
4. 井上 雅裕．「大規模な PBL と反転授業のオンライン化 そして今後の展開」．国立情報学研究所, 2020 年. https://www.nii.ac.jp/event/upload/20201225-07_Inoue.pdf.（2024 年 10 月 28 日確認）
5. 細田貴明，岡崎浩二，松尾徳朗．「PBL 評価指標の確立に向けたアンケート調査の実施: 第一報」．『東京都立産業技術大学院大学紀要』，第 17 号, 2024 年, pp. 179-185.

付録

PBL 演習履修後に関する調査

本学の PBL および関連の事項についてのアンケートを実施します．所要時間は 7 ～ 8 分程度です．本調査の目的は，本学のより優れた授業実施支援に寄与するもので，皆様のご回答がその発展に役立てられます．なお，調査データは集計前に匿名化され，特定の個人が識別できないようにして扱われます．各種報告資料等での活用や教育環境，教育方法の改善に役立てられます．学外の第三者による二次利用はございません．ご協力のほど，よろしくお願い申し上げます．

■あなたが PBL 科目を受講した結果について，次の質問にお答え下さい．

Q1. **PBL テーマ**について，次に関して期待どおりであったかを教えてください．

（1．期待しない，2. あまり期待しない，3．どちらとも言えない，4. やや期待する，5．期待する，6．回答しない／回答できない）

1	独自性のあるテーマ	1	2	3	4	5	6
2	新奇性のあるテーマ	1	2	3	4	5	6
3	社会課題を取り上げたテーマ	1	2	3	4	5	6
4	身近で問題となっているテーマ	1	2	3	4	5	6
5	収益性に着目したテーマ	1	2	3	4	5	6
6	公共性の高いテーマ	1	2	3	4	5	6
7	解決が容易なテーマ	1	2	3	4	5	6
8	解決が難解なテーマ	1	2	3	4	5	6
9	幅広い知識を求められるテーマ	1	2	3	4	5	6
10	深い専門的な知識を求められるテーマ	1	2	3	4	5	6
11	実務的なテーマ	1	2	3	4	5	6
12	学術的なテーマ	1	2	3	4	5	6
13	自身のキャリアや経験とリンクしたテーマ	1	2	3	4	5	6
14	自身の履修した授業とリンクしたテーマ	1	2	3	4	5	6
15	日本国内におけるテーマ	1	2	3	4	5	6
16	グローバルなテーマ	1	2	3	4	5	6
17	誰かから提示されたテーマ	1	2	3	4	5	6
18	自ら（プロジェクトで）探し出したテーマ	1	2	3	4	5	6
19	PT メンバ全員で取り組むテーマ	1	2	3	4	5	6
20	個人（または少数のグループ）で取り組むテーマ問題	1	2	3	4	5	6

Q2. **PBL 活動**について，次に関して期待どおりであったかを教えてください．

（1．期待しない，2. あまり期待しない，3．どちらとも言えない，4. やや期待する，5．期待する，6．回答しない／回答できない）

1	グループでの協同活動	1	2	3	4	5	6
2	個人による単独活動	1	2	3	4	5	6
3	できるだけ短い活動時間	1	2	3	4	5	6
4	できるだけ長い活動時間	1	2	3	4	5	6
5	対面での演習	1	2	3	4	5	6
6	オンラインでの演習	1	2	3	4	5	6
7	夢工房の設備の利用	1	2	3	4	5	6
8	PBL 演習室の利用	1	2	3	4	5	6
9	（実務・社会人経験の）キャリアの浅い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
10	（実務・社会人経験の）キャリアの豊富な PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
11	同世代の PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
12	様々な世代の PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
13	異質性の高い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
14	同質性の高い PT メンバとの活動	1	2	3	4	5	6
15	PT の先輩からの指導・アドバイス	1	2	3	4	5	6
16	PT の受け入れ体制	1	2	3	4	5	6
17	他 PT の活動との連携	1	2	3	4	5	6
18	外部機関の活動との連携	1	2	3	4	5	6
19	実証研究的アプローチによる活動	1	2	3	4	5	6
20	理論研究的アプローチによる活動	1	2	3	4	5	6

21	活動内容の学会，展示会等での対外発表	1	2	3	4	5	6

Q3. **PBL 担当教員**について，次に関して期待どおりであったかを教えてください．

（1. 期待しない，2. あまり期待しない，3. どちらとも言えない，4. やや期待する，5. 期待する，6．回答しない／回答できない）

1	担当教員の専門分野に関する指導	1	2	3	4	5	6
2	一般知識に関する指導	1	2	3	4	5	6
3	PBL 活動に関するマネジメント	1	2	3	4	5	6
4	PBL 活動でのファシリテーション	1	2	3	4	5	6
5	学生同士の活動への関与	1	2	3	4	5	6
6	教員との良好な関係	1	2	3	4	5	6

Q4. **PBL 修了後の将来的なこと**について，これまでの PBL 活動を踏まえて今後の期待度を教えてください．

（1. 期待しない，2. あまり期待しない，3. どちらとも言えない，4. やや期待する，5. 期待する，6．回答しない／回答できない）

1	修了後の PBL 活動の継続	1	2	3	4	5	6
2	他大学への進学	1	2	3	4	5	6
3	起業・創業	1	2	3	4	5	6
4	就職・転職	1	2	3	4	5	6
5	所属組織内での昇給・昇格	1	2	3	4	5	6
6	大学院との継続的な関係性	1	2	3	4	5	6

Q5. PBL で習得したい能力について，次に関して期待どおりであったかを教えてください．

（1. 期待しない，2. あまり期待しない，3. どちらとも言えない，4. やや期待する，5. 期待する，6．回答しない／回答できない）

1	コミュニケーション能力	1	2	3	4	5	6
2	継続的学修と研究能力	1	2	3	4	5	6
3	チーム活動能力	1	2	3	4	5	6
4	問題解決力	1	2	3	4	5	6
5	知識獲得力	1	2	3	4	5	6
6	開発や管理，リーダーシップに関するマネジメント能力	1	2	3	4	5	6
7	総合的企画力	1	2	3	4	5	6
8	革新的概念，アイデアの発想力	1	2	3	4	5	6
9	社会的視点及びマーケット的視点	1	2	3	4	5	6
10	ニーズ分析力	1	2	3	4	5	6
11	モデリングとシステム提案	1	2	3	4	5	6
12	マネジメント能力	1	2	3	4	5	6
13	ネゴシエーション力	1	2	3	4	5	6
14	ドキュメンテーション力	1	2	3	4	5	6
15	企画提案や要求定義ができる独創的な発想力	1	2	3	4	5	6
16	言語または非言語の可視化といった表現力（プレゼンテーション能力を含む）	1	2	3	4	5	6
17	機能デザインや感性デザイン，またそれらを統合する設計力	1	2	3	4	5	6
18	開発に必要な準備や実装，試験評価を行うことができる開発力	1	2	3	4	5	6
19	ユーザビリティやマーケットリサーチ，業務工程の分析力	1	2	3	4	5	6

Q6. PBL 全般について，次に関して期待どおりであったかを教えてください．

（1. 期待しない，2. あまり期待しない，3. どちらとも言えない，4. やや期待する，5. 期待する，6．回答しない／回答できない）

1	学位の取得	1	2	3	4	5	6
2	自己の成長	1	2	3	4	5	6
3	PBL 全体に対する総合的な期待度	1	2	3	4	5	6

社会人の学修過程における学修満足度のダイナミクス

Dynamics of learning satisfaction during the learning process for working adults

牧野 千里[1*]　橋本 洋志[1]
Chisato Makino[1*]　Hiroshi Hashimoto[1]

[1]東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
*Corresponding author: Chisato Makino, makino.chisato.xg@alumni.tsukuba.ac.jp

Abstract　The purpose of this study is to clarify the dynamics of learning satisfaction during the learning process (preparatory period, study period, and post-completion) for working adults. The "dynamics" is defined as the influence of various parameters such as learner profiling information, learning barriers (factors that prevent learning), and learning support (quality, quantity, timing) on the time-related change in learning satisfaction, furthermore it is described in mathematical formula. This formula will be embedded to various educational support systems and be expected useful for enrollment management operations.

Keywords　dynamics; learning satisfaction; working adult education

1　はじめに

学修過程（準備期、学修期、修了後）における学修満足度は、学修開始/継続/修了に大きく影響すると推測される。学修障壁等により学修満足度が低下すると、学修を開始/継続/修了することは困難となる。従来、学修満足度向上手法、成果に関しては数多く報告されている[1, 2]。しかし、学修過程は動的であり（図1, a)）、特に社会人の学び直しにおいては、学修満足度に対する変数（要因）は多岐にわたり、かつ複雑である。著者らは、既報[3]にて学修過程における学修満足度向上のための

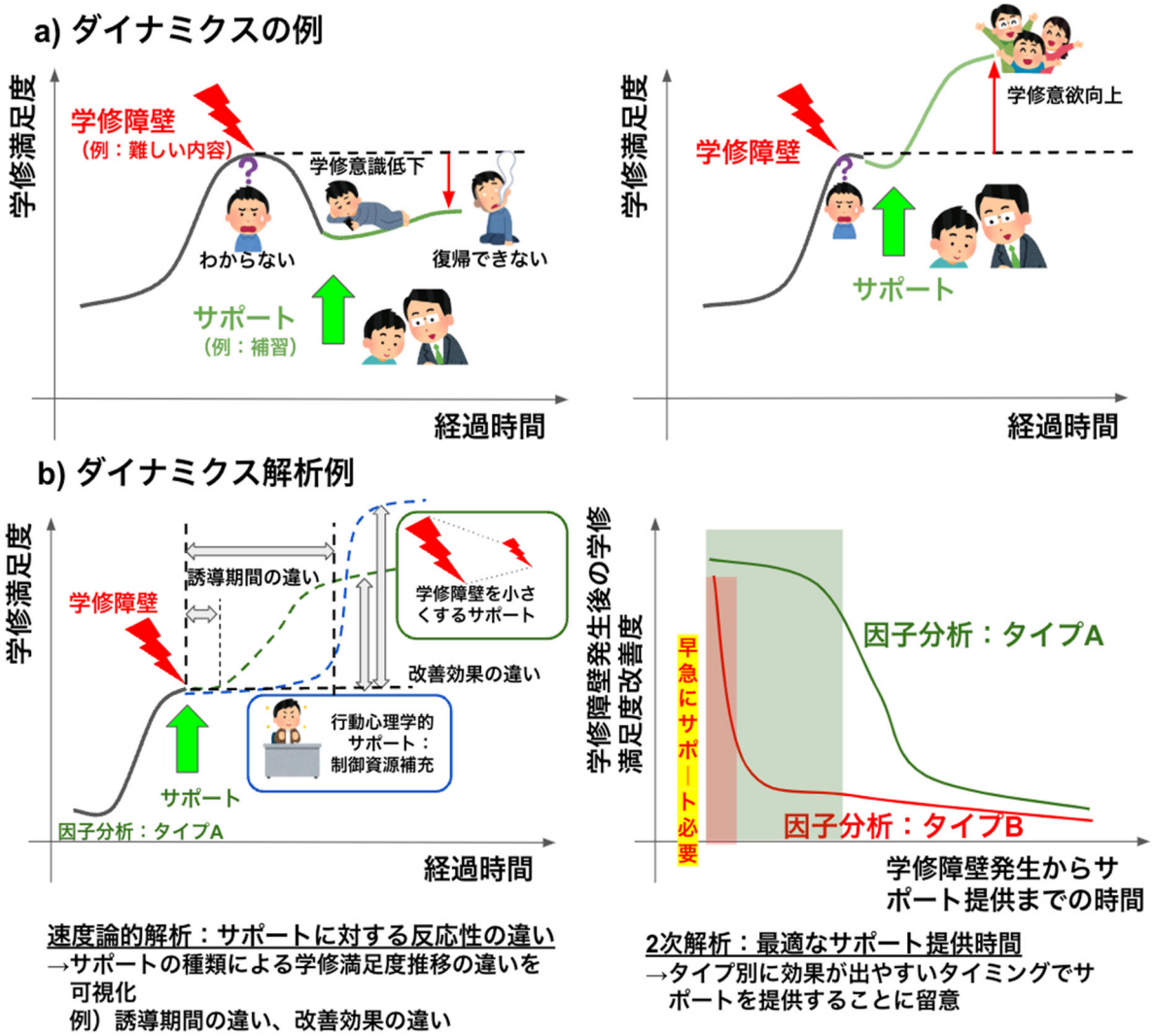


図1　学修満足度のダイナミクスの一例（イメージ図）。　a）同じサポート（↑：質および量は同じとする）でも、学修者に与えるタイミング（満足度が異なる）によって、その後の学修満足度変化量への影響は変わることがある。　b）速度論解析、プロファイリングとサポートタイミング、の解析例（想定される成果）。　挿絵：いらすとや、https://www.irasutoya.com/

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

社会人教育用エンロールメントマネジメント（EM：学生、学校、ステークホルダの満足度向上を目標とした時に、学校入学前から卒業/修了後までの一連の学びの実態を把握し、学生に対して総合サポートを行うマネジメント手法）の必要性、及びその設計について報告した。この EM を設計するためには、まず初めに学修者の学修満足度挙動（学修満足度のダイナミクス）を理解することが必須である。図 1，a)に“学修満足度のダイナミクス”のイメージ図を示す。学修障壁(学修を妨げる因子)に遭遇した学修者に対してサポートを提供するタイミングにより、学修満足度が大きく変わると感じられるのは教育現場でよく経験することである。この挙動は学修者の属性、性格にも大きく影響すると推定される。すなわち「学修障壁に対するサポート効果は、学修者のプロファイリング情報（属性、性格、学修目的の重要度、生活形態に依存した学修障壁、等)、学修障壁に対するサポートの質、量、タイミングによって大きく変わる」と言い換えることができ、ここで“学修満足度のダイナミクス”を改めて定義すると、学修者プロファイリング情報、学修障壁に対する学修サポート（質、量、タイミング）なる各パラメータの影響を数学的モデルで記述することとする。これが実現できれば、図 1, b）に示す解析例のような情報に導くことができ、教育手法の改善に寄与し、結果として学修満足度の向上につながるはずである。しかし、このようなダイナミクスに関する、特に数学的モデルに言及している報告は多くない。もしこの数学的モデルを明らかにすることができれば、教育支援システムとの相容性も高く、EM 運用に大きく貢献できるはずである。

本稿では、社会人の学修過程における学修満足度のダイナミクスが必要である背景、構築方法、今後の展開について述べることとする。最終的には、この成果を教育支援システム設計/EM 運用へと繋げることを目標とする。

2 国内社会人学び直し状況の解析

ダイナミクスの本論に入る前に、“学修満足度のダイナミクス”に着手する背景となった、国内社会人学び直しの状況について述べる。本稿執筆時点にて公開されている情報により、可能な限り解析、考察を行なった。

社会人の学び直し教育プログラムの概況

近年、社会人の学び直しのための教育プログラムが多く提供され[4, 5]、さらに、その学び直しにおいて、学修時間確保困難、通学時間/距離の問題、高学費、等、主要な学修障壁が抽出された[6]。そしてこれらに対し、土日学修/平日夜間学修、オンライン学修、オンデマンド学修、一部費用公費負担、短期間履修プログラム等のサポートが講じられている[5, 6]。図 2 に学び直しに関する調査結果の一例として、履修証明プログラム[4, 5]修了率推移全国統計結果を示す[7-19]。国内全体の結果として修了率は 60 %程度で推移しており、学修障壁対策（但し全国一斉導入ではない）の顕著な改善効果は観察されておらず、学修満足度に関する課題は全国的に取り組むべきものと推測される。また、東京都立産業技術大学院大学においても種々サポートが講じられているが、近年の修了率推移は概ね同様な傾向である[3]。ただし、ここで注意が必要なことは、社会人の学び直しは履修証明プログラムだけではなく、正規課程学生として学ぶ方法、科目当履修生として学ぶ場合等があることに留意すべきである。さらに履修証明プログラムの科目/分野は人文科学系、自然科学系、等、多岐にわたるため、全ての分野においてこの傾向があるとは言えないということである。精査するためには科目/分野別の解析が必要となることを付け加える。

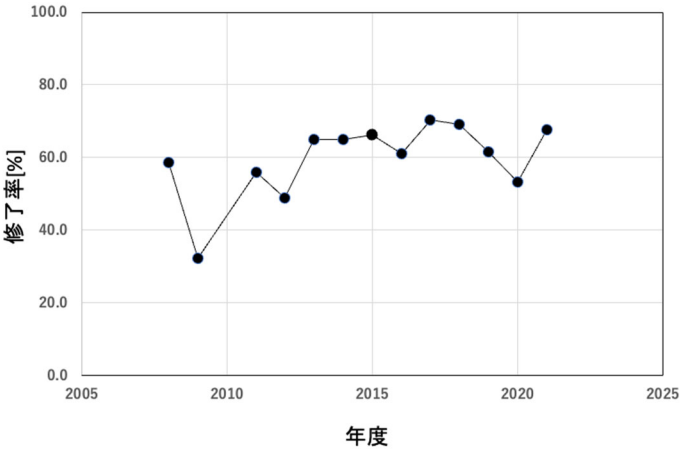


図 2　履修証明プログラム修了率推移。 文献[7-19]の情報から筆者が作図。

図 2 のような修了率推移となっている原因として、従来のサポートは、学修者という単一グループに対して、代表的かつ一律の学修サポートを定型的に提供しており、学修者個々人の学修満足度の改善に至らず、結果として修了率向上効果が観察されなかったと、著者らは推定している。

以上の状況及び推定に対して、先行研究成果[20]を考慮し、学修者個々人の性格、学修目標重要度、学修障壁を整理し、個々人に対して適切な学修サポートを提供する必要がある、すなわち、学修満足度を動的に解釈し（ダイナミクスを確立)、個々人に最適なサポートを講ずる教育手法が必要である、との考えに至った。なお繰り返しになるが、学修満足度に関する研究動向としては、社会人の学び直しの必要性を訴求する報告はあるものの、社会人に適する学修法には言及されていない[21]。さらに学修者個々人に最適な学修満足度ダイナミクスの解明はほとんど報告例がない。社会人特有の問題を加味した学修サポート実施例[4-19]はあるが、研究の報告例はほとんど見当たらない状況である。

3 “学修満足度のダイナミクス”の構築方法

“学修満足度のダイナミクス”を具体的に議論するために、更なる定義が必要である。本稿においては“学修期”（文献[2]における“内化”の段階）に焦点を当てることとし、“準備期”、“修了後”については、“学修期”研究の成果のもと、別途行うことを想定している。

学修満足度定義は、

“各学修目標における学修満足度”：学修前に学修者が設定した目標に関する満足度

“学修全体における満足度”：文字通り、学修全体を通じた満足度

とすることとした。両者とも学修障壁に対するサポートと学修経過時間を変数とした関数となる。また、“学修全体における満足度”は学修継続/修了に大きく影響を与える、との前提をおいた。

“各目標における学修満足度”を $s^{x}{}_{n}(g(m,t),t)$、“学修全体の満足度”を $S^{x}(m,t)$ と定義すると、両者の関係は形式的には式(1)のように表現される。

$$S^{x}(m,t)= f(s^{x}{}_{1}(g(m,t),t), s^{x}{}_{2}(g(m,t),t), \cdots, s^{x}{}_{n}(g(m,t),t) \quad \cdots\cdots(1)$$

$S^{x}(m,t)$：学修全体の満足度

$s^{x}{}_{n}(g(m,t),t)$：各目標における学修満足度

$g(m,t)$：学修障壁に対する学修サポート

t：学修経過時間

x：プロファイリング結果でタイプ分類されたタイプ分類識別用添字（最大値はタイプ分類数）

＜例（因子分析分類例（x=4 の例））＞

1: 主導型
2: 感化型
3: 慎重型
4: 安定型

n：学修満足度識別用添字（最大値は学修満足度項目数）

＜図 3、下、上位 3 項目の例（n=3 の例）＞

1: 学位を得る、Diploma を得る
2: 会社業務、家事と学修が両立できる
3: ある特定分野の知識、技術を得る

m：学修障壁に対する学修サポートの質、量、タイミングを示す変数。どの表な表現とするかは、今後の検討事項となる。

記載例：

$S^{3}(m,t)$：慎重型の学修全体の学修満足度

$s^{3}{}_{2}(g(m,t),t)$：慎重型の「会社業務、家事と学修が両立できる」を目標とした時の学修満足度

この式(1)をもとにして、以下に 6 つの課題に分けて順を追って“学修満足度のダイナミクス”構築方法詳細を説明する。

課題 1：プロファイリング

「どのような学修者」を明確にするため、「属性」、「性格」、「学修目標重要度」に焦点を当てプロファイリングを行う。属性は学修者登録情報から個人を特定できないように情報を抽出する。性格は小塩らの手法[22]にて、学修開始前に質的・量的調査（アンケート、インタビュー等）で数値化する（図 3、上）。学修目標は、サービス工学における、教育における結果品質に関わるパラメータとみなすことができる。社会人は主に「自己主導型学修」[23]であり、学修目標重要度は周辺環境（学修障壁の種類、講義内容、等）により、学修ステップ毎[2]に自身で容易に変更すると推測されるため、ブルーム期待理論[24]をもとに学修開始前、期間中経時的に質的・量的調査し数値化する（図 3、下）。得られた結果は、必要に応じ、因子分析にて学修者タイプ分類（プロファイリング情報）を行う（式(1)、x, n 分類例参照）。

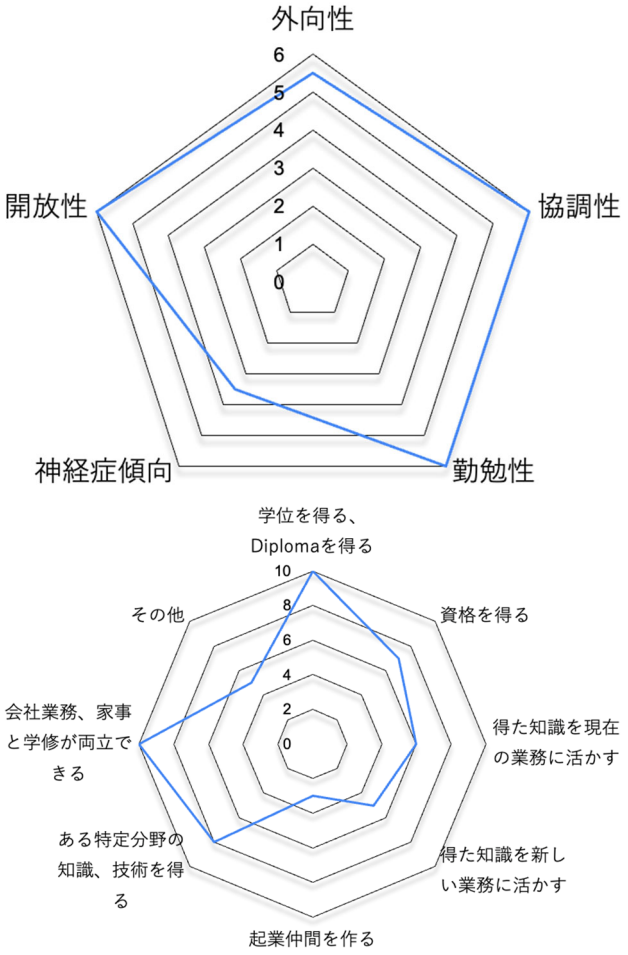


図 3　　プロファイリング例。　上：性格分類例（小塩らの手法[22]による）。　下：目標及びその重要度調査結果例（イメージ）

課題 2：学修障壁項目データベース化

学修理解度、心理的要因、時間的要因の視点より、文献[4, 5]も参照しつつ、社会人学修者から学修満足度に影響する学修障壁を質的・量的調査で抽出、プロファイリング情報との関連性（データベース作成）を見出す。詳細例は既報[3]を参照されたい。

課題 3：学修障壁検出法整備

図 1 におけるサポートを提供するためには、“学修期”における学修障壁を検出する手法を確立することが必須である。本研究では(i) 学修期間を通しての学修障壁の検出（1 日から数週間の期間における、学修期全体を通じてのサポートに適した

検出方法)、(ii) 講義中の学修障壁の検出（迅速検出。数秒から数分における、迅速サポートに適した検出方法）の 2 法を試みることとする。以下にその詳細を説明する。

(i) 学修期間を通しての学修障壁発生の検出

学修情報（講義出席率、課題レポート採点結果、課題レポート提出期間、オンデマンド配信講義動画のリプレイ頻度、等）に着目し、これらのデータの変化から、“諦めかけている”、“難しく感じている”、等の心理変化情報を抽出し、学修障壁タイミングを特定する情報収集基盤の確立を目指す。当該学修情報と心理変化情報の組み合わせは、ビデオ振り返り法[25]等を活用した質的・量的調査にて検証する。

(ii) 講義中の学修障壁の検出

障壁に直面しても冷静を保つように訓練されている社会人をイメージし、特殊な環境（緊張感のある教室、権威勾配が生じやすい講師-学修者関係、慣れないオンライン講義、等）においても軽微な侵襲以下かつ迅速に学修者の学修障壁（難しくてついていけない、それを言い出せない、等）を特定する方法の確立を目指す。具体的には学修者の微表情[26]に着目する。ただし微表情のみから、心理状態が変化する原因（学修障壁：“なぜ困っているのか”、“なぜ焦っているのか”、等）の推定は困難であるため[26]、微表情が現れるタイミングと学修内容、難易度の経時変化を複合して、学修障壁をリアルタイムで高精度に推定することを試みる（図 4）。さらに講義を前提にしている検出法であるため、複数人数の表情を同時に検出できるシステム構築を目指す。図 4 におけるサポートタイミングの検証は、ビデオ振り返り法[25]等を活用した質的・量的調査にて行う。本法は測定パラメータ数、測定数ともに膨大であり、計算量、かつ、その結果表現の数も膨大である。このことは、貴重な知見が得られたとしても、他の膨大なデータに紛れ込み、その知見の発見を見失う可能性が高い。そのため、深層学習または生成系 AI を用いて、この膨大なデータ処理を行うことで、感情推測に有用な知見を抽出する考え方を導入する。

最終的には、学修障壁検出システムと講義中への講師へのフィードバックシステムを連携させて、教育現場に実装することとなる。

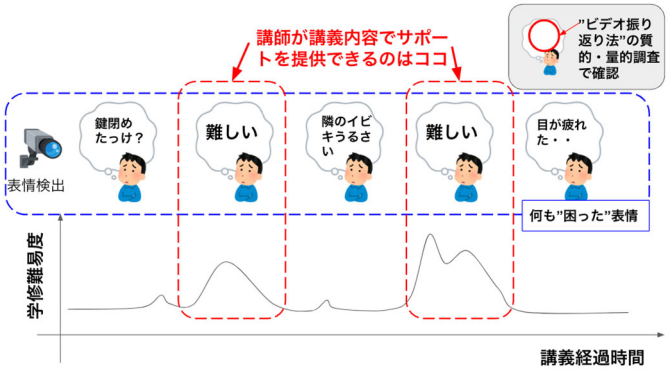


図 4　　講義中の学修障壁リアルタイム検出イメージ図。
挿絵：いらすとや、https://www.irasutoya.com/

課題 4：学修満足度の定義、項目立て、評価方法

“学修期”における満足度はサービス工学における、教育の過程品質を評価、また学修の目標達成度は、結果品質を評価すると見做すことができる[27]。この定性的な評価を、どのように定量的かつ効率的に計測できるかが問題となる。

本研究における学修満足度項目、定義は、前述の通り、“各目標における学修満足度” $s^{x}{}_{n}(\boldsymbol{g}(m, t), t)$ と、“学修全体の満足度” $\boldsymbol{S}^{x}(m, t)$ に分けて、質的・量的調査を行い設定することとする。

項目、定義を設定した後（図 3、下）、“各目標における学修満足度”と“学修全体の満足度”を評価する。“各目標における学修満足度”の評価方法は、学修者の目標（事前期待）を基準として、例えば、“目標通り：0”、それを上回った場合は“高い：1”、“非常に高い（想定外に得るものがあった）：2”、低い場合は“低い：-1”、“非常に低い（失うものが多かった）：-2”、等とすることを想定している。“学修全体の満足度”については、学修継続が可能か否かを基準に、例えば、“継続できる：0”、それを上回った場合は“高い：1”、“非常に高い（とてもやる気が出ている）：2”、低い場合は“低い：-1”、“非常に低い（やめてしまいそうだ）：-2”、等とすることを想定している。図 3、下における学修目標重要度上位 3 位に絞り、“各々の目標における学修満足度”、“学修全体の満足度”の各学修工程における評価イメージを図 5 に示す。科目 A 履修時は、会社業務、家庭と学修の両立が非常に困難であるが、他の 2 つの目標がある程度目標通りであるため、学修が継続できる、というように評価することができる。

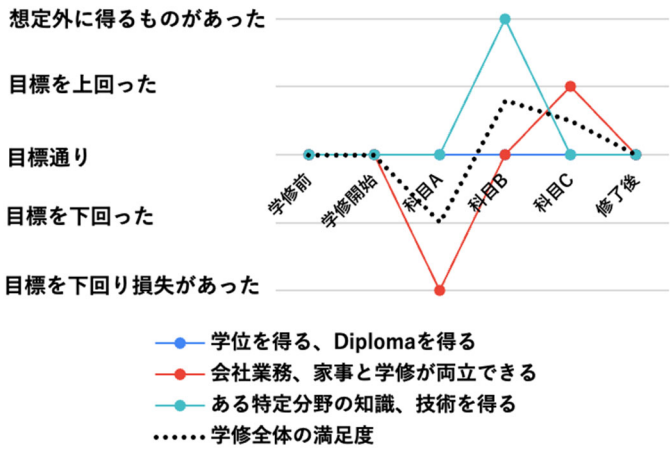


図 5　　学修者の目標に応じた学修満足度推移のイメージ。

具体的な数学的モデルは、実データを得てから、解析して判断する必要がある。前述のように、“学修満足度のダイナミクス”に関する研究例は見当たらないものの、食品官能評価法に関する研究分野では、TDS 法（Temporal Dominance of Sansations：質的経時変化測定法と訳される。感覚の質（味覚、嗅覚、食感、等）の強度、経時変化を解析する手法）を活用した研究、解析が進んでいることから[28]、応用して“学修満足度のダイナミクス”の数学的モデルを構築することは十分可能であると期待される。式(1)では $\boldsymbol{S}^{x}(m, t)$ は関数 $\boldsymbol{f}$ と表現しているが、実際には $s^{x}{}_{n}(\boldsymbol{g}(m, t), t)$ の線型結合で表現されるであろうと推測しており、学修者を対象とした研究の開始が待たれる。

課題 5：学修サポート

学修障壁を解消するサポート方法としては、通常の指導の他、心理的要因の場合には、文献[20, 29]を元に制御資源（自己制御（目標を達成するために無理する）の際に消費される心的エネルギー）を補充する方針を、ライフスタイルと教育コンテンツ提供方法のミスマッチ（学修にまとめた時間を充てることができない、等）の場合には、教育コンテンツを小分けにするマイクロティーチング法[30]を活用する方針をとることを予定している。また式(1)における変数 m については、今後精査を行う。

課題 6：学修満足度のダイナミクス

以上の課題 1-5 の関係は図 6 に示す通りとなり、“各々の目標における学修満足度”、“学修全体の満足度”の数式化を試み、“学修満足度のダイナミクス”の確立を目指す。まずは各目標における学修満足度 $s^x_n(g(m,t),t)$ のモデル化を目指し、この目処が立ったところで、$S^x(m,t)$（学修全体の学修満足度）との関連を精査する。なお、プロファイリング情報、学修障壁はなりゆきパラメータ（研究対象者となる学修者次第となる）、学修サポート提供は研究者が任意に変動できるパラメータ、となる。

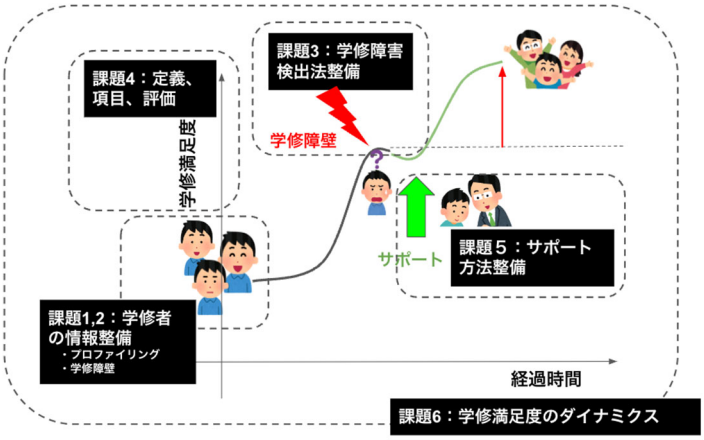


図 6：課題 1-6 の関係。 挿絵：いらすとや、https://www.irasutoya.com/

4 今後の予定

本稿では“学修満足度のダイナミクス”が必要となる背景、考え方、構築方法について述べた。上記記載の課題を遂行することにより、以下の成果が期待できる。

- プロファイリング情報、学修障壁に対する学修サポートをパラメータとした学修満足度のダイナミクスにより、各パラメータの動的関係性を明示可能
- 心理状態計測/学修障壁特定法の確立
- 学修満足度のダイナミクス数学的モデルを教育支援システムに移植し、EM に展開可能
- 実教育現場の教育手法設計に活用も可能

本研究は社会人教育現場の課題解決、特に既報“提案 EM 法”設計論[3]の具現化に寄与する理論構築に関する。先に記載した仮説に基づき、設計、検証を進め、“学修満足度のダイナミクス”を確立するとともに、“提案 EM 法”[3]設計への活用を目指す。

謝辞

今回、この様な機会を設けてくださった東京都立産業技術大学院大学諸先生方、事務局の方々に深謝致します。

参考文献

1. 島宗理．インストラクショナルデザイン．米田出版．千葉．2004.
2. R.M.ガニェ、W. W. ウェイジャー、K. C. ゴラス、J. M. ケラー．インストラクショナルデザインの原理．北大路書房．京都．2007.
3. 牧野 千里、橋本 洋志．社会人教育用エンロールメントマネジメントの提案及びその設計．産業技術大学院大学紀要．2024;(17): 186-191.
4. 厚生労働省．雇用・労働 リカレント教育．[cited 14 October 2024]．Available from: https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_18817.html.
5. 厚生労働省．雇用・労働 職場における学び・学び直し促進ガイドライン.[cited 14 October 2024]．Available from: https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/koyou_roudou/jinzaikaihatsu/guideline.html.
6. イノベーション・デザイン＆テクノロジーズ（株）．平成 27 年度社会人の大学などにおける学び直しの実態把握に関する調査研究．平成 28 年 3 月.
7. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．大学における教育内容等の改革状況について（平成 20 年度）．平成 22 年 5 月 26 日.
8. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．大学における教育内容等の改革状況について（概要）．平成 23 年 8 月 24 日.
9. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．大学における教育内容等の改革状況等について（概要）．平成 25 年 11 月 7 日.
10. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．大学における教育内容等の改革状況について（概要）．平成 26 年 11 月 14 日.
11. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 25 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．平成 27 年 9 月 10 日.
12. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 26 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．平成 28 年 12 月 13 日.
13. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 27 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．平成 29 年 11 月 21 日.
14. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 28 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．令和元年 5 月 28 日.
15. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 29 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．令和 2 年 4 月 28 日.
16. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．平成 30 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．令和 2 年 10 月 5 日.
17. 文部科学省高等教育局大学振興課改革推進室．令和元年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）．令和 3 年 10 月 4 日.
18. 文部科学省．令和 2 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）.
19. 文部科学省．令和 3 年度の大学における教育内容等の改革状況について（概要）.
20. 牧野千里、岡崎浩二、石井隆之、北村嘉崇、梶原直仁、蒋蕭、鈴木有輔、大久保友幸、内山純、橋本洋志．痩身サービスにおけるサービス価値誘導モデル構築の試み．第 8 回サービス学会国内大会予稿集. 2P01-25-07[Preprint]. 2020: 245-248.
21. 岩崎久美子．「社会人の学び直し」における放送大学の役割．日本生涯教育学会年報．2017;(38): 3-20.
22. 小塩真司、阿部晋吾、Pino Cutrone．パーソナリティ研究．2012; 21(1): 40-52.
23. 渡邊洋子．成人教育学の基本原理と提起 ―職業人教育への示唆―．医学教育, 2007; **38**(3), 151-160.
24. 大森賢二．期待理論の基本構造．富山大学紀要富大経済論集．1975; 21(2): 113-133.
25. 松本弘美、出石幸子、田中響．看護学生における高齢者疑似体験の振り返りに視点映像を用いた場合の学びの特徴．令和 4 年度 鳥取看護大学・鳥取短期大学 地域研究・活動推進事業助成

金報告．2023: 49-52.
26. 野口芹奈、臼井昇太．微表情を用いた心身状態推定システムの要素技術開発．電気・情報関係学会九州支部連合会．06-1P-09 [Preprint] ．2022: 191.
27. 近藤隆雄．サービス品質の評価について．経営・情報研究．2000; 4: 1-16.
28. 川崎寛也．Temporal Dominance of Sensations (TDS)：感覚の経時変化を測定する新たな手法．日本調理科学会誌．2016; 49(3): 243-247.
29. 橋本 洋志、牧野 千里、岡崎 浩二、石井 隆之、梶原 直仁、北村 嘉崇、蒋 蕭．PBL テーマ設定に関わるインストラクションデザインの例．産業技術大学院大学紀要．2020;(13): 99-102.
30. 金子 智栄子．マイクロティーチングに関するわが国の研究動向について、 ―保育者養成課程へのマイクロティーチングの導入と課題―．文京学院大学人間学部研究紀要．2007; 9(1): 131-150.

2 光路 3 信号方式粒子計数機の開発と緑藻栽培への応用

Development of a triple signal dual light path particle counter and its application to algae cultivation

堀田 昌直[1]　石原 賢一[1]　佐藤 里恵[1]　井上 元[2]　村越 英樹[1*]

Masanao Hotta[1]　Kenichi Ishihara[1]　Rie Sato[1]　Gen Inoue[2]　Hideki Murakoshi[1*]

[1]東京都立産業技術大学院大学　Advanced Institute of Industrial Technology
[2]株式会社イービス藻類産業研究所　EBIS Algae Research Institute, Inc.
*Corresponding author: Hideki Murakoshi, hm@aiit.ac.jp

Abstract　In the cultivation of green algae, it is essential to monitor the temperature, water composition and light levels in the culture pond to ensure optimum growth. Early detection of abnormal particles is also important from a quality control perspective. Transmitted light shadow particle counters are compact and portable, but are not suitable for in-situ observation due to the disadvantage of simultaneous passage loss. To overcome this limitation, we have developed a two-photon, three- signal particle counter and evaluated its performance by simulation and experiment. The method allows in-situ correction of losses based on measurements, and the results were valid. We also confirmed that the method can be used for on-line operation.

Keywords　green algae; two-photon; three-signal; particle counter; simultaneous passage loss

1　はじめに

緑藻栽培においては様々な生育条件の最適化が重要であるが，緑藻の品質確保の観点からは栽培溶液中の粒状異物の早期発見も重要項目の一つである．本開発ではそのような要請にこたえるべく粒状異物を常時監視[1]する目的で透過光陰影式液中粒子計数機を開発した．

2　粒子計数機の開発

透過光陰影方式の粒子計数機においては，粒子の作る陰影による光量減少を粒子通過信号としてとらえて計数を行う．しかしながら，測定空間内で距離が離れていても通過時間が近接している 2 個の粒子の陰影は重なり合うため電気信号では 1 個の粒子と認識される．これは同時通過損失と呼ばれる誤差要因であり，避けることはできない物理現象である．同時通過損失[2,3]は式

$$L = [1-\exp(-q \times t \times C)] \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

で表される．ただし

L：　損失比率
q：　流量（l/sec）
t：　測定空間通過時間(sec)
C：　粒子個数濃度(count/l)

である．この誤差は粒子個数の増大にしたがって増大するが，測定における損失誤差は 10%以下を要求されており自ずと測定上限が決められてしまう．

緑藻内の粒状異物の直径を 30～100 μm とし，その粒子による光量変動を信号としてとらえることを前提とした場合は粒子の投影面積の 100 倍程度の光路断面積が適当であり，光路の寸法としては幅 1mm，高さ 0.1mm が考えられる．被測定液流量は壁面の汚れを防ぐ意味である程度の流速を確保する必要があり 54mm/sec とすると q ＝0.27ml/sec，t=1.85msec で qt=0.0005 となる．この場合は図 1 に示すように，250 個/ml が上限となり測定可能範囲は決して広いとは言えない．現在は補正式の助けを借りて測定領域の上限を広げている状況であるが，常に補正式の校正を行っておく必要がある．今回の開発では光路を 2 本設け，同時通過損失分を補正して測定上限をさらに上方に拡大することを試みた．

2 本の光路を A，B とし，それぞれの信号を信号 A，信号 B とする．信号 A，信号 B は粒子の通過を検知したパルス列からなるが，上述したように同時刻に通過した 2 個の粒子は 1 個に数えられ信号からは 1 個分が消滅している．含まれる粒子個数が増大するとこの消滅現象は増えることになる．ここで信号 A と信号 B の積（AND）をとって信号 C とすると，信号 C では同時刻に通過した粒子のみが計数される．物理的な同時刻の現象は信号からは消滅するが，電気信号においては同時刻に発生した現象のみを拾い出せることになる．統計的には両者の特性は同等であり，信号 A，信号 B，信号 C を知ることにより同時通過損失分を補填することが可能と考えた．

通常，式（1）で述べた q，t は測定液の粘度に依存し，流路の吸水圧や吐水圧の差にも依存するので，厳密には測定条件ごとに校正が必要であるが，本方法では測定時に q，t の値を実測値として求めることになる．

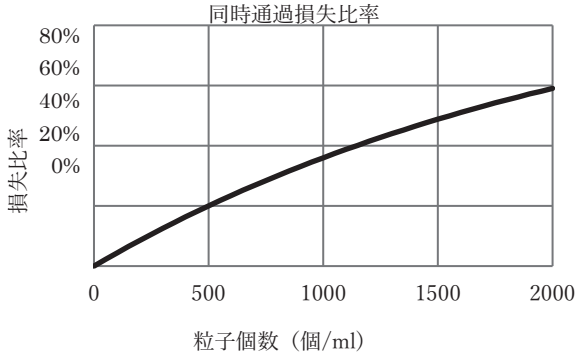


図 1　同時通過損失比率．今回，計画している物理寸法での損失比率予測値を示す．

3　仮想実験

上記着想が有意義かどうかを調べる仮想実験を試みる．仮想測定粒子は 90～106 μm 前後に分布し，それ以外に光路の端をかすめるように通過する粒子は小径粒子として分布（図 2-a）しているものとする．条件は設計構想と同じ幅 1mm，高さ 0.1 mm，長さ 5mm の 2 本の光路 A，B が中央で交差するように配置した場合を想定した．この光路 A を 400 個/ml の粒子が乱雑に通過するとして，粒子が作り出す陰影の光量変化を受光素子で検出し時系列の電気信号とする（図 2 -b）．この信号の移動

Received: 2024-10-30; Published online: 2025-02-28

平均も同時に作り出し，上記時系列信号と移動平均を比較（図 2-d）し，移動平均より大きいパルスのみを 1 とし，それ以外を 0 としてデジタル信号 A を作り出し（図 2-e）粒子の有無のみを表現する信号とする．同じ操作を別の仮想光路 B でも行い，アナログ信号 B（図 2-c），デジタル信号 B（図 2-f）を得る．デジタル信号 A とデジタル信号 B を比較し，両方とも 1 の時には 1，それ以外は 0 としてデジタル信号 C を作る（図 2-g）．

信号 C は，光路 A と光路 B を同時に通過する粒子があるときのみ 1 となる．すなわち同時通過粒子検出信号であり，統計的には同時通過損失と等価である．従ってこの 3 信号は同時通過損失の式がそのまま適用でき，

$$(A+B)\times(1-\exp(-qt(A+B))=C \quad \cdots(2)$$

と表せる．式（2）から損失係数 qt が求められる．式（2）は 2 光路 3 信号方式を象徴する式と言える．一方で，未知濃度 P と A，B の関係は

$$P\times\exp(-qtP)=(A+B) \quad \cdots(3)$$

と表せ，qt と(A+B)を知ることで P を算出できる．今回の計算では，式（2）で示されているように，(A＋B)が C に減衰するという電気信号での関係を物理量の変化に当てはめているので解釈が紛らわしいが，流量に関係する q の値は 2 光路分の値と考えられる．式（2）を使って得られた qt の値で P を求めるには式（3）に示すように 2 光路を一体として使うのが適当と考え，P から(A+B)を算出するという方法で計算した．

さらに，開発予定の装置では光路の高さ寸法を揃え易くするため 2 光路が中央で交差しているが，検証のため本仮想実験でも同じ構造を再現しているので(A+B)とした場合は中央部だけが二重に集計されることになるので，(A+B)から二重の部分，すなわち，(A+B)の 1/10 を差し引く必要がある．さらに，交差部を通過する粒子は，1 粒子が通過しているのに A，B 両方に検知され，”同時通過の 2 粒子”ではないので，交差部通過粒子は信号 C より排除する必要がある．計算では(A+B)の 1/10 を C から差し引くことで近似できる．以上の修正を加えて測定数値をもとに計算し，最後に ml 当たりの個数に変換する．今回の仮想実験では分析波高粒径 50 μm 相当の場合に信号 A=184 個/ml，信号 B＝174 個/ml，信号 C＝56 個/ml であり，式（2）を用いると qt＝0.00059 が得られる．この値は予測した値 0.0005 に近い．上記 A，B の値から式（3）を使って P 値を求めると P＝412 個となり想定粒子密度 400 個/ml にきわめて近い数値が得られた．

上述した移動平均と比較する際に，移動平均値を直流的にシフトすることで選別する粒子の直径を自由に選ぶことができるが，この機能を利用して粒径 10 μm から 250 μm の範囲での波高分析を行い，同時通過損失を補正した結果を図 3 に示す．補正後の値を青線で示すが，結果は良好と判断できる．

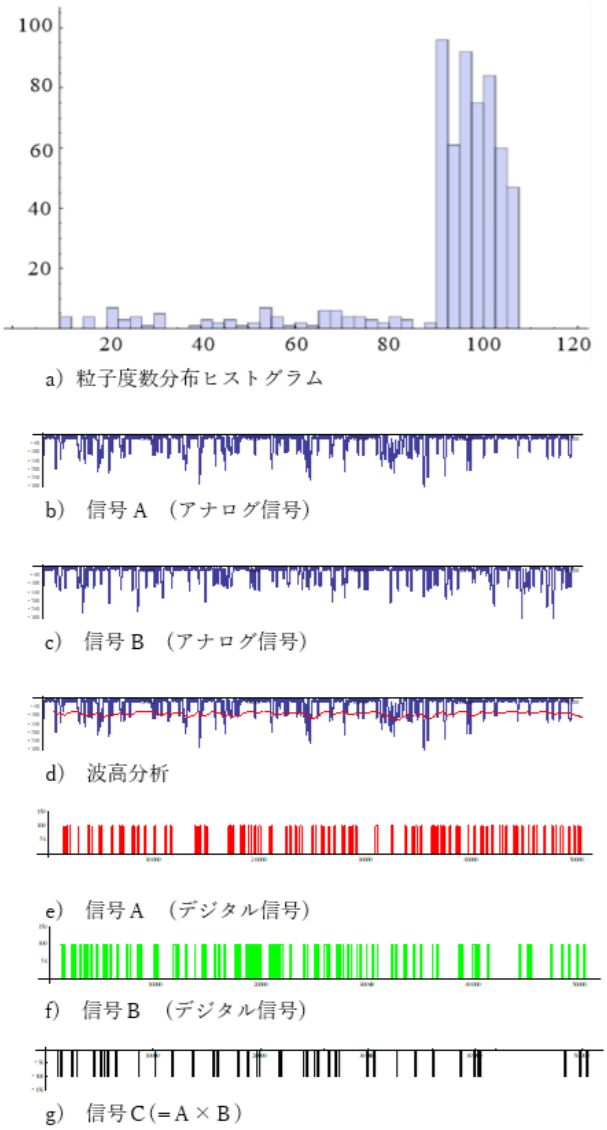


図 2　　仮想実験における信号の種類

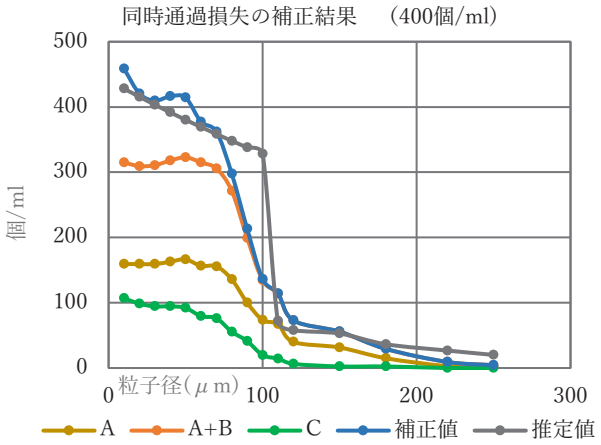


図 3　　A, B, C　3 信号による測定値補正仮想実験. 橙線は信号 A, 茶線は A＋B，緑線は信号 C を示し，青線が補正した結果である．黒線は予想曲線を示す．

粒子個数 100，200，400，800，1200 個/ml の 5 種類の濃度で仮想実験を行い，表 1 にまとめた．800 個/ml 以下では計数率 50%でも，97%まで補正されている．ただし，(A＋B)のカウント数が 700 個を超えると近似計算の集束が急速に悪くなり，そ

れ以上では発散する．この領域では二重，三重の同時通過損失が発生し始めているものと推測できる．表 1 をグラフにしたのが図 4 である．

仮想実験の結果からは，2 光路 3 信号方式による同時通過損失を補正するために想定したアルゴリズムは，800 個/ml 以下の同時通過損失が 30%以下の領域における測定範囲の上限拡大に多大な効果があることが確かめられた．損失係数とも呼ぶべき qt の値は常に一定であるとは限らず，測定値からその場で qt が得られるのは，装置の経時変化の影響を受けずに測定できるという利点もある．

表 1　　5 種類の濃度での仮想実験値の補正

含有粒子数	実験測定値（A＋B）	補正値
100	105	106
200	147	193
400	313	402
800	384	778
1200	560	855

（個/ml）

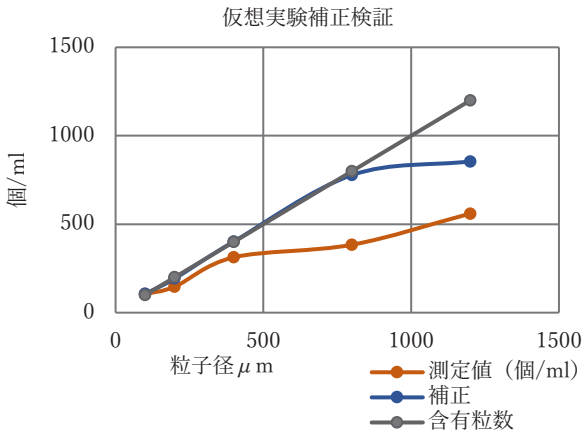


図 4　　測定値の損失補正と含有粒子数の関係

4　試作機製作

被測定液流路を内部寸法 5mm×5mm に整形し，それを横切るように，光路幅 1mm，光路高さ 0.1mm，光路長 5mm の A，B 二つの光路を中央で交差させて配置した．測定光路の概要を図 5 に示す．A，B の光路は中央で交差させているが，これは両者の光路の高さをミクロンレベルで一致させて誤差を少なくする工夫でもある．装置は上述した測定ユニット部を中心に発光素子，受光素子，それらの制御素子，信号処理回路，MPU モジュール，ゲートウエイユニット，それに測定液を循環させるためのポンプよりなる．外観を図 6 に示す．発光源からの光は，光路を通過して受光部で電気信号となるが，清浄水が通過する場合の信号レベルを 2.5V～3V とし，MPU モジュールとして採用した mbed LPC1768 で扱える電圧範囲とした．

実測定では測定液の濁度が信号の直流レベルの低下として現れ，粒子陰影は粒子径に相当する減光パルス状波形として現れる．パルス波高は直径 100μm の粒子で 100mV となるように増幅率を調整する．各光路のアナログ信号は 2 系統に分離し，一系統は時定数 70msec の積分回路を用いて移動平均信号を作り出し，移動平均信号の 90~99%の信号レベルを比較回路の基準信号として利用する．後続の比較回路では，先述のアナログ信号の残りの 1 系統とすぐ上で述べた移動平均信号を比較し，粒子陰影部のパルスのみがデジタルの 0-1 信号に変換される．このデジタル信号はそれに続く計数回路で数値化されて MPU モジュールに読み込まれる．こうして 2 光路からの信号をそれぞれ取り込むと同時に，信号 A と信号 B の AND をとって信号 C を作り，同じように計数回路を通して MPU モジュールに送り込む．一定時間測定したあとに得られるパルス総数は，基準粒径以上の投影面積を有する粒子の個数といえる．比較回路の基準粒径信号のレベルを変えれば[4,5]，任意の大きさの粒子を計測できることになる．

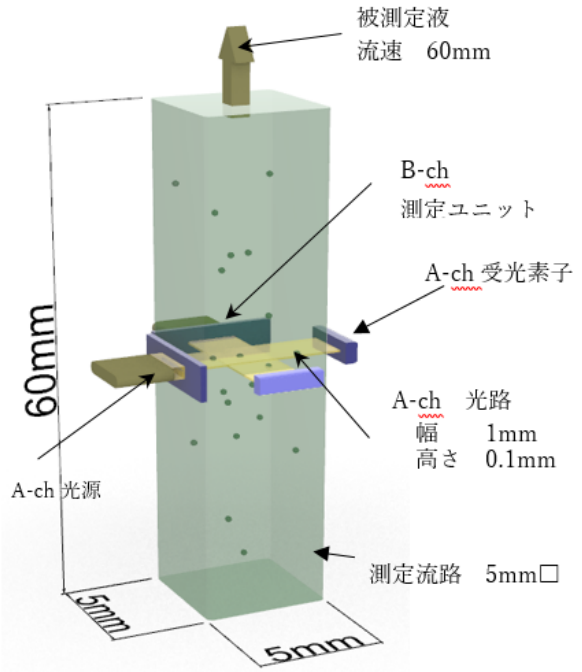


図 5　　透過光量測定部の模式図．二本の光路を設け，中央部で交差させている．



図 6　　装置外観

5　性能確認

装置性能は Cosphenic 社の白色ポリエチレン球(粒径 90~106

μm，比重 1.0）で検証した．試料球の写真を図 7 に示す．

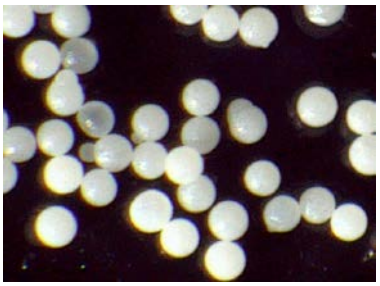


図 7　　試料球．球の直径は 90～106μm に分布している．透明度は一定ではなく，光学的には粒径のばらつきは規格値より大きくなると考えられる．

測定波形を図 8 に示す．図では一番上が A チャンネルの源信号を表し，二番目は源信号を 70msec の時定数で平滑化した波形であり比較回路の比較基準信号として使う．三番目は比較回路で作られた A 信号のパルス波形であり，カウントした結果が測定値となる．一番下は A 信号と B 信号の論理積である信号 C であり，このパルスが統計的な意味で同時通過損失の情報と等価と解釈できる．

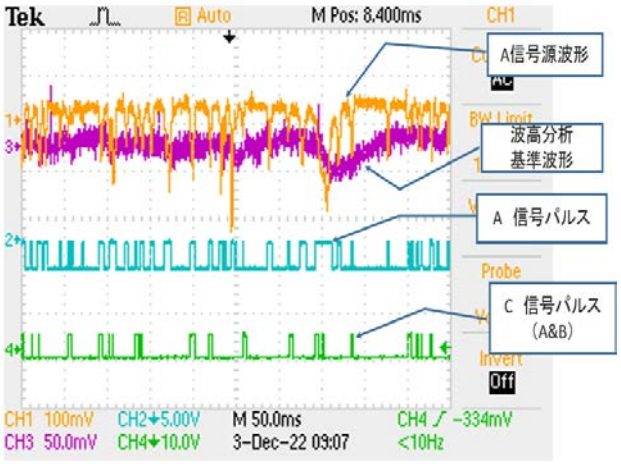


図 8　　測定波形．測定時のシンクロスコープ波形である．信号は上からアナログ信号 A，積分波形，デジタル信号 A，一番下が信号 C である．

粒子濃度 400 個/ml の試料で 16 レベルの波高分析を行い，粒径分布を測定した結果を図 9 に示す．図中の黒丸線は想定測定曲線，橙線は実測値 A＋B であり，最大でも 250 個のカウントにとどまる一方，A，B，C の 3 信号の情報を利用して補正した青線は予想曲線に近づいている．60%の計数率が 76%に上昇した．

上述した 5 種類の全試料液の測定結果とその補正結果を表 2 に示す．数字が示すように 100～800（個/ml）の範囲では補正値は試料濃度の 30%以内の範囲であり，規格に定められた 10%以下までには補正できてはいない．図 10 は表 2 をグラフ表示したものである．仮想実験に比較すると補正は不十分であるが，実測値に比べれば真値に近づいていることが確認できる．黒線は準備した試料濃度，橙線は測定値の信号 A と信号 B の合計値，青線は補正を行った結果を示す．

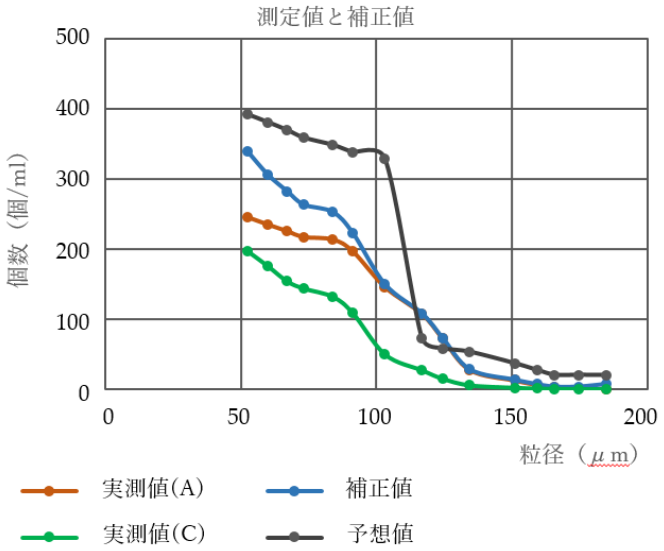


図 9　　400 個/ml の試料液の測定．黒線は計算で求めた予測値，橙線は信号 A，B から求められた測定結果，緑線は信号 C，青線が補正結果である．

表 2　　5 種類の濃度での実測定の補正

試料濃度	測定値	補正値
100	100	107
200	160	184
400	245	304
800	453	581
1200	684	858

個/ml

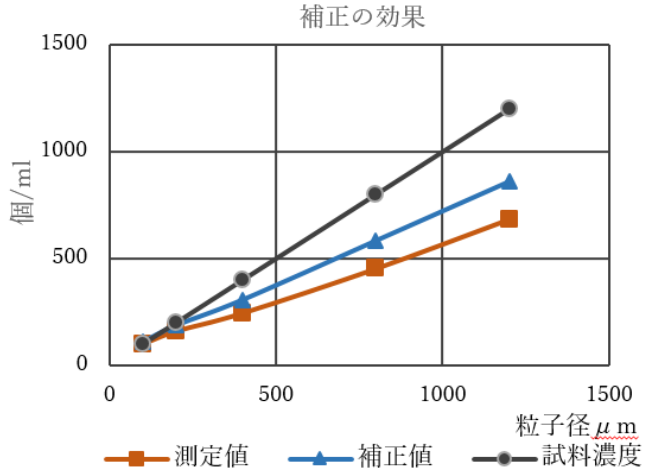


図 1 0　　100～1200(個/ml)補正の結果．5 種類の濃度での損失補正の結果である．

仮想実験との差が大きいのが問題であるが，図 11 をもとにその違いの原因と思われる点を考察する．図 11 では，粒子濃度に対する測定数値(A+B)と同時測定粒子 C の関係を示しているが，大文字は実測定，小文字は仮想実験である．仮想実験のデータのうち，茶色で表示した(a+b)は粒子数が増えるに従い含

有粒は逆に増えてきて，同時通過損失の特性をよく表している．ところが実際の測定では信号 C が非常に少なく，かつ，個数の変化に対応した変化も示していない．この点が，実測定と仮想実験の差の原因と思われる．原因はアナログ信号をデジタル信号に変える部分での回路的な問題が考えられるが，解明は今後の課題としたい．

仮想実験と実測定の両面から調査した結果からは，今回提示した 2 光路 3 信号方式の補正計算の方向性は正しいと考えている．前もって準備された補正式ではなく，測定によってその場で得られたデータをもとに同時通過損失を補正するので測定環境の変化に左右されず補正ができ，また測定ミスの検証も各段階を追って追試可能であり，現実的には測定上限を拡大する有効な方法であると言える．

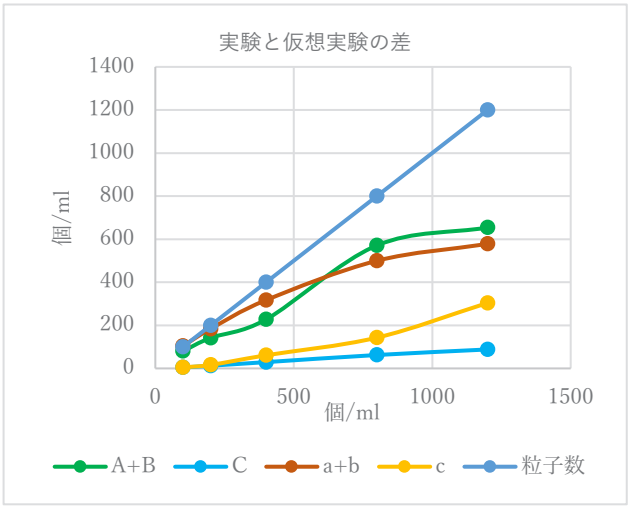


図 1 1　　実測定と仮想実験の違い．A+B, C が実測定の信号で，a+b, c が仮想実験の信号である．

6　緑藻栽培所での現地計測

宮城県に位置する株式会社イービス藻類産業研究所の緑藻栽培池の溶液の計測を行った．現状では緑藻中の異常粒子の監視に顕微観察という人手に頼る方法で対処しており，今回開発した粒子計数機の有効性を確認するのが目的である．現地には図 12 に示すような培養池が 7 面存在し，今回は 6 面を計測した．いずれの池も緑藻が成長終盤になっており希釈しないと粒子計測器では測定できないことが分かったので，池の栽培溶液のその場での計測は行わず，作業所建物内で栽培液を希釈して測定を行った．



図 1 2　　緑藻培養池．幅 3m，長さ 60〜70m の池が 7 面ある．

合計 6 面の溶液を測定した結果を図 13 に示す．青線は原液を測定したものであり，同時通過損失により測定不能の状態であった．同時通過損失の影響を低下させるため，10 倍と 20 倍の 2 種類の希釈液を測定した．橙色線は 10 倍希釈，灰色線は 20 倍希釈からの結果である．両者とも測定レンジは 50〜800 の範囲にあり補正可能な領域である．両者から得られた 1ml 当たりの濃度はほとんど同じ値を示し信頼できるデータとして採用した．

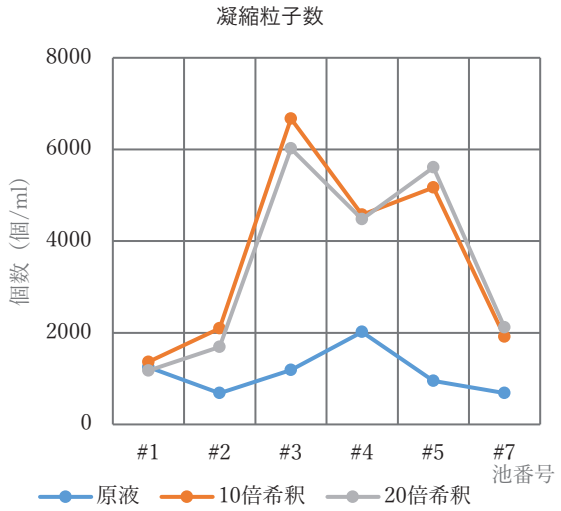


図 1 3　　6 面の池の緑藻溶液中の粒子測定．縦軸目盛は最大 8000 個/ml であるが，希釈して測定しているので実際はこれより 1 桁低い濃度で測定している．

現地の作業現場の測定結果と比較した結果を図 14 に示す．グラフでは両者の数値が大きく食い違っているが，（株）イービス藻類産業研究所での測定は顕微鏡像の目視カウントで，粒子径 20 μm の小さな対象もカウントしているのに対し，本研究で試作した測定器ではそのような小さな粒径に波高分析を設定するとノイズの影響で測定不能であったため，50 μm 相当の波高設定で測定したことによるものであると考える．

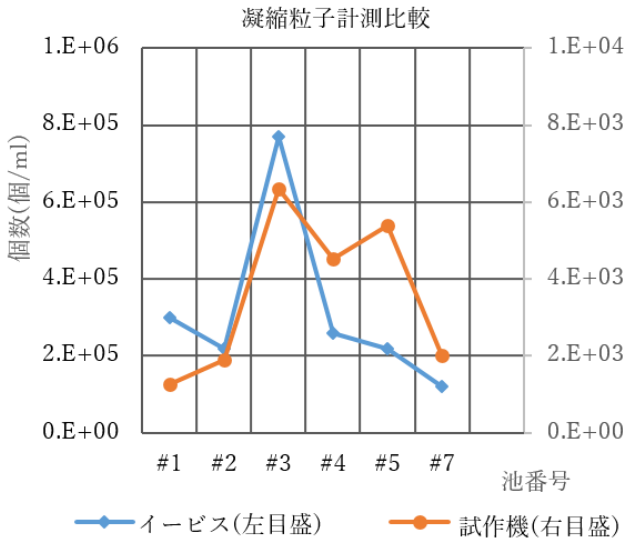


図 1 4　　(株)イービス藻類産業研究所の測定データと試作機での測定データの比較．青線：イービス(左目盛)，橙線：試作機(右目盛)．

緑藻の生育状況を把握するには数量の多寡は判断材料の一つではあるが，特に出荷直前の検査では顕微鏡画像からの目視情報が重要な判断材料になっており，粒子計数器の測定数値だけで判断できる対象ではないと言える．緑藻栽培の規模が大きくなった場合に，精密検査の事前スクリーニングとして今回開発した装置が使用される分野となろう．

7　まとめ

透過光陰影式液中粒子計数機において，2 光路 3 信号処理という新機軸は，従来の計数器の測定上限を 3 倍以上拡大できる可能性を有しており新しい補正方法として有力な候補であることが確認できた．従来は数式で補正していた同時通過損失を，測定時に得られた値で補正できるので装置の経時変化の影響を受けないことも利点と言える．今回は光路を交差させた構造であったため計算が煩雑になったが 2 光路を独立した配置にすれば計算が明快になり，光路断面積を大小 2 種類あるいは 3 種類配置すれば計数可能範囲も広げられる．本開発装置はリアルタイムで補正できるため，オンライン計測にも適している [6,7]．すでに触れたが，本方法は一重の損失分は補正可能であるが二重，三重の損失は補正しきれないので有効範囲は限定される．

もう一つの目的であった緑藻栽培への応用という実用化の可能性に関しては，粒径 20 μm の計数を想定していなかったため信頼性ある結果は示せなかったが，将来的には今回開発した装置の実時間での計数値補正機能を利用したオンライン化の有効性が評価されることを期待したい．

参考文献

1. 車裕輝．液中粒子濃度の測定技術と標準に関する調査研究.産総研計量標準報告. 2020; Vol.10, No.2, pp.167-172.
2. 日本産業規格: 光散乱式液中粒子計数器―校正方法及び検証方法. JIS B 9925: 2010, 7. 6, p.8.
3. 金川昭，柴尾周平.光散乱粒子カウンターの同時計数誤差に関する理論的考察．化学工学論文集. 1979; Vol.5, No.2, pp.188-193.
4. 向坂保雄，粒径評価に対する二，三の留意点．粉体工学会誌. 1989; Vol.26, No.6, pp.433-438.
5. 内山英樹．懸濁粒子の粒度分布測定.水質汚濁研究. 1986; Vol.9, No.12, pp.763-766.
6. 宮南啓．粒度測定の自動化とデータ処理．粉体工学会誌. 1980; Vol.17, No.6, pp.319-324.
7. 井上外志雄．オンライン粒度測定法.粉体工学会誌. 1980; Vol.17, No.6, pp.313-319.

紀 要 編 集 会 議

議長	追　川　修　一	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	板　倉　宏　昭	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	高　嶋　晋　治	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	柴　田　淳　司	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教
	松　井　　実	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教
	横　山　友　也	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教

2024年度 東京都立産業技術大学院大学紀要

2025年 2 月 発行

編集･発行　東京都立産業技術大学院大学

東京都品川区東大井 1-10-40
電 話 03(3472)7833
URL https://aiit.ac.jp