

東京都立産業技術大学院大学

紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第 15 号

2022 年 1 月

東京都立産業技術大学院大学

目 次

論 文

クラスター分析による情報セキュリティ管理策の分類	奥 原 雅 之	1
A scheme towards medical data confidentiality using scale invariant feature transform	Xuping Huang	7
アップサイクルプロデュース ~大学発ムーブメントを目指して~	越 水 重 臣 毛 利 真希子 松 山 剛 Tian Yuan Ziwei Wang 松 嶋 宏 行 田部井 賢 一	15
効果的な意思疎通を目指したオンラインミーティングシステム	飛 田 博 章 小 口 寿 明 土 井 沙耶香 三 谷 洋 之 赤 垣 慎 吾 安 永 貴 之 児矢野 友 香	37
連想モデルを用いた人形浄瑠璃の振りの体系化と サービスロボットへの実装の適用	成 田 雅 彦	43
観光資源としての森林セラピー基地の可能性 －東京都檜原村の事例－	信 田 勝 美 板 倉 宏 昭	51
Opportunities and Challenges for Remote Implementation of Roadmapping: The Case of Refrigeration and Air Conditioning Technology Roadmap 2050	Yuta Hirose Shogo Masaya Robert Phaal Yusuke Kishita	55
プラットフォーマーによる官民協調型ガバナンス機構 －情報社会学近代化モデル「2重の」統合国家試論	前 田 充 浩	67
イスラーム教の文化系統学的分析	松 井 実	85
転職とキャリア自律の関連についての研究	三 好 きよみ	91

傾向スコアを併用した回帰分析による SDGs パフォーマンスと財務評価 との実証分析 ~CSR 総覧を用いた SDGs のパフォーマンス分析~	三 好 祐 輔 川原田 雪 彦 但 吉 英 山 畠 田 一 博 柏 木 由美子	97
事務所空間に対する要求特性の把握手法の開発	吉 田 敏	107
総 説		
アジャイル開発と DevOps に関する国際標準化の動向	木 下 修 司	113
オンラインによる新しい認知機能検査の開発と, 高齢者に対する音楽体操の長期効果	佐 藤 正 之 阿 部 真貴子	117
知能に関する研究動向調査	柴 田 淳 司	121
QZSS(準天頂衛星)を利用した早期警戒放送システムのアーキテクチャ	嶋 津 恵 子	125
脳賦活化実験を中心とした脳画像解析	田部井 賢 一	133
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~	中 鉢 欣 秀 閻 莉 玲 嵩 下 奈都美 星 野 圭 亮 森 浩 貴 保 田 義 則	139
問題設定に関する研究の課題と今後の展望	細 田 貴 明 古 屋 宏 幸 丸 山 博 之 今 吉 璃 臣 松 尾 徳 朗	143
研究速報		
オンラインホワイトボード『Miro』の遠隔授業における導入の是非	伊 藤 潤	149

「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- ······	内 山 純 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	151
-------------------------------	--	-----

新しい働き方を実現する移動型オフィスのデザイン概念提案 ······	海老澤 伸 樹 安藤 和 美 田中 謙 司 村林 覚 村越 英 樹	161
------------------------------------	---	-----

プログラミング言語 Rust による Linux カーネルモジュールの開発 ······	追 川 修 一	173
--	---------	-----

音楽療法支援のためのリアルタイム表情検出システムの開発 ······	大久保 友 幸 百 枝 将 司 田部井 賢 一 小 林 一 行	181
------------------------------------	--	-----

実験科目授業の DX 化に向けた考察と設計法の提案 ······	河 西 大 介 張 晃 逢 田部井 賢 一 松 井 実 志 橋 本 洋 志 平 社 和 也 慎 祥 揆	187
----------------------------------	---	-----

機械学習による ELVO 予測の改善の取り組み ······	小 山 裕 司 佐 藤 孝 治 林 昌 純 清 元 佑 紀 重 田 恵 吾 松 本 省 二	195
--------------------------------	--	-----

人と社会を繋ぐ交通システムに向けて —AI の活用とマルチエージェントシミュレーションによる評価— ······	林 久 志 岩瀬 一 彦 阿部 晶 子 武村 知 昭 東川 瞬 張 桀 碩 大久保 友 幸	201
---	---	-----

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	三 好 きよみ	213
働く単身者のためのメンタルケアシステムの開発	村 越 英 樹 神 尾 成 也 築 澤 広 淑 リョウジンヨウ 岡 本 紳太郎	219

CONTENTS

Regular Papers

Classification method of information security controls by cluster analysis	Masayuki Okuhara	1
A scheme towards medical data confidentiality using scale invariant feature transform	Xuping Huang	7
Creating an upcycling movement ~ Facilitated from AIIT into the general society ~.....	Shigeomi Koshimizu Makiko Mohri Tsuyoshi Matsuyama Tian Yuan Ziwei Wang Hiroyuki Matsushima Ken-ichi Tabei	15
Development and Evaluation of Online Meeting System to Promote Effective Communication	Hiroaki Tobita Toshiaki Oguchi Sayaka Doi Hiroyuki Mitani Shingo Akagaki Takayuki Yasunaga Yuka Koyano	37
Systematization of Ningyo Joruri's choreography using Associative model And an application to an implementation of service robots.....	Masahiko Narita	43
The possibility of a forest therapy base as a tourism resource -A case study of Hinohara Village,Tokyo-.....	Katsumi Nobuta Hiroaki Itakura	51
Opportunities and Challenges for Remote Implementation of Roadmapping: The Case of Refrigeration and Air Conditioning Technology Roadmap 2050	Yuta Hirose Shogo Masaya Robert Phaal Yusuke Kishita	55
Platformers and the Public-Private Partnership Governance Architecture : A Model of Dual Integrated States in the Modernization Model of Infosacionomics	Mitsuhiko Maeda	67
Cultural Phylogenetic Analysis on Swiss Army Knives	Minoru Matsui	85

A Study of the Relationship between Career Self-Reliance and Job Change	Kiyomi Miyoshi	91
Regression analysis with propensity scores Empirical analysis of SDG performance and financial indicators	Yusuke Miyoshi Yukihiko Kawaharada Hidetaka Tajiyoishi Kazuhiro Hatakeda Yumiko Kashiwagi	97
Development of Methods for Understanding the Requirement of Office Space	Satoshi Yoshida	107
Review Papers		
Trends in international standardization on agile and DevOps	Shuji Kinoshita	113
Development of new online cognitive test and long-term effects of physical exercise with musical accompaniment to elderly people	Masayuki Satoh Makiko Abe	117
A Survey Report about Research of “Intelligence”	Atsushi Shibata	121
Design of Systems Architecture for QZSS Application	Keiko Shimazu	125
Neuroimaging analysis with a focus on brain activation experiments ..	Ken-ichi Tabei	133
Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2021	Yoshihide Chubachi Rirei En Natsumi Dakeshita Keisuke Hoshino Hiroki Mori Yoshinori Yasuda	139
Perspectives and Research Agendas of Problem Formulation Approach	Takaaki Hosoda Hiroyuki Furuya Hiroyuki Maruyama Akio Imayoshi Tokuro Matsuo	143
Short Notes		
Pros and Cons of Introducing the Online Whiteboard “Miro” in Remote Class	Jun Ito	149

Design Development of the “Partner Robot” — An attempt to build a concept focusing on the mouth opening and closing motion —	Jun Uchiyama Yoshinori Misumi Daiki Ishida Taiga Kanazawa Xian Jiaqi Song Shun Yuki Hirota Tomoyuki Hashimoto Yosuke Tsuchiya	151
Design concept proposal of mobile office to realize new working style	Nobuki Ebisawa Kazumi Ando Kenzi Tanaka Satoru Murabayashi Hideki Murakoshi	161
Development of a Linux Kernel Module by the Rust Programming Language	Shuichi Oikawa	173
Development of Emotion Estimation Algorithm Based on Facial Expression for Assistance of Music Therapy	Tomoyuki Ohkubo Masashi Momoeda Ken-ichi Tabei Kazuyuki Kobayashi	181
Consideration of Digital Transformation of Laboratory Training Sessions and Proposal of Course Design Approaches	Daisuke Kasai Chaofeng Zhang Ken-ichi Tabei Minoru Matsui Hiroshi Hashimoto Kazunari Hirakoso Sanggyu Shin	187
Improvements of an ELVO Prediction using Machine Learning	Hiroshi Koyama Takaharu Sato Masazumi Hayashi Yuki Kiyomoto Keigo Shigeta Shoji Matsumoto	195

Towards Transportation Systems that Connect People and Society ······ Hisashi Hayashi Kazuhiko Iwase Shoko Abe Tomoaki Takemura Shun Higashikawa Jieshuo Zhang Tomoyuki Ohkubo	201
Survey on the Background and Motivation of Working Adults to Learn at University ······ Kiyomi Miyoshi	213
Development of A Mental Care System for Working Singles ······ Hideki Murakoshi Shigeya Kamio Hiroyoshi Tsukisawa Ling Haogeng Shintaro Okamoto	219

クラスター分析による情報セキュリティ管理策の分類

奥原 雅之*

Classification method of information security controls by cluster analysis

Masayuki Okuhara *

Abstract

In information security management, the selection of control measures by security risk analysis is one of the most difficult processes. To support this security risk analysis with information technology, it is necessary to appropriately model the control measures themselves. One of the important factors is the classification method of the control measures. Many classification methods have been proposed, but none has been adopted in a unified manner internationally. In this paper, we review the existing methods of classifying control measures and propose a new method of classification by introducing a text mining method that focuses only on the external form of control measures described in natural language.

Keywords: information security controls, taxonomy, information security management, cluster analysis

1 はじめに

今日の企業や公共団体などの組織にとって、情報技術はその存続に不可欠な基盤であり、その存立を脅かす情報セキュリティに関連する脅威は、組織が直面する最も大きなリスクの一つになりつつある。一方、日々増大する脅威に対して、組織が情報セキュリティ対策に投下できる資源は有限である。限られた資源を効率的に活用するためには、組織として系統立てられたセキュリティ対策の体系を確立することが重要であり、情報セキュリティマネジメントシステム (information security management system, ISMS) などの情報セキュリティマネジメントフレームワークの導入が不可欠である。

情報セキュリティ対策を、ISMS の分野では管理策 (controls) と呼ぶ。情報セキュリティマネジメントに関する用語を定義する標準 JIS Q 27000 [1] では、管理策を「リスクを修正する対策」と定義している。情報セキュリティの文脈においては、リスクを意図して上方修正することは一般にはありえないで、これは理解を容易にするために「リスクを下方に修正するための対策」、あるいは「リスクを低減する対策」と読み替えるべきである。

管理策を系統立てて整理することは、ISMS に基づくリスクマネジメントプロセスにおいて重要な意味を持つ。ISMS に関する要求事項を定義した国際標準 ISO/IEC 27001 [2] では、組織はリスクアセスメントを実施し、特定されたリスクに対して、それを受容可能なレベルに提言するための適切な管理策を選定することを求めている。このリスクアセスメントの

プロセスを実施するためには、リスクアセスメントに関する高度な知識と経験が必要とされる。このプロセスにおいて、管理策が一定のモデルの下に系統立て整理されていれば、管理策選定を形式的に実施することができ、計算機によるリスクアセスメントの自動化などが可能になる。

2009 年から 2013 年の期間で活動した JNSA 情報セキュリティ対策マップ WG の目的は、このような情報セキュリティ管理策の系統立てた整理手法を確立し、あたかも地図のように、世の中にある管理策を客観的に体系化し可視化することであった。管理策は一般に文脈自由な自然言語で記述されているため、これを技術的に取り扱うためには、何らかのモデルの導入が悲痛用となる。この WG の最終成果報告書 [3] では、情報セキュリティ対策のモデル化について独自の提言を行っている。

管理策のモデル化と並行して必要になるのが、管理策の分類手法の確立である。現実的には、現在主流の管理策集はほぼ例外なく「セキュリティ対策のベストプラクティス集」であり、さまざまな性質と粒度のセキュリティ対策を一つの文書として取りまとめたものとなっている。これまで管理策の分類については、それぞれの管理策集の作成者の主観に委ねられており、一般的に広く合意された分類手法は現段階では存在していない。2009 年の ISO/IEC JTC1 SC27 委員会におけるカナダ提案のように、管理策の分類をより形式的あるいは客観的に行うことにより、その網羅性と唯一性を可視化しようという試みも存在したが、必ずしも成功しているとは

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

言い難い。

本稿では、これまで国際標準などで採用されてきた情報セキュリティの管理策の分類体系を概観し、あえて管理策の意味ではなく形式に基づいた分類手法の提言を行う。2章では、既存の分類手法として ISO/IEC 27002, NIST SP800-53, および JNSA マップ WG で提案されたモデルに基づく管理策の整理の試みについて述べる。3章では、これらを踏まえ、管理策を表現した文書に対し、形式の類似度のみに着目するテキストマイニングの手法を用いて、既存の管理策集である ISO/IEC 27002 の管理策を分類することでどのような結果が得られるかを考察する。

2 既存の分類手法

2.1 ISO/IEC 27002

ISO/IEC 27002:2013 “Code of practice for information security controls”（情報セキュリティ管理策の実践のための規範）[4] は、ISO/IEC 27000 シリーズを構成する国際標準の一つであり、情報セキュリティマネジメントのための管理策集である。この標準では、114 個の管理策を 5 章から 18 章の 14 個の章に分割して整理している。これらの章のタイトルを表 1 に示す。

表 1: ISO/IEC 27002 の管理策分類

章番号	タイトル
5	Information security policies
6	Organization of information security
7	Human resource security
8	Asset management
9	Access control
10	Cryptography
11	Physical and environmental security
12	Operations security
13	Communications security
14	System acquisition, development and maintenance
15	Supplier relationships
16	Information security incident management
17	Information security aspects of business continuity management
18	Compliance

出典:[4]

この ISO/IEC 27002 の管理策分類は、その前身である英国の情報セキュリティ標準 BS7799 の分類をほぼそのままの形で引き継いでいる。当初、BS7799 は情報セキュリティ管理のためのベストプラクティス集として企画されており、その分類(章構成)も論理的というより、実務的な(あるいは経験的な)観点に基づいて構成されていた。

2009 年に、この規格の標準化を担当する ISO/IEC JTC1 SC27 委員会において、カナダより管理策分類の全面的な改訂が提案されたことがあった。これは、管理策全体

を 6 個のドメインと 4 個のレベルのマトリックスに再編成するもので、管理策全体の構成をより構造的にすることを意図した試みであった。本提案は、この時点では現在の標準に基づいて情報セキュリティマネジメントシステムの認証を取得している組織がすでに世界規模で多数あり、規格変更のインパクトが大きすぎるという理由で、最終的には採用が見送られた [5]。これ以降、この ISO/IEC 27002 の分類を大規模に見直す議論は行われていない。

2.2 SP800-53

NIST SP800 シリーズは、米国国立標準技術研究所 (National Institute of Standards and Technology, NIST) の Computer Security Division (CSD) が発行するコンピュータセキュリティ関係のレポートの総称である。この中で SP800-53 “Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations”（組織と情報システムのためのセキュリティおよびプライバシー管理策）は、情報システムおよび組織における、セキュリティとプライバシー保護のための管理策のカタログを提供することを目的として策定された文書である [6]。米国連邦政府機関および連邦政府機関より業務委託を受けている民間企業は、Federal Information Security Management Act of 2002 (FISMA) により、セキュリティ対策として SP800-53 の管理策に準拠することが義務付けられている。規格の位置付けとしては ISO/IEC 27000 シリーズとほぼ同様の目的とスコープを持っており、実際に NIST より SP800-53 と ISO/IEC 27001 の情報セキュリティ管理策要求事項の対照表が参考文書として公開されている [7]。

SP800-53 における管理策の分類を表 2 に示す。

表 2: SP800-53 の管理策分類

ID	タイトル
AC	Access control
AT	Awareness and training
AU	Audit and accountability
CA	Security assessment and authorization
CM	Configuration management and procedures
CP	Contingency planning
IA	Identification and authentication
IR	Incident Response
MA	Maintenance
MP	Media protection
PE	Physical and environmental protection
PL	Planning
PM	Program management
PS	Personnel security
RA	Risk assessment
SA	System and service acquisition
SC	System and communications protection
SI	System and information integrity

出典:[6]

まず分類の並び順が ID のアルファベット順になっていることが特徴的であり、分類の順番がある程度の意味を持つことを意図している ISO/IEC 27002 とは好対照をなしている。

また、一見すると SP800-53 の方が ISO/IEC 27002 よりも分類の数が多く、ISO/IEC 27002 よりもカバー範囲が広いように見える。ただし、実際にはこの中のいくつかの項目（例えば AU や PL など）は、ISO/IEC 27000 シリーズにおいては情報セキュリティ管理策ではなく、マネジメントフレームワークの要求事項として位置付けられており、管理策集の ISO/IEC 27002 ではなくフレームワークを定義する ISO/IEC 27001 のコンテンツとして収容されている。従って、カバー範囲でみると SP800-53 対 ISO/IEC 27001 + ISO/IEC 27002 の組み合わせで評価するべきであり、この観点で見れば両者の標準の間で、カバー範囲の大きな差は見られない。

2.3 JNSA マップ WG

2009 年から 2013 年に実施された JNSA 情報セキュリティ対策マップ検討 WG の活動は、これら既存のセキュリティ管理策の分類モデルを踏まえ、新しい観点でセキュリティ管理策の関係を構造化することを目的として行われた。

この活動の報告書によれば、既存の情報セキュリティ管理策の分類体系（報告書では「セキュリティ対策カタログ」と呼んでいる）では、以下のような不都合が生じると説明している。

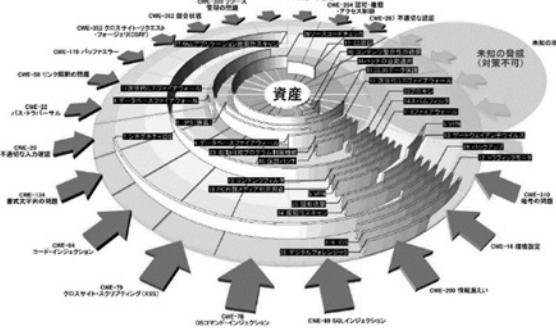
1. 対策の有無しか記述できない。
2. 2 個以上の対策の関係や対策の十分性を正確に記述できない。
3. 組織内のどの部分にどのような対策を配備すればよいかというプランニングには使えない。

出典:[3]

これらの対策を解決するために、ある程度の客觀性と正確性を持ち、セキュリティ対策の構造を明確に提示できるような「地図」を作るというのが活動の趣旨である。

この WG の活動報告書では、セキュリティ管理策の地図を描くための技法として、対策オブジェクトモデルやセキュリティ対策リポジトリなどいくつかの新しい概念が提示されている。対策オブジェクトモデルは、セキュリティ対策が持つ特性を、メソッドとプロパティを持つモデルとして定義することで、その取扱いを標準化することを可能にする。例えば ISO/IEC 27002 のようなよく知られた管理策集に掲載された管理策について、このモデルを使って網羅性の再評価を行ったところ、明に記載されていない、いわば暗黙の管理策が多数抽出できることがわかっている[8]。

これらの技法に基づいて作成された、「標的型サイバー攻撃」の分野でのセキュリティ対策の地図として例示されているものが図 1 である。ここでは 36 種の情報セキュリティ対策が、セキュリティ対策の基本的な単位である「機能要素」として定義されている。



る単語の頻度を表形式で表現したもので、行が単語、列が文書の ID を示している。この単語文書行列を作成するためには、一般には事前に形態素解析などの処理を行い、単語の活用などによる変化などをあらかじめ標準化しておく必要がある。

単語文書行列では、各要素はそれぞれの文書に出現する単語の実数が記録されている。このため、入力となった文書のそれぞれの長さ(単語数)が大きく異なると、その後のクラスター分析などの解析に大きな影響を及ぼすことがある。そこで、一般には出現回数のある一定の重みを付けて正規化を行う。

自然言語に対する重みづけとしては TF と IDF の積が用いられる(TF*IDF とも記述される)ことが多い。TF は Term Frequency の略で、局所的重みとも呼ばれる。文書における単語の出現頻度そのものである。IDF は Inverse document Frequency の略で、大局的重みとも呼ばれる。今回の試行で使用した R の tm パッケージによる実装では、IDF は以下の式によって計算される。

$$IDF = \log \frac{N}{n_i}$$

ここで、 N は文書の総数、 n_i は単語 i が出現している文書の数である。IDF は、多くの文書に出現する単語の重要度を下げ、一部の文書にのみ現れる単語の重要性を上げる働きをする。[11]

複数の文書から単語文書行列を作成することにより、クラスター分析が可能になる。クラスター分析は、複数の文書間の類似度を距離とみなして、その距離を基準にグループ分けを行う方法である。階層クラスター分析は、クラスター分析の一手法で、最も似ている組み合わせから順番にクラスターを形成する。階層クラスター分析の結果は、デンドログラム(樹形図)として可視化することができる。階層クラスター分析において、クラスター間の距離の計算には、他の距離関数に比べて分類感度が高いと言われている Ward 法が使われることが多い。

Ward 法では、二つの集合 P と Q があるとき、

$$d(P, Q) = E(P \cup Q) - E(P) - E(Q)$$

で定義される $d(P, Q)$ を P と Q の距離とする。ここで、 $E(A)$ は、 A のすべての点から A の質量中心までの距離の二乗の総和である。Ward 法では、クラスターの各値からその質量中心までの距離を最小化する。

3.2 テキストマイニングによる管理策分類

テキストマイニングによる分析の特徴の一つは、分析対象となる文書の意味は考慮しないという点にある。例えば文書の中に「セキュリティ」という単語が出現した場合、テキストマイニングの分析ツールは、この「セキュリティ」という単語の意味を理解するわけではない。分析のインプットとなるのは、「セキュリティ」という単語が名詞であるという文法上の情報、そしてこの単語がどの文書にどの程度の頻度で出現するかという客観的な指標である。このような「意味を考慮しない」分析技法は、ともすれば「意味にこだわった」結果、未だに統一的な見解が得られていない情報セキュリティ管理策の分類方法に、新たな観点を提供する可能性がある。

そこで今回、ISO/IEC 27002:2013 に掲載されている 114 個の管理策について、テキストマイニングの技法を用いて階層クラスター分析を行い、意味によらない文書の外形的な特徴のみに基づく分類を試みた。

分析の実施環境として、RStudio 1.4.1106 を用いた。また、単語文書行列の作成には NLP パッケージの tm ライブライアリを用いた。ウェイトは TF*IDF、クラスタリングは Ward 法を使用している。R 言語による処理のソースコードを図 2 に示す。

```
library(tm)
library(stringr)
library(ggdendro)
dtm<-TermDocumentMatrix(corpus.cleaned,
control = list(weighting = function(x) weightTfIdf(x,
normalize = TRUE)))
res2 <- dtm %>% t() %>% dist() %>%
hclust("ward.D2")
res2 %>% ggplot(res2)
```

図 2: R による処理のソースコード

ISO/IEC 27002 の管理策は、番号、タイトル、Control、Implementation guidance、Other information という決められたフォーマットに従って記述されており、一つの管理策の文書量は平均して三分の二ページ程度である。Other information は記載がない場合もある。114 個の管理策をそれぞれ単独の文書として切り離し、114 個の文書として階層クラスタリング分析を行った結果のデンドログラムを図 3 に示す。図中のラベルは、ISO/IEC 27002 の管理策番号を示す。例えば、「09_04_04」は、ISO/IEC 27002 の管理策 9.4.4 を示している。

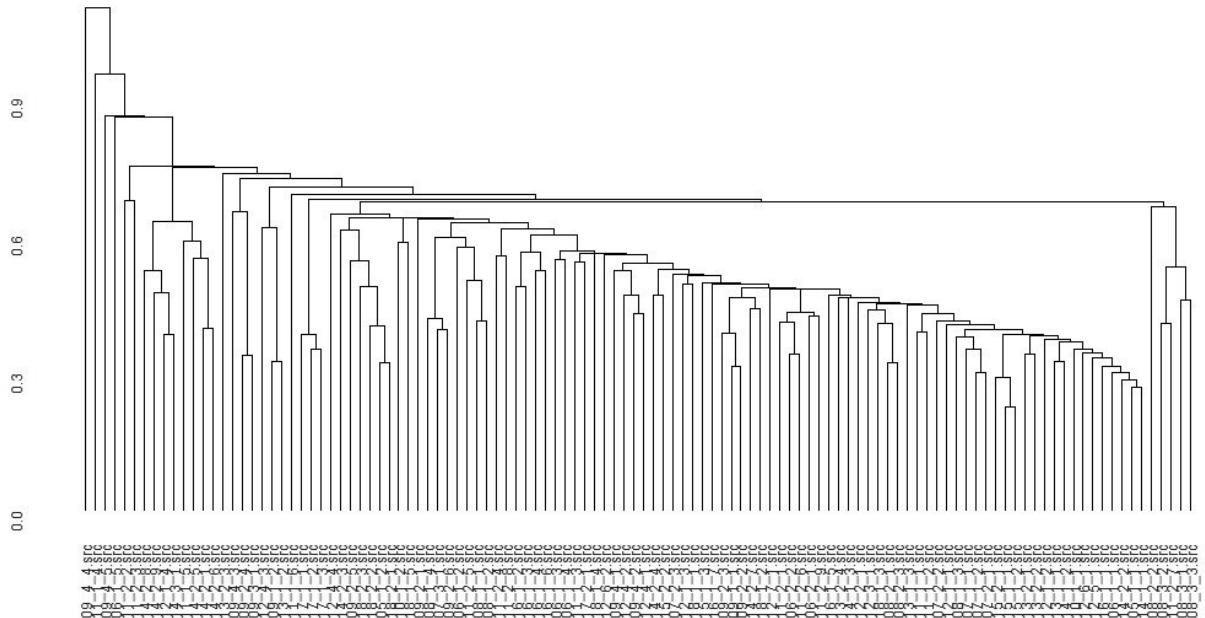


図 3: 情報セキュリティ管理策のデンドログラム

ここで、図 3 のデンドログラムの一番右側では、5 個の管理策が独立したクラスターを形成している。このクラスターに分類された管理策の一覧を表 3 に示す。

表 3: 管理策のクラスター例 1

番号	タイトル
8.2.2	Labelling of information
8.3.2	Disposal of media
11.2.7	Secure disposal or re-use of equipment
8.3.1	Management of removable media
8.3.3	Physical media transfer

これらは、いずれも物理的なメディアあるいは機器に格納されている情報の取扱いに関する管理策であることが読み取れる。実際の ISO/IEC 27002 では、8.3.1 Management of removable media, 8.3.2 Disposal of media と 8.3.3 Physical media transfer の 3 個の管理策が 8.3 Media handling として一つの節を構成している。今回の分析は、8.2.2 Labelling of information と 11.2.7 Secure disposal or re-use of equipment も同じ節として分類することの合理性を示唆しているとも言える。実際、8.3.2 と 11.2.7 は経験的にも情報セキュリティマネジメントの現場で混同されることが多い要求事項である。

図 3 のデンドログラムの左側には、システム開発に関連する管理策を中心とした別のクラスターが確認できる。この内容を表 4 に示す。

表 4: 管理策のクラスター例 2

番号	タイトル
14.2.8	System security testing
14.2.9	System acceptance testing
12.1.4	Separation of development, testing and operational environment
14.3.1	Protection of test data
11.1.5	Working in secure areas
14.2.5	Secure system engineering principles
14.2.1	Secure development policy
14.2.6	Secure development environment

8 個の管理策のうち 5 個が、14.2 Security in development and support process に所属している管理策である。ここに、11.1.5 Working in secure areas, 12.1.4 Separation of development, testing and operational environment と 14.3.1 Protection of test data が加わっている。全体的に、development や test といったキーワードに結びついた管理策がここに集まっていることが見て取れる。また、14.2.7 outsourcing development は 14.2 の一員にもかかわらず、このクラスターからは外れている。これは、要求事項の内容が管理的なものであり、技術的な要求事項である他の管理策とは内容の性質が異なっていたためと推測される。ちなみに、この 14.2.7 はデンドログラムの中央あたりで、18.1.2 Intellectual property rights と一緒にクラスターを形成している。

なお、デンドログラムの一番左に独立している管理策は、9.4.4 Use of Privileged utility programs である。要求事項として比較的に記述量が少ないことに加え、privilege に

関連する管理策が他にほとんどないことが、この結果につながったと推察される。

4 おわりに

本稿では、これまで国際標準などで採用されてきた情報セキュリティの管理策の分類体系を概観し、管理策の意味ではなく形式に基づいた分類手法の提言を行った。

2章では、既存の分類手法として ISO/IEC 27002, NIST SP800-53, および JNSA マップ WG で提案されたモデルに基づく管理策の整理の試みについて述べた。ISO/IEC 27002 と NIST SP800-53 については、分類そのものは異なるものの、管理策の意味に着目して分類学的に分類するという分類手法はほぼ相同であり、結果として収載されている管理策の粒度・網羅性もほぼ同等である。JNSA マップ WG の地図は、これらとは異なる、管理策モデルに基づくアプローチで管理策の可視化を行ったという点で新規性があった。

3章では、これらを踏まえ、管理策を表現した文書に対し、形式の類似度のみに着目するクラスター分析を用いて、既存の管理策集である ISO/IEC 27002 の管理策を分類した。結果として、現在の ISO/IEC 27002 とは異なる管理策のグループが形成されており、従来の観点とは異なる分類方法の提言につながる可能性を確認することができた。

文書の形式にのみ着目して分類を行うクラスター分析を、情報セキュリティに関連する文書に適用する試みはまだそれほど一般的ではなく、例えば情報セキュリティポリシーや個人情報保護ポリシーなどの情報セキュリティマネジメント文書の評価などに適用することも考えられるが、これらの適用拡大は今後の課題である。

参考文献

- [1] JIS Q 27000:2014 情報技術 - セキュリティ技術 - 情報セキュリティマネジメントシステム - 用語, 2019.
- [2] ISO/IEC 27001:2013 "Information technology - Security techniques - Information security management systems - Requirements", 2013.
- [3] 日本ネットワークセキュリティ協会情報セキュリティ対策マップ検討 WG, 2013 年度情報セキュリティ対策マップ検討 WG 活動報告書, https://www.jnsa.org/result/2014/std_map/, 2014. (visited 2020)
- [4] ISO/IEC 27002:2013 "Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls", 2013.
- [5] 中尾康二, ISO/IEC 27000 関連規格の最新動向,

https://www.jnsa.org/seminar/2009/0127nsf2009/adata/B1_Nakao.pdf, 2009. (visited 2021)

- [6] NIST "NIST SP 800-53, Revision 5 Control Mappings to ISO/IEC 27001", <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Publications/sp/800-53/rev-5/final/documents/sp800-53r5-to-iso-27001-mapping.docx>. (visited 2021)
- [7] NIST "NIST SP 800-53, Revision 5 Control Mappings to ISO/IEC 27001", <https://csrc.nist.gov/CSRC/media/Publications/sp/800-53/rev-5/final/documents/sp800-53r5-to-iso-27001-mapping.docx>. (visited 2021)
- [8] 奥原 雅之, "情報セキュリティ定量リスク分析のための対策記述オブジェクトモデルの導入", 東京都立産業技術大学院大学紀要, vol.14, pp.1-6, Jan. 2021.
- [9] MITRE "Common Weakness Enumeration", <http://cwe.mitre.org/>. (visited 2021)
- [10] ISO/IEC 13335-1 "Information Technology – Security Techniques – Management of information and communications technology security Part1 1: Concepts and models for information and communications technology security management", 2009.
- [11] 石田基弘, R によるテキストマイニング入門 第 2 版, 森北出版, 2018.

A scheme towards medical data confidentiality using scale invariant feature transform

Xuping Huang*

Abstract

This paper proposes a new watermarking technique based on scale invariant feature transform (SIFT) integer rotation to protect the confidentiality of medical data. SIFT is used to extract the positions of the original data, and then the positions are rotated by a reversible integer rotation algorithm by multiplying triangular matrix to generate the appropriate positions for embedding an encrypted and divided person data of patients. Histogram of scale and distortion is estimated to generate the stego data. Different positions according to histogram of scale are used for embedding after applying integer rotation with angles as an alternative parameter. The experimental results show the proposed watermarking method imperceptible with an average peak signal-to-noise ratio (PSNR [dB]) 50.595 and 5.216 as the average entropy.

Keywords: Watermarking, Integer Rotation, SIFT, Data Confidentiality

1 Introduction

1.1 Purpose statement

Recently, the highly development of ICT, the remote online medical clinic has supplied an alternative solution for healthcare. Machine learning and artificial intelligence technologies promises bright future for computer aided medical diagnosis. In this scenario, digital personal data, including sensitive personal information and electronic medical chart, may be shared among different hospitals and research institutes. Furthermore, spoofing and abuse of biometric authentication may be a serious social problem. A wrist Nymi band can use electrocardiography biometrics for authentication to unlock and login ubiquitous devices, including cars, PCs and even personal online bank account, etc. It also pointed out the security risky of disclosure of waveform of heart rate to the untrusted third party, since a generated waveform after training with piece of biometrics data can successfully attack the authentication system of IoT [1]. The confidentiality of personal data, including medical image and personal sensitive data, should be considered as an important issue and the private medical data should be protected in the case of multiple data providers for a secure medical information disclosure [2],[3].

1.2 Conventional works

To guarantee the confidentiality of privacy data of patients to supply a secure data sharing system for medical data. The following technologies are focused. (1) Secure Computing: Encrypted statistics for distributed data are proposed [3][4][5], which is also called privacy preserving data mining (PPDM), e.g., logistic regression, linear regression by homomorphic encryption. High computing performance is necessary, since homomorphic encryption generate a huge amount of data by key with a length of 1024 bits; (2) Data Anonymization: This solution is to protect data by personally removing identifier information by suppression or generalization using k-anonymity, l-diversity, t-closeness methods [6]. The disadvantage is irreversible data loss for anonymization process; (3) Differential Privacy: The mechanism is to add noise to the raw data with sensibility. The mechanism of noise generation considers security utility and usability, which is corresponding to queries or operations [7][8][9]; and (4) Watermarking and steganography: Data required confidentiality are embedded into another innocent cover data, and it is available to the trust users after extraction via data transmit channel [10][11].

1.3 Novelty and contribution of this work

This paper focuses on watermarked approach to

Received on October 3, 2021

* Advanced Institute of Industrial Technology

protect sensitive patients' personal data during the medical information disclosure. The scenario is to hide personal information into the medical image in the set of electronic medical record as the payload, including personal information, medicine history, etc. The distortion of medical image is controlled to be imperceptible, to make the information comprehensive. This approach aims to get the best balance between data disclosure and data confidentiality, in the case of online clinic, and medical data sharing in several parties as the target application.

Figure 1 shows an example of electronic medical record in Japan. Personal data is disclosed with text and image information. For the future usage of the proposed work, there are two target applications with the purpose of (1) guarantee the sensitive data of person data for patients, as plotted in Fig. 2; and (2) tampering detection of electronic medical record, as plotted in Fig. 3. Since the purpose of usage (1) is to assure the confidentiality of the privacy data, encryption is applied and then embedded into image data, which is a double assurance. The key is shared between the authenticated users to decrypt the privacy data. Being different from (1), the purpose of user (2) is to detect whether the information of the electrical medical record has been tampered, the payload will be generated by hash function, and then embedded into original data for verification. The trusted users, including researchers or doctors may extract the data by the shared watermark key, including extraction algorithm, positions to generate the reconstructed original data, and the extracted payload. The extracted payload is used to compared to those hash values generated by the reconstructed original data. For both usages, the common part is the embedding algorithm, since for both of application, distortion of original data should be assured. We explore the hiding algorithm to find proper positions for hiding, and to evaluate the distortion coursed by embedding. The focus is to explore the appreciate embedding positions based on a reversible rotation algorithm applying to SIFT key points. Implementation are based on replacement to evaluate the effectiveness of the proposed method towards distortion, with proper hiding capacity. However, the data loss occurs, and there are more alternative methods here to hide information, we mainly focus on the adequateness of the hiding

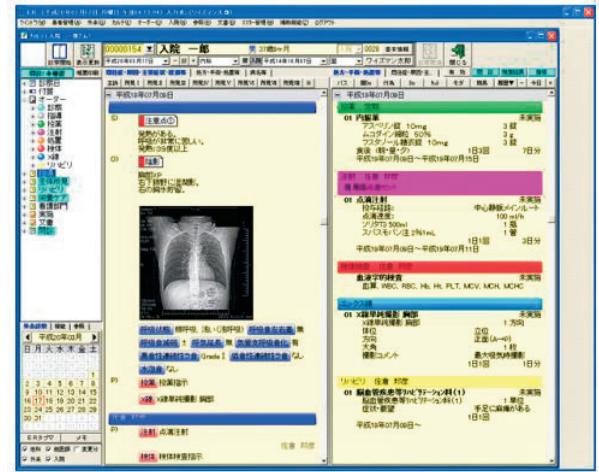


Fig 1. An example of electronic medical record

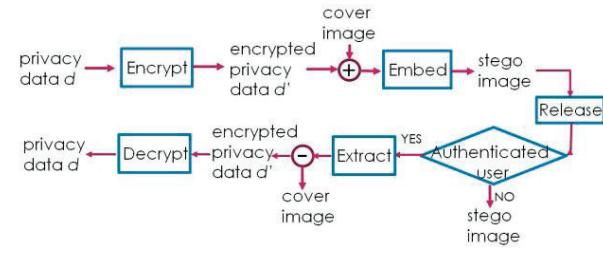


Fig 2. Scenario of the proposed method (1): protect the privacy of electronic medical record

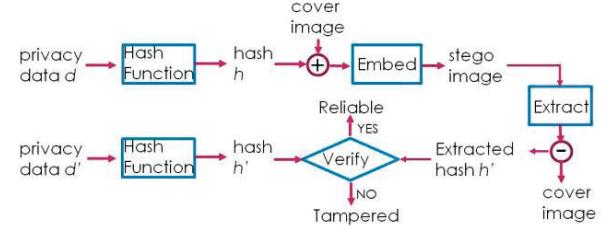


Fig 3. Scenario of the proposed method (2): tampering detection of electronic medical record

positions as the preliminary work. We will develop more robust algorithm for embedding in the future, including applying integer discrete cosine transform to the image points, using the mechanism of reserving embedding positions proposed in this paper.

The most effective watermarking methods with high capacity and quality are based on hiding information in both time domain and the frequency domain. Payload is embedded to discrete cosine transform (DCT) coefficients [12][13], embedding upon residue after linear predictive coding (LPC) after expansion [14] by multiplication, and in selected SIFT positions, etc. Low, middle, and high DCT coefficients are selected for robustness and imperceptibility purposes. Watermarking based on SIFT is also a popular approach [15][16][17][18]. In these approaches, the

SIFT feature points are used to determine the hiding positions. In work [15], the marked regions were selected around the SIFT feature points then normalized to a uniform size against scaling attack, and watermarks were embedded into these normalized regions. Even though the advantage of SIFT against geometric attacks, there is a disadvantage in SIFT-based watermarking that the redetection ratio of SIFT feature points declines after watermarks are embedded into regions including SIFT feature points. To avoid negative influence of embedding watermarks, a watermarking method embedding surrounding regions of SIFT feature points was proposed in work [16]. However, the feature points surrounding is vulnerable since the complexity to estimate the hiding positions is $\log(n)$. In this work, we also focus on SIFT-based watermarking, since the SIFT-based watermarking are verified to be robust against conventional attacks and geometric attacks, especially in terms of rotation, translation and clipping [17][18]. In this work, the embedding positions are selected after applying a reversible and integer rotation algorithm to SIFT feature points. The positions integer rotation is a novel propose here since the rotation algorithm include $\sin\theta$ and $\cos\theta$ calculation, with a rotation angle α as the parameter. This position integer rotation makes the embedding positions robust enough against geometric attacks and keeps a certain of complexity accordingly. Additionally, since it is a reversible algorithm, the original positions can be available if necessary. The hiding positions are kept as a part of key to extract the embedded information from the stego data. Replacement is used for embedding as a preliminary process to show the payload and the imperceptibility of the proposed embedding algorithm, that data in SIFT positions are kept as a part of data to reconstruct the original data. An algorithm to achieve a robust hiding position with imperceptibility is focused on this paper rather than the hiding algorithm. A reversible embedding mechanism will be enhanced in our future work. This paper is organized as follows. The approaches are discussed in Section 1. Sections 2 describes the proposed method in detail. Section 3 summarizes the experimental evaluation results. We conclude the paper in Section 4.

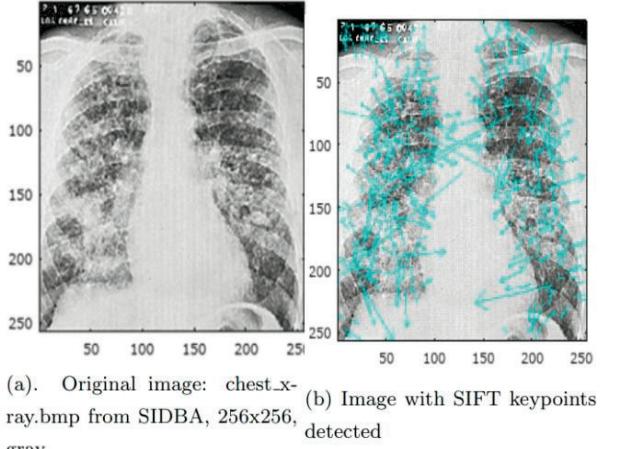


Fig 4. An example of medical image: original and with SIFT keypoints

	position (x, y)	scale	orientation
1	122.29	128.49	22.96
2	100.23	126.78	17.56
3	84.27	74.94	20.5
4	84.27	74.94	20.5
5	75.42	179.59	21.64
6	97.63	126.87	16.97
7	212.18	221.09	13.44
8	28.08	216.48	12.43
9	210.61	23.09	9.68
10	161.86	45.97	7.74
11	188.8	73.34	6.33
12	175.31	29.75	6.26
13	135.72	213.0	6.79

Fig 5. Keypoints information of chest_x-ray.bmp: position, scale, and orientation

2 Proposed method and implementation

In this paper, we propose a geometrical robust SIFT-based watermarking method for healthcare images. Being different from the conventional works, which embed payload data into SIFT feature points, surrounding points and adjacent points, we propose a reversible integer rotation algorithm to determine the hiding positions, which include $\sin\theta$, $\cos\theta$ processing with an angle parameter α , ($0 \leq \alpha \leq 360$). While the rotation angle is specified to be $-\alpha$, the feature points positions can be relocated successfully, without any location map to restore this information.

2.1 SIFT key points detection

Keypoint descriptor is used in SIFT, which is proposed originally in Lowe's works [20][21]. This paper uses the algorithm in Lowe's work to detect

keypoints as the reference. To detect a feature of an image, the keypoint descriptor is created. A 16*16 neighborhood around the keypoint is taken and then divided into 16 sub-blocks of 4*4 size. A total of 128 bin values are available to represent as a vector to form keypoint descriptor, including keypoint position (x_i, y_i) , $0 \leq i \leq N$, scale, and orientation assignment. When the scale value is larger, the larger range of feature the image that the key-point represent. To give an example, we detected the SIFT keypoints in chest x-ray.bmp from SIDBA image database, which is shown in Fig. 4. There are 409 keypoints detected, and the information is listed up as plotted in Fig. 5 with the following data accordingly: x_i, y_i , $0 \leq i \leq 409$, scale and orientation assignment. There are 409 rows of positions information, a part of which are selected to hide confidential and sensitive personal information. The histogram of chest x-ray.bmp is plotted in Figure. 2.1. According to this figure, we notice that most of the value located in the range of [200, 250], which means it is convenient to embed information in each 8 bits as 256 is represented by 2^8 . The histogram of scale is plotted in Fig. 6 (b). Most of values are concentrated among [0:3]. Being different from the mechanism of selecting positions for embedding information in conventional works, such as (1) using the point directly; (2) using the positions in a circle; or (3) applying DWT to positions. We apply an algorithm of reversible integer rotation to the selected x_i, y_i to get the positions for embedding payload.

2.2 Reversible positions rotation

Keypoints will be more robust against estimation after being applied transforming or rotation in a geometric. In work [19], a changing of spatial positions of camera optical axis to simulate different viewpoints of images to extract feature points from the stego data. In this work, angle α with matrix multiplication with $\sin\theta$ and $\cos\theta$. However, if the changing is not reversible, the original keypoints positions are not available. Thus, in this work, a reversible modified rotation algorithm applied to SIFT keypoints is proposed. The algorithm is expressed in the following formula. Given $\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$ as one of the original keypoints

and suppose $\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix}$ as the keypoints after rotation.

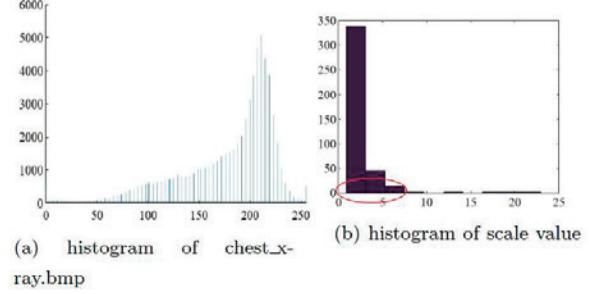


Fig. 6 Histogram of original image and the scale value

The rotation computing is applied as follows:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (1)$$

To keep the reversibility of the original keypoints, the lifting and rounding computing are applied. For this process, there is a polynomial decomposition to represent the factor matrix as:

$$\begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} = \text{round}(R_1) * \text{round}(R_2) * \text{round}(R_3)$$

(2). Here,

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{-\cos\alpha-1}{\sin\alpha} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\sin\alpha & 1 \end{bmatrix}, \text{ and } R_3 = R_1.$$

2.3 Embedding Process

The flow chart of the proposed method, including embedding information and extraction with positions applied reversible rotations, is plotted in Fig. 7. There are two main steps for embedding.

Step 1: select hiding positions: Detect the feature value of medical image with key points (x_i, y_i) using Lowe's algorithm [20][21]. The scale is in a descending order for these feature points. On purpose of compare the effectiveness of hiding positions, we specify five patterns of key-points for embedding for 16 bits. (a) first-coming 16 key-points with largest scale value: $(x_1, y_1), \dots, (x_{16}, y_{16})$; (b) the last 16 key-points with lowest scale value: $(x_{409}, y_{409}), \dots, (x_{394}, y_{394})$; (c) adjacent points to median value; (d) adjacent points to mode value (most frequent value); and (e) the proposed method: rotation with angle α : $\alpha = 5, \alpha = 10$, and $\alpha = 20$ adjacent to mode points, and $\alpha = 5, \alpha = 10$, and $\alpha = -10$ adjacent to median points. Since the key positions are with feature value, the rotation may be a reasonable solution to avoid these points in a confidential way.

Step 2: embedding the payload

Hash value is generated by hash function applied to

patients' personal data in DPC database, including ID (index), age, and operation code, generated by md5 algorithm, with a length of 256 bits. The hash string is going to be divided into 16 subsets, and then embedded into the selected locations in the original image. The extraction progress is a reverse process to the embedding process to extract data, and to reconstruct the payload in order. The hiding positions can be shared between the trusted users, and patterns (a)-(d) can be calculated by the Lowe's algorithm. The proposed method for pattern (e) is confidential for the hiding positions, with the parameter α and the reversible rotation algorithm. The extraction algorithm, including these parameters should be shared in advance between the trusted sender and receiver. The selected positions for embedding the payload by different patterns (a)-(e) are plotted in Fig. 8.

3 Experimental results

To evaluate the image quality, computing complexity, we use three benchmarks here for the evaluation: PSNR (Peak signal-to-noise ratio) [dB], computing time, and the entropy. The environment for the implementation and experiments are listed in Table. 1. Figure 9 plots the stego data generated by different patterns for hiding position selection. The difference between the original data and stego data when rotation ($\alpha = 5$) is applied to key-points which are adjacent to median value ($\alpha = 5$) is also plotted. According to the stego data, it is different to distinguish the difference comparing to the original data by human visual system. However, the noise is easier to be noticed when ($\alpha = 10$ (mode)).

To evaluate the effectiveness, we also evaluate the stego data by rotation applied to key-points which are adjacent to mode value, as well as the median value. The PSNR values are plotted in Fig. 10. Embedding to positions adjacent to median has the best quality that $psnr = 54.854$, with an average of 50.595 dB for different embedding positions. The proposed rotation method has better quality than the traditional first-coming, last and mode positions. After applying rotation, the best quality if rotation applied to mode positions with $\alpha = -10$. However, the worst PSNR after rotation is 49.601, which indicate an imperceptible degradation of the stego data after embedding. The rotation angle parameter α should be explored in more

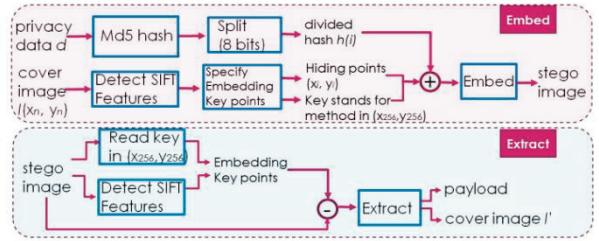


Fig. 7 The flowchart of the proposed method

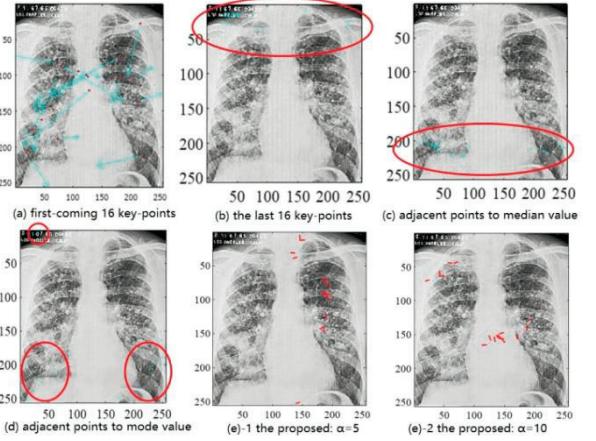


Fig. 8 The selected positions for embedding the payload

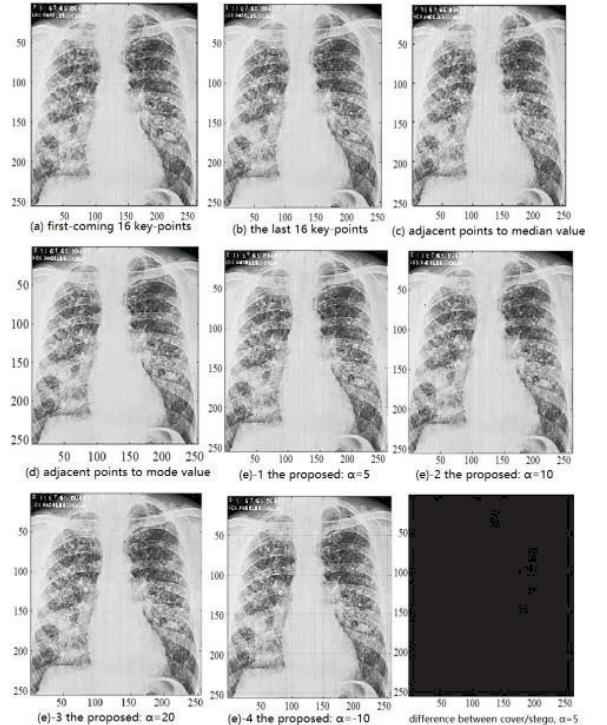


Fig. 9 Stego data and the difference

Table 1. Computing environment

Computer	Intel(R) Core (TM) i3-8100 CPU@ 3.6GHz
Programming	MATLAB (Octave Ver. 5.1.0.0)



Fig. 10 PSNR of the stego data

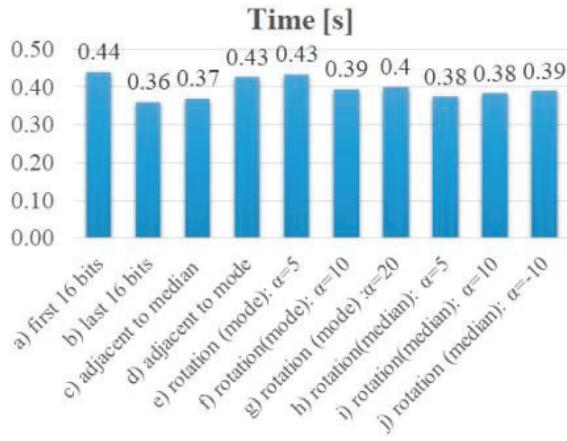


Fig. 11 Computing time

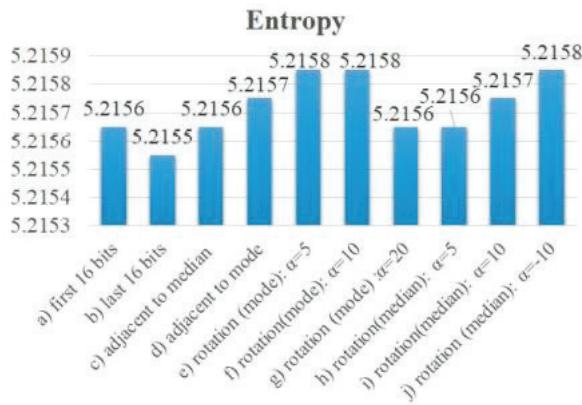
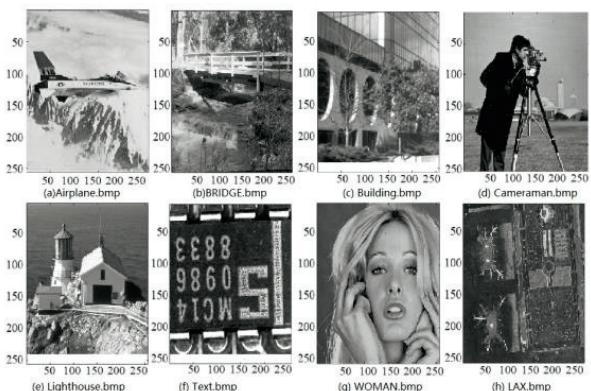


Fig. 12 Comparison on entropy

Fig. 13 Stego data of SIDBA: rotation (median, $\alpha=5$)

angles if the target application is for imperceptible purpose. Figure 11 plots the calculation time for the processing. The process completed in an average of 0.397 s . Fig. 12 plots the entropy of the stego data. The entropy is calculated by $\text{entropy} = -\sum (P_i * \log_2 P_i)$, where P is the distribution of the elements of image. The smaller the value is, the result is better. According to Fig. 12, for rotation algorithm, the rotation applied to adjacent positions to median key-points while $\alpha = 5$, and adjacent points to mode key-points while $\alpha = 20$ have the best effectiveness, where $\text{entropy} = 5.2156$.

However, this method may be dependent to the coefficient of original images. As a reference, the stego of SIDBA (Standard Image Data Base) applying rotation to adjacent positions to median key-points ($\alpha = 5$) is plotted in Fig. 13.

4 Conclusion

This paper proposed a novel digital watermarking algorithm to specify the embedding positions by applying a reversible rotation to SIFT feature key-points. Experimental evaluation results on image quality, computing time, and the entropy show the proposed method is a imperceptible method, with an average of 50.595 dB in PSNR; a fast algorithm, with an average of 0.397 s for computing; and a lossless method with an average of 5.216 in entropy. The best positions and angle for rotation is the key-points adjacent to the mode, with the angle $\alpha = -10$ for PSNR. We list up a more sophisticated algorithm for embedding as the future work for stronger robustness, such as coefficients expansion after applying an integer and reversible discrete cosine transform to the value in the image, or exploring hiding payload into residue data after applying linear prediction coding, etc. Effectiveness evaluation to the real dataset, comparing to the conventional data, and the application to solve the social problem is another task in the short future.

Acknowledgements

This work was supported by JSPS KAKENHI Grant Number JP18K18052.

Reference

- [1] Simon, E., Paoletti, N., et, al.: Broken Hearted: How to Attack ECG Biometrics. In: Proc. of NDSS 2017, pp. 1-15, USA, 2017.
- [2] Kikuchi, H., Huang, X., et, al.: Privacy-Preserving Hypothesis Testing for Reduced Cancer Risk on Daily Physical Activity. In: Journal of Medical Systems (Springer Nature), vol. 42, Issue. 90, pp. 1-12, 2018.
- [3] Huang, X., Kikuchi, H., Fan C.: Privacy preserved spectral analysis using IoT mHealth biomedical data for stress estimation. In: Proc. of the 32nd IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), pp: 793-800, Poland, 2018.
- [4] Kikuchi H., Yasunaga H., et, al.: Efficient Privacy Preserving Logistic Regression with Iteratively Reweighted Least Squares. In: Proc. 11th Asia Joint Conference on Information Security, pp. 48-54, 2016.
- [5] Kikuchi, H., et, al.: Privacy-Preserving Multiple Linear Regression of Vertically Partitioned Real Medical Datasets, In: Proc. of AINA, pp. 1042-1049, 2017.
- [6] Ito, S., Harada R. et, al.: Risk of Re-identification from Payment Card Histories in Multiple Domains, Proc. of AINA, 2018.
- [7] Dwork, C., Roth, A.: The Algorithmic Foundations of Differential Privacy. In: Foundations and Trends in Theoretical Computer Science: Vol. 9: No. 34, pp 211-407, 2014.
- [8] Dwork, C.: Differential privacy. In: Proc. of ICALP, pp.1-12, 2006.
- [9] Wang, Y., Si, C., Wu, X.: Regression Model Fitting under Differential Privacy and Model Inversion Attack. In: Proc. of IJCAI, pp. 1003-P1009, 2015.
- [10] Huang X.: Mechanism and Implementation of Watermarked Sample Scanning Method for Speech Data Tampering Detection. In: Proc. of ACM 2nd International Workshop on Multimedia Privacy and Security (MPS) in CCS, pp. 54-60, Canada, 2018.
- [11] Huang, X., Ono, N., et, al.: Reversible Audio Information Hiding for Tampering Detection and Localization Using Sample Scanning Method. In: Journal of Information Processing, vol. 25, Issue. 2017, pp. 469-476, 2017.
- [12] Yang, B., Schmucker, M., Niu, X.M., Busch, C. Sun, S.G.: Reversible image watermarking by histogram modification for Integer DCT coefficients. In: Proc. Workshop on Multimedia signal processing, pp.143-146, 2004.
- [13] Lin, C.C., Shiu, P.F.: High-capacity data hiding scheme for DCT-based images. In: Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, vol.1(3), pp.220- 240, 2010.
- [14] Yan, D.Q., Wang, R.D.: Reversible data hiding for audio based on prediction error expansion. In: Proc. International Conference of Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp. 249-252, 2008.
- [15] Hayashi, M., Kawamura.M.: Improved SIFT Feature Based Watermarking Method for IHC Ver. 5. In: Proc of APSIPA ASC, pp. 1536-1543, 2018.
- [16] Uchida, K., et, al.: Evaluation of SIFT feature based watermarking method for scaling attack. In: Proc. Technique report of IPSJ, vol. 114, no. 511, EMM2014-83, pp. 37-42, 2015.
- [17] Liu, J., Li, J. et, al.: Medical Image Watermarking Based on SIFT-DCT Perceptual Hashing. In: Proc of International Conference on Cloud Computing and Security, pp. 334-345, 2018.
- [18] Singh K.: A robust rotation resilient video watermarking scheme based on the SIFT. In: Proc. of Multimedia Tools and Applications, vol. 77 (13), pp. 16419–16444, 2018.
- [19] C.Y. Wang, et, al.: Robust Image Watermarking Algorithm Based on ASIFT against Geometric Attacks. In: Applied Sciences, pp. 11-19, 2018.
- [20] D. Lowe.: Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, vol. 60(2), pp. 91-110, 2004.
- [21] D. Lowe.: Object recognition from local scale-invariant features. International Conference on Computer Vision, pp. 1150-1157, 1999.

アップサイクルプロデュース

～大学発ムーブメントを目指して～

毛利 真希子*・松山剛*・Tian Yuan*・Ziwei Wang*・松嶋宏行*
・田部井賢一*・越水重臣*

Creating an upcycling movement

～ Facilitated from AIIT into the general society ~

Makiko Mohri*, Tsuyoshi Matsuyama*, Tian Yuan*, Ziwei Wang*,
Hiroyuki Matsushima*, Ken-ichi Tabei* and Shigeomi Koshimizu*

Abstract

Upcycling is taking a product that has completed its role, and turning it into a more valuable product, by redesigning its original characteristics. Upcycling was advocated by Pilz in 1994, and it is well known as a sustainable activity in EU countries, where there is a high awareness of environmental preservation. On the other hand, according to the questionnaire survey we conducted, it was found that the degree of recognition and implementation in Japan was extremely low. Therefore, in this study, we first established the definition of upcycling based on a literature survey and identified issues through interviews with active upcycling practitioners. After that, our project team members took on the role of promoters and aimed to trigger a university-originated movement by holding meetings to connect practitioners from different regions and workshops, disseminating information through the media, and planning collaborative products.

Keywords: Upcycling, Connect practitioners, Workshop, Media information dissemination, Collaborative product planning

1 はじめに

アップサイクルとは、使用されなくなり、処分されようとしている製品や材料を、目的を変えて活用することで価値を高めて再製造する創造的プロセスのことである。環境先進国であるEU諸国では環境活動の1つとして認識されており、リサイクルとは一線を画すものとして捉えられている。その理由として、アップサイクルが利用目的を変える際に価値を向上させるのに対し、リサイクルは再利用であり、素材特性が劣化し価値の低下が避けられない(これはアップサイクルに対してダウンサイクルと呼ばれる)ことが挙げられる[1,2]。

アップサイクルは、1994年にドイツで初めて提唱された言葉であるが、19世紀までは「所有していたものはすべて大事にされ、ケアされて、その実用性の限界まで利用されていた(筆者翻訳)」[3]ことを考慮すると、実は目新しい言葉ではなく、長い間人間の生活の中で当たり前のように営まれていた行為であるといえる。

産業革命以降、われわれは大量生産、大量消費、使い捨てを謳歌してきたが、今日では、サーキュラーエコノミー(循環型経済)への意識が浸透しつつあり、「廃棄」されていた製品や原材料などを新たな「資源」と捉え、廃棄物を出すことなく資源を循環させる仕組み[4]づくりに人々の関心が高まっている。加えて、社会全体の行動変容や社会課題の解決を通じてSDGs(Sustainable Development Goals:持続可能な開発目標)の目標達成を日本政府が促進[5]していることもあり、100年以上昔の生活では当たり前に行われていた循環型社会が見直されている状況にある。

ところが、2020年度越水PBLプロジェクトチーム(以下、「本PT」という)が行ったアンケート調査では、我が国におけるアップサイクルの認知度/実施度は、リサイクルのそれと比較すると極めて低いという結果が明らかになった。その一方で、アップサイクルに関連するイベントや環境配慮商品、環境意識の高い企業には多くの人が好印象を抱き、新品と同額かそれ以上でアップサイクル商品を購入することが分かつ

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

た。このことから、アップサイクルの認知度/実施度を向上させることできれば、我が国でもアップサイクルはリサイクルに並ぶ環境活動となり得るのではないかと考えた。

そこで本 PT では、アップサイクルについての文献調査を行い、様々な文脈で用いられている「アップサイクル」という言葉に定義を与え、さらにアップサイクルを先行実践している方々へのヒヤリングを行い、日本のアップサイクル活動における課題抽出を行った。そして、その課題解決のために、本 PT がプロデューサーとなり、我が国においてアップサイクルを浸透させるための「仕組みづくり」、ワークショップの開催やメディア発信を通じた情報拡散といったユーザーを巻き込む「コトづくり」、企業への新商品の提案といった「ユーザー体験デザイン」を行うことで、大学発ムーブメントを引き起こすことを目指した。

2 アップサイクルとは

2.1 アップサイクルの提唱

アップサイクルは、1994 年ドイツにて、従来のリサイクル(=ダウンサイクル)とは全く異なる用語として Pilz により提唱された[6]。彼は「リサイクリングとは、ダウンサイクリングである。必要なのはアップサイクリングである。アップサイクリングでは、古い製品は価値を減らすのではなく、より多くの価値を与えるのである」と説明している。また彼は、アップサイクルにおいて元の形ができるだけ維持(活用)するように考えていましたようだ。

アップサイクルに関して、より学術的に重要な研究者として Braungart らがいる[7]。彼らは「アップサイクルとは、材料のゆりかごから墓場への流れを最小限に抑えることではなく、材料が資源としてのステータスを維持して時間の経過とともに価値を蓄積する、ゆりかごからゆりかごへの周期的な「代謝」を生成することである。アップサイクルは、生態系と経済システムの相乗関係(経済と生態学との間のポジティブな再結合)を本質的に生み出すのである」と定義している。また「減らす、再利用する、リサイクルすることはその場しのぎの対策に過ぎない」とも主張している。

また、Ali らは「アップサイクリングは、材料を劣化させることなく、新しい方法で製品を再利用することである。このプロセスは、使用済材料または廃棄物の再生であり、多くの新しい材料を費やすことなく製品に別の新しい命や機能を与える。この方法は、より良い生活の質をもたらすだけでなく、発明された製品に対する環境的な価値感を高め、創造的美的価値を高めるのである。アップサイクリングは廃棄物にまったく新しい命を吹き込む。リサイクルは、通常、元の素材を分解し多くのエネルギーを使用して製品をつくるが、アップサイクルはトータルのエネルギーを節約する」と述べている[8]。

2.2 本 PT によるアップサイクルの定義

本 PT では、何が達成されればアップサイクルと言えるのかを起点として、まずはアップサイクルの定義付けを行うこととした。これは、1 年を通じて PT メンバー間で様々な議論を行う際に根本的な論点ずれを起こさない為であり、それが故、専門家が査読等実施している学術論文を参考にした。最終的に 82 件の参考文献の中から 17 件を抽出して分析し、以下を定義として導き出した。また、アップサイクルとして成立しているかどうか、誰にでも判定できるよう、表 2 に示す条件リストも作成した。

表 1: 本 PT によるアップサイクルの定義

アップサイクルの定義	
アップサイクルとは、役割を終え使われなくなった対象から、残存する個性(価値/特徴/特長)を抽出し、アイデアやデザインなどを加えて再設計することで、新たな環境負荷を与えることなく、再設計前の状態よりも品質や支払意思額等が向上して、全く別の役割で新たに活躍させる、創造的プロセスである。	

表 2: 本 PT におけるアップサイクルの条件

※①～⑥をすべて満たしていること

内容	基準値	判定者
① 役割を終え使われなくなった対象か。	前使用者が、従来の役割では使わなくなり、廃棄されるレベル(支払意思額=0)にあること。	アップサイクル実施者または認定者
② 残存する個性(価値/特徴/特長)が抽出されているか。	残された個性(価値/特徴/特長)を明確に見出し、それらを利活用していること。	
③ アイデアやデザイン・ストーリーなどを加えて再設計しているか。	1 つ以上の要素が追加され、従来の役割に留まらない再設計がなされていること。	
④ 新たな環境負荷がないか。	無い、或いは極めて少ないと。	
⑤ 再設計前の状態よりも品質や支払意思額等が向上しているか。	再設計された対象の販売額が著しく向上、或いはソーシャルな反響(いいねなど)があること。	
⑥ 全く別の役割で新たに活躍できるか。	従来とは異なる役割が与えられ、新たに活躍する可能性が十分にあること。	

表 3: アンケート調査の質問項目

大項目	小項目
リサイクル状況	リサイクルの認知、活動状況
アップサイクル状況	アップサイクルの知識
	アップサイクル活動の経験
	アップサイクルの必要性
アップサイクル活動を広げるためには必要な条件	アップサイクル活動をしない理由
	どのような条件が揃えば活動してみたいか
アップサイクルの印象など	イベントがあれば参加するか
	環境配慮商品の購入について
	アップサイクル企業イメージについて
	防水生地トートバックの支払意思額について
属性	性別、年齢、所属、専門分野

3 アップサイクルに関するアンケート調査

統いて、日本におけるアップサイクル活動の実態を把握することを目的として、アンケート調査を行なった[9].

3.1 アンケート調査の質問項目とフロー

最初に、本 PT メンバーで質問の大項目を決定した。その際、本 PT のメンバー内にはアップサイクルについて知っている者はおらず、アップサイクルの認知度が低いことが予想された。そこで、まずは比較対象としてのリサイクルの状況、その後、アップサイクルの状況、アップサイクル活動を広げるための必要な条件、アップサイクルの印象、最後に属性を質問していくこととした。

次に、質問の大項目に対する各質問項目を洗い出した。アンケートの回答に時間がかかると回答率が低下する恐れがあるため、5 分程度で回答が終わるように属性含めて質問項目を 20 個程度(15 秒/質問かかると想定)とした。

表 3 に質問項目、図 1 にそのフロー図を示す。アップサイクル活動を広げるための必要な条件を得るために、アップサイクル活動をしない理由、どんな条件が揃えば活動するかの質問を行うこととした。また、アップサイクルの印象として、イベント参加や環境配慮商品の購入、アップサイクル企業へのイメージに加えて、支払意思額の調査も行った。支払意思額の調査では、まずは商品写真を見せて商品価格を回答してもらい、その後、イベントで不要となった防水生地からアップサイクルしたという情報を与えて再度商品価格を回答してもらうことで、アップサイクル情報の有無による商品価格(支払意思額)の変化をみるとこととした。

3.2 アンケート調査の実施状況

アンケート調査の実施期間としては、本学における研究安全倫理審査の承認を得た後の 2 週間を確保した。本 PT メンバーが所属する企業の同僚及び知人に加え、本学在学生(1, 2 年生全員)をアンケート対象とし、最終的に 452 名の回答者数を得ることができた。

属性については表 4 の通りであった。表のように、年齢に関しては 20 代～60 代にわたってある程度バランスよく分布していると考えるが、性別に関しては男性比率が 8 割、職業の専門分野に関しては研究開発や新規事業企画/開発で約 8 割と偏っており、世の中の職業分布とは乖離しているものと考えられる。これは本 PT メンバーの所属企業や部署の特性に起因しており、それは回答にも少なからず影響していると考えるが、今回の分析では考慮しないこととする。

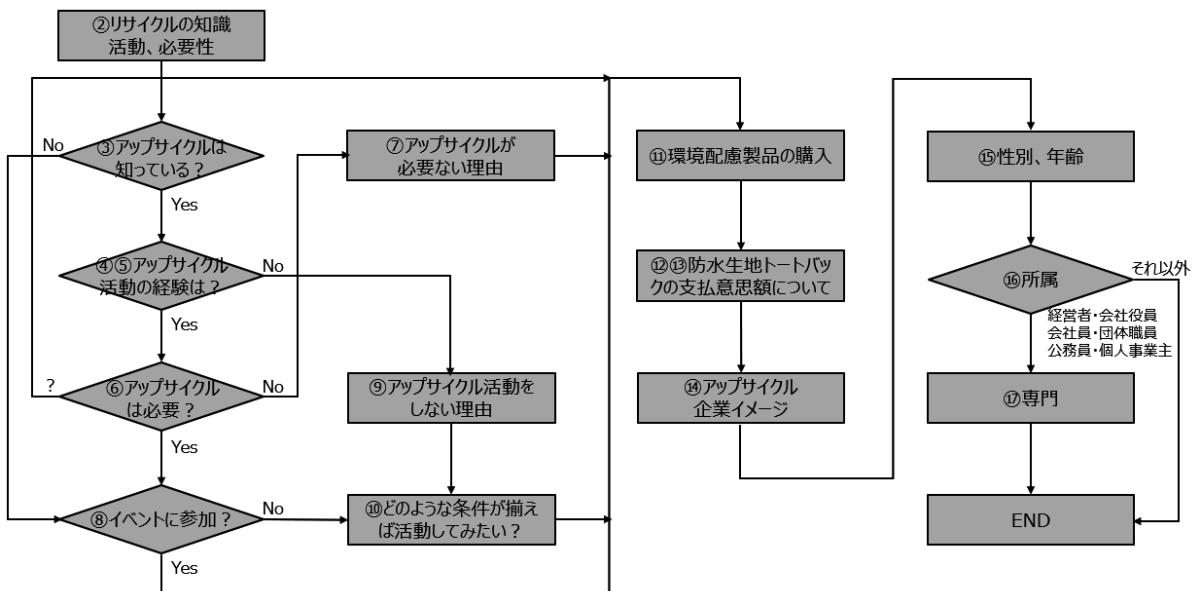


図 1: アンケート調査のフロー図

表 4: アンケート回答者の属性

性別	
男性	80.4%
女性	18.4%
回答なし	1.2%
年齢	
20 代	14.9%
30 代	29.0%
40 代	26.3%
50 代	25.2%
60 代	4.6%
所属	
会社員・団体職員	79.1%
本学学生	14.9%
他大学、専門学校生	3.7%
経営者、会社役員	1.8%
その他	0.5%
専門分野	
研究開発	69.6%
新規事業企画/開発	9.0%
情報・システム	5.4%
経営者・役員	3.2%
広報・マーケティング・営業	3.2%
人事・総務	3.0%
製造・生産	1.2%
法務	1.0%
経理・財務	1.0%
経営企画	1.0%
その他	2.4%

3.3 リサイクルとアップサイクルの実態把握

リサイクルの状況に関してアンケート調査した結果、認知度、実施度はそれぞれ 98.0%、93.5%であった。PET ボトルやアルミ缶の分別を行なっている人は 89.9%，更に資源回収して寄付するなどの積極的なリサイクル活動を行っている人は 10.7%にものぼった。

表 5: リサイクルとアップサイクルの実態把握

	リサイクル	アップサイクル
認知度	98.0%	45.7%
実施度	93.5%	7.8%

一方、アップサイクルの状況は、認知度、実施度はそれぞれ 45.7%，7.8%に留まる結果であった。表 5 のように、リサイクルと比較して認知度、実施度が非常に低いことが浮き彫り

となった。

3.4 アップサイクル活動を広げるために必要な条件

次に、アップサイクル自体は知っているがアップサイクル活動は未経験という人(113 名)を対象に、アップサイクル活動をしない理由について複数回答、及び自由記述してもらった。その結果を表 6 に示す。

最も多かった回答はアップサイクル活動の場がない(分からぬ)であり、51.8%にものぼった。その他、アップサイクルの方法が分からぬ(36.7%)、難しいと感じる(16.9%)、素材の入手、信頼性に課題を感じる(7.2%)、アップサイクル商品が身近にない(1.8%)などの回答結果から、アップサイクルを理解し、目にしたり体験したりする機会が少ないことが活動に結びつかない理由であることが推測できる。

表 6: アップサイクル活動をしない理由

対象: アップサイクルを知る活動未経験者(113 名)

アップサイクル活動をしない理由	割合
活動の場がない/分からぬから	51.8%
方法が分からぬから	36.7%
効率的メリットを感じないから(手間がかかる)	19.9%
難しいと感じるから	16.9%
経済的メリットを感じないから(コストがかかる)	14.5%
素材の入手、信頼性に課題を感じるから	7.2%
必要ないと思うから	6.6%
自宅、個人での活動に留まっている	3.6%
アップサイクルへの意識がない	3.6%
時間(機会)、関心等がない	2.4%
アップサイクル商品が身近にない	1.8%

表 7: アップサイクル活動への条件

対象: アップサイクル活動未経験(379 名)

アップサイクル活動への条件	割合
ポータルサイト等で商品やサービスが紹介されている	45.6%
作ったものを販売し金銭的利益を享受可能	38.0%
ポータルサイト等でヒントやコツが得られる	29.6%
作ったものが認証されるサービスを気軽に利用	25.3%
社会的価値、有用性、貢献度が理解できる	2.7%
インフラ、サービスが整っていて利用できる	2.7%
欲しいものが作れて、入手可能	2.4%
イベントなど、子どもと一緒に楽しめる	0.9%

また、アップサイクルを知っている、知らないに限らず、アップサイクル活動未経験という人(379 名)を対象に、アップサイクル活動を実施するのに必要な条件を複数回答、自由記

述してもらった結果を表 7 に示す。ポータルサイト等で商品やサービスが紹介されている(45.6%), ポータルサイト等でヒントやコツが得られる(29.6%), インフラ, サービスが整っていて利用できる(2.7%)などの回答結果から、アップサイクルの情報サイトや販売ルートなど、インフラ、サービスが整備されることにより、アップサイクル活動が広がっていく可能性が示唆される。このことは、表 6 にあるアップサイクル活動をしない理由に対する解決方法として合致していると考える。

3.5 アップサイクルの印象

アップサイクル自体を知らなかつた人に加え、知つていて実際に活動している人を対象(277名)に、アップサイクルのイベントがあつたら参加するかを質問したところ、有料でも参加したい、無料であれば参加したい、内容がよければ参加したいと回答した人は 66.8% であった。

また、アンケート対象者全員(452名)に対して、環境に配慮した商品とそうでない商品があつた場合どちらを購入するか質問したところ、多少高くても、或いは、値段が同じくらいであれば環境に配慮した商品を購入すると回答した人は 74.1% であった。更に、アップサイクル商品を上市している企業のイメージも質問したところ、とてもよいイメージ、まあよいイメージと回答した人は 69.7% であった。

つまり、前述のようにアップサイクルの認知度、実施度は非常に低いのだが、アップサイクルのイベントや環境配慮商品、企業に対しては好印象を抱いている人が 70% 前後いることが分かった。

アンケートでは、更に支払意思額の調査も行つてゐる。まず、防水生地で製作したトートバッグ商品の写真を見せて商品価格を回答してもらった結果、商品の平均価格は 668 円であった。その後、フェスなどのイベントで使われて不要となつた防水生地からトートバッグを製作したという情報を与えて再度商品価格を回答してもらった結果、平均価格は 747 円と 79 円の価格上昇が見られた。つまり、アップサイクル情報により 12% の支払意思額向上があつたことになる。

また、このアップサイクル情報に対する価格変化の内訳を見たところ、図 2 に示すように、10% の人が価格下落させたのに対し、68% の人はアップサイクル情報では価格を変えず、22% の人は価格上昇させていたことが分かった。従い、90% の人がアップサイクル商品を新品と同額かそれ以上の価格で購入する意思を持っていると言える。

以上のアンケート調査結果から、アップサイクルイベントや環境配慮商品・企業には 70% 程度の人が好印象を抱き、90% の人が新品と同額以上でアップサイクル商品を購入することが分かり、活動の場ややり方を情報サイトで提供し、高信頼性素材を継続的に提供するインフラ・サービスを整えることで、アップサイクルは認知度、実施度が向上し、リサイクルに並ぶ環境活動となり得ることが示唆された。

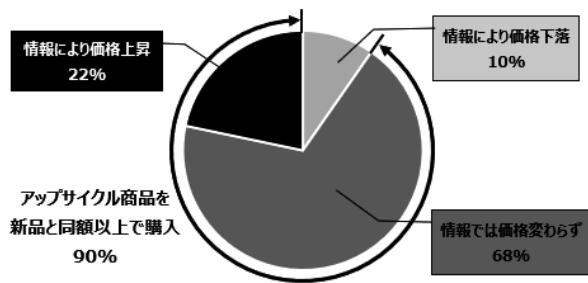


図 2: アンケート情報に対する価格変化の内訳

4 アップサイクル先行実施者へのヒヤリング

前章のアンケート調査に続き、アップサイクル活動を先行して実践している方々(以下、「アップサイクル先行実践者」という)へのヒヤリング行ない、日本におけるアップサイクル業界の課題を抽出することとした。なるべく幅広く実態把握を行うため、一連の業種の方々(廃材を回収している方、アップサイクル商品のデザインを行つてゐる方、商品を製作してゐる方、売り場や販売プラットフォームを提供してゐる方、アップサイクル活動を宣伝・情報発信してゐる方など)へのヒヤリングを実施した。表 8 にヒヤリング対象者を記す。

表 8: アップサイクル先行実践者におけるヒヤリング対象

業種	ヒヤリング対象者
廃材回収者	国崎クリーンセンター[10] 鈴木氏
デザイナー (兼商品製作)	CARTON[11] 島津氏
	SKETCH[12] 関根氏
	モンドデザイン[13] 堀池氏
	VVV-Craft[14] 坂井氏
商品製作	ケンエレファント[15] 中島氏
	TUMUGU[16] 土井氏
	UPCYCLE LAB[17] 小島氏
売り場提供者	そごう・西武[18] 薄井氏
宣伝・情報発信者	ハーチ[19] 富山氏

彼らとのヒヤリングにより、文献調査やアンケート調査では気がつくことのできなかつた課題が見えてきた。

具体的には、国崎クリーンセンターの鈴木氏からは、デザイナーの必要性や法律上クリアしなければならない廃材の取り扱い問題について、VVV-Craft の坂井氏からは、廃材の継続的収集やアップサイクルの認知度の低さについて、TUMUGU の土井氏からは、廃材の安定入手と保管場所の確保やアップサイクル商品のクオリティについて、UPCYCLE LAB の小島氏からは、中古品を素材に使用す

表 9: アップサイクル先行実践者とのヒヤリングから得られたアップサイクルの課題

		廃材入手ルートの安定確保	職人技術市場との連携	職人の減少	品質クオリティ	プロのデザイナー必要	デザイン性	ストーリー	ブランド	機能	保管場所	手間	販売価格の設定	使い手の意識の問題	製品の説明が必要	法律	アップサイクルの認知度	個人では難しい
廃材回収	鈴木氏					●		●	●						●	●		
デザイナー (商品製作)	島津氏						●							●	●	●		
	関根氏							●						●		●	●	
	中島氏	●			●			●							●	●	●	
	堀池氏	●	●	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●	●		
	坂井氏	●														●		
商品製作	土井氏	●			●		●	●					●	●	●			
	小島氏	●			●		●						●	●	●	●		
流通・小売	薄井氏	●	●		●	●							●					

ると安くしないといけない雰囲気をユーザーから感じる一方、廃材を素材として利用するために実際は相当の工数・手間がかかっていること。モンドデザインの堀池氏からは、品質維持に必要不可欠な技術力の高い職人の減少と、価格・機能・デザインを備える重要性について。ケンエレファントの中島氏からは、プロのデザイナー・職人・ストーリーはビジネス上必須ということ。どう・西武の薄井氏からは、学生レベルでは売れる製品にはならないこと、などが挙げられた。

表 9 に、彼らとのヒヤリングから得られたアップサイクルの課題を示す。ハッチング部分は多くのアップサイクル先行実践者が挙げた項目であり、使い手が欲しくなるようなストーリー、デザイン、ブランド、品質が形成され、それらを支える職人の関与が必要であること、またコストや廃材の安定供給に関連する法律の制定が課題として挙げられることがわかった。

5 プロデュース活動

本 PT では、アンケート調査結果で浮き彫りとなった低い認知度、実施度の向上という課題に加え、前章において明らかになったアップサイクル先行実践者が抱える課題に対して、図 3 に示す4つのプロデュース活動を通じて、大学発のアップサイクルムーブメントを起こすことで解決することを目指した。

1 つ目の活動は、座談会である。本 PT がハブとなりアップサイクル先行実践者をネットワーキングすることで、より広範な情報が彼らにインプットされることを目指した。これは、アップサイクル先行実践者とのヒヤリングにおいて、彼らのネットワークは非常に限定的であることが明らかになったこと、従い、「他の実践者がどのようなことを行っているか知りたいが情報量が少ない」という、彼らの課題解決を目指すものである。

2 つ目の活動は、ワークショップである。アップサイクルという活動を知つもらう機会としてワークショップを活用しているアップサイクル先行実践者は多い。しかし、コロナ禍において、これまでの対面型のワークショップを実施できていないこと、また、自身のスキル不足等によりワークショップのオンライン化を推し進められないでいるアップサイクル先行実践者がいることも前章のヒヤリングから明らかになった。そこで本 PT が本学の学生を対象にオンラインワークショップを実施し、そこで得た知見を彼らに座談会形式でフィードバックすることで、



図 3: 4 つのプロデュース活動図

彼らが今後自身のワークショップを実施する際にその知見を活かすことを期待した。

3つ目の活動は、メディア掲載である。本PTのアンケート調査から明らかになったように、アップサイクルは認知度、実施度の点で課題を抱えている。さらに、アップサイクル先行実践者は中小企業事業者が多いため、彼らが社会に働きかけることには限界がある。そこで、本PTがメディアに対して記事寄稿を行い、記事の中で彼らを紹介することで、間接的に彼らの活動の認知度やアップサイクル実施度向上に寄与することを目指した。

4つ目の活動は、コラボ商品企画である。繰り返しになるがアップサイクル先行実践者は中小企業事業者が多く、商品開発に割ける資源は限られている。本PTが彼らのものづくりに介在することで、アップサイクル先行実践者のレベルを引き上げ、ユーザーにとってより良い製品づくりを目指した。

以上の4つの活動が相互に寄与することで、大学発ムーブメントを引き起こすことを目指した。具体的な活動については以降の章にそれぞれ記す。

6 プロデュース活動(1) 座談会

消費者へのアンケート調査や、アップサイクル先行実践者とのヒヤリングを通じ、アップサイクルを広めていく上で、個々に活動しているアップサイクル先行実施者同士のネットワーキングが課題の1つであることが分かった。そこでアップサイクル先行実践者同士を引き合わせることによるシナジー効果を狙い、座談会を企画することとした。

目的の異なる座談会を2回実施しており、詳細については以下に記すとおりである。

6.1 座談会 1

1回目の座談会は、TUMUGUの土井氏(大阪府大阪市)、ゆずりばいちかわの石垣氏(千葉県市川市)を招き、オンライン会議システムであるZoomを利用してリモートで開催した。両者については表10に比較表として示す。

本座談会1では、学校備品、特にランドセルアップサイクルという共通項がある両者を座談会で引き合わせ、事業活動でのシナジーを創出することを企図した。また、以下のような項目を達成することにより、アップサイクル活動が広まっていくことを目的としている。

- 1) 両者がお互いにSNSなどで紹介し合う
- 2) 互いの商品を扱い合う
- 3) 工房に関する情報交換を行うことにより自社製品のクオリティアップにつなげる
- 4) 新しいアップサイクル製品の開発や共創などのコラボレーションにつなげる

表10: 座談会1に招いた2名の比較

	TUMUGU 土井氏	ゆずりばいちかわ 石垣氏
概要	オンラインショップにより学校備品のアップサイクル商品を販売	学生服リユースを元にした地域コミュニティビジネス
創業	2019年4月 ランドセルアップサイクルは2020年9月ごろから事業開始。	2018年5月 ランドセルアップサイクルの本格参入は2020年4月ごろから。
拠点、事業スタイル	大阪府大阪市にてビジネスを立ち上げ。アップサイクルの活動家の認知度も上げたいという思いもあり積極的なコラボ活動を実施。	「情報提供が出来る場所作り」を目指し、千葉県市川市のコミュニティビジネスとして学生服リユース事業を立ち上げ。家計の負担を軽減出来る「お下がり」をシステム化。
強み、こだわり	・自ら立ち上げたオンラインショップにてTUMUGU商品だけでなく、他のアップサイクルの活動家の商品をも扱う ・学校関係の知識や強い想い	・「店頭販売」へのこだわり ・革職人を抱える工房との連携 ・地域コミュニティの場として各種イベントやワークショップを開催
取り組むべき課題	・実店舗の出店(廃校活用) ・工房との連携、関係性構築、デザイン性	・メディア等を活用した認知度アップ ・取扱製品品目数の増加
共通点	・同年代、創業時期がほぼ一緒 ・ランドセルという共通のアイテムを取り扱っている ・音楽(TUMUGU: 楽器アップサイクル、石垣氏: 音大卒)	
相違点	・販売エリア 大阪と千葉 ・販売方法 オンラインショップと対面販売 ⇒エリアも販売方法も異なるため、顧客を取り合う心配がない。	

当初は上記2名の他、前述2)の「工房に関する情報交換を行って自社製品のクオリティアップに繋げる」を目的として、両者がそれぞれ連携している工房の方々も招待したが、日程の都合がつかず不参加となつた。

座談会1では以下に示す点が明らかになった。

- a) ランドセル加工について、(学用品を入れる)本体部分のうまい活用は両者にとって同じ課題であった。

- b) ランドセルのアップサイクルに対しては、「素材のストーリーや背景を大事にして、ランドセルへの想いを循環させる」という考えを両者がもっていた。また、土井氏が、ランドセルそのものが想起させるノスタルジーを重視する一方、石垣氏は、顧客の思い出を重視している。これが販売方法への違いに表れ、土井氏は主にオンライン販売、石垣氏は対面販売へつながっていることが確認できた。
- c) ランドセルの素材に使われる合成皮革は本革と特性が異なり、同じように扱えない。例えば、本革の場合は簡単に刻印できるが、合成皮革は素材の反発力により刻印が消失してしまう。この情報は、ランドセルアップサイクル品を多く手がけている石垣氏からの発言だが、土井氏にとっては今後の製品製作に参考となる情報共有であった。
- d) 石垣氏が、連携している工房が製作する商品をオンライン上で土井氏に紹介したこと、今後の TUMUGU 商品や工房との連携に関して新たに考えるきっかけとなった。
- e) 実店舗を持つ石垣氏からは、出店戦略について語っていただいた。土井氏は廃校を使った実店舗の出店を計画中であり、積極的な情報収集の機会となった。
- f) TV 番組等で取り上げられている土井氏から、認知度アップを狙っている石垣氏に対して SNS 等を活用した具体的なアドバイスがあった。

前述した座談会 1 の目的 1)~4) の 4 つの目的を掲げて両者を座談会で引き合せた結果、1)のお互いがネット上で紹介し合うことは、座談会後すぐに実施された(石垣氏は自社のブログに座談会について記事をアップ、土井氏は Instagram で石垣氏をフォローし石垣氏と繋がった)。また、目的 3)の工房に関する情報交換を行って自社製品のクオリティアップに繋げることに関しては、具体的な成果は見えていないが、今後の製品製作に大きなヒントを与えることができたと考えている。

一方、2) 互いの商品を扱い合う、及び 4) コラボして新しいアップサイクル製品や活動を行うことに関しては、本座談会後、最終成果発表までには達成に至らなかった。この理由として、初対面であったため親交を深めるには更なる時間と大学からのサポートが必要であったと考えている。

加えて、ゆずりばいちかわへの初回訪問時、石垣氏が「業者の方との繋がりは割と簡単にできるが、お客様とつながることが非常に難しい」と話していた。従って、アップサイクルを広げるためには、アップサイクル先行実践者同士を引き合わせて新たなシナジー効果を狙うと共に、アップサイクル先行実践者と顧客との接点を増やすための仕組みづくりが重要であると考える。本座談会 1 を通して、顧客との接点の場をいかに設けるかが課題として浮き彫りとなった。

6.2 座談会 2

2 つ目の座談会は、アップサイクルのワークショップを精力的に行っている VVV-Craft(ヴィークラフト)の坂井氏を招き、Zoom を利用してリモートで開催した。坂井氏の概要は、表 11 に示すとおりである。

表 11: 座談会 2 に招いたワークショップ先行実践者概要

先行実践者	VVV-Craft(ヴィークラフト) 坂井氏
ワークショップ開催と創業	<ul style="list-style-type: none"> ・2011 年 8 月に大阪府箕面市でキャンディーラッパークラフト(※)のワークショップを開催。 ・2011 年 12 月には大阪府箕面市後援の小学生冬休み教室を開催。 ・2012 年 10 月に VVV-Craft(ヴィークラフト)を創業。 ※キャンディーやチョコレートなどのお菓子の包み紙を使った手芸工芸品のこと。
強み	<ul style="list-style-type: none"> ・自身でデザインができる ・大手企業とのコラボレーション(人脈の保有) ・長年の対面ワークショップ経験
課題	<ul style="list-style-type: none"> ・オンラインを活用したワークショップの開催。

本 PT が実施したアンケート調査結果(表 6, 7)から、アップサイクル活動を広げていくには、一般の方々がアップサイクル商品を目にしたり、実際に触れてみたり体験したりする機会を増やすことが必要であることが判明している。また、新型コロナウイルスの感染拡大という社会背景や、テクノロジーの進化も加わったこともあり、本 PT ではワークショップのオンライン化を進めることで活動の場を広げ、誰もがどこにいても活動に参加できる機会を作ることが必要だと考えている。その一方で、アップサイクル先行実践者へのヒヤリングからは、彼らが積極的にオンラインワークショップを実施しているという意見は出ておらず、本座談会 2 では、その理由(彼らの抱える課題)を見出すことを主目的とした。また、本 PT が事前にオンラインワークショップを実施し、そこで得た知見をフィードバックして彼らのワークショップのオンライン化を後押しすることを副目的とし、本座談会 2 を実施した。

当初、坂井氏の他、ペパ鉛筆でアップサイクルのワークショップを積極的に行っている NPO 法人ペパの加来氏にも参加を呼びかけたが、日程が合わず、坂井氏のみの参加となった。そこで、加来氏には事前に本 PT のワークショップ動画(後述)を見てもらい、意見・感想を伺った上で、坂井氏との内容共有を図ることとした。また、ペパ太郎のキャラクター作りから動画制作を行った PT メンバー(Yuan)からもオンラインワ

ークショップで工夫した点を説明した。以下に、本座談会 2 での意見交換の内容を記す。

- a) 本 PT がオンラインで行ったワークショップを紹介し、アップサイクル先行実践者からの意見をいただいた。結論として、オンラインワークショップで見せる動画は楽しいものであることが重要だと、坂井氏、加来氏からコメントがあった。
- b) オンラインワークショップへの評価に関しては、両者の意見が割れた。加来氏は手間がかかるという意見であったが、坂井氏は準備の手間はリアルで行うワークショップでも同じであるが、一度動画を作れば何度も使えることを考慮すると動画だから手間がかかるとは言い切れないという意見であった。一方、動画視聴者の成果がわかりづらい、参加者のフォローアップが難しいという認識は両者一致していた。
- c) 坂井氏は、今後企業と共同でオンラインワークショップを予定しているようで、本 PT のオンラインワークショップの結果に関して強い興味を持ったようであった。

新型コロナウイルスの感染拡大という社会背景の中で、ワークショップのオンライン化の必要性をアップサイクル先行実践者も強く感じている一方で、オンラインで実施する上では以下に挙げる課題を感じ、それらを自ら解決していくのは困難と考えていることが本座談会 2 により浮き彫りとなった。

- i) 動画制作するためのスキルセットの問題
- ii) ワークショップ参加者への個々のフォローアップをどのように行なっていくか(対面では、巡回等により各参加者を充分にフォローアップできていた)

アップサイクルを身近に感じてもらうには、ワークショップは非常に有効な手段である。そのため、場所の制限を受けることのないオンラインでの実施を可能とするためには、先行実践者が抱える物理的・心理的障壁を取り除くか、そのためのしくみづくりがムーブメントにつなげる上で課題となることが分かった。

なお、本座談会 2 を実施するにあたり、本 PT ではオンラインワークショップを実施し、子どもたちでも楽しめるようにペパ太郎というキャラクターを設定して動画撮影を行っている。詳細については、次章のワークショップに記す。

7 プロデュース活動(2) ワークショップ

7.1 ワークショップとそのオンライン化の意義、目的

アップサイクルが一般の方々に広がり、身近なものになるためには、アンケート調査結果の表 6, 7 に示すように、アップサイクル商品を目にしたり、実際に触れたり体験したりする機会が重要であることが分かっている。また前述のように、ア

ップサイクルイベントには有料でも参加したい、無料であれば参加したい、内容がよければ参加したいと回答した人は 66.8%にものぼることから、アップサイクルの認知度、実施度の向上にはワークショップが非常に有効的な手段の 1 つであると言える。更にそれをオンラインで実施することは、新型コロナウイルスの感染リスクを低減できるだけでなく、活動の場が広がり、誰もがどこにいても活動に参加できる機会を得ることになることから、ムーブメントに繋がりやすいと考える。

そこで本 PT では、前出の NPO 法人ペパの協力のもと、本学の在学生、及びその家族・友人を対象としたワークショップのオンライン化にトライすることとした。ワークショップ実施の目的は以下の通りである。

- 1) 本ワークショップを通じて、家族や友人とコミュニケーションを深めてもらう。
- 2) 身近にある素材を使い、だれでも簡単にアップサイクルできることを知ってもらう。
- 3) しかしながら、デザイナーや職人など「プロ」が介在しないと、商品価値(販売金額やブランド力等)を高めるのは困難であると認識してもらう。
- 4) 更に、ワークショップ後にアンケート調査を実施することで課題抽出を行う。

7.2 オンラインワークショップの準備

まずワークショップで用いる材料として、複数の候補がある中から NPO 法人ペパが販売している「ペパ鉛筆」[20]を採用することとした。鉛筆用の芯を同法人から入手し、不要となった新聞紙などの古紙を巻き付けることで、自分に合ったデザイン、太さの鉛筆を作製することができる。子どもからお年寄りまでが楽しく容易に作れ、更に実用的であるためワークショップ後にも活用される(つまり、ダウンサイクルにならない)可能性が高い、という観点から採用を決定している。

またオンラインワークショップの開催方法として、計画当初はライブ配信を考えていた。ライブ配信とすることで、質問に対する応対など対面に近いスタイルでのワークショップが可能となる。しかし、実施時期が年始年末であったこともあり、配信日時によっては参加者が激減してしまう可能性があった。そこで本 PT では、YouTube[21]を活用したオンデマンド配信によるオンラインワークショップとすることとした。

オンデマンド配信用の動画は、Bytedance 社の動画編集アプリ CAPCUT[22]を活用して 2 本制作した。1 本はアップサイクルに馴染みのないワークショップ参加者のためにアップサイクルを簡単に説明したもの(図 4):4 分 3 秒[23]であり、もう 1 本はペパ鉛筆の製作方法を説明したもの(図 5):3 分 47 秒[24]である。2 本とも、小さい子どもでも簡単に楽しく見られるように「ペパ太郎」というキャラクターを作って動画を作成した。前者に関しては、子どもとのコミュニケーションを促

進する効果(ワークショップの目的 2)を狙い、意図的に一部に学術的なアプローチを導入した。後者に関しては、一度動



図 4: ペパ太郎と学ぶアップサイクルの動画外観[23]



図 5: ペパ太郎と作るペパ鉛筆の動画外観[24]

ペパ太郎と作ってみよう ペパ鉛筆！
身近にアップサイクルを体験する 約30分

あのペパ太郎くんをなんと！越水PBLではお招きすることができました。ぜひ、ペパ太郎くんと一緒にペパ鉛筆を作ってみませんか？

【参加方法】
参加希望者は申し込みフォームに学修番号と名前を入力して送信してください。
当ホームページにあるアップサイクルワークショップのお申込みはこちらからの「こちら」をクリック

【鉛筆材料キット申し込み締切日】
2020年12月13日（日） 23:00迄
後日、教務学生入試係から大学へ登録した住所にキットを大学院の封筒で郵送します。

【動画配信日】
2020年12月21日（月）から
動画配信日になりましたら、ペパ太郎動画はこちらからの「こちら」をクリックしてください。
アップサイクルについて…約5分
ペパ太郎によるペパ鉛筆製作 体験動画 約4分
※製作時間は個人によりますが、初めて作る方は30～40分かかります。

作り終わったらアンケートのご協力もお願いします！
アンケートの回答、ペパコンテストの申込みはこちらからの「こちら」をクリック

その他詳細は学内メールをご覧ください。

本イベントに関する問い合わせ先：
東京都立産業技術大学院大学
越水 重臣 koshi@ait.ac.jp

同時開催 【素敵な商品が当たる！ペパコンテスト】
ペパコンテスト申し込み希望者は、写真をURLへ投稿してください。
4Qにて大賞を発表します。
締切期限：2021年1月21日（木）23:00迄

図 6: オンラインワークショップのランディングページ



図 7: 夢工房でのペパ鉛筆部材同封作業時の写真

画を通して見ることで簡単に流れが掴め、巻き戻して工程毎に動画を止めながら作製していくことで、分かりやすくペパ鉛筆を作ることができるようにした。

次に、本学在学生全員を対象にメールにてワークショップ参加者を募集した。この際、参加者が作ったペパ鉛筆の写真を投稿してもらうことで、アップサイクル商品が当たる「ペパコンテスト」を開催することを告知して参加促進を行った。図 6 にそのランディングページを示す。中間発表時のワークショップ開催の告知効果もあったのか、30 名のワークショップ参加者を募ることができた。そこで、ワークショップで使用するペパ鉛筆部材(鉛筆芯:数本、大学図書館で不要となった英字新聞:数枚)を不要となった大学封筒に同封して参加者に郵送した。図 7 に、夢工房にて同封作業を行なった際の写真を示す。

「ペパコンテスト」における賞品としてのアップサイクル商品は、アップサイクル先行実践者に寄付いただくなどして計 3 点用意することができた。アップサイクル先行実践者から寄付いただいたのは 2 点であり、UPCYCLE LAB の小島氏:消防ホースのショルダートートバッグ[25]、VVV-Craft の坂井氏:包装フィルムのフォトフレーム/コースター/キーホルダー[14]である。もう 1 点は、越水研究室で研究材料として購入した Coco&K:アルミジュースパックのトートバッグに景品として付いていたポーチ[26]である。上記 3 点を用いて、大賞、越水賞、田部井賞の 3 つの賞を設けた。図 8 に賞品として使用したアップサイクル商品の外観を示す。



図 8: 賞品として使用したアップサイクル商品外観

「ペパコンテスト」の申し込み際には、完成したペパ鉛筆の写真を送付してもらう傍ら、簡単なアンケートに回答してもらうことでワークショップの課題抽出も実施することとした。アンケート内容は以下の通りである。

- Q1) ワークショップへは誰と参加したか
- Q2) ワークショップの満足度
- Q3) このようなワークショップがあれば、また参加するか
- Q4) ワークショップに参加した感想

7.3 オンラインワークショップの実施

制作した 2 本の動画は、ペパ鉛筆部材が参加者の自宅に届く頃合いをみてオンデマンド配信を開始し、年始年末を挟んで約 1 ヶ月間を目処にオンラインワークショップと「ペパコンテスト」への参加、及びアンケート回答を依頼した。

オンラインワークショップの参加者 30 名の中から、「ペパコ



図 9: 「ペパ大賞授賞式」の動画外観



図 10: ペパ大賞(左), 越水賞(中), 田部井賞(右)の作品

ンテスト」へは 15 名が応募し、それぞれ個性的な写真が投稿された。本 PT メンバーと教員により、それら応募写真の中からペパ鉛筆がより美しく製作できているものを大賞、越水賞、田部井賞として公正に厳選した。各賞は、CAPCUT で制作した「ペパ大賞授賞式」動画を用いて、最終成果発表会のプレゼンの中に発表を行なった。図 9 に「ペパ大賞授賞式」の動画外観、図 10 に各賞に輝いた作品の外観を示す。

7.4 アンケート集計結果とオンラインワークショップ課題

まず、アンケートの Q1)誰と参加したかに関しては、オンラインワークショップに参加した 15 名の内、66.7%は応募者のみ参加であり、残りの 1/3 に当たる 33.3%は家族や友人と一緒に参加していた。Q4 の感想には、「妻と 2 人で参加し、手を動かしながら会話が弾んだ」などとあり、本ワークショップの目的 1)の本ワークショップを通じて家族や友人とコミュニケーションを深めてもらうことはある程度できたと考える。

アンケートの Q2)ワークショップの満足度に関しては、ペパ鉛筆製作説明動画以外では殆どの参加者がとても満足、満足であった。しかし、ペパ鉛筆製作説明動画においては、73.3%がとても満足、満足としているのに対して、26.7%が不満と回答した。Q4 の感想には、「製作説明動画が早い」「作る上での注意点が欲しかった」「動画だけでなくスクリプトもあると良かった」などのコメントがあった。オンデマンド配信によるワークショップでは、ライブ配信と異なり対面での応対が出来ないため、動画の中で説明を繰り返す部分を作る、或いは補助の説明書を準備するなど、更に分かりやすく説明する工夫が必要であることが分かった(本ワークショップの目的 3)。

アンケートの Q3)このようなワークショップがあればまた参加するかに関しては、図 11 のように、ぜひ参加したい、参加したいと回答した人が 86.7%であった。Q4 の感想には、「楽しかった」「今回のような試みから少しでも環境問題に貢献できればと思った」「実際に作ってみて応用したくなつた」「普通の鉛筆と違い自分でアレンジできることが面白い、製作する人によってアイデアが異なるのが面白い発見であった」などあり、本ワークショップの目的 2)の身近にある素材を使い、だれでも簡単にアップサイクルできることを知つてもらうことができたと考える。

しかしながら Q4 の感想には、「上手く作るのは大変だと感じた」「一見単純だが、巻く、削るにかなり苦戦した」「製作は難しく、なかなか鉛筆削りで削れるほどの代物にならなかつた」「プロの手でどのような仕上がりになるのか楽しみ」などあり、本ワークショップの目的 3)のプロが介在しないとなかなか商品価値を出すのは困難であることも認識できたと考える。

上記のように、ペパ鉛筆の製作説明動画には更に分かりやすく説明するところに課題があるが、本ワークショップの目的 1)~4)は思惑通り達成することができたと考える。また、こ

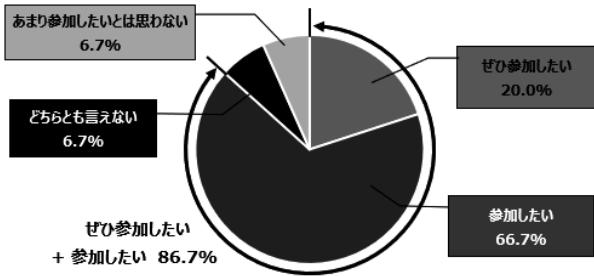


図 11: Q3)このようなワークショップがあれば、
また参加するかの集計結果

のようなワークショップがあれば参加したいと多くの参加者が感じ、アップサイクル説明動画、ペバ鉛筆製作説明動画ともに多くの「いいね」を獲得できたことから、本ワークショップの開催によりムーブメントへのきっかけができたものと考える。

8 プロデュース活動(3) メディア掲載

8.1 メディア掲載の目的

アップサイクルのムーブメントを起こすためには、アンケート調査から判明した低い認知度を向上させる必要があり、そのためには一般の方への情報拡散が必要と考えた。しかし、本 PT が単独でできることは限られているため、メディア業界に協力を求め、彼らのメディア媒体を通じて、より多くの方にアップサイクルについて知つてもらう機会を提供することを目指した。

8.2 掲載内容の二軸

掲載内容については、1)定義や条件リスト等を使ったアップサイクルについての解説、2)アップサイクル先行実践者の紹介の 2 点を主軸に行うこととした。その理由としては、前者については、本 PT が行ったアンケート調査からも明らかになったアップサイクルの認知度の低さや、アンケート回答者の 7.2%が「(アップサイクル製品に対する)信頼性に課題を感じている」ことに加え、「質の低い製品がアップサイクル製品として出回っている」という趣旨のコメントが複数のアップサイクル先行実践者から発せられたことがある。まずは正確な情報を伝え、アップサイクルへの正しい理解を促す必要があると考えたからである。また、後者については、アンケート調査から「アップサイクル製品が身近にない」、「目にしたり体験したりする機会が少ない」ことも課題であることが明らかとなつたため、実際にアップサイクル先行実践者の活動や彼らの考えを伝えることで一般の方々がアップサイクルを身近に感じ、ムーブメントにつながることを期待した。

8.3 掲載メディア選定

メディアの選定については、当初より WEB 媒体を想定し

た。その選定に際しては、表 12 に示した 3 つの点を重視した。その理由として、1)については、本 PT は「アップサイクルを根付かせるためにムーブメントを起こすこと」を目指しており、そのためには必要な知識を普遍的価値として提供できる媒体を考える必要があったからである。2)については、例えばテレビや新聞・雑誌といった媒体は、放送の時間枠や紙面という制約があり、情報の取捨選択が行われ正しく伝わらない可能性があると考えたからである。3)については、ユーザーが必要としているときに必要な情報を提供することで、印象に残りやすくすることを企図したためである。

表 12: メディア選定指針

1)	一過性でないこと
2)	掲載時の情報量に制約がないこと
3)	ユーザーの必要なときに情報が提供されること

まず、「アップサイクル」という言葉を google 検索してみたところ、辞書サービスの用語解説が 1 番目に、そして、サーキュラー・エコノミーやソーシャル・グッドといった内容に特化した「IDEAS FOR GOOD」[27]というサイトが 2 番目に結果表示された。そこで、本 PT はこのサイトを「影響力のあるサイト」の一つとして掲載を目的に同社にアプローチを行ったところ、協力的な回答を得ることができたため、同社編集者の富山氏(以下、「編集者」という)との打ち合わせを行うことで寄稿記事の掲載に快諾を得ることができた。

同サイト以外にもエシカル消費などに特化した某サイトなどにコンタクトを取ったが、返事がなかつたり、商用利用のためか掲載料が高価であることが判明したため、他サイトでの掲載は見送ることとした。

8.4 掲載先「IDEAS FOR GOOD」とは

次に、本 PT の記事寄稿を快諾いただいた株式会社ハーチの運営する「IDEAS FOR GOOD(以下、「同サイト」という)」について記す(図 12)。

同社は、「インターネットやコンテンツの力を活かして社会がもっとよくなる仕組みが作りたい」という想いを持つ代表取締役の加藤氏と仲間によって、2015 年 12 月に創業された企業である。WEB のメディア運営やマーケティングを事業としており、本社は東京に置いている。同社が運営する同サイトのコンセプトは「社会をもっとよくするアイデアを集めたウェブマガジン」であり、掲載される記事の内容は、同社によると「世界を大きく変える可能性を秘めた最先端のテクノロジーから、人々の心を動かす広告やデザインにいたるまで、世界中に散らばる素敵なアイデアを配信しています」[28]とのことである。

編集者との打ち合わせを通じて、目指す方向性が本 PT と

合致していることに加え、同社にとっても「大学院大学からの寄稿」はサイトのプレゼンスが向上するというメリットもあったようだ。

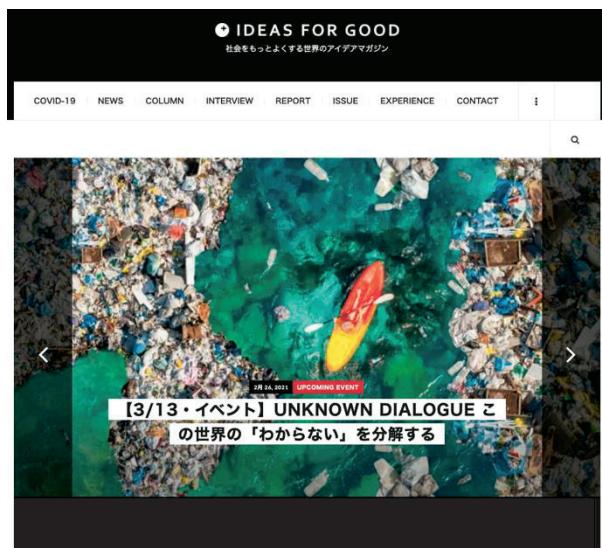


図 12: IDEAS FOR GOOD トップページ外観

8.5 用語集の編集

まず、同サイトの既存コンテンツである「用語集-アップサイクル」[29]の再編集から着手することとした。

このページは、検索サイト google において「アップサイクル」の単語検索結果で上位 2 番目に表示されるページであり、その言葉を見聞きした方が興味をもって流入してくるサイトである。いわばアップサイクル初心者に対して、アップサイクルの魅力や正しい情報などを提供することが可能なページである。編集者もコンテンツの充実を希望していたこともあり、本 PT が本ページの監修を行うことから同社との協力関係がスタートした。

編集前は、500 字程度で用語の解説が書いているだけのページであったが、本 PT が監修を行い、用語の説明は勿論のこと、アップサイクルの歴史や、本 PT が実施したアンケート調査結果、アップサイクルを取り巻く日本の環境などについて、表 13 に掲げる先行実践者の紹介なども織り交ぜながらアップサイクルについて網羅的に解説しているページに改変した。また、複数のアップサイクル先行実践者の協力を得て、廃棄物から製品の原材料に変わる様子の画像や、彼らの製品画像なども掲載し、「見て」楽しめるページとした。

サイト編集者によると、2020 年 11 月 4 日の掲載開始からの PV 数について、編集前 2 ヶ月間の月平均と編集後の月平均(年始年末がある 12/4-1/3 を抜いた 11/4-3/3)を比較すると、掲載後の PV 数が 44.8% 向上したことが分かった(表 14)。この PV 数の急激な向上は、環境に対する社会の関心度が増していることに加え、本 PT が上記のようなページの充実化をはかった結果と考えている。

表 13: 用語集に加筆した先行実践者の活動事例

対象者	活動事例
そごう・西武	アップサイクルを通じた百貨店所在地域との協業
VVV-Craft	アップサイクルワークショップを通じた知育活動
SEAL(モンドデザイン)	廃材を素材に変える工程の説明、日本の職人とアップサイクルの関係性
UPCYCLE LAB	アップサイクル実践者のアイデアを形にする工房の存在
BEAMS COUTURE[30]	ファッション業界における事例
Rename[31]	
赤レンガ倉庫 (横浜市)	建築業界における事例

表 14: 用語集の PV 数の推移

期間	PV 数	月平均 PV 数
9/3-11/3(2 ヶ月間)	2,648	1,324
11/4-12/3	1,979	1,917
12/4-1/3	970	(ただし年末年始がある 12/4-1/3 を抜く)
1/4-2/3	1,877	
2/4-3/3	1,896	

8.6 寄稿記事と反響

用語集に続き、4 本の寄稿記事の掲載を目指し、表 15 に示す記事の寄稿を行った。

表 15: 寄稿記事一覧

対象者	記事テーマ	ステータス
CARTON: 島津氏	ダンボールアート ワークショップ	2020 年 12 月 10 日 公開済
VVV-Craft: 坂井氏	ワークショップ 廃プラスチック 削減	2021 年 2 月 28 日 公開済(用語集への 追記公開)
ゆづりばいちかわ: 石垣氏	コミュニティのア ップサイクル ランドセルアッ プサイクル	2021 年 3 月 6 日公 開済
中央美術学院: 羅氏(中国)	廃棄自転車の アップサイクル	2021 年 5 月 21 日 公開済

最初に掲載された記事は、2020 年 12 月 10 日付「不要なモノに価値を。旅するダンボールアーティストが伝えたいこ

と」[32]と題した CARTON 島津氏へのインタビュー記事である(図 13)。編集者によると、この記事の反響としては「コメントつきシェアが多い」ことが特徴とのことであった。島津氏から提供された画像は、ただシェアするだけではなく読者が一言付け加えたくなるような、色とりどりで美しいダンボールであつたことが奏功していると考えられる。PV 数については 2021 年 1 月時点では 637 であったが、3 月時点では 811 と着実に数値を伸ばしており、同社の PV 数の参考基準に照らし合わせると「よく読まれている記事」といって良いと編集者から評価されている。2021 年 6 月 30 日時点での累計 PV 数は、1,639 となっている。また、PV 数の推移の考察は次節にて述べる。



図 13: CARTON 島津氏の掲載記事[32]

続いて掲載された記事は、VVV-Craft 坂井氏のワークショップについてである。この記事は当初、他の記事同様インタビュー記事を想定していたが、インタビュー記事(続々と更新されるフロー記事)として掲載するよりは、固定的な記事(用語集のようなインデックス化された記事)に掲載した方が良いという編集者からの提案を受け、本 PT との数度に渡る意見交換を経て、坂井氏が行うワークショップ部分を用語集に組み込む形をとった。なお、こちらの記事については、用語集と一緒になすものであるので、PV 数等については前述の表 14「用語集の PV 数の推移」を参照されたい。

続く 2021 年 3 月 6 日には「孤立化していく地域コミュニティに挑む、ランドセルのアップサイクル『ゆずりばいちかわ』」[33]と題した、千葉県市川市で学生服のリユース事業を行うゆずりばいちかわ石垣氏の取材記事の掲載が開始された(図 14)。前述の通り、ゆずりばいちかわは学生服のリユースを事業の中核としながら、実態としては地域のコミュニティをアップサイクルしている事業体である。

この記事の PV 数は、3 月 6 日の公開から 5 日間で 413 となり、前述の島津氏の記事を上回った。なお、本記事 PV 数推移についても島津氏の記事同様に次節にて詳細を記述するが、2021 年 6 月 30 日時点での累計 PV 数は 946 となっている。読者からは「今の世の中は便利になったことが



図 14: ゆずりばいちかわ石垣氏の掲載記事[33]

今の世の中は便利になったことが多い反面、地域の希薄化、孤独化が進んでいる。

心の拠り所、必要な繋がり、情報、ものを気軽に作っていける場所があるのは大事だよね。

「ゆずりばいちかわ」@yuzuriba_ickw のような場所が増えてほしいよね。

[@IDEAS_4_GOOD](https://ideasforgood.jp/2021/03/06/yuz...) より

図 15: 読者の反響1[34]

このモデルめちゃくちゃいい！

ランドセルのアップサイクルだけでなく、地域の中で資源が循環していて、かつコミュニティづくりや地域の課題解決にも繋がってる。

孤立化していく地域コミュニティに挑む、ランドセルのアップサイクル「ゆずりばいちかわ」
[@IDEAS_4_GOOD](https://ideasforgood.jp/2021/03/06/yuz...) より

図 16: 読者の反響 2[35]

多い反面、地域の希薄化、孤独化が進んでいる。心の拠り所、必要な繋がり、情報、ものを気軽に作っていける場所があるのは大事だよね。「ゆずりばいちかわ」@yuzuriba_ickw のような場所が増えてほしいよね。」[34]といった声や(図 15)、「このモデルめちゃくちゃいい！ランドセルのアップサイクルだけでなく、地域の中で資源が循環していて、かつコミュニティづくりや地域の課題解決にも繋がっている。」[35]のような反響の声を頂いている(図 16)。

続いて 2021 年 5 月 21 に掲載されたのが、「廃棄自転車をてんとう虫図書館に変えた、中国のアップサイクル」[36]と題した中国シェアサイクルについての記事である(図 17)。こちらは、PT メンバーである中国からの留学生が中心となって執筆した記事であり、中国で問題となっている行き場をなくした廃棄シェアサイクル問題を、アップサイクルによって解決を目指す羅教授の紹介である。



図 17: 中国自転車アップサイクルの掲載記事[36]

この問題は、数年前に話題になったものであるが、2021年4月24日に、アリババが出資した自転車シェアリング最大手の「哈囉出行(Hello Global)」が、米国NASDAQに上場[37]すべく、IPO目論見書を提出したことにより、再び脚光を浴びている話題である。PV数については、初月505となり、2021年6月30日時点では累計651である。

8.7 掲載記事のPV数の推移

寄稿記事は、PTメンバーが執筆した原稿を編集者が校正をかけ、ときにはほぼ全文を書き換え、ときには論点について侃侃諤諤とした議論を経て、校正には相当の労力を投入した。その結果が「よく読まれています」という編集者のコメントに繋がり、読者の方にも満足していただける記事内容になったのではないかと考えている。

図18に、3本の記事の掲載開始からの月数に対するPV数推移を示す。図のように、3本の記事とも掲載初月には500~600程度のPV数があり、掲載開始の2ヶ月目から(少なくとも7か月程度まで)は100~200程度に落ち着く傾向があることが分かる。従い、各記事の累計PV数推移は、図19に示すように、500~600程度の切片を持ち、ひと月当たり100~200の直線的な増加傾向があることが分かる。このような傾向が現れる理由として、掲載記事は常に新しい情報が同サイトのトップページに掲載されるようになっているフロー記事であり、サイト上の目に付きやすい箇所に表示される掲載初月が一番高くなり、徐々にPV数をさげていくものの、ロングテールなコンテンツとして同サイトのアクセスを支える存在となっているためと考える。また、ちょっとしたきっかけでまた注目を集め、その月のPV数が上がるということを繰り返していくようである。

掲載期間が長い島津氏の記事もその例に倣っており、掲載開始5ヶ月目のPV数が掲載初月に次ぐPV数を獲得している。これは後述の三菱地所本社での展示が始まったことにより、展示を見た同社社員のアクセスが増えたことがPV数增加寄与したと考えられる。同じく同展示で掲載された石垣氏の数値は、展示開始が2ヶ月目ということもあり断定はできないが、4ヶ月目にPV数が半減していることを考えると、展示期間に展示を見た方からのアクセスが一定数あったものと

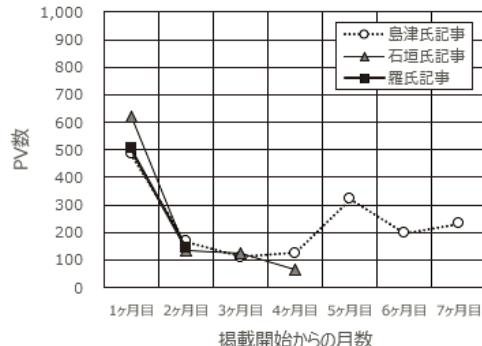


図 18: 掲載開始からの月数に対する PV 数推移

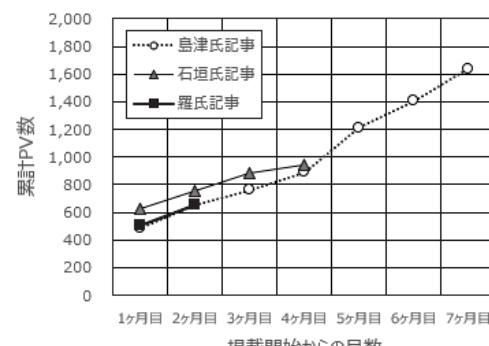


図 19: 各記事の累計 PV 数推移

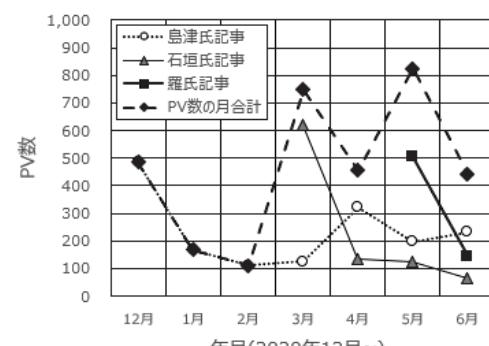


図 20: 掲載月における PV 数、合計 PV 数推移

推測している。

次に、実際の掲載月における各記事の PV 数、および 3 本の記事の合計 PV 数推移を図 20 に示す。前述のように、島津氏、石垣氏、羅氏の記事はそれぞれ 2020 年 12 月、2021 年 3 月および 5 月に掲載を開始している。各記事の PV 数は初月が多く、2ヶ月目以降は落ち着いてロングテールの形を示すのだが、図のように、複数の記事を 2ヶ月程度の間隔で連続して掲載していくことにより、PV 数の月合計を 500~700 程度に維持できていることが分かる。本 PT の目的である「アップサイクルを根付かせるためにムーブメントを起こすため」には、継続的に新たな情報発信が必要であることが明らかとなった。

最後に参考として、同社における取材記事の PV 値とその評価について、表 16 に示す。月間の PV 数ランク 10 位に入るラインが 1,000 程度であり、700 を超える記事は「よく

読まれている」という評価となるようである。

表 16: IDEAS FOR GOOD における
取材記事の参考基準(PV 数)

PV 数	ステータス
10,000～20,000	月に1～2記事
2,000～5,000	月間ランキング 5 位以内
1,000～2,000	同 5～10 位
700	よく読まれている

8.8 メディア掲載から生まれるムーブメントの兆し

記事掲載活動をきっかけとして、新しいムーブメントの兆しが生まれた。記事掲載元の株式会社ハーチが三菱地所株式会社とコラボレーションし、オフィス空間を活用した展示コーナー「IDEAS FOR GOOD Museum in MEC」をオープン[38]させることになり、そこに本 PT が記事寄稿したアップサイクル実践者を紹介したいと編集者から連絡があった。

これは世界中のサステナブルな製品を手に取り「体験」できる展示コーナーを三菱地所本社に設置するというものであり、同社本社の PERCH(パーチ)というエリアに設置するということであった。PERCH には執務に必要な文具類や、休憩のためのスナック、お土産などが置かれており、社員が少し休憩するときに立ち寄れる場所である。そのエリアを活用し



図 21: CARTON 島津氏の紹介、製品展示の様子



図 22: ゆずりばいちかわ石垣氏の紹介、製品展示の様子



図 23: tumugu 土井氏の製品展示の様子

て展示を行うことで、仕事の合間に展示を見ることができ、また仕事に戻る際にインスピレーションを持って帰ってもらうということを目指しているという。

このような展示形態であるため、これまで彼らの製品を知らなかつた人たちの目に留まるだけでなく、実際に彼らの製品を手にとることができる為、より強い印象を残すことができる。さらに、検索行為を伴わない為、これまで興味がなかった方にも知って頂く機会につながり、本 PT で課題として挙げたアップサイクルの認知度向上に大きくつながるものであると考えている。

当初、島津氏(図 21)および石垣氏(図 22)の製品展示を行っていたが、実際の展示には tumugu 土井氏の製品(図 23)も含まれていたため、本 PT との関連のあるアップサイクル実践者としては 3 名の製品が展示されたことになる。

株式会社ハーチによると、今後このような企業とコラボレーションした企画展を継続して行うことである。この活動を通じて新たにアップサイクルについて知る人が増え、アップサイクルの認知度が更に向上することに期待したい。

9 プロデュース活動(4) コラボ商品企画

9.1 コラボ商品企画のポイント

次に、アップサイクル先行実践者と本 PT とのコラボレーションで行った新規商品企画について記す。本 PT では、コラボ商品を企画するにあたり、以下の条件を満たすことが重要と考えた。

- 1) しっかりと役目を終え、使い道が全く無くなった製品だが、素材として活用できる残存特性(機能)があること。
- 2) ビジネス性を考慮するため、毎年、継続的に廃棄されていること。
- 3) アップサイクルにより、デザイン・ストーリー(想い)を付加することで、大切にされる新商品へと蘇らせることができる。

本 PT では様々なアップサイクル商品が検討されたが、最終的に家庭で廃棄されるランドセルにフォーカスすることとした。日本で消費されるランドセルは、製品としては 6 年で確実に役目を終えるが、日本製ランドセルは合成皮革としての強靭性が残存しており、毎年のように継続廃棄されている。

コラボレーション先としては、本革工房「ハンズトラスト」[39]とうまく連携し高い加工品質を実現している「ゆずりばいちかわ」[40]を候補として選定し、先方との交渉の上決定した。

9.2 ランドセルアップサイクル商品の企画提案

まず、一般社団法人日本靴協会 ランドセル工業会の調査結果[41]を見たところ、ランドセルの購入決定者は使用者本人が 76.0%を占めているのに対し、支払者は 61.2%が祖父母、34.7%が両親であることが分かった。

また、リンベル株式会社が実施した調査[42]によると、もらって嬉しいプレゼントとして、祖父、祖母ともに洋服や装飾品(小物)などがランキング 3 位以内に挙げられていることが分かった。プレゼントされたものを身に付けて、いつまでも喜びをかみしめていたいという想いは男女共通であることが示唆される。更に、ルーチェホールディングスが実施した調査[43]によると、祖父母へのプレゼントとしては名入れギフトがランキング 1 位であり、革製品としてメガネケースが上位にランクインしていることが分かった。

そこで本 PT では、祖父母が購入し、孫がしっかりと 6 年間使い切ったランドセルから、祖父母向けのメガネケースへとアップサイクルさせることで「モノ」も「想い」も循環させ、更には 2019 年度に小学校を卒業した PT メンバーの子どもの実際のランドセルを活用して本番の商品製作を行う、という新規商品企画案をゆずりばいちかわに持ち込んだ。商品仕様、製作日程等交渉の結果、ゆずりばいちかわには快諾いただき、まずは商品試作を開始させることとした。

9.3 アップサイクル商品「メガネケース」の試作

まずは、ゆずりばいちかわが在庫しているランドセルを活用し、3 パターンのメガネケースを試作した。1 つ目のパターンは本革工房が商品として扱っている#1 ベーシックタイプ、



図 24: 3 パターンのメガネケース試作品外観

#1:ベーシック, #2 ファスナー, #3 ホック

2 つ目、3 つ目は本革工房としても新規設計商品である#2 ファスナータイプと#3 ホックタイプである。図 24 に完成した 3 パターンのメガネケース試作品外観を示す。

ゆずりばいちかわが本革工房と協議して設定した販売価格は、#1 ベーシックタイプが 4,800 円、#2 ファスナータイプが 5,800 円、#3 ホックタイプが 7,000 円であった。日本の職人が、後述する工程で製作することを考えれば、この販売価格は非常にリーズナブルであると言えるが、単に修理してリユースするのではなく、不要なランドセルを当事者にとって価値あるアップサイクル商品に蘇らせてることで 4,800 円～7,000 円もの高価な贈り物にできることは非常に意義深い。

加えて、本 PT メンバー全員でメガネケース試作品をレビューした結果、#2 ファスナータイプに対して、#3 ホックタイプで採用している鼻当て部材を追加するなどの提案を行い、ゆずりばいちかわからは、同販売価格で対応することを快諾いただいた。

9.4 アップサイクル商品「メガネケース」の本番製作

アップサイクル商品「メガネケース」の本番製作は、前述通り、PT メンバーの子どもが 2019 年度まで実際に使用していたランドセルを活用することとした。また、ランドセルの蓋部

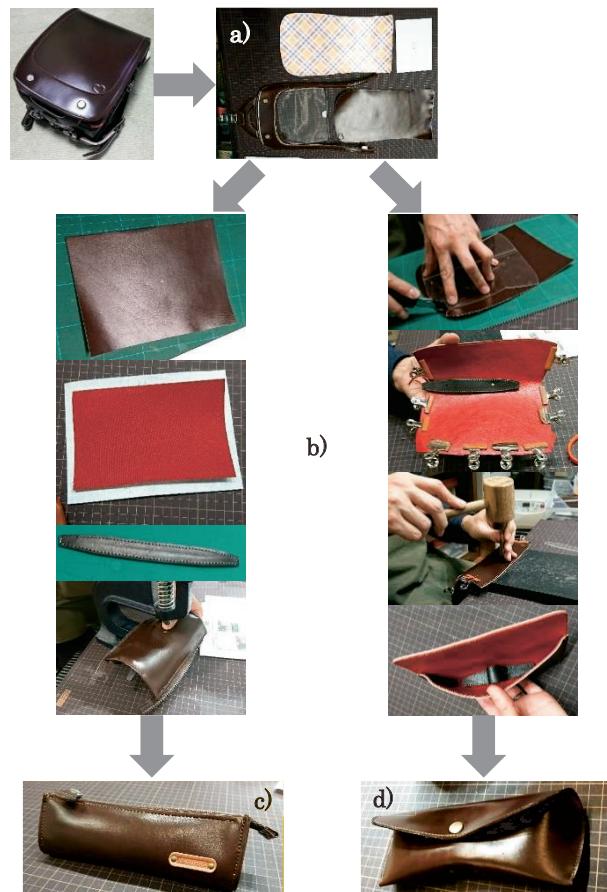


図 25: 「メガネケース」本番製作の工程写真

a)解体、生地化、b)各部材切り出し、裏地貼り合わせて縫い合わせ、c)#2 ファスナータイプ、d)#3 ホックタイプ

分を活用するので生地に限りがあるため、本番製作では、本革工房でも新規設計となる#2 ファスナータイプと#3 ホックタイプの 2 タイプを製作することとした。

図 25 に本番製作で撮影した工程写真を示す。図のように、まず a) ランドセルの蓋部分を解体し、肌触りが良くなるように適度に生地を薄くし、b) ランドセルの合成皮革に裏地を貼り合わせ、各部材を縫い合わせることで、c) #2 ファスナータイプ、d) #3 ホックタイプのメガネケースを製作した。製作時間は 2 タイプで 8 時間であった。

両タイプとも裏地や鼻止めなど、部分的に本革を活用することで、ランドセル合成皮革の使用を抑えている。また、#3 ホックタイプでは、合成皮革の断面部分に塗料を 2 度塗りし、やすり掛けを行うことで、より高級感を演出している。

前述の#1 ベーシックタイプを加えたメガネケース 3 タイプは、全てゆずりばいちかわにおいて商品ラインアップ化が決定している[44]。これにより、近い将来、本学とコラボ企画した新商品が世に出ていくことになり、大学発ムーブメントのきっかけとなることが期待される。

10 頒布品「キーホルダー」の企画、製作

10.1 頒布品の目的

大学発ムーブメントを引き起こすためには、本 PT 活動後もアップサイクルを広げていくための活動を継続的に行っていく必要がある。そこで、本学修了生全員でムーブメントへ繋げることを目的として、修了生に事前にアップサイクル商品を頒布し、成果発表において頒布品を手に取ることで、アップサイクルをより深く理解してもらうこととした。実際の成果発表では、届いたサンプルの番号をプレゼン中に問いかけてチャットで回答してもらうなど、双方向の成果発表にもトライしている。

頒布品としては、前述のゆずりばいちかわのランドセルアップサイクル商品であるキーホルダーとした。頒布品製作の目的は、上記の他、本革工房におけるキーホルダー製作工程の見直し、後述するように本学オリジナルデザインの商品化も含まれている。

また、頒布品の事前送付には昨年度まで使用されていた旧タイプの不要封筒を活用、更にキーホルダーの包材としてコロナ禍で不要となった大学パンフレットをアップサイクルして使用することにもトライした。これにより、全ての送付品において不要品を利活用することになる。

10.2 不要パンフレットのアップサイクル

本学事務に問い合わせたところ、コロナ禍において配布できなかった大学のパンフレットが学内に 3,000 枚存在していることが分かった。廃棄が決まっているとのことだったため、頒布品「キーホルダー」の包材はこの廃棄される不要パンフ

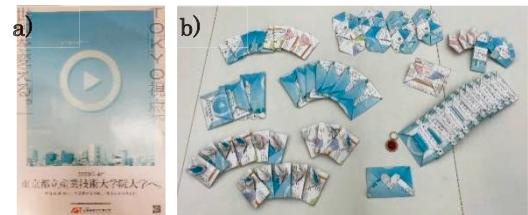


図 26: a) 不要パンフレット、b) 6 パターンの包材外観
レットをアップサイクルすることとした。

キーホルダーの寸法は 70mm x 40mm であるため、それをしっかりと収納可能で、且つデザイン性に優れたものとすべく、袋状に折った 6 パターンの包材を採用し、それぞれ 10 袋程度製作した。図 26 に不要パンフレット、及び 6 パターンの包材外観を示す。

10.3 頒布品「キーホルダー」の製作

図 27 にキーホルダーの製作工程を示す。製作工程としては、a) ランドセルを解体して蓋部分を取り出し、b) その合成皮革を型で抜き、c) 本革で側面枠を取り付けて縫い合わせ、d) 最後にリングを取り付けることで完成となる。

本 PT では、表のランドセル素材、裏地、側面枠の本革色、刻印プレートの有無により、6 パターンのキーホルダーを製作した。表 17 に、その 6 パターンの内訳、及び外観を示す。

裏地として本革を採用し、本革に直接刻印をすることで刻

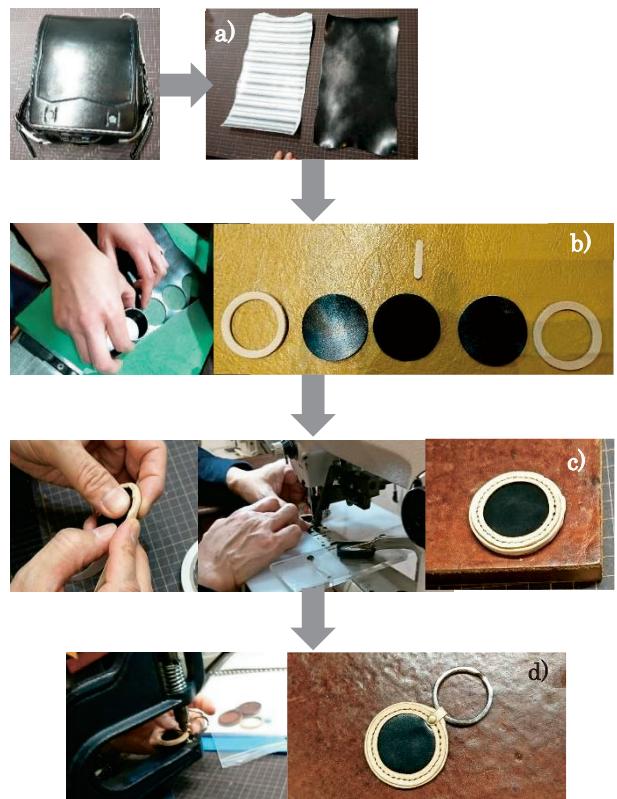


図 27: 頒布品「キーホルダー」の製作工程写真

a) 解体、生地化、b) 各部材切り出し、
c) 側面枠縫い合わせ、d) リング取り付けて完成

印プレートレスを実現した表中 2, 4, 6 番のシンプルデザインは、本 PT から企画提案した本 PT オリジナル商品である。この本 PT オリジナル商品もゆずりばいいちかわで商品ラインアップ化が決定している状況である[45]。

表 17: 頒布品「キーホルダー」の 6 パターン内訳と外観

#	表	枠	表/裏 外観	裏	刻印 プレート
1	緑 ランドセル	黄土色革		表と同じ	有
2		深緑色革		黄緑色本革	—
3	黒 ランドセル	ベージュ革		表と同じ	無
4				赤色本革	—
5	赤 ランドセル	茶色革		表と同じ	有
6		ベージュ革		茶色本革	—

11まとめ

アップサイクルは、環境先進国である EU 諸国では環境活動の1つとして認識されている。一方、本 PT が行ったアンケート調査によると、我が国でのアップサイクルの認知度/実施度はリサイクルのそれと比較すると極めて低いこと、アップサイクルイベントや環境配慮商品・企業には多くの人が好印象を抱き、新品と同額かそれ以上でアップサイクル商品を購入することが分かった。そこで本 PT では、文献調査によるアップサイクルの定義を制定、先行実践者へのヒヤリングを通じて課題抽出を行い、座談会やワークショップの開催、コラボ商品企画、メディア掲載を行うことで、大学発ムーブメントを引き起こすことを目指した。

まず、何が達成されていればアップサイクルと言えるのかを起点として、82 件の文献の中から 17 件を抽出することで、本 PT における定義を制定した。また、誰にでも判定できる条件リストも作成した。

次に、日本におけるアップサイクル業界の課題を抽出するために、アップサイクル活動を先行して実践している方々へのヒヤリングを行なった。一連の業種の方々へ幅広くヒヤリングを実施することで、使い手が欲しくなるようなストーリー、デザイン、ブランド、品質が形成され、それらを支える職人の関与が必要であること、コストや廃材の安定供給に関連する法律の問題などが存在していることが課題として挙げられることが分かった。

続いて、アップサイクル先行実践者同士を引き合わせることでシナジー効果を狙うことを目的として、座談会 1, 2 を企画した。座談会 1 では学校備品、特にランドセルアップサイクルという共通項がある先行実践者同士をリモートで引き合せた。その結果、座談会後すぐにお互いがネット上で紹介し合い、また工房に関する情報交換により今後の製品製作に大きなヒントを与えることができたと考えている。座談会 2 ではアップサイクルのワークショップを精力的に行っている先行実践者を招き、ワークショップの課題について本 PT とリモートで意見交換を実施した。その結果、アップサイクルを気軽に感じてもらうにはワークショップは非常に有効な手段である一方、動画制作のスキルセットや参加者へのフォローアップなどの障壁を取り除く仕組み作りが大きな課題であることが分かった。本 PT では、実際に大学内でオンラインによるワークショップを実施し、ワークショップを通して本学修了生のアップサイクル活動の認知度を向上してムーブメントに繋げる一方、参加者を対象としたアンケート調査によりオンラインワークショップの課題も浮き彫りとなった。

また、アップサイクルのムーブメントを起こすためには、一般の方への認知拡大が必要である。そこで本 PT では、WEB メディア「IDEAS FOR GOOD」を活用した 2 つの情報発信を実施した。1 つは用語集の編集、もう 1 つは寄稿記事によるアップサイクル先行実践者の紹介である。用語集の編集ではアクセス数を向上させることに成功し、寄稿記事では数百にも及ぶ PV 数と SNS での反響を得ることができたこと、更には本 PT の寄稿記事やアップサイクル実践者の紹介がきっかけとなり、島津氏、石垣氏、土井氏の製品が IDEAS FOR GOOD × 三菱地所のコラボ展示企画「IDEAS FOR GOOD Museum in MEC」で展示される事となった。これにより WEB 記事だけではなく、実際に製品を手にとることができるかたちで彼らの製品が紹介され、より一層の認知度向上に貢献、ムーブメントのきっかけとなつたと考える。

更に、アップサイクル先行実践者と本学のコラボレーションによるランドセルアップサイクル商品「メガネケース」を企画した。3 タイプのメガネケースを試作、そのうち新規 2 タイプを

本番制作することで、3 タイプ全て商品ラインアップ化を実現した。これにより、近い将来、本学とコラボ企画した新商品が世に出ていくことになり、大学発ムーブメントのきっかけとなることが期待される。

大学発ムーブメントを確実に引き起こすためには、本 PT 活動後もアップサイクルを広げていくための活動を継続的に行っていく必要がある。そこで、本学修了生全員でムーブメントへ繋げることを目的として、修了生に事前にランドセルアップサイクル商品「キー・ホルダー」を頒布し、アップサイクルをより深く理解してもらうこととした。実際の成果発表では、届いたサンプルの番号をプレゼン中に問いかけてチャットで回答してもらうなど、双方面の成果発表にもトライし、修了生の関心を高めることができたものと考える。

本 PT では、PT メンバーがプロデューサーとなって、座談会やワークショップ、それらの情報発信、コラボ商品企画といった、アップサイクルの認知度向上活動を行ってきた。本 PT メンバーに加え、成果発表を聴講した修了生には、今後のものづくりにおいて、バージンマテリアルに代わり中古材を原料として選択したり、設計工程で「捨てやすさを考えた設計」に配慮することで、循環型社会の担い手となっていたらしくことを期待する。更に頒布したランドセルアップサイクル商品「キー・ホルダー」をきっかけとして、本 PT の活動が継続され、眞の大学発ムーブメントに繋がっていくと確信している。

謝辞

本稿で紹介する内容は、令和 2 年度に東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科創造技術専攻の PBL 型授業科目において実施されたプロジェクトの成果を取りまとめたものである。本プロジェクトの遂行には、学内外の数多くの方々に多大なご協力をいただいた。本プロジェクトのきっかけとなったダンボールアーティストの島津氏、ゴミ処理に携わる現場の知見から多くの気付きを与えてくださった国崎クリーンセンター啓発施設の鈴木氏、デザイナーの視点やその必要性を教えていただいた SKETCH の関根氏及び株式会社ケンエレファント中島氏、WEB 座談会にご協力頂いた TUMUGU の土井氏、行政や地域の学校との連携などについて教えていただいた株式会社そごう・西武の薄井氏、職人問題などについて知見を与えてくださった株式会社モンドデザインの堀池氏、ペパ鉛筆の動画作成を快諾頂いた非営利特定活動法人ペパの賀来氏、食品のアップサイクル事例について教示頂いた株式会社ダイセルの塚本氏、数度の校正に協力頂いた株式会社ハーチの富山氏、商品企画や試作に協力いただいたゆずりばいちかわの石垣氏、高価なサンプル商品をご提供いただいた UPCYCLE LAB の小島氏および VVV-craft の坂井氏に感謝を申し上げる。

また、アンケートへの協力や、ワークショップへの参加など

本学在校生からも多大な協力をいただいた。ここに記し、すべての関係各位に深く感謝したい。

参考文献

- [1] K. Sung, "Sustainable production and consumption by upcycling: understanding and scaling-up niche environmentally significant behaviour," PhD Nottingham Trent University, 2017.
- [2] J. Singh, et al., "Challenges and opportunities for scaling up upcycling businesses - The case of textile and wood upcycling businesses in the UK," Conservation and Recycling, vol.150, 104439, 2019.
- [3] G. Hawkins, "Plastic bags: Living with rubbish," Int. J. Cult. Stud., vol.4, no.1, pp.5-23, 2001.
- [4] 経済産業省 環境省: サーキュラー・エコノミーに係るサステナブル・ファイナンス促進のための開示・対話ガイド 2021 年 1 月
- [5] 外務省:SGDs アクションプラン 2021
https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/pdf/SDGs_Action_Plan_2021.pdf
- [6] R. Pilz and T. Kay(eds), "Thinking about a green future ~Confucius he say: Man who thinks in seconds use computer to cut pews~" SALVO monthly, vol.94, pp.11-14, 1994.
- [7] M. Braungart, et al., "Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design," Journal of Cleaner Production, vol.15, pp.1337-1348, 2007.
- [8] N. S. Ali, et al., "Upcycling: Re-use and recreate functional interior space using waste materials," Proceedings of E&PDE 2013, the 15th International Conference on Engineering and Product Design Education, pp.798-803, 2013.
- [9] 越水 PBL2020 アップサイクルサイト
<https://sites.google.com/a/aiit.ac.jp/upcycle/questionsinaiit>
- [10] 国崎クリーンセンター
https://www.kunisakicc.jp/index_kcc.php
- [11] CARTON <http://carton-f.com/>
- [12] SKETCH <https://hello-renovation.jp/professionals/detail/1160>
<https://taiheiyou-realestate.com/2018/03/7854/>
- [13] モンドデザイン <https://www.mondodesign.jp/>
- [14] VVV-Craft <https://vvv-craft.jp/>

- [15] ケンエレファント <https://kenelephant.co.jp/>
- [16] TUMUGU <https://www.tumugu-upcycle.work/>
- [17] UPCYCLE LAB <https://www.upcyclelab.jp/>
- [18] そごう・西武(渋谷リメイクバッグプロジェクト)
<https://www.sogo-seibu.co.jp/csr/topics/2018.html>
- [19] ハーチ <https://harch.jp/>
- [20] NPO 法人ペパ:「ペパ鉛筆工作キット」
<https://www.pepa.jp/pepa18-1.htm>
- [21] YouTube サイト <https://www.youtube.com/>
- [22] Bytedance 社の動画編集アプリ CAPCUT
<https://www.capcut.net/>
- [23] ペパ太郎と学ぶアップサイクル
<https://www.youtube.com/watch?v=agMEp74OzgM>
- [24] ペパ太郎と作るペパ鉛筆
<https://www.youtube.com/watch?v=yE3igF89wN8>
- [25] UPCYCLE LAB:消防ホースのショルダートートバッグ
https://shop.upcyclelab.jp/view/category/upcyclelab_fh
- [26] Coco&K:アルミニウスパックのポーチ
<https://www.coco-k.jp/onlineshop/>
- [27] 株式会社ハーチ IDEAS FOR GOOD
<https://ideasforgood.jp/>
- [28] 株式会社ハーチ:IDEAS FOR GOOD 解説ページ
<https://harch.jp/media/ideasforgood>
- [29] IDEAS FOR GOOD:用語集
<https://ideasforgood.jp/glossary/upcycle/>
- [30] BEAMS COUTURE
<https://www.beams.co.jp/special/beamscouture/>
- [31] Rename <https://www.rename.jp/>
- [32] IDEAS FOR GOOD:不要なものに価値を. 旅するダンボールアーティストが伝えたいこと
<https://ideasforgood.jp/2020/12/10/toritsusangyo-uni-01/>
- [33] IDEAS FOR GOOD:孤立化していく地域コミュニティに挑む, ランドセルのアップサイクル「ゆずりばいちかわ」
<https://ideasforgood.jp/2021/03/06/yuzuriba/>
- [34] Retrieved from
<https://twitter.com/gan0918/status/1368715633278394368>
- [35] Retrieved from
<https://twitter.com/ryoryoryoooooya/status/1369882452492161024>
- [36] IDEAS FOR GOOD:廃棄自転車を「てんとう虫図書館」に変えた、中国のアップサイクル
<https://ideasforgood.jp/2021/05/21/shared-lady-beetle/>
- [37] アリババ出資のシェアサイクル「哈囉出行(Hello Global)」、NASDAQ上場へ,
<https://36kr.jp/130415/> (visited on 2021)
- [38] IDEAS FOR GOOD × 三菱地所のコラボ展示企画「IDEAS FOR GOOD Museum in MEC」がオープン
<https://prttimes.jp/main/html/rd/p/000000031.000022102.html> (visited on 2021)
- [39] 本革工房 ハンズトラスト
<https://www.hands-trust.com/>
- [40] ゆずりばいちかわ
<https://www.yuzuriba-ichikawa.com/>
- [41] 一般社団法人日本鞄協会 ランドセル工業会調査結果
<http://www.randoseru.gr.jp/graph/>
- [42] リンベル株式会社 ギフトコンシェルジュ調査結果
<https://www.ringbell.co.jp/giftconcierge/2158>
- [43] ルーチェホールディングス ベストプレゼント調査結果
<https://bestpresent.jp/theday/>
- [44] ゆずりばいちかわ:ブログ <https://www.yuzuriba-ichikawa.com/20210205/>
- [45] ゆずりばいちかわ:ブログ <https://www.yuzuriba-ichikawa.com/20210218/>

効果的な意思疎通を目指したオンラインミーティングシステム

小口寿明*・土井沙耶香*・三谷洋之*・赤垣慎吾*
・安永貴之*・児矢野友香*・飛田博章*

Development and Evaluation of Online Meeting System to Promote Effective Communication

Toshiaki Oguchi* Sayaka Doi* Hiroyuki Mitani* Shingo Akagaki*
Takayuki Yasunaga* Yuka Koyano* and Hiroaki Tobita*

Abstract

Compared to face-to-face meetings, online meetings often make it difficult to read the intentions and thoughts of the others based on their facial expressions and the atmosphere of the place. Conventional online meeting systems are designed on the premise that the participants turn on the camera to show their own faces. We propose a remote meeting system that can convey the expression of the others through 2D avatars and 3D avatars that follows facial movements, in addition to visualizing opinions and the atmosphere of the meeting.

Keywords: Online meeting, group Communication, facial recognition, CSCW.

1 はじめに

近年、オンライン英会話やプログラミング教育をはじめ、ビジネスの場においてもクラウドソーシングやテレワークなどの普及により、オンラインミーティングシステムを利用する機会が増加している。

従来のオンラインミーティングシステムは、カメラをONにして自身の顔を見せることを前提にしたデザインであり、参加者がカメラをONにしない場合、相手の様子や表情が見えない。従って、発言後の無言の時間やレスポンスの悪さから発話者は壁に向かって話している感覚に陥りやすい。また、対面であれば、頷いたり首をかしげたりしている様子を見ることで、話の流れやその雰囲気を踏まえて相手が何を考えているかを読み取ることが可能だが、オンラインミーティングでは前述のようにカメラをONにしていないことが原因で、その場の雰囲気を読み取ることが困難だと感じることが多い。

オンラインミーティングを支援するツールは、日程や場所の管理、ドキュメント共有や、ホワイトボード機能といったロジスティクス領域のサービスが中心であり、会議の途中で参加者の意思を確認する手法や議論の内容・会議状況を可視化するといった会議の中身そのものをサポートするサービスは少ない。そのため、対面でのミーティングと比較し、顔が見えないオンラインの場では、ファシリテーションや会議の振り返りの実施が難しい。

(本論文は、DICOMO 2021 で発表した内容を編集し、掲載している。)



図 1:システム概要

Zoom [1] や Google Meet [2] などのオンラインミーティングシステムには上述の課題が存在する。また、FaceRig [3] のようにアバターにより参加者の表情を表現する手法は存在するが、ミーティングシステムと一体となっていないため機能の拡張に限界がある。特に、仮想カメラを使うアプリケーションは OS に依存するものや、複数のアプリの起動が必要など手軽に使うためには課題も多い。

そこで本研究では、カメラをONにして顔を見せなくても場の雰囲気や相手の表情、意見を伝えることのできるオンラインミーティングシステムの仕組みを Web アプリケーションとして構築した。従って、指定された URL にアクセスするだけで手軽にシステムを利用することができる。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

開発したプロダクトは、既存の OSS のミーティングシステムである、BigBlueButton (BBB) [4] を実装の基盤として、話者の顔の動きに追従する 2D アバターと 3D アバターにより、視覚的な意思伝達を実現した。更に、発話内容を自動的に集約することで、自動投票を行い、発話内容のネガティブさやポジティブさ、会議の話題や、会議の活発さなどをレポートで表現することで、場の雰囲気や意見を可視化した。

本稿では、2021 年度東京都立産業技術大学院大学紀要のフォーマットについて記す。

2 システム概要

システムはオープンソースである BBB をベースに、アバター機能と投票・レポート機能を実現した（図 1）。BBB をベースに作成したシステムに関し、アバター機能と投票・レポート機能について概要を述べる。



図 2:アニメ調アバターによる表情の表現



図 3:3D アバターによる表情の表現

2.1 アバター機能

参加者の多くが画像やカメラ機能を OFF にしてミーティングに参加するため、参加者の表情・様子・意思の読み取りが難しい。そこで、参加者の表情が直接反映されるアバターを使い、参加者全員の表情がアバターを介して分かれる仕組みを実現した。システムは参加者の表情を分析し、リアルタイム

でアバターの表情に反映させる。従って、参加者が首を傾げればアバターも首を傾げ、参加者が口を開ければアバターも口を開ける。本システムはグループワーク等での利用を考え、親しみやすさの点からアニメ調のアバターを提供する。

参加者は、システムにテンプレートとして用意されているアバターを選択し利用することに加え、自分に似たキャラクターを生成しアバターとして利用することができる。キャラクターの生成手法やそれを支援するソフトウェアは数多く存在し、2D 及び 3D のキャラクターを手軽に生成できる。提案手法では、こうした 2D 及び 3D のキャラクターを気軽に利用できる枠組みが提供されている。

図 2 は、2D のアニメ調アバターによる表情の表現である。図 2 の中心にあるアニメ調画像と参加者の首の姿勢などの状態パラメータから、その周辺に配置した図に示すとおり、様々なな姿勢や表情をもつアニメ調画像が生成でき、この生成画像を基にアニメ調アバターの顔・目・口の追従動作をリアルタイムに実行できる。

図 3 は、3 次元ポリゴンデータによるヒューマノイドモデルを用いた例である。上記のアニメ調アバターと同様、話者の顔の動きに追従させ、アバターの動きを反映する。表情は予め設定したモードを手動で選定し、わからない、うれしいや、悲しいなどの表情の描写が選択できる。

また、自分に似たキャラクターを使うこともミーティングでは重要なとなる。単にテンプレートを使った場合には、顔表情は分かれるが参加者の特定が難しくなる。こうした問題に対処するために、自分に似たキャラクターを生成する機能を提供している。



図 4:投票機能の表示

2.2 投票機能

BBB に備わっている投票 UI 機能を拡張し、発話とチャット欄への投稿の両方から投票できる機能を実現した。通常、 BBB では明示的に投票機能を呼び出して使う必要があったが、より手軽に使えるように拡張した。投票の結果も BBB 内に表示されるので、この投票機能により、意見の相違をいつでも確認できる。また、投票内容をすぐに議論の材料として活かし、ファシリテーションに利用することも可能となる。

投票機能の実行例を図 4 に示す. ミーティングシステムのホストは、ミーティングの開始もしくは途中の任意のタイミングで、投票項目となるキーワードを複数個設定できる. ミーティングにおいて「リモート」、「対面」、または「両方」のいずれかを必要とするかについての模擬的な議論を行った場合の例を示す. 図 4 は、これらの 3 つを投票項目のキーワードに設定し、投票機能を実行した結果である. オンラインミーティング中の意見から、ユーザが発する対話やチャット欄の書き込み内容を自然言語処理で処理し、設定した単語をカウントした. 模擬した議論の投票結果は、「リモート」と「両方」が 40% であり、「対面」が 20% であった. このように、プレゼンターは意見の割れをリアルタイムで確認できる. また、投票内容をすぐに議論の材料として活かせるため、ファシリテーションを行うために便利な機能であると考える.

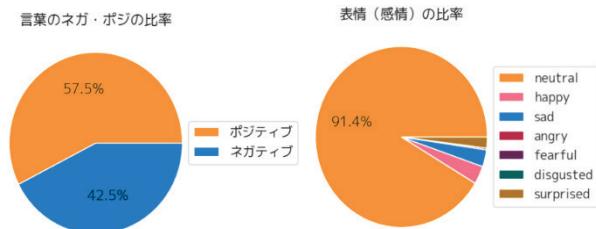


図 5:会議のネガポジ比率と表情の比率の表示



図 6:WordCloud による会議の発話内容の表示

2.3 レポート機能

会議の可視化は会議の質を上げるうえで重要となり、本システムでも可視化する機能を提供している。これらのレポート表示機能によって、会議終了時の振り返りやグループワークでの各チーム間での確認に利用できると考える。

レポート機能は、会議の全体の雰囲気を表示するために、表情の比率、会議の活発さ、発話内容、話題や、ネガポジ比率の画像を、PDF にまとめて BBB のプレゼンテーション領域にレポートとして出力する機能である。

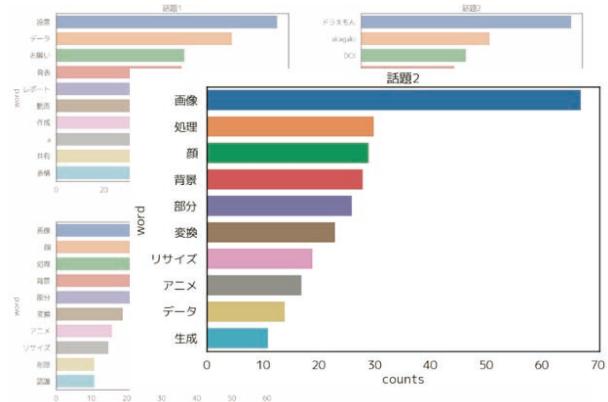


図 7:会議の話題(クラスタ分析)の表示

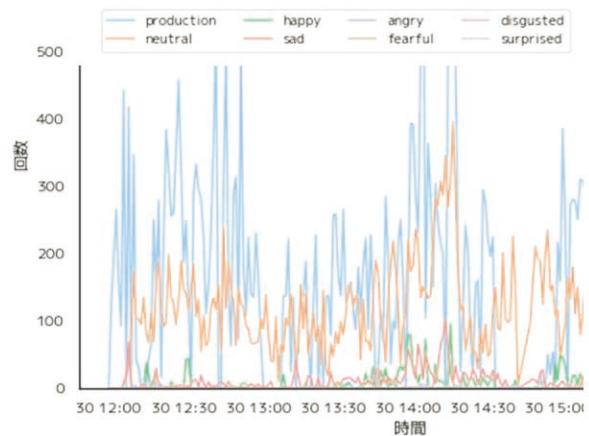


図 8:会議の活発さの表示

クラスタ分析により、会議中の発話量・表情（感情）についても可視化されるので、会議の活発度を確認できるようになる。提案手法では、会議のネガポジ比率と表情の比率をレポートする機能が提供されている（図 5）。例えば、言葉のネガポジの比率から、この会議では、57.5%がポジティブであることを読み取ることができる。また、表情の比率から、ほとんどが neutral であるが、happy, sad の順に多いことが分かる。こうした会議のネガポジ比率・表情の比率の結果から、ポジティブな発言が多いことや、無表情で会議に参加しているかが分かる。

提案手法では、自然言語処理を用いて会議中の発話内容を解析し、その結果を WordCloud [8] とクラスタ分析により可視化する機能も提供されている。発話数の多い単語が大きく表示されるので、WordCloud により、会議途中や終了時に会議中の話題について振り返ることができる（図 6）。

WordCloud に表示される単語をカウントし横棒グラフで表示した結果が図 7 である。図に示すように、会議の話題から

会議の中心的な話題について、どのようなものであったのかどうかをクラスタ分析の結果として見て取れる。

また、図 8 は、会議の活発さを、時系列折れ線グラフとして会議中の発話量と感情の動きの活発さが時系列で表示している。

3 実装

豊富な機能を持ち UI の完成度も高い BBB サーバを Amazon Web Service (AWS) 上に配置し、開発・評価環境として利用した。また、BBB に過度に依存した実装を避けるために実装上の工夫を行った。

3.1 アバター機能

アバター機能では、参加者の顔の動きを web カメラで検出する。ここで取得した顔画像は、Facemesh [5]を用いて、顔・口の動きや瞬きを解析し、これらの動作を本人の代わりとなるアバターに反映させる。

2D アバターの画像生成には、Talking Head Anime from a Single Image [6] を利用している。この手法では、1 枚のアニメ調の画像と参加者の首の姿勢、目、口の開度などの状態をパラメータとして与えると、これらの状態に相当するアバターの画像を生成される。また、アニメ調画像のアバター生成は、深層学習を用いているため、リアルタイム表示が困難である。そのため動的に生成するのではなく、事前に 2D アバターを生成し、顔の動きにあつたものを選択・表示させることにした。

また、自分に似たアバターを利用したい場合、自分に似たアニメ調画像をあらかじめ用意する必要がある。この画像生成の手間を省くため、顔写真をアップロードすると適切な加工を行いアニメ調画像に変換した上でアバターを生成する手法を実装した。アバターの生成機能について図 11 に示す。この図では、話者の 1 枚の実写の顔画像を元に本人に似たアニメ調画像を生成する一連のフローを示している。最初に顔画像に対して、背景除去やリサイズなどの前処理を行った後、U-GAT-IT [7] を利用することで、自分そっくりなアバターの元画像となるアニメ調画像 1 枚を生成する機能を実行できる。

3D アバターは、話者の顔のトラッキング情報から、3D CG アバターの顔・目・口の追従動作を再現した。2D アバターと異なり、3D アバターのモデルデータの対応する点を顔表情の特徴量の動作に合わせて移動させるだけで、リアルタイムでうれしい顔、悲しい顔などバラエティに富んだ表現が可能となる。

4 考察

4.1 システム

実装基盤として BBB を使用し、そこにアバター機能およ

び投票・レポート機能を追加することでシステムの実現を図った。

本システムのアバター機能の実現には顔パーツの位置検出が必要であり、特に 2D アバターの場合は 2D 画像の生成および選択、3D アバターの場合は 3D モデルの描画が必要になる。また、投票・レポート機能では、発話内容の語句解析および表情解析による感情取得が必要になる。本システムでは、これらの処理をブラウザで実行することで、特定のプラットフォームに依存せず、様々な環境で実行できるようにした。加えて、ブラウザで主要な処理を行うことでサーバ側の負荷が軽減され、比較的性能が低いサーバ環境でも動作させることができた。

リモート会議システムが、利用される機会が増える中で、参加者同士の意思疎通が困難で意見の分かれ方を把握するために、相手の表情・動作や議論の内容から意見の読み取りを可視化するための解決手段として、アバター機能と投票・レポート機能を高度に実現することで、本ミーティングシステムが貢献できる。

4.2 課題

本システムで提案した 2D アバターの生成手法には深層学習が必要であり、GPU 等のアクセラレータが無い環境では主に処理速度の観点から実現が困難であった。そのため画像の事前生成および顔の動きにあった画像を選択・表示することで GPU 等が無い環境でも動作できるようにした。事前生成画像を減らすために、顔の動きに一致する画像を表示するのではなく、顔の動きをトリガとしてあらかじめ定義しておいたアニメーションを表示する手法にしたが、例えば、瞬きが気になる等の意見がアンケートから得られている。定義するアニメーションの内容は異なる検証が必要である。

投票・レポート機能では WebSpeech API による発話内容の語句解析および表情検出による感情の表示、頻出した単語を WordCloud で表示することで会議の話題を図示している。これらの情報を利用することで、会議終了時の振り返りやグループワークでの各チーム間での確認に利用できると考える。しかしながら、発話の速度や滑舌による誤認識、発話直後の単語が認識されない等の問題もあった。

5 まとめ

本論文ではカメラを ON にして顔を見せなくても場の雰囲気や相手の表情、意見を伝えることのできるオンラインミーティングシステムの仕組みを述べた。本人の顔の動きに追従する 2D アバターと 3D アバターにより、視覚的な意思伝達を実現した。また、投票機能とレポート機能により場の雰囲気や意見を可視化した。

今後は、参加者同士の意思疎通を促し、意見の分かれ方を把握するために、アバターの表現の高度化と構文解析・意

味解析・文脈解析意見の可視化を進めていく必要がある。特に、効果的なアバター表現やミーティングの意見の可視化のバリエーションを増やすことで、ミーティングシステムの付加価値を高めることを目指す。

参考文献

- [1] Zoom
<https://zoom.us> (visited on 2021)
- [2] Google meet
<https://apps.google.com/intl/us/meet/> (visited on 2021)
- [3] FaceRig
https://store.steampowered.com/app/1364390/Animaze_by_FaceRig/ (visited on 2021)
- [4] BigBlueButton
<https://bigbluebutton.org/> (visited on 2021)
- [5] Facemesh
<https://github.com/tensorflow/tfjs-models/tree/master/facemesh> (visited on 2021)
- [6] P. Khungurn. Talking Head Anime from a Single Image,
<https://pkhungurn.github.io/talking-head-anime/> (visited on 2021)
- [7] J. Kim, M. Kim, H. Kang, and K. Lee. U-GAT-IT: Unsupervised Generative Attentional Networks with Adaptive Layer-Instance Normalization for Image-to-Image Translation, In Proceedings of ICLR '20, 2020.
- [8] F. Heimerl, S. Lohmann, S. Lange, and T. Ertl. Word Cloud Explorer: Text Analytics Based on Word Clouds, In Proceedings of IEEE HICSS '14, pp. 1833-1842, 2014.
- [9] Web Speech API
<https://wicg.github.io/speech-api/> (visited on 2021)
- [10] oseti
<https://github.com/ikegami-yukino/oseti> (visited on 2021)
- [11] Face-API
<https://github.com/justadudewhohacks/face-api.js/> (visited on 2021)

連想モデルを用いた人形淨瑠璃の振りの体系化と サービスロボットへの実装の適用

成田 雅彦*

Systematization of Ningyo Joruri's choreography using Associative model

And an application to an implementation of service robots

Masahiko Narita*

Abstract

We are proceeding the robot OSONO project with reference to Ningyo Joruri, with the theme of how service robots should attract people and communicate more smoothly. In the previous paper, we have already discussed the typical or standerdized Ningyo Joruri 's choreography, called "Kata", variation due to roles, emphasis etc. However, the meaning of each choreography throught one specific performance, that is, why it is such a pretense, is remain unclarified. In this paper, we propose a method for systematizing Ningyo Joruri 's choreography using an associative model, in which one can understand the meaning of the choreography throughout one performance and the choreography of Ningyo Joruri. Furthermore, we focus on the important functional elements when implementing on a robot, and propose a classification of "small choreography" (choreography other than "Kata"). And, we express these "small choreography" appeared in one sinario using robot OSONO, which is reinforced hand, arm, and waist actuators. Then, we evalutaes how these choreograhy is well expressed.

Keywords: Physical Properties, Choreography, Service Robot, Joruri Puppets, Systematization

1はじめ

サービスロボットが人を惹きつけ、意思疎通がよりスムーズに行うにはどうするべきか。我々は、時代を超えて継承された「わざ」をとりいれた表現の活用をテーマに人形淨瑠璃を参考したロボット OSONO プロジェクトを進めている。本稿では、1 つの演目を全体を通しての振りの意味付けと、ロボットへの実装に注目する。演目は伝統的に床本[1]という台本が基本であるが、そこには詞章(テキスト)と太夫と三味線への解釈や指示が朱書きされている。しかし、人形遣いへの指示はない。定型化された振りである伝統的な型や、役による変化、強調手法などについては既に論じたが[2]、演目とを通しての振りの意味付け、すなわち、なぜそのような振りになっているのかは明らかでない。これを明らかにすることはロボットへの振り付けを設計する場合の大きな指針となる。一方、ロボットへの実装の観点では、現代的な利用場面では伝統的な型以外の振りが多く用されると推測できる。したがって、型として定型化された型以外の振り(ここでは「小振り(こぶり)」と呼ぶ)はどのようなものなのか、その体系化の可能性について注目

し、これらの分類を試みる。結果、ロボットへ実装する際に必要な機能要素や振りの視点での評価について考察する。

本稿では、2 章で OSONO プロジェクトの現状を紹介し、3 章にて、人形淨瑠璃の振りを理解でき、連想モデルを用いてロボット向けに体系化する手法と、「小振り」について、分類を提案する。また、著名な人形淨瑠璃の艶容女舞衣・酒屋の段の著名なシーン「お園のくどき」を例に、これらの手法が効果的であることを示す。4 章ではロボットへどのように実装する際に重要な機能要素である、手・腕・腰のアクチュエータの配置と実装について考察し、5 章にて、実際に「お園のくどき」の「小振り」を手・腕・腰のアクチュエータを強化した OSONO にて表現し評価する。

2 OSONO プロジェクト

人形淨瑠璃を参考に「かしら」のデザイン手法を独自に開発し[3]、身体性を持つロボット OSONO を開発している[4][5][6]。2017 年より手を振って挨拶する振りを実装し、国際ロボット展などへ出展している。2019 年には人形淨瑠璃の艶容女舞衣・酒屋の段の著名なシーン「お園のくどき」

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology



図 1: 文科省主催ロボットショーケースに出展中の
淨瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO

の冒頭を少ないアクチュエータで実装した。この OSONO と振りは、一般人や人形遣いという専門家集団へのアンケートを通して「魅力的」と高く評価されている[7][8]。文楽人形をモチーフにしたメカニズムの研究例[9]に比べ、本研究は、かしらのデザイン、着物、振りと総合的なシステムを研究開発対象としているところに特徴がある。一方、2020 年初頭より covid -19 のパンデミックにともない従来の対面による評価の実施が困難になっており、解決手段として、RSNP (Robot Service Network Protocol) を用いてリアルタイムで動画を転送と OSONO の制御を行う遠隔演技システムを提案・開発し、試作と実証実験を行っている。2021 年はオンラインで開催された文科省主催ロボットショーケースに出展した(図 1)。

3 連想モデルを用いたロボット向け振りの体系化

ロボットの設計者がロボットに振りを付けるための指針となる仕草の生成モデルと、多くの振り、振りの意味を理解し、振りを選択できる体系化が必要である。「しぐさ」生成モデルについては既に我々が提案した[5][6]ので、本章では、これ

については要約を述べるにとどめ、連想モデルを用いた振りの体系化の方法論[10]と振りの類型化、及び、実際の演目を用いた検証を行う。

3.1 「しぐさ」生成モデル

ロボットへ振りを割り付けるには、伝えたいメッセージを確定し、それを表現するにふさわしい仕草にブレークダウンする必要がある。この指針を、人形浄瑠璃における稽古の記述[11]、学生が人形浄瑠璃の創作ストーリーを演技化する大学の講義・演習(相模人形芝居下中座[12])を参考に図 2 に示すように「しぐさ」生成モデル(図 2)として定式化した。このモデルでは、(1)作者が表現したいメッセージを作成、(2)演出者がこのメッセージを伝える仕組みを考案する。(3)それが、舞台、舞台演出、詞章・床本に展開される。(4)演技集団の中には人形の動きを記述した演技台本を作成している場合もある(図 2 の点線囲)。(5)舞台演出では、出や位置、移動を決める。(6)人形の演技(図 2 の下の枠)は詞章や演出情報にもとづき、「歩く」「立つ」「座る」など基本的な動きや「振り」をつける。(7)振りは、型や名前のない動き(「小振り」と呼ぶ)、あるいはそれらの組み合わせで構成されている。型には、男女の型があり、著名な「くりず」「うしろぶり」などをはじめ数十あるとされている。型をつなげてシーンに相応しい型を新たにつくることもある。

3.2 先行研究:新作への振り付け

人形浄瑠璃の型と振り [13]では、新作「坂田金時 怪童丸物語 足柄山の段」(林座長演出、近松門左衛門作の「嫗山姥(こもちやまんば)」ベース)を事例に型と振りをどう付けていくかについて、演出者の相模人形芝居下中座[14]林座長へヒアリングした内容と解釈が述べられている。これによれば、七五調を基調に分割した詞章にそれぞれ、古典的な型、あるいは新たな振りを創作し割り付けている。

3.3 「しぐさ」の抽出と連想モデル

前節を参考にし、詞章[1]を基にした具体的な振りを抽出・生成する手法を提案する[10]。表 1 は 2 で述べた「お園のくどき」を本手法で分析した結果、作成される「しぐさ」の連想モデルである。ここで注目すべきは、関係者には自明のことであろうが、人形浄瑠璃の詞章全体はほぼ七五調で構成されており、詞章の分割は、この区切りが単位になっている。

(1) 一つの演目の詞章を、七五調を基調に 30 秒程度の適切な区間に分割する。振りが分割の前後にはみ出すことがあるが、詞章による区切りを優先する。

(2) 分割された区間毎に、型(著名な振り)が使われていれば、型の名前を特定する。なければ、小振りを特定する。小振りは型に付随していることもあり、複数の小振りから構成されていることもある。実際には、一つの区間に含まれる小振り

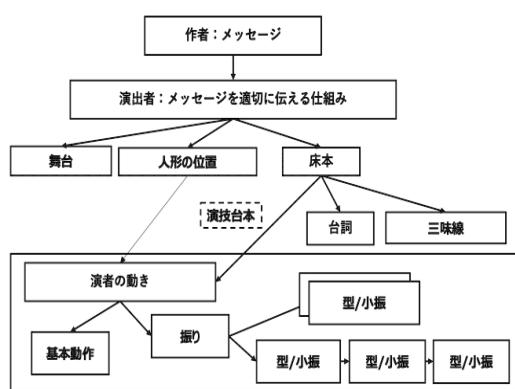


図 2: 「しぐさ」 生成モデル

は表 1 では 2 個以内である。著名な演目なら演技記録[15]が存在している場合が多く、各種の演技動画も活用できる。伝統継承のために作成された演技台本[16]があればその記載はたいへん貴重である。

(3)区間の詞章の中に、振りを連想させるキーワードと振りを導き出す解釈や理由を見出す。表 1 の分析例において、1 列目は区間の番号、2 列目は詞章全体を 3.3(1)により分割した結果と、振りを連想させるキーワード(太字)、3 列目は振りを導き出す解釈や理由、4 列目は小振りと型である。例えば、冒頭の区切りは「今頃は半七様、どこにどうしてござらうぞ」で、五、七、七、五となる。振りは伸び、見回す仕草であるが、これは、詞章の「どこにどうして」の部分からの連想される振り

表 1: 「お園のくどき」の「しぐさ」の連想モデル

区間	区間の詞章と連想キーワード(太字)	連想を導く解釈・理由	振り(#は型を示す)
1	今頃は半七様どこにどうしてござらうぞ。	探す、悩む	#クリズ 見回す、のび
2	今更返らぬことながら、	(移動)	(移動)
3	私といふ者ないならば、	私	#うちみ
		否定	いえいえ
4	舅御様もお通に免じ、	指す、依頼	上手に、お辞儀
5	子までなしたる	ぼんやり	流し
6	三勝殿を	指す	下手を指す
7	とくにも呼び入れさしやんしたら、	呼び入れ	#まねき
8	半七様の身持ちも直り	恥ずかしい	右袖を口もとへ、体を前に傾げる
9	御勘当もあるまいに、	依頼	お辞儀
10	思へば／＼	私、思う	#姿見:あぶらや
11	去年の秋の煩ひに、	煩い(病気)	両手手のひらを上にしてあげ、左につく。また上にあげて右に着く
12	いつそ死んでしまうたら、	戦(いくさ)	#肩うち
13	かうした難儀は	胸が痛む	胸をだく
14	出来まいもの	悔やむ	#吉田泣き
15	お気に入らぬと知りながら、	否定	いえいえ
16	未練な私が輪廻ゆゑ。	私	袖合わせ
		悩ましい	#頭(ズ)を使う
17	添ひ臥しは叶はずとも	私の願い	そとみ
18	お傍にゐたいと辛抱して、	依頼	お辞儀
		(移動)	(移動)
		(型の準備)	(型の準備)
19	これまでゐたのがお身の仇	悲しい	#上手の後ろ振り
20	今の思ひにくらぶれば、	(復帰)	(型からの復帰)
21	一年前にこの園が死ぬる心が	私	右手を襟元に入れる
		ぼんやり	流し
22	エヽマつかなんだ	悩み、悲しい、悔しい	#下手の後ろ振り
23	堪へてたべ半七様、私やこのやうに思つてゐる	私	#姿

表 2: 「お園のくどき」による振りの体系表

表現したい事柄	振り
私、自分(第三者的に)	うちみ、姿見、袖合わせ、外見
否定、無い	イヤイヤ
悲しい、胸が痛むは、胸をだく、悩ましい	クリズ
恥ずかしい	右袖を口もとへ、体を(前に)傾げる
悔やむ、思う	泣く
依頼	相手やその方向を指してお辞儀
ぼんやり(呆然)	流し
呼び入れ	招き

と考えられる。即ち、「どこにどうして」の言葉から、「探す」「悩む」という解釈で、伸び、見回す仕草が振りつけられている。

このモデルを用いると容易に振りを想起することができる。例えば、冒頭部分の振りは、詞章の連想キーワード「どこにどうして」から「探す・悩む」を想起し、見回す、伸びという振りを演じれば良いことが想起できる。床本には、人形遣いへの指示の記載がないが、人形遣いがこの連想モデルを学習していれば、実際不要かもしれない。また、このモデルを用いることで、演目の振りが、何故、どのように振りつけられているかの理解が得られるという大きな利点がある。

3.4 振りの体系化

3.3において「しぐさ」を抽出し、連想モデルにより演目中の振りの意味が理解できるようになった。ロボットの設計者の立場からは、これだけでなく、表現したい意味やメッセージから

表 3: 部位からみた振りの多様性

部位	振りの詳細の動き
手	手をとる
	右手で指す
	Aをさし、一度納め、下手を指す
	右手で、右、左を指す
	右袖を口もとへ
	袖合わせ
	右手を襟元に入れる
	右手で胸をうつ(叩く)
	右手で胸をなでる
	右手で遠くへ追い払う振り
	右手で斜め上を指す
	左手で左斜め上を指す
足	両手を大きくまわして手を打つ=たくさん
	下手を2度指す
	右手を大きく下手に流しながら体の向きを変える
	両手の手のひらを上にしてあげ、左につく。上にあげて右に着く
体	胸を抱く
	前に傾げる
足	足入れ込み



図 3: 艶容女舞衣・酒屋の段を特徴付けるポーズ。本稿の手法により抽出した(個々のポーズは下中座の実演[16]による)

振りを選ぶことができる体系化が必須である。これには表1のうち、3列目の連想を導く解釈・理由と4列目の振りを取り出し、3列目でソートする。結果、振りの体系表が現れる(表2)。同時に、振りだけでなく小振りも体系化されている。この体系表を充実するには、他の演目でも同様の連想モデルを作成し体系表に加えればよい。人形浄瑠璃の型の数と一つの演目に含まれる型の数とを比較すると、数個以内の演目を分析することで、ほぼ全ての型を網羅できると考えられる。

3.5 サービスロボットとしての網羅性

訪問者と接するサービスロボットでよく使われそうなメッセージには、歓迎、呼込み・注意喚起、指示・誘導、感謝、同意・うなづき、断る・否定、謝罪、困惑・驚く、依頼、客の機嫌を取る、取りなす、手を合わせ、合図・目配せ、お辞儀をする

などおよそ14が想定される[2]。表1、表2によると「お園のくどき」では、これらのうち、呼込み・注意喚起、指示・誘導、感謝、断る・否定、謝罪、困惑・驚く、依頼、取りなす、合図・目配せ、手を合わせ、お辞儀をするなど11が含まれている。したがって、サービスロボットで必要とされる振りがこの演目からほとんどを供給できる可能性が高い。すでに分析した妹背山婦女庭訓・山の段における雛鳥の両手を合わせた仕草(図4)は、両手を合わせて泣く(図3 10-2)、同意する侍女の振りは、内身(図3 3-2,3-3)の動きにも類似している。したがって、この段は多様性に富んでいるということも窺える。一方、歓迎、同意・うなづきは含まれていない、これは、この演目がお園一人で演じるため、他者と直接関わるメッセージが含まれていないと考えられる。

3.6 小振りの多様性と類型化

小振りには、泣く、お辞儀をする、手を振る、など汎用的な意味を持つものがある。一方、その演目のその場面しか意味をなさない演目依存の振りもある。また、場所を移動するなど舞台演出としては必須だが、意思、感情などを格段伴わない基本動作もある。また、立つ、正座する、中腰になるなど体の上下も振りの大きな要素であるが、強調表現と捉えることもできる。動きを時間方向に見ると一区間は一般に「構え」、準備、決めポーズ、構えへの戻りから構成されている。準備には、



図 4: 妹背山婦女庭訓・山の段における雛鳥(右)に同意する侍女(左)[2]

振りを大きく見せるために決めポーズとは反対の方向への動き(オーバーシュート[2])になっていることもある。

表 2 をさらに手、体、足の部位の動きを詳細化し一覧にすると表 3 になる。手・腕の動きが最も多様で、片方の腕・手で「指す」動きが基本となっている。また、両手が組みに一つのポーズになっているものもある。表 1 の区間毎に動きの特徴を表すポーズ(これを特徴点[5]と呼ぶ)を抽出すると、型は細かい動きを伴った一連の動きなので特徴点も多いが、小振りの区間は、構えのポーズの他に 1, 2 個のポーズであらわされることが多い。「お園のくどき」の小振りの 53 のポーズは、特徴をもとにポーズを以下のようにポーズのクラスとして類型化し整理できる。<>の数字は、そのポーズのクラスに属するポーズの数である。各ポーズが比較的均等に類型化されている。

- 構え(動き始める前の姿勢である)<5 ポーズ>
- 招き<2 ポーズ>
- 手・腕で外側を指し示す<15 ポーズ>
- 両手を合わせる、泣く、祈る<9 ポーズ>
- お辞儀<10>
- 胸に当てる(自分を示す内身という仕草)<3>
- いやいや<3>
- 腕を抱える(手を内側に向ける)<6>

実際にこれらのポーズを整理したものが図 3 である。図 3 中の個々の写真の番号は、区間の番号と区間中の特徴点の番号である。

4 ロボットでの実装

本章にて、抽出・体系化した小ぶりを実装するために必要な物理的な構造やアクチュエータを検討し、OSONO2 として実装し、5 章にて表現の評価を行う。

4.1 肘と肩の動き

多くの振りを実装するためには、関節の自由度が多いこと

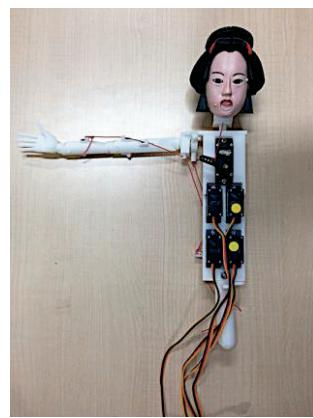


図 5: 1/4 モデルの淨瑠璃ロボ[4]

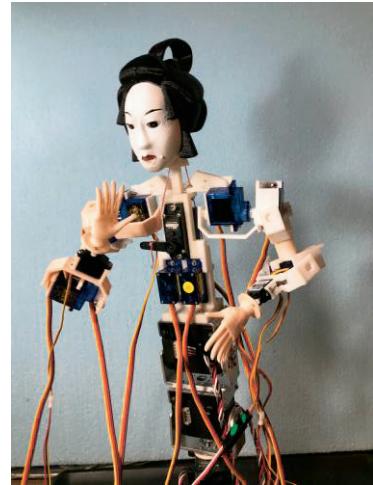


図 6: 手に 1 個、腕に 3 個のアクチュエータ、腰に回転、胴の前後、膝を設定した 1/4 モデルの OSONO2

は必要であるが、関節の動作範囲が大きいことも重要である。一方、振りの質・デザインの視点ではアクチュエータの数・大きさ・関節の駆動方式によりデザインが犠牲になるのは避けるべきである。既に開発した 1/4 モデル(人間の 1/4 の大きさ、腰までの高さは約 23cm)「淨瑠璃ロボ」[4]は、立ち姿勢で手を振りお辞儀をする。これは、上腕を回転させる肩の前後への回転、上腕の開閉、および肘の開閉ができるが、腕の 3 関節は小型化のために 2 つのアクチュエータで駆動している。また、駆動に紐とバネを使いアクチュエータを胴体に設置しデザイン上の利点を得ている(図 5)。しかし、関節の動作範囲が狭く、機巧が複雑で摩擦が大きくアクチュエータの負担が大きいというデメリットを伴っていた。

OSONO2 では、「淨瑠璃ロボ」を拡張し、これらの課題の解消を試みる(図 6)。具体的には、関節の動作範囲を拡大するために 3 つのサーボモータにより 3 関節を直接駆動することを試みる。淨瑠璃人形を参考にしたロボットは、ゆったりした「きもの」(和服)を着ているのでデザインの観点でサーボモータを腕に装着しても、ある程度不自然さが軽減されると思われるが、限度もある。さらに、手・腕が重くなると、腕のモーメントが大きくなりハンチング現象が生じる。小型のサーボモータは 9g (SG90)のもの、4g (FS0307), 2g (GS-2502) の超小型のものが流通しているので、これらを用い、腕関節の直接駆動した。着物によりハンチング現象は軽減されるが、更に発生するときは、新しいサーボモータや MG92B などより強力なサーボモータに交換することで解消を試みる。このように、振りの表現を豊かにするために手・腕のアクチュエータを増やしたいが、デザインやハンチング現象低減の観点ではできるだけ減らす必要がある。このバランスが設計上の課題である。

冒頭で紹介した OSONO の振りは、行灯によりかかったままのシーンである。手を行灯に結わき、腕の関節は糸で吊つ

て腕の動きに連れて自由に動くようになっている[7]. したがって、これ以外のシーンを実装しようとすれば、手・腕のアクチュエータの実装が必要になり、上記の課題が生じる。一方、淨瑠璃人形の腕は、前腕部分を人形遣いが直接保持する。したがって、人の腕の動きがそのまま人形の動きになるので、肩、肘の自由度は人と同じであり、格段の機構はない。

4.2 手首の回転の動き

手首の動きは、回転と手全体を前後に動かす動きがある。招きで手のひらを上に(図 3 中 7-2)するが、次にものを指し示そうとすると、手のひらを(図 3 中 7-3)に回転する必要がある。また、手を胸につけている構えの位置(図 3 中 11-1)から指差しを伴う動き(図 3 中 10-1,3-1,3-3)などへの移動の際にも回転が生じる。このように仕草には暗黙的に手のひらの向きを想定しており、仕草が切り替わるとそれに伴って手のひらの向きを変更し自然な動きをつける必要がある。仕草が 2 つしかなければ最適の向きに手首を固定することもできるが、一つの演目を通してロボットが振りを演じるには、淨瑠璃人形にはない、手首の回転が必須になる。

4.3 手首の前後の動き

手の前後の動きは、指す方向を強調するときや、招くなど記号性のある表現や、手の開き、あるいは、手のソリを伴う決めポーズや、「いやいや」で手を反らせ力を入れ意思を表すときに用いられる。淨瑠璃人形では、手の握り・ソリを表現するためにレバーがあり、右手は主遣いが、左手には差し金を通して左遣いが操作する。

一方、手を合わせたり、顔を覆って泣いたり、祈るときなど手のひらをより上に向ける、自分を指す時、胸に手を当てる、腕を組んで包み込むなど、手の位置を大きく内側に移動する際に、回転だけでは十分でないとき、より自然な動きになるよう用いることもある。手首の前後の動きは、表現の観点では極めて重要と人形遣いは指摘するが、実装するとアクチュエータが増える。これを実装するかは、演技上のメリットと実装上の難易度とのバランスから決めることになる。

4.4 膝の動き

大きな動きを表現することで、振りそのものを見栄え良くする技法は広く使われている。特に、立つ、正座、中腰の姿勢の組み合わせや、お辞儀は多用されている。OSONO では



図 7: 艶容女舞衣-酒屋の段を通しての特徴的なポーズを OSONO2 で表現

腰位置の回転、前後の動きを実装してあるが、加えて、膝の曲げを想定したアクチュエータを追加することで、これらの動きを実現する。この部分は胴体全体の重さがかかるので、高出力のサーボモーター(RS405CBを使用)が必要で、さらに、重心の移動を配慮して、膝の前後は胴の前後と同期しながら制御する必要がある。また、予期せぬ振動であるハンチング現象が発生する所以があるので、ダンパー、パンチなどのサーボモーターの設定パラメタを調整して回避する。

4.5 着物

OSONO2では、OSONOの胴体カバーをベースに可動域を大きくし、サーボモータが入るようにやや胴厚にし、胴串にかぶせる。この上に、左右の袖、着物(上)、着物(下)、帯を作成し、テープで装着する。腕のサーボが大きいために事前に袖などは縫い合わせず、上から被せ。袖口と袖下を、後から留める。

4.6 ロボットへの実装

OSONO2はOSONOを拡張し、首の前後、瞬き、口の開閉に加え、両手・両腕に対して4.1,4.2,4.4で述べた手の回転と腕に3個、腰に回転、胴の前後、膝の合計14個のアクチュエータを搭載した。制御にはIO端子とメモリ容量の多いArduino MEGAを使っている。4.5の着物を着せた状態で、「手を振る」と「いやいや」を組み合わせた動作、および、中腰、立ち姿勢、正座の動作ができる事を確認した。

5 評価

本章では、一つの演目の振りをロボットに実装した際に、実演に比較し、どこまで振りを表現できるかを評価する。

5.1 評価の手法

評価には静的にロボットが演技に沿ったポーズができるか、動的に振りとして十分動作し魅力的かの2面がある。本章では、小振りについて静的なポーズの比較評価を行い、振りの実装の可能性を評価する。別途、動的な評価を実施する。評価のポーズは、3章にて振りを艶容女舞衣・酒屋の段の下中座の実演[16]より抽出した、小振りの特徴的なポーズを用いる。評価ではOSONO2を用い、図3に合わせてポーズを作成し(図7)、図3に対して図7が、演技として雰囲気の近い表現ならば可とする。そうでなければ度合いにより、難あり、やや難ありとする。また、手の前後を加えたポーズについては、本評価の中で可能性を考察する。

5.2 着物の評価

4.5の着物をさせ撮影したのが図7である。サーボモーターが肩にあるので、肩幅が広くなっているが、違和感が少ない

仕上がりになっている。袖をよりたっぷりにすればより自然になる。また、肩が目立つ真っ直ぐ下に下げる場面を避けねば、より自然に見えるようになる。

5.3 ポーズの評価

実演(図3)とロボット(図7)のポーズを比較する。以下の番号は図3、図7の個々のポーズに振られた番号である。

11-1 正座から次の演技に移るための構えのポーズである。手の位置、手の向き、胴の姿勢などのバリエーションがある。肩が張っているのは両肩にサーボモータがあるためである。

表現の優劣は手の位置・手の向きがどこまで細かく再現できるかによるが、手首を回転させ不自然さがなく体の横、膝の上に手を置くことができる評価は可とする。

7-2 招きの姿勢である。右手を上げ、手首の回転で手のひらの向きを変えてバリエーションを表現できる。評価は可。

7-3 両手で外側を指し示す。手首の回転で不自然さなく表現できる。指す方向へ胴体を向けるとより良い。評価は可。

10-1 両手を合わせるために手を片方ずつ合わせていく。手を広げる手はオーバーシュートである。手の向きは回転と腕の向きで表現する。評価は可。

10-2 両手を合わせて泣くポーズである。腕の高さでバリエーションがある。両手の指の向きは手首の回転で表現できるので評価は可。手首の前後の動きができると、より細かく前腕の向きを変えた表現ができる。

4-2 お辞儀の開始のポーズで手を揃える。手の回転だけでも問題ないので可。

4-3 お辞儀で深く頭と胴を傾けるポーズである。このとき手を揃える。手首の回転だけでは手の角度を制御できないので、やや不自然に見える。評価はやや難あり。

3-1 内身(自分を示す)の振りの準備のポーズ。オーバーシュートしている。特に問題ないので可。

3-2 内身の振りで自分の胸の方向を示す。自分の方向に手のひらを向けるのが難しく、評価は難あり。

11-2 両手を合わせて祈るポーズである。手をそらして手を平行にできないので、十分手を合わせられない。また、手のひらを上にして捧げる仕草が難しい。評価はやや難あり。

13-1 腕を組む振りで初めに右手を動かしたところ。自分側に腕を曲げにくく評価はやや難あり。

13-2 腕を組んだポーズ。十分交差できず、評価は難あり。

3-3 イエイエの仕草で手を外側へ向けたポーズである。特に問題がなく評価は可。

3-4 イエイエの仕草で手を内側へ向けたポーズである。多くのバリエーションがあるが、このポーズは特に問題がなく可。

15-1 イエイエの仕草で手を内側へ向けたポーズである。手をそらして動きを強調する決めのポーズである。これは対応不可なので評価は難ありとした。

ただし、難あり、やや難ありと評価した振りは、手首の前後の動作を実装すると改善できる。ロボットの振り全体としてみた場合は、手首の前後をせず、ロボット全体を左右に動きかすことでの手首の動きを目立たなくする、あるいは、別の振りに置き換えるという解決手段もある。

正座（1-1）、中腰（7-1,7-3）、立つ（13-1,13-2）はわかりやすく自然に表現できている。帯とサーボモータの位置関係には不自然さはない。結果、立つ、正座、中腰により表現に多様性が得られている。

5.4 評価のまとめと仮説

酒屋を網羅的に体型的に分析・分類した小振りのポーズに對しては、着物を含めて、ほぼ、再現できることが確認できた。しかし、決めがしにくく、手を合わせる、腕を組んで包み込むような動きは得意ではない。実際の場面ではこうした動きは多くない。手首を回転させる動きを入れると手腕の動きの单调さがある程度解消する。本評価の結論としては、動きとしてのぎこちなさが若干残るが、手首の回転だけで十分に振りを再現できる。手首の前後の動きをつければ、静的にはこのぎこちなさは解消すると思われる。

手首の前後の動きを追加した実装するには、前腕がやや短いので、前腕にサーボを入れ着物でそれをカバーすることは可能かと思われる。

6 まとめ

時代を超えて継承された「わざ」をとりいた表現の活用をテーマに人形淨瑠璃を参考したロボット OSONO プロジェクトを進めている。本稿では、連想モデルを用いて一つの演目を通しての振りを、人が理解できる形で体系化する手法と小振りの類型化を提案し、「お園のくどき」を例に、これらの手法の有効性を示した。さらに、振りの実装について考察・評価し、手首の動きが極めて表現に重要な役割を果たしていることを示した。一方、手首の動きは実装上の重荷になっており、微妙なバランスを形成していることを明らかにした。今後、多くの演目を分析し体系を充実させるとともに、手・腕・腰のアクチュエータを増やしたロボットがリアルタイムにこれらの振りを演技できることを検証していく。結果、ロボットユーザインタフェースの充実に貢献していく。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 20K12011 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 床本集

<http://hachisuke.my.coocan.jp/yukahon.html>, [online]

- [2] 成田雅彦、中川幸子、サービスロボット向けの振りの実装と収集・体系化の検討-人形淨瑠璃を参考にして得られた知見-, 産業技術大学大学紀要, Vol 14, 19-26-pp, 2020
- [3] 成田雅彦，“サイネージロボットの身体性を実現する 一提案 淨瑠璃人形の比較を参考にした「かしら」のモデリング,” 産業技術大学大学紀要, No.11, 91-96 pp, 2017.
- [4] 成田雅彦, “身体性のあるロボットのアクティブセンシングへの適用 「かしら」ロボットを拡張した淨瑠璃ロボの実現,” 産業技術大学大学紀要, No.12, 89-95pp, 2018.
- [5] 成田雅彦、中川幸子、ロボットユーザインタフェースの提案と検討 - 人形淨瑠璃を参考にした身体性と振りについて-, 産業技術大学大学紀要, Vol 3, 61-66 pp, 2019
- [6] Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa, "Physical properties of service robots which is referring to Joruri pup-pets", pp.158-162. IEEE/IJAI AIT 2019, YOGYA-KARTA, 2019
- [7] Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa, "Development of OSONO, a service robot with reference to Joruri puppet, and its Choreography", IJSKM International Journal of Service and Knowledge Management, pp.54-70, 2020
- [8] Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa, Toru Izui, Nobuto Matsuhira, "Evaluations of service robots referring to Joruri puppets, and a remote evaluations system", IEEE/IJAI AIT 2021, Online, 2021
- [9] 中川志信, “人間共存型ロボットにおける最適なモーションデザイン基本法則の 抽出 : 文楽人形遣いとの共同研究から発見した人に感情を伝えやすい新構造ロボットを通して,” 大阪芸術大学紀要 藝術 36, pp139-146, 2013.
- [10] 成田雅彦、中川幸子、サービスロボットの視点から連想モデルを用いた人形淨瑠璃の振りの体系化, ロボット学会誌, 2021(掲載予定)
- [11] 奥井遼, “〈わざ〉を生きる身体 -人形遣いと稽古の臨床教育学,” ミネルヴァ書房, 2015.
- [12] “相模人形芝居の世界,” 昭和女子大学光葉博物館, 2016.
- [13] 大谷津早苗, “人形淨瑠璃の型と振り-相模人形芝居の事例からー”, ロボット学会ネットワークを利用したロボットサービス研究専門委員会招待講演, 2021/3.
- [14] 相模人形芝居について:芸態と特徴, [Online], <https://seesaawiki.jp/sagami-ningyo-shibai/d/%b7%dd%c2%d6%a4%c8%c6%c3%c4%a7>
- [15] 大西重孝, “文楽人形の芸術,” 演劇出版社, 1968
- [16] 林美禰子, “相模人形芝居下中座における人形の遣い方,” ロボット学会ネットワークを利用したロボットサービス研究専門委員会 実演記録, 及び配布資料, 2019/7

観光資源としての森林セラピー基地の可能性

—東京都檜原村の事例—

信 田 勝 美*・板 倉 宏 昭*

The possibility of a forest therapy base as a tourism resource

-A case study of Hinohara Village,Tokyo-

Katsumi Nobuta* and Hiroaki Itakura*

Abstract

The rapid arrival of an aging society with a declining birthrate in Japan, especially the population decline in rural areas, is an issue that needs to be resolved urgently.

Japan has the second highest ratio of forests in the country after Finland in developed countries. Taking advantage of this characteristic, we will study for the creation of new tourism resources. There are already 65 forest therapy bases and roads in Japan. We will consider the current efforts and analyze future utilization.

Keywords: SDGs(Sustainable Development Goals), Tourism nation
Forest therapy, shinrin-yoku, Wood chips, Regional value chain

1 はじめに

持続可能な開発目標(SDGs)2030 年のゴールを踏まえ, 世界共通の 17 の目標, 169 のターゲット実現に向けて解決する問題を整理し, すべての団体, 個人の積極的な対応が求められている。日本における少子高齢化社会の急速な到来, 特に地方における人口減少は早急に解決が迫られている課題である。政府は 2030 年に外国人旅行者を年間 6,000 万人とする目標を掲げ実現に向けて国を挙げて環境整備に取り組む考えを示した。

しかし, コロナ禍の影響により 2020 年の目標年間 4,000 万人は未達に終わった。観光立国を推進することによって目標達成を目指しているが, 現状の施策のみでは十分とは言い難い状況である。

日本は, 先進国においては, フィンランドの次に国土の森林比率が多い国である。この特性を活かし, 新たな観光資源の創出へ向けて検討を行う。既に日本国内には, 65 カ所の森林セラピー基地, セラピーロードが存在している。現状の取り組みを考察し, 今後の活用についての分析を行う。

2 現状の観光客数

2.1 年間外国人旅行者の推移

日本政府観光局(JNTO)の資料によると訪日外国人旅行者数は, 2013 年には 1,000 万人を超え, 2019 年には 3,188 万人に達した。ただし 2018 年の 3,119 万人に対し 69 万人の増加に留まり頭打ちの傾向ではあった。更に 2020 年は COVID-19 により海外渡航が制限され 412 万人まで落ち込んでしまった。この状況を鑑みアフターコロナには回復の予想はされるが 2030 年に年間 6,000 万人の外国人旅行者を導くことができるかは楽観視できない状況である。

2.2 観光地域づくり法人の形成・確立

観光庁は地域の多様な関係者を巻き込み, 科学的アプローチを取り入れた観光地域づくりを行う法人(DMO: Destination Management/Marketing Organization)を推進している。観光地域づくり法人を中心プロジェクト・マネジメントを行い, 関係団体・ステークホルダーへのアプローチを通じてターゲティング等の戦略策定, 観光コンテンツの造成, 受入環境の整備を行い, 地方誘客・旅行消費拡大へと繋げる構造である。「DMO 登録制度」として 295 団体が登録している(令和 3. 3. 31 時点)。登録法人は, 観光庁のホームページ

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

にて公表され DMO としての活動を実施する。活動は PDCA をまわし継続的に成果を報告することが義務付けられている。

2.3 現状の観光客数

日本に来る観光客は、中国、韓国、台湾などの東南アジア諸国からの旅行者が多い。2019 年の日本政府観光局(JNTO)の資料によると訪日外客数 3,188 万人に対し観光客数は 2,825 万人(伸率 1.8%)である。国別では中国の 857 万人(伸率 15.5%), 韓国 503 万人(伸率 -27.8%), 台湾 467 万人(伸率 2.8%)と全体の 64.7%を占めている。アジア全体からの観光客数で言えば 2,406 万人、85.2%に上り、殆どがアジア諸国、特には東南アジアからの観光客となっている。

2.4 観光客が訪れる場所

観光地で言えば、京都、東京に集中している。しかも短期滞在型であり、観光に使う費用の 3 大要素である交通費、宿泊費、お土産物においては、宿泊費が少なくなる傾向がある。短期集中にて京都の寺院を周り、東京にてショッピングを行い帰国する。欧米人、オーストラリア人による長期滞在型の観光を行う旅行者が日本においては非常に少ない状況である。

3 森林資源の活用

日本は国土の 67%が森林である。この資源を観光へ活用することによって、魅力ある観光地となり長期滞在型の観光を増やすことができると想定した。既に日本には森林を医学的見地からも有効である研究も行われており日本全国に森林セラピーを行う拠点が認定されている。

3.1 森林セラピーとは

科学的な証拠に裏付けられた森林浴効果のことであり、「ストレスの発散」「リラックス効果」「心身の緊張感、気分の高まりをほぐす」「身体の中からのアンチエイジング」などの効果が期待できる。

3.2 森林セラピー基地・森林セラピーロード

認定は特定非営利活動法人森林セラピーソサエティにて行われている。定義は森林セラピーソサエティによると、森林セラピーロードとは生理・心理実験によって癒しの効果が実証された森林セラピーに適した道として認定されたロードのこと。登山道との大きな違いは森での時間を過ごすことを重要視している。森林セラピー基地とは、森林セラピーロードが 2 本以上あり、健康増進やリラックスを目的とした包括的なプログラムを提供している地域のこと。充実した森林セラピーを受けることのできる様々な施設や環境が整っている。森林セラピーの拠点は日本全国に 65 ケ所あり、資格を持ったガイドによる案内を実施している。

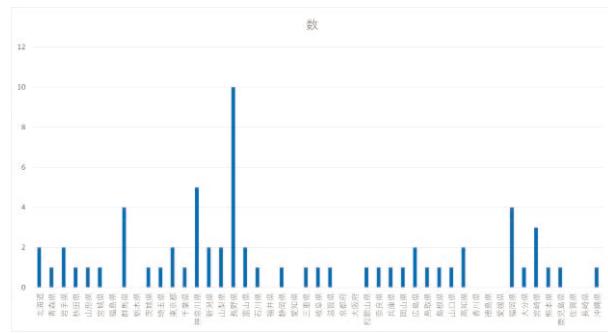


図 1: 県別森林セラピー基地・ロード認定数

森林セラピー基地・ロードがいちばん多いのは、長野県である。県内に 10 カ所あり、特に充実したセラピープログラムを保有し一定の成果を上げている森林セラピー基地・ロードに認定される基地二つ星の「信州・信濃町 癒しの森 森林メディカルトレーナーと歩く癒しの森」も存在する。

まだ 1 カ所も森林セラピー基地・ロードがない府県が 11 カ所ある。集客を考えると今後、大阪府、京都府、愛知県、徳島県、愛媛県などへの認定が期待される。

4 森林セラピー現地調査

4.1 東京都 檜原村

東京都檜原村は、東京都の西に位置し、総面積の 93%が林野となっている。東京都多摩地域で唯一の村であるが、都心から約 50 キロメートルの距離にあり、交通機関を利用すれば約 2 時間で行くことができる利便性に長けた場所である。

村は標高 1,000 メートル付近に位置し、80%は秩父多摩甲斐国立公園に含まれている。豊かな自然があり、払沢の滝を初め多くの滝がある。

払沢の滝は、東京都で唯一「日本の滝百選」に選ばれている。全長約 60m、奥行約 50m にて 4 段に分かれて、落差は一の滝が 26.4m、二の滝が 16.8m、三滝が 13.7m、四の滝が 2.3m となっている。



図 2: 扉沢の滝 案内板



図 3: 払沢の滝

4.2 森林セラピーロード 檜原都民の森 大滝の路

森林セラピーロードは、都民の森の中に位置し、勾配が少なくウッドチップを敷き詰めた歩きやすい安心設計となっている。



図 4: 森林セラピーロード 案内図



図 5: 森林セラピーロード ウッドチップ

ウッドチップのロードを歩いて行くと落差 35 メートルの三頭大滝があり、展望台からの眺めもよい。更に森の奥への登山道もあるが、森林セラピーロード内では、通常の服装でも訪れることができる環境であり、都心から日帰りで森林浴を体験できる場所である。

4.3 檜原村の地域バリューチェーン

地域の内部力(ジモティ)には、人材力、技術力、流通条件等が考えられるが、「人々と地域との関係」を地域コミットメントとして定義して分析する。

檜原村には、豊富な森林資源が存在する。スギ・ヒノキを使った加工品も販売されている。地域では、坂本村長が先頭に立って森林、木育に力を入れ産官学連携の推進を行っており、檜原村の特徴を活かした事業を展開する企業がいくつも存在する。都民の森には森林館があり、展示パネルによる四季折々の動植物の紹介、木材工房センターでは木工教室が実施されている。



図 6: 森林館 外観



図 7: 森林館 館内

また木育に力を入れた「檜原森のおもちゃ美術館」では、子供たちに木へのふれあいの場づくりとして、多くのボランティア学芸員を募集し活動を促進している（2021. 11 開館）。

地域ならではの物語がいくつも創造できる環境が生まれてきている。

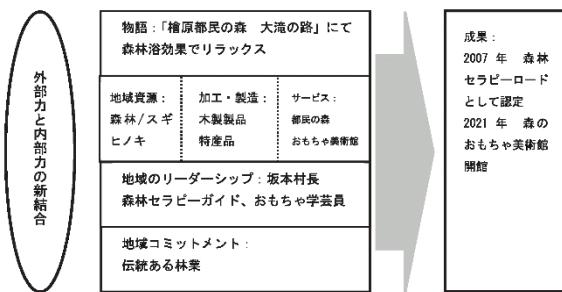


図 8: 檜原村森林セラピーロードの地域バリューチェーン

5 おわりに

森林セラピーの効果については、改めてコロナ禍の状況において注目されている。リモートワークを推奨する国、自治体の提言を受け、本社機能を都市部から地方へと移転する企業も散見される。また精神的なストレスを誰もが抱える現状において、森林セラピーは有効な対策と考えられる。

森林セラピー基地として整備されたエリアに加え、資格を持ったガイドがいることは既にインフラは備わっている。ソフト的には、DX を活用したネット予約などの整備が考えられる。今後は海外における外国人観光客の呼び込みに成功している事例を分析し、国内における森林セラピー基地の観光資源としての可能性を追求する。

また、東京都檜原村においては継続的に森林環境、施設、地域のリーダーを分析し、更なる森林活用についての研究を実施する。

参考文献

- [1] 板倉宏昭 著『新訂 経営学講義』勁草書房 pp274-333 (2017)
- [2] 板倉宏昭、石丸亜矢子 著『地域バリューチェーン』勁草書房 (2021)
- [3] 桂信太郎、那須清吾 著『地域活性化システム論』千倉書房 (2020)
- [4] デービッド・アトキンソン 著『新・観光立国論』東洋経済新報社 (2015)
- [5] 落合俊也 著『すべては森から』建築資料研究社 (2020)
- [6] 平野秀樹、宮崎良文、香川隆英 編『森林セラピー 森林セラピー(森林健康指導士)養成・検定テキスト』NPO 法人森林セラピーソサエティ (2021)
- [7] 国土交通省観光庁 観光立国推進基本法
<https://www.mlit.go.jp/kankochō/kankorikkoku/indexhtml> (visited on2021)
- [8] 特定非営利活動法人 森林セラピーソサエティ
<https://www.fo-society.jp/> (visited on2021)
- [9] 東京都檜原村
<https://www.vill.hinohara.tokyo.jp/> (visited on 2021)
- [10] 檜原森のおもちゃ美術館
<https://www.hinohara-toymuseum.com/> (visited on2021)

Opportunities and Challenges for Remote Implementation of Roadmapping: The Case of Refrigeration and Air Conditioning Technology Roadmap 2050

Yuta Hirose*,**, Shogo Masaya*, Robert Phaal** and Yusuke Kishita***

Abstract

Demand for remote implementation of roadmapping has been increasing worldwide, especially since the emergence of the Covid-19 global pandemic. In this paper, opportunities and challenges for remote implementation of roadmapping are discussed by reporting a real-world case of developing an industry-level technology roadmap. This study was carried out remotely during 2020-2021 in cooperation with the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE). The findings from this study are expected to provide practical insights for organisations implementing roadmapping remotely, to understand opportunities and to prepare coping with challenges.

Keywords: Roadmapping, remote implementation, refrigerating and air conditioning technology, carbon neutrality, strategic planning.

1 INTRODUCTION

The Covid-19 pandemic has significantly affected ways of working for a variety of organisations worldwide, with one major example being the sudden shift from face-to-face onsite to remote communication for most business activities [1]. These organisations include not only companies in the private sector but also governments and public sector agencies, universities and industrial and academic bodies such as professional associations [2].

This sudden shift has also had a significant impact on how roadmapping is implemented within organisations. Roadmapping is a structured mapping approach that supports technology and strategic planning through interactive visualisation [3]. In most cases, especially before the Covid-19 pandemic, roadmapping was often implemented through face-to-face workshops [4-6]. Since the emergence of Covid-19, the demand for remote implementation of roadmapping has accelerated across the world, using a range of digital platforms.

In 2020, the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE)¹, one of the leading engineering associations in Japan, founded in 1925,

initiated a working group activity to produce and update an industry-level technology roadmap on an annual basis. The aims of establishing this working group were to suggest mid- and long-term technology development themes and directions to facilitate further cooperation between academia, government and industry in Japan and beyond, with the vision to contribute to the 2050 goal for realising ‘carbon neutrality’, declared by the Government of Japan². To commence with the working group activity within JSRAE, a series of roadmapping workshops were designed with consideration of remote implementation to cope with the Covid-19 pandemic challenges. The workshops were carried out by the JSRAE from October 2020 to January 2021, for approximately four months, in cooperation with the authors of this paper.

Building upon the authors’ previous research on a roadmapping-based idea generation method and process, with modular and integral mapping patterns [7-8], this paper reports how the remote roadmapping workshops have been designed and carried out with the JSRAE to produce the industry-level technology roadmap for the year round of 2020/21. Then, future opportunities and challenges for remote

¹ Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE): <https://www.jsrae.or.jp>

² Carbon Neutrality, Key Policies of the Suga Cabinet: https://www.japan.go.jp/key_policies_of_the_suga_cabinet/carbon_neutrality.html

Received on October 3, 2021

* Advanced Institute of Industrial Technology

** University of Cambridge

*** The University of Tokyo

implementation of roadmapping are discussed from the viewpoints of the workshop participants and of the facilitators. The findings from this study are expected to provide practical insights for organisations implementing roadmapping remotely, to understand opportunities and to prepare for coping with challenges.

The remainder of this paper is as follows. Section 2 describes the method used for this study. Section 3 reports the remote roadmapping workshop results. In Section 4, opportunities and challenges are discussed in terms of implementing roadmapping remotely. This paper concludes with Section 5.

2 METHOD

This section consists of the following four parts to describe the method used for this study: 1) Preparation, 2) Workshop design, 3) Remote implementation of roadmapping and 4) Qualitative survey.

2.1 Preparation

The aims of implementing roadmapping with the JSRAE were to build a shared vision for the 2050 goal of carbon neutrality, propose technological contributions to the vision, and then suggest technology development themes and directions to facilitate further cooperation between industry, academia and government for its realisation. Based on these aims, the roadmapping process was designed by applying the authors' previous research on a roadmapping-based idea generation method and process [3], starting with assumption setting and identification of societal issues from the viewpoint of the JSRAE in relation to the 2050 goal of achieving carbon neutrality.

As the requirements for the JSRAE working group activity included 2050 vision-building, together with potential routes to contribute to achieve it, the integral mapping pattern III [3], which corresponds to the following back-casting orientation, was employed for

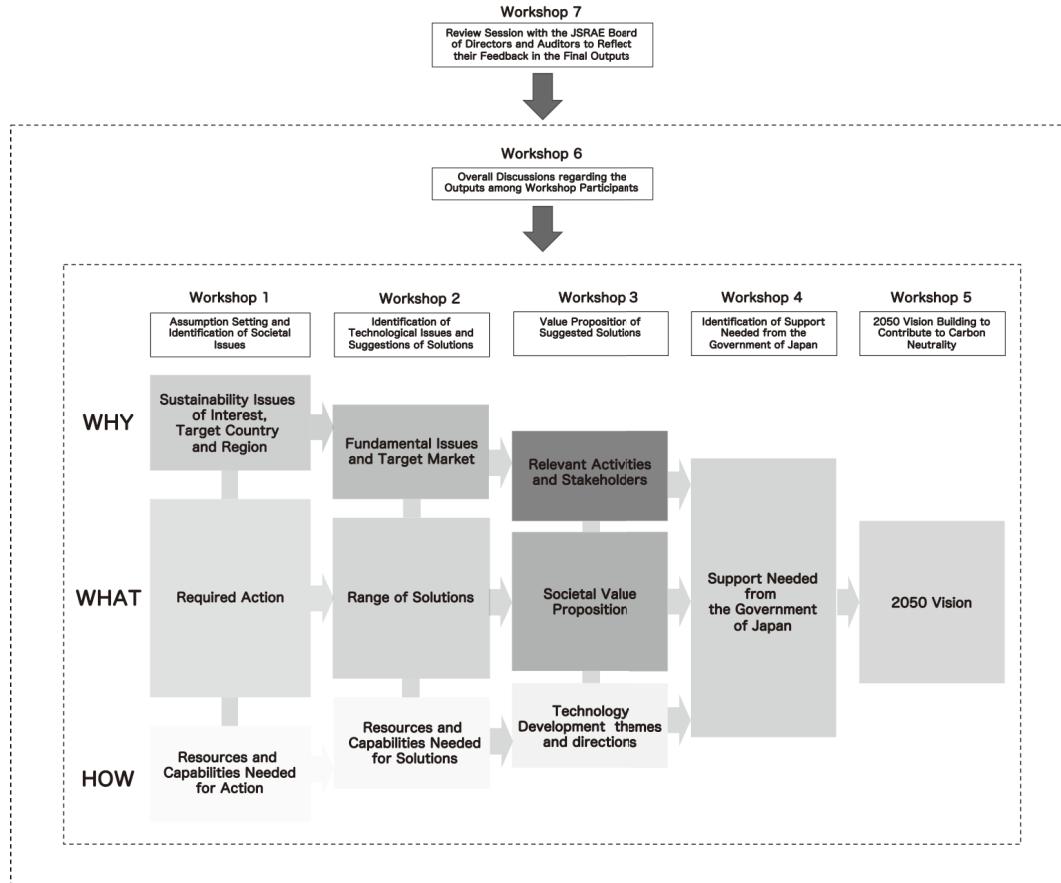


Figure 1: Roadmapping Design for the JSRAE Technology Roadmap Working Group Activity, adapted from [8].

the roadmapping process: Mapping for the future state, mapping for the current state, and then mapping for the future-current gap. Furthermore, back-casting process was carried out for the following two overarching steps to cope with the long timescale up to 2050: a) Roadmapping with the back-casting orientation up to 2030 to identify technology development themes and directions, and b) Roadmapping with the back-casting orientation up to 2050 from 2030 to build a vision for 2050 and overall steps for realisation.

2.2 Workshop Design

Taking the above into consideration, seven workshops were designed in total, as shown in Figure 1, with associated schedules as follows:

- Roadmapping Workshop 1 (15:00-17:00 on 8th October 2020): Assumption Setting and Identification of Societal Issues
- Roadmapping Workshop 2 (13:00-15:00 on 27th October 2020): Identification of Technological Issues and Suggestions of Solutions
- Roadmapping Workshop 3 (13:00-15:00 on 13th November 2020): Value Proposition of Suggested Solutions
- Roadmapping Workshop 4 (13:00-15:00 on 27th November 2020): Identification of Support Needed from the Government of Japan to Realise the Suggested Solutions
- Roadmapping Workshop 5 (10:00-12:00 on 4th December 2020): 2050 Vision Building to Contribute to Carbon Neutrality
- Roadmapping Workshop 6 (13:00-15:00 on 14th January 2021): Overall Discussions regarding the Outputs among Workshop Participants
- Roadmapping Workshop 7 (15:00-17:00 on 28th January 2021): Review Session with the JSRAE Board of Directors and Auditors to Reflect their Feedback in the Final Outputs

2.3 Remote Implementation of Roadmapping

All the roadmapping workshops shown in Figure 1 were facilitated by the authors of this paper. To carry out these workshops, CISCO Webex³, one of the video conferencing applications widely used around the

world, was used for remote implementation with screen sharing, camera and sound functions. With the workshop participants, ten participants were carefully selected from the JSRAE member companies and universities by the JSRAE Board of Directors. These ten participants were delegated as the working group members to produce the industry-level JSRAE technology roadmap for the year around of 2020/21.

Prior to carrying out the workshops, seven key technological areas were identified as top priority by the JSRAE Board of Directors. The key technological areas identified are as follows: 1) Food technology such as cold chain and food freezing technology; 2) Refrigeration technology such as refrigerants, thermodynamic property table and JARef; 3) Compression technology such as reciprocating, rotary, scroll and screw compressions, inflator, refrigeration oil and lubrication; 4) Heat exchanger technology such as fin-and-tube, shell-and-tube, plate and microchannel heat exchangers, condenser, evaporator and heat transfer enhancement; 5) Frost and defrost technologies including phase change and heat pump; 6) Next-generation refrigeration system technology such as control of steam compression refrigeration cycle, sensing system, actuators and control system for new refrigerants and slightly flammable refrigerants, and latent heat sensible heat separation air conditioning system; and 7) Desiccant, adsorption, absorption and chemical technologies. Then, the working group members were allocated into five small teams with two members (academic and industrial practitioner) in each team, to work on roadmapping based on one or two key technological areas.

Each team was asked to work on the tasks given at each workshop through interactive discussion, and asked to finish the task before the next workshop if any work done is left uncompleted. As indicated in Figure 1, overall discussions between the workshop participants, which correspond to Workshop 6, as well as review by the JSRAE Board of Directors and Auditors, which corresponds to Workshop 7, were conducted as a means of iteration, refinement and finalisation of the workshop outputs.

With data used for the roadmapping workshops, relevant information was collected by each team prior

³ Webex by CISCO : <https://www.webex.com>

to each workshop to prepare for remote discussion. The sources of collected information included secondary information such as government reports, research papers, newspapers, industry magazines and other relevant materials. The reason for the data collection prior to each workshop was to align the workshop outputs with the existing roadmaps relevant to refrigeration and air conditioning technology, particularly produced by the Government of Japan.

2.4 Qualitative Survey

After completing the roadmapping workshops and producing the final outputs, an anonymous survey, using Google Forms⁴, was carried out with the workshop participants. Questions asked in the survey were about future opportunities and challenges for remote roadmapping implementation. The workshop participants were asked to fill out the survey based on their experience with the JSRAE technology roadmap working group activity. The participants were asked to:

- 1) Explain their views and thoughts on benefits of implementing roadmapping remotely, especially from the perspective of your contributions to the working group activity and outputs.
- 2) Explain their views and thoughts on challenges of implementing roadmapping remotely, especially from the perspective of your contributions to the working group activity and outputs.
- 3) Explain their views and thoughts on future opportunities and expectations of implementing roadmapping remotely.

The survey results are reported in Section 4, to identify future opportunities and challenges, and to provide practical insights for organisations implementing or planning to implement roadmapping remotely.

3 RESULTS: TECHNOLOGY ROADMAP 2050

This section reports the results of implementing roadmapping remotely with the JSRAE. The developed roadmap is shown in Figure 2.

As the result of Workshop 1, two main societal areas were identified as the scope of the JSRAE technology roadmap 2050. One area focuses on food loss and waste issues concerned with refrigeration technology

management from production to consumption aiming to improve effectiveness and efficiency, and the other on global warming issues concerned with air conditioning technology management for energy supply and demand control aiming to realise optimisation.

The seven key technological areas mentioned in Section 2.2 were each examined by the delegated teams in relation to the food loss and waste, and global warming issues, and then a vision for 2050 was built with potential directions identified in terms of technology development themes. The following sections report the details of the 2050 vision together with technological contributions and the technology development themes, of which are indicated in the JSRAE technology roadmap 2050 shown in Figure 2.

3.1 2050 Vision

The 2050 vision is shown on the right in Figure 2. It was built through interactive discussion among workshop participants together, as the result of Workshop 5. It consists of three parts as follows:

- A carbon neutral era, in which the shift from fossil fuel-derived energy to renewable energy, refrigerant recovery and reuse is being promoted.
- Development of products and services that utilise hydrogen, fuel cells and magnetic refrigeration technology to improves the efficiency of hydrogen liquefaction, considered to be one of the new options. In addition, maximum energy efficiency will be realised by introducing information and communication technology (ICT), using artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT).
- To achieve this vision, Japan will invest in achieving leadership in technological capabilities and social infrastructure, for the integration of standards and regulations globally to seamlessly develop products and services with low environmental burdens.

From 2022, this vision will be reviewed and updated every year as part of the JSRAE working group activity.

3.2 Summary of JSRAE Technology Roadmap 2050

This sub-section provides a summary of the JSRAE

⁴ Google Forms: <https://docs.google.com/forms>

technology roadmap 2050 in terms of potential contributions from each technology to the vision for 2050, technology development themes and government support needed to accelerate the realisation of the suggested themes to contribute to achieve carbon neutrality. Further details of the JSRAE technology roadmap 2050 can be found in the official website of JSRAE⁵.

3.2.1 Food Technology

Potential contributions from food technology to the 2050 vision include the followings:

- Food loss reduction by cold chain
- Food production optimisation
- Energy consumption reduction by establishing hygiene standards

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2030. There are three themes identified for food technology as follows:

- Theme 1: Establishment of food freezing and cold chain technology that complies with hygiene standards
- Theme 2: Establishment of quality evaluation model that can comprehensively evaluate from freezing, thawing to consumption
- Theme 3: Visualisation of optimum value (optimal energy investment amount) for total engineering in food freezing and cold chain

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes were identified as follows:

- Guidelines for industrial development in relation to international standards such as EHEDG⁶ and HACCP⁷
- Guidelines to cope with global warming and climate change issues in relation to economic activities
- Industry-government-academia collaboration programmes to accelerate research and development for cold chain, energy cost

⁵ JSRAE Technology Roadmap 2050:
<https://www.jsrae.or.jp/jsraeRM/RMDigest.pdf>

⁶ European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG):
<https://www.ehedg.org>

evaluation and food loss and waste measures

3.2.2 Refrigeration Technology (Alternative Refrigerants and Air Conditioning Applications)

Potential contributions from refrigeration technology with a focus on alternative refrigerants and air conditioning applications to the vision for 2050 include the followings:

- Lowering of Global Warming Potential (GWP) of refrigerants, and use of natural refrigerants
- Promotion of refrigerant recovery and reuse
- Development of new refrigerants for expanding heat pump applications

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2030. There are three themes identified as follows:

- Theme 1: Search and development of new refrigerants
- Theme 2: Full utilisation of existing refrigerants and expansion of applications due to deregulation
- Theme 3: Emission reduction by promoting refrigerant recovery

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes were also identified as follows:

- Deregulation for the use of flammable refrigerants such as R32 while ensuring safety.
- Promotion of refrigerant recovery to reduce the amount of refrigerants released into the atmosphere
- Promotion of the use of refrigerants that suppress new refrigerant production
- Examination for domestic use of new refrigerants certified by the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)⁸, and certification of flammability classification
- Safety measures in the event of refrigerant leakage, formulation of guidelines, subsidies for installation of ventilation devices and detectors

⁷ Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP):
<http://www.haccpalliance.org/sub/index.html>

⁸ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) : <https://www.ashrae.org>

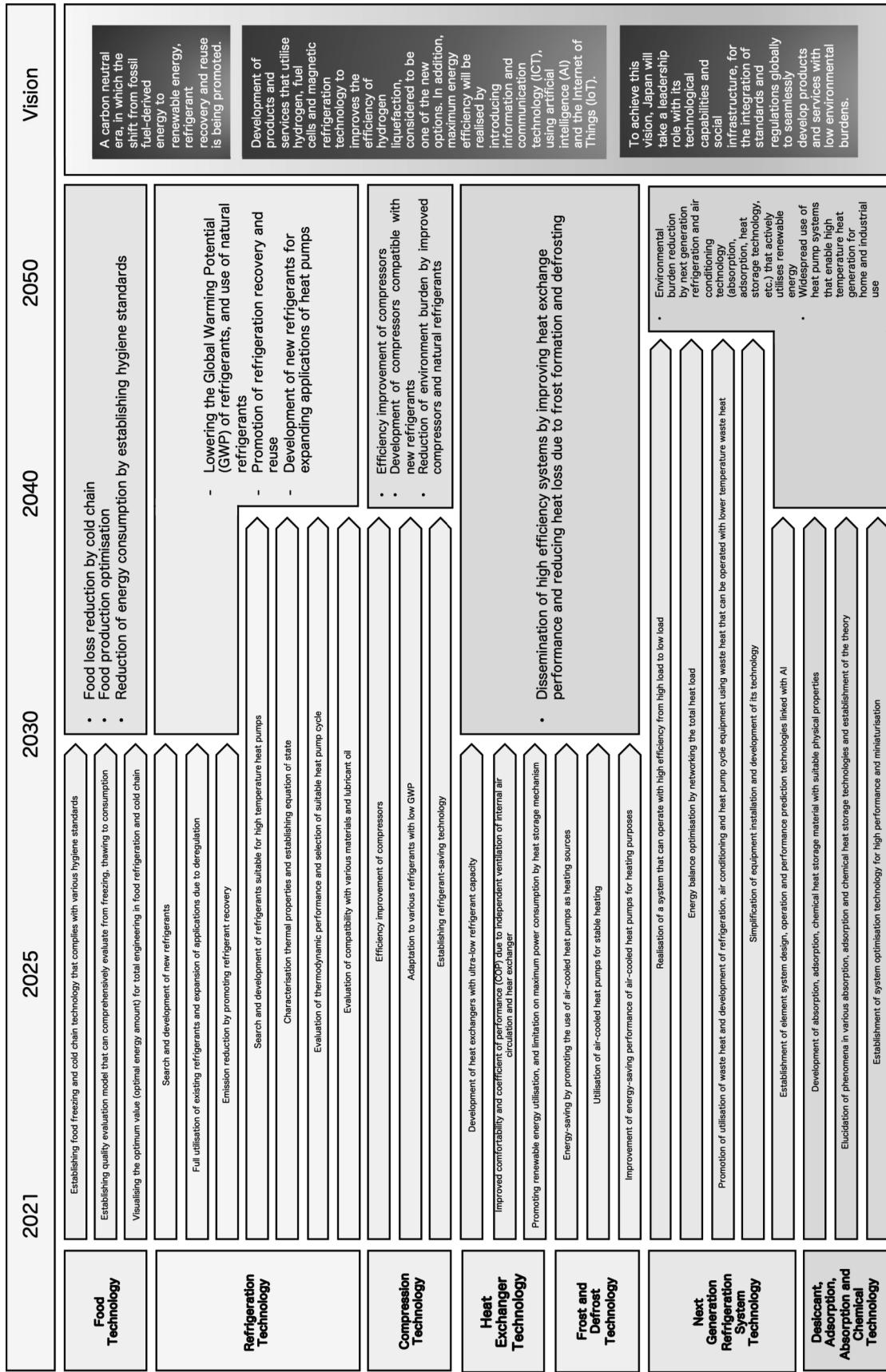


Figure 2: Translated Version of the JSRAE Technology Roadmap 2050.

- Equipment evaluation system that considers not only the GWP value of refrigerants but also the amount of refrigerants held during operation

3.2.3 Refrigeration Technology (Industrial Applications)

Potential contributions from refrigeration technology with a focus on high-temperature industrial applications to the vision for 2050 are aligned with the refrigeration technology with a focus on alternative refrigerants and air conditioning applications reported in Section 3.2.2.

To achieve the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2040. There are four themes identified as follows:

- Theme 1: Search and development of refrigerants suitable for high-temperature heat pumps
- Theme 2: Characterisation of thermal properties and establishment of equation of state
- Theme 3: Evaluation of thermodynamic performance and selection of suitable heat pump cycle
- Theme 4: Evaluation of compatibility with various materials and lubricant oil

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes were identified as follows:

- Statistical database for heat demand and exhaust heat of factories that can be used for heat pump specification
- Technology development projects with industry-university collaboration for development and applicability verification of refrigerants and suitable lubricant oil
- Funding such as loan scheme for new business creation
- Deregulation for system installation

3.2.4 Compression Technology

Potential contributions from compression technology to the vision for 2050 include the followings:

- Efficiency improvement of compressors
- Compressors compatible with new refrigerants
- Environment burden reduction by improved compressors with natural refrigerants

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2040. There are three themes identified for compression technology as follows:

- Theme 1: Efficiency improvement of compressors
- Theme 2: Adaptation to various refrigerants with low GWP
- Theme 3: Establishment of refrigerant-saving technology

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes for compression technology were identified as follows:

- Subsidy system to encourage the introduction of energy-saving products
- Development of communication infrastructure, including the development and dissemination of 5G/6G infrastructure
- Subsidies or tax incentives for capital investment by manufacturers
- Subsidies for research and development with industry-academia-government collaboration.
- Regulations and standards for slightly flammable, highly flammable refrigerants and toxic refrigerants
- Tax incentives and subsidies for development costs and capital investment for the use of refrigerants with low GWP

3.2.5 Heat Exchanger Technology

Potential contributions from heat exchanger technology to the vision for 2050 include the followings:

- Dissemination of high efficiency systems by improving heat exchange performance and reducing heat loss due to frost formation and defrosting

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2030. There are three themes for heat exchanger technology identified as follows:

- Theme 1: Development of heat exchangers with ultra-low refrigerant capacity
- Theme 2: Improved coefficient of performance (COP) and further comfortability due to independent ventilation of internal air

circulation and heat exchanger

- Theme 3: Promotion of renewable energy utilisation, and control on maximum power consumption by heat storage mechanism

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes for heat exchanger technology were identified as follows:

- Certification, purchase subsidy system or tax levied for models with a small amount of refrigerants charged for air conditioning capacity, or models with a small amount of refrigerants charged for the capacity times GWP value of the refrigerant.
- Certification system for models that are highly comfortable and energy-saving and that have functions effective in preventing heat stroke.
- Certification and purchase subsidy system for products that can handle the utilisation of surplus renewable energy power generation and limitation on maximum power consumption by heat storage mechanism

3.2.6 Frost and Defrost Technologies

Potential contributions from frost and defrost technologies to the vision for 2050 are aligned with the heat exchange technology reported in Section 3.2.5.

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2030. There are three themes for frost and defrost technology identified as follows:

- Theme 1: Energy-saving by promoting the use of air-cooled heat pumps as heating sources
- Theme 2: Utilisation of air-cooled heat pumps for stable heating
- Theme 3: Improvement of energy-saving performance of air-cooled heat pumps for heating purposes

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes for frost and defrost technology were identified as follows:

- Further subsidies to increase the adoption rate of air-cooled heat pumps.
- Data analysis, usage and disclosure for the air-cooled heat pumps used in the government buildings and its effects on carbon dioxide

emission reduction

- Subsidy for further technological innovation particularly for universities
- Formulation of framework for the target value of heat pump penetration rate and other technologies for carbon dioxide emission reduction

3.2.7 Next-Generation Refrigeration System Technology

Potential contributions from next-generation refrigeration system technology to the vision for 2050 include the followings:

- Environmental burden reduction by next generation refrigeration and air conditioning technology (absorption, adsorption, heat storage technology, etc.) that actively utilises renewable energy
- Widespread use of heat pump systems that enable high-temperature heat generation for both home and industrial use

To realise the potential contributions, technology development themes were identified with the aim to achieve by 2050. There are five themes for next-generation refrigeration system technology identified as follows:

- Theme 1: Realisation of a system that can operate with high efficiency from high to low heat load
- Theme 2: Energy balance optimisation by networking the total heat load
- Theme 3: Promotion of utilisation of waste heat and equipment development of refrigeration, air conditioning, heat pump using waste heat that can be operated with low-temperature waste heat
- Theme 4: Simplification of equipment installation and development of its technology
- Theme 5: Establishment of element system design, operation and performance prediction technologies linked with AI

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes for next-generation refrigeration system technology identified as follows:

- Industry-academia-government collaboration

programmes for new mechanisms, materials, refrigerants, construction methods, devices and IT network.

- Development of a performance display method to cope with improved heat insulation
- Funding such as loan system for system development and new business creation
- Deregulation for system installation

3.2.8 Desiccant, Adsorption, Absorption and Chemical Technologies

Potential contributions from desiccant, adsorption, absorption and chemical technologies to the vision for 2050 are aligned with the next generation refrigeration system technology reported in Section 3.2.7.

To realise the potential contributions, technology development themes were identified to achieve by 2030.

There are three themes identified as follows:

- Theme 1: Development of absorption, adsorption, chemical heat storage materials with suitable physical properties
- Theme 2: Elucidation of phenomena in various absorption, adsorption and chemical heat storage technologies and establishment of the theory
- Theme 3: Establishment of system optimisation technology for high performance and miniaturisation

Government supports needed to accelerate the realisation of the technology development themes were identified as follows:

- Deregulation of technologies relating to food and beverages, biogas, coalbed methane, cogeneration, geothermal and solar to accelerate further technological innovation
- Strengthening of incentives to work closely together with the public and private sectors to promote further development of absorption, adsorption and chemical heat storage technologies
- Activation of public-private research projects for absorption, adsorption and heat storage equipment that cover both domestic and overseas markets and industries
- Activation of an international consortium backed

up by the government to enhance Japan's technological and dissemination capabilities to foster further technological innovation

3.2.9 Next Steps for the JSRAE Working Group Activity

In this working group activity, an industrial-level technology roadmap was formulated with proposal orientation. The roadmap shows the direction of the 2050 vision and technology development themes for relevant companies, universities and government agencies and academic communities. By showing common issues in contributing to the realisation of carbon neutrality by 2050, this roadmap shows the first step to strengthen further cooperation between industry, academia and government towards the acceleration of technological innovation in the field of refrigeration and air conditioning technology. The next steps include the followings:

- Exchange of information and opinions with relevant stakeholders to brush up the roadmap contents, and also to identify roles of each stakeholder contributing to achieve carbon neutrality
- Internationalisation of the JSRAE by using the developed roadmap
- Formulation of implementation roadmaps with detailed routes to contribute to the 2050 vision.

4 OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

This section discusses future opportunities and challenges for remote implementation of roadmapping. The workshop participants were asked to complete a qualitative survey. The response rate was 80% (eight out of ten participants) and one response was obtained from one of the observers who is an administration officer of the JSRAE. The followings report the survey results with discussion.

4.1 Opportunities for Remote Implementation

First, high attendance rate throughout workshops can be secured. While the workshops were carried out remotely, a majority of the workshop participants indicated that remote implementation enabled them to attend the workshops relatively easily because it significantly reduces the travel time and cost of participating in the roadmapping workshops. While

some of the JSRAE working group members were in Tokyo, some were in the Kyushu, Kansai and Tohoku regions. Remote implementation enabled them to join easily through a video conferencing application, from their locations. For the JSRAE working group activity for seven workshops carried out over approximately four months, the attendance rate throughout all the sessions was kept above 90%. Furthermore, discussions can be recorded for absentees so that they can catch up before the next session. Even after the Covid-19 pandemic settled down in the future, remote implementation can be included in the future activities, for example with a combination of face-to-face sessions.

Second, inputs from observers for workshop outputs can be frequently obtained for refinement throughout the roadmapping workshops. For instance, due to remote implementation, the observers, the JSRAE chairman and deputy chairmen, could join most of the workshops and provided inputs to the outputs.

Third, teamwork with task delegation can be carried out with high concentration. Remote implementation provided the teams with opportunities to visualise views and opinions, for example on the PowerPoint slides, during discussion in the workshop. This enabled them to capture and understand the topics with relevant materials shared on the screen from the beginning of discussions, without leaping out of the scope and aim of the workshop to produce the outputs. Remote implementation of roadmapping has potentials for high productivity and efficiency in idea generation and effectiveness in information sharing.

4.2 Challenges for Remote Implementation

First, depending on what kind of IT environment that workshops participants are in, discussion can be destructed easily. As the workshop participants were accessing the CISCO Webex from their own locations, the IT environment for each participant was different. If any connections are unstable, discussion could not be carried out smoothly, especially for teamwork. To cope with this challenge, each workshop participant should be sure to secure a stable IT environment prior to the commencement of roadmapping project.

Second, interactive discussions and the quality of outputs produced by workshop participants can lack the sense of accomplishment as a whole, compared to face-to-face workshops. While task delegation suitably

works for remote teamwork, exchanging views and thoughts through discussion between workshop participants can be difficult due to communication barriers in the virtual environment. To cope with this challenge, roadmapping should include pre-survey for participants' preference on remote communication in terms of camera and sound functions and also include sessions for information and opinion exchange, to provide workshop participants with enough time for iteration and refinement of the outputs.

Third, relationship building between workshop participants was difficult with remote implementation. One of the benefits that workshop participants can get from involvement in roadmapping projects is to build relationships between participants. In the virtual environment it was difficult to provide such a mood and environment enough, compared to face-to-face workshops. To cope with this challenge, roadmapping design should include earlier sessions as face-to-face, where feasible, combined with remote implementation to provide workshop participants with opportunities to build relationships for improved activities.

5 CONCLUDING REMARKS

This paper has reported the real-world case of developing an industrial-level technology roadmap remotely in cooperation with the JSRAE, together with future opportunities and challenges discussed. While Covid-19 vaccination levels increasing at the time of writing this paper, the global pandemic continues to impact many business activities. Implementing roadmapping remotely continues to be demanded worldwide, and this trend is likely to continue after the pandemic, taking advantage of rapidly evolving digital solutions and platforms. Future work includes further consideration of digital tools and techniques, not only to cope with the challenges but to capture and understand future opportunities for improved roadmapping implementation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT) and the Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers (JSRAE) for supporting this research.

REFERENCES

- [1] A. Zimmerling and X. Chen, "Innovation and Possible Long-term Impact driven by COVID-19: Manufacturing, Personal Protective Equipment and Digital Technologies," *Technology in Society*, Vol. 65, 101541, 2021.
- [2] S. Gopalakrishnan and S. Kovoov-Misra, "Understanding the Impact of the Covid-19 pandemic through the Lens of Innovation," *Business Research Quarterly*, Vol. 24, No. 3, pp. 224-232, 2021.
- [3] R. Phaal, C. Farrukh and D. R. Probert, "Technology Roadmapping – A Planning Framework for Evolution and Revolution," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 71, No. 1-2, pp. 5-26, 2009.
- [4] R. Phaal, C. J. P. Farrukh, and D. R. Probert, "Strategic Roadmapping: A Workshop-based Approach for Identifying and Exploring Strategic Issues and Opportunities," *Eng. Manage. J.*, Vol. 19, No. 1, pp. 3-12, 2007.
- [5] R. Phaal and G. Muller, "An Architectural Framework for Roadmapping: Towards Visual Strategy," *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 1, pp. 39-49, 2009.
- [6] N. Gerdtsri, R. S. Vatananan, and S. Dansamasatid, "Dealing with the Dynamics of Technology Roadmapping Implementation: A Case Study, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, No. 1, pp. 50-60, 2009.
- [7] Y. Hirose, R. Phaal, Y. Okada and Y. Kishita, "Strategic Roadmapping for Technology Ventures and Investors," AIIT Working Paper Series, No. 13, pp. 169-178, 2019.
- [8] Y. Hirose, R. Phaal and Y. Kishita, "Roadmapping Thinking-oriented Idea Generation Method," AIIT Working Paper Series, No. 14, pp. 251-260, 2020.

プラットフォーマーによる官民協調型ガバナンス機構 —情報社会学近代化モデル「2重の」統合国家試論

前田 充浩*

Platformers and the Public-Private Partnership Governance Architecture : A Model of Dual Integrated States in the Modernization Model of Infosocionomics

Mitsuhiko Maeda*

Abstract

Lower income developing states need to adopt a kind of ‘integrated states’ polity architecture in employing the latest digital technologies in establishing their social institutions of financial and capital systems.

This paper analyzes conditions of functioning ‘integrated’ states.

The condition is that they invite private sectors, especially platformers, in the governance polity and thus compose the new governance architecture of Public-Private Partnership (PPP). Nowadays some platformers act not only as private firms, but also as members of governance polities. The case of Alibaba Group shows the high possibility of this kind of governance.

The PPP type governance architecture will be compiled by extending the concept of ‘co-evolutionism’ of Infosocionomics.

Keywords : Infosocionomics, platformers, capital system, ‘industrium’, ‘co-evolutionism’

1 研究の目的

本研究の目的は、今日の発展途上国がそれぞれの社会システムにおいて、急速に経済社会開発の基盤となる制度を整備していくための方法論を検討することにある。

筆者はかねてより、近代化のグローバリゼーションの過程について、第3新近代という考え方を提示して来ているところである(注1)。第1近代は、近代文明の出自の地域であるヨーロッパだけが近代化できると考えられていた時代である。第2近代は、ヨーロッパに加えて、アジア、アフリカ等の地域の中で、ヨーロッパの指導に的確に応えた優等生だけが近代化できるものの、それ以外のアジア、アフリカ等地域の大半は引き続き近代化の途が閉ざされていると考えられていた時代である。これに対して第3新近代は、民族、地域、宗教、歴史的経緯等に一切関係なく、地球上の全ての地域で猛然と近代化が進展する時代である。今日の世界の状況は、まさにこの第3新近代として捉えられるべき状況である。2015年に国際連合総会で採択された SDGs (Sustainable Development Goals)は、2000年から2015年までを対象

としていたMDGs(Millennium Development Goals)とは異なり、発展途上国の中に優等生とそれ以外の区別を持ち込んでいないため、基本的に第3新近代の考え方方に立脚するものであると見ることができる。

第3新近代の考え方方に立脚する場合に問題となるのは、発展途上国、特に後発発展途上国における経済社会開発のための制度整備の問題である。後発発展途上国は、近代化を推進することができるとしても、現時点では、経済社会開発のための制度整備が先進国及び先発発展途上国と比べると著しく遅れていることは否めない。このため、後発発展途上国における経済社会開発のための制度整備の進め方について適切なモデルを構築することは、グローバリゼーションの今後の展開、特に第3新近代が現実のものとなるかどうかを決定する重要な課題であることになる。

後発発展途上国における経済社会開発のための制度整備の方法論としてまず考えられるのは、先進国及び先発発展途上国が実施した方法を基本的にそのまま踏襲する、というものである。これを、伝統的な方法論、と呼ぶこととする。

伝統的な方法論は、近代化に関するリニア史観に基づくも

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

のである。リニア史観とは、全ての社会システムは、先進国が辿ったものと同じ過程を辿って近代化を推進する、近代化の推進過程は先進国が辿った過程と同じものしか存在しない、という考え方である。

この考え方立脚する限り、今日の先進国における近代化が一番進展し、先発発展途上国がその後を追い、更にその後を後発発展途上国が追う、という序列は、今後も永久に変わることはない。後発発展途上国にとってのせめてものの希望は、先進国及び先発発展途上国との差を縮めることだけである。

一方、応用情報社会学(Applied Infosociconomics)が立脚する再帰的近代(reflexive modernity)の考え方によると、第3新近代の時代の近代化においては、この序列の逆転の可能性が大きく開ける可能性がある。再帰的近代という概念は、ギデンス(Giddens, Anthony)等によって提示された近代化過程に関する概念であるものの、応用情報社会学ではそれを用いて、近代化の進展度に関する発展途上国間の序列の逆転を説明するモデルを構築している。また応用情報社会学では、後発発展途上国が、序列の逆転を狙つて先進国及び先発発展途上国が採用したものとは根本的に大きく異なる発展戦略を採用する場合、そのような発展戦略を、マルチチュード型発展戦略、と呼ぶ。この場合のマルチチュードとは、ネグリ(Negli, Antonio)及びハートの帝国論(注2)において用いられる概念であるマルチチュードの意味である。

本研究は、情報社会学(Infosociconomics)及び応用情報社会学の最先端の研究成果を整理することにより、後発発展途上国における経済社会開発のための制度整備に関する独自のマルチチュード発展戦略のモデルを提示することを目的とする。

そのモデルの概要を示すと、以下のようなものである。

筆者は、後発発展途上国が、先進国及び先発発展途上国とは全く異なる方法論(マルチチュード型発展戦略)を用いて経済社会開発のための制度整備を推進することにより、近代化の進展に関する序列を逆転し、先発発展途上国はおろか、先進国をも凌駕することは十分に可能であると考える。その鍵をなすのは、最先端のデジタル技術である。

先進国及び先発発展途上国が経済社会開発のための制度整備を行ったのは、今日のようなデジタル・トランسفォーメーション(DX)時代のデジタル技術が登場する前のことであり、先進国の多くにおいては、そもそもデジタル技術そのものが登場する前のことである。

一方、一度構築された制度は慣性(inertia)を持つため、制度整備の後に新しい技術が登場した場合に、柔軟に新しい技術を基盤とするものに変化することはない。一般的には、古い技術に基づく制度が既得権益化し、新しい技術の採用を邪魔することになる。新しい技術が本格的に採用されると

古い技術に基づく制度に関わる人々の既得権益が大きく損なわれるためであり、これを「既得権益の罠(incumbent traps)」と呼ぶ。

このことから、後発発展途上国において、「既得権益の罠」に陥ることなく、最先端のデジタル技術の恩恵を余すところなく發揮するような、全く新しい経済社会開発のための制度整備を進めることができれば、それはある種のマルチチュード型発展戦略の基盤として、国際社会における後発発展途上国の序列を大きく向上させることになると考えることが出来る。

それでは、そのようなマルチチュード型発展戦略は、どのような国家体制によって実現することができるだろうか。

筆者は、この国家体制について、情報社会学近代化モデルが提示している統合国家という概念に着目し、この統合国家という概念を拡張することにより、上記マルチチュード型発展戦略を支える国家体制のモデルを示すことが出来ると考える。

国家体制、即ち国家という組織、制度の存在意義は、社会システムのガバナンス機能を担うことである。今日では、社会システムにおいてガバナンス機能を担う組織(ガバナンス機構)と言えば、国家の政府だけが思い浮かべられて、それ以外の主体は全く想定されることがない。事実上、ガバナンスとは、国家の政府が行うことと等価に考えられている。

一方、比較制度分析(Comparative Institutional Analysis)のガバナンス競争の考え方立脚するならば、今日国家の政府が社会システムのガバナンス機構の立場にあるのは、国家の政府が他の主体に比べて最も有効にガバナンス機能を提供できるためであるに過ぎない。逆に言えば、国家の政府が有効にガバナンス機能を提供できないようになる一方で他の主体が有効にガバナンス機能を提供できる状況になれば、社会システムにおけるガバナンス機構の主体は変更されて行くことになる。

情報社会学近代化モデルでは、このような考え方立脚して、概ね 16 世紀半ばに開始された近代化過程において趨勢となった主体の形態として、主権国家、国民国家及び統合国家の3つの形態を示している。主権国家は概ね 16 世紀半ばから 18 世紀半ばに趨勢、国民国家は概ね 18 世紀半ばから 20 世紀半ばに趨勢を見せたとされる。趨勢とは、その時期において、他の主体に比べて最も有効にガバナンス機能を提供することに成功していた、ということである。

これに対して現下では、国民国家という形態の主体が適切に対応することができない問題の重要性が高まって来ており、それに対処するために、新しい統合国家という形態が今後趨勢を迎えるようになるとの見解を示している。伝統的な情報社会学近代化モデルでは、国民国家という形態の主体が適切に対応することができない問題として、国民国家の範囲を超える数々の国際的な問題を挙げている。このため、統合

国家の具体的な態様は、複数の国民国家の地域的連合であるとしている。

一方筆者は、現下の後発発展途上国における国民国家という形態の主体が適切に対応することが出来ない重要な問題として、最先端のデジタル技術を基盤にするインダストリウム構築、特に金融システム及び資本システムの構築を挙げる。インダストリウムとは、金融システム、資本システム及び産業システムの3層の構造を持つ、社会システムにおける民間企業の利潤の拡大のためのプラットフォームである。見方によれば、これがウォーラースtein (Wallerstein, Immanuel) の世界システム論で言う近代資本主義システムの中核を構成するものとなる。

金融システムとは、決済機能を担う機関のことであり、端的には銀行である。資本システムとは、「資本化された」資金の増殖過程を担う機関のことであり、証券会社、信託等である。産業システムとは、「資本化された」資金にサステイナブルな投資機会を提供する産業群のことである。

従来は渾然一体として捉えられていた金融業界の諸制度を、金融システムと資本システムの2つの類型に分離して整理したのは、倉都康行の独創的な業績である。この倉都康行の整理を基盤として、筆者はそれに第3層である産業システムを組み合わせ、3層全体を覆うシステムをインダストリウムと呼ぶモデルを提示して来ているところである(注3)。

インダストリウムの構築は、後発発展途上国における経済社会開発のために社会システムにおいて果たされなければならない重要なガバナンス機能である。これを欠いては、当該社会システムでは資本が増殖せず、世界システム論で言う近代資本主義システムが機能しない。

一方、インダストリウムの構築は、後発発展途上国のみならず、先発発展途上国においても、更には先進国においても大変な難題である。金融システムだけを見ても、先進国においてそれが整備されるためには長期間と多額のコストを要したところである。先進国である日本の例では、長年に亘る努力の結果、金融システムの整備は何とかほぼ完成したものの、資本システムについては未だに十分に整備されているとは言い難い。

21世紀において後発発展途上国が、このような難題であるインダストリウム構築というガバナンス機能を急速に進めるためには、リニア史観に立脚する従来型の政策を展開するだけでは大きな成果を期待することが困難であり、最先端のデジタル技術を活用するある種のマルチチュード型発展戦略を採用することが極めて有効な戦略であると考えられる。一方で、最先端のデジタル技術を基盤とするインダストリウム構築というガバナンス機能を果たすという課題については、能力及び制度上の問題(「既得権益の罠」)ゆえに、既存の国民国家政府では十分に対処することが著しく困難であると考えられる。

このようなガバナンス機能を有効に果たす可能性のある主体としてガバナンス競争に登場し得るのは、現下の世界の情勢を見渡すならば、プラットフォーマーであると言える。勿論、国民国家政府とは独立してプラットフォーマーが単独でガバナンス機能を担うようになることを想定することは現実的ではない。従って、21世紀の国際社会、特に後発発展途上国においては、従来はガバナンス機能に参画することのなかったプラットフォーマーという民間部門の主体が参加し、国民国家政府との間で官民協調型ガバナンス機構という形態のガバナンス機構を構築し、それによって対処して行く可能性を考えることには合理性がある。プラットフォーマーは、単に巨大な民間企業として利益の拡大を追求する存在としてだけではなく、特に後発発展途上国においては、国民国家政府との間で官民協調の新しい制度を構築して行くことにより、社会システムのガバナンス機能の担い手としての役割をも果たしていく存在として捉えるべきであると考える。

このような官民協調型ガバナンス機構は、政府とプラットフォーマーという民間部門の統合、という意味で、ある種の統合国家のモデルを示すのではないか、というのが筆者の主張である。

即ち21世紀における統合国家については、伝統的な情報社会学の研究において説明されるように、複数の国民国家の地域的連合というものに加えて、政府と民間部門の主体との間で官民協調型ガバナンス機構という新しい形態のガバナンス機構が構築されることにより、政府と民間部門の主体を「統合」する国家としての側面をも兼ね備えるものとなり、結果として、複数の国民国家の地域的連合と、政府と民間部門の主体の連合という「2重の」統合国家が登場するのではないかと考える。

複数の国民国家の地域的連合としての統合国家については、応用情報社会学等において既に多くの研究成果が出されている。本研究は、それらの先行研究を基盤として、「2重の」統合国家の2重目、即ち国民国家政府と民間部門の主体、特にプラットフォーマーとの間の官民協調型ガバナンス機構の可能性を検討するものである。

官民協調型ガバナンス機構が成立するためには、官、即ち国民国家政府と、民、即ちプラットフォーマーとに特別の課題が課せられることとなる。国民国家政府には、従来は自らが独占していたガバナンス機能の領域に、一定の範囲で民間部門の参入を認めることとなり、そのための特別の制度、特に法制度整備が必要となる。プラットフォーマーには、民間企業という性格上、本来は利益の拡大のみを追求していれば良かったのに対して、社会システムのガバナンス機能という領域に参画するための特別の能力と意思が必要とされることとなる。ガバナンス競争の考え方が示すように、従来通り国民国家政府に任せておいて実現されるガバナンス機能に比べて圧倒的に優れたガバナンス機能を発揮する能力を發

揮することが求められる。プラットフォーマーは、その有する優れたデジタル技術を駆使することにより、この能力の要請に応えて行くこととなる。

両者がこのような課題に適切に応え、官民協調型ガバナンス機構を成立させるためには、幾つか特別の条件があることとなる。逆に言えば、それらの条件を充足することが出来れば、国民国家政府は優れたデジタル技術を有するプラットフォーマーをパートナーとして得ることにより、社会システムの成員に対してより優れたガバナンス機能のサービスを提供して行くことが可能になる。

この条件について、筆者は、情報社会学における共発主義(*co-evolutionism*)という考え方着目する。

共発主義とは、発展途上国において、国民国家政府が行うべきガバナンス機能を、企画立案から実施まで全てを国民国家政府が単独で行うべきものと、企画立案及び実施のある範囲について国民国家政府以外の主体の参画を認めることが合理的であるものの2種類に分類し、後者について、他の主体の参画を促すという制度である。情報社会学では、この場合の他の主体としては、MDBs(多国籍開発金融機関: *Multilateral Development Banks*)及び先進国政府が想定されているところ、筆者は、プラットフォーマーという民間部門の主体についてもこのような参画があり得るのではないかと考える。

以上を整理すると、以下のようになる。

筆者が第3新近代と呼ぶ21世紀の国際社会において後発展途上国は、先進国及び先発発展途上国が実施した方法とは大きく異なる、新しい、画期的な方法で経済社会開発のための制度整備を進めて行くことが求められる。具体的には、金融システム、資本システム及び産業システムの3層構造のシステムであるインダストリウムの構築を、最先端のデジタル技術を活用して構築する、という新しいガバナンス機能を果たして行かなければならない。そのようなガバナンス機能を果たすことは、従来の国民国家政府だけでは無理であるため、優れたデジタル技術を有するプラットフォーマーという民間部門の主体を招き、官民協調型ガバナンス機構という新しい形態のガバナンス機構を構築することが求められる。

この官民協調型ガバナンス機構は、情報社会学近代化モデルの研究を踏まえると、官と民の統合国家ということになり、それは複数の国民国家の地域的統合という意味での統合国家との「2重の」統合国家として捉えることが出来る。後発発展途上国における現在の国民国家政府がこのような官民協調型ガバナンス機構を構築するための方針論は、情報社会学近代化モデルにおける共発主義というモデルを拡張することによって追求することが出来る。

それでは以下、次のような順で、上記の問題意識の検討を進めて行く。

次章では、本研究の基盤を成す先行研究である情報社会学及び応用情報社会学の成果を整理する。具体的には第1に、情報社会学近代化モデルの概要を整理した上で、複数の国民国家の地域的統合という伝統的な意味で捉えられる統合国家という概念を整理する。第2に、「2重の」統合国家の合理性を示すことになる、比較制度分析のガバナンス競争の考え方を整理する。本研究で筆者が「2重の」統合国家の必要性を唱える根拠は、それがガバナンス競争で勝利すると考えられるためである。第3に、インダストリウム・モデルについて、倉都康行による金融システムと資本システムの類型の整理を概観した上で、第4に、それらに産業システムを加えたインダストリウム・モデルの概念を整理する。

第3章では、これらの先行研究を基盤に、後発発展途上国における国民国家政府とプラットフォーマーとの官民協調型ガバナンス機構としての「2重の」統合国家の考え方を展開する。具体的には、第1に、現下の後発発展途上国におけるインダストリウムの整備状況を俯瞰し、結果として筆者がマルチユード型発展戦略と呼ぶ、最先端のデジタル技術を活用した新しい画期的な手法を採用しなければならない必要性を明らかにする。第2に、21世紀の世界に登場した、プラットフォーマーによるガバナンス機能の発揮、特に最先端のデジタル技術を活用した金融システム構築の動きについて、アリババ・グループの実例を取り上げ、その経緯を概観する。アリババ・グループの動きは、結果として中国という国民国家政府に「捕獲」されたため、中国においては官民協調型ガバナンス機構は成立しなかった。第3に、アリババ・グループの先例を踏まえつつ、今後の後発発展途上国において、「捕獲」せず、官民協調型ガバナンス機構を構築して行くための方針について、情報社会学近代化モデルの共発主義という概念を拡張することにより検討する。拡張の鍵を握るのは、シビル法制度整備(*development of CIVIL legal systems*)である。

2 「2重の」統合国家に関する先行研究

2.1 情報社会学近代化モデル

統合国家とは、情報社会学近代化モデルの概念である。本節では、情報社会学近代化モデルの概要を整理する。

情報社会学は、20世紀後半以降、急速に発達したデジタル技術が社会の全ての面に決定的な影響を及ぼしつつあることを正面から捉え、そのような社会の状態を情報社会として、包括的に理解するための社会科学として構築されたものである。2000年7月、情報社会学の創始者である公文俊平の那覇宣言によって正式に旗揚げされ、情報社会学会(Society of Infosocionomics)は2005年に立ち上げられた。情報社会学近代化モデルは、情報社会学の中核をなすモデルとして位置付けられている、概ね16世紀半ばに開始され、今日も継続する近代化の動きを包括的に把握するため

のモデルである。

この情報社会学近代化モデルに基づく各種の政策を発展途上国的情報社会構築において実装するための研究の枠組みが、応用情報社会学である。これは、2017年以降、東京都立産業技術大学院大学経営倫理研究所(Epistemic Research Institute of Social Ethics:ERISE)と多くの発展途上国の政府、政府関係機関、大学等との間で進められた協働研究の中で生み出された。2021年には応用情報社会学の研究に関する国際的な組織である世界応用情報社会学会(Global Society of Applied Infosocionomics:Glo-SAI)が設立され、情報社会学の創始者であり情報社会学会の初代会長である公文俊平が会長に就いた。

情報社会学近代化モデルの基本的な枠組みを支える独自の考え方を世界応用情報社会学会のウェブ(注4)に示されている内容等に基づき整理すると、以下のような。

第1が、近代化の側面(aspect)という考え方である。情報社会学近代化モデルでは、概ね16世紀半ばに開始された近代化の動きを、国家化(nationalization)、産業化(industrialization)及び情報化(informatization)の3つの側面によって捉える。近代化を、政治の動き、経済の動き及びソーシャルの動きの3つの動きの重なり合いとして捉える、ということである。

このように、近代化を3つの側面によって捉えることに情報社会学の重要な存在意義がある。近代社会を対象とする従来の社会科学の多くは、これらのうちの1つの側面を特に重視するものであったと見ることが出来る。政治学は国家化を重視し、経済学は産業化を重視した。このように1つの側面を特に重視することは、重視する側面が近代化の中核的な動きである間は有効性が高いものの、近代化の中核的な動きは、時間の経過とともに変化して行く。その結果、それが変化した後には、かつての中核的な動きを特に重視していた社会科学は、近代社会の中の限定的な部分しか適切に分析できないものとなる。

20世紀後半以降、近代文明は情報化と呼ばれる新しい段階に突入している。この情報化を、かつて産業化が中核的な動きであった時代に構築された社会科学、典型的には経済学によって分析していくとすれば、情報化の限られた側面については適切な分析を進めることができるとても、その重要な本質については捉えられない可能性がある。情報化という新しい動きについて、その本質を理解するためには、情報化に即した新しい社会科学が必要になる。

一方で、情報化の動きが中核的な動きになって来たとしても、近代文明の中で国家化の動きと産業化の動きが消える訳ではなく、変容した形でより一層その重要性を強めている。このため、情報化に即した新しい社会科学が情報化の動きのみを特に重視したものであるとすれば、情報化に関しては適切に分析できるとしてもそれ以外の動きについては視野の

外となるため、結局情報化時代の近代文明そのものについては十分な理解ができないこととなる。

以上のことから、16世紀半ば以降の近代文明全体を統一的に俯瞰することのできる枠組みが必要となり、このような要請から情報社会学は、国家化、産業化及び情報化の3つの側面をその研究の枠組みにおいて「同格に」採用するのである。

第2が、各側面のステージ変容(stage transfiguration)という考え方である。国家化、産業化及び情報化の各側面が、概ね200年間を単位として、次々と新しいステージへと変容して行く、ということである。

国家化については、主権国家(sovereign states)をその内容とする国家化I、国民国家(nation states)をその内容とする国家化II、及び統合国家(integrated states)をその内容とする国家化IIIのステージが示されている。

産業化については、労働産業化(labor-centric industrialization)、またはオートメーション(automation)である産業化I、及び知能産業化(intelligence-centric industrialization)、またはオート「ノ」メーション(autonomation)である産業化IIのステージが示されている。

情報化については、20世紀半ば以降、社会全体のデジタル化(全体的デジタル・トランスフォーメーション(holistic DX))を中心的な内容とする情報化I(情報化はII以降が登場していないため、以下、単に情報化、と呼ぶ。)のステージが進展しているとする。

第3が、各側面のステージ変容に関する(シグモイド曲線)局面遷移(sigmoid-curve phase alteration)及びその重畳(super-imposition)関係である。各側面の各ステージは、シグモイド曲線に沿って、出現(emergence)局面、突破(break-through)局面及び成熟(maturation)局面という3つの局面を順に遷移する。

各局面はそれぞれ文字通りの意味であり、出現局面とは、新しいステージが社会の中で開始される局面である。突破局面とは、当該ステージが社会の中で爆発的に勢力を強め、社会の趨勢としての地位を確立する局面である。成熟局面とは、当該ステージが安定して、社会の中で確立された地位を維持する局面である。

情報社会学近代化モデルでは、各側面のステージの各局面は、それぞれ概ね100年間としている。即ち、国家化I、国家化II、国家化III、産業化I、産業化II及び情報化Iの各ステージは、それぞれ100年間を単位として、出現局面、突破局面及び成熟局面を辿る。

重畳関係とは、前のステージの成熟局面に次のステージの出現局面が開始される、即ち前のステージの成熟局面と次のステージの出現局面とは同じ時期に相当する、ということである。

この考え方に基づいて整理すると、以下のようになる。

国家化Ⅰは16世紀半ばから17世紀半ばが出現局面、17世紀半ばから18世紀半ばが突破局面、18世紀半ばから19世紀半ばが成熟局面となる。国家化Ⅱは、18世紀半ばから19世紀半ば(国家化Ⅰの成熟局面と時期が重なる。)が出現局面、19世紀半ばから20世紀半ばが突破局面、20世紀半ばから21世紀半ばが成熟局面になる。国家化Ⅲは、20世紀半ばから21世紀半ば(国家化Ⅱの成熟局面と時期が重なる。)が出現局面である。

このため国家化に関する今日の状況は、国家化Ⅱ(国民国家化)の成熟局面と国家化Ⅲ(統合国家化)の出現局面との重畳として捉えることが出来る。即ち、数の上でも実効性の上でも国民国家が引き続き趨勢を占めてはいるものの、世界システムを見渡すならば、国民国家だけではなく、統合国家という新しいポリティの動きも無視できない重要性を持つようになりつつあり、しかもその重要性は日々高まっていく、ということになる。

産業化Ⅰは、18世紀半ばから19世紀半ばが出現局面、19世紀半ばから20世紀半ばが突破局面、20世紀半ばから21世紀半ばが成熟局面になる。産業化Ⅱは、20世紀半ばから21世紀半ば(産業化Ⅰの成熟局面と時期が重なる。)が出現局面、21世紀半ばから22世紀半ばが突破局面となる。

このため産業化に関する今日の状況は、産業化Ⅰ(労働産業化)の成熟局面と産業化Ⅱ(知能産業化)の出現局面との重畳として捉えることが出来る。即ち、数の上でも実効性の上でも労働産業化が引き続き趨勢を占めてはいるものの、世界全体の経済の動きを見渡すならば、労働産業化だけではなく、知能産業化という新しい産業の動きも無視できない重要性を持つようになりつつあり、しかもその重要性は日々高まっていく、ということになる。

情報化については、20世紀半ばから21世紀半ばにかけて、出現局面にあるとされる。

以上が情報社会学近代化モデルの構造である。これに依拠すると、21世紀の今日は、国家化に関する成熟局面にある国民国家化と出現局面にある統合国家化の組み合わせ、産業化に関する成熟局面にある労働経済化と出現局面にある知能経済化の組み合わせ、及び情報化の3つの動きの重畳として捉えられることとなる。統合国家とは、近代化の国家化側面のステージ変容において国民国家が成熟局面にある中で出現しつつある新たな形態のガバナンス機構であるということになる。

情報社会学の創始者である公文俊平は、同時に統合国家という概念の提唱者でもある。公文俊平による先行研究は、統合国家の出発点を、20世紀後半以降のヨーロッパと日米関係の例とを念頭に置き、複数の国民国家による地域的統合をしている。

統合国家化も主権国家化及び国民国家化と同様に、今後100年間を単位とする出現局面、突破局面及び成熟局面の局面遷移を辿るものと考えられる。具体的には、公文俊平の説明によると(注5)以下のようになる。

20世紀半ばから21世紀半ばの統合国家化の出現局面は、ヨーロッパ統合期として見ることが出来る。更にこのヨーロッパ統合期は、半世紀を単位とする小局面に分割して捉えることが出来る。20世紀後半は、EU統合が進んだ時期、21世紀前半は大ドイツ中心の階層化が進む時期、21世紀後半は平等主義的新EU統合が進む時期としている。

21世紀半ばから22世紀半ばの統合国家化の突破局面は、アジア統合期として見ることが出来る。更にこのアジア統合期は、半世紀を単位とする小局面に分割して捉えると、21世紀後半は中国主導の統合試行が進む時期、22世紀前半は階層的アジア統合が進む時期、22世紀後半はアジア統合の平等化が進む時期としている。

22世紀半ばから23世紀半ばの統合国家化の成熟局面は、グローバル統合期として見ることが出来る。更にこのグローバル統合期は、半世紀を単位とする小局面に分割して捉えると、22世紀後半はグローバル統合の萌芽が見られる時期、23世紀前半はグローバル・ポリティが成立する時期、23世紀後半はグローバル・ポリティが成熟する時期としている。

このような枠組みに則って、情報社会学の研究者は、公文俊平が着目したヨーロッパ統合以外の地域統合についての研究を進めている。主たる関心は、EUという事例が20世紀後半のヨーロッパのみに見られる特殊な事例であるのか、近代化の進展に伴う統合国家の一般的な性質を示すものであるのかどうかを確認することである。

翻って見れば、近代化そのものは、言うまでもなく16世紀半ばに西ヨーロッパに生起した歴史的に特異な事象である。一方でそれは西ヨーロッパ以外の世界においても適用されることになる幾つかの重要な原則を孕んでいたために、爾後グローバリゼーションが進み、全体を近代化に包摂することになっている。このような西ヨーロッパ起源の歴史的な事象が一般化されてグローバル・スタンダードとなるというプロセスが統合国家化においても見られるかどうか、ということである。即ち、EU型の統合国家化は、どの程度グローバル・スタンダードとなるか、という問題を、他の地域における地域統合の動きを分析することによって明らかにしていくとするものである。

この系譜に乗る研究としては、例えば筆者によるASEAN(東南アジア諸国連合:Association of South East Asian Nations)研究がある(注6)。

1967年に反共の政治同盟として結成されたASEANは、1975年のベトナム戦争終結、1992年のカンボジア和平後は市場統合において強力なイニシアティブを発揮した。1992年にAFTA-CEPT(ASEAN Free Trade Area -

Common Effective Preferential Tariff)の開始以降、類似の政策を推進し、2015年年末には AEC-2015(ASEAN Economic Community)を実現した。

この過程を詳細に分析すると、そこには、ASEAN Way と呼ばれる、EU 統合とは大きく異なる独自の方法論を読み取ることが出来る。EU 統合と ASEAN 統合とを比較するとその方法論には大きな違いがあるものの、同時に、双方において、統合国家という個別の国民国家を超える地域的統合を構築するという同一の内容を読み取ることも可能であるとするのが筆者による研究の結論である。即ち今日の世界では、ヨーロッパ以外の地域においても出現局面の統合国家化の動きを読み取ることが出来るとする。

更に、南部アフリカ地域を対象にした研究には、筆者による SADC(南部アフリカ開発共同体: Southern Africa Development Community)研究がある(注7)。この研究では、DFI(開発金融機関: Development Finance Institution)の国際ネットワークがある種のガバナンス機構として、地域全体のガバナンス機能を果たすようになる可能性が示されている。

本研究の枠組みで整理すると、この研究で示された DFI の国際ネットワークによる地域的(地理的に近接する複数の国民国家を覆う領域を、本稿では「地域(region)」と呼ぶ。)ガバナンスの可能性は、以下のようになる。

第1にこれは、伝統的情報社会学近代化モデルの枠組み、即ち統合国家を国民国家政府の地域的連合として捉える研究として見ることが可能である。DFI は開発ファイナンスを扱う。開発ファイナンスとは譲許的、即ち市場で調達される商業ファイナンスに比べて金利、償還期間等で有利な条件なものであるため、原資を市場から調達することは出来ない。このため、政府の支援が必ず必要となる。開発ファイナンスに関する政府の支援を受けることを、「公的支持を受けた(officially supported)」と言う。のことから各国における DFI は必ず政府系金融機関となっており、政府の強い指揮監督下にある。即ち DFI は、組織としては政府の外部に存在する独立したものではあるものの、実質的には政府の一部として捉えることも可能であることになり、DFI の国際ネットワークという主体は一種の国民国家政府の地域的連合として捉えることも可能であることになる。

一方で第2にこれは、本稿で検討する「2重の」統合国家に繋がる内容を孕んだ主体として捉えることも可能である。DFI は組織としては政府の外部に存在する独立したものであるためである。この場合、新たなガバナンス機構は、国民国家政府と DFI が統合し、かつそれが地域的に統合するという「2重の」統合国家であることになる。

論理的には以上のように両方の可能性があり、今後の研究が待たれるところである。筆者は南部アフリカにおいては DFI が国民国家政府とは独立して情報社会構築のガバナン

スを担当しようとする強い意志を有しており、「2重の」統合国家の可能性があると考える。筆者が上記論文で牽いているのは、筆者も参加した、2017年11月にハボロネでボツワナ建国50周年記念事業の一環として開催された世界 DFI 総裁会合における各 DFI 総裁の発表である。多くの総裁は、各国政府の指揮監督を受けることなく、独自の SDGs (Sustainable Development Goals) 政策を表明し、DFI の国際ネットワークによってアフリカ全土の近代化を推進する強い意志を表明していた。

2.2 比較制度分析におけるガバナンス競争の研究

伝統的情報社会学近代化モデルの研究では、その統合の仕方についてはヨーロッパ型、ASEAN 型、更には可能性として南部アフリカ型等の差異があるにせよ、統合国家とは、現在存在している国民国家が 10 か国程度以上のまとまりで統合していくことで構築されていくと考える点では共通点があった。統合する主体はあくまで国民国家政府のみが想定されていたものである。従って、統合国家構築とは、基本的には国民国家政府間の外交交渉によって進められるものであることになる。

これに対して本研究で示すのは、プラットフォーマーという民間部門の主体が統合国家の中核的な主体の1つとして参入するというモデルである。このため、国家化の概念については、上記のように、国家の政府という主体が行うものであることを前提としている従来型の情報社会学近代化モデルの考え方から離れて概念の拡張を行なうことが必要になる。情報社会学近代化モデルは、近代の社会システムにおいては政治の動き、経済の動き及びソーシャルの動きの3つが重疊的に作用しているとの認識に立ち、それぞれを国家化、産業化及び情報化としてモデル化することによって構築されている。このうち政治の動きの中核をなすのが国家建設であり、国家化Ⅰでは主権国家という形態の国家建設(sovereign states building)が、国家化Ⅱでは国民国家という形態の国家建設(nation states building)が、国家化Ⅲでは統合国家(integrated states building)が進められることになる。この国家建設の役割を担う主体について伝統的情報社会学では、それぞれの政府であるとする前提に立っていた。国家建設は、政府(governments)という主体が行う営為であるということである。

一方、本研究が提案するモデルは、国家建設を、政府という主体と切り離して、主体に関して中立的な概念として捉えることを求める。このように、政府という主体から切り離されて主体に関して中立的な概念として捉えられた国家建設は、一種のガバナンス、ということになる。一種のガバナンスとして捉えることにより、それを実施する主体は現行の政府に限定されることなく、様々なものを考えることが可能になる。求められる内容のガバナンスを適切に行うことのできる主体が新し

い時代のガバナンスを担うことになるのであり、民間企業であるプラットフォーマーであっても、その要請に適切に応えられるのであれば、十分に新しい時代のガバナンスの担い手となることが可能になる。

ガバナンスを担う主体の内容を決定する要因を、主体の外形、形態ではなく、求められる内容のガバナンスを実施できる能力であるとすると、複数の主体間で、ガバナンスの実施に関する競争が展開されることとなり、その結果、最も有効にガバナンスを担うことが出来ることが実証された主体が新しい時代の中核的なガバナンスの任を担う、即ちガバナンス機構になる。このような競争は、ガバナンス競争、と呼ばれる。

経済学の比較制度分析においては、このような考え方に基づいて研究の枠組みが構築され、多くの優れた業績が生み出されている。

代表的な研究は、グライフ(Greif, Avner)によるものである。グライフの研究は、ゲーム論を駆使して、歴史上成立した制度をゲーム均衡として捉え、その生成と推移と崩壊等について説明していくものである。その著書(注8)から牽くと、中世後期から近代成立にかけての時期には地中海及びヨーロッパにおいては、マグリブ貿易商の間の代理人契約、ヨーロッパ商人ギルド、ジェノヴァにおける政府制度、ヨーロッパにおける共同体責任制等について、それがゲーム均衡を達成したものであることを実証している。

これらの研究を情報社会学近代化モデルと組み合わせると、以下のようなになる。近代成立後、16世紀半ばから18世紀半ばまで主権国家という形態の主体が中核的なガバナンス機構の役割を占めたのは、他の主体よりも有効にガバナンス機能を提供したためであり、それはゲーム均衡としても説明される。18世紀半ばから20世紀半ばまで国民国家という形態の主体が中核的なガバナンス機構の役割を占めたのは、他の主体よりも有効にガバナンス機能を提供したためであり、それはゲーム均衡としても説明される。

一方20世紀後半以降の今日において中核的なガバナンス機構の役割を占めることになる主体は、他の主体よりも有効にガバナンス機能を提供するものであることが必要になる。

以上のことから、情報化局面における統合国家の可能性を検討するためには、情報化局面において社会システムにおいて求められるガバナンス機能の内容を特定することが必要であることになる。

2.3 資本システム・モデル

近代という時代において社会システムに常に求められるガバナンス機能の問題について取り組んだ先行研究としては、倉都康行の資本システム研究がある。倉都康行は近代の社会システムにおける金融に関する諸制度を、金融システムと資本システムの2層構造に整理する独自の枠組みを提示している(注9)。

倉都康行のモデルが対象とする時期は、12世紀のイタリア都市国家成立期以降の世界であり、これは11世紀に地中海を活躍の場としたマグレブ商人以降を研究対象としているグライフと符合するものである。情報社会学近代化モデルでは、繰り返しているように16世紀半ば以降の近代化過程を研究対象としていることから、倉都康行及びグライフの研究対象となっている時期については「長い」近代、と呼ぶことができる。なお、以降倉都康行の研究に関わる部分については、「長い」近代を単に近代、と呼ぶ。

倉都康行は、近代における様々な社会システムのあり方を決定する共通の動因として、資本の増殖を挙げている。即ち、近代という時代においては、全ての社会システムにおいて、資本を増殖しようとする人々の動機に基づいて構築された制度は社会システムの根幹を成しているということである。この考え方は他の社会科学、例えばウォーラースteinの近代資本主義システム等と親和性が高いものであると言える。

倉都康行は、社会システムの中の様々な制度の中から資本の増殖をもたらす制度を取り上げ、それらを金融システムと資本システムの2つの類型にまとめた。これら2つの制度は、近代における様々な社会システムに共通して見られるものであるとする。

前掲倉都康行の著書によると、金融システムとは決済機能を担う諸制度であり、具体的には銀行、証券会社、投資信託、投資顧問、保険会社等によって構成される。これらの組織によって社会システムにおける決済機能という最重要のガバナンス機能が供給されるため、自己資本強化による健全化が強力に求められることになる。近代における社会システムの態様を決定する重要な動因である資本の増殖は、最終的にはこの金融システムによって決済され、確定する。

一方、決済によって確定することと、資本を増殖させることとは別の課題である。資本を増殖するためには、倉都康行の用語を使えば、資金を資本に転換する動学的な信用創造体系が必要となる。資金とは増殖過程に置かれていないカネのことであり、資本とは、近代の社会システム内に整備された諸制度によって増殖過程に置かれたカネのことである。資本を増殖するためには、特別の社会制度によって運用することが必要であり、その特別の社会制度とは、動学的な信用創造体系になるということである。

この場合に重要なことは、資本市場のプライシング機能である。ガバナンス機能の面から見ると、プライシング機能を適切に発揮する資本市場を整備することを社会システムにおける重要なガバナンス機能の内容として捉えることとなる。

このような資本システムについては、難易度の高い健全性を維持することが必要となり、これは自己資本強化によって担保される金融システムの健全性とは質の異なるものとなる。即ち、金融システムは決済機能を担うため、何が何でも絶対の健全性が求められる。その健全性が失われた場合には社

会システムそのものが成立しない。

資本システムは、健全性が求められることは言うまでもないものの、健全性「だけ」を追求して、資本の増殖という本来求められる機能が止まるようでは意味がないことになる。資本の増殖とは動的過程であり、かつ原理的にリスクは避けられない。このリスクのある動的過程に関する健全性を確保することが求められるのであり、シンプルな処方箋は存在しない。ガバナンス機構の手腕が問われるところである。

倉都康行が資本システムの構成要因として挙げているのは、以下である。第1は、画期的な有限責任経営方式としての株式会社の発明である。第2は、銀行の誕生と、公的資金投入の合理性と正当性を持った救済制度の確立である。第3は、基軸通貨であり、歴史的にはポンド決済の拡大とドルによる承継が見られた。第4は、累次のリスク最小化努力、デリバティブズ開発等の保険、ヘッジ機能の開発である。第5は、中央銀行の設立である。第6は、割賦販売制度の発明であり、これによる分割払いでの消費が急拡大することとなった。第7は、債券と株式の2形態の誕生である。第8は、財政拡張にブレーキをかけることになる債券市場の警戒機能である。第9は、格付けの誕生による信用力の可視化である。第10は、リスク・テイクの新たな手段としてのレバレッジ取引の発明である。第11は、証券化商品の誕生であり、これにより銀行のオフバランス取引が加速することとなった。第12は、金、銀から紙幣へという信用通貨の誕生である。第13は、統計的な期待得失の計算によるリスク管理機能の発達である。第14は、バブルの発生と破裂であり、これによりリスク資産価値の急上昇が見られ、また所得層間、世代間、地域間等の格差が拡大することとなった。

2.4 インダストリウム・モデル

資本の増殖について、決済機能を担う金融システムと、「資金の資本化」機能を担う資本システムの2つの制度を考える倉都康行のモデルは説得力を有する。一方で、社会システムにおける資本の増殖過程を考えるならば、資本化された資金に対して長期的安定的(サステイナブル)な投資先をもたらす基幹産業の育成を考える必要がある。ある社会システムにおいて基幹産業が存在していれば、資本システムを整備して、基幹産業に対して資金を投資することで資本を増殖し、金融システムにおいて確定させることができる。

基幹産業を担うのは、基本的に民間企業である。一方、基幹産業の育成には多くの面で公的な助成が不可欠であり、そのような公的な助成は総じて産業政策と呼ばれる。産業政策は、20世紀後半以降においては、基本的に国民国家政府の役割であると見て差し支えない。国民国家政府が実施する産業政策の構造についてモデル化したものとしては、例えば村上泰亮の開発主義の考え方がある(注10)、中央公論新社、1992年。国民国家政府の中で産業政策を担当

する部局は産業政策当局、と呼ばれる。

このように、社会システムの中に見られる、民間企業を産業政策当局という政府の部局が支援することによって社会システムの中の基幹産業を振興していくというシステムを産業システムと呼ぶことが出来る。資本の増殖過程においては、この産業システムは、資本の投資先としての機能を担うものであることになる。

筆者は、この産業システムを倉都康行の金融システム及び資本システムに付加して3層構造のモデルを考え、インダストリウム(Industrium)・モデルと呼んでいる(注11)。インダストリウムとは、社会システムの中において、金融システム、資本システム及び産業システムが資本の増殖という機能において合理的に(制度補完的に)連結したシステムのことである。

インダストリウムは、その中で完結して資本の増殖が制度的に進められることになる一種のエコシステムである。インダストリウム構築は、社会システムにおいて取り組まれなければならない重要なガバナンス機能の1つであると言える。

主権国家及び国民国家という形態のガバナンス機構はいずれも最も有効にインダストリウムの構築というガバナンス機能を果たし、インダストリウムの構築というガバナンス機能を巡る競争に勝利して来ているのである。

主権国家及び国民国家によるインダストリウムの構築については前掲拙著(注12)で述べたところであり、要約すると、以下のようになる。

金融システムについては、民間金融機関に対して主権国家及び国民国家の金融当局が強い規制をかけてその健全性を確保している。

資本システムについては、倉都康行が示しているように、歴史的には民間主導期と政府主導期が交互に登場している。倉都康行の整理によると(注13)、以下のようなになる。第1民間主導期は12世紀から15世紀にかけて時期であり、この時期に民間経済、商業が発達し、保険が誕生し、初期金融資本が形成された。第1政府主導期は15世紀から17世紀にかけての時期であり、大航海時代のこの時期に王室権力によって、特許会社、中央銀行等が造られた。第2民間主導期は18世紀から19世紀にかけての時期であり、自由経済のこの時期に、金融市场は発達し、保険は多様化した。第2政府主導期は19世紀から20世紀半ばにかけての時期であり、大恐慌、大不況後の金融危機を乗り越えるために政府の役割が高まった。各種の投資理論が発達したのもこの時期である。第3民間主導期は20世紀後半であり、新自由主義のこの時期に資本市場は発達し、各種のデリバティブズも発達した。これらを経て、21世紀の今日は第3政府主導期にある。非伝統的金融政策が採られ、市場の公的管理が進められ、財政赤字は拡大しており、またそれを正当化するMMT(Modern Monetary Theory)も出て来ている。

この倉都康行の整理を情報社会学近代化モデルに当て嵌

めてみると、第1政府主導期の政府とは、主権国家である。第2政府主導期の政府とは、国民国家である。第3政府主導期の政府とは、基本的には国民国家でありながら、21世紀においては金融面では著しくグローバリゼーションが進んでいるため、何れの国民国家も単独で独立して有効な金融政策は講じることが出来なくなっている、G7、G20等の国際的連携が重要になって来ている。即ち複数の国民国家の地域的統合としての統合国家の役割が高まって来ており、国民国家と統合国家の2つの形態の政府が主導する時期として捉えることが出来る。

民間主導期について見ると、第1民間主導期は、倉都康行の射程とする「長い」近代には含まれるもの、情報社会学近代化モデルが対象とする近代には含まれない。第2民間主導期における自由経済の発達は、大英帝国による世界の霸権と産業革命の進展を基盤として初めて成立するものであった。即ち主権国家及び国民国家としての英国政府が基本的な制度インフラストラクチャー(プラットフォーム)を構築したものである。また各国でも、国民国家政府による制度インフラストラクチャーの構築が重要な役割を果たした。第3民間主導期における資本システムの発達は新自由主義によるものであり、新自由主義とは、代表的な3か国、即ちサッチャー政権の英国、レーガン政権の米国及び中曾根政権の日本に見られるように、PPP(官民連携: Public Private Partnership)という新しい枠組みに基づく強力な政府による政策の展開である。

以上を整理すると、政府主導期、民間主導期を問わず、一般的に資本システムの構築、運営においては政府の役割が極めて強く、その政府の形態は、時期に応じて主権国家、国民国家及び(伝統的な)統合国家の形態を探る、ということになる。

続いて産業システムである。

産業システムの構築、運営における国民国家の役割については前掲拙著(注14)において詳述したところであり、その要点を述べると、以下となる。

産業システムの構築、即ち基幹産業の振興は、全ての国民国家において、国民国家政府が実施すべき重要なガバナンス機能の1つである。国民国家政府が行う基幹産業振興のための産業政策の枠組みについてモデル化したものには、村上泰亮の開発主義がある。筆者はそれを基にして、「強い」開発主義と「弱い」開発主義の類型を整理している。

「弱い」開発主義とは、以下のようなものである。

第1に、政府は、基幹産業振興等に関する数十年間の政策の基本的方向性を示した文書を取り纏め、公開する。この文書は、一般的にはNIS(National Innovation System)と呼ばれるものであり、日本ではビジョン、という呼び方が広まっている。

第2に、政府及び政府関係機関は、このNISに基づいて基

幹産業振興を進めるために、各種の支援措置を講じる。支援措置には、税制上の特別措置、補助金の交付等様々なものがある。

支援措置の中で重要な役割を担うものが、譲許的ファイナンス、即ち市場で調達するファイナンスに比べて金利、償還期間等の面で有利な条件となっているファイナンスの供給であり、これを専門に担う基幹がDFI(Development Finance Institutions:開発金融機関)である。開発金融とは、市場の失敗が発生する場面において、政策的意図に基づいて供給されるファイナンスであり、当然譲許的ファイナンスとなる。即ち、市場均衡では社会にとって望ましい(socially optimal)と政府が判断する量に比べて過小供給となるため、政府が相応の負担を伴って必要量を供給することをしているものであり、インフラストラクチャー・ファイナンスと中小企業ファイナンスが典型である。政府系金融機関として、インフラストラクチャー・ファイナンスまたは中小企業ファイナンスを担当する主体がDFIである。

「強い」開発主義とは、これらに加えて、政府の産業政策当局が事実上の強制力を持って需給調整を行うものである。

村上泰亮が経済学的に証明しているように(注15)、費用遞減局面が広く見られる製造業においては、政府による市場への関与のない状態における市場均衡(ナッシュ均衡)は過当競争(excessive competition)となり、多くの企業の倒産、結果としての独占または寡占を生み、社会全体の経済社会開発にとっては望ましくない状態となる。このため、需要見通しに則って新規参入を制限するとともに各企業の生産量を調整することにより過当競争を排して適正競争(adequate competition)を推進することは社会全体の経済社会開発上は望ましいことになる。

問題は、市場経済制度において、政府は産業政策当局と雖も民間企業に対する強制権限を有さない状態で、このような需給調整を実施する方法論である。これについて日本の通商産業省が開発し、日本において大きな効果を發揮し、世界的にも有名になったものが行政指導(administrative guidance)というものである。

このうち「強い」開発主義は、基幹産業において広く見られることと、日本の通商産業省の行政指導のような産業政策当局による民間企業への強制力を持つ手法が確立していることという2つの条件を前提とするものであり、必ずしも世界で一般的に適用可能なものではない。一方「弱い」開発主義は、事実上全ての諸国において全ての時期に効果を持つものであると考えることができる。

以上を整理すると、金融システム、資本システム及び産業システムの3層から成るインダストリウムという、資本の増殖を進めるエコシステムを考えることが出来、またこれまでのところは、インダストリウムの構築、運営においては国民国家政府が圧倒的、ほぼ独占的な役割を果たし続けて来ていると

いうことになる。即ち、近代においては、国民国家がイニシアティブを發揮して構築、運営するインダストリウムにおいて資本の増殖サイクルが回っていると見ることが出来る。

伝統的な意味での統合国家、即ち複数の国民国家の地域的統合については、それが引き続きインダストリウムの構築、運営において重要な役割を果たしていく証左を既に確認することができる。金融システムの健全性の確保のためには国際的な協調が不可欠であり、資本システムにおいては各国の協調した政策の推進が不可欠であるためである。産業システムについては、製造業とデジタル産業によって態様には大きな差があるとは言え、今後の国際連携の可能性は大きい。

3 プラットフォーマーと官民協調型ガバナンス

3.1 インダストリウム整備の類型とマルチチュード型発展戦略

本研究の問題意識は、21世紀において後発発展途上国が、短期間に最先端のデジタル技術を基盤とするインダストリウム構築を進めるガバナンス機構の制度整備をすることが出来るか、というものである。そのようなガバナンス機構の体制としては、民間部門の主体ではあるものの最先端のデジタル技術について優れた能力を有するプラットフォーマーをガバナンス機構に招き、政府とプラットフォーマーとが新しい官民協調型ガバナンス機構を構築することが最も合理的であると考えられる。このような官民協調型ガバナンス機構は、情報社会学の言う統合国家の概念を拡張した「2重の」統合国家として捉えることができる。

問題は、民間部門の主体であるプラットフォーマーにインダストリウム構築というガバナンス機能の発揮を期待することができるかどうかである。この問題は、最先端のデジタル技術の駆使という技術上の問題と、社会システムにおける制度上の問題の両面から考えて行くことが必要である。

技術に関しては、近時のデジタル技術の発達は破壊的(disruptive)であり、最先端のデジタル技術の登場以前に国民国家政府が数百年間かけて構築してきたインダストリウムに関する諸制度は時代遅れのものとなっていると見ることが出来る。このためプラットフォーマーが、その持てるデジタル技術の能力を存分に発揮するならば、技術的には、最先端のデジタル技術を基盤とするインダストリウムに関する諸制度を相当程度独自で構築できる可能性がある。

一方で、技術的に可能な最先端のデジタル技術を基盤とするインダストリウムに関する諸制度が社会システムで実装されるかどうかは、国内法制のあり方に依存する。繰り返している「既得権益の罠」等により、プラットフォーマーを含む新たな主体によるインダストリウム構築は、法律違反とされて、禁止されることが一般的である。

「既得権益の罠」が強力である限り、最先端のデジタル技術に関する優れた能力を有するプラットフォーマーが最先端

のデジタル技術を基盤とする新しいインダストリウムに関する制度を構築しようとしても、それは社会システムの中で実現することはない。このため、プラットフォーマーを取り込んだ官民協調型ガバナンス機構が成立するかどうかについては、インダストリウムに関する制度整備の状況が重要であることになる。インダストリウムに関する制度整備が高度に進んでいる場合には、既得権益が相当強力である可能性が高い。逆にそれが見るべき進展を見せていない場合には、既得権益が弱小である可能性が高く、プラットフォーマーによる最先端のデジタル技術を基盤とする新しいインダストリウムに関する制度構築にとって好条件であることになる。

発展途上国のインダストリウムの整備状況については、発展途上国の類型毎に大きく異なる。発展途上国における情報社会構築のあり方を研究する応用情報社会学においては、一人当たり GNI を基準として発展途上国を類型化するという手法が採られている。一人当たり GNI を基準とする発展途上国の類型化については OECD(経済協力開発機構: Organization for Economic Cooperation and Development) の DAC (Development Assistance Committee) リストを参考にすることができる。基準値は 3 年毎に改訂され、最新の 2021 年版によると(注16)、2016 年における一人当たり GNI が 12,236 ドル超が先進国、それ以下が発展途上国とされる。発展途上国は、LDC(Least Developed Countries: 2016 年における一人当たり GNI が 1,005 ドル未満かつ幾つかの経済指標が基準値以下。), 低所得国(Low Income Countries which are not LDCs: 2016 年における一人当たり GNI が 1,005 ドル未満でかつ幾つかの経済指標が基準値以上。) 下位中所得国(Lower Middle Income Countries and Territories which are not LDCs: 2016 年における一人当たり GNI が 1,006 ドル以上 3,955 ドル未満。) 及び上位中所得国(Upper Middle Income Countries and Territories which are not LDCs: 2016 年における一人当たり GNI が 3,956 ドル以上 12,235 ドル未満。) の 4 類型に類型化されている。

この DAC リストを基に、応用情報社会学では情報社会構築の方法論を、先進国型(DAC リストの先進国に相当)、上位発展途上国型(DAC リストの上位中所得国及び下位中所得国の一一部)、下位発展途上国型(DAC リストの下位中所得国、低所得国及び LDC の一部)及び失敗国家型の4つに類型化して考えて行くこととしている。

この方法論を敷衍して、インダストリウム、特に金融システム及び資本システムに関する制度整備状況については以下の類型を考えることが出来る。

第1は、国民国家政府によって、金融システム及び資本システムに関する制度整備が基本的に完了している諸国である(第1類型)。第2は、国民国家政府によって、金融システムに関する制度整備は完了しているものの、資本システムに関

する制度整備は未だ途上にある諸国である(第2類型)。第3は、国民国家政府によっては、金融システムについても資本システムについても制度整備が未だ途上にある諸国である(第3類型)。

この類型化は、DACリスト及び応用情報社会学の類型化との対応関係を有する。第1類型は、概ねDACリストの先進国及び応用情報社会学の先進国型の一部に相当する。金融システム及び資本システムの構築は極めて高度な課題であるため、先進国であっても、健全性が担保された金融システムを構築した上に十分に機能する資本システムを構築しているとは限らない。

第2類型は、概ねDACリストの先進国及び応用情報社会学の先進国型の一部、及びDACリストの上位中所得国及び応用情報社会学の上位発展途上国型の一部に相当する。

第3類型は、概ねDACリストの上位中所得国及び応用情報社会学の上位発展途上国型の一部、DACリストの下位中所得国、低所得国及びLDC、応用情報社会学の下位発展途上国型及び失敗国家型に相当する。

プラットフォーマーがインダストリウム、特に金融システム及び資本システムの構築というガバナンス機能に参入できる可能性は、上記の類型毎に異なることとなる。

第1類型の場合には、既に国民国家政府によって金融システム及び資本システムの制度整備が完了しており、金融システム及び資本システムの構築というガバナンス機能はブロウン・フィールドとなっているため、相当強力な「既得権益の罠」が想定される。プラットフォーマーと既得権益の衝突を超えて新たな方法のガバナンス機構を導入するためには、大規模な法改正等によって既存の制度を大きく変更することが必要になる。

第3類型の場合には、現時点で国民国家の内部では未だ金融システム及び資本システムの制度整備が進んでいない。この状況では、当該国民国家は、今後の金融システム及び資本システムの制度整備について、以下の選択肢を得ることになる。第1の選択肢は、リニア発展史観に基づくものであり、それらをあくまで国民国家政府の政策によって実施して行くこととして、当面は国民国家政府の能力を高めることに注力するものである。

第2の選択肢は、本研究でマルチチュード型発展戦略と呼んでいるものであり、プラットフォーマーを参画させること等により新しいガバナンス機構を構築し、最先端のデジタル技術を基盤にして金融システム及び資本システムの制度整備を進めて行くというものである。

第2類型は、第1類型及び第3類型の中間の状態にある。

第3類型において、現下では金融システム及び資本システムの制度整備が進んでいないことは、「既得権益の罠」が小さいために、最先端のデジタル技術を基盤にする金融システム及び資本システムの制度整備を進め易いことを意味する。

問題は、現下の第3類型の政府においては、一般的に最先端のデジタル技術に関する能力に限界があると考えられることである。

その技術上の制約を克服するための戦略がプラットフォーマーという民間部門の主体との間での官民協調型ガバナンス機構という新たなガバナンス機構の構築である。プラットフォーマーは最先端にデジタル技術に優れるため、その能力がガバナンス機能に投じられるならば、現在一人当たりGNIでは国際社会の最下層に位置する後発発展途上国は、短期間に経済社会開発を推進し、結果として一人当たりGNIにおいてもより上位のカテゴリーに移行し、最終的には発展途上国の地位を「卒業」して先進国入りする可能性も否定し切れるものではない。

このような官民協調型ガバナンス機構の構築は、応用情報社会学の言うマルチチュード型発展戦略の典型と見ることが出来る。

また応用情報社会学では、クリステンセンの破壊的技術(イノベーションのディレンマ)の考え方(注17)の考え方を拡張して、社会制度についてもこのような破壊的技術が存在すると考え、それを「社会制度に関する」破壊的技術(disruptive technologies in social institutions)と呼んでいる。官民協調型ガバナンス機構は、その意味における「社会制度に関する」破壊的技術として捉えることも出来る。

クリステンセンの破壊的技術の考え方では、巨大企業が顧客の要求に真摯に応えていると、登場して来た全く新しい技術(破壊的技術)を採用することが困難になる。一方で要求に真摯に応えるべき顧客を持たない新興の小企業が破壊的技術を全面的に採用すると、短期間で急成長を遂げ、巨大企業を凌駕するようになる。官民協調型ガバナンス機構についても、先進国及び先発発展途上国が既得権益の要求に真摯に応える「既得権益の罠」に陥っている間に、要求に真摯に応えるべき既得権益を持たない後発発展途上国が「社会制度に関する」破壊的技術である官民協調型ガバナンス機構を全面的に採用すると、短期間で急成長を遂げ、先発発展途上国はもとより、先進国をも凌駕する可能性を考えることは不可能ではない。

3.2 アリババと中国の「放任一捕獲」戦略

官民協調型ガバナンス機構の可能性について示唆深いのが、2003年に開始してから当局の強力な規制がかけられる2017年に至る時期の中国におけるアリババ・グループのケースである。

2020年10月24日「外灘金融サミット」におけるジャック・マーのスピーチ後、中国政府はアリババ・グループに対する各種の規制を強化した。メディアでは、この一連の動きを、中国政府による民間企業の経済活動に対する規制の好例として捉える見方が強い。一方応用情報社会学の考え方から見

ると、この一連の動きは、インダストリウム構築、特に金融システム構築というガバナンス機能に関する国民国家政府とプラットフォーマーという民間部門の主体の間のせめぎ合いとして捉えることが可能となる。

まずは、アリババ・グループの活動を整理する。なお、アリババ・グループの活動については、その活動を詳細に見ることは本研究の地平を超える一方、既に多くの文献(注18)が出ているところであるのでそちらを参照されたい。

本研究で着目するアリババ・グループの活動は、インダストリウム構築、特に金融システム構築に直接関係する2つの動き、即ちエスクロ金融と信用格付けである(注19)。

エスクロ金融については、以下のような動きを見せた。

2003年10月に、保証取引、即ちエスクロ金融サービスが開始された。2004年12月にアリペイ・ネットワーク技術有限公司が設立され、アリペイ口座システムの運用が開始された。2005年2月に、アリペイによる取引リスクの全額補償サービスが開始された。2005年5月には、これが独立した第3者決済サービスとなった。2010年5月には、信用貸付サービスである阿里信用貸付がリリースされ、2011年5月には、決済業務のライセンスを獲得した。

信用格付けについては、以下のような動きを見せた。

2014年に信用情報が民間に開放されたのを受けて、2015年1月に芝麻信用管理有限公司がサービスを開始した。一方で中国政府は、「捕獲(capture)」として今日では世界的に有名になっている、以下のような政策を採ってきた。

エスクロ金融については、2017年に非金融機関決済プラットフォームである

網聯への接続義務を課した。また2018年にはアリババ・グループのウォレット資金は100%人民銀行へ預け入れを行なうこととなった。

信用格付けについては、2018年に百行征信有限公司8社の民間企業が加わる全国統一民間信用情報調査会社が設立された。

これらの一連の動きに関する中国政府の立場については、以下のように整理される。

21世紀初頭の中国は、インダストリウム構築については第2類型に属すると見ることが出来る。金融システムの整備は中央政府のイニシアティブによって強力に進められているものの、その整備状況は先進国の水準に至っているとは言い難い。また資本システムについては、旺盛な民間企業のイニシアティブによって整備が急速に進んでいる状況にある。倉都康行の整理によると、「民間主導期」にある。

ここで伝統的なリニア史観に立つならば、中国におけるインダストリウム構築は基本的には政府の役割であると見做され、特に金融システムについては政府による政策の進展を待つしかないことになる。一方、政府による金融システムの整備は日本でも長時間を必要とした難題であり、中国政府が今後全

力を尽くすとしても、容易い課題ではないことは確かである。中国経済については、間もなく世界第1位に躍り出ようとする経済規模(GNI)が着目されるものではあるものの、中国はインダストリウムに関する制度整備については先進国に比べて遙かに劣った状態からスタートしているため、その差を埋め、更には逆転することは決して容易ではない。

一方マルチチュード型発展戦略の考え方に基づくと、別の可能性が出て来る。先進国に比べて遙かに劣った状態からスタートしていることは、「既得権益の罠」が小さいことを意味するため、最先端の技術の採用においては有利に働く可能性がもたらされることになる。

金融システム構築に関する制度整備についてこの期間に中国政府が採った政策を振り返るならば、中国政府は以上のようなある種のマルチチュード型発展戦略を意図的に採用した可能性があると考えられる。

アリババ・グループに対する中国政府の政策については、2017年以降の「捕獲」の面に注目が集まっているものの、2003年からそれ2017年までの期間においては、「放任」と呼ぶことのできる政策を意図的に採っていた可能性がある。エスクロ金融及び信用格付けは、インダストリウム構築においては対応が必要となる課題であるものの、それらを政府がガバナンス機能として行なうことは技術的に大変に困難なものであり、その困難性ゆえに当時は十分な政策的対応が採られることなく、社会システムにおけるグリーン・フィールドとなっていた。

このような現状を十分理解した上で、民間企業の活動を「放任」することにより、それらの制度整備を進めさせていたことがあり得る。このような戦略は、最後には必ずその民間企業の活動の成果を「捕獲」できるという自信に裏付けられて初めて成立するものながら、2017年以降の事実が示しているように、中国政府は確かに完全な「捕獲」に成功した。仮に中国政府がこのような一連の政策的流れを意図的に実施していたとすれば、このような戦略を、「放任-捕獲」戦略、と呼ぶことが出来る。

リニアな発展史観では、インダストリウム構築は、最初から政府によるガバナンス機能によって進められるものであることが法制度上確定しており、民間企業は基本的に参入することはない。これに対して「放任-捕獲」戦略では、ガバナンス機能の対象範囲となる分野において、意図的に法制度を整備することを押さえ、民間企業の活動のグリーン・フィールドとして提供し、民間企業の活動の成果が相当程度に達した後にその成果を「捕獲」することで、リニアな発展史観に比べて極めて合理的、短期間にインダストリウム構築を進めるというものであることになる。

このような戦略は、「放任」の期間、ガバナンス機能の領域に全面的な民間部門の参入を認めるものの、結局はそれも政府の意図したものであることになり、結局は国民国家政府

によるガバナンス機能という従来通りのガバナンス方式の枠組みで捉えられることになる。アリババ・グループのケースでは、最終的に「捕獲」されたために、中国全体の発展戦略として見るとそれはこのように国民国家政府型ガバナンスの域を出るものではなく、本研究で検討している新しい官民協調型ガバナンス機構の例とはならない。

一方で、技術的には上記エスクロ金融及び信用格付けの面で、アリババ・グループはインダストリウム(金融システム)構築において最先端のデジタル技術に基盤を置く制度整備を進めたと見ることが出来る。

問題は、このようなアリババ・グループによる「外形的な」ガバナンス機能の発揮が、民間企業が従来通り利益の拡大を目指した経済行為によって「偶然に」達成されたものなのか、それとも民間企業という主体でありながらそれでも社会システム全体のガバナンス機能を担おうという意思によって実現したものなのか、である。

前者であれば、民間企業の活動が「偶然に」ガバナンス機能に及ぶことがあるとしても、社会システムにおけるガバナンス機能は引き続き全面的に国民国家政府という主体に委ねられることとなり、官民協調型ガバナンス機構の成立には繋がらない。一方後者であれば、その成立の可能性は大きく開けることとなる。即ち、今日ではプラットフォーマーという民間企業の主体は、能力的にも、また意思においても、新しい官民協調型ガバナンス機構の構築に貢献する用意があり、「官」の側、即ち国民国家政府にそれを受け入れる用意があれば官民協調型ガバナンス機構は成立する可能性が高まることとなる。

アリババ・グループにおける意思については、アリババ・グループの創業者であるジャック・マーが、2020年10月24日の「外灘金融サミット」におけるスピーチで明確に語っている。なお言うまでもなく本スピーチは直ちに政治化し、現下の中国共产党政府とアリババ・グループの間の深刻な問題の淵源をなしているものであり、その扱いは極めて慎重を要する。本研究では、以下、政治的な判断を全く加えることなく、あくまでインダストリウム構築というガバナンス機能の観点からその発言を捉えることとする(注20)。

ジャック・マーは述べる。「第一の視点は、私たちはいつも思考に「習慣」を持っているということです。例えば、いつも国際(基準)に沿ったものにするために、欧米先進国にあるけれど、中国国内にはまだない空白を埋めることを追い求め、目標にしてしまいます。私は今の状況から見て、「中国国内の空白を埋める」という言葉は問題があるといつも感じています。欧米が進んでいるから、我々が空白を埋めなければならないではありません。我々ははずれか(の国際基準)に沿ったり、どこかの国の基準に合わせたり、空白を埋めたりすることを追い求めるべきではないのです。」。ここで語っているのは、明確に中国は欧米の先発国とは別の発展戦略、本研

究の用語ではマルチチュード型発展戦略を採用しなければならないということである。

この考え方は、金融システム構築に関しても適用されている。即ち、先発国と後発国では状況が大きく異なるため、後発国である中国が先発国間で進められている国際レジームに参加しても、自国の金融システム構築は有効に進められるものではなく、後発国は後発国独自の方法で金融システム構築を進めなくてはならない、と論が進む。ジャック・マーは語る。「第2次世界大戦後、世界の経済的な繁栄を取り戻すためにブレトンウッズ体制が確立され、世界経済に極めて大きく貢献しました。その後、(1990年代後半の)アジア通貨危機の発生後、バーゼル合意で議論されたリスクコントロールが次第に重視されるようになり、その後、(バーゼル合意が)リスクコントロールの運用基準になりました。今、世界はリスクコントロールの話ばかりするようになり、(経済)発展について語らなくなりました。若者のチャンス、発展途上国チャンスは一体どこにあるのか議論する人はほとんどいません。これこそが、今の世界の多くの問題の根本的な原因になっているのです。また、バーゼル合意自身が欧州のイノベーション、例えばデジタル金融に大きな制約を与えていることも、今日では明らかになっています。バーゼル合意というのは、どちらかというと老人クラブのようなものです。この合意が解決しようとしているのは、何十年も運営されてきた金融システムの老朽化の問題です。欧州のそうした老朽化した体制、システムは非常に複雑です。しかし、中国の問題はその逆で、(個別の金融機関の支払不能等や、特定の市場または決済システム等の機能不全が、他の金融機関、他の市場、または金融システム全体に波及する)システム・リスクではありません。なぜなら、中国金融は基本的にシステムがないからです。中国は実際には「金融システムがない」というリスクを抱えているのです。中国の金融は他の発展途上国と同じように発展したばかりで、金融セクターとしては青少年のように若く、まだ成熟したエコシステムは持っておらず、十分な(資金の)流動性がありません。中国には多くの大きな銀行があります。こうした銀行は大河や血液の動脈のような存在です。しかし、今、我々(の金融)には湖や貯水池、小さな川、あらゆる種類の沼地が必要です。これらの生態系がなければ、洪水では溺れ死んで、干ばつでは干からびて死んでしまいます。ですから今、私たちの国には健康的な金融システムが欠如しているというリスクがあります。こうした金融の健康的システムの構築が必要で、システム・リスクへの対処が必要なのではありません。これは高齢者のアルツハイマー病と、子どもの小児ポリオのようです。見た目は同じですが、全く別の病気なのです。もし、子供がアルツハイマー病の薬を飲めば、高齢者の病気になるだけでなく、不可解な病気にかかるてしまうでしょう。このバーゼル合意が考慮しているのはシステムの老朽化が進み、複雑すぎる「高齢者の病気」です。一方、私たちが

考る必要があるのは、高齢者の後に付いていくて、果たして何を学ぶのかです。高齢者が若者とは違う問題を気にしていることに気づくことが大切です。若者は学校があるかどうかを気にし、高齢者は病院があるかどうかを気にするのです。」。

この部分が中国政府の金融当局の政策を批判したとされ、その後の政治的動きの原因となったものである。一方本研究の枠組みで見ると、これは金融システム構築に関するマルチユード型発展戦略の考え方を示している。中国は後発国であるため、「中国は実際には「金融システムがない」というリスクを抱えているのです。」と語る。このため中国のような後発国においては、先発国が国内の金融システムを構築した際には用いることが出来なかつた最先端の技術を導入し、画期的に効率的な新たな金融システム整備を進めることができ、即ちマルチユード型発展戦略を探ることが出来るということになる。

言外には、そのような画期的に効率的な新たな金融システム整備について、政府にその能力がないのであれば、他の主体、典型的にはプラットフォーマーがその役割を替わりに行なうことが社会のためである、という含意がにじみ出ている。

それでは、「既得権益の罠」に縛られない後発国において最先端の技術を活用した金融システム整備を、政府ではなくプラットフォーマーが最も効率的に進めることができる根拠は何か。ジャック・マーは語る。「金融の本質は与信管理であるということです。今の金融の質屋的メンタリティを変えて、信用システムの発展を支えにしなければなりません。今の銀行は、まだ質屋的なメンタリティを持ち続けています。抵当と担保こそが質屋のやり方です。当時は非常に先進的で、抵当や担保といいノベーションがなければ、現在の金融機関はありえないし、この40年の中華人民共和国は今まで発展することはできなかつたでしょう。しかし、資産や担保に頼つていると、極端に走つてしまつことがあります。私は中国企業クラブの会長であり、浙江省商工会の会長でもあるので、多くの起業家と交流してきました。そこで、中国金融の質屋的メンタリティは非常に深刻であり、多くの起業家に悪影響を与えていたことがわかりました。特に起業家は資産を全て担保にしなければならないので、プレッシャーが非常に大きく、プレッシャーがかかった後には、行動すら変わつてしまつます。また、人によっては、無謀な借金をして常にレバレッジを大きくして、借金がどんどん大きくなっていく人もいます。」「抵当という質屋的メンタリティは、今後30年の間に世界の発展のための資金需要を支えることはできそうにありません。今日の技術力で質屋的メンタリティをビッグ・データに基づいた信用システムに置き換える必要があります。そして、この信用システムは従来のITや人脈を基にしたものではなく、ビッグ・データを基にして初めて、真に信用が富になるのです。実際、物乞いをする人すら信用が必要です。信用がなければ、物乞いをすることすらできません。すべての物乞いにも信用があ

るのです。イノベーションと管理監督にマッチした新しい金融システムを構築すべきです。」「背景となるビッグ・データやクラウド・コンピューティング、ブロックチェーンなどの最先端技術が非常に大きな責任を担うことになります。第2次世界大戦後、当時このような長期ビジョンがなかったため、次の世代、未来のために素晴らしい金融システムを構築できませんでした。私たちは今、未来の若者や次世代のために真に未来の金融システムを構築するための責任と考え方を持つべきです。」。

即ち、先発国の金融システムは、デジタル技術が存在しない時代に構築されたものであるため、与信という金融の本質を担保（「質屋的メンタリティ」）に委ねるものとなっている一方、今日ではビッグ・データやクラウド・コンピューティング、ブロックチェーン等のデジタル技術を存分に活用した与信を行なうことが出来る、としている。

前節でアリババ・グループが行った多くの活動のうち、インダストリウム構築というガバナンス機能に直接関わるものとして、エスクロ金融及び信用格付けの2つを採り上げているのは、それらがジャック・マーが自覚していたように、古い「質屋的メンタリティ」に替わる、最先端のデジタル技術を活用した新しい金融システム構築というガバナンス機能において、中核的役割を担うものであったためである。

以上のことから、アリババ・グループのケースは、民間企業の主体が、社会システムにおいて、最先端のデジタル技術を活用した新しい金融システム（及びインダストリウム）を構築する、というガバナンス機能に意図的に取り組み、また技術的に高度にそれを実現したものと見ることが出来る。アリババ・グループのケースは、単に巨大企業が巨大な利益を挙げた、という民間企業の経済活動としてのみ捉えられるものではない。

このように、官民協調型ガバナンス機構の制度構築については、その重要な可能性がアリババ・グループのケースによって示されたと見ることが出来る。

繰り返している通り、アリババ・グループの意思と技術力をもってしても、中国においては新しい官民協調型ガバナンス機構の制度は成立しなかつた。それは、最終的に国民国家政府がプラットフォーマーを「捕獲」したためであった。逆に見れば、最終的に国民国家政府が民間企業を「捕獲」せず、ある種の官民協調の制度を構築すれば、新しい官民協調型ガバナンス制度の制度が成立する可能性があることになる。

このため、今後の発展途上国（中国）の国民国家政府にとって、そのような官民協調の制度を構築する方途を検討することが必要になる。次節では、この問題について検討を進めて行く。

3.3 共発主義

2003年から2017年にかけての中国におけるアリババ・グループの活動は、プラットフォーマーという民間部門の主体

と国民国家政府の官民協調型ガバナンスが成立する可能性を示したものと見ることが出来る。このアリババ・グループのケースでは、2017年以降中国政府がプラットフォーマーを「捕獲」したため、結局は中国の地では官民協調型ガバナンスは成立することがなかった。一方、他の発展途上国の国民国家政府が民間部門の主体を「捕獲」せず、官民協調の制度を志向するならば、その地において官民協調型ガバナンス機構が成立する可能性が開けることとなる。

それでは、発展途上国の国民国家政府が民間部門の主体を「捕獲」せずに構築する官民協調の制度として、モデルになるものはあるだろうか。

情報社会学近代化モデルでは、既にそのようなモデルが示されている。2005年に公文俊平が提示した、共発主義(*co-evolutionism*)である。

公文俊平自身は論文等において共発主義を明確に定義はしていないものの、本人の説明(注21)によると、共発主義とは以下のようなものである。

発展途上国においては、社会システムのガバナンス機構、典型的には国民国家政府は、自らの責務として課されるガバナンス機能を、自らが直接企画立案し、かつ実施するもの(第1類型ガバナンス、または国家ガバナンス)と、政策の内容の企画立案及び実施の相当程度を他の主体に委ねることが正当であり、また合理的であるもの(第2類型ガバナンス、または経済社会開発ガバナンス)の2つに峻別することは合理的である。このうち第2類型ガバナンスの典型が、発展戦略、即ち社会システムの経済社会開発のための政策である。第1類型ガバナンスの企画立案及び実施は国家の主権を意味するものであり、そこに外国政府等他者の介在を認めることは内政干渉、国家の主権の否定になるため、絶対に認められない。一方、第2類型ガバナンスである経済社会開発の戦略の策定等については、重要なことは、正しく、効果がある戦略を策定し、それを正しく、効果がある方法で実施することであり、そこにおいては外国政府等の適切な指導等を聴かず、自らが完全に独自で考えを進めることは殆ど意味をなさない。外国政府等の適切な指導を受けた結果、経済社会開発が進み、国民が豊かになった場合と、外国政府等の指導に一切耳を塞いだ結果、経済社会開発は壊滅的で、国民はより貧しくなった場合とを比較すれば、どちらが国民の支持を得るかは明らかである。

このため、公文俊平によれば、今日の発展途上国の国民国家政府にとって、発展戦略等の第2類型ガバナンスの企画立案を、例えば世界銀行等のMDBs、先進国政府等のコンサルタント等に委ね、自らはその企画立案に関与しないことについては、責任の放棄、怠慢等のネガティブな概念で捉えるべきではなく、発展途上国の国民国家政府における、主体的な、かつクリエイティブな戦略として捉えるべきであるとされ、そのような戦略を共発主義と呼ぶ。

適切な発展戦略を推進して社会システムの経済社会開発を推進することは国民国家政府に課せられた重要なガバナンス機能ではあるものの、発展途上国の国民国家政府が適切な発展戦略を企画立案する能力を具えるためには、能力の高い官僚を輩出するための膨大な教育コストが必要となるため、発展途上国の国民国家政府の全てが、自らにとって適切な発展戦略を企画立案するための能力を具えているとは限らない。

例えば、20世紀後半の日本は、村上泰亮が整理したように開発主義という日本独自の発展戦略を日本の官僚(通商産業省)が独自に構築し、それが極めて適切であったために日本の経済成長が牽引された。一方、日本の通商産業省がこのような適切な発展戦略を構築できた背景には多くの特殊日本の経緯があり、それを今日の多くの発展途上国に期待することは現実的ではない。

逆に、20世紀後半には、発展途上国の国民国家政府が独自に発展戦略を考案し、それを強行したために経済社会開発が壊滅的な失敗に陥った例は、枚挙に暇がない。例えば、(ラテン・アメリカ) NICs(新興工業国: Newly Industrialized Countries)と呼ばれたブラジル、アルゼンティン及びメキシコでは、1960年代以降、輸入代替政策(Import Substitution Policy)が採られた。1970年代には広大な国内市場を背景に順調な経済成長を遂げたものの、やがて国内市場が飽和すると、1983年のメキシコ債務危機を端緒として、各国とも経済成長が著しく鈍化した。また独立後、徹底した外資規制を行ったインドは順調な経済成長を見せることに失敗し、1980年代後半には国内市場を外資に広く開放する政策へと転換することを余儀なくされた。

一方、特に東西冷戦終結後の1990年代以降では、特に移行経済圏諸国において、発展戦略の企画立案について、世界銀行等のMDBs、先進国政府等から政府内に多くのコンサルタントを招き入れ、その任に当たらせ、それらコンサルタントが作成した発展戦略の政策を国民国家政府がそのまま実施するという方針を鮮明にして来た。東西冷戦終結が間近となった1989年にワシントンの国際経済研究所の研究員であるウィリアムソン(Williamson, John)が取りまとめたワシントン・コンセンサスは、それらコンサルタントが企画立案する発展戦略の基本的考え方として、1990年代には、特に移行経済圏諸国において大変に重宝された。これらの動きを、結果として最適な経済社会開発効果を生むためのクリエイティブな戦略として評価するのが共発主義の考え方である。

2005年に公文俊平が共発主義を提唱した時点における共発主義の考え方は、このように、経済社会開発ガバナンスの領域に、MDBs、先進国等国外の専門家の参画を仰ぐ、というものであった。これら専門家は、出身はともかく、発展途上国の政府に派遣される時点では形式上、国際公務員または先進国政府関係者の肩書が付与されていた。MDBs自

体は政府ではないものの、その職員が国際公務員として扱われることが示しているように、国際社会においては政府と同格の存在として扱われている。即ち、発展途上国におけるガバナンス機能を政府の人間が行う、という枠組みは維持されていたのであり、発展途上国政府が、MDBs 及び先進国政府という他の政府との政府間連携によって経済社会開発ガバナンス機能を果たしたものと見ることが出来る。

筆者は、この共発主義の考え方を拡大し、経済社会開発ガバナンスの領域に、政府ではなく、民間部門の主体が参入するという概念を提案する。政府間連携ではなく、官民協調によるガバナンス、官民協調型ガバナンス機構である。プラットフォーマーは、この枠組みにおける民間部門の主体の典型として捉えられる。

この場合、プラットフォーマーを始めとする民間部門の主体は、当該発展途上国内に存在する主体に加えて、外国の主体、更には複数の国民国家を跨る活動を行っている国際的な主体である場合を考えられる。現実的には、アリババ・グループのような巨大なプラットフォーマーが各発展途上国に個別に出現することは考え難いため、国際的な主体が中心となると考えられる。

以上のことから、理論的には 21 世紀の発展途上国において、プラットフォーマーと国民国家政府の官民協調型ガバナンス機構が進展し、複数の国民国家の統合と相俟って「2重の」統合国家が順調に出現していく可能性を認めることができると考える。

それでは、実際にそのような動きが進展するためにはどのような条件が必要になるだろうか。

この点については、以下の 2つの条件が考えられる。

第1の条件は、中国におけるアリババ・グループのような、能力と意思を持ったプラットフォーマーの登場である。

この点については現在各国のプラットフォーマーに関する包括的な調査を開始したところであり、詳細は別の機会に委ねることとしたい。なお、現時点の研究成果を見ると、世界では十分な量の能力と意思を持ったプラットフォーマーの登場を期待することが出来ると考えている。

世界の中には、多くの発展途上国を覆う国際的な活動を進めているプラットフォーマーは、既に数多く登場している。現在、その意思について確認する研究を推進しているところである。一方能力については、多くの発展途上国においては金融システムの整備状況は 21 世紀初頭の中国に比べて大きく劣後するものとなっており、そのような中で、プラットフォーマーが有する高いデジタル技術を活用することにより、最先端の金融システムを整備するというガバナンス機能を果たすことは、「既得権益の罠」が小さく、法律上の制約がない状況下では、技術的には十分に可能なことであると見ることが出来る。

いずれにしても、この面の研究成果は別の機会にとりまとめ

ることとしたい。

第2の条件は、プラットフォーマーとの官民協調型ガバナンスを実施するために必要な国民国家政府側の制度整備、端的には法制度整備である。

最先端のデジタル技術を基盤とするガバナンス機能を可能にする社会制度整備を進めようとする場合、最大かつ決定的な障害となるのは、デジタル技術が存在しない時代に作られて、デジタル技術を使わないと大前提にして組み立てられた法制度である。このような法制度が「既得権益の罠」を発生させる。

その弊害を最も良く知るのは、今日の日本人であると見ることが出来る。日本では、最先端のデジタル技術が参入できないように各種の法制度が構築されているため、最先端のデジタル技術を導入しようとする試みは、多くの場合、法律違反、とされ、排除される。

最先端のデジタル技術をガバナンス機能の分野に導入しようとすることは、不可避に既存の法制度を抜本的に変更することを意味する。このような法制度の変更、整備のことを情報社会学ではシビル(civil)法制度整備(Development of Civil Legal Systems)、と呼ぶ。シビル法制度整備の鍵を握るのは、「敢えて意図的に法制度の空白空間を創出すること」、平たく言えば、今後様々なデジタル技術が登場することを想定して、それらの活用の障害となるような規制を導入せずに「法律が存在しない状態」を確保することである。

シビル法制度整備については、情報社会学会、ERISE 及びハノイ経営工科大学(ベトナム)の 3 者で 2017 年 11 月以降、協働研究を進めているところである。また応用情報社会学の研究としては、この視点で、独自のワン・ストップ・サービス制度によって外国企業の投資拡大に効果を發揮したカンボジアの CDC(Cambodia Development Committee)の制度を評価した「メタ法治主義」の研究がある(注22)。

一方、プラットフォーマーと国民国家政府との間の官民協調型ガバナンス機構の構築の観点に特化して個別の発展途上国のシビル法制度整備のあり方について検討した研究は、今日のところ成果として取りまとめられるには至っていない。これについても、今後の課題としたい。

[注]

注1:[1].

注2:[2].

注3:[3].

注4:<https://www.erise.asia/society/glo-sai/>

注5:[4].

注6:初出は、[1].

注7:初出は同じく、[1].

注8:[5].

- 注9:[6].
- 注10:[7].
- 注11:初出は, [3].
- 注12:前掲, [3].
- 注13:前掲, [6].
- 注14:前掲, [3].
- 注15:前掲, [7].
- 注16:OECD の web サイト:<https://www.oecd.org/dac/>.
- 注17:[8].
- 注18:例えば, [9].
- 注19:以下, 本節におけるアリババの活動と時期の同定は,
[9]による.
- 注20:日本語訳は Newspics による.
- 注21:情報社会学会月例研究会等.
- 注22:例えば, [10].

参考文献

- [1] 前田充浩『第3新近代論－金融オーナーシップ型発展戦略の文明史的背景』, 産業技術大学院大学紀要第12号, 産業技術大学院大学, 2019年1月.
- [2] アントニオ・ネグリ+マイケル・ハート『「帝国」－グローバル化の世界秩序とマルチチュードの可能性』, 水嶋一憲等訳, 以文社, 2003年.
- [3] 前田充浩『第3新近代における「大収斂」史観としてのインダストリウム・モデル－「Leave No One Behind」の世界システム論』, 産業技術大学院大学紀要第13号, 産業技術大学院大学, 2020年1月.
- [4] 公文俊平『社会システム論参考資料, 産業技術大学院大学講義用』, 2016年.
- [5] アブナー・グラиф『比較歴史制度分析』, 岡崎哲二・神取道宏監訳, NTT出版, 2010年.
- [6] 倉都康行『金融史の真実』, ちくま文庫, 2014年.
- [7] 村上泰亮『システムとしての開発主義』(『反古典の政治経済学』下・第7章), 中央公論新社, 1992年.
- [8] クレイトン・クリステンセン『イノベーションのジレンマ－技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』, 玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳, 翔泳社, 2001年.
- [9] 蘇向輝等『アントフィナンシャル－一匹のアリがつくる新金融システム』, 永井麻生子訳, みすず書房, 2019年.
- [10] 前田充浩『「大収斂」近代世界システム論試論－発展途上国の発展戦略構築における「追い付き創造性」』, 産業技術大学院大学紀要第10号, 産業技術大学院大学, 2017年1月.

スイスアーミーナイフの文化系統学的分析

松井 実*

Cultural Phylogenetic Analysis on Swiss Army Knives

Minoru Matsui*

Abstract

Cultural phylogenetics is one of the approaches in cultural evolutionary studies and is widely used to study often tangled phylogenetic relationships between cultural traits such as transcriptions. Design study researchers often use correspondence analysis to reduce dimensions of design products' characters described by binary categories, and subsequently group them by cluster analysis. This approach is problematic from evolutionary perspective. Here we perform phylogenetic network analysis on 61 Victorinox-related Swiss Army Knife models, consisting of 55 contemporary models, five historical models, and one original 1891 Swiss army model which did not originate from Victorinox.

Keywords: cultural phylogenetics; swiss army knife; ancestral character estimation; cultural evolution

1 はじめに

文化とは非遺伝的な方法で人から人に伝達され学習される情報である[1]–[3]。言葉や人工物の仕様、音楽などの文化的な形質は親世代から子世代へ、また同年代どうしでも伝達されるが、その際に伝達ミスや、意図的な改変が加わって、オリジナルとは多少異なる新しい形質となることがある。すると新しい形質は、伝達を媒介する人の意識や、人工物を複製する際の材料などの資源をめぐって、古い形質と競争することになる。よりコピーしやすかったり、より憶えやすかったり、より性能の高い変異はより好まれ、ほかの文化形質にくらべ、集団内での頻度を増大させるかもしれない。このようなアルゴリズムのプロセスを生物進化のそれと類似したものとみなし、その知見を活かすのが文化進化学である。

本稿では文化系統学 *cultural phylogenetics* という文化進化学の一分野をデザイン学に援用する。考古学的遺物から写本、言語まで様々な対象の形態や特徴をコード化(しばしば二値化)し、それを生物での形態や塩基配列と類似したものとみなすと、生物進化での系統学の理論やツールを応用することができ、条件さえ揃えば文化形質の先祖子孫関係の推定や先祖形質の復元が可能となる[4][5]。

1.1 先行研究

言語や単語の類似と差異をもとにコードした文化系統樹の研究は数多い。文化系統学研究の鏑矢としてしばしば取り上げられるのが *Nature* 誌に掲載されたチョーサーのカン

タベリー物語のプロジェクト[6]で、写本群の類縁関係を Split Decomposition[7]を用いて復元している。多数のインドヨーロッパ語族の語を調べ、その広がりを説明する有力な仮説のうち片方を支持するような系統樹を復元した研究[8]、アフリカから日本まで広がる赤ずきんの物語の類縁関係の復元[9]、三十六歌仙絵の背景に書かれた歌の差をコード化して特定の写本の他の写本との位置関係を論じた研究[10]などもある。架空の生物ポケモンも独自の進化を遂げているという仮定のもと、系統樹を推定したユニークな試みも、公式・非公式な方法、アカデミア・アマチュア問わず幾度となく取り組まれている[11]。また、非遺伝的な方法で伝達される情報を含む物体は生物に由来するものだけでなく、そのため生物系統学の理論とツールは非生物物体にも適用できる場合がある。たとえば恒星の化学的な組成を遺伝子と見立てて星の系統樹を構築した研究がある[12]。

もっとタンジブルな物質文化 material culture を対象にした系統樹復元もいくつかある。1万年前のアメリカ先住民の使用していた鎌の形態をコード化して、最節約法によって鎌の先祖子孫関係を推定した研究[13]は初期の代表的な例としてよくとりあげられる。イランの民族的なテキスタイル[14]やインドネシアの絹織りイカットのパターン[15]の歴史的な伝達を文化系統樹によって分析した研究、弦付きのプサルテリー(中世ヨーロッパの箇琴)とコルネットの近縁関係をそれぞれ復元した研究[16]がある。

翻って、こんにちのデザイン業務でデザイナーが主に関

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

心のある産業革命以降の技術に依存した製品をとりあげたものは多くない。自動車のデザインをコード化し、車体の OEM 供給を遺伝的交流とみなせるとした研究[17]や、デジタルカメラのスペックを主成分分析し、主成分得点の距離を用いて系統樹を構築した研究がある[18]。

こういった数理的・公式な手法とは対照に、様々な分野で歴史的に連続と行われてきた、非公式な、コード化などのプロセスを経ずに、自己・他者の経験・知識に基づいた系譜の直接的な構築も無視できない。生命の樹をはじめ、枝分かれを含む樹状図は経時的な類縁関係の遷移を理解・整理・描写するのに太古から用いられてきた[19]。太刀川の著書[20]において図 14-7 で示されている「乗り物の系統樹模型」はその典型例である。系統樹と名付けられているが進化系統学に由来した公式のプロセスを経ずに構築されている。トヨタ自動車による自社の関係部署への聞き込みをもとに構築された壮大な系統図[21]も同様の非公式な手続きによっている。また、Jencks による 20 世紀の建築の動向をネットワーク状に図示したもの[22]は、図示範囲を 20 世紀建築に限定しているため共通の根がなく、一見すると系統樹としての要件を満たしていないように思える。しかし、合流・分岐を含み、かつ「いったん衰えた流行が、しばらくしてから他の、新しく生まれ出されたかのような流行の源流となっている」ことを明示している点でユニークな系統ネットワークの描画方法といえる。

1.2 デザイン学とデザインの系統・分類

デザイン学の分野では、特定のカテゴリーに属する商品群のもつ特徴をもとにコード化し、対応分析・数量化理論 III 類などをもちいて 2 軸上にマッピングする手法はしばしば用いられる。さらにコード情報をもとにクラスター分析でいくつかに分断したグループをもとに今後の製品開発の方向性などを議論することがある。クラスター分析のなかでも無加重平均距離法 (unweighted pair group method with arithmetic mean, UPGMA) を用いた分岐図の推定は初期の分岐学ではしばしば使われてきた[23]が、近年ではその用途で使われることはほとんどない。可能な限り想定たくない、実情にそぐわない仮定をおいているためだ。まず、UPGMA は対象が同時にサンプリングされたと仮定する。たとえば 2021 年に一斉に発売されたノート PC の機種を分析するのならば妥当な仮定といえるかもしれないが、そうではなく、設計時期が大きく異なるものどうしを比べる場合には UPGMA は不適切になる。さらに UPGMA は「分子時計の仮説」に依拠しており、全操作単位 (Operational Taxonomic Unit, 以下 OTU) に同じ速度で変化が蓄積してきたと仮定する。これもまた、一度設計され製造されればほとんど変化しない製品をサンプリングし、その設計をもとにさらに設計に変化を加えた製品をサンプリングしたい場合には不適切な前提である。そのため、進化速度が系統間で異

なる時は推定を誤ることが多いことが知られている。

UPGMA の登場後、現実の生物では仮定することが難しいこれらの条件を前提にしなくても系統樹を算出する方法が多数提案されている。近隣結合法 (Neighbor-joining, 以下 NJ 法) はその代表例である[24]。ただし、近隣結合法はあくまで枝分かれのみを前提にしており、遺伝子の水平伝播のような形質の合流は起きないものと想定している。文化進化においては形質の合流・流用が生物よりも格段に起きやすい。そのため、曖昧な先祖子孫関係を樹状ではなくネットワーク状に描画できる、Median-Joining 法[25]や NJ 法を拡張した NeighborNet[26]のようなアルゴリズムが用いられる。

単純に構成された近代以前の考古学的遺物ならともかく、電気製品などの最新のデザインされた製品の形質は高度に複雑化している。デザインの形質をなるべく偏見なく網羅的にコード化しようとすると、データは高次元になりやすい。デザイン学やマーケティングでは、そのような高次元データの説明には主成分分析や主座標分析、対応分析/数量化理論 III 類のような次元圧縮が用いられ一定の成果を収めてきた。しかし、これらの方法では個々の類「似」関係は把握できても、それぞれの類「縁」関係についてはわからない。

本稿では、スイスアーミーナイフを対象に、製品情報を収集し、形質をコード化し、類縁関係のネットワークを図示した実践例について説明する。

2 スイスアーミーナイフの系統学的分析

スイスアーミーナイフは代表的なポケットツールであり、とくに Victorinox 社のマルチツールは 2017 年までに累計 5 億本が製造され、ニューヨーク近代美術館にデザイン作品として収蔵されている。本稿では現代的で離散的な文化形質の典型として Victorinox 社のマルチツールナイフの機能と特徴をコード化したデータをもとに系統樹を推定した。

スイスアーミーナイフの機能を司る部品の形質は「セレーションナイフ(波刃)」や「フィリップスねじ」など多岐にわたり、全商品ラインナップはその組み合わせにすぎないといつても過言ではない。しかし、長い歴史を通じて、たとえばフィリップスねじそのものの長さ違い、大きさ違い、材質違い、色違い、細部の仕上げの違いなどのバリエーションは乏しい。そのため、その機能=部品があるかないかの二値で大昔のモデルから最新モデルまでほぼすべての特徴をすくいとができるという非常に離散的な形質を有する。これが変化の早い製品カテゴリ、例えばパソコンであれば、30 年前と今の「ディスプレイ」が、基盤となる技術も大きさも分厚さも色再現性も明るさも湾曲具合もリフレッシュレートも違うことを無視して同一の部品と認めるべきなのかを客観的に判断することは難しいだろう。もしくは、100 年前の車の車輪と最新の車の車

輪を同一のものとしてカウントしてよいのかにも疑問が残るが、スイスアーミーナイフの場合は、50年前のボトルオープナーと最新モデルのボトルオープナーで細かい差異を除けばほぼ同一の部品を使っている。しかも、スイスアーミーナイフには、某がデザインしたとか、ハンドルを特殊な素材にしたとか、日本限定のモデルといった差別化要因もあるにはあるが、主力製品となるまでには至っていない。主に部品の単純な組み合わせだけをもとに消費者が製品を選定するという、現代的な商品には稀有な性質をもつ。そのため、部品・機能の有無で商品の形質の相当部分が正確に記述でき、基準が明確で評価者によるブレが生じにくいという利点がある。



図 1: スイスアーミーナイフの例:Victorinox 社 Pioneer

2.1 歴史

Victorinox 社の代表的なモデルは以下のような進展を遂げている。1890 年に全長 100 mm の Modell 1890 がスイス軍用ナイフとして制式採用された。このモデルの製造者としてドイツゾーリンゲンの Wester & Co.社とほぼ同時に Victorinox の創業者である Karl Elsener の所有する社が製造を開始した。つまりこのモデルは Victorinox 社によるオリジナルのデザインではなく、借り物のデザインである。とはいものの、Model 1890 は Victorinox 社で Soldier ナイフ（独語: Soldatenmesser）と名付けられ、それ以降の Victorinox 社のマルチツールナイフの源流となっているため、外群として最適なモデルとなっている。

Modell 1890 は 1901 年と 1908 年に少しづつアップデートされてきたが、真に Victorinox 社オリジナルの製品は、1897 年に登場した Soldier に続く 2 つめのモデルであるコルク抜きと小さな刃を備えた 91 mm の Officer ナイフ（独語: Schweizer Offiziers- und Sportmesser）である。このモデルの大成功をもとに多様な組み合わせで製品が展開されていき、Officer というモデルは廃盤になったものの、いまや 91 mm クラスは Victorinox 社の製品ファミリーのなかでも代表的なクラスで、多くのバリエーションが製造されている。

図 1 のモデルは、アルミによる外装が特徴的な、分厚いツールなど堅牢さを売りとしている 93 mm クラスの先駆けである 1957 年の Pioneer モデルであり、日本では Soldier AL

CV の名で販売されているが、1957 年当時からほとんど仕様が変更されていない。1961 年の Soldier モデルのリニューアルは Pioneer とほとんど同一であり、2008 年の 111 mm の現行 Soldier モデルに取って代わられるまでスイス軍をはじめとしたいくつかの軍隊に供給され続けてきた。

2.2 データ収集

Victorinox 社のマルチツールナイフのうち、コード化開始時点(2016 年)の Victorinox Japan が 2016 年に発行したカタログ[27]に掲載されている以下の代表的な各製品クラスの 55 本をコーディングした(カッコ内にモデル本数の内訳を表記): 58 mm (11), 84 mm (7), 91 mm (19), 93 mm (2), 111 mm (16)。外群として前述の Wester & Co.社が最初に製造を開始した最初のスイスアーミーナイフ Modell 1890 (系統樹上では OUT.Wester として表記)をコード化した。Modell 1890 から派生していった歴史的なモデルの経緯を復元できるかを検証するため、先述の Soldier ナイフ (100mm: 1901 年; 1908 年, 93mm: 1953 年; 1961 年)と 1891 年の初の 91mm モデル Officer ナイフの合計 5 本を考古学的モデルとして OLD の接頭辞つきで表記しコード化し、合計で 61(55 現行, 5 廃盤, 1 外群)モデルとなった。製品選定・コード化には有志が歴代のスイスアーミーナイフをカタログ化している SAKWiki.com[28]に掲載されたデータと、Victorinox 社の公式ウェブサイトを主に利用した。

スイスアーミーナイフは比較的商品寿命が長いが、製造中止になったモデルも数多い。特に 2017 年には 111 mm クラスのモデルの大半が新しいロック方法に世代交代した。本稿では 2016 年時点で販売されていたものを主に取り扱った。

2.3 コード化

先述の通り、物質文化のコーディングはカテゴリー変数が用いられる。離散的な特徴の有無: たとえば突起あり・突起なしを 0/1 で表すのは比較的単純でわかりやすく、コード化する特徴さえ選定できれば観察者で差もでにくい。連続値で表されるような形状をコード化する場合、形態測定学などを用いない場合、いくつかのカテゴリーに分けて離散化することが多い。たとえば全長を 0.5m 以下, 0.5 ~ 1.0 m, 1.0 m 以上の 3 カテゴリーにわけて、それぞれにあてはまるかどうかをコード化するような方法がありうる。これでは閾値を観察者が自由に決められるため、恣意的になりかねない。本稿では対象の離散的な設計を活かし、連続値のカテゴリー化はツールの合計レイヤー数に限定して行った。たとえば図 1 に示したモデルは 2 レイヤーに合計 4 ツールが格納されているので、レイヤー数は 2 になる。レイヤー数は、ほぼ同数がカテゴリーに格納されるよう、1 レイヤー; 2 レイヤー; 3 レイヤー; 4 レイヤー; ≥5 レイヤーの 5 カテゴリーに分割した。

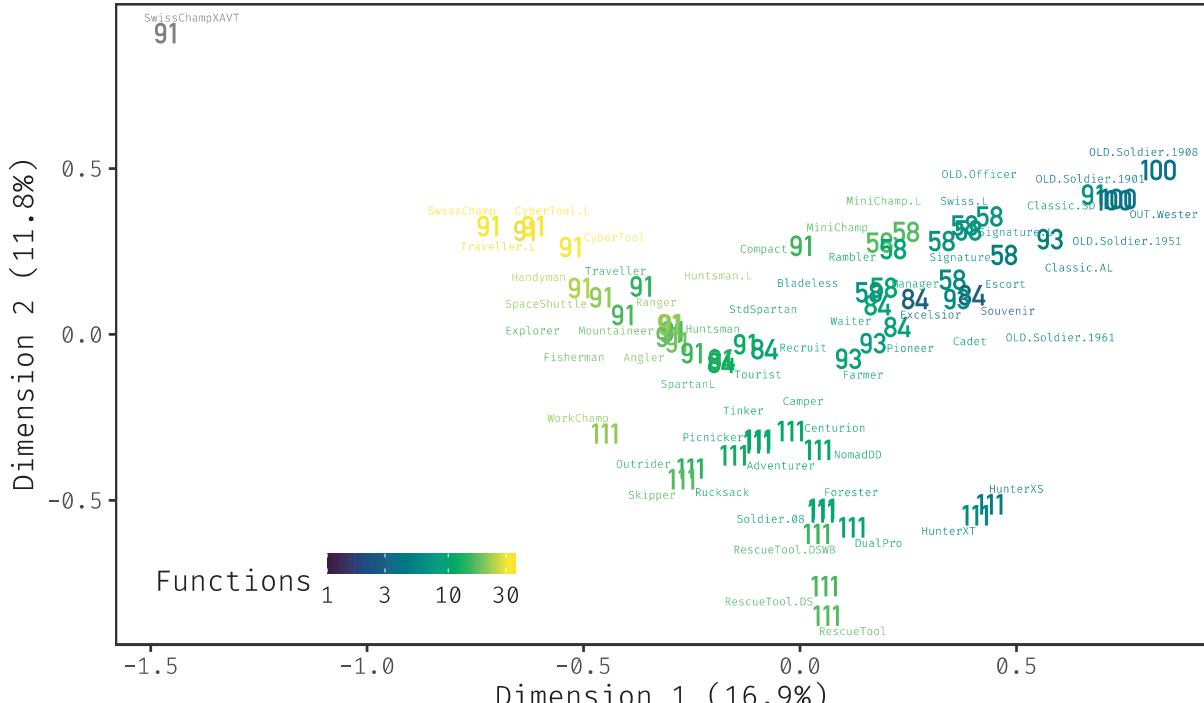


図 2: 対応分析得点散布図. 寄与率を軸名に付与した

2.4 対応分析

前項でコード化したスプレッドシートのうちカテゴリー変数のみを抽出し、マトリックス化し R[29]の FactoMineR[30]の MCA()関数を用いて対応分析の得点を第2次元まで算出した。散布図を図 2 に示す。クラスとはナイフを畳んだ状態での全長の意味である。対応分析では、どのモデルとどのモデルが類「似」しているかはよく捉えられているが、それらの類「縁」関係までは示すことができない。

典型的なデザイン学での分析ではこのあと前述のクラスター分析を用いていくつかのクラスターに分断し議論することが多いが、デンドrogramを断ち切ってクラスターを図示するにとどまり、類縁関係を進化の観点から議論されることはない。

2.5 文化系統ネットワーク

カテゴリカル変数のみを取り出したマトリックスを R から表形式(tab separated values, .tsv)に出力した。バイオインフォマティクスのソフトウェア Mesquite v3.70 を用いて tsv ファイルを系統樹推定ソフトで一般的に使われている NEXUS ファイル(.nex ファイル)に変換した。不要な行を取り除いてから系統ネットワークを推定するソフトウェア SplitsTree4 (v4.17.1, build 28 Jun 2021) [31]を用いて推定した NeighborNet 法による系統ネットワークを図 3 に示す。距離行列には二値情報の距離算出に向く Hamming 距離 (SplitsTree4 上では Uncorrected_P)を利用した。また、単系統を成している NeighborNet 法はオーバーフィットすることが知られている[32]ため、ウェイトが 0.003 以下の枝につい

ては非表示にするようフィルタした。ネットワーク全体の、樹状 ⇔ ネットワーク状の度合いを表す各タクソンの delta(0-1 の値を取り、高いほどネットワーク的) 値の平均値は .2947 であり、その Q 残差平均は .0399 であった。各枝には 1000 回 Bootstrap 法で複製した際に出現した割合を百分率のポイントで表記した。

3 おわりに

本稿では現代的なデザインとしてスイスアーミーナイフを系統ネットワークに図示した。Témkin と Eldridge による研究[16]では、「生物学での系統樹解析の手法の流用は、伝統に沿った伝達が強固でありつつ文化間での交流は比較的弱い物質文化以外にはあまりむかない」と結論づけており、本稿で扱うような、産業革命以降の「迷路的な labrynthine」情報の流れの上で形成されるデザインシステムへの適用に警鐘を鳴らしている。系統ネットワークはそのような迷路的なデザイン情報の錯綜を解きほぐす有用な一手である可能性を示唆する。本稿では系統ネットワークの図示にとどめてとりあげなかつたが、伝統的なクラスター分析手法 (UPGMA 法)、系統樹推定 (NJ 法)との比較や、祖先形質の推定・復元によるプロトタイプの形質の推定精度などについて分析したため、近く発表する予定である。

本稿のコードは Github[33] に、データは Google Spreadsheets[34]に公開している。

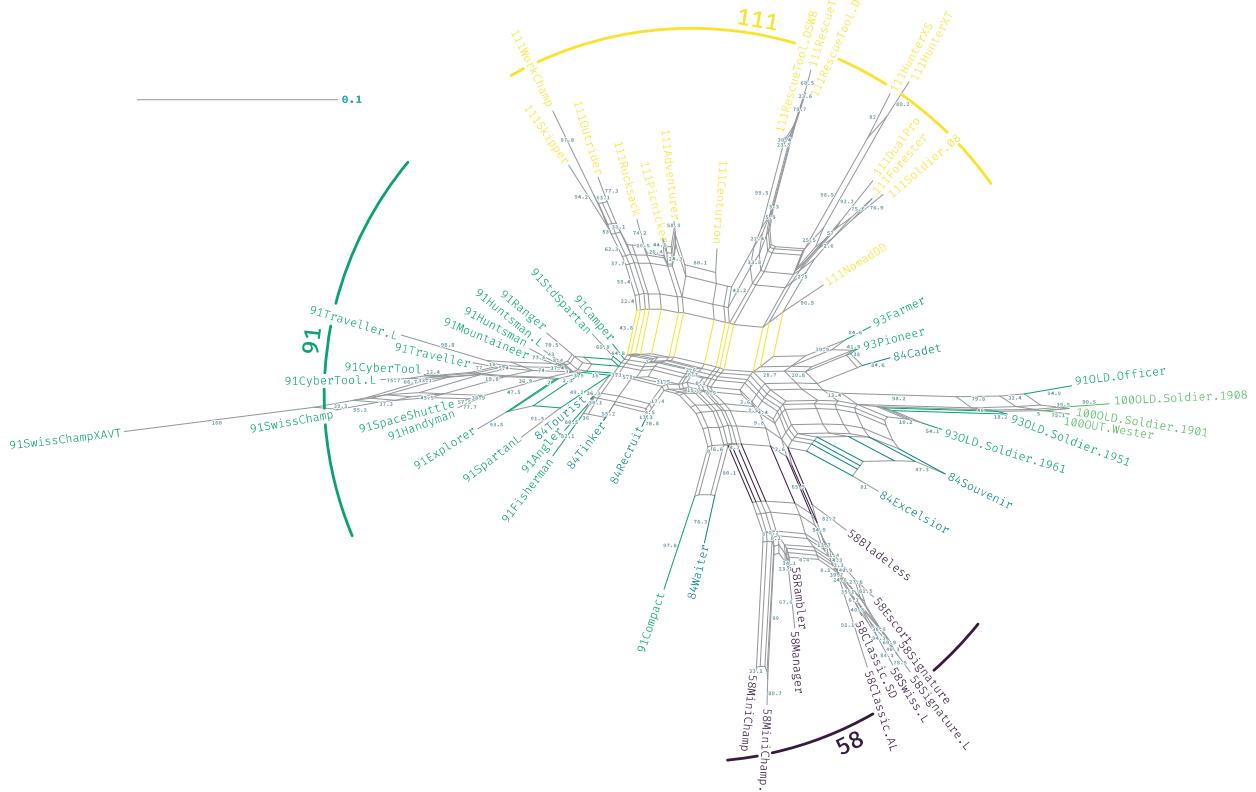


図 3: NeighborNet 法による系統ネットワーク

参考文献

- [1] R. Boyd and P. J. Richerson, *Culture and the Evolutionary Process*. 1985.
 - [2] P. J. Richerson and R. Boyd, *Not by Genes Alone: How Culture Transformed Human Evolution*, vol. 52. University of Chicago Press, 2005.
 - [3] A. Mesoudi, A. Whiten, and K. N. N. Laland, “Towards a unified science of cultural evolution.” *Behav. Brain Sci.*, vol. 29, no. 4, pp. 329–347, 2006, doi: 10.1017/S0140525X06009083.
 - [4] M. J. O’Brien and R. L. Lyman, *Cladistics and Archaeology*. 2003.
 - [5] M. J. O’Brien, J. Darwent, and R. L. Lyman, “Cladistics is useful for reconstructing archaeological phylogenies: Palaeoindian points from the Southeastern United States,” *J. Archaeol. Sci.*, vol. 28, no. 10, pp. 1115–1136, 2001, doi: 10.1006/jasc.2001.0681.
 - [6] A. C. Barbrook, C. J. Howe, N. Blake, and P. Robinson, “The phylogeny of The Canterbury Tales,” *Nature*, vol. 394, pp. 839–840, 1998.

- [7] H. J. Bandelt and A. W. M. Dress, “Split decomposition: A new and useful approach to phylogenetic analysis of distance data,” *Mol. Phylogenet. Evol.*, vol. 1, no. 3, pp. 242–252, Sep. 1992, doi: 10.1016/1055-7903(92)90021-8.
 - [8] R. D. Gray, Q. D. Atkinson, and S. J. Greenhill, “Language evolution and human history: what a difference a date makes,” *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 366, no. 1567, pp. 1090–1100, 2011, doi: 10.1098/rstb.2010.0378.
 - [9] J. J. Tehrani, “The phylogeny of little red riding hood,” *PLoS One*, vol. 8, no. 11, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0078871.
 - [10] 矢野 環, “古典籍からの情報発掘 —再生としての生命誌、ネットワーク— Excavation from old books - Biohistory as regeneration, Network,” 情報知識学会誌, vol. 17, no. 4, pp. 235–242, 2007, doi: 10.2964/jsik.17_4_235.
 - [11] M. Shelomi, A. Richards, I. Li, and Y. Okido, “A Phylogeny and Evolutionary History of the Pokéémon,” *Ann. Improbable Res.*, vol. 18, no. 4, pp. 15–17, 2012.
 - [12] P. Jofré, P. Das, J. Bertranpetti, and R. Foley, “Cosmic phylogeny: Reconstructing the chemical

- history of the solar neighbourhood with an evolutionary tree,” *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, vol. 467, no. 1, pp. 1140–1153, 2017, doi: 10.1093/mnras/stx075.
- [13] M. J. O’Brien, J. Darwent, and R. L. Lyman, “Cladistics Is Useful for Reconstructing Archaeological Phylogenies: Palaeoindian Points from the Southeastern United States,” *J. Archaeol. Sci.*, vol. 28, no. 10, pp. 1115–1136, 2001, doi: 10.1006/jasc.2001.0681.
- [14] J. J. Tehrani, “Patterns of Evolution in Iranian Tribal Textiles,” *Evol. Educ. Outreach*, vol. 4, no. 3, pp. 390–396, 2011, doi: 10.1007/s12052-011-0345-2.
- [15] C. D. Buckley, “Investigating Cultural Evolution Using Phylogenetic Analysis: The Origins and Descent of the Southeast Asian Tradition of Warp Ikat Weaving,” *PLoS One*, vol. 7, no. 12, 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0052064.
- [16] I. Témkin and N. Eldredge, “Phylogenetics and Material Cultural Evolution,” *Curr. Anthropol.*, vol. 48, no. 1, pp. 146–154, 2007, doi: 10.1086/510463.
- [17] 前田実里, 鈴木麗蠻, and 有田隆也, “自動車のデザインの系統樹からみるミームの系統進化,” in 人工知能と認知科学 第71回, 2009, pp. 357–358.
- [18] 土松隆志, 石山智明, 伊藤則人, 柴田裕介, and 池上高志, “系統樹から迫る非生命進化:鳥居・雑煮・デジタルカメラ.” 2005.
- [19] 三中信宏 and 杉山久仁彦, “系統樹曼荼羅: チェイン・ツリー・ネットワーク,” 2012, Accessed: Sep. 30, 2021. [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BB10696401>.
- [20] 太刀川英輔, 進化思考. 海土の風, 英治出版(発売), 2021.
- [21] トヨタ自動車, “トヨタ自動車75年史車両系統図,” 2012. https://www.toyota.co.jp/jpn/company/history/75years/data/automotive_business/products_technology/vehicle_lineage_chart/vehicle_lineage_chart/index.html (accessed Oct. 03, 2021).
- [22] C. Jencks, “Jencks’ theory of evolution, an overview of 20th Century architecture,” *Archit. Rev.*, vol. 1241, no. 208, pp. 76–79, 2000.
- [23] R. Sokal and C. D. Michener, “A statistical method for evaluating systematic relationships,” *Univ. Kansas Sci. Bull.*, vol. 38, pp. 1409–1438, 1958.
- [24] N. Saitou and M. Nei, “The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees.,” *Mol. Biol. Evol.*, vol. 4, no. 4, pp. 406–425, 1987, doi: 10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454.
- [25] K. Steyer, “Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies.,” *Conserv. Genet.*, vol. 17, no. 5, pp. 37–48, 2016, doi: 10.1111/jzo.12141.
- [26] D. Bryant and V. Moulton, “Neighbor-Net : An Agglomerative Method for the Construction of Phylogenetic Networks,” *Mol. Biol. Evol.*, vol. 21, no. 2, pp. 255–265, 2004, doi: 10.1093/molbev/msh018.
- [27] ピクトリノックス・ジャパン, *MULTI TOOLS*. 2016.
- [28] “SAKWiki.com.” <https://sakwiki.com/tiki-index.php> (accessed Oct. 03, 2021).
- [29] R. C. Team, “R: A language and environment for statistical computing.” Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- [30] S. Lê, J. Josse, and F. Husson, “FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis,” *J. Stat. Softw.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–18, 2008, doi: 10.18637/jss.v025.i01.
- [31] D. H. Huson and D. Bryant, “Application of phylogenetic networks in evolutionary studies,” *Mol. Biol. Evol.*, vol. 23, no. 2, pp. 254–267, 2006, doi: 10.1093/molbev/msj030.
- [32] R. D. Gray, D. Bryant, and S. J. Greenhill, “On the shape and fabric of human history,” *Philos. Trans. R. Soc. B-Biological Sci. Biol. Sci.*, vol. 365, no. 1559, pp. 3923–3933, 2010, doi: 10.1098/rstb.2010.0162.
- [33] M. Matsui, “phylogen: phylogenetic analysis of designed objects.” 2021, [Online]. Available: <https://github.com/xerroxcopy/phylogen>.
- [34] M. Matsui, “Dataset for Swiss Army Knives.” 2021, [Online]. Available: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1CMR07q3v0UwosNtEHKAyekOpQTRj7dpLUb323dFtE/edit?usp=sharing>.

転職とキャリア自律の関連についての研究

三 好 キヨミ*

A Study of the Relationship between Career Self-Reliance and Job Change

Kiyomi Miyoshi*

Abstract

The purpose of this study is to examine the relationship between career self-reliance and job change. We conducted a survey of items that are work values, career self-reliance, and social skills self-evaluation. We analyzed the differences among the three groups based on job change experience, and differences among the three groups based on consciousness of job change using the analysis of variance approach. The results suggested that those who had changed jobs more than once were adapt quickly to the new environment, and have low awareness to work for their organizations. In addition, those who proactive about changing jobs were highly conscious that career development is their responsibility and that they work for their own growth.

Keywords: Job Change, Career Self-reliance, Work Values

1はじめに

日本の平均勤続年数は、国際的にみて長い方に属している。特に男性は、イタリアに次いで2番目に長い[1]。これは、長期雇用制度、年功序列制度といった日本型雇用システムの特徴[2]に起因するといわれている。しかしながら、企業においては、専門性を高め、国際競争力を上げるために、仕事の成果を反映させて賃金を決定するという成果主義が台頭してきており、長期雇用制度、年功賃金制度を前提としたメンバーシップ型雇用から、ジョブ型雇用制度に移行する企業もでてきた[3]。また、我が国では、2008年をピークに人口減少局面に入っており、将来的にも生産年齢人口や就業者数の大幅な減少が予想されている。そのため、将来的な人手不足への対応として、高齢者も若者も、女性も男性も、誰もが活躍できる一億総活躍社会の実現を目指した「働き方改革」を推し進めてきた[4]。そうした中、COVID-19の世界的な感染拡大に伴い、対人接触や移動が制限される状況となつた。新たな生活様式、新たな働き方として、在宅勤務への転換が急激に進んだことで、評価基準においても、明確に仕事の成果を重視されるようになった。そして、自分のキャリアは自己責任で管理し、主体的にキャリア形成するという考え方方が求められるようになってきた。一方、個人においても、自身のキャリア形成を企業に依存することなく、自分で考えたいということも広がってきている。「令和元年度能力開発基本調査[5]」によると、正社員の65.7%，正社員以外の

47.7%が、「自分で職業生活を考えていきたい」または「どちらかといえば自分で職業生活を考えていきたい」と答えている。

キャリアについては、多様な捉え方がある。広義のキャリアの定義としては、「自己発達の全体の中で、労働への個人の関与として表現される職業と、人生の他の役割の連鎖」[6]がある。これは、「ライフ・キャリア」ともいわれ、生き方そのものを指す。一方、Hallは、キャリアは次の4つの意味があるとしている[7]。①昇進・昇格の累積としてのキャリア(組織階層の縦の昇進や上下移動の連鎖)、②プロフェッショナルとしてのキャリア(法律家、医師、教授などの高度な専門職のキャリア)、③生涯を通じた仕事の連鎖としてのキャリア(人が生涯を通じて、従事した一連の仕事経験としてのキャリアである、何らかの仕事経験・経験を持つ人はすべてのキャリアを形成する)、④生涯を通じた様々な役割経験としてのキャリア(仕事だけでなく人が経験した活動の全体)。Hallは、これらのキャリアの見方を踏まえ、「個人の生涯を通じて、仕事に関わる諸経験や諸活動に関連した態度や行動における個人的に知覚された連鎖」と定義している。日本では、金井[8]が「就労して以降の生活ないし人生全体を基盤にして繰り広げられる長期的な仕事生活における具体的な職務・職種・職能での『諸経験の連続』と『節目での選択』が生み出していく懐古的な展望と将来構想のセンス・メイキング・パターン」であると定義している。本研究では、キャリアを「ライフ・キャリア」の中でも「職業キャリア」といわれる職業面のみを対象とする。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

キャリア自律とは、「自己認識と自己の価値観、自らのキャリアを主体に形成する意識をもとに、環境変化に適応しながら、主体的に行動し、継続的にキャリア開発に取り組んでいること」[9]、「自分の価値観をベースとしたキャリア開発の重要性を認識し、自分自身を継続的にモチベートし、自分の意思をベースに主体的に行動でき、チャンスを能動的にとらえ、事態を切り開くことができる」といったように定義されている。本研究では、キャリア自律を「自己認識のもと、環境の変化に適応し、能動的に学び、主体的なキャリア形成の取り組みを行っている状態」とする。なお、キャリア自律は、従来組織の視点で提供されていた、人事の仕組み、教育の仕組みを個人の視点から見たキャリアデザイン・キャリア構築の仕組みに転換するものとして捉えられている[11]。

先に述べたように、様々な変化の中で、一人ひとりの意思や能力に応じた働き方を実現するためには、主体的にキャリアを考え、場合によっては、新たな学びに取り組み、職種や勤務先を変えるという選択もでてくると推測される。そこで、本研究では、キャリア自律を促進し、一人ひとりが適した場所で働くための知見を得ることを目的とする。

2 関連研究

キャリア自律の研究として、堀内・岡田[12]は、インタビュー調査から、仕事経験を通じた自己の気づきや再構築、自律的な仕事姿勢と行動の習得など仕事経験からの学び、及び仕事やキャリアにおける大きな転機経験からの学びがキャリア自律を促進することを示唆している。その後、質問紙調査を行い、仕事経験からの学び、上司や社内外の人間関係、転機経験がキャリア自律に関連することを検証し、転機経験がある社員が転機経験のない社員に比べ、キャリアの自律度合が高いことを明らかにしている[13]。

転職に関する研究としては次のようなものがある。山本[14]は、転職に影響する先行要因として、組織間キャリア志向という概念を設定し、キャリア発達、組織間キャリア移動、組織間キャリア志向の関連を調査研究している。その中で、働く人が強く求めるキャリアは組織内キャリアであり、組織内のキャリアがうまく展開しない場合に、転職(組織外志向)が現れることを示唆している。尾野[15]は、若年就業者においては、キャリア構築に対する衝動や切迫感といった焦燥感が、転職行動や異動検討といった他のキャリアの選択肢探しに、影響を及ぼすことを明らかにしている。渡辺[16]は次のような転職理由のタイプロジーを提示している。まず、自主的な退職による「自発的離職」と、解雇やリストラによる「非自発的離職」に分類し、「自発的離職」は個人的理由と仕事関連の理由に二分している。さらに、個人的理由を健康問題と家族の理由、仕事関連の理由をプッシュ要因とプル要因に分けている。プッシュ要因は、主に現職への不満が起因となる場

合であり、プル要因は、組織外に存在するよりよい機会が起因となるケースである。三好[17][18]は、インタビュー調査から、IT人材の転職理由とプロセスについて分析し、職場環境や仕事内容といった働く環境の変化が転職欲求の要因となること、就職に対する心残りの体験、突然の地震やコロナ禍、及び越境学習による人生観の変化が転職欲求を強化することを示した。

本論文では、以上のような関連研究をもとに、アンケート調査分析を行い、仕事に関する価値観、キャリアに関する考え方等について、転職経験者と転職経験がない者、及び転職に対して積極的な者とそうではない者を比較し、どのような特徴があるかを明らかにする。

3 方法

3.1 調査方法

株式会社インテージに委託しアンケート調査を実施した。登録されている全国のモニターから、30歳から70歳未満を対象として、2021年8月に643名のサンプルを確保した。

3.2 調査内容

アンケート調査項目は、転職についての質問、仕事やキャリアに関する考え方、ソーシャルスキル自己評定、スキルアップについての質問、及び性別、年齢、職種、勤務先規模、学歴等についてのフェイスシートで構成した。本論文では、第2章で述べた関連研究を検討し、以下の調査項目を分析対象とした。

I 転職について

転職経験

転職経験について、現在1社目(転職経験なし)、2社目、3社目、4社目、5社目以上から、1つの選択を求めた。

転職に関する考え方

「第8回世界青年意識調査」[19]の転職に関する考え方を参考に、「つらくても転職せず、一生一つの職場で働き続けるべきである」「職場に強い不満があれば、転職することもやむをえない」「職場に不満があれば、転職する方がよい」「不満がなくても、自分の才能を生かすためには、積極的に転職する方がよい」から考え方方に近いもの1つの選択を求めた。

II 仕事やキャリアに関する考え方

仕事に関する価値観

労働価値観測定尺度(短縮版)[20]の「社会的評価」「自己の成長」「達成感」「所属組織への貢献」の4因子12項目を用いた。「重要である」「まあまあ重要である」「あまり重要でない」「重要でない」の4件法で回答を求めた。

キャリア自律心理

キャリア自律心理尺度[13]の「職業的自己イメージの明確さ」「主体的キャリア形成意欲」「キャリアの自己責任自覚」の3

因子 12 項目を用いた。「あてはまる」「ややあてはまる」「どちらでもない」「あまりあてはまらない」「あてはまらない」の 5 件法で回答を求めた。

キャリア自律行動

キャリア自律行動尺度[13]の「新しい職場環境への適応行動」「キャリア開発行動」「ネットワーク行動」「主体的仕事行動」の 4 因子 15 項目を用いた。「あてはまる」「ややあてはまる」「どちらでもない」「あまりあてはまらない」「あてはまらない」の 5 件法で回答を求めた。

ソーシャルスキル自己評定

成人用ソーシャルスキル自己評定尺度[21]から「関係開始」、「主張性」、「関係維持」の 3 因子 9 項目を用いた。「かなりあてはまる」「ややあてはまる」「あまりあてはまらない」「ほとんどあてはまらない」の 4 件法で回答を求めた。

4 結果

4.1 回答者の属性

回答者の属性は、30~39 歳 89 名、40~49 歳 203 名、50~59 歳 245 名、60~69 歳 101 名、男性 508 名、女性 135 名であった。

4.2 尺度の信頼性

仕事に関する価値観、キャリア自律心理、キャリア自律行動、ソーシャルスキル自己評定尺度の各下位尺度についてクロンバッックの信頼性係数 α を算出した。仕事に関する価値観は、「社会的評価($\alpha=.89$)」「自己の成長($\alpha=.89$)」「達成感($\alpha=.92$)」「所属組織への貢献($\alpha=.90$)」、キャリア自律心理は、「職業的自己イメージの明確さ($\alpha=.91$)」「主体的キャリア形成意欲($\alpha=.68$)」「キャリアの自己責任自覚($\alpha=.63$)」、キャリア自律行動は、「職場環境変化への適応行動($\alpha=.90$)」「キャリア開発行動($\alpha=.88$)」「ネットワーク行動($\alpha=.92$)」「主体的仕事行動($\alpha=.88$)」、ソーシャルスキル自己評価は、「関係開始($\alpha=.90$)」「主張性($\alpha=.83$)」「関係維持($\alpha=.79$)」であり、概ね満足できる信頼性が示された。この後の分析では、これらの尺度の因子に相当する項目の平均値を因子得点として使用する。

4.3 転職に関する調査結果

まず、転職経験については、転職経験なし 221 名(34.4%)、転職経験 1 回 133 名(20.7%)、転職経験 2 回 105 名(16.3%)、転職経験 3 回 58 名(9.0%)、転職経験 4 回以上 126 名(19.6%)であった。

次に、転職に関する考え方として、「つらくても転職せず、一生一つの職場で働き続けるべきである」66 名(10.3%)、「職場に強い不満があれば、転職することもやむをえない」323 名(50.2%)、「職場に不満があれば、転職する方がよい」

134 名(20.8%)、「不満がなくても、自分の才能を生かすためには、積極的に転職する方がよい」120 名(18.7%)であった。

4.4 転職経験による仕事やキャリアに関する考え方の比較

転職経験を転職経験なし群(221 名)、転職経験 1 回群(133 名)、転職経験 2 回以上群(289 名)の 3 群に分けて、一元配置分散分析を行い、仕事やキャリアに関する考え方の各因子得点を比較した(表 1)。キャリア自律行動の「職場環境変化への適応行動」($F(2,640)=3.47$, $p<0.05$)、「主体的仕事行動」($F(2,640)=5.52$, $p<0.01$)、仕事に関する価値観の「所属組織への貢献」($F(2,640)=3.91$, $p<0.01$)において有意な差があった。キャリア自律心理、ソーシャルスキル自己評価においては有意な差は確認されなかった。

4.5 転職に対する考え方による仕事やキャリアに関する考え方の比較

転職に関する考え方の「つらくても転職せず、一生一つの職場で働き続けるべきである」を転職しない群(66 名)、「職場に強い不満があれば、転職することもやむをえない」「職場に不満があれば、転職する方がよい」を場合によっては転職群(457 名)、「不満がなくても、自分の才能を生かすためには、積極的に転職する方がよい」を積極的に転職群(120 名)の 3 群に分けて、一元配置分散分析を行い、仕事やキャリアに関する考え方の各因子得点を比較した(表 2)。キャリア自律心理の「職業的自己イメージ」($F(2,640)=7.38$, $p<0.001$)、「主体的キャリア形成意欲」($F(2,640)=4.14$, $p<0.05$)、「キャリアの自己責任自覚」($F(2,640)=4.26$, $p<0.05$)、キャリア自律行動の「主体的仕事行動」($F(2,640)=4.59$, $p<0.01$)、仕事に関する価値観の「社会的評価」($F(2,640)=8.01$, $p<0.001$)、「自己の成長」($F(2,640)=3.98$, $p<0.05$)、「所属組織への貢献」($F(2,640)=4.10$, $p<0.05$)において有意な差があった。ソーシャルスキル自己評価においては有意な差は確認されなかった。

5 考察

本論文では、転職経験者と転職経験がない者、及び転職に対して積極的な者とそうではない者を比較し、どのような特徴があるかを明らかにすることを目的とした。仕事に関する価値観、将来に関する考え方等について分散分析によって比較した。以下に、まず、転職経験による差異について、次に、転職に対する積極性による差異について述べる。最後に、総合的に考察する。

転職経験について、転職を 2 回以上している人々は、転職経験なしの人々よりも、キャリア自律の行動面として、新しい環境や状況にも早くなじんで対応し、新しい職場でも自分らしさを發揮する傾向、自分の価値観を持って仕事に取り組

み、自分の満足感を高めるように仕事のやり方を工夫している傾向が、高いことが示された。また、転職を2回以上している人々は、転職回数が1回の人々よりも所属する組織に貢献するために働くという意識が低い傾向が示された。

転職に対する積極性について、積極的に転職する方がよいと考える人々は、一生一つの職場で働き続けるべきであると考える人々よりも、キャリア自律の心理面として、自分のキャリアへの関心が高く、キャリア形成は自分の責任であると考え、自分の価値観を持って仕事に取り組んでいる傾向が示された。キャリア自律の行動面としては、自分の成長のために働く傾向が高いことが示された。仕事に関する価値観として、組織に貢献するために働くという意識は低い傾向が示された。また、積極的に転職する方がよいと考える人々は、場合によって転職してもよい、あるいは、一生一つの職場で働き続けるべきであると考える人々よりも、仕事に関する価値観として、他の人に褒められるためや注目されるために働くという意識は低い傾向が示された。

以下に、転職経験者、および転職志向者の仕事や将来に関する考え方の特徴をとりまとめる。複数回の転職を経験している人々は、新しい環境に早く適応し、自分らしさを發揮することができる、といった行動領域でのキャリア自律の度合いが高い。これは、転職という行動を起こしていることからも納得のいく結果である。一方、積極的に転職する方がよいと考える人々は、キャリアへの関心が高く、自分のキャリア形成は自分の責任であり、得意分野を見つけ、自分の価値観を持って仕事に取り組む といった心理領域でのキャリア自律度合いが高い。加えて、働くのは、自分の成長のために他の人に褒められるためや注目されるために働くというわけではないという傾向がみられた。このように、実際に転職という行動を起こしている転職経験者は、行動領域において、転職を志向する者は、心理領域においてキャリア自律の度合いが高いという特徴がみられた。また、転職を志向する者は、自分の成長のために働く傾向が高いという特徴がみられた。

6 おわりに

本論文では、仕事やキャリアに関する考え方等について調査分析を行い、転職経験者と転職経験がない者、及び転職に対して積極的な者とそうではない者を比較し、どのような特徴があるかを明らかにすることを目的とした。仕事やキャリアに関する考え方を分散分析によって比較検討し、それらの特徴について報告した。

今後は、年代、職種による特徴についても調査分析して、主体的なキャリア形成の促進との関連について検討し、一人ひとりが適した場所で働くための施策を提案したい。

謝辞

調査にご協力いただいた皆様へ心より感謝いたします。本研究は文部科学省科学研究費[2020-2023 年度若手研究課題番号 20K14117]の研究成果の一部である。東京都立産業技術大学院大学研究倫理安全委員会の承認を得て実施された。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 平成 25 年版 労働経済の分析, 2013.
- [2] 濱口桂一郎, 新しい労働社会: 雇用システムの再構築へ, 岩波新書, 2009.
- [3] パーソルホールディングス, コロナ以降の人事戦略 2021 最新動向レポート, 2021
- [4] 首相官邸, 働き方改革の実現
<http://www.kantei.go.jp/jp/headline/ichiokusoukatsuyaku/hatarakikata.html>, 2019 (visited 2021).
- [5] 厚生労働省, 令和元年度能力開発基本調査, 2020.
- [6] Super, D.E., Career & life development. In Brown,D. & Brooks,L, (Eds.) *Career Choice and Development*. JosseyBass, 1984.
- [7] 金井嘉宏, 経営組織, 日本経済新聞社, 1999.
- [8] Hall, D.T. , Protean careers of the 21st century, Academy of Management Executive, 10,8-16,1996.
- [9] 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.
- [10] 花田光世, キャリアコンピテンシーをベースとしたキャリア・デザイン論の展開 : キャリア自律の実践とそのサポートメカニズムの構築をめざして, CRL Research Monograph No.1, 1-5, 2001.
- [11] 花田光世, 個の自律と人材開発戦略の変化—ES と EAP を統合する支援啓発パラダイム, 日本労働研究雑誌 48(12), 53-65, 2006.
- [12] 堀内泰利, 岡田昌毅, キャリア自律の心理的プロセス一大手民間企業正社員へのインタビュー調査による探索的研究ー, キャリアデザイン研究, 8,77-92, 2012.
- [13] 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.
- [14] 山本寛, 転職とキャリアの研究, 創成社, 2008.
- [15] 尾野裕美, 働くひとのキャリア焦燥感, ナカニシヤ出版, 2020.
- [16] 渡辺深, 転職の社会学, ミネルヴァ書房, 2014.
- [17] 三好きよみ, IT 人材の流動性とキャリア形成ー転職経験者のインタビューからー, 日本キャリアデ

- ザイン学会第 17 回研究大会, 114-117, 2021.
- [18] 三好きよみ, IT 人材の組織間移動プロセスの検討
—転職及び異動経験者へのインタビュー調査による一, 経営行動科学学会第 24 回年次大会, 131-135, 2021.
- [19] 内閣府, 第 8 回世界青年意識調査, 2019.
- [20] 江口圭一, 戸梶亜紀彦, 労働価値観測定尺度（短縮版）の開発, 実験社会心理学研究, 49(1), 84-92, 2009.
- [21] 相川充, 藤田正美, 成人用ソーシャルスキル自己評定尺度の構成, 東京学芸大学紀要, 56(1), 87-93, 2009.

表 1 : 転職経験による比較結果

自由度 640	転職経験なし a (n=221)		転職経験1回 b (n=133)		転職経験2回以上 c(n=289)		F値	3群間の差の 検定結果
	平均	SD	平均	SD	平均	SD		
キャリア自律心理								
職業的自己イメージ	3.38	0.79	3.40	0.94	3.44	0.90	0.34	
主体的キャリア形成意欲	3.08	0.70	3.03	0.69	3.14	0.74	1.23	
キャリアの自己責任自覚	3.34	0.61	3.45	0.62	3.44	0.62	2.09	
キャリア自律行動								
職場環境変化への適応行動	3.21	0.79	3.26	0.90	3.40	0.81	3.47 *	a < c
キャリア開発行動	3.24	0.80	3.31	0.91	3.34	0.83	0.89	
ネットワーク行動	2.85	0.94	2.96	1.08	2.95	0.95	0.89	
主体的仕事行動	3.31	0.80	3.41	0.89	3.54	0.70	5.52 **	a < c
仕事に関する価値観								
社会的評価	2.32	0.62	2.31	0.70	2.22	0.71	1.60	
自己の成長	2.84	0.66	2.99	0.58	2.93	0.71	2.26	
達成感	2.73	0.61	2.78	0.63	2.74	0.68	0.29	
所属組織への貢献	2.29	0.71	2.43	0.71	2.21	0.79	3.91 *	b > c
ソーシャルスキル自己評価								
関係開始	2.42	0.67	2.48	0.71	2.51	0.68	0.95	
主張性	2.36	0.60	2.49	0.65	2.42	0.62	1.82	
関係維持	2.94	0.49	2.96	0.53	2.96	0.51	0.04	

**p<0.01, *p<0.05

表 2 : 転職に対する考え方による比較結果

自由度 640	転職しない a (n=66)		場合によって は転職 b (n=457)		積極的に転職 c(n=120)		F値	3群間の差の 検定結果
	平均	SD	平均	SD	平均	SD		
キャリア自律心理								
職業的自己イメージ	3.48	0.95	3.33	0.85	3.66	0.88	7.38 ***	b < c
主体的キャリア形成意欲	2.93	0.61	3.09	0.71	3.24	0.79	4.14 *	a < c
キャリアの自己責任自覚	3.28	0.57	3.39	0.60	3.54	0.68	4.26 **	a < c
キャリア自律行動								
職場環境変化への適応行動	3.31	0.88	3.27	0.80	3.44	0.87	2.04	
キャリア開発行動	3.35	0.92	3.26	0.82	3.42	0.84	1.94	
ネットワーク行動	3.07	1.12	2.87	0.95	3.03	0.97	2.25	
主体的仕事行動	3.36	0.98	3.39	0.76	3.63	0.71	4.59 **	a < c
仕事に関する価値観								
社会的評価	2.46	0.77	2.30	0.65	2.08	0.72	8.01 ***	a,b > c
自己の成長	2.77	0.76	2.90	0.62	3.04	0.75	3.98 **	a < c
達成感	2.75	0.75	2.73	0.60	2.78	0.76	0.30	
所属組織への貢献	2.47	0.87	2.30	0.70	2.15	0.85	4.10 **	a > c
ソーシャルスキル自己評価								
関係開始	2.51	0.81	2.45	0.63	2.55	0.77	1.17	
主張性	2.52	0.78	2.40	0.59	2.41	0.64	0.96	
関係維持	2.93	0.66	2.95	0.45	2.98	0.60	0.32	

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

傾向スコアを併用した回帰分析による SDGs パフォーマンスと財務評価との実証分析 ～CSR 総覧を用いた SDGs のパフォーマンス分析～

川 原 田 雪 彦*・但 吉 英 山*・畠 田 一 博*・柏 木 由 美 子*・三 好 祐 輔*

Regression analysis with propensity scores Empirical analysis of SDG performance and financial indicators

Yukihiko Kawaharada*, Hidetaka Tajiyoshi*, Kazuhiro Hatakeda*,
Yumiko Kashiwagi* and Yusuke Miyoshi*

Abstract

We conducted an empirical analysis of the relationship between SDG performance and financial indicators using regression analysis with propensity scores. The results showed that SDG performance was not correlated with growth and profitability scores, and only safety score was positively correlated with SDG performance at the 1% level of statistical significance. In addition, we could not reach a clear conclusion about "more family-owned companies than non-family-owned companies (general companies) are the top performers of SDGs" at this stage.

Keywords: SDGs, financial evaluation, Propensity Score, Correlation analysis, STATA

1 はじめに

企業は取り巻く経営環境に適応し、企業価値を持続的に創造できなければ、市場から退出を余儀なくされる。これはいつの時代も変わらない大原則である。昨今では、企業価値を評価し、分析し、創造していくためには、有形資産として開示される財務・会計情報のみならず、無形資産に代表される非財務情報にも目配りする必要が生じていることに留意すべきである[1]。例えば、ESG 投資(従来からの財務情報だけでなく、環境(Environment)・社会(Social)・ガバナンス(Governance)要素も考慮した投資)は、年金基金など大きな資産を超長期で運用する機関投資家を中心に、企業経営のサステナビリティを評価するという概念が普及し、気候変動などを念頭においた長期的なリスクマネジメントや、企業の新たな収益創出の機会を評価するベンチマークとして、SDGs(Sustainable Development Goals, 国連持続可能な開発目標)と合わせて注目されている[2-6][12-14][36][40][44]。

国連持続可能な開発目標(SDGs)は、2015 年 9 月に国

連に加盟する 193 カ国すべてが合意して採択したもので、2030 年までに貧困撲滅や格差の是正、気候変動対策など国際社会に共通する 17 の目標が達成されることを目指している。今や世界中の企業が SDGs を経営の中に取り込むことで ESG 投資を呼び込もうと力を注いでおり、日本においても、SDGs と経営を結び付けることで企業価値を高めるべく先鋭的な取組を進めている大企業・ベンチャー企業も多くみられる[4-7][28-30]。

SDGs 以前から、持続可能な開発に近い取り組みは、さまざまな企業で、CSR(企業の社会的責任)活動として行われてきた。なかには本業とはかけ離れた CSR 活動(例えば、慈善事業のような位置づけで文化支援、環境保全活動としての植林活動など)は社会や環境にとって良い活動ではあるものの、企業の本業とは直接関係のない活動であることが多く、企業の財政状況が好調だからこそ行えるケースである。一方、SDGs は、企業が得意なビジネス領域やイノベーションを用いて、社会課題を解決することに期待しており、社会課題の解決と自社の強みや事業内容を結びつけやすい点

Received on October 3, 2021

*東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

が CSR とは異なる[2-6][36][40][44].

また、企業の持続的な成長に、ESG に配慮している企業に対する投資(ESG 投資)が、世界で注目されている [2][4][5][7][12][13][22][28][36][37][43][44]. これは、短期的な利益を目指して、環境・社会・企業統治に対して悪影響を与えるながらビジネスを行なう企業は、「持続可能なビジネスをしておらず投資をしてもリターンが得られない」、長期的な視点を持ちビジネスを行わなければ、近い将来には投資を受けられず自社の運転資金が足りなくなる日が来ると考える投資家が増えているからである[1].

よって、これから企業活動において「環境・社会に統合的な方法で対応し、事業成長へつなげる」ことがポイントであり、「短期的なビジネス環境の変化への対応」と「中長期的な環境・社会への対応」という 2 つの時間軸での企業活動をバランスよく展開していくことが大切であると考えた。

2 先行研究と作業仮説の立案

企業価値と SDGs 活動に関する先行研究は、CSR 活動あるいは ESG 投資を軸として多種多様であるが、2 系統に大別することができる。一方の流れは、「SDGs 活動はただの企業パフォーマンスであって、企業の資源浪費である。企業価値向上に寄与しない」という否定的な考え方である。他方の流れは、「SDGs に取り組むことでステークホルダー、消費者に対する企業イメージが上がる。その結果、収益向上、市場からの資金調達も楽になり(資本コスト低下)、企業価値が向上する」とする肯定的な考え方である。いずれにせよ、企業が SDGs に取り組むことについて、全業種を通じて統計的な有意性を検討した例は少ない[5][6][12-35][37][39][43].

以上を踏まえて、全業種を通じて財務評価(成長性、収益性および安全性)と SDGs 活動についてミクロ計量経済学的なアプローチによる明確化を試みた。

先行研究において、特定業種において CSR 評価合計と財務評価合計とが順相関を示すこと、CSR 評価合計と財務評価の各項目との相関については、解析年による影響が大きいこと、現在の CSR 活動が SDGs の目標達成に直結していないことが報告されている[6][14].

そこで、前述した「短期的なビジネス環境の変化への対応」と「中長期的な環境・社会への対応」という 2 つの時間軸

での企業活動を展開していくことが大切との考え方から、企業価値に直結する財務評価に注目して、<作業仮説 1> 「SDGs パフォーマンス上位企業は、財務評価(成長性、収益性および安全性のうち、少なくとも 1 つ)と正の相関を持つ」を立案した。

また、「中長期的な環境・社会への対応」を重視すると、いわゆる「同族企業」である「ファミリー企業」では、「社会情緒的資産(socioemotional wealth [SEW])」が意思決定における重要な準拠点となり(SEW 仮説)、短期的な経済的合理性を有さない決定を行うことがあるとされている[11][41]. しかしながら、日本企業を対象とした先行研究では、この SEW 仮説は支持されておらず、「同族企業」と ESG 各指標あるいは CSR 各指標との相関について説明力を有していない[41].

そこで、SDGs の観点から SEW 仮説を検証するべく、<作業仮説 2> 「SDGs パフォーマンス上位企業は、非同族企業(一般企業)より同族企業の方が多い」を立案した。

3 データ

分析対象は、伝統的な日本株の 33 業種分類において、金融系 4 業種(「銀行業」、「証券・商品先物」、「保険業」、および「その他金融業」)を除いた 29 業種を、特定業種におけるサンプル数過少を回避するため、24 の業種グループに再分類した。東洋経済新報社「CSR企業総覧(ESG編)2020 年版」[7]の「CSR評価」に基づいて、企業規模を揃えつつ、SDGs パフォーマンス上位 2 社／下位 2 社(計 116 社)を抽出した(表 1). これは、当該書籍[7]の「CSR評価」が、原則として 2019 年 9 月 1 日時点で上場している一般事業会社を対象として、東洋経済新報社によるアンケート調査結果に基づき、「人材活用」45 項目、「環境」28 項目、「企業統治」38 項目、「社会性」30 項目、「基本」(すべての分野から主要項目を抜粋した「CSR 基本評価」)16 項目について、それぞれ「AAA, AA, A, B, C」の 5 段階評価の格付けと 100 点満点のオリジナルスコアが付与されている。ただし、オリジナルスコアは各分野上位 700 位まで(基本は 1000 位まで。一部例外あり)が表示されているからである。

一方、当該書籍[7]掲載の「財務評価」では、東洋経済新報社「企業財務データ」を基に、多変量解析の主成分分析手法を用い、「成長性」「収益性」「安全性」「規模」の 4 つの分

野でそれぞれ「AAA, AA, A, B, C」の5段階評価と100点満点のオリジナルスコアを付与している。CSR評価の場合とは異なり、「財務評価」は当該書籍[7]掲載の有無にかかわらず、対象会社全社の中で行っていることから、全上場企業中のポジションを示していることと解されることから、「成長性」「収益性」および「安全性」にかかるオリジナルスコアをそのまま「成長性スコア」「収益性スコア」「安全性スコア」として採用した。

当該企業 116 社の株価および財務データは有価証券報告書および Yahoo ! ファイナンスから収集した。資本コスト指標である WACC(加重平均資本コスト)は、式(1)に従つて計算した。

$$\text{式(1): } WACC(\%) = \text{株主資本コスト}(r_E)$$

$$\begin{aligned} & \times \text{株主資本}(E) / (\text{有利子負債}(D) + \text{株主資本}(E)) \\ & + \text{負債コスト}(r_D) \times (1 - \text{実効税率}(T_c)) \\ & \times \text{有利子負債}(D) / (\text{有利子負債}(D) + \text{株主資本}(E)) \end{aligned}$$

ここで、株主資本コスト(r_E)は式(2)に従つて、実効法人税率が負の場合は実効法人税率を 0(ゼロ)と見做した。

$$\text{式(2): } \text{株主資本コスト}(r_E) = \text{リスクフリー・レート}(R(f))$$

$$+ \text{ベータ}(\beta) \times \text{マーケット・リスク・プレミアム}(R(p))$$

ここで、リスクフリー・レート($R(f)$)は 0.4%(20 年国債利回り)、マーケット・リスク・プレミアム($R(p)$)は 5.9%とした。リスクフリー・レート($R(f)$)は、一般的には 10 年国債利回りが推奨・使用されているが、最近の日本ではマイナス利回りが常態化している。このため、株式のデュレーションは 10 年より長いことを鑑み、簡便法として「20 年国債利回り」を採用した[8]。また、ベータ(β)は、週次 3 年(TOPIX 基準)を採用した。

4 分析方法

交絡バイアス低減を図るため、傾向スコア(Propensity Score)を併用したロジスティック回帰により分析した

[9][10][27]。傾向スコアの割付変数は WACC(加重平均資本コスト、変数名:wacc_adj)を、共変量は Log(株主資本時価+有利子負債額)(変数名:log_assets)および同 2 乗項(変数名:log_assets2)を、介入有無については、SDGs パフォーマンス上位 2 社(24 業種グループ別)を介入あり(ダミー変数名 dum_good_yn1=1)をそれぞれ用いた。その他のパラメータ設定は図1に示した。

表1: SDGs パフォーマンス上位(Good)2社／下位(NotGood)2社(計116社)

Good/NotGood	業種	証券コード	Good/NotGood	業種	証券コード
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1332	Good	機械	6301
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1333	Good	機械	6367
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1605	NotGood	機械	6395
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1662	NotGood	機械	7004
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1925	Good	電気機器	6702
Good	水産業・農業/鉱業/建設業	1928	Good	電気機器	7751
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1720	NotGood	電気機器	6856
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1722	NotGood	電気機器	6861
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1941	Good	輸送用機器	7203
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1944	Good	輸送用機器	7259
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1959	NotGood	輸送用機器	7266
NotGood	水産業・農業/鉱業/建設業	1963	NotGood	輸送用機器	7241
Good	食料品	2503	Good	精密機器	7731
Good	食料品	2914	Good	精密機器	7733
NotGood	食料品	2282	NotGood	精密機器	7723
NotGood	食料品	2593	NotGood	精密機器	7780
Good	織織製品	3101	Good	その他製品	7951
Good	織織製品	3102	Good	その他製品	7994
NotGood	織織製品	3103	NotGood	その他製品	7857
NotGood	織織製品	3569	NotGood	その他製品	7956
Good	パルプ・紙	3861	Good	電気・ガス業	9503
Good	パルプ・紙	3863	Good	電気・ガス業	9531
NotGood	パルプ・紙	3880	NotGood	電気・ガス業	9536
NotGood	パルプ・紙	3946	NotGood	電気・ガス業	9543
Good	化学	4152	Good	陸運業/海運業/空運業	9020
Good	化学	4901	Good	陸運業/海運業/空運業	9021
NotGood	化学	4088	Good	陸運業/海運業/空運業	9101
NotGood	化学	4091	Good	陸運業/海運業/空運業	9104
Good	医薬品	4502	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9001
Good	医薬品	4568	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9022
NotGood	医薬品	4521	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9025
NotGood	医薬品	4547	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9031
Good	石油・石炭製品/ゴム製品	5019	Good	陸運業/海運業/空運業	9201
Good	石油・石炭製品/ゴム製品	5020	Good	陸運業/海運業/空運業	9202
Good	石油・石炭製品/ゴム製品	5108	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9064
Good	石油・石炭製品/ゴム製品	5110	NotGood	陸運業/海運業/空運業	9069
NotGood	石油・石炭製品/ゴム製品	5122	Good	倉庫・運輸関連業	9055
NotGood	石油・石炭製品/ゴム製品	5186	Good	倉庫・運輸関連業	9301
NotGood	石油・石炭製品/ゴム製品	5192	NotGood	倉庫・運輸関連業	9302
NotGood	石油・石炭製品/ゴム製品	5195	NotGood	倉庫・運輸関連業	9375
Good	ガラス・土石製品	5201	Good	情報・通信業	9433
Good	ガラス・土石製品	5332	Good	情報・通信業	9437
NotGood	ガラス・土石製品	5269	NotGood	情報・通信業	9435
NotGood	ガラス・土石製品	5352	NotGood	情報・通信業	9602
Good	鉄鋼	5401	Good	卸売業	8001
Good	鉄鋼	5411	Good	卸売業	8058
NotGood	鉄鋼	5491	NotGood	卸売業	2692
NotGood	鉄鋼	5632	NotGood	卸売業	8012
Good	非鉄金属	5713	Good	小売業	3382
Good	非鉄金属	5802	Good	小売業	8252
NotGood	非鉄金属	5714	NotGood	小売業	3088
NotGood	非鉄金属	5805	NotGood	小売業	8227
Good	金属製品	5938	Good	不動産業	3003
Good	金属製品	5947	Good	不動産業	8905
NotGood	金属製品	5909	NotGood	不動産業	8804
NotGood	金属製品	5930	NotGood	不動産業	8805
			Good	サービス業	6098
			Good	サービス業	9735
			NotGood	サービス業	4751
			NotGood	サービス業	9681

当該ロジスティック回帰分析における目的変数は、SDGs パフォーマンス上位 2 社(ダミー変数名: dum_good_yn1=1)／下位 2 社(ダミー変数名: dum_good_yn1=0)とし、説明変数は東洋経済新報社「CSR 企業総覧(ESG 編)2020 年版」[7]記載の成長性スコア(変数名: grp_score)、収益性スコア(変数名: fpt_score)、安全性スコア(変数名: saf_score)および傾向スコア(変数名: _pscore)を用いた。統計解析ソフトは STATA11(StataCorp. 2011)を用いた。

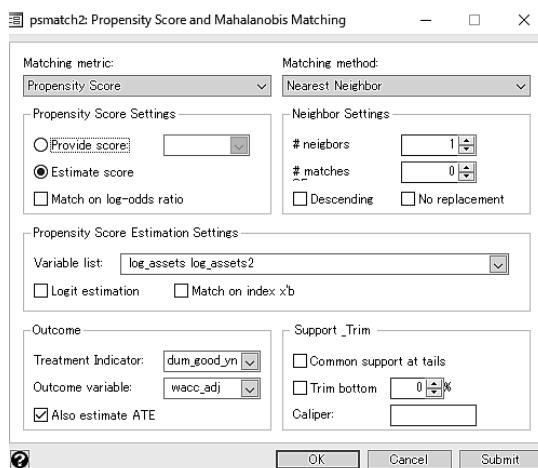


図1: 傾向スコアの算出パラメータ

5 結果と考察

まず、<作業仮説1>「SDGsパフォーマンス上位企業は、財務評価(成長性、収益性および安全性のうち、少なくとも1つ)と正の相関を持つ」を検討した。図2に示したように、統計的有意性1%基準で、SDGsパフォーマンスと財務評価にかかる成長性や収益性とは無相関であり、安全性のみ正の相関を持つことが分かった。傾向スコアの併用は、相関性に関する結論を変化させることはないが、疑似決定係数が大幅に改善しており、SDGsパフォーマンス上位/下位企業の選択バイアスの解消に効果を発揮している。

SDGs パフォーマンスが成長性や収益性とは無相関であ

り、安全性のみ正の相関を持つことは、一見不可解な結果にも思える。しかしながら、SDGs は世界の共通言語であり、その実践は、企業の本質を変えていくものであり、短期的にはコストが重くのしかかるものの、長期の時間軸では事業成長に結びつき、企業価値にプラスの効果をもたらす。このため、長期にわたる社会貢献や社会課題の解決の実現に貢献するには、当然ながら自社の「持続可能性」が求められることを考えれば、この分析結果も納得できる。

このように、「安全性」を優先する代表的な企業として、同族企業がある[11]。これは、いわゆる「サラリーマン社長」交代でトップを務める非同族企業(一般企業)では、株式も分散されており、毎年度の利益確保など短期的な業績欲求など、多種多彩な要求に応えることが必要となるから、重大な経営判断が必要なときに、素早く立ち回ることが困難となる。一方、同族企業ならば、「経営」と「所有」が創業者一族なので、「(当該同族企業が)継続すること」が優先され、短期的な業績欲求よりも長期的な視点での経営判断が素早くなされると解されるからである。そこで<作業仮説 2>「SDGs パフォーマンス上位企業は、非同族企業(一般企業)より同族企業の方が多い」を検討した。

同族企業の定義と区分は、後藤らの先行研究[11]に従い、同族企業を「一族が同一時期あるいは異なった時点において役員または 10 大株主の 2 人以上を占める企業」と定義し、経営視点と資本視点の 2 観点から、同族支配度を 6 分類してみた(表 2)。同族企業を同族支配度に基づいて 6 分類してしまうと、同族支配度 A 以外のサンプル数が少くなり過ぎ、これを補正するのは困難である。

そこで、本稿では同族企業と非同族企業(一般企業)との 2 分類で検討した。これならば、同族企業/非同族企業(一般企業)はほぼ同数となるため(表 2)、SDGs パフォーマンス上位/下位企業に絞った分析においてもサンプル数が過少となることを回避できるからである。

```
. logistic dum_good_yn1 grp_score pft_score saf_score
Logistic regression
Number of obs      =      114
LR chi2(3)        =     37.40
Prob > chi2       =     0.0000
Pseudo R2         =     0.2367
Log likelihood = -60.317483
```

dum_good_yn1	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
grp_score	.9737883	.0353307	-0.73	0.464	.906946 1.045557
pft_score	.8899765	.0779806	-1.33	0.183	.7495411 1.056724
saf_score	1.131031	.0284288	4.90	0.000	1.076662 1.188146

```
. margins,dydx(saf_score)
Average marginal effects
Model VCE   : OIM
Number of obs      =      114
Expression  : Pr(dum_good_yn1), predict()
dy/dx w.r.t. : saf_score
```

	dy/dx	Delta-method Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
saf_score	.0217778	.0023368	9.32	0.000	.0171978 .0263578

```
. logistic dum_good_yn1 grp_score pft_score saf_score _pscore
Logistic regression
Number of obs      =      114
LR chi2(4)        =     81.27
Prob > chi2       =     0.0000
Pseudo R2         =     0.5142
Log likelihood = -38.385372
```

dum_good_yn1	Odds Ratio	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
grp_score	.9434417	.0440336	-1.25	0.212	.8609673 1.033817
pft_score	.8672289	.1005827	-1.23	0.219	.6908916 1.088573
saf_score	1.062972	.0331173	1.96	0.050	1.000006 1.129904
_pscore	351.375	396.1561	5.20	0.000	38.5556 3202.242

```
. margins,dydx(saf_score)
Average marginal effects
Model VCE   : OIM
Number of obs      =      114
Expression  : Pr(dum_good_yn1), predict()
dy/dx w.r.t. : saf_score
```

	dy/dx	Delta-method Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]
saf_score	.006224	.0030523	2.04	0.041	.0002417 .0122064

図 2: <作業仮説 1>の検証結果 SDGs パフォーマンスと財務評価との相関性
上段:傾向スコア併用あり 下段:傾向スコア併用なし

表 2: 同族企業の定義・分類等[11]

同族支配度		経営視点	資本視点	企業数(比率)
同族 企業	A	一族出身役員が 役員にいる	一族が筆頭株主	1206(34.0%)
	<a>		一族が筆頭株主以外の10大株主	219(6.2%)
	B	一族出身役員が 役員にいない	一族が筆頭株主	209(5.9%)
			一族が筆頭株主以外の10大株主	130(3.7%)
	C	一族出身役員は 「会長または社長」 一族出身役員は 「会長または社長」以外	10大株主に含まれていない	77(2.2%)
	<c>			36(1.0%)
一般企業		(サラリーマン社長)	-	1669(47.1%)

```
. logistic dum_good_yn1 dum_fb_rank7 saf_score
Logistic regression
Number of obs      =      116
LR chi2(2)        =     36.52
Prob > chi2       =     0.0000
Pseudo R2         =     0.2271
Log likelihood = -62.14748

dum_good_yn1    Odds Ratio   Std. Err.      z     P>|z|      [95% Conf. Interval]
dum_fb_rank7    1.733455   .8230616    1.16   0.247      .6835241   4.39614
saf_score        1.115407   .0245608    4.96   0.000      1.068293  1.164599

. margins,dydx(saf_score)
Average marginal effects
Number of obs      =      116
Model VCE          : OIM
Expression        : Pr(dum_good_yn1), predict()
dy/dx w.r.t.      : saf_score

dum_good_yn1    Delta-method
dy/dx           Std. Err.      z     P>|z|      [95% Conf. Interval]
saf_score        .0195891   .0020665    9.48   0.000      .0155388   .0236394

logistic dum_good_yn1 dum_fb_rank7 saf_score _pscore
Logistic regression
Number of obs      =      116
LR chi2(3)        =     79.05
Prob > chi2       =     0.0000
Pseudo R2         =     0.4916
Log likelihood = -40.880693

dum_good_yn1    Odds Ratio   Std. Err.      z     P>|z|      [95% Conf. Interval]
dum_fb_rank7    1.144747   .7065367    0.22   0.827      .3414672   3.837693
saf_score        1.047209   .0289717    1.67   0.095      .9919381   1.105561
_pscore         260.5916   271.183     5.35   0.000      33.89712   2003.355

. margins,dydx(saf_score)
Average marginal effects
Number of obs      =      116
Model VCE          : OIM
Expression        : Pr(dum_good_yn1), predict()
dy/dx w.r.t.      : saf_score

dum_good_yn1    Delta-method
dy/dx           Std. Err.      z     P>|z|      [95% Conf. Interval]
saf_score        .004943   .0029108    1.70   0.089      -.0007621  .0106481
```

図 3: <作業仮説2>の検証結果 SDGs パフォーマンスと同族企業該否との相関性
上段:傾向スコア併用あり 下段:傾向スコア併用なし

図3に示したように、SDGsパフォーマンスと同族企業該否との相関性は、傾向スコアの併用により結論が変化する。傾向スコアを併用しない場合、統計的有意性1%基準でSDGsパフォーマンスと同族企業該否とは正の相関性を有する。しかしながら、傾向スコアを併用すると統計的有意性5%基準では有意とならず、統計的有意性10%基準でやっと有意となった。つまり、傾向スコアを併用してSDGsパフォーマンス上位/下位企業の選択バイアス解消の効果も考慮すると、SDGsパフォーマンスと同族企業該否とは無相関となる傾向があることを示している。

本稿では、サンプル数の少なさを考慮して、SDGsパフォーマンスと同族企業該否とは現段階では不明とした。より精度の高い分析結果を得るために、上位2社/下位2社ではなく、上位5社/下位5社にする、単年度ではなく複数年度にするなどが有効と考えている。

6 まとめ

本研究では、STATAによる企業価値評価の一環として、傾向スコアを併用した回帰分析によるSDGsパフォーマンスと財務評価との実証分析の結果を報告した。これは、今後の企業活動において「環境・社会に統合的な方法で対応し、事業成長へつなげる」ことがポイントであり、「短期的なビジネス環境の変化への対応」と「中長期的な環境・社会への対応」という2つの時間軸での企業活動をバランスよく展開していくことが大切であると考えたからである。そこで、先行研究結果を踏まえ、全業種を通じて財務評価(成長性、収益性および安全性)とSDGs活動についてミクロ計量経済学的なアプローチによる明確化を試みるべく、2つの作業仮説を立案し、これを分析した。

その結果、<作業仮説1>「SDGsパフォーマンス上位企業は、財務評価(成長性、収益性および安全性のうち、少なくとも1つ)と正の相関を持つ」については、統計的有意性1%基準で、SDGsパフォーマンスと財務評価にかかる成長性や収益性とは無相関であり、安全性のみ正の相関を持つことを示した。また、<作業仮説2>「SDGsパフォーマンス上位企業は、非同族企業(一般企業)より同族企業の方が多い」については、現段階では明確な結論を得ることができなかった。明確な結論を得るために、複数年度でサンプル数を増やした場合の分析が必要と考えている。

今後は、データ数拡大を図りつつ、2段階最小二乗法や操作変数法等を用いて、「企業価値」と「SDGsパフォーマンス」との因果推論へと展開していく予定である。

参考文献

- [1] 伊藤邦雄, 企業価値経営, 日本経済新聞出版, 2021, ISBN:9784532135140
- [2] 経済産業省産業技術環境局環境経済室, ESG投資,
 - (ア) https://www.meti.go.jp/energy_environment/global_warming/esg_investment.html
(ウェブ参照)
- [3] 株式会社Drop, SDGsとは?17目標と日本の政府・企業の取り組みを徹底解説, 2021,
<https://sdgs.media/about/>(ウェブ参照)
- [4] 経済産業省, SDGs経営/ESG投資研究会, SDGs経営ガイド, 2019,
(ア) <https://www.meti.go.jp/ress/2019/05/20190531003/20190531003.html>
- [5] 大田珠美, 企業がSDGsに取り組む意義, 2019,
(ア) https://www.dir.co.jp/report/research/capital-mkt/esg/20190827_020998.pdf(ウェブ参照)
- [6] 小島啓太郎, 島貫紗良, 藤井美乃里, CSR活動が財務業績に及ぼす影響とその推移, 2020,
https://www.mitasai.com/online-mitasai/assets/pdf/091_3.pdf
- [7] 東洋経済新報社, CSR企業総覧(ESG編)2020年版, ASIN:B07YTCDY3S, 2019
- [8] 明田雅昭, 企業のための資本コスト算出マニュアル, 2020,
https://www.jsri.or.jpublish/topics/pdf/2006_02.pdf
- [9] 奥村泰之, 傾向スコアの概念とその実践, 2015,
<https://www.slideshare.net/okumurayasuyuki/ss-43780294>(ウェブ参照)
- [10] 星野崇宏, 繁樹算男, 傾向スコア解析法による因果効果の推定と調査データの調整について, 行動計量学, 31(1), 43-61, 2004
- [11] 後藤俊夫, 落合康裕, 荒尾正和, 西村公志, ファミリービジネス白書【2018年版】100年経営とガバナンス,

白桃書房, 2018

- [12] 湯山智教, 白須洋子, 森平爽一郎, ESG 開示スコアとパフォーマンス, 証券アナリストジャーナル, 57(10), 72-83, 2019,
(ア) [http://www.realopn.jp/data/jaros2018-yuyama\(ver4.7\).pdf](http://www.realopn.jp/data/jaros2018-yuyama(ver4.7).pdf)

- [13] 阪智香, ESG 情報と企業価値, 商学論究, 68(4), 149-170, 2021,
<https://hdl.handle.net/10236/00029270>

- [14] 荒木真貴子, CSR 活動と財務業績の関係に関する実証分析・業種別の特徴と個別の CSR 活動に着目して, 創価大学大学院紀要, 31, 13-31, 2009,
(ア) https://soka.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=35081&file_id=15&file_no=1(ウェブ参照)

- [15] 井上達男, 財務比率の価値関連性に関する実証分析, 商学論究, 68(4), 111-127, 2021,
<http://hdl.handle.net/10236/00029268>

- [16] 小林直樹, 徐春暉, 安藤雅和, 類似度を用いる企業評価手法, 経営情報学会 2020 年全国研究発表大会, 2020,
https://doi.org/10.11497/jasmin.202011.0_129

- [17] 青淵正幸, 株主価値の株価説明力と情報の非対称性－サンプルの分割による価値関連性の検証－, 2021,
https://m-repo.lib.meiji.ac.jp/dspace/bitstream/10291/21800/2/555_sum.pdf

- [18] 東川和将, クロスセクション予測にもとづく企業価値評価とリターンの予測可能性, 阪南論集 社会科学編, 56(1), 119-134, 2020,
https://hannan-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=2490(ウェブ参照)

- [19] 東川和将, 経営者の予想利益にもとづく企業価値評価: Gaoetal.(2019)モデルの検証,
(ア) Discussion Papers In Economics And Business, 20(12), 1-15, 2020,
https://hannan-u.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=2490(ウェブ参照)

- [20] 小林秀二, 残余利益 CAP モデルによる競争優位期

間と無形資産価値の測定,

- (ア) 一般社団法人経営情報学会, 2020 年全国研究発表大会, セッション ID: 1B1-1, 2020,
(イ) https://doi.org/10.11497/jasmin.202011.0_17(ウェブ参照)

- [21] 阿部健人, 価値評価実践としての ROE 伊藤レポートを中心として, 日本情報経営学会誌

- (ISSN: 18822614), 40(1-2), 102-113, 2020,
https://doi.org/10.20627/jsim.40.1-2_102

- [22] 柳良平, 伊藤桂一, 「ROESG」モデルと「自然資本」のエビデンス, 資本市場, 409, 36-46, 2019,
(ア) <http://www.camri.or.jp/files/libs/1343/201910021124591430.pdf>(ウェブ参照)

- [23] 阿南晏樹, 村上裕太郎, 統合報告と企業価値の関連性について, 2018,

- (ア) https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40003001-00002018-3398

- [24] 富塚嘉一, 非財務資本は企業価値に結びつくか?: 医薬品企業の統合報告書に基づく実証分析, 企業会計, 69(7), 980-986, 2017

- [25] 工藤裕孝, 企業価値評価と CAPM, 鹿児島経済論集, 58(2-4), 2018,
<https://core.ac.uk/download/pdf/235935842.pdf>

- [26] 柳良平, 吉野貴晶, 人的資本・知的資本と企業価値(PBR)の関係性の考察, 資本市場, 386, 4-13, 2017,
(ア) <https://www.env.go.jp/council/44esg-kinyu/y440-02/mat03.pdf>

- [27] M. Soledad Cepeda, Ray Boston, John T. Farrar, Brian L. Strom, Comparison of Logistic Regression versus Propensity Score When the Number of Events Is Low and There Are Multiple Confounders, American Journal of Epidemiology, 280-287, 2003,
<https://doi.org/10.1093/aje/kwg115>

- [28] 藤本健, サステナブルでレジリエントな企業経営と情報開示, 富士通総研(FRI)経済研究所研究レポート, No.453, 2018,

- <https://www.fujitsu.com/jp/group/fri/imagesgig5/no453.pdf>(ウェブ参照)
- [29] 東洋経済新報社, 東洋経済 CSR オンライン, 2021, <http://www.toyokeizai.net/csr/index.html>
- [30] 青木崇, 企業価値の向上を目指す日本企業の情報開示のあり方と ESG 活動:花王とピジョンの事例, 商大論集, 69(1・2), 1-14, 2017, https://uhyogo.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_action_common_download&item_id=3741&item_no=1&attribute_id=22&file_no=1&page_id=13&block_id=46(ウェブ参照)
- [31] 中尾武雄, 企業価値決定要因のパネルデータ分析-配当, 研究開発, 広告, 輸出, 株主構成と企業価値の関係-, 同志社大学ワールドワイドビジネスレビュー, 9(2), 1-20, 2008
- [32] 草場洋方, 企業価値の拡大均衡に向けた経営管理の考え方:急進的 EVA 経営から漸進的 MVA 経営へ, Mizuho industry focus, 106, 2-21, 2012, https://www.mizuhobank.co.jp/corporate/bizinfo/industry/sangyou/pdf/mif_106.pdf
- [33] 小椋康宏, 企業価値評価に関する財務論的接近, 経営研究所論集, 24, 167-178, 2001, <https://www.toyo.ac.jp/uploaded/attachment/3115.pdf>
- [34] 中嶋教夫, 企業評価における EVA 及び MVA の有用性, 商学研究論集, 14、543-557, 2002, <http://hdl.handle.net/10291/12828>
- [35] 上野進, 現在価値法による企業価値の推定と VBM (Estimating Corporate Value Based on a Present Value Method and VBM), 甲南経営研究, 40(3・4), 1-35, 2000, <https://ssrn.com/abstract=2746945>
- [36] 藤野大輝, 統合報告書における SDGs 関連開示の拡大, 2020, (ア) https://www.dir.co.jp/report/research/capital-mkt/esg/20200507_021518.pdf(ウェブ参照)
- [37] 南正太郎, 日本の株式市場における資産運用の新潮流に関する実証研究と事例研究, DOI:10.14989/doctor.k21326, 2018, <http://hdl.handle.net/2433/235046>
- [38] KPMG ジャパン, 日本企業の統合報告に関する調査 2020, <https://home.kpmg/jp/ja/home/insights/2021/03/integrated-reporting-20210330.html>
- [39] 柳良平, 目野博之, 吉野貴晶, 非財務資本とエクイティ・スプレッドの同期化モデルの考察, (ア) 資本市場, 375, 4-13, 2016, <http://www.camri.or.jp/files/libs/144/201703241647339179.pdf>
- [40] 伊藤健顕, 有価証券報告書における CSR 情報の開示実態, Hirao School of Management review, 24-37, 2014, https://konan-u.repo.nii.ac.jp/index.php?action=pages_view_main&active_action=repository_act ion_common_download&item_id=1669&item_no=1&attribute_id=22&file_no=1&page_id=40&block_id=38(ウェブ参照)
- [41] 遠藤業鏡, CSR 活動の経済分析 持続可能な社会に必要な理論と実証, 中央経済社, ISBN:9784502363610
- [42] 藤野大輝, 乱立する ESG 情報の開示基準とその現状, 2021, https://www.dir.co.jp/report/research/capital-mkt/esg/20210112_022016.pdf
- [43] 田中綾乃, 荒川正幹, 回帰分析を用いた企業価値評価モデルの構築, 第 14 回情報科学技術フォーラム講演論文集, F-027, 347-348, 2015, <https://www.ieice.org/publications/conference-FIT-DVDs/FIT2015/data/pdf/F-027.pdf>
- [44] 経済産業省 SDGs 経営/ESG 投資研究会, SDGs 経営ガイド, 経済産業省経済産業政策局産業資金課, 2019, <https://www.meti.go.jress/2019/05/20190531003/20190531003-1.pdf>

事務所空間に対する要求特性の把握手法の開発

吉田 敏*

Development of Methods for Understanding the Requirement of Office Space

Satoshi Yoshida*

Abstract

In a situation with a pandemic, the purpose of this paper is to develop a method for understanding the business characteristics of the user while focusing on the office function, focusing on the importance of understanding the content required for construction. To that end, we focus on the interdependence of components in the business on the user side, which is the target from the perspective. Then, we will develop a method for clarifying the requirements for architecture while maintaining logicality and objectivity.

Keywords: Business Characteristics, Design Process, Design Information, Modularity, Integration

1 はじめに

コロナ禍が起こり、世界レベルで生活や産業などについて大きな影響が出ている[1]。そのような状況の中で、国内の産業領域における主な変化の一つとして、業務のテレワークを象徴としたビジネス形態の急激な変化が起こっていることをあげることができる。企業によっては、大幅に事務所面積の縮小を行い、これまでの事務所におけるビジネス上の機能の根本的な見直しが成されている可能性を示唆している。

テレワークについて、近年、官公庁を中心に、様々な形での議論が進んでおり、注目されつつある傾向があったと考えられる[2]。そのため、コロナ禍以前からテレワークは浸透しつつあった面が認められるが、コロナ禍が継続する中で、多くの従業員の業務をテレワークに切り替える企業が散見されるようになってきた。このように進んできたテレワークへの関心と、コロナ禍による急激なテレワークの実践が混在し、今後の企業の業務形式が向かうべき方向性については、明確な理解が成されていない面があると考えられる。

このような中、本稿の目的は、建築に要求される内容の理解が重要であることに注視し、一つの代表的な主要用途である事務所を取り上げて考察を行う。特に、使い手側の事業特性を精査することによって、建築が求められることの特性を明確にし、その重要性を指摘していく。そのため、客観化するために学術的視点が重要となるが、本稿では事業における構成要素相互依存性を考えていく。これにより、論理性と客觀性を出来るだけ確保しながら、建築に対する要求内容を明確にする手法を開発していくものである。

2 設計思想からみる建築への要望の特性

人が創った人工物は、複数の構成要素によって構築されている[3]。このことは、人工物として、事業や業務の流れやプロセスにも当てはまり、それぞれ複数の要素で創られていると考えられる。このような構成要素のお互いの依存性の特性に着目し、そこからみた人工物に関する基本的な設計思想を考えていく。まず、ここでは、人工物を、「人によって設計されたもの」と定義づける。人工物は、その設計プロセスにおいて、要素間の関係性を調整することによって対象が創られるという一つの側面があると考えることができる[4]。また、人工物の創造においては、設計者によって、機能、構造、工程などに関し、構成要素をコントロールしながら設計していくことになると考えられる。この考え方は、機能や構造などの各様相の構造の考え方と、それらの様相間の関係性の考え方を検討していくことになる。これらの検討によって設計者の考え方の傾向が表れる状況を捉え、出来上がる人工物の特性の一つの面を理解することが可能となると考えられる[5]。特に、人工物の中でも、製品、サービス、システムなどは、このような考え方を用いることによって、ビジネスモデルの特性や強みを理解できる面があると考えられる。本稿では、このような製品などを創るプロセスを、慎重に考えていくものである。

設計者を中心とするつくり手は、まず自分が創る対象の主要な要望内容を理解しようとし、理解した内容を機能の束に整理し、それを複数の下位機能の束に展開させていくことになる。そして、これらの機能の束を、物理的な要素に対応させ、対象となる製品の構造を設計していくことになると考えられる。求められる要望に対して、整合的に機能に対応させて完成さ

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

するために、対象の要望の各要素と共に、要素間のインターフェイスを設計していくことになる。つまり、要望の束を要素として要望モデルの全体像を設計し、同様な流れで機能モデルをつくり、同じように構造モデルをつくることになる。一つ一つの要素を発明していくことが難しいことを考えると、要素の束をどのように設計するかという点と、要素間のインターフェイスをどのように設計していくかが、重要な面があると考えられる。

このような設計プロセスは、一方通行で簡単に終わるものではなく、設計者によって、機能設計と構成設計の間を何度もフィードバックしながらつくり込まれることになる。そのような中で、設計者がある傾向の考え方に基づいて判断していくようであれば、出来上がる人工物は、つくり手の考え方の傾向が反映される可能性は低くないと考えられる。

機能要素の束と構造要素の束の設計に関する基本的な設計思想を、先行研究では「製品アーキテクチャ」とよんでいる[6]。また、一般的に二つの軸が示されており、オープンとクローズの軸と、インテグ럴とモジュラーの軸である[7]。このオープンとクローズの軸は、つくり手が自然に把握できるものであるが、インテグ럴とモジュラーの軸は場合によっては無意識のうちに考え方の傾向が固められ、つくり手によって明確に把握することが難しい場合も考えられる。つくり手が意識的に設計しているオープンにするかクローズにするかは、物理的な質量がある有形の製品では業界標準の部品や仕様にするかどうかということなどを指すため、つくり手や業界として当然認識していることになる。しかし、この概念を使った建築や空間を対象とした議論は、あまり進んでいないために、ここではこのような視点から考察を加えていくものとする。

基本となるインテグ럴とモジュラーの特性は、経済的資源と製品パフォーマンスの関係において、大きな相違点が生じることになる。インテグ럴型の設計思想であれば、用いた経済的資源に対応するように、つくられる製品のパフォーマンスが向上していく傾向があると考えられる。一方、モジュラー型はパフォーマンスの目標が事前にわかれば、出来るだけ複雑性を抑えながら目標の達成を実現する方向性といえるが、目標を見誤っていた場合はリカバーすることが困難な場合が多いと考えられる。

ここでは、このような設計思想に関する考え方を参考しながら、独自に、建築の使い手の活動に関する設計思想に着目しながら、建築に求められる内容を読み解く試考を行っていく。これは、使い手の活動も設計思想が存在し、その設計思想を理解することによって、活動の場である建築に求められる内容の一つの面を読み解くことが出来るのではないか、という仮説に基づくものである。つまり、事務所の場合、使い手は事業をすることが目的のはずであり、その事業は使い手によって設計されているという点に着目するものである。

3 使い手側の活動特性と空間への要求内容

3.1 建築や空間への要求に関する基本的な考察

このように、使い手は何らかの目的を実現するために活動をするが、その活動のために的確な環境を提供することを、建築や空間などに求めることになる。そのために、使い手の活動の特性を理解することによって、建築や空間に何が求められているかを知ることに、少なからず影響を及ぼすことになる。特に、本稿が対象とする事務所機能を求める使い手の活動を考えると、その活動内容について、これまで深めの議論がなされてこなかった面があることは否めない。

このような業務の中に様々なプロセスがあり、それぞれのプロセスが異なる環境や性能を求められるようになる可能性は小さないと考えることが出来る。例えば、ある提案を顧客に提示する場合、自社の各部署の情報や知識をまとめ上げるために会社の中を奔放し、自社の協力企業や専門領域の企業に必要な内容を依頼し、同時にインターネットなどの一般的な情報源によって資料を集め、それらを基に当該部署の知見を結集してまとめ上げていくなどが考えられる。事業者は、これらの全てのプロセスで、与えられた要素の構成を設計していくことになる。この時、空間の使い手が自らの事業活動の方針を決める中で、様々な影響因子が存在すると考えられる。組織文化やマネージャーの独特的な考え方などの、各組織独自の要因も、もちろん影響因子になる。また、製品領域・サービス領域の特性や、産業領域の特性も重要な因子になり得ると考えられる。ここでは、学術的な議論として、論理性と客観性を確保しながら議論を進めるため、一つの考え方として、ターゲットは製品領域やサービス領域、そして産業領域の傾向や特性を、ビジネスモデルを構成する局面の設計思想からみる考え方についていくものとする。

3.2 生産活動の特性の記述

ビジネスモデルを考えていくとき、業務のプロセスの特性とつくられる有形・無形の製品の構成の特性に着目することが考えられる。最もシンプルな関係性のフレームワークが Fig.1 となる。

業務プロセスがモジュラー化するということは、業務のプロセスが塊ごとに分けられるようにモジュール化し、インターフェイスがルール化されていくことになる。製品構成がモジュール化するときは、求められる機能と構造が 1 対 1 の関係になり、機能と構造の間、機能と機能の間、構造と構造の間で、同じようにインターフェイスのルール化が成されながら、複雑性が抑制されることになる。各セルの内容を、ビジネスにおける生産活動の中でも、対象が人工物である以上、必ず必要となる立案から設計の活動を例として取り上げて、議論を進めていく。

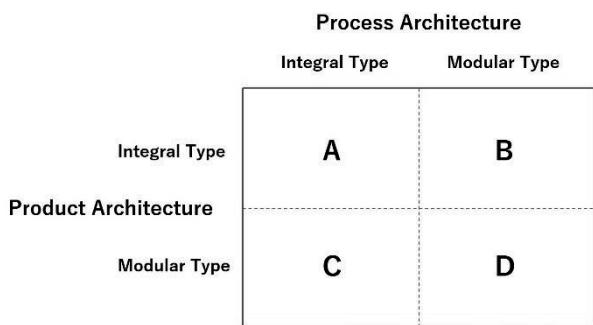


Fig.1 Typology based on processes architecture and product architecture

左上の A のセルは、生産活動のプロセスも、生産される製品やサービスの構成も、インテグ럴型である。生産活動のプロセスがインテグラー型ということは、各プロセス間で微調整や擦り合せが頻繁に行われる傾向がある可能性が高いことになる。複数のプロセスを一人で担当する場合は、担当者の活動の中で収束させることが出来る。しかし、プロセスごとに担当者が違ったり、担当部署が異なれば、担当者間や部署間で微妙な調整が成されたり、フィードバックが繰り返されたりすることが考えられる。また、生産する対象の構成がインテグラー型ということは、構成要素の部品や素材を調整しながら、全体のパフォーマンスを上げる方向となる可能性が高いということになる。

右上の B のセルは、生産活動のプロセスがモジュラー型で、生産される対象の構成がインテグラー型というものである。活動のプロセスがモジュラー化するということは、それぞれのプロセスの間のインターフェイスがルール化しており、各プロセスの独立性が高い傾向があると考えられる。そのために、プロセス間の調整は抑えられる方向となるといえる。各プロセスの担当者や部署が異なっても、プロセス間での微妙な調整は必要ななくなる可能性が大きくなると考えられることになる。

左下の C は、生産活動のプロセスがインテグラー型となり、生産される対象の構成がモジュラー型となるものである。つくれられる対象の構成がモジュラー型の場合、対象のつくり込みの局面で、構成要素間のインターフェイスのルール化が進んでいることを意味しているので、多くの知識や情報を微調整することを抑えられることになる。これは、対象のつくり込みも分業できる可能性が高くなることを示唆している。

右下の D は、生産活動のプロセスがモジュラー型であり、生産される対象の構成もモジュラー型であるものであり、複数の様相で分業に合理性がある可能性を含む。

ここまで議論を、製品やサービスの特性を踏まえた生産視点でまとめていく。モジュラー化の代表的な指標としては、製品領域の熟成度が高い傾向、技術的な知識の新規性が低い傾向、複雑性や不確実性が抑えられている傾向などをあげることができる[11,12,13]。この中で、製品領域の新規性によ

る生産プロセスへの影響と、構成要素の複雑性による生産物構成への影響を、モジュラー化の視点から、企画や設計の生産活動を対象としてまとめると以下のようになる。

A のセルを考えた場合、製品領域の新規性が高く、構成の複雑性が高い製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。B のセルでは、製品の熟成度が進んでプロセスのモジュラー化が認められるが、構成の複雑性が高い製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。C のセルでは、製品領域の新規性が高いが、構成の複雑性は抑えられている製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。そして、D のセルでは、製品の熟成度が高く、構成の複雑性は抑えられている製品の企画・設計が該当する傾向が考えられる。

このような議論から、本稿のテーマであったテレワークに対しては、D のセルの親和性が高いことになる。他のプロセスとの調整や擦り合せの必要性が低いために、協働作業や細かい議論の必要性が抑えられる可能性が高くなることになる。また、つくれられる対象の複雑性が低い場合、つくり込みの段階で多くの知識や情報を基本とする高い技術や知見を必要としない傾向があると考えられるため、個人的な知見や判断力によって対応できる範囲が多くなると考えられる。B のセルは、プロセスだけテレワークに対する優位性があり、C のセルが対象構成の複雑性について優位性があることになる。一方、A のセルは、擦り合わせや微調整の繰り返しが考えられ、テレワークのように他のスタッフと綿密な議論が難しい環境に対して親和性が薄いと考えることが出来る。

3.3 事業の設計思想とテレワークの関係

このような議論の内容を確認するため、実際の各事業体のテレワーク導入に関する調査を行い、矛盾が生じないかどうかを確かめていく。ここでは、製造業、情報通信業、金融業などに勤務する 100 人（正社員、25 歳～55 歳）に協力いただき、テレワーク導入に関する調査と、各事業体の業務のモジュラー化に関するインターネットを利用したアンケート形式の調査を行った。

具体的には、各事業体の業務のモジュラー化に関する指標として、以下の 3 つをあげてアンケートの選択肢とし、調査を行った。これらは、モジュラー化の概念の最も基盤的な 3 点を抽出したものである。

A 業務プロセスの標準化

B 製品・サービス構成要素の標準化

C 構成要素・業務プロセスの擦り合せの必要性

また、テレワーク導入に関する指標として、最も直接的な内容として、以下の 3 つをあげて選択肢として、アンケート調査を行った。

①テレワークの実施部署の割合

②テレワークの推進部署の割合

③テレワークの実施業務プロセスの割合

Table.1 Analysis of remotework surveys

	A percentage of standardization of business process	B percentage standardization of product structure	C percentage of modularity of business process
① percentage of department with telework	covariance	0.94	0.63
	correlation coefficient	0.60	0.43
② percentage of department with promotion of telework	covariance	1.08	0.73
	correlation coefficient	0.73	0.52
③ percentage of business process with telework	covariance	0.98	0.69
	correlation coefficient	0.64	0.49
			0.38
			0.25
			0.43
			0.29
			0.56
			0.38

Table.1 が、その結果をまとめたものである。以下、調査結果について、テレワーク導入に関する指標と、各事業体の業務のモジュラー化に関する指標とを、クロス集計し、そこから導き出された Table.1 の内容をみていく。

「A 業務プロセスの標準化」については、「①テレワークの実施部署の割合」との間で、共分散が 0.94、相関係数が 0.60 となっている。「②テレワークの推進部署の割合」との間で、共分散が 1.08、相関係数が 0.73 となっている。「③テレワークの実施業務プロセスの割合」との間で、共分散が 0.98、相関係数が 0.64 となっている。

また、「B 製品・サービス構成要素の標準化」についてみていく。「①テレワークの実施部署の割合」との間で、共分散が 0.63、相関係数が 0.43 となっている。「②テレワークの推進部署の割合」との間で、共分散が 0.73、相関係数が 0.52 となっている。「③テレワークの実施業務プロセスの割合」との間で、共分散が 0.69、相関係数が 0.49 となっている。

最後に、「C 構成要素・業務プロセスの擦り合せの必要性」についてみていく。「①テレワークの実施部署の割合」との間で、共分散が 0.38、相関係数が 0.25 となっている。「②テレワークの推進部署の割合」との間で、共分散が 0.43、相関係数が 0.29 となっている。「③テレワークの実施業務プロセスの割合」との間で、共分散が 0.56、相関係数が 0.38 となっている。

このような内容から理解できることは、基本的に全ての検討において、強弱はあるものの正の相関関係が認められることになる。つまり、テレワークと業務のモジュラー化において、正の相関があるということである。詳細を見ていくと、「A 業務プロセスの標準化」は、モジュラー化の各指標と比較的強い正の相関関係が認められる面がある。例えば、A と②との相関係数が 0.70 を超えており、強い正の相関関係が認められる。つまり、業務プロセスの標準化が進んでいる場合、社内でテレワークを推進する部署が多いということになる。また、「B 製品・サービス構成要素の標準化」については、A ほどではないも

の、モジュラー化の各指標との間に、十分に正の相関と認められる関係性が表出している。「C 構成要素・業務プロセスの擦り合せの必要性」については、正の相関は認められるものの、弱い関係性であるとされる数値となっている。

また、これらの共分散、相関係数共に、マイナス値が見られず、特に相関係数においては、0.2 以下の数値も見られない。このことは、十分に相互の関係性について意味を成すと考えられる。母数が 100 の調査で、9 つの相関を見て、全ての関係性に負の相関がみられず、0 付近の相関係数も見られないことは、テレワークの推進と、事業のモジュラー化について、正の相関を否定しきる側面が認められないことを意味している。

このような内容から、前節までの議論に対する矛盾点・相違点は認められないことが確認できたと考えられる。ただし、各指標間で、完全な相関があることを証明したものではない。そのため、本稿の議論と分析に基づく方向性としては、実際の建築計画において、使い手の各事業の特性に関する検討については、ここでの指標の関係性は否定されるものではないが、総括的に慎重に考えていくことが必要であるということになる。

4 考察

これまでの事務所は、固定された空間が基本で、使用範囲の変更などは不可能であることが前提であった。しかし、本稿の議論によって、テレワークに向いているモジュラー化した業態が存在することが理解できた。ただし、このようなモジュラー化した業態について考えると、テレワークだけが検討される内容ではないことに気づくことになる。

本稿の議論により、モジュラー化した業態は、モジュラー化した業務プロセスと、モジュラー化した最終製品ということになる。このような場合、インターフェイスを高度に設計しておけば、業務の範囲を大きくしたり小さくしたりすることが可能であると考えられる。この特性が反映された一つの事例が、今回の議論の対象であったテレワークということになる。しかし、この特性は、事務所建築が前提としていた一つの面に対し、根本的な疑義を呈することになる。

ここで指摘したモジュラー化したビジネスモデルについて考えると、業務対象範囲や業務プロセスを広げたり縮小したりすることが可能となる面があることになる。そもそも、ビジネスの範囲については、恒久的に同じ範囲で合理性を損なわないとする方が不自然であろう。つまり、市場の変化、関連製品領域の変化、コンピューターやインターネットなどの基盤的技術の変化などの影響で、全く同じビジネスモデルで何十年もモデルを変えずにビジネスを継続することが難しいことは自明であろう。この場合、一つの事務所を考えても、そこで勤務する人数や時間が変更されていくことが、当然であることになり、モジュラー化されている業態であれば、様々なスケールのモジュールごとに担当範囲や業務プロセスを拡大縮小したり、

分けたりすることも可能となっていくわけである。

このような考察から考えられることは、事務所建築に関する考え方の刷新である。一つの考え方として、かなり高い確率で県属されるコアの部分と、事業範囲が伸縮する範囲を峻別し、前者には固定された空間をリーズナブルな形で整え、後者を個別スペースや共用スペースで対応することなどが導き出されることになる。実際に、すでにそのような考え方に対応する可能性がある事務所空間も存在している、例えば野村不動産によるTMO、H1O、H1Tなどの賃貸オフィススペースが対応することになる。ただし、本稿の議論により、このモデルの場合などは、結果として求められる量を供給するなどオフィススペースの供給から一步踏み込み、賃貸事務所の顧客事業モデルの分析によって、顧客自身が気づかない点も分析して、事業プロセス範囲や事業の流れなどを提案していくことが可能である面が理解できるようになったと考えられることになる。

5 緒論

ここでの目的は、建築に求められる内容の把握が重要である点に着目し、事務所機能を対象としながら、ユーザー側の事業特性の把握手法の開発を目指すことである。そのためには、具体的には、視点を対象となるユーザー側の事業における構成要素相互依存性に絞り、論理性と客観性を出来るだけ確保しながら、建築に対する要求内容を理解するための手法を開発していくことであった。ここで示した手法により、今後の、建築に対する要求特性の把握に基づいた、向かうべき方向性について議論することが可能となる面があると考えられる。

本研究は、コロナ禍の中だけでなく、コロナ禍の後についても、社会が何を建築に求めていくのか、ということについての議論に貢献することを視野に入れたものである。これまでの建築産業は、慣行的に固定化した考え方のみに基づいた、建築物や空間の供給を進めてきた面があることを、否定しきれない。社会が変化し、建築や空間に求められる内容が変化するとき、建築を供給するつくり手側が、正確にそれらの変化を認識し、的確な創造活動をしていく必要がある。それには、社会的変化が起こるときに、その兆しや新規的な傾向を、できるだけ客観的に把握し、使い手側が要望するものを出来るだけ正確に明示できる必要がある。元々、使い手は言語によって自分の要望を的確に表現することは極めて難しい[10]。そのためには、使い手に直接訊ねるだけでは、正しい答えに行きつく可能性は低い。本研究は、このような状況を打破する可能性を得るべく取り組んだ新規性の高い試みではあるものの、構成要素間相互依存性という単一の視点の提示にとどまっている面がある。今後、この視点からの、より多くの可能性を導き出すことと同時に、新しい視点に拠る真理の追及を試みることが必要であると考えられる。本研究は、今後、このような試みを、継続的に持続していくものである。

参考文献

- [1] 内閣府,『新型コロナウイルス感染症の影響下における生活意識・行動の変化に関する調査』, 2020.
<https://www5.cao.go.jp/keizai2/manzoku/pdf/shiryō2.pdf> (2020閲覧)
- [2] 国土交通省、総務省、厚生労働省、経済産業省、『THE Telework GUIDEBOOK 企業の為のテレワーク導入・運用ガイドブック』, 2008.
- [3] Herbert A. Simon, *The Sciences of the Artificial* 3rd Ed., pp3-13, The MIT Press, 1996.
- [4] Baldwin Carliss Y. and Kim B. Clark, *Design Rules*, vol. 1: *The power of modularity*, Cambridge: MIT Press, 2000.
- [5] Ulrich Kirl, "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy*, 24, pp.419-440, 1995
- [6] 藤本隆宏、青島矢一、武石彰,『ビジネス・アーキテクチャー』,有斐閣,2001
- [7] 藤本隆宏,『日本のもの造り哲学』,日本経済新聞社,2004
- [8] Gopfert J and Steinbrecher M, *Modular product development: Managing technical and organizational independencies*, mimeo, 1999
- [9] 藤本隆宏,『能力構築競争』,pp85-110, 中公新書,2003
- [10] 上原征彦,『マーケティング戦略論』,pp245-246, 有斐閣,1999
- [11] Chesbrough, H. and Kusunoki, K. 'The modularity trap: innovation, technology phase shifts and the resulting limits of virtual organizations', in I. Nonaka and D. Teece (Eds.) *Managing Industrial Knowledge*, London: Sage, 2001.
- [12] Furlan, A., Cabigiosu, A., Camuffo, A. When the mirror gets misted up: modularity and technological change. *Strateg. Manage. J.* 35, 789–807, 2014.
- [13] Mortensen, N.H. and Løkkegaard, M. , "Good product line architecture design principles", International Conference on Engineering Design, Vancouver, Canada, 21.-25.08. 2017, The Design Society, Vol. 3, pp. 141–150. 2017.
- [14] Tidd, J., Bessant, J. and Pavitt, K., *Managing Innovation: Integrating Technological Market and Organizational Change*, 2nd edition, Chichester, John Wiley & Sons. 2001.

- [15] Baldwin, Carliss Y. and Kim B. Clark, Design Rules, vol. 1: The power of modularity, Cambridge: MIT Press, 2000.
- [16] 藤本隆宏,野城智也,安藤正雄,吉田敏,『建築ものづくり論』,有斐閣,2015
- [17] 藤本隆宏,桑嶋健一編,『日本型プロセス産業』,有斐閣,2009
- [18] 吉田敏,「製品の機能創出に関する基礎的考察」,日本感性工学会論文誌 第14卷2号 pp. 325 - 333,2015
- [19] 吉田敏編著,『技術経営』,理工図書,2012
- [20] 内田祥哉,『建築生産のオープンシステム』,彰国社,1977

アジャイル開発と DevOps に関する国際標準化の動向

木下修司*

Trends in international standardization on agile and DevOps

Shuji Kinoshita*

Abstract

In this paper, the author reviews the international standardization activities of WG 29 Agile and DevOps in ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering.

Keywords: international standardization, agile development, DevOps

1 はじめに

筆者は、研究・教育活動に加えて、国際標準化団体 ISO および IEC にて標準化活動にも従事している。本稿では特に、ISO/IEC JTC 1/SC 7 Software and systems engineering の WG 29 Agile and DevOps の国際標準化活動について、WG 29 国内小委員会主査の立場から総説する。

2 國際標準化活動の概要

2.1 ISO/IEC JTC 1

国際標準化活動を実施する団体はいくつかある。主要なものは ISO (International Organization for Standardization, 国際標準化機構)[1] や、IEC (International Electrotechnical Commission, 国際電気標準会議)[2]がある(現在は ISO のほうが規模は大きいが、歴史は IEC のほうが古い)。

ISOにおいては、さまざまな分野ごとに TC (Technical Committee, 技術委員会)が存在する。特に、情報技術(Information Technology)に関する国際標準化については、ISO と IEC が共同で実施しており、JTC (Joint Technical Committee)として ISO/IEC JTC 1 Information technology が 1987 年に設立された。このような JTC は JTC 1 以外にないことから、JTC 1 が特別な存在であることが伺える。

2.2 ISO/IEC JTC 1/SC 7

TC の下位には各種 SC (Sub Committee)があり、SC の下位には WG (Working Group)がある。企業における本部、部、課に相当する階層構造である。

JTC 1 の下位には 2021 年現在、SC 2 から SC 42 まで

合計 22 の SC が存在する(すでに廃止された SC も多いので、42 あるわけではない)。例えば SC 42 は人工知能に関する国際標準化を担当する SC であり、設立されたのは 2017 年と比較的新しい。筆者が所属する SC 7 Software and systems engineering は、その名のとおりソフトウェア・システムエンジニアリングに関する標準化を担当している。

その他有名なところでは、Unicodeなどを所掌する SC 2 Coded character sets, プログラミング言語に関する SC 22 Programming languages, their environments and system software interfaces, 情報セキュリティの ISO/IEC 27000 シリーズを所掌する SC 27 Information security, cybersecurity and privacy protection などがある。

国際標準化活動に参加する各国は、それぞれ国内の標準化団体から参加する。日本においては、ISO/IEC JTC 1 配下の多くの SC は、一般社団法人情報処理学会内にある情報規格調査会[4]という組織が幹事となっている。

2.3 ISO/IEC JTC 1/SC 7/WG 29 Agile and DevOps 設立の経緯

ISO/IEC JTC 1/SC 7 の組織構成(2020 年 6 月時点)と、所掌する代表的な国際規格番号を記したのが図 1 である(文献[5]より抜粋)。この図には、本稿にて扱う WG 29 Agile and DevOps は記載されていない。WG 29 の設立が決議されたのが 2020 年 5 月で、実際に設立され、公式のミーティングが初開催されたのは 2020 年 11 月であるためである。

WG 29 設立までには、SC 7 における紛余曲折の議論があった。そもそも、SC 7 が設立された当時は、現在のようなアジャイル開発の概念は存在せず、いわゆるウォーターフォール型の開発が主流であった。そのため、SC 7 が定める代表的な国際規格である ISO/IEC/IEEE 15288(システムライフサイクルプロセス)[6]や、ISO/IEC/IEEE 12207(ソフトウェ

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

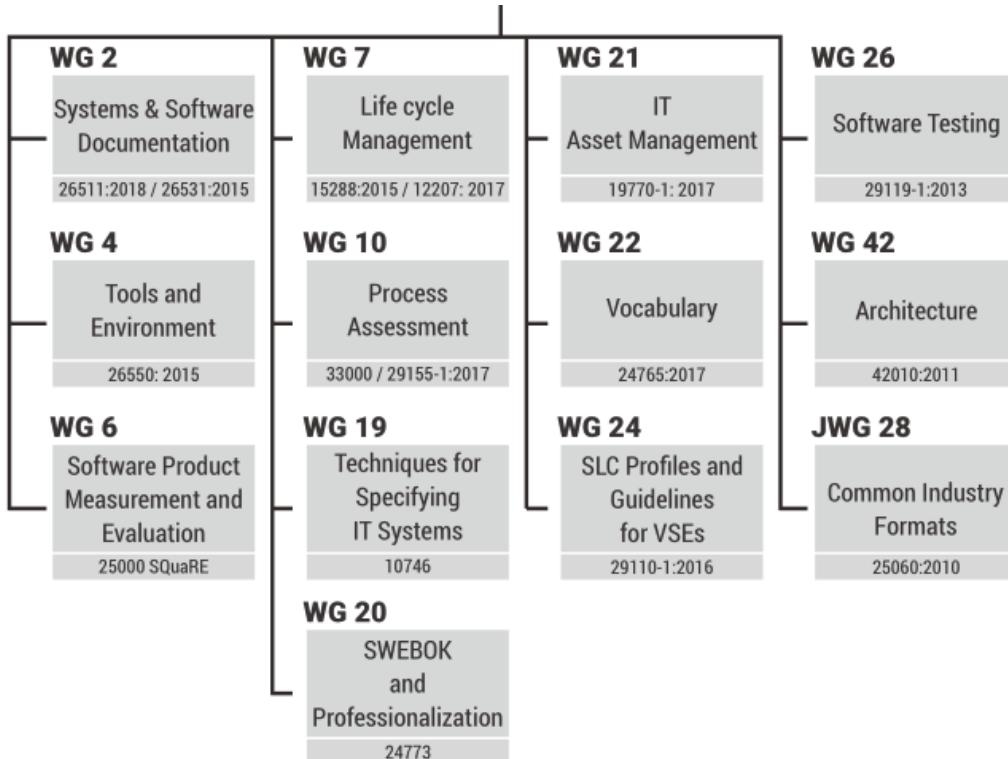


図 1: ISO/IEC JTC 1/SC 7 配下の WG 一覧(2020-06 時点のため、新設 WG 29 を除く)

アライフサイクルプロセス)[7]で規定する各プロセス群は、どのような順番でプロセスを適用するかについては言及していないとはいっても、要件定義→設計→開発→検証→妥当性確認といった V 字のモデルを想定するものであった。その後、いわゆるアジャイル型の開発が普及するにつれ、SC 7 内の規格ではそれぞれにアジャイル開発についての考慮事項を informative な annex として追記するなどの形式がとられた。加えて、比較的新設の WG である WG 26 software testing では、ソフトウェアテストの観点から DevOps に関する標準化の議論もなされていた。

このような状況のもと、SC 7 幹事国のインドを中心に「アジャイルに関する標準化は、新しい Working Group を作って実施すべきではないか」という議論が 2017 年に起きた。そのため、SC 7 として、Working Group の準備段階としてアドホックな Study Group(DevOps & Agile Study Group)を設立し、アジャイル及び DevOps に関する標準化に向けた調査活動を実施していた。筆者は 2016 年後半から国際標準化活動に参画しており、2018 年よりこの SG に参加した。

SC 7 では毎年 5,6 月に Plenary Meeting という全 WG が集う大きな国際会議が開催される。コロナ禍により、2020 年は約 10 年ぶりに日本開催(岡山)の予定であったが完全オンライン(Zoom)に変更になった。この場において、改めてアジャイルに関する新 WG 設立が議論になった。主な意見として、アジャイルはシステム/ソフトウェアのライフサイクルに関する考え方なのだから、ライフサイクル管理を担当する WG 7

で所掌すべきという意見も根強かったが、WG 7 はすでに所掌する国際規格が非常に多く、人的リソースが足りないという意見が有力となり、新設 WG を設立することが決定した。

新設 WG 29 では、Convenor(WG の長)としてフィンランドの Mitro Kivinen 氏が就任した。日本でも対応する国内小委員会を設立することとなり、前述の Study Group に参加していた経緯から筆者が主査となった。

3 SC 7/WG 29 が所掌する国際規格群

3.1 ISO/IEC TR 24587 Agile adoption considerations

本文書[8]は TR(Technical Report、技術報告書)であり、いわゆる IS(International Standard)のような拘束力はないが、WG 29 として初めて公式に出版される文書である。元々、前述の Study Group 時代から編集されていたもので、当初はタイトルが“Agile Readiness and Success Criteria”だった。しかし、success criteria として明記するものがあまり集まらなかった事情もあり、タイトルが変更された。

内容は、アジャイル開発を導入する組織が、導入可能な状態になるには何が必要か?という考慮事項を記載したものである。組織、プロジェクト、管理、チーム・人員といった観点から考察がなされている。

これは本文書に限定されないが、WG 29 で開発する文書では、アジャイル開発や DevOps に関する特定の方法論を標準化し、強制するものではないことを補足しておく。

3.2 ISO/IEC/IEEE DIS 32675 (IEEE 2675)

本規格[9]は、既に IEEE で標準化された DevOps についての規格 IEEE 2675-2021[10]を、ISO/IEC 規格とするものである。SC 7においては ISO/IEC に加えて IEEE も共同で規格開発に関与しており、IEEE 標準になっている規格は、通常の標準化のステップを一部省略して迅速に ISO/IEC 標準にすることができる（この合意を ISO/IEEE Partner Standards Development Organization (PSDO) Cooperation Agreement と呼ぶ）。

本規格は、ISO/IEC としては DIS(Draft International Standard)の段階であるが、順調にプロジェクトが進めば 2022 年には出版されると思われる。内容は、前述のシステムライフサイクルプロセス規格 ISO/IEC/IEEE 15288 及びソフトウェアライフサイクルプロセス規格 ISO/IEC/IEEE 12207 のプロセスに沿った形で、DevOps 実現のために必要な考慮事項（例えば Continuous Integration や Continuous Development）を記述するものである。

3.3 ISO/IEC AWI 33202 Core Agile practices

本規格[11]は、インドが国内標準として制定しようとしている規格を同時並行で国際標準化するものである。名称の AWI とは Approval Work Item の略で、国際規格として開発することが決定されたが、現状まだ各国に正式な投票を求める草稿(CD, Committee Draft)が完成していないことを意味する。筆者も共同編集者(Co-editor)として本規格の開発に関与しており、現在 Working Draft を編集している。

内容は、ISO/IEC/IEEE 12207 が規定する 4 つのソフトウェアライフサイクルプロセス群ごとに、考慮すべき「アジャイルプラクティス」を規定するものである。「プラクティス」という用語はアジャイル開発においては頻用されるが、SC 7 におけるライフサイクルプロセスの考え方とどのように対応するのかを明示する必要があると筆者は考えている。

4 WG 29 の今後の方向性

4.1 国際の動向

WG 29 では、2か月に一度ほどの周期で定期的なオンライン会議を開催しており、各国委員が意見を交換している。今後の方向性の 1 つとして、アジャイル開発や DevOps についての用語定義をまとめる国際規格の開発が予定されており、筆者も中心的に参加している。

一般に「アジャイル開発は標準化にそぐわないのではないか？」という意見を聞くことがある。これは日本に限らず、国際の場でも出たこともある。確かに、チームごとに創意工夫が要求されるアジャイル開発では「これをやっていれば大丈夫」という従来のプロセス管理・アセスメントの考え方が素直に適用できるわけではない。

しかし、標準化活動は、必ずしもそのような「要求事項規定

と認証」のスキームに呼応するものだけではないことを補足しておきたい。基本的な活動として、さまざまな用語の定義を明らかにし、それらの関連性を定めるということは重要である。

筆者は特に、WG のタイトルにもなっている Agile と DevOps の関係性を明らかにすることが、本質的に重要なのではないかと考えている。国際の場でも話題に出るが、DevOps は開発と運用の一体化を指す用語であるから、ウォーターフォール型のプロジェクトでも実施可能である。すると、アジャイルにとって DevOps は必要条件ではないわけだが、歴史的な経緯を考えても、この 2 つには何かしら関係性はあると考えるのが自然だろう。アジャイルの何が DevOps の何と関連・依存関係があるのかを、より詳細に検討する必要がある。

4.2 国内アジャイルガイドラインの動向

日本国内において有用なアジャイル開発に関するガイドラインも出版されており、それらを国際標準化することは、日本の国際競争力強化においても重要である。例えば、IPA が発行したアジャイル開発版「情報システム・モデル取引・契約書」[12]の内容は、今後 WG 29 で開発する規格群に取り込むことができるのではないかと考えている。

5 まとめ

ISO/IEC JTC 1/SC 7/WG 29 におけるアジャイル開発および DevOps の標準化について動向を解説し、今後の方向性について提案した。

WG 29 小委員会は筆者を含め現在 4 名で活動しているが、新規メンバーは随時募集している。委員になることで、ISO 内部の草稿なども入手可能になるため、ご興味のある方はウェブサイト[4]よりお問い合わせいただきたい。

参考文献

- [1] ISO, ISO Website, <https://www.iso.org/home.html> (visited on 2021)
- [2] IEC, IEC Website, <https://www.iec.ch/homepage> (visited on 2021)
- [3] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC JTC 1/SC 7 Website, <https://committee.iso.org/home/jtc1sc7> (visited on 2021)
- [4] 情報処理学会情報規格調査会, <https://www.itscj-ipsj.jp/> (visited on 2021)
- [5] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC JTC 1/SC 7 Brochure Version 2.0 June 2020, <https://www.iso.org/committee/45086.html> (visited on 2021)
- [6] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering — System life

- cycle processes,
<https://www.iso.org/standard/63711.html> (visited on 2021)
- [7] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC/IEEE 12207:2017
Systems and software engineering — Software life cycle processes,
<https://www.iso.org/standard/63712.html> (visited on 2021)
- [8] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC TR 24587
Software and systems engineering — Agile development — Agile adoption considerations
<https://www.iso.org/standard/79011.html> (visited on 2021)
- [9] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC/IEEE DIS 32675
Information technology — DevOps — Building reliable and secure systems including application build, package and deployment,
<https://www.iso.org/standard/83670.html> (visited on 2021)
- [10] IEEE, IEEE 2675-2021 - IEEE Standard for DevOps:Building Reliable and Secure Systems Including Application Build, Package, and Deployment,
<https://standards.ieee.org/standard/2675-2021.html> (visited on 2021)
- [11] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC AWI 33202
Software and systems engineering — Core Agile practices,
<https://www.iso.org/standard/82692.html> (visited on 2021)
- [12] IPA, アジャイル開発版「情報システム・モデル取引・契約書」,
https://www.ipa.go.jp/ikc/reports/20200331_1.html (visited on 2021), 2020.

オンラインによる新しい認知機能検査の開発と、 高齢者に対する音楽体操の長期効果

佐 藤 正 之*・阿 部 真 貴 子*

Development of new online cognitive test and long-term effects of physical exercise with musical accompaniment to elderly people

Masayuki Satoh* and Makiko Abe*

Abstract

We developed a new cognitive test (Brain Assessment, BA) which can be performed through online without any medical professionals. The important characteristic of the BA is that it can show whether the rate of the cognitive change due to aging is within normal limits or not. We also assessed the effects of 5-year's physical exercise with musical accompaniment (ExM) to community-dwelling normal elderly people (The Mihama-Kiho follow-up project). Compared to persons who did not participate in the class of physical exercise, the ExM group revealed better cognitive functions.

Keywords: Dementia, aducanumab, Brain Assessment (BA), The Mihama-Kiho follow-up project, Physical exercise with musical accompaniment

1 はじめに

現在、本邦の認知症患者数は 500 万人を数え、予測では 2030 年には 1,000 万人に及ぶという。少子・超高齢化を迎える本邦にとって、認知症対策は喫緊の課題である。そのような中、2021 年 6 月に世界初のアルツハイマー病の根本治療薬である aducanumab が米国食品医薬品局 (Food and Drug Administration, FDA) で承認された。このように、認知症対策は新たなステージに入ったと言えるが、予防と早期発見が重要であることに変わりはない。

われわれの認知症・神経心理学講座は、2020 年 8 月の開講から 2021 年 7 月までの 1 年間に、認知症に関連する 2 編の医学論文を国際誌に報告した。本稿では、それらの内容を紹介するとともに、認知症対策が抱える問題について考察する。

2 アミロイドカスケード仮説と aducanumab

2.1 アミロイドカスケード仮説

アルツハイマー病 (Alzheimer's disease, AD) の病態で、20 年来でもっとも重視されているのがアミロイドカスケード仮説である。神絆細胞の細胞膜を、アミロイド前駆タンパク質 (Amyloid- β precursor protein, APP) が貫いている。APP が β と γ の 2 つのセクレターゼにより切断されることに

より、アミロイド β タンパク質 ($A\beta$) が生じる。不溶性の $A\beta$ が重合して $A\beta$ オリゴマーが作られ、それがさらに結合して脳に沈着し、老人斑を形成する。このことから、 $A\beta$ の形成を防止・除去することにより、AD を改善させようという薬剤の開発が世界中でなされてきた。

2.2 世界初の AD 治療薬:aducanumab

$A\beta$ を標的とした治療薬の開発が軒並み失敗に終わる中、2021 年 6 月に米国で aducanumab が承認された。Aducanumab は $A\beta$ に対する抗体で、 $A\beta$ や、それがいくつか重合して毒性が強い $A\beta$ オリゴマーを除去する。Aducanumab は、認知症予備群といわれる軽度認知障害 (mild cognitive impairment, MCI) と軽度 AD に適用をもつが、以下のような問題がある。

第一に有効性。Aducanumab は、治験において「効果がみられない」としていったん開発が中止された。その後、追加の症例を加えて解析をやり直したところ統計学的に有意差が付いたとして、承認申請にこぎ着けた。しかし、その効果には疑問がついて回り、FDA も条件付き承認として、発売後の追加データの提出を義務付けている。第二に薬価。米国では一人の患者に 1 年間で 620~630 万円かかるという。本邦の MCI 患者は約 500 万人あり、仮にこれら全員に aducanumab を投与したとすると 3 兆円の医療費を要する。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

第三にアミロイドカスケード仮説の弱点。認知症を呈したAD患者の脳にA β が沈着していることは事実だが、逆は真ではない。つまり、A β が脳に沈着しているからといって必ずしも認知症を発症するとは限らない。認知症の発症にはA β の沈着にさらに何らかの要素が加わる必要がある。だが現在、その要素は明らかになっていない。第四に適用の妥当性。A β の脳への沈着はもの忘れなどの症状が出現する15~20年前から生じており、MCIではすでにアミロイドカスケードの最終段階まで病理変化が進行しているという(Hyman 1996; Jack 2010)。その段階でA β を除去しても、すでに焼け石に水となっている恐れがある。第五に高額な検査。Aducanumabの使用の大前提として、脳にA β が蓄積していることを確認する必要がある。現在、A β の脳への蓄積を確実に証明できる検査はアミロイドPETだけである。A β に結合する放射性のリガンドを含んだ薬剤を静脈注射し、脳への結合を画像化することによりA β の存在を証明する。しかし、アミロイドPETは保険収載されておらず、自由診療で1回10~30万円で行われている。これをMCIの患者全員に施行すると、それだけで約1兆円の医療費を要する。

このように、aducanumabの登場はADの治療の新たなステージの始まりを表しているが、実臨床で使用されるためには解決しなければならない多くの課題がある。

3 オンラインによる新たな認知機能検査「脳検」

3.1 既存の神経心理検査の問題点

認知機能の低下を把握するために、神経心理検査が行われる。神経心理検査に求められる理想の条件と、既存の検査の特徴をまとめたのが表1である。すべての条件を満たす検査は存在せず、目的や設備などにより最適なものが選ばれる。

既存の神経心理検査には、次のような問題点がある。第一に慣れの問題。ほとんどの神経心理検査は一つの版しかない。経年に何度も繰り返すことにより慣れが生じ、実際の認知機能よりも良い結果となるかもしれない。第二に経時的变化への視点の欠如(図1左)。既存の神経心理検査には、年齢層別に基準値と標準偏差(SD)が定められている。結果がその範囲内であれば正常と判断されるが、経年的な変化については評価できない。第三にマンパワーの問題。神経心理検査は、心理士や言語聴覚士が一般に行うが、認知機能の低下が疑われる患者すべてに検査を施行できるほどの人員を備えている施設は少ない。第四に感染の問題。神経心理検査は、検査者と被験者が対面で行われるが、新型コロナ感染症の蔓延のため、対面での施行が困難になっている。

表1:認知機能の評価に用いられる諸検査の特徴

理想的な条件	MMS E	HD S-R	MoC A-J	CD R	RCP M	WAI S	脳検
施行時間が短い。	○	○	○	×	○	××	△
マンパワーを要しない。	×	×	×	×	×	××	○
方法が簡単。	○	○	○	×	○	××	△
MCIを検出できる。	△	△	○	◎	×	△	△
認知症の有無の判定が正確。	△	△	△	◎	△	△	△
複数のバージョンがある。	×	×	×	×	×	×	○
認知機能の経年変化が分かる。	×	×	×	×	×	×	○

◎よく満たす；○満たす；△少しあ満たす；×満たさない；××まったく満たさない

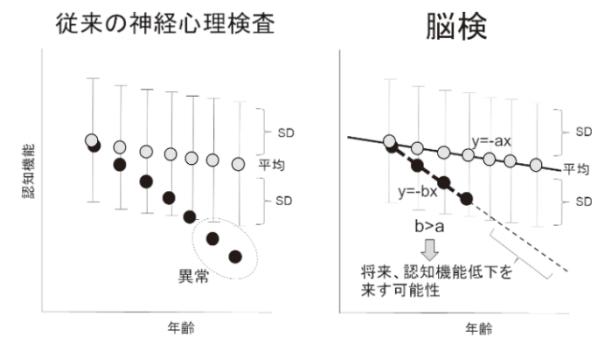


図1:新しい認知機能検査「脳検」の特徴

3.2 新しい認知機能検査「脳検」の開発

前記の問題を解決するためにわれわれは、脳活性化総合研究所と共同で、パソコン上でオンラインで施行できる新たな認知機能検査を開発し、「脳検(Brain Assessment, BA)」と名付け、医学国際誌 Dementia and Geriatric Cognitive Disordersに発表した(Satoh 2021)。「脳検」の特徴は以下の通りである。「脳検」は5つのバージョンを持ち、WEB上で約30分で施行可能である。多くの既存の神経心理検査の基準値が数百名の結果から定められ、年齢も70歳代までであるのに対し、「脳検」の基準値は健常な40~89歳の約4,000数百名の結果に基づいている。さらに「脳検」は、正常な加齢による認知機能の低下の傾きを算出している(図1右)。「脳検」を経年的に行うことにより、その時点での点数自体は正常範囲内だったとしても、正常な加齢に比べて認知機能低下が急か否かを判定できる。もし、あ

る被験者の加齢による認知機能低下の傾きが正常のそれよりも急であるならば、そのひとは将来、病的なレベルにまで認知機能が低下する可能性がある。つまり、「脳検」は認知機能の低下しかけを、MCI よりも早い段階で検出できる可能性がある。「脳検」は主に、企業や自治体での健康検診での活用を想定して開発された。脳活性化総合研究所のホームページから有償にて利用可能である(<https://www.nouken.jp>)。

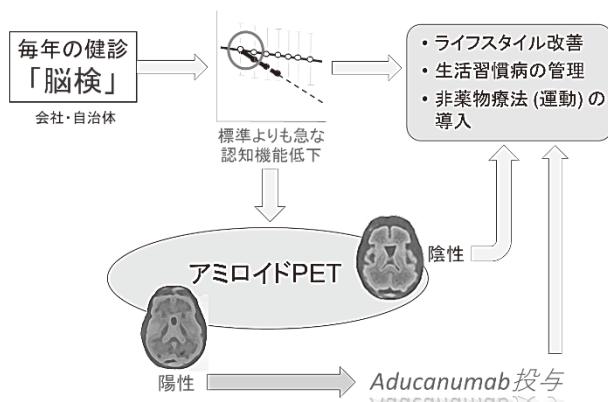


図 2:「脳検」による aducanumab の適用決定（試案）

3.3 「脳検」を活用した aducanumab の適用決定（試案）

Aducanumab がもつ前述の様々な問題点に対し、「脳検」がいくらか解決策を提供できると思う（図 2）。「脳検」を経年的に複数回施行することにより、認知機能の変化の傾きを求める。傾きが正常よりも急であった被験者については、生活習慣病の厳密なコントロールとともに運動などの非薬物療法の導入を進める。同時に、アミロイド PET を施行し、陽性であった者に対し aducanumab を投与する。このような手続きを踏むことにより、aducanumab やアミロイド PET の対象者を適切に抽出できるとともに、予防策の早期からの導入を進められると期待される。

4 地域在住高齢者に対する音楽体操の長期効果

4.1 認知症予防を目的とした音楽体操:御浜・紀宝プロジェクト

われわれは、前任地の三重大学時代から、東紀州地域の 2 つの自治体とヤマハ音楽振興会との産官学の共同研究で、音楽体操が高齢者の認知機能に与える効果について研究してきた。音楽の伴奏が付いた体操は、付いていない体操に比し、運動自体の内容は同一であっても、認知機能の改善効果が高いこと（御浜・紀宝プロジェクト・パート 1）（Satoh 2014），そのとき音楽体操群では前頭葉の灰白質容積が維持・増大していること（御浜・紀宝スキャンプロジェクト・パート 1）（Tabei 2017），軽度から中等度の認知症患者に対してても

音楽体操は日常生活動作を改善させること（御浜・紀宝プロジェクト・パート 2）（Satoh 2017），萎縮パターンにより有効な非薬物療法の種類が異なる可能性があること（御浜・紀宝スキャンプロジェクト・パート 2）（Tabei 2018）を報告してきた。重度認知症患者への音楽体操の有効性が確認できれば、健常高齢者から重度認知症に至るまで、フルステージの患者に対するエビデンスを提供できる。重度認知症患者については、品川区と本学との共同研究として 2019 年からスタートしたが、新型コロナ感染症のために現在休止中である。感染症が治まり次第、再開する予定である。

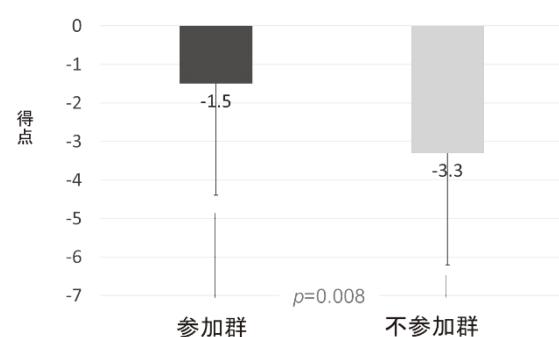


図 3: 音楽体操教室に参加していた群と、まったく参加していない群との、5 年間の記憶力の変化量の差

4.2 御浜・紀宝フォローアップ・プロジェクト

2011～2012 年にかけて施行されたパート 1 のプロジェクトが終了する際、参加者から是非続けたいとの希望が出た。アンケートと取ったところ、参加者のほぼ全員が有償であっても続けたいとの希望であったため、半ば住民の自己運営組織として教室を継続することになった。この教室は現在に至るまで継続し、御浜と紀宝の両町併せて百数十名が毎週参加されている。

5 年が経過したときに、音楽体操による長期効果を評価すべく、神経心理検査を施行した（御浜・紀宝フォローアップ・プロジェクト）（Satoh 2020）。5 年間継続して音楽体操教室に参加していたひと 54 名（参加群）、途中で参加をやめたひと 33 名、初めからまったく参加していないひと 21 名（不参加群）に対し、各種の神経心理検査と日常生活動作の評価を行った。その結果、加齢による記憶力の低下が、参加群では不参加群に比し有意に抑制されており（図 3）、教室への参加回数が多いほど記憶力が良好な傾向があった（図 4）。5 年という長期間にわたる非薬物療法の効果を検証した論文は少なく、貴重な報告と思われた。

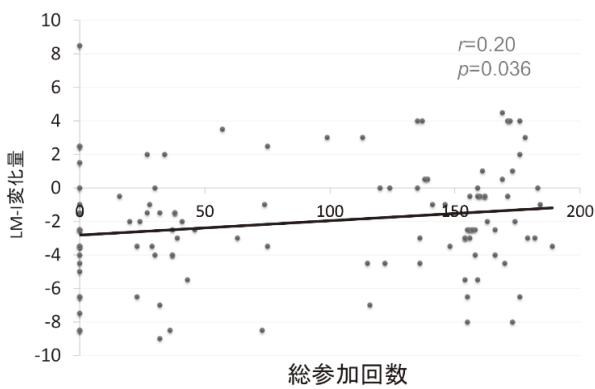


図 4:5 年間音楽体操教室への総参加回数と、記憶の変化量との相関

5 おわりに

AD の根本治療薬である aducanumab が登場して、認知症の問題は解決に向かうよりも、未解決であった様々な課題が顕在化した觀がある。これからも、これまでと同様に認知機能の低下を早期に発見し、予防策を講じることが重要であることに変わりはない。われわれは、オンラインで施行できる認知機能検査「脳検」の開発や、音楽体操の認知機能への長期効果を検証を通して、それらの課題の解決に貢献してきた。今後は、オンラインを通して行う音楽体操の効果を検証していきたい。

参考文献

- [1] B.T. Hyman, T Gomez-Isla, "Neuropathological markers of impaired cognition in the entorhinal cortex." *Neurobiol Aging*, 17: 940-941, 1996.
- [2] C.R. Jack, D. Knopman, W.J. Jagust, L.M. Shaw, P.S. Aisen, M.W. Weiner, R.C. Petersen, J.Q. Trojanowski. "Hypothetical model of dynamic biomarkers of the Alzheimer's pathological cascade." *Lancet Neurol*. 9: 119-128, 2010.
- [3] M. Satoh, K. Tabei, S. Fujita, Y. Ota. "Online Tool (Brain Assessment) for the Detection of Cognitive Function Changes during Aging." *Dement Geriatr Cogn Disord*. 50: 85-95, 2021. DOI: 10.1159/000516564.
- [4] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida. Tomimoto. "The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihamachi project." *PLoS ONE* 9: e95230, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0095230.
- [5] K. Tabei, M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida. Tomimoto. "Physical exercise with music reduces gray and white matter loss in the frontal cortex of elderly people: The Mihamachi project." *Front Aging Neurosci*. 9: 174, 2017. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00174.
- [6] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida. Tomimoto. "Physical exercise with music maintains activities of daily living in patients with dementia: Mihamachi project part 2." *J Alzheimer Dis*. 57: 85-96, 2017. DOI: 10.3233/JAD-161217.
- [7] K. Tabei, M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, N. Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida. Tomimoto. "Cognitive function and brain atrophy predict non-pharmacological efficacy in dementia: The Mihamachi project 2." *Front Aging Neurosci*. 10: 87, 2018. DOI: 10.3389/fnagi.2018.00087.
- [8] M. Satoh, J. Ogawa, T. Tokita, Y. Matsumoto, K. Nakao, K. Tabei, N. Kato, H. Tomimoto. "The effects of a 5-year physical exercise intervention with music in community-dwelling normal elderly people: The Mihamachi follow-up project." *J Alzheimer Dis*. 78: 1493-1507, 2020. DOI: 10.3233/JAD-200480.

知能に関する研究動向調査

柴 田 淳 司*

A Survey Report about Research of “Intelligence”

Atsushi Shibata*

Abstract

There is a long history of interest in human intelligence. Now, through the boom in artificial intelligence, research on this intelligence is making remarkable progress. In this paper, the history and latest results of such research are presented and discussed.

Keywords: Artificial General Intelligence, Artificial Life, Cognitive Science.

1 はじめに

人工知能という言葉が社会において一般的に使われるようになった。まだ完全とは言えないが、これまで人にしかできない知的な行為とされてきた描絵[1]や作曲[2]さえ、人工知能によって代替されるような時代となったのは、筆者の子供の頃と比べて大いなる進歩をしたと感じる。

未来学者のレイ・カーツワイルは、2045年には1,000ドルで購入できるコンピュータの性能が全人類の脳の計算能力に到達し、またコンピュータによって人の生活様式が一変するという予測を立てている[3]。ここでいう知能が何かは明確には定義をしていないが、今後の人工知能に対する社会の関心は高いといえる。

ここでは、人工知能に限らず、広く知能に関する研究を調べ、知能への理解はどこまで進んだのかを紹介し、今後どこまで発展しそうなのかを考察してみる。

2 知能の定義

人工知能とはなんだろうか。人工的に知能を再現するということはわかるが、何を持って知能が再現されたとするのだろうか。

そもそも知能とはなんだろうか。辞書[4]によると、知能とは『物事を理解したり判断したりする力』とある。より文字通りの意味で捉えるならば、知的な行動を実行する能力を有する、ということを指して知能と呼ぶのだろう。ここでいう人が行う知的な行動として、論理的に考える、計画を立てる、問題解決する、抽象的に考える、考えを把握する、言語を操る、学習する、などが挙げられる。では計画を建てることが苦手な人

は知能がないのだろうか。冬に向けてクリスマスを求めるハイエロリスは知能があるのだろうか。

心理学に置いては知能とは、『環境に適応し、問題解決をめざして思考を行うなどの知的機能』とし、この指標として知能指数(IQ: Intelligenzquotient)がある。IQを計測する方法はいくつかあるが、一般に言語理解や処理速度など、知的な行動をする際にかかる時間や処理の正確さを見ることで数値化している。これにより、計画を立てるのが苦手な人は、得意な人に比べて知能が低い、という結果となる。では先程のハイエロリスの例はどうだろうか。クリスマスを求めるという行動は、大半の人が知的な行動であると判断するだろう(少なくとも筆者の周りの研究者は知的であると判断した)。しかし、ハイエロリスは知能検査を受けることができないので知能はないということになる。

結局、知能というものは『人が知的だと判断する行動ができる能力』を指しているのであり、その中で特に人固有の能力をIQとして計測しているというのが現状であろう。この例に習い、人工知能の研究でも、人が行える知的な行動を機械によって再現することが一つの目的となっている。最たる例として、チューリング・テストが挙げられるだろう。

3 知能研究の歴史

3.1 哲学

知能というものは、神話や宗教の題材として出てくるように、古来より関心の対象であったと思われる。こうした知能に対する最も古い記述はアリストテレス(紀元前350年)によるものだろう。アリストテレスは形而上学を立ち上げ、直接観察されない普遍的な原理や内的な理性を探求した。その中で、

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

知性(intellect)とは感覚から、記憶、経験知、技術知を得て、知恵へと昇華されるものとしている[5]。この他にも、現在の心理学につながる心、感情などについても考察している。ただし、原題より医学的・解剖学的知見に乏しかったため、心は心臓にあると考えていた。

現在における哲学は、世界や人の根本原理を思索する学問となっている。もちろんその対象に人工知能も入っており、本当に人工知能が知能と呼べるのか、人工知能の存在が社会へ与える影響などが議論されている。

3.2 心理学

心の働きを探求するのはもともと哲学の領域であったが、医学、生理学を学んだドイツのヴントにより実験を取り入れたことにより、実験心理学が生まれ、1879年に初の心理学研究室が設けられた。同年をもって心理学を独立の学問とする事が多い。

人の知能を対象とした研究では1905年のビネー・シモン知能尺度を皮切りに、知能を定量的に図る試みがなされている。現在でも一般的に使われるウェクスター式知能検査では知能を言語理解、知覚統合、作動記憶、処理速度の4つの因子に分けて評価している。

ただし注意しなければならないのは、こうした検査はあくまで表出される能力を図るものであり、脳や知能の仕組みそのものを定式化できているわけではない点である。例えば一人の児童が学習した場合と未学習した場合では知能検査の結果は変わるだろう。つまり、その人生來の能力ではなく経験によって結果が影響されることが示唆される。また、知能検査における数値の高さは一部の能力しか評価されておらず、生産性や想像力、協調性などは考慮されていない。

3.3 認知科学

一般的な心理学が人の活動を観察することによってアプローチするのに対して、認知科学は情報処理の観点から理解する学問である。1950年頃にできた比較的新しい学問で、情報処理技術と人工知能技術の発展により近年注目を集めようになってきた。もともとは行動主義心理学に対立する形で心理学から派生し、同時期に誕生した人工知能と対を成すように成立したとされる[6]。

知的機能の根幹である脳活動を計測する方法やデータサイエンスの登場により、近年の認知科学は注目される分野の一つである。認知科学を通して人とのインタラクションやユーザインターフェース、VRの研究なども盛んに行われている。

3.4 人工知能

近年、最も注目されている技術の一つが人工知能である。文字通り、知能を再現することを目的とする分野で、計算機科学の一分野とされることが多い。計算機科学、計算科学、

ソフトコンピューティングなど、情報系の分野は各大学で定義が異なっていることもあり、まだ発展途上であるといえる。

もともとは計算機の発達により人の作業の自動化、ひいては人にどれだけ近づけるかという研究が乱立し、それをまとめる形で1957年に命名された。ただ、何を持って知能とするかなどの定義はされておらず、1960年代の第1回人工知能ブームではその能力が人に及ぶには時間がかかるとして収束することとなった。続く1980年代の第2回人工知能ブームでは、エキスペートシステムにより利益を出したことを皮切りに人工知能をシステムとして導入することが流行したが、これも採算が合わないとみなされ、収束した。2010年代以降の第3回人工知能ブームでは、深層学習の登場によりこれまでの画像識別精度が人並みに向上したことで、様々なサービスが登場することとなった。こうした潮流からわかるることは、研究により得られた知見よりも、社会にどれだけ還元する事ができるかが研究の隆盛に大きく関わっているということだろう。こうした経緯からか、現在の人工知能研究は画像識別、物体認識、自然言語処理などの特定のタスクを計算機によっていかに解決するか、というアプローチが主流であり、一般人が考える高度で知的な統合的知的処理をするもの、いわゆる強いAIや汎用人工知能と呼ばれるものはまだ存在しない。というのも、全てをある程度解決できる人工知能より、特定の処理を人以上の精度でこなす人工知能のほうがツールとして社会に貢献できるためである。例えば全教科で90点を取る人工知能より、美術で100点を取る人工知能のほうが画家の代わりをさせるには優れている。それを商業に持っていくなら経済学で100点を取れる人工知能を組み合わせればよいというわけだ。

では強いAIや汎用人工知能の研究が無意味であるかというとそうではない。今ある人工知能の研究も知能の探求から産まれたものであるし、強いAIが新しいサービスや需要を産む可能性も十分に考えられる。

4 最新の研究動向

4.1 脳構造を模倣するアプローチ

脳構造への理解が深まったことから、脳の構造そのものをモデル化することで汎用人工知能を再現しようとする試みとして、全脳アーキテクチャ・アプローチ[7]がある。

全脳アーキテクチャ・アプローチの研究グループでは、全脳アーキテクチャ中心仮説として、脳はそれぞれよく定義された機能を持つモジュールが組み合わさることで実現されているとし、各モジュールの再現と統合を行うことで人工的に脳と同等の機能を持つ知能の再現を目指している。

実際の脳は神経系の機能局在だけでなく、血流や内分泌系などが複雑に絡み合い、今もなお新しい知見が発見されている途中であり、機能ごとにモジュールを切り分けるという

作業は文面で読む以上の困難を伴うように思う。

4.2 進化を模倣するアプローチ

人工生命の分野では、脳の複雑な構造を、生命の進化や知見をもとに創発させようという試みがなされている。

人工生命とは、文字通り人為的に生命と同等のものを作ろうという試みである。生命も知能同様に定義が難しいが、主に動物の振る舞いや進化の仕組みなどを再現するアプローチを取っている。有名な研究ではセルオートマトンや進化的計算、群知能などがある。

最新の研究では、Neuroevolution(直訳で神経細胞進化)というキーワードで、深層学習で有名なニューラルネットワークに進化的計算などの手法を取り入れることで、自己を改良するニューラルネットワークの構築などを行なっている[8-9]。

4.3 人の再現と保存

知能そのものの再現という意味では、人を電子的に保存する研究も盛んに行われている。

ウースター大学の研究チーム[10]では、digital immortality(直訳でデジタル不死性)として、人の顔、声などの情報の電子的に保存、再現を研究している。これが実現されれば、人の肉体がなくなても情報生命体としてコンピュータ上に半永久的に保存・生存することが可能となる。

4.4 脳の理解

人の脳活動そのものに対する理解も徐々に深まっている。人の脳に直接電極などの計測器・操作基盤を埋め込むことを侵襲、こうしたものを侵襲的と呼ぶ。過去にはスティモサーによりてんかん患者の脳を直接操作する研究などがされていた。現在でも米国では頭蓋内電極を用いたデータセット[11]などが公開されている。

近年では、倫理的な観点から動物実験がメインとなったが、それでも脳に関する数多くの新しい知見が見つかっている。例えばマウスの脳に電流を流すことでのうつ状態を解消させる研究[12]など、ただ脳の仕組みを理解するだけでなく、制御することができる時代がすぐ近くまで来ていることが示唆されている。

5 おわりに

現在の研究の総評として、各分野で知能としての研究が多くなされ、それに対する社会の注目も高い様子が伺える。人工知能研究でも、これまでのようにタスクをこなすことが重視されていたが、そこから発展し、人工知能でどこまで高度な知性を再現できるかと言った研究がされている。また、人工知能を再現するアプローチも、脳の仕組みをトレースする、

進化の仕組みを模倣するなど、様々なものが存在している。

こうした学術的な再現だけでなく、工学的な応用も研究されている。過去の人工知能ブームから分かる通り、汎用人工知能そのものは社会に直接還元することが難しく、そのため社会に与えるインパクトも小さい。これに対し、digital immortality のように、直接社会に還元できる応用は研究者だけでなく一般人にも強いインパクトがあり、かつ有効性がわかりやすい。

脳活動に関しても、解剖学的知見から医学的・工学的な応用にシフトした研究が多く見受けられた。

これらの研究動向から今後を考察すると、課題としてハードの制約と、倫理観があると考える。前者のハードでは、計算機の発達によってデータの蓄積や処理ができるようになつたが、それを使うサービスも現状では携帯端末に集中している。没入感ある体験をVRやARでしたいならHMD等のハードの技術が上の必要がある。また、人工知能を搭載するロボット本体の機能が貧弱であれば、それによって行える物理的なサービスにも制限がある。こうしたハード面の成長はソフト面の成長に比べて遅いため、今後のハードルとなりうる。後者の倫理観について、digital immortalityで再現した人をどう扱うのかという事例がない。そのため、再現された人格を不当に扱うなどの予想がされる。現状でも、自動運転が起こした事故は誰が責任を追うのかといった問題が発生している。この問題があるため、自動運転はおそらく限定的な使い方、例えば高速道路のバスのみ自動運転、などの運用がなされるだろう。

また、これらの研究を総括して知能そのものへの理解が深まつたのかと言わると、疑問が残る。汎用人工知能ができたとしてそれが本当に知能と言えるか、人と同等と言えるか、そもそも人が知能を持っているのかといった哲学的問への疑問は残る。

知能に関する研究は、現在の課題、今後の課題がまだ多く存在し、それを対象とした研究も多く存在する。読者には、これは障害というより、まだまだ未知の領域が広がっている面白い研究分野であると捉えていただけたと幸いである。

参考文献

- [1] 斎藤翠, 長尾智晴, "進化的画像処理の絵画風画像の自動生成への応用," 情報処理学会論文誌, vol.8, no.3m pp. 26-35, 2015
- [2] 山本周典, 長谷川拓, 森直樹, 松本啓之亮, "深層学習によるユーザ評価モデルを導入した遺伝的プログラミングによる音楽自動生成手法の提案," 第32回人工知能学会全国大会, 2018
- [3] Ray Kurzweil, "The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology," Duckworth, 2010

- [4] 小学館 デジタル大辞泉, <https://daijisen.jp/digital/>, (visited on Oct. 2021)
- [5] 出隆, “アリストテレス 形而上学(上),” 岩波文庫, 第 1 章
- [6] 内村直之, 植田一博, 今井むつみ, 川合伸幸, 嶋田総太郎, 橋田 浩一, “はじめての認知科学,” 新曜社, 2016.
- [7] 全脳アーキテクチャ・イニシアチブ, <https://wba-initiative.org/>, (visited on Oct. 2021)
- [8] Kenneth O. Stanley, Jeff Clune, Joel Lehman, and Risto Miikkulainen, “Designing neural networks through neuroevolution,” *Nature Machine Intelligence*, vol. 1, pp. 24–35, 2019
- [9] 森本大智, 平賀元彰, 大倉和博, 松村嘉之, “深層強化学習と Deep Neuroevolution によるロボティックスワームの群れ行動生成と解析,” *システム制御情報学会論文誌*, vol. 33, no. 5, pp. 163-170, 2020
- [10] Katsuki Auchi, Wataru Noguchi, Hiroyuki Iizuka, Masahito Yamamoto, “Effect of Reactivity Artificial Medaka on Real Medaka,” *International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 2019
- [11] University of Worcester, Academic Blog, <https://www.worcester.ac.uk/about/news/academic-blog/Digital-immortality-and-Artificial-Intelligence.aspx>, (visited on Oct. 2021)
- [12] The University of Pennsylvania, RAM project, <http://memory.psych.upenn.edu/Data>, (visited on Oct. 2021)
- [13] Katherine W. Scangos, Ankit N. Khambhati, et al., “Closed-loop neuromodulation in an individual with treatment-resistant depression,” *nature medicine*, vol. 27, pp. 1696–1700, 2021

QZSS(準天頂衛星)を利用した早期警戒放送システムのアーキテクチャ

嶋 津 恵 子*

Design of Systems Architecture for QZSS Application

Keiko Shimazu*

Abstract

This paper reports on the practical study of systems architecture designed in accordance with the Systems Engineering Process Standard (ISO / IEC / IEEE15288) and Systems Architecture Description Standard (ISO / IEC / IEEE 42010). These standards are applied to an early warning system in the event of an acute period of disaster occurrence. The warning system uses the broadcast timing assigned for disaster reporting in the L1 band of the quasi-zenith satellite system (QZSS).

Keywords:GNSS, QZSS, EWS, MBSE, Systems Engineering

1 はじめに

現在の日本には、情報工学、自然科学、人工知能、航空宇宙工学など、それぞれの専門分野で

世界一流の専門家が揃っている。それにも拘わらず、2011年3月11日に発生した未曾有の大震災とそれによって引き起こされた大津波による甚大な被害からの復興に長期間を要し、日本の代表的な銀行は顧客用のネットワークシステムが一年間に何度も停止するような有様である。これらの社会システムの致命的なトラブルは、そのアーキテクチャが最適化されないまま実装になだれ込み、運用が開始したためであると考えられる。これは日本国内で頻繁に取り上げられる“上流工程”で、運用後に発生する期待や要望が反映されていないことが原因という話題に帰結する。

欧米の産業界では、システムのアーキテクチャを最適にデザインするために、システムズエンジニアリング・プロセス標準(ISO/IEC/IEEE 15288)とそれを基盤としたシステム・アーキテクチャ記述標準(ISO/IEC/IEEE 42010)が利用されている。

今回我々は、QZSS(Quasi-Zenith Satellite System: 準天頂衛星システム)の、L1帯域の災害通報用に割り当てられた放送タイミングを利用するアプリケーションシステムを開発した。これにあたり、この両標準に準拠した設計を行った。本書では、実際の設計結果(モデル図)を報告する。

本書は次の構成を探る。第2章に、我々が利用するシステムズエンジニアリング・プロセス標準(ISO/IEC/IEEE 15288)を概説する。第3章に今回開発したシステムの導入ドメインを紹介する。第4章に ISO/IEC/IEEE 15288 に準

拠してシステム・アーキテクチャを記述する方法を、システム・アーキテクチャ記述標準(ISO/IEC/IEEE 42010)の要点を示す方法で説明する。第5章でこれら標準に従ってデザインした実際のモデルを紹介し、第6章でまとめを述べる。無尚、本書では、以降この両標準をそれぞれ、15288,42010 と表記する。

本稿は、電子情報通信学会システムアーキテクチャ研究会で、発表したものです。

2 世界標準と最適化されたシステム・アーキテクチャ

15288 は、システムのライフサイクルの全フェーズに渡り、米国国防省や欧米の航空宇宙局からベストプラクティスを収集し、それらに産業界に展開した結果を反映させ、一般に利用できるモデルとフレームワークとして整理したシステム構築手法である。1959年に軍事産業標準として用意され、1990年代に一般産業用標準に拡張された。これ以降、これを基盤としたソフトウェア工学標準(ISO/IEC/IEEE 12207)や要求工学標準(ISO/IEC/IEEE 29148)など、システムを成功裏に開発するための標準が網羅的に提供されている。特に、システム・アーキテクチャの基本的なデザイン方法となる ISO/IEC/IEEE 42010 は、システムの基盤構造特定の際に、欧米豪の産業界で広く活用されている[1]。

15288 が提供する工学フレームワークの本質は、対象問題をシステムの構築と導入によって解決するまでにおいて、遗漏なく進めることにある。これを実現するために、①実現したいシステムを単純な部品とインターフェースに分解し、②それらを正しく統合する方法が採用されている。これにより、特に

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

大規模・複雑な対象を取り扱い易くしている。一方、分解の際、特定の視点に従って分解すると、完成したシステムは別の視点では最適化されていないことがある。代表的な例は、物理的な視点で最適に分解し、それを統合した完成形が、必ずしも利用者の操作性を満足するものではないというものである。そこで、15288では、ViewとViewpointで区別される異なる観点で、それぞれ独立して分解作業を行う。それぞれの分解結果が異なる観点を横断して整合する状態を、最適なシステム・アーキテクチャとしている。この複数の観点群を横断した整合性担保の効率性を上げるために、MBSE(Model Based Systems Engineering)が注目されている。

本書で報告するモデル群は、MBSEをQZSSのアプリケーション開発に採用した結果である。

3 アプリケーション外観

3.1 災害急性期避難指示網としてのGNSS

我々は、2011年に発生した東日本大震災の経験から、大規模災害が発生すると被害が甚大な地域ほど日常利用している情報インフラが壊滅することを学習した[2]。そしてこの状況下で被災者にとって必要な情報は、動画像によるリッチなコンテンツではなく、命をつなぐための重要なキーワードであることを知った[3]。これを受け、災害時でも利用可能な通信設備の構築技術の研究とともに、緊急避難に必要な情報を配信する暫定通信網を、衛星通信網を介して実現することが必要であると考えた。特にGNSS(Global Navigation Satellite System)に代表される測位システムは、地上で常にその信号を受信できる。その一方で、送信容量は非常に限定的である。そこで我々は、この限定的なメッセージ領域を最大限有効に活用し、緊急時に避難情報を放送するためのメッセージをEC(European Committee)のGalileo衛星担当官と共同で開発した[4]。

3.2 日欧共通設計による緊急避難情報構造

我々は、ECのGalileoのチームと協力し、発災時に自分で避難行動をとるのに必要な情報を、標準の災害用語や災害およびそれを取り扱う際に必要になる標準のコード体系から抽出した。より具体的には、災害群として、Common Alerting Protocol(CAP)[5]を参照し、国や地域の指定にISOを参照した。CAPは、世界中で開発されている危機警告発信システム間で、公開された警告や緊急情報を相互交換することを目指した災害情報体系であり、XMLフォーマットで定義されている。CAPを使用することで、Google Public AlertsやCell Broadcastなど多くの一般的なアプリケーショ

ンに、個別の危機警告発信システムを介して同時に情報配信が可能となる。また、情報の前処理を簡素化することも可能になる。

測位情報を放送することを目的として設計されたGNSSのメッセージ領域は、必要とする情報量が小さいため放送可能容量が非常に限定的である。Galileoでは測位情報メッセージのうち122ビット長が避難のための緊急災害情報に割当て可能であり、一方日本のQZSSのそれは、191ビット長である。そこで、我々は、122ビット長に、避難に必要な最低限の情報を搭載できるよう設計した。

表1に、メッセージ全体の構造を示す。特にここで、Field12から同16に注目されたい。一般に災害、特に自然災害は緯度経度による点ではなく、面的に被害を及ぼす。そこで、これを表現するために、我々の設計では機能による被災範囲の表現方法を採用した。つまり、被災地を機能で表現した時の中心点の緯度(A11 - Ellipse Center Latitude)、その経度(A12 - Ellipse Center Longitude)、そして機能の長半径と短半径(A13 - Ellipse semi-major axis length, A14 - Ellipse semi-minor axis length)、さらに機能の方角(A15 - Ellipse Azimuth Angle)の5つの値で囲まれた領域を、避難指示を発令する対象の区域として利用する。

表1: EUと共同開発したメッセージデザイン

Common EWS Message for the Signal-in-Space				
Field	Message field	Element name	Start bit	#bits
1	Message Identifier	A1 - Message type	0	2
2		A2 - Country ID	2	10
3		A3 - Provider ID	12	4
4		A4 - Message Reference Number	16	4
5	Event	A5 - Event Category	20	3
6		A5 - Event Sub-Category	23	4
7		A6 - Severity	27	2
8	Event chronology	A7 - Event Onset	29	16
9		A8 - Expected Duration	45	2
10	Guidance to react	A9 - Guidance Library	47	1
11		A10 - Guidance to React Database	48	8
12	Target Area	A11 - Ellipse Center Latitude	56	16
13		A12 - Ellipse Center Longitude	72	17
14		A13 - Ellipse semi-major axis length	89	4
15		A14 - Ellipse semi-minor axis length	93	4
16		A15 - Ellipse Azimuth Angle	97	5
17		A16 - Specific Setting	102	20

3.3 フィジー共和国向け QZSS アプリケーションの狙い

我々が試作する緊急避難情報を QZSS から放送するアプリケーションシステムは、フィジー共和国向け災害急性期警報システム(Fijian Early Warning System: F-EWS)として試作した。

同国は、南太平洋に点在する 300 余の火山島と珊瑚礁から成り、総面積 1 万 8270 平方キロメートルに約 85 万人が居住している。主な産業は、農業と観光である。全島が熱帯雨林気候であるが、南東貿易風の影響下にはいる 5 月から 11 月は降雨も少なく、タロイモとココナツの自生により食生活に困窮している様子は無い。

一方、11 月から 4 月の間、つまり 1 年の半分がサイクロン到来期間となる。フィジー共和国の島々は、気候変動の影響を受け、“カテゴリー 5”指定される巨大サイクロンに毎年襲われる[6]。大雨や暴風そして洪水で学校等の公共施設を含む多くの家屋が損壊し、さらに腰ほどの高さの浸水で、道路をはじめとする多くのインフラストラクチャの機能が停止する。カテゴリー 5 のサイクロンが上陸すると、フィジーの全人口の 62% に相当する 54 万人が被災し、避難所になるはずの学校の 55% が倒壊する。

災害発生時は、住民は身を守るための情報を求める、インターネットやテレビ、そしてラジオから配信される警報と避難指示に頼る。これにより、一旦避難した場所がサイクロンの影響を極端に受ける危険がある場合は、別の避難所に移動することが可能になる。ところが、サイクロンの影響を最大に受ける場所ほどインフラストラクチャの停止が多く発生する。インターネットやテレビだけでなく、ラジオの電波塔までもが倒壊し、被災した住民が避難指示や警報を受けられない事例が発生している。

そこで、最後の避難指示受信手段となることが、我々の開発する F-EWS の狙いである。

4 世界標準準拠型システム・アーキテクチャ設計

42010 は、15288 に準拠したシステム開発を行うことを前提とし、アーキテクチャをどう記述するか整理している。その外観が同標準書内の Figure 2 — Conceptual model of an architecture description である(図 1)。ここで、この図は、ISO/IEC 19501 に準拠した統一モデリング言語(Unified Modeling Language: UML)で表現されている。この図に示している重要なオブジェクトに関し、同標準書の別箇所に、詳細を同じく UML を用いて説明している。一方、本書には書面に限りがあるため、図 1 のうち、“Architecture Nationals”と“Correspondence Rule”さらに“Correspondence”を除く残りのオブジェクトを使って、アーキテクチャの記述に必要な情報を概説する。

システムの “Architecture” は、 “Architecture Description” で表現される。システム開発においてアーキテクチャが設計される前は、情報が構造的に整理されていない、つまりシステムとして成り立っていない状態 “System-of-Interest” である。“Architecture Description” が完成することで、どういう構造体であるかが特定される。アーキテクチャをどう設計するかは “Stakeholder”的 “Concern” をどのように解決するかに依存する。“Stakeholder” は、システム化対象領域である “System-of-Interest” が、システムとして構造化される、もしくはその過程で影響を受ける対象である。つまり “Stakeholder” は、システム開発に対し何らかの “Concern” も持ち、それぞれの “Concern” は、 “Architecture Viewpoint” を構成するいずれかの表現方法 “Model Kind” でどのように解決されるかが示される。“Architecture Description” は、同一の設計結果を異なる観点 “Architecture Viewpoint” で表現した結果である。“Architecture Viewpoint”的一般的(すべてのシステム開発で用いられる)なものが、「運用と機能と実装の整合」であり、“Architecture View” として operational view と functional view そして physical view が用いられることが多い。そして、これらのモデル群が互いに整合している場合、“Architecture Model” となる。

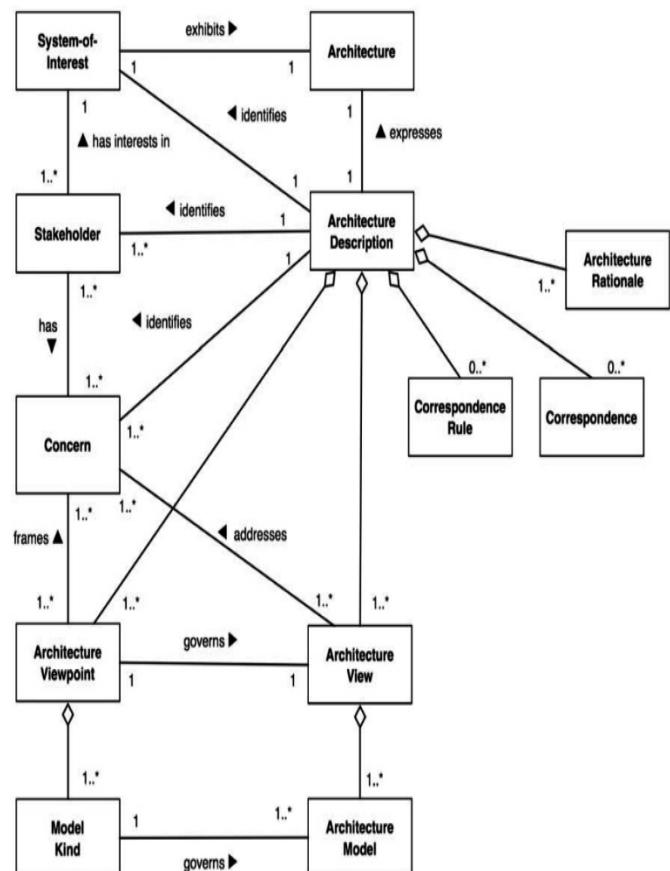


図 1: Conceptual model of an architecture description(転載)

5 フィジー共和国向け QZSS アプリケーション開発での実践例

5.1 Concern

我々は、“concern”を特定するために“System-of-Interest”に関し、サイクロン発災時の現状の警報発令手順を調べた。図 2 に示したとおり、警報発令には主に二つの組織が関わっている。FMS (Fiji Meteorological Service) と NDMO (National Disaster Management Office) である。

FMS は気象データを観測し、サイクロンが発生しその上陸が予想されると警報発令を決定する。警報は、FMS が運営する Web サイト上と SNS を介して国民に知らせる。同時に FAX や email を利用して、NDMO にも通知する。NDMO は、地区ごとの避難指示を決定し、記者会見と SNS で国民に周知する。

図 3 は、FMS と NDMO がこれらの作業フローで取り扱っているデータのモデルである。FMS が発する警報は、災害種(今回はサイクロン)、警報、対象地区、発令時刻から成る情報と、サイクロンの中心点の経度と緯度である。

NDMO は、避難行動指示を、それを発令する対象地区ごとに発令する。ここで、避難行動指示が取りうる値域は、{Take precautions, Move to the Evacuation Center, Move to higher ground, Stay indoors}である。この現行システムに QZSS の危機通報の情報経路を加え、停電時でも各地区的避難情報をリアルタイムに通知させようとした際に、それが期待通りに機能しなくなる状況を整理した。つまり、System-of Interest の Concern の特定を Context 分析でおこなった(図 4)。図 4 には、機能しなくなる状況をグルーピングし、それを構成する属性とその値で示した。赤字で取り消し線文字であるものは、該当する属性の値がそれである場合、期待通りに機能しなくなるが、今回 concern として取り扱わない。つまり、この状況が発生した時は、システムは機能しないことを示す。一方、青字で示したものは、(いざれの対策もとらなければ)同様にシステムが期待通りに機能しなくなるが、開発するシステムの設計過程で、機能設計上もしくは性能設計上の工夫によって、これを回避することを示している。

換言すると図 4 に示した青字の箇所が、今回の開発するシステムの concern である。

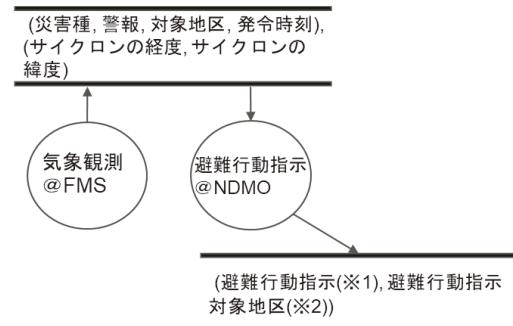


図 2: サイクロン上陸時の避難指示発令手順

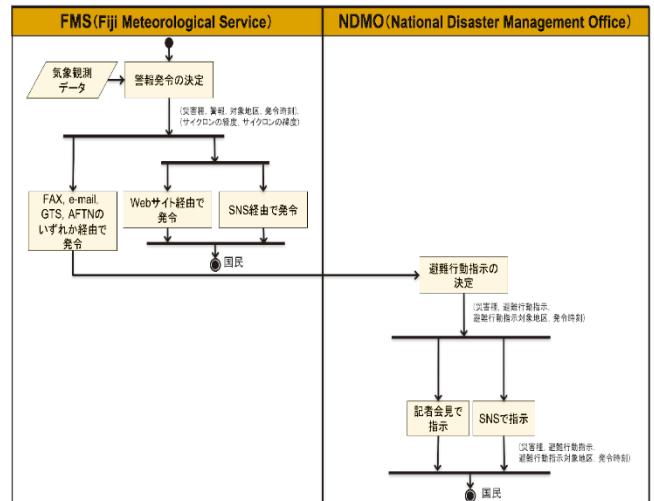


図 3: 避難指示発令手順で用いるデータの構造

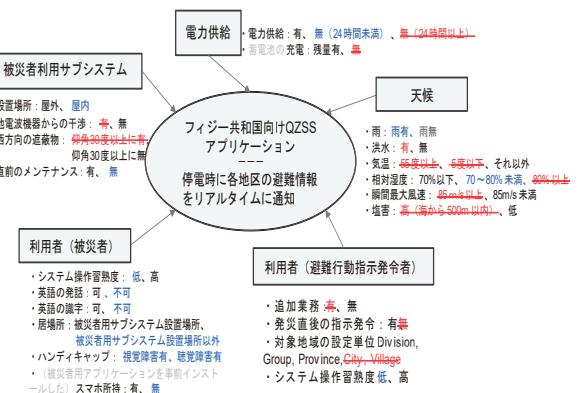


図 4: 対象システムのコンテキスト分析結果

5.2 Architecture Viewpoint

コンテキスト分析の結果から、「運用と機能と実装の整合」の viewpoint だけではなく、(a)電力供給が途絶えたときでも機能することと、(b)衛星受信機から離れている場所にいる被災者にも通知されることと、さらに(c)デジタルデバイド等利用に制約ある利用者にも認識できることと、そして(d)現在の NDMO の作業より複雑性と煩雑性を高めないことの 4 つの

viewpoint によるモデルが必要であると特定した。図 5 は、(a)と(b)をどのように可能にするかを示したモデルである。(c)は、操作画面設計と受信機が組み込まれる装置の物理構成図で示すが、本書ではこれらの掲載を割愛する。図 5 は、被災者が避難情報を受け取る環境は、QZSS の信号受信機が組み込まれた装置が設置された屋内、もしくは、拡声器の使用とスマートホン上のアプリケーションへの転送による屋外であることを示す。また、屋内外の設備には無停電措置(UPS)から電力が供給されることを示している。さらに、避難指示を出す NDMO の作業環境は、非常電源で動作させる。そして図 6 と図 7 に、(d)をどのように解決するかを、システム開発後の避難指示発令手順と、その際に取り扱うデータモデルで示した。

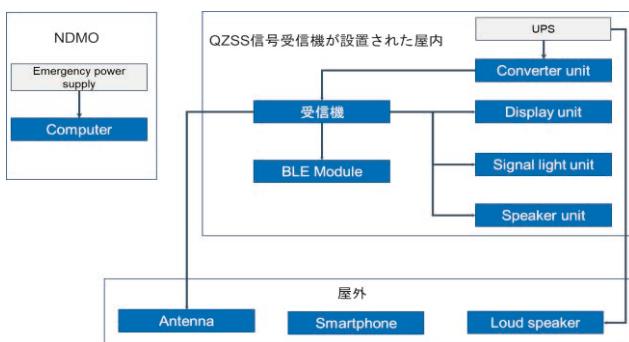


図 5: F-EWS の避難指示発令手順

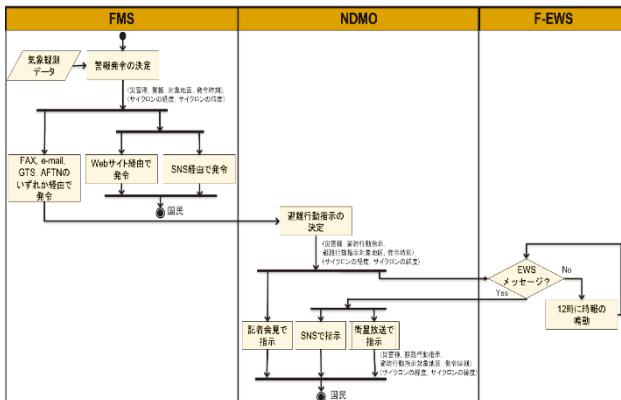


図 6: 電力供給 viewpoint によるモデル

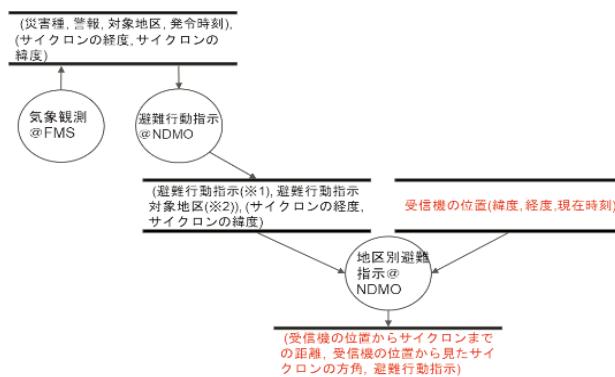


図 7: F-EWS で用いるデータ構造

図 6 は、図 2 に「F-EWS」列が追加されている。衛星を経由した避難行動指示信号を送信する操作を行うと、受信機への配信と、それと同時に従来の作業でおこなっていた SNS 投稿も行う。また EWS メッセージが送信されていない日常は、昼 12 時に時報を流すことで、正常動作監視を行う。つまり、サイクロン上陸時には、これまでと同じ手数の操作で従来のメディアと衛星信号受信機の両方に避難指示を送ることができる。そして平時には日常メンテナンス作業を最小に抑える工夫がされていることがわかる。

さらに図 7 では、「F-EWS」の導入により赤文字でしめされたデータが、従来のそれに追加し取り扱える部分である。具体的には、衛星からのメッセージを受け取った際、地区ごとの避難指示とともに(GNSS を利用していることで)受信装置が設置されている場所が把握できる。これにより避難指示を受信した際、それが現在地に相当しているかどうかを自動的に判別し出力する。

これらのモデルは、現行動作中システムの作業手順を複雑化・煩雑化することなく、より効率的・効果的な情報配信を可能にしていることを示していると言える。

5.3 Function Model のデザイン開始

開発したシステムが導入された後、現場で期待通りの成果を上げるかどうかは、「運用と機能と実装の整合」の viewpoint でデザインした運用モデル、つまりユーザーモデルの目指す姿を、完璧かつ正確に実現する機能モデルを設計できるかどうかにかかっている。機能仕様の作成、特に機能コンポーネントの整備に際し、直感的に必要な機能要素を集めがちだが、我々が採用した世界標準は、論理的に機能を整備する方法を示している。本書では、そのスタートポイントの実践例を紹介するにとどめるが、論理的に機能コンポーネントを整備する出発点の説明には十分である。

5.3.1 ユーザーモデル

F-EWS を導入した際のユースケースをユーザーモデルで用意した。具体的には、ユースケース図による静的モデル(図 8)とそれぞれのユースケースでユーザーがどのようなウォークスルーを体験するかをフローチャートで表現した動的モデル(図 9 および図 10)である。図 9 および図 10 は、それぞれ図 8 で示した主たる 2 つのユースケース「EWS メッセージを送信する」と「EWS メッセージを放送する」のそれぞれのウォークスルーである。前者は、NDMO が避難指示の放送のために QZSS の地上局へデータを送る作業であり、後

者は、QZSS 経由で被災者に警報を流すそれである。

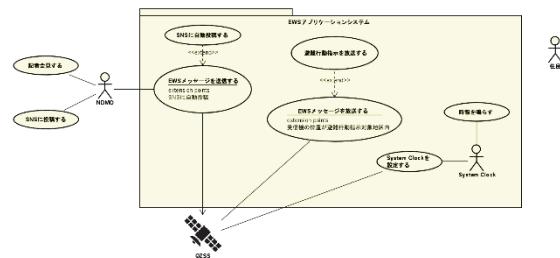


図 8: F-EWS 導入時のユースケース

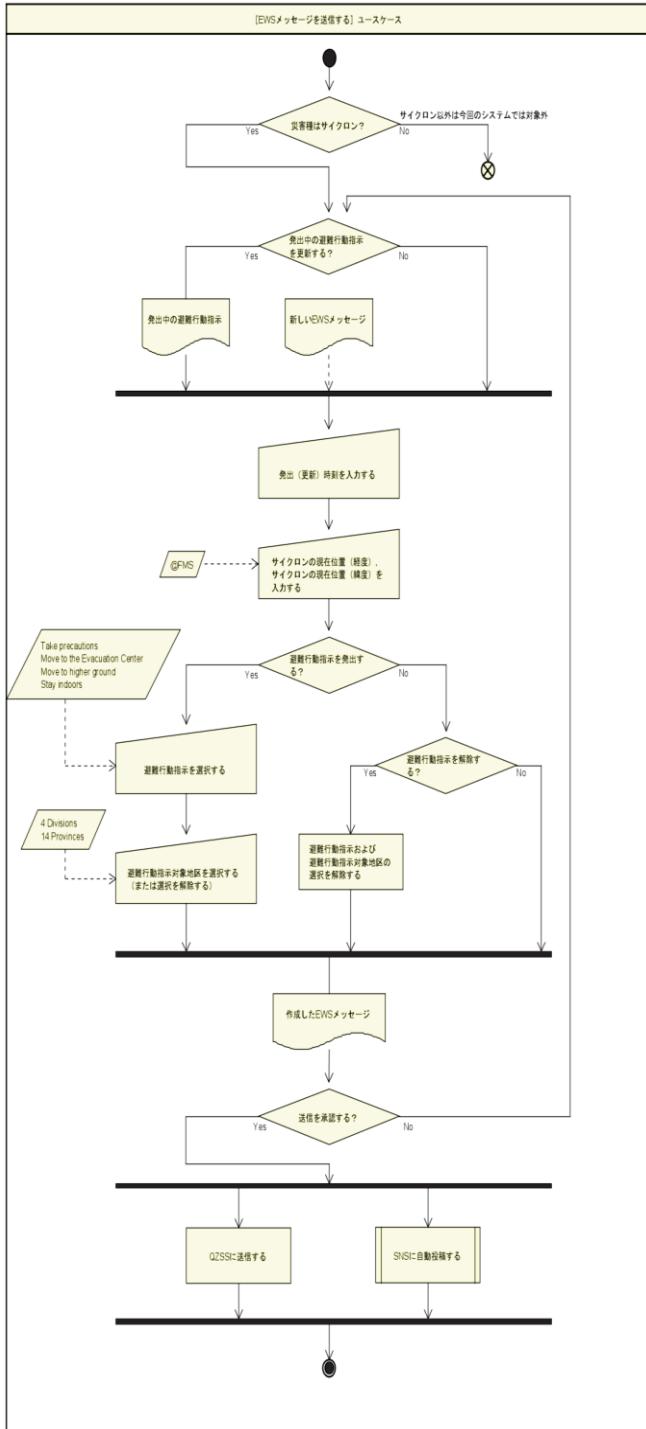


図 9: 「EWS メッセージを送信する」のウォームスルーパン

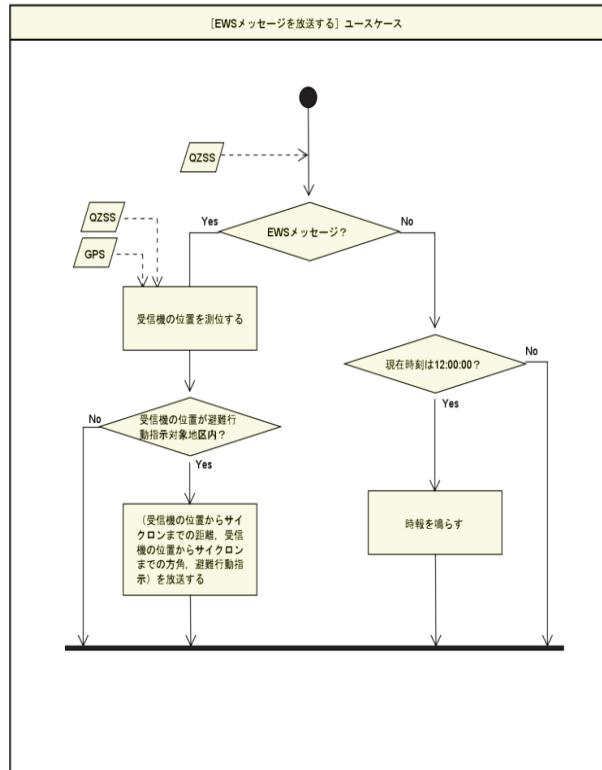


図 10: 「EWS メッセージを放送する」のウォームスルーパン

5.3.2 最上位機能コンポネント

15288 に従うと、機能(Function)とは、プロセスの特殊系であり、具体的には入出力を持つだけでなく何らかの対象を変化させる。最上位に位置する機能コンポネント群は、システムの利用者からその挙動が確認できるものであり、これがシステムに対する Validation の対象となる。

つまり、変化する対象はシステムの利用者が認識できるものであり、変化の前と後のそれぞれの状態が評価の対象となる。これに従い、前節にフローチャートで示した動的ユーザーモデルを参照し、「どのタイミング」で「何が」「何に変化」すると、構想したウォームスルーパンが実現するかを特定した。その結果を図 11 に示す。

図 11 は一般に広く用いられている State Machine 図を使って表現しているが、長方形で示すすべてが Function の起動により変化する対象であり、今回は開発するシステムの状態、もしくはシステムを構成する部分の状態である。従って、矢印の箇所に対象を変化させる Function が必要であることがわかる。この後、最上位機能を分解し、必要なすべての Function を特定する作業に移行するがその際も同様に、どのタイミングで「何が」「何に変化」するかを焦点に作業を行う。

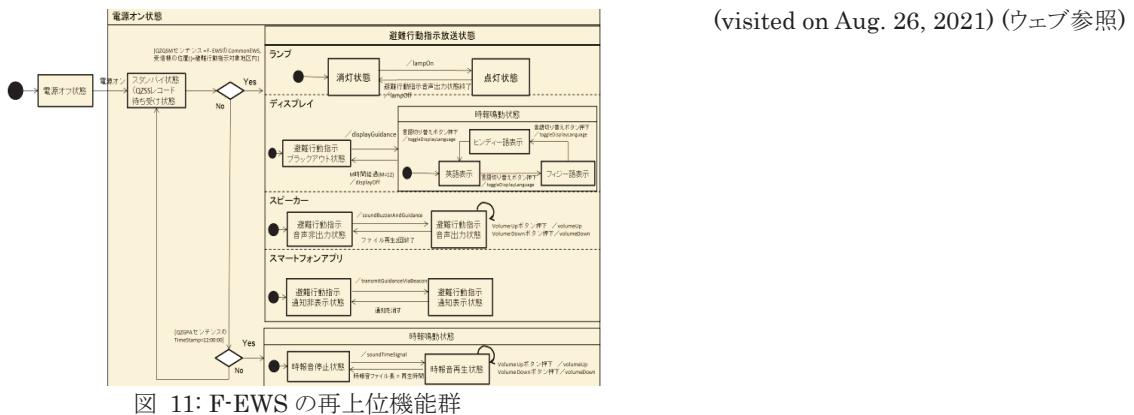


図 11: F-EWS の再上位機能群

6 おわりに

本書では、システム・アーキテクチャ記述標準(ISO / IEC / IEEE 42010)と、システムズエンジニアリング・プロセス標準(ISO/IEC/IEEE 15288)に準拠し、システム・アーキテクチャをモデルでデザインした実際の事例を紹介した。紙面の都合上、最上位の機能モデルの提示までになったが、今後開催される別の研究会で、機能モデルの詳細化とそれに対応する物理モデル(実装モデル)を発表する予定である。

謝辞 本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」(管理法人:防災科研)と、産業技術大学院大学 国際共同研究事業によって実施した。

参考文献

- [1] Systems And Software Engineering - Architecture Description, ISO/IEC/IEEE 42010, 2011.
- [2] 嶋津恵子, 橋田要一, “巨大災害発生時の急性期における減災と救命のための情報集配信システム構想, METHANE レポートの電子テキスト配信化による準天頂衛星安否確認サービスの有効利用 -,” 測位航法学会ニュースレター, vol.V, no. 3, pp. 3-6, Sep. 25, 2014. (日本語論文誌)
- [3] 小滝昇, “東日本大震災 緊急対策本部の 90 日間 –政府の初動・応急対応はいかになされたか–,” ぎょうせい, Aug. 20, 2013. (日本語著書)
- [4] Keiko Shimazu, others, “Emergency Warning Services via GNSS Signals,” IEEE Aerospace Conference, Vol.4, pp. 214-220, Big Sky, Montana, USA, Mar. 8-14, 2020. (conference proceedings)
- [5] Common Alerting Protocol, OASIS Standard, <http://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2.html>. (visited on Aug. 26, 2021) (ウェブ参照)
- [6] 台風・ハリケーンの強さ比較, <https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/data/trmmxge/images/TyphoonLevel.pdf>.

脳賦活化実験を中心とした脳画像解析

田 部 井 賢 一*

Neuroimaging analysis with a focus on brain activation experiments

Ken-ichi Tabei*

Abstract

This paper will cover various types of brain imaging analysis, with a focus on brain activation experiments. The paper will look at the differences in use between clinical and basic research, principles and methodologies, and interpretation of results.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging (MRI), Voxel-Based Morphometry, Diffusion Tensor Imaging , fMRI, resting state-fMRI

1 脳画像解析

本論文では、脳賦活化実験を中心に、各種の脳画像解析を取り上げる。臨床研究と基礎研究での使い方の違い、原理と方法論、そして結果の解釈などについてみていくたい。

脳画像は、形態画像と機能画像に分けることができる。また時間分解能、空間分解能、侵襲性に違いがある。脳賦活化実験では、当然ながら機能画像が重要である。しかし、機能画像は一般的に画素数が少なく、空気などが近接する部位にノイズが多い。そのため、課題により賦活した脳領域を特定するために同一参加者の形態画像を同時に撮像する場合が多い。

臨床研究において、形態画像には、脳の萎縮や脳梗塞・脳出血など、脳の形状を調べる撮像方法として、CT (Computed tomography: コンピュータ断層撮影) や、MRI (Magnetic resonance imaging: 磁気共鳴画像) がある。機能画像には、脳血流や代謝など、脳内の活動を調べる撮像方法として、脳波 (Electroencephalogram: EEG)、SPECT (Single photon emission computed tomography: 単一光子放射断層撮影)、PET (Positron emission tomography: 陽電子放射断層撮影) がある。

基礎研究において、形態画像として、CT はほとんど使われず、MRI が主として使われる。機能画像には、fMRI (機能的 MRI)、PET、脳磁図 (Magnetoencephalography: MEG)、近赤外線スペクトロスコピー (Near-infrared spectroscopy: NIRS) などがある。

神経疾患などの患者を対象とした場合、PET は酸素消費量などのさまざまな代謝系情報を画像化することができ、ニューロンの活動をもっともダイレクトに反映する。しかし、

SPECT と同様に放射性薬剤を体内に投与するため、研究目的のためだけに使用することは難しい。脳磁図は限られた施設しか保有しておらず、近赤外線スペクトロスコピーは臨床での有用性は定まっていない。脳波は臨床で広く用いられ特にてんかんの診断に必須であるが、脳賦活化実験に用いられることはまれである。その点 fMRI は、多くの医療機関等にすでにある装置をそのまま用いることができ、撮像法や解析法も後に述べるようにほぼ確立している。次節では MRI を中心に取りあげる。

2 原理と方法論

MRI は、撮像パラメータを変えることで形態画像、機能画像ともに撮像することができる。また、放射線被曝がないため、連続的に長時間のデータ収集が可能であり、同一参加者で繰り返し撮像を行うことができる。MRI は、空間、時間的に一定である静磁場内に置かれた人体に電磁波を照射し、磁場中に置かれた原子核が電磁波を吸収する現象である核磁気共鳴を起こす。その後人体より MR 信号として検出される信号から、単位体積あたりに含まれる水素原子核の密度と、縦緩和 (T1) や横緩和 (T2) などの状態を、繰り返し時間 (repetition time: TR) やエコー時間 (echo time: TE) 等の値を調整して画像化する。CT と比べた MRI のメリットは、1) 磁気を用いて撮像するため、被曝しない、2) 空間分解能がよい、3) 造影がなくとも、パラメータ変更により血管走行・血流などを画像化できる、4) 任意の切断面の画像が得られるなどがある。一方デメリットは、1) 体内のポルトやペースメーカーなどの磁性体のため検査ができない場合がある、2) 撮像音が大きい、3) 撮像時間が長い、4) CT に比べて高価であるなどである。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

臨床でよく使われる撮像方法は、T1 強調画像、T2 強調画像、FLAIR 画像、拡散強調画像である[1-4]。それぞれ特徴を以下に述べる。

T1 強調画像は、脂肪を高信号(白く)、水を低信号(黒く)に描出する。T2 強調画像は、脂肪を低信号、水を高信号に描出する。FLAIR 画像は、水を抑制した T2 強調画像であり、脳室周囲や白質病変、陳旧性病変などの抽出に優れている。拡散強調画像は、水分子の拡散運動を画像化し、超急性期の脳梗塞など拡散が低下した領域が高信号として描出される。

MRI の形態画像解析には、上述した T1 強調画像、T2 強調画像、FLAIR 画像、拡散強調画像以外に VBM (Voxel Based Morphometry: 画素に基づいた脳形態計測) や DTI (diffusion tensor imaging: 拡散テンソル画像、神経線維束の描出画像) があり、機能画像解析には後述する fMRI や rs-fMRI (resting-state fMRI: 安静時 fMRI) に加え、ASL (Arterial spin labeling: MRI 装置を用いた血流画像) などがある。

3 解釈、特徴と限界

本節では、各画像解析についてまとめ、結果の解釈、そして各画像処理の特徴と限界についてみていく。

3.1 VBM (Voxel-Based Morphometry)

VBM の原理

臨床場面での形態画像の評価には、目視による定性的な評価や、関心領域の体積を計測することによる定量評価がある。関心領域の体積の評価では、ある特定領域をトレースし、囲まれたボクセル数をカウントする方法が行われてきた。脳の構造物の境界が明確な場合には正確な計測が可能であるが、境界が不明確な場合は、用手的にトレースすること自体が困難である。また、関心領域では、研究対象となる脳領域をあらかじめ決めてから測定をするため、解析の対象とする部位が限定される。それに対し VBM は、特定の領域ではなく全脳を対象にした灰白質・白質の密度や体積をボクセル毎に探索的に評価する手法である。自動処理によって客観的に全脳を対象とすることが可能である。しかし、多くの処理が自動で行われるため、ソフトの計算アルゴリズムの理解や解析結果の解釈が不十分になってしまふおそれがある。

VBM に必要な T1 強調画像は、5~10 分程度の比較的短い時間で灰白質・白質コントラストの高い三次元画像を得ることができる。T1 強調画像を用いることで脳の形状変化を統計学的に調べられ、客觀性や再現性が高い。

VBM での解析法

VBM は、MRI データから、信号強度の不均一性の補正、灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出、解剖学的標準化、平滑化を行った後に統計学的の解析を行う、形態画像

の解析方法のひとつである。現在世界で最も用いられている解析ソフトは、機能画像の解析と同様に、SPM (statistical parametric mapping) である[5]。SPM を用いた VBM 解析の詳細な手順に関しては他誌を参照されたい[6]。VBM は、個人により大きさも形も違う脳の情報を標準脳座標に合致するように変形し、形態的個人差をなくしたうえで、ボクセル単位で統計解析を行なっていく。

VBM の軸となっている灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出と、解剖学的標準化で用いられる脳形態の変形手法についてみていく。

灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出の方法としては、T1 強調画像における信号値の強度が、灰白質・白質・脳脊髄液で異なることを利用して、閾値による脳の構造物の分離を行う。しかし脳の場合は、静脈などが灰白質と同等の信号になることがあるため、閾値による脳の構造物の分離だけでは不十分である。SPM では、信号受信コイルの感度の不均一などに起因する画像の信号むらを改善し、頭蓋骨や頭皮組織等が存在する確率をあらかじめ計算した画像を個人脳に重ね合わせ、組織ごとの信号分布を推定・分離する処理が行われている。

解剖学的標準化は、灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出した画像を、基準となる画像に形態的に合わせ込む処理である。解剖学的標準化により、個人差をなくし、脳体積の大小をボクセル密度によって表すことで、同一空間座標系の個人間、個人内の脳体積の比較が可能となる。解剖学的標準化では、個人の脳を基準となる同一の大きさの脳に変換する。これは、統計処理にかけるために不可欠な処理である。SPM の解剖学的標準化は、モントリオール神経学研究所のテンプレートを用い、個人の脳に対して線形・非線形変換を行う。SPM のテンプレートは若年健常者から作成されているため、認知症高齢者など萎縮のある脳を灰白質・白質・脳脊髄液などに分割化するには向かない可能性がある。これを解決するためには、自施設のデータから基準となる画像を作成するのもよいかもしれない。非線形変換の精度であるが、非線形変換により個人の脳を基準となる画像に完全に合致させると、すべての脳が同一の形態となり、個人差がなくなってしまう。このため、VBM における解剖学的標準化は、全体を大まかにあわせるにとどまっている。SPM では 2 段階の処理が行われる。まず頭部画像全体を利用して、大まかな空間的位置とサイズ合わせの処理のパラメータを最適化し、計算範囲を脳領域に限定して再度パラメータの最適化を行う。次に詳細な局所的な形態変形手法として、DARTEL (Diffeomorphic anatomical registration through exponentiated lie algebra) という非線形変換手法が用いられる。

灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出と、解剖学的標準化により、各個人の脳画像は位置や形態などが標準座

標系に描い、個人間の各空間的位置が同一になり、各ボクセルにおいて統計解析を行うことが可能となる。

VBM のメリットは、1) 目視や関心領域よりも客観性がある、2) 関心領域だけでなく全脳の解析が可能である、3) 統計手法を用いて脳領域を評価できることである。

患者内・患者間の脳の形態を比較する場合、体積の絶対値を用いるべきか、患者ごとの全脳体積や灰白質体積で補正した値を用いるべきかについての議論がなされている。先行研究を十分に吟味する必要があるが、検証したい仮説により補正すべきなのか、補正するとすればどのような補正が適切かを検討する。例えば、脳萎縮の検討では頭蓋内容積を用い、関心領域の検討では全脳体積や全灰白質体積を用いたりする。

VBM の限界

VBM にも測定精度や解析方法における限界がある。MRI データを使用しているが、空間解像度の問題から微小な構造が区別できなかつたり、コントラストの問題から隣接する構造物の区別が難しい場合がある。また、パラメータの設定次第では様々な結果のばらつきが生じ、バイアスが全くない手法とは言い切れない。

例えば、扁桃体の亜核はそれぞれ異なる機能や神経接続を持っているが、VBM での区別は難しい。7T の MRI の臨床応用もされつつあるため、今後は扁桃体の亜核なども精度良く解析可能となると期待される。

統計処理においては、空間解像度と同様に、扁桃体などの小さな構造物を正確に空間配置することが難しいため、偽陰性を生じさせる場合がある。また、VBM では全脳におけるボクセルごとに統計学的検定を行うため、検定回数が数十万～百万回以上になり、隣り合うボクセル間では相関が強いため、偽陽性が生じる可能性もある。

VBM の解析では、精度の低下を防ぐため、1) 撮像中の体動などのアーチファクトが MRI データに反映されていないか、目視で確認する、2) 灰白質・白質・脳脊髄液成分の自動分離抽出や解剖学的標準化が適切に行われているか一例一例目視で確認する、3) 脳卒中患者の梗塞や出血、脳腫瘍部位、高齢者の白質病変などの病変部位が誤って灰白質として抽出されていないかを目視で確認することは手間がかかるが重要である。

3.2 DTI (Diffusion Tensor Imaging)

DTI の原理

大脳白質は、有髓神経線維から構成され、脳領域間の情報伝達を担う。白質には左右の大脳半球間を連絡する交連線維、同側の各皮質を結ぶ連合線維、大脳皮質と間脳などの部位を結ぶ投射線維に大別される。MRI では、水分子にあるプロトンの信号から画像を形成する。プロトンは、拡散と呼ばれる無秩序な熱運動によってあらゆる方向に動く。白質

内では軸索の走行によって拡散が制限される。これを異方性拡散と呼ぶ。この原理を応用し、大脳白質の神経線維束を画像化する手法が DTI である。拡散強調画像を応用した解析手法には、QSI (q space imaging) や DKI (diffusion kurtosis imaging) などもある。QSI や DKI については他誌を参照されたい[7]。

DTI 画像の解釈

DTI は、大脳白質の神経線維の状態や、脳の領域間結合の状態を推定することができる。そのため、組織傷害に伴う白質の変性評価、統合失調症をはじめとする精神疾患の病態解明などに利用されている。DTI は、生体における複雑な拡散環境を解析する数学的手法を用いて、平均拡散能 (mean: diffusivity: MD) や fractional anisotropy (FA) などのパラメータにより、絶対値として評価する。FA はよく使われ、各ボクセルにおける水拡散の異方性を表し、等方性に近い水拡散では FA は低く、異方性の高い水拡散の場合では FA は高いという特徴がある。

DTI のパラメータ

DTI の画像データの取得には、拡散強調画像と同様に、EPI (echo planar imaging) を用いる。MR 装置の座標系 X, Y, Z に対応した 3 つの固有値 (eigenvalue) と各固有値に対応する各方向の 3 つの固有ベクトル (eigenvector) のため、最低 6 軸必要となる。さらに DTI では拡散係数 (b-factor) = 0 の画像も必要であり、計 7 軸のデータが最低限必要である。軸数を増加すると撮像時間が延長するが、軸数が多いほど拡散テンソル情報を高い精度で取得できるため、最近では方向解像度を上げたデータ (high angular resolution diffusion imaging: HARDI) が多い。

DTI の解析では、拡散テンソルの固有値と固有ベクトルから、固有値に基づいた見かけの拡散係数である ADC 値や拡散異方性である FA 値などの指標が用いられる。ADC 値、FA 値それぞれを画素値として脳にマッピングした画像を ADC マップ、FA マップと呼ぶ。ADC マップは、脳脊髄液などで拡散係数が高いため信号値が高い。FA マップでは白質が灰白質にくらべ異方性が高いため、信号値が高い。限りなく等方性拡散に近い場合は FA 値は最小値である 0 に近づき、異方性拡散が強ければ最大値である 1 に近づく。皮質脊髄路や脳梁は FA = 0.7 前後と他領域に比べ高値である。病変部の神経線維が障害されることにより、拡散異方性が変化し、病変部は FA 値が低下したり上昇したりする。アルツハイマー型認知症では、FA 値が上昇するという報告がある[8]。

3 つの固有値で最大の固有値の固有ベクトルである第 1 固有ベクトルの x, y, z 各成分の絶対値に FA 値を乗じたものを RGB 各成分の値とすれば、色から神経線維束の走行方向が推定できる。通常は X 軸 (左右) は赤、Y 軸 (前後) は緑、Z 軸 (上下) は青で表示される。

拡散テンソルの情報から隣接ボクセル間の結合関係を推

定し、神経線維束の走行を DTT (Diffusion tensor tractography: 拡散テンソルトラクトグラフィー)として表示することも可能である。ある領域に神経追跡の開始点 (seed) を任意の大きさの ROI として設定し、固有値と固有ベクトルを計算することで、ROI 内の拡散テンソルの方向が決定され、最大となる方向に沿って追跡する。DTT は脳腫瘍と神経線維路との位置関係を把握するために、脳神経外科手術のナビゲーションなどに利用されている。

DTI は、交叉線維部の抽出に限界がある。複数の神経線維が混在すると等方性拡散に類似した解析結果になるため、神経線維が途切れたり、まったく描出されないこともある。そのため確率的トラクトグラフィなどの解析手法が推奨される。

3.3 fMRI

fMRI の原理

fMRI は後述のように、血液中の反磁性である酸素化ヘモグロビンと、常磁性である脱酸素化ヘモグロビンの違いを利用して脳神経活動を反映する画像を得る計測技術である。血行動態の変化を基盤にしている点で PET と同類の測定法である。脳の電気活動に付随して局所的に血流等に変化が起こり、様々な脳機能に対応した脳活動は脳内の様々な領域に別れて起こるという前提に成り立つ。fMRI の研究は、PET の研究を追試するような段階を経て、ほぼ同じような結果を示すことで妥当性を担保してきた。また、脳血流の変化は、神経細胞の活動に対して 4~5 秒遅れて生じるため、時間分解能はそれほど高くない。しかしミリメートル単位で脳活動の空間分布を捉えることができるため、非侵襲的な脳機能マッピング法として機能解析の検討に欠かせないツールになっている。rs-fMRI に対して、課題遂行型 fMRI と呼ばれることがある。

fMRI の原理を示す。血液中には、酸素と結合したヘモグロビン (酸素化ヘモグロビン, oxy-Hb) と、酸素を放出した後の状態のヘモグロビン (脱酸素化ヘモグロビン, deoxy-Hb) が存在する。酸素化ヘモグロビンは反磁性体であり、磁場の中に置くと磁場の方向とは反対の方向に磁化されという性質をもつ。すなわち、磁場に影響を与えない。それに対し、脱酸素化ヘモグロビンは常磁性体であり、磁場を加えたときに磁場の方向にわずかに磁化する。その結果、磁場を歪め、MRI の信号を弱める。神経活動が高まると酸素が消費され、動脈中の酸素化ヘモグロビンの濃度が減少し、脱酸素化ヘモグロビン濃度が増加する。すると血管は拡張し、酸素化ヘモグロビンが流入する。その時、酸素化ヘモグロビンが過剰に供給されるため結果的に、最初の状態に比べ酸素化ヘモグロビンの濃度は上昇し、脱酸素化ヘモグロビンの濃度は減少する。それにより生じた MRI 信号の変化を捉えたのが fMRI である。これは BOLD 信号 (Blood oxygenation level dependent) と呼ばれる。

fMRI の測定

fMRI の測定は、通常の MRI 測定とは異なり、同じ測定を数分から数十分続けて行い、その間、任意の時間に参加者に脳活動を促す課題を与え、その脳活動によって引き起こされる信号の変化から画像化する。拡散強調画像と同様に EPI 法が用いられ、fMRI では磁化率の信号変化の観察に最も適しているグラディエントエコー (Gradient echo: GE) EPI 法が用いられる。EPI で撮像し、スライス 1 枚が 50~100ms でなされ、脳全体では 2~3 秒かかる。EPI で測定された画像は脳内活動を敏感にとらえることができるが、詳細な解剖学的情報が少ないため、T1 強調画像などの高解像度の形態画像を同時に撮影して、EPI 画像と重ね合わせることにより正確な脳部位を同定できる。

結果の妥当性のために課題は繰り返し測定する必要がある。fMRI は被曝がないため、参加者の協力さえ得られれば何回でも撮像可能である。fMRI は神経細胞の活動による電気活動ではなく、付随して起きる血行動態の変化に基づいている。そのため MRI の信号そのものは速く変化するが、血行動態の変化が秒単位の応答時間を必要とするため、fMRI の応答時間は数秒と遅い。課題刺激を止めた後でも信号の活性化はすぐには消えず、遅れて減衰を示す。

fMRI の解析

fMRI の解析は、MRI 機器で得られた画像をそのまま解析に用いるのではなく、SPM などを用い、前処理や統計処理を行う。前処理には大きく分けて、リアラインメント (realignment), コレジスター (coregister), 解剖学的標準化 (spatial normalization), 平滑化 (smoothing) などがある。詳細は他誌を参考されたい [9, 10]。

リアラインメントは、頭位置補正 (head motion correction) により画像の位置合わせを行う。頭位置補正是、平行移動 (x,y,z) と回転 (pitch, roll, yaw) からなる 6 つのパラメータを持つ剛体変換から、撮像中にずれてしまった位置を補正する。参加者は撮像中に頭や身体を動かさないようにしてもらうが、多くの場合ずれてしまうため、頭位置補正が必須である。

コレジスターは、機能画像と形態画像の位置合わせを行う。機能画像は画素数が少なく、空気などが近接する構造では綺麗な画像にはならない。そのため、機能画像と形態画像を合わせることで、詳細な空間的位置・形態・座標系をもたせる。画素数の少ない画像を統計処理し、得られた有意な領域を形態画像に重ね合わせて表示する。

解剖学的標準化では、空間的に位置・サイズ・形態の合わせ込みを行う。参加者間の同一座標のボクセルを脳の同一部位とみなし、参加者間の比較を可能するために、標準脳画像へのボクセルの位置あわせを行う。解剖学的標準化はいくつかの方法がある。SyN[11] と SPM で用いられる DARTEL が良好な精度を有していると報告されている [12]。

平滑化は、個人内のボクセル値の過度な変動を抑えるために行われる。

統計解析では、一般線形モデルが使用される。一般線形モデルは、説明変数 X と従属変数 Y の間の関係を線形式で表現するモデルである。

fMRI の実験デザインと解析法

実験デザインにはブロックデザインや event-related デザインがある。ブロックデザインは、参加者に定期的に課題が与えられ、例えば課題実行と安静などを繰り返し、それに伴う脳活動を記録する実験デザインである。課題遂行能力にもよるが、参加者が患者の場合は、event-related デザインよりもブロックデザインの方が実施しやすい。

fMRI の解析法では、群間比較のための固定効果と変量効果の双方を含むモデルである混合効果モデルや、事前の仮説無しに対象を解析するデータ駆動型の解析として独立成分分析、脳部位間の連関性を調べるためのネットワーク解析などがある。混合効果では、個体内でモデルをあてはめた後に個体間の比較を行うという 2 段階の方法が用いられる。独立成分分析は、独立性のみを仮定して解析を行い、例えば心拍や呼吸などのアーチファクトと課題に関連する活動を分離する。ネットワーク解析は、空間的に配置された脳部位間の関係を表す機能的連関性や実効的連関性がある。機能的連関性は時間的な相関を表し、実効的連関性では因果的な関係を表す。これは解剖学的に繋がっていない領域間でも起こりうる。ほかには、安静状態 (resting-state) があり、健常者や患者別に default mode network (DMN) を参照して、相対的な状態を把握することもできる。

fMRI の解析での留意点

機能画像の統計処理には、万単位の各ボクセルに対して統計検定を繰り返すことで生じる多重比較の問題が伴う。特に本来は活動がないのにもかかわらず活動があるとされてしまう偽陽性が問題となる。偽陽性の発生を抑えるために、任意の厳しい統計閾値を設定するか、多重比較補正の理論に基づいて算出された補正閾値を用いる。任意に閾値を設定する場合には、0.5% や 0.1% の有意水準を採用することが多い (uncorrected の場合など)。ソフトウェアに実装されている多重比較補正法を適用した場合は 5% が採用されることが多い (FDR, FWE の場合など)。また同じ部位で有意な活動がみられたボクセル数であるクラスタサイズの設定も重要である。クラスタサイズの設定により、アーチファクトによる見かけ上の活性化部位を除くことが出来る。クラスタサイズは、大きい数値を取るほど結果の確実性は増すが、数は少ないながらも意味のある活性化部位を排除しかねない。クラスタサイズは最低でも 2 枝が必要で、一般的には 20 もしくは 30 以上に設定されることが多い。また、多重比較補正理論を用いて有意水準 5% のサイズを超えるクラスタを意味のある活動として見なすなどの方法がある。論文を読み進める際にも、

自ら実験する上でも、統計閾値を確認したうえで結果や解釈の妥当性を慎重に判断する必要がある。

小さい信号の変化を問題にする fMRI は、通常の MRI 以上に参加者の協力が必要である。頭や体の動きを最小に抑えなければいけない。ただ閉所で大きな撮像音という不快な環境の中で fMRI 研究がうまくいくためには、患者を対象とした場合も積極的な協力が不可欠である。

3.4 rs-fMRI (resting state-fMRI)

rs-fMRI の原理

rs-fMRI は、安静時に運動に関連する脳領域内に存在する BOLD 信号の変動が、運動関連ネットワークとは異なる脳領域で時系列的に相關したことや [13]、認知負荷の高い課題を行っているときよりもむしろ安静時に神経活動が高まる脳領域を同定したこと [14] などにより見出されてきた。さらにアルツハイマー型認知症の脳内ネットワークの異常が rs-fMRI から明らかにされたことで、rs-fMRI の研究が広まった。

データ取得に関しては、fMRI と同様、グラディエントエコーの EPI 撮像を使い、撮像時間は 5~10 分である。繰り返し時間は 2~3 秒かけて全脳を撮像した研究が多い。具体的な撮像時の条件としては、閉眼、開眼固視点あり、開眼固視点なしがある。閉眼では開眼よりも DMN の結合が低くなる場合があり、条件を統一しておく必要がある。また終了後には「スタンフォード眠気尺度」などで撮像中の眠気を記録しておくことが一般的である。

rs-fMRI の解析と特徴

前処理に関しては、fMRI 同様、スライスタイミング補正や撮像中の頭部の位置ずれの補正を行う。統計解析に関しては、ROI-to-ROI や Seed-to-voxel などの関心領域を用いた一般線形モデルや多変量解析、独立成分分析などの関心領域の用いない探索的手法、機械学習による判別解析、グラフ理論解析などがある。

rs-fMRI は、fMRI のように感覚刺激の提示、反応記録などのプログラミングが必要ではなく、参加者の課題に対するパフォーマンスが結果の解釈に影響しないため、臨床場面での測定法として期待されている。rs-fMRI は施行が簡便であり被験者の負担も少ない。結果では、さまざまな名称を冠したネットワークが表示される。解釈においては、それらが臨床症候の何と対応しているのかを常に念頭に置く必要がある。

4 脳画像研究の結果が示すもの

これまでに、MRI を中心として、VBM、DTI、fMRI、rs-fMRI をみてきた。それぞれ、撮像アーチファクト、交叉線維部の抽出の限界、多重比較の偽陽性の問題など、研究を進めていく上で注意を要する項目が存在する。研究参加者からの積極的な協力をもらい、できるだけノイズのないきれいな

データを撮像し、そして統計処理を理解し、結果の正当性を確保する必要がある。また機能画像においては、脳画像のみの解釈は危険であり、必ず、パフォーマンスや生理的変化をもとに結果を解釈する必要がある。

これまでみてきたように、機能画像研究はコンピュータの発展なくしては存在しない。以前には想像するほかなかった脳の活動や線維連絡が可視化された美しい画像は分かりやすく、大変魅力的である。しかし、それらはコンピュータの中に存在するバーチャルなものであることを忘れてはならない。特に、薬剤や訓練などによる介入効果を示すのは、あくまでパフォーマンスや生理的変化であり、脳機能画像ではない。脳機能画像は効果をもたらした脳内メカニズムを明らかにするために用いられる。言い換えると脳機能画像で所見が得られたからその治療法が有効ということにはならない。脳機能画像の特徴と限界を知ったうえで、結果を解釈する必要がある。

本稿は、『医療関係者のための脳機能入門』[15] 第7章 脳賦活化実験をもとに、加筆修正したものである。

参考文献

- [1] 青木茂樹、相田典子、井田正博、大場洋、"よくわかる脳MRI," 学研メディカル秀潤社、東京, 2012.
- [2] 高橋昭喜、"正常解剖," 秀潤社、東京, 2005.
- [3] 野崎園子、安藤久美子、石藏礼一、"一目でわかる!脳のMRI 正常解剖と機能," 学研メディカル秀潤社、東京, 2015.
- [4] 前田正幸、高橋雅士、"新頭部画像診断の勘ドコロ," メジカルビュー社、東京, 2014.
- [5] Ashburner J., Friston K. J., "Voxel-based morphometry--the methods," Neuroimage, vol.11, no.6 Pt 1, pp.805-821, Jun, 2000.
- [6] 根本清貴、青木茂樹、笠井清登、"すぐできるVBM 精神・神経疾患の脳画像解析 : SPM12 対応 : DVD付," 学研メディカル秀潤社、東京, 2014.
- [7] 高原太郎、"MRI 自由自在," メジカルビュー社、東京, 1999.
- [8] Douaud G., Jbabdi S., Behrens T. E., Menke R. A., Gass A., Monsch A. U., Rao A., Whitcher B., Kindlmann G., Matthews P. M., Smith S., "DTI measures in crossing-fibre areas: increased diffusion anisotropy reveals early white matter alteration in MCI and mild Alzheimer's disease," Neuroimage, vol.55, no.3, pp.880-890, Apr 1, 2011.
- [9] 菊池吉晃、妹尾淳史、安保雅博、渡邊修、米本恭三、"SPM8 脳画像解析マニュアル : fMRI, 拡散テンソルへの応用," 医歯薬出版、東京, 2012.
- [10] 福山秀直、石井徹、"fMRI: 原理と実践," メディカル・サイエンス・インターナショナル、東京, 2016.
- [11] Avants B. B., Epstein C. L., Grossman M., Gee J. C., "Symmetric diffeomorphic image registration with cross-correlation: evaluating automated labeling of elderly and neurodegenerative brain," Med Image Anal, vol.12, no.1, pp.26-41, Feb, 2008.
- [12] Klein A., Andersson J., Ardekani B. A., Ashburner J., Avants B., Chiang M. C., Christensen G. E., Collins D. L., Gee J., Hellier P., Song J. H., Jenkinson M., Lepage C., Rueckert D., Thompson P., Vercauteren T., Woods R. P., Mann J. J., Parsey R. V., "Evaluation of 14 nonlinear deformation algorithms applied to human brain MRI registration," Neuroimage, vol.46, no.3, pp.786-802, Jul 1, 2009.
- [13] Biswal B., Yetkin F. Z., Haughton V. M., Hyde J. S., "Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI," Magn Reson Med, vol.34, no.4, pp.537-541, Oct, 1995.
- [14] Raichle M. E., MacLeod A. M., Snyder A. Z., Powers W. J., Gusnard D. A., Shulman G. L., "A default mode of brain function," Proc Natl Acad Sci U S A, vol.98, no.2, pp.676-682, Jan 16, 2001.
- [15] 佐藤正之、田部井賢一、"医療関係者のための脳機能入門," 北大路書房、京都, 2020.

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～

中鉢 欣秀*・閻莉玲*・嵩下奈都美*・星野圭亮*・
森浩貴*・保田義則*

Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2021

Yoshihide Chubachi*, Rirei En*, Natsumi Dakeshita*,

Keisuke Hoshino*, Hiroki Mori* and Yoshinori Yasuda*

Abstract

Agile development has become widespread in the field of software development in recent years. Even in university education, it is required to develop human resources who can handle agile development. Since the beginning of enPiT, the authors have been conducting agile development personnel through project-based learning. In this presentation, we will introduce the projects that the authors are carrying out in 2021. The practice in PBL for training agile development engineers is described.

Keywords:

Agile Development, Agile Development Engineer, IT Engineer Education, PBL

1 はじめに

2012 年度に開始した enPiT(情報技術人材育成のための実践教育ネットワーク形成事業)は、2016 年度からの第 2 期 enPiT に引き継がれ、2020 年度に完了した[1]。東京都立産業技術大学院大学(以下、AIIT)もこれに参加し、開始当初よりアジャイル開発に対応する人材の育成を主眼とした教育プログラムを実施した。

特に、チームによるソフトウェア開発におけるアジャイルの向上[2]、仮想化技術やクラウド型ツールを活用することによるチーム開発の円滑化[3]をテーマに、コンピテンシー(高業績者に共通してみられる行動特性)を獲得するための教育手法について研究し、現在においても継続して実践している。

第 1 期の enPiT を開始した時点では、我が国の大学教育において本格的にアジャイル開発技術者育成のために PBL を実施している事例は殆ど無かった。しかしながら、今日ではアジャイル開発をテーマとした PBL (Project-Based Learning)型教育は数多く見られるようになった。

本発表では、2021 年度に本学で取り組んでいる PBL を事例として紹介し、アジャイル開発人材を育成するための PBL 型教育におけるプラクティスの一例を述べる。

なお、本稿は文献[4]を再構成したものである。

2 2021 年度 PBL の状況

2.1 本学の PBL 型科目と本プロジェクト

本学では修士課程 2 年次に PBL 型科目の履修を必修としており、実践的なプロジェクトを通して高度な実務の遂行に必要となるコンピテンシーを獲得する。研究者としての能力を涵養する従来の大学院修士課程と異なり、産業界で活躍できる専門職人材の育成を行っている。

従来、本学では情報アーキテクチャ専攻と創造技術専攻 2 つの専攻を設置していたが、昨年度から一専攻(産業技術専攻)に改組され、学生は新設の事業設計工学コース、情報アーキテクチャコース、創造技術コースのいずれかに所属する。

このうち、情報アーキテクチャコースの PBL 型科目では 8 つのテーマを設定し、各教員がそれぞれを担当している。ソフトウェア開発を行うプロジェクトが多いのが本コースの特徴であり、近年は多くのプロジェクトにおいてアジャイル開発を何らかの形で導入している。

本年度、筆者(中鉢)が担当しているプロジェクトでは、「スクラム開発への深い理解とリモート環境下でのプロダクト開発方法論の確立」をテーマとして設定し、5 名の学生がプロジェクト活動を行っている。「人に使ってもらうことができる」ことを目指したプロダクト開発を通して実務レベルの実践力の獲得を目指している。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

昨年度同様、2021 年度も感染症対策のため遠隔で実施している。遠隔 PBL の実施方法と学習への影響分析を行ったところ、短所もある反面、チーム活動を円滑に実施できるという側面もあった[5]。他の大学と異なり、AIIT の学生の多くは社会人であるため、場所を問わずにプロジェクト活動に参加できることは学生にとって有利である。

2.2 2021 年度のチームの特徴

本年度のチームは 5 人であり、うち 2 名が現在の仕事でアジャイル開発を実践している。また、1 名は IT のエンジニアとしての経験を有しているもののアジャイル開発は未経験である。残りの 2 名は未経験者である。

従来、筆者が担当するプロジェクトチームのメンバーは、アジャイル開発の経験のない者が、新しいアプリケーション開発の手法としてアジャイル開発を学ぶという目的で参加することが殆どであった。

ところが、本年からは状況が変化し、既に実務でアジャイル開発の経験を有するメンバーが参加し、経験のないメンバーとともにチーム開発を進めている。それぞれ異なるバックグラウンドを有する者が、更に自分の能力を高めるために学習を行っている。

3 スクラムを学習する PBL の方針

3.1 スクラムガイドとその改定

本プロジェクトではアジャイル開発の手法としてスクラムを採用している。スクラムの手法は「スクラムガイド」で定義されている。このガイドはいわばスクラムの原典的存在であるが、大まかなルールを記述したものであり、内容の抽象度は高い。具体的な実施方法は個々のプロジェクトに最適なやり方(ガイドには記載されていない)を選択して実装する。このことがスクラムを柔軟な手法にしているとともに、分かりづらさの一因ともなっている。

スクラムガイドは 2020 年 11 月に改定され、現在は 13 ページで構成されている。一つのチームがひとつのプロダクトに集中することや、プロダクトゴールの導入、スプリントゴールの位置付けの見直し等の変更が行われた。本プロジェクトではこれらの変更も踏まえ、大学院での学習に即した形にアレンジしてスクラムを実践している。

3.2 プロジェクトの期間

本学は 4 学期制を採用しており、概ね、通常の 2 学期制における春学期の前半が第 1 学期、後半が第 2 学期となる。秋学期も同様に、第 3 学期、第 4 学期に分割されている。

各学期は概ね 8 週間であるため、プロジェクトの期間は 1 年間を通しておよそ 32 週間程度である。学習のための時間は、習得できる単位数から計算して 1 週間あたり 18 時間を確保することになっている。

3.3 スプリントの長さ

スクラムではスプリントと呼ばれる短い開発期間を繰り返すことでプロダクトを作成する。スクラムガイドには「一貫性を保つため、スプリントは 1 か月以内の決まった長さとする。前のスプリントが終わり次第、新しいスプリントが始まる。」との記載がある。実務では 2 週間～4 週間を採用する場合が多いようだ。

筆者らの PBL では、スプリントの期間を 1 週間に設定している。1 週間では十分な開発の成果物(インクリメント)が得られないのではないかと懸念されることもある。しかし、PBL での学習効果を考えた場合、スプリント終了時に行う「振り返り」の頻度が増えることにより継続的な改善が期待できること等の理由から、PBL においてはできるだけ短いスプリントにした方が良いとの立場に立っている。

4 アジャイル開発学習のプラクティス

4.1 学習者自身による学びの工夫

PBL でアジャイル開発手法のスクラムを学ぶ全体的な方針は前節に記した通りである。本節では、2021 年度のプロジェクトチームが自ら工夫した学習のためのプラクティスについて述べる。

4.2 スクラムの体制

スクラムのチームは「スクラムマスター 1 人、プロダクトオーナー 1 人、複数人の開発者で構成」される。学習においては、これらの役割を交代で担い、経験できるようにするとよい。このプロジェクトでは、プロダクトオーナーはプロダクトの開発期間全体で固定しているものの、スクラムマスターはスプリントごとに交代し、全員が経験できるようにした。

4.3 スクラムイベントの実施

スクラムガイドによると、スプリントで実施するイベントは次の通りである。

1. スプリントプランニング
2. デイリースクラム
3. スプリントレビュー
4. スプリントレトロスペクティブ

本プロジェクトではこれらのイベントを図 1 に示す通り、水曜日を起点とする 1 週間のスプリントで実施している。スクラムガイドにあるスクラムイベントを全て網羅しており、実践に即した流れになっている。

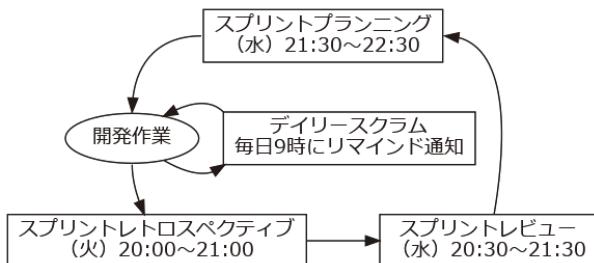


図 1: 1週間スプリントにおけるスクラムのイベント

4.4 非同期によるデイリースクラム

スクラムイベントのうち、デイリースクラムのみ非同期で実施している。仕事を持つメンバーが毎日定時にデイリースクラムを開催するのは難しい。そこで、デイリースクラムを非同期に行う方法が必要であった。

これには、Slack の Bot 機能を利用し、毎日定時にメンバーに対して通知を送り、デイリースクラムに参加することを促すことにした。デイリースクラムは Clubhouse を利用して構築したカンバンを利用し、メンバーは自分の都合の良いタイミングでこれを更新する。

図 2 にデイリースクラムを促す通知の画面を、図 3 にメンバーが自由に編集できるプロダクトバックログの例を示す。



図 2: デイリースクラムをリマインドする Slackbot

The screenshot shows the Clubhouse interface with three main columns: Product Backlog, In Progress, and Completed. The Product Backlog column contains tasks like "ワイヤーモックMTG" and "デザイン作成". The In Progress column contains tasks like "前期活動報告書の下書きを作成する" and "主な活動内容を1～2文に短くまとめる。スキル獲得ではなくコンビデンシー・行動変化・心理的変化・現実的目標変化など". The Completed column contains tasks like "各スライドのデザイン調整" and "各スライドにページ番号を追加". Each task has a timestamp, priority level (PW), and a small icon.

図 3: Clubhouse を用いた Product Backlog

4.5 学習のためのファーストプロダクト開発

PBL での学習のために開発するプロダクトは、学生自らが企画する。しかし、最初から難易度の高いプロダクトに取り組むと「スクラム開発を学ぶ」という目的から外れてしまう可能性がある。

開発手法を習得するためには、プロジェクトの開始から終結までを複数回繰り返すことが望ましい。本学の PBL は前述の通り 1 年間の時間があるため、複数のプロダクトを開発することができる。

また、開発メンバーのスキル差がある場合、スキルのキャッチアップを行う学習のフェーズを用意しておきたい。

これらを考慮し、スクラムの開発に慣れ、必要な技術を習得するためファーストプロダクトとして、仕様がある程度はつきりしているソフトウェア開発を行って「肩慣らし」をするとよい。その後の本格的な開発を見据え、先々必要となる技術の取得もこのファーストプロダクトの開発フェーズで行う。

4.6 スクラム健康度の可視化

プロジェクトを実施している際、スクラムのチームがうまく機能しているのかを定期的に確認する必要がある。本プロジェクトでは、スクラムガイドに基づき、下記 5 分野に関してチェックするためのシートを作成し、記録を行なっている。

- ・ スクラムのコミットメント
- ・ 経験主義のスクラムの 3 本柱
- ・ スクラムの価値基準 5 つ
- ・ スクラムチーム
- ・ スクラムイベント

このシートの一部を図 4.6.1 に示す。スクラムマスターは週次でスコアリングし、スクラムのフレームワークが健康的に遂行されているかどうかを確認している。

2021 年度のプロジェクトはちょうど前期の活動が終了したところである。現時点までのチェックシートによって得られたスコアの推移を図 4 に示す。4 月から 6 月にかけてスコアが伸びており、スクラムが順調に改善されていることが読み取れる。7 月以降は安定したスコアでスクラムが運営されている。

スクラムのコミットメント

△ 内容	<input checked="" type="checkbox"/> DONE	+
プロダクトバックログのためのプロダクトゴールが明確に定義されている	<input checked="" type="checkbox"/>	
スプリントバックログのためのスプリントゴールが明確に定義されている	<input type="checkbox"/>	
インクリメントのための完成の定義が明確に定義されている	<input checked="" type="checkbox"/>	
+ New		

COUNT 3 RECKED 66.667%

経験主義のスクラムの3本柱

△ 内容	<input type="radio"/> タイプ	<input checked="" type="checkbox"/> DONE	+
作業を実行する人が要件、作業進捗、困難、障害などを把握している	<input type="checkbox"/>		
作業の成果物を受け取る人が要件、作業進捗、困難、障害などを把握している	<input checked="" type="checkbox"/>		
メンバーがインクリメントの「完成」の定義を共有している	<input checked="" type="checkbox"/>		
スクラムの作成物と合意されたゴールは頻繁に検査されている	<input checked="" type="checkbox"/>		
スクラムの作成物と合意されたゴールは熱心に検査されている	<input checked="" type="checkbox"/>		
プロセスが許容範囲から逸脱している場合に素早く調整している	<input checked="" type="checkbox"/>		
成果物が受け入れられない場合に素早く調整している	<input checked="" type="checkbox"/>		
+ New			

COUNT 7 RECKED 85.714%

図 4: スクラム健康度を測るチェックシート(抜粋)

4.7 開発タスクと学習タスクの分離

本学の PBL では、前期と後期に成果発表会を実施している。また、月次で副担当も参加したマンスリーレビューを行う。加えて、毎週週報の提出を求めており、学期末には Self Assessment を行っている。これらは、学生の学習状況を把

握し、成績を評価するための材料としている。しかしながら、発表会の準備等の作業は開発プロジェクトの遂行のための作業とは意味合いが異なる。

学生は開発のための作業と学習のための作業双方をこなす必要があるが、本プロジェクトではどちらもスクラムの枠組みに則り実施している。両者を明確に区別しながらも、どちらもスプリントバックログ等により進捗の管理を行っている。

5 おわりに

2012年度にenPiTが始まった当初に比べて、アジャイル開発を学ぶPBLの状況は大きく変化している。当初はウォーターフォール型開発ではなく、アジャイル開発手法を実施するPBLというだけでも目新しさがあった。そうではなくなってきた今日、様々なPBLで実践されているプラクティスを共有し、アジャイル開発を学ぶためのより良い教育手法の確立を目指すべきであろう。

また、社会人を対象にする場合、アジャイル開発の初心者を対象とするのではなく、既に開発の経験がある学生を対象としたPBLについても考慮しなくてはならなくなつた。アジャイル開発の経験者がより高度なコンピテンシーを獲得するためのPBLに関する知見が求められる。特に、スクラムチームにおいて指導的な立場に立つ人材を育成する方法に関する教育手法の研究が必要となるであろう。

もちろん、アジャイル開発の未経験者がアジャイル開発を経験するという場面も引き続き想定される。これら多様な背景を持つ学習者が参加するPBLのベストプラクティスについて、引き続き探求する必要がある。

参考文献

- [1] 井上克郎, 楠本真二, 後藤厚宏, 鶴林尚靖, 北川博
之:『た語義:実践的情報教育協働ネットワーク enPiT,
- [2] 中鉢欣秀: enPiT2 におけるアジャイル開発技術者教育の取り組み, 産業技術大学院大学紀要, No.
11(2017), pp. 73.78.
- [3] 中鉢欣秀: コラボレイティブなチーム開発のためのクラウド型開発環境の習得, 日本e-Learning学会第19回(2016年度)学術講演会, (2016), pp. 152.155.
- [4] 中鉢欣秀, 閻莉玲, 嵩下奈都美, 星野圭亮, 森浩貴, 保田義則: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:2021年度プロジェクトの事例, 日本ソフトウェア科学会第38回大会(2021年度)講演論文集, (2021)
- [5] 中鉢欣秀: アジャイル開発人材を育成するソフトウェア開発PBLの遠隔実施, FIT2020 第19回情報科学技術フォーラム講演論文集, (2020), pp. 1.2.

問題設定に関する研究の課題と今後の展望

古屋宏幸*・丸山博之*・今吉璃臣*・松尾徳朗*・細田貴明*

Perspectives and Research Agendas of Problem Formulation Approach

Hiroyuki Furuya*, Hiroyuki Maruyama*, Akio Imayoshi*,
Tokuro Matsuo*and Takaaki Hosoda*

Abstract

In this paper, we examined issues related to problem formulation and future prospects through a review of previous studies. As a result, we were able to find some suggestions and issues in problem formulation. For example, the models in previous studies commonly started with human subjectivity such as anxiety. However, even if such subjective recognition was necessary for problem formulation, it was unclear what the specific subjective recognition was. In other words, how emotions work and influence the perception of problems has been an issue for the future.

Keywords: Problem formulation, Problem solving, Cognitive process, Subjectivity

1 はじめに

問題発見・問題解決アプローチにおけるアイデア発想に関する考え方とは、米国の心理学者である J. P. Guilford が、発散的思考 (divergent thinking) と収束的思考 (convergent thinking) という概念を提案したことに始まる。発散的思考とは、縦横無尽に思考を巡らせ、まだ存在しない新しいアイデアを生み出す思考方法を指し、収束的思考とは、すでにあるアイデアを元に、まとまりのある一つの答えに集約していく際の思考法を指す[1]。

このように、学術研究として、アイデア発想に関する研究は進められてきたが、実務的な問題発見・問題解決アプローチにおいて、アイデア想起からアイデア収束に至る過程を円滑に進めることはそう簡単でない。そのため、様々な問題解決技法およびビジネスフレームワークが提案されて日々のビジネスで活用されている。一方で、そのような技法を十分に活用し、問題発見・問題解決アプローチを効果的に行うことができる人はそう多くない。多くの人は、単にそれらを利用するためのハウツーを理解することに重点を置き、それらが持つ本質的な性質や特徴を理解することまで至らないからだと考えられる。

細田らは、大学院における PBL (Project Based Learning) 活動において、様々な問題解決技法およびフレームワークを学び、活用を試みた。これらを活用したテーマ検討を行っている際に、KJ 法と 7×7 法を活用することとなった。我々の中には、KJ 法による思考が得意な人もいれば、7×7 法の得意な人もいた。しかし、両技法を得意とする人は

いなかった。のことから、両技法を習得することは意外にも難しいことが明らかとなった。

これらの経験を経て、問題発見・解決アプローチを実践するにあたって何らかの支援を行うことが有効ではないかと考え、問題発見・解決アプローチの様々なフェーズにおけるファシリテーションを支援するアプリケーションの開発を行った。特にこのアプリケーションは初学者が効果的に問題発見・解決アプローチを習得することを目指したもので、アンケートやインタビューの結果、作成したアプリケーションは一定の効果があることを PBL 活動において明らかにした。

このファシリテーションという観点から、問題発見・問題解決アプローチの各種手法を見直すと、各種手法は、活用が容易なものもあれば、困難なものも存在することの気づきを得た。この疑問について検討すべく、川喜田二郎の KJ 法と Gregory の科学的問題解決手法の比較を実施した結果、問題発見・問題解決アプローチには日本のスタイルの思考様式と西洋的スタイルの思考様式によるものがあることを明らかにした[2]。

これまでに、問題発見・問題解決アプローチの焦点を当てて多面的に分析を行ってきたが、改めて気が付いたことがある。それは、そもそも取り組むべき問題が果たして意思決定者が本当に取り組むべき問題として設定できているかということである。もし、問題設定が不十分な場合には、その取り組み自体が無駄に終わる可能性がある。

つまり、意思決定者にとってそもそも問題とはどういうものであるかということを理解せずに、問題設定することは、その後の問題発見・解決アプローチ自体を無意味なものとしてし

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

まうのである。このことについては、Drucker も「最も重大な過ちは、間違った答えによるものではない。本当に危険なことは、間違った問い合わせに答えることである」と述べている[3]。このように、問題設定を適切に行なうことは重要なことだと言える。

そこで、本稿では、問題という概念について先行研究をサーベイし、問題設定者がどのように問題を設定しているのかを明らかにする。そのうえで、問題設定する際に行われる人間の認知処理に焦点を当てて、適切に問題設定するにあたり対処すべき点を明らかにすることを試みる。

2 問題という概念の検討

問題設定についての検討を行うにあたり、問題という概念について先行研究を検討する。

2.1 問題とは

2.1.1 問題の定義

問題とは何か、という定義は、ゲシュタルト心理学者の Karl Duncker が、「生き物に目標があるが、この目標をどのように達成するかがわからない場合に問題が発生する」と述べている[4]。この Duncker の定義をもとに、Mayer は問題とは、誰かが目標を持っているが、それをどのように達成するかを知らない場合に発生すると述べている[5]。この定義は、ある状況が与えられた状態にあり、問題解決者がその状況をゴールの状態にしたいと考え、与えられた状態からゴールの状態に移行するための明白な方法がない場合の状況を問題として捉えている[5]。

このことから、問題の定義を、問題とは、誰かが目標を持っているが、それをどのように達成するかを知らない場合に発生するものとしている。このことを、理想(目標)と現状のギャップと捉える考えることができる。例えば、Simon は、*The New Science of Management Decision* の中で、「問題解決は目標の設定、現状と目標との間の差異の発見、それら特定の差異を減少させるのに適当な、記憶の中にあるもしくは探索による、ある道具または過程の発見、およびそれらの道具または過程の適用というかたちで進行する」と述べており[6]、差異、つまりギャップが問題であると述べている。佐藤も同様に、「問題とは、目標と現状のギャップであり、解決すべき事柄である」としていることから、理想と現状のギャップは、問題に対するひとつの一般的な認識であると考えることができる[7]。

2.1.2 問題の種類

Mayer は、問題の種類を定型的問題と非定型的問題として分類している。定型的問題は、問題解決者がすでに解決のための方法や手続きを認識しているような問題を指す。一方で非定型的問題とは、問題解決者が解決のための方法や

手続きを知らない問題である。Mayer は、定型的問題は、そもそも問題解決者が目標を持ち、それを達成する方法を知っていることから、定型的問題は、上で述べた問題の定義を満たしていないと述べている[5]。

さらに、Mayer は、明確に定義された問題があいまいな定義の問題であるかという分類も行っている。明確に定義された問題は、問題の状態と、目指すべき目標、それに対するアクションが明確に定められたものである。明確に問題を定義することが可能であるということは、定型化が可能であると考えて差支えない。一方で、あいまいな定義の問題は、非定型問題の持つ特徴である解決方法や手続きがわからないことに加え、そもそも問題の状態や目標すらも曖昧であることが多く、より問題の取り組み方が難しい特徴がある[5]。

本稿で対象とする問題は、非定型問題を含む曖昧な定義の問題を対象とする。

2.2 問題の認知

それでは、問題の定義を、理想(目標)と現状のギャップと捉える考え方の場合に、ギャップとは何なのか。国語辞典によると、ギャップとは、「すきま。裂け目。みぞ。へだたり」となっている[8]。つまり、理想(目標)と現状の間の差として現れる差であると考えることができる。その意味で言えば、理想と現状の間の差は、問題解決者にとって、由々しき差であるかもしれないし、取るに足らない差かもしれない。つまり、ギャップそのものの存在のみでは、問題解決者にとって問題として認識されるとは限らないのである。

このことについて、Smith は、ギャップの存在は問題の存在に対する必要条件ではあるが、十分条件ではないと述べている。あらゆるギャップがすべて問題となるわけではなく、問題解決者に解決すべきと認知されて初めて問題となると言いうことができよう[9]。

では、問題解決者はどのようにして問題を認知するのか。このことについて、次節の問題設定の検討の中でさらに詳しく検討する。

3 問題設定に関する検討

ここでは、前節で検討した問題の定義に対して、問題設定をどのように捉えているのかということを検討する。

3.1 Smith の問題設定モデル

Smith もまた、多くの先行研究者と同様に、問題の定義をギャップの存在からスタートするものとしている[9]。その上で、Smith は、問題解決の流れを、問題の同定・定義・構造化といった問題設定と、診断・代替案の生成を行う問題解決の二つにプロセスで捉えている。前者の問題設定は、様々な方法が提案されているが、Checkland が提唱するソフトシステ

	問題解決の局面またはその内容	各イベントの範囲または心的内容	特徴的な認知過程	
問題解決	問題設定	問題の特定 ↓ 問題の定義 ↓ 問題の構造化	物理的な刺激、兆候 ↓ 心配、悩み、不安；問題が存在するという信念 ↓ 明示的または暗示的な問題の存在 ↓ 問題への対処に対する戦略	知覚
		診断		概念化
		代替案の生成 ↓ エトセトラ	問題の原因の特定 代替案の発見と設計	道具的推論 因果的推論 創造力
	問題解決			

図 1 Smith による問題解決過程モデル[11]

ム思考に代表されるソフトシステムアプローチが代表的な方法である[10]。後者は OR による最適化理論によるアプローチが中心である。

Smith は、問題解決を広義の意味では、問題解決プロセス全体、行動指向の人間の思考過程であると言及している。一方で、狭義の意味では、定式化された問題をインプットとして取り込み、解決に向けて取り組む活動と述べている。このことを表したもののが図 1 である。

問題解決過程モデルは、問題設定と(狭義の)問題解決に二分され、問題設定には問題の特定、問題の定義、および問題の構造化のフェーズに分かれている。問題解決には、診断と代替案の生成のフェーズが存在するとしている。

Smith は、この問題解決過程モデルの中で、人間がどのように問題設定を行うのがよいのかを、一つの処方的モデルとして図 2 として提示している[11]。

問題設定の最初のフェーズとなる、認識フェーズでは、現在の問題を特定し、その正当性の検証を行う。このフェーズ

で問題として認識するものは、最初の関心として喚起される問題の兆候にあたるものと考えることができる。この時点の問題は、重要なものとなるか、別の問題に今後変化する余地があるものとしている。この時点において、Smith は、現在の問題は、既存の状態と望ましい状態のギャップとして指定する必要があるとしている。特に重要なこととして、この時点では、問題の正確な把握よりも、どのギャップが問題として認識されているかを検証することが重要だとしている。

次のフェーズである開発フェーズでは、前フェーズで認識した問題の状況を詳細に記述する過程である。問題の所有者(解決者を含む)、関連する利害関係者を特定し、その問題の目的とギャップを確認する。

調査フェーズでは、具体的な解決策を特定するものである。どの程度の分析レベルで対応するかを決定し、それをもとに、問題を分解、サブタスク化を行う中で、取り組む問題の難易度や制約を明らかにして解決策を生成する。そして最後に考えられる問題の原因を明らかにする活動を行う。

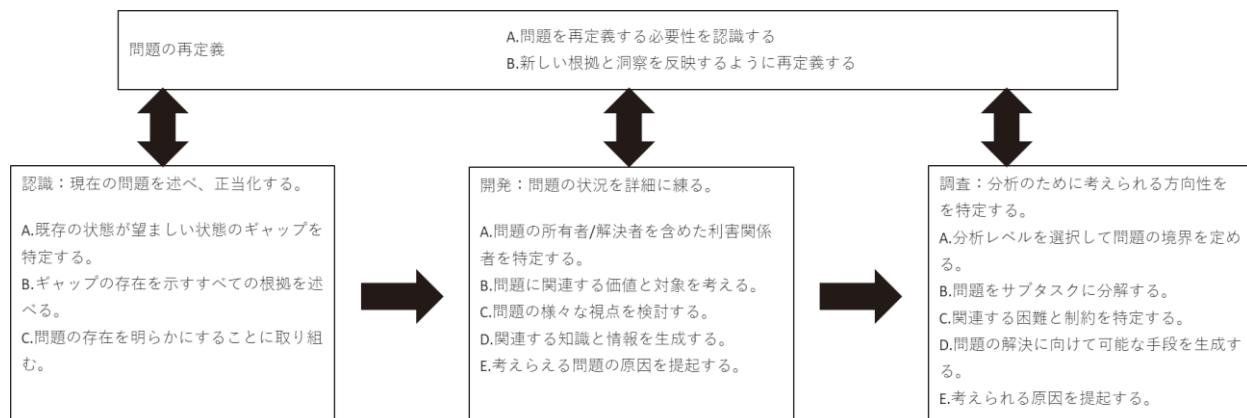


図 2 Smith による問題設定に対する処方的フレームワーク[11]

いざれのフェーズとも関連して、必要に応じて行われるフェーズであるものが再設定フェーズである。問題設定活動に疑問を感じた際に、問題を再定義する必要性を認識し、新しい根拠と洞察を反映するように再定義を行う。

Smith の処方的モデルは、従来の問題設定モデルに対して具体的な問題設定の方法を示すものであり、さらに問題認識とその認識の再定義の必要性を示唆している。その上で、その問題をさまざまな視点で考え、これまでに有している知識や価値観をもとに問題の持つ側面を包括的に明らかにするものである。

3.2 常田の問題設定モデル

常田は、問題設定を「概念化もしくは概念形成のプロセス」とし、それは、「我々は何か不都合な状況に直面すると問題があると感じるが、不都合な状況それ自体はいわば問題の兆候であって問題そのものではなく、そのような兆候がある程度抽象化し概念として把握したときはじめて問題を認識したと感じる」と述べている[12]。

常田はこの認識をもとに、人間の問題設定という行為に対して、図 3 のような基本モデルを提案している。

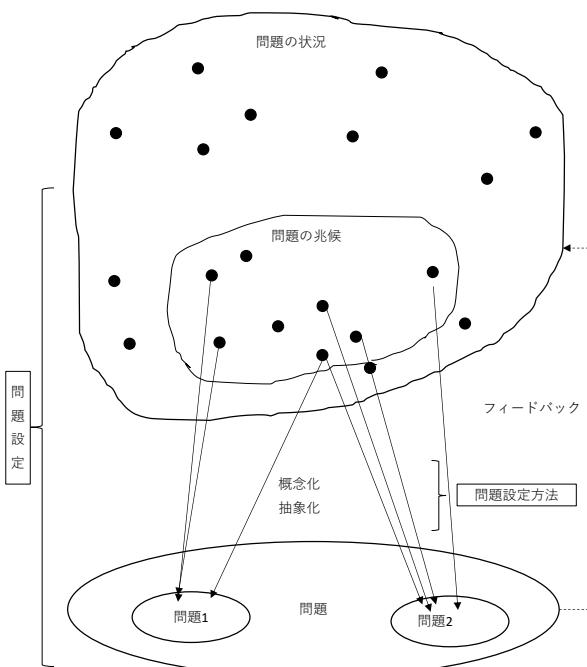


図 3 常田の問題設定の基本モデル[12]

このモデルでは、●は人間の外界における個々の状況を示している。これらは一つの集合を成しており、その中の部分集合に、我々に対して不安・不満・心配を与えるもの、矛盾・曖昧・困難を感じさせるもの、理想から乖離していると感じさせるものなどが存在し、それらが何とかしなければいけない

いと考えさせる(問題意識を喚起する)問題の兆候とも呼べるもの(=問題の要素)である。そして、人間は現実の状況の中からこれらの問題の兆候を選択的に要素として捉え、問題の概念を形成するとしている。

常田は、この基本モデルをもとに、問題をギャップとして捉えることを否定している。常田は、「解決が求められて構造化された状況その事例を問題ととらえる」と主張し、ギャップとして存在する相違は、構造化された状況として認知されて初めて問題として認知されるという立場をとっている[12]。

3.3 今吉らの問題設定モデル

今吉らは、常田による問題設定の基本モデルを改良した。まず、田畠・常田[13]の主張する、問題は現実世界から所有者(もしくは分析者)が主観的に状況として認知するものという考え方をもとにした次のモデルを導入している[14]。

ある人物が現実世界 W の中に存在する状況(対象) O に着目し、これをシステムとして認識したとすると、システム s は写像

$$\phi_i: \{O \in W\} \rightarrow s$$

の中で捉えることができるとしている。

このモデルは前提として、①問題には所有者がいる。②問題が発生する前提として状況 O の存在がある。③問題はシステム s として捉えられるものであると考え、その上で、④所有者の i の基準値 θ を不満度 D が超えることが認知のきっかけであるとの考え方を導入し、以下の式で問題を定義する。

$$Pr = \{s | D(s) \geq \theta, s = \phi_i(O), O \in W\}$$

この式は、ある人物 i が、現実世界 W の一部の状況 O をシステム s として認知(ϕ_i)した際、システム s への不満度 D が基準値 θ を超えた場合に、そのシステム s を問題と定義するものである。これを図にしたもののが図 4 である。今吉らも、常田同様に問題をギャップとしてではなく状況として捉えている。その際に、状況そのものが問題になるのではなく、状況に対する問題の所有者の判断が入って、初めて問題になることを主張している。

4 問題設定に関する考察

以上のとおり、Smith のモデルと常田のモデル、今吉らのモデルを概観したことを受け、今後の研究を進める上で検討する必要がある点について考察する。

まず、いざれのモデルにおいても、心配や不安という人間が主観的に感じるものを問題設定の出発としている点が共

通している。このことに関しては、Smith が状況と理想との

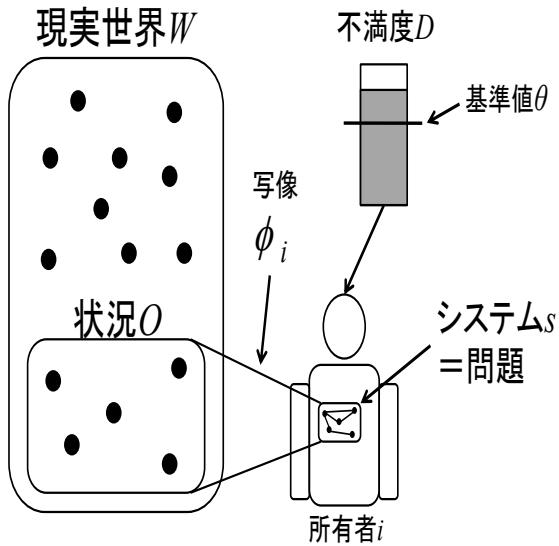


図 4 今吉らの問題認識モデル

ギャップの存在は問題の存在に対する必要条件ではあるが、十分条件ではないと述べていることにも関連する。つまり、状況と理想とのギャップがあってもそこに、問題の所有者の価値観に基づいた、不安や心配などを解決したいと望む感情が生まれなければ問題とはなりえないということである。また、常田のモデルにおいても、状況の部分集合である問題意識を喚起させる状況を主観的な認知として、選択的にかつ、概念的に捉えることによって、問題を認識するとしている。また、今吉らのモデルにおいても、単に状況が問題なのではなく、状況に対して、問題の所有者による構造化という理解や、不満度という評価が入ったものが問題の対象となっている。

このように、問題は、主観的な認識や価値観が基となって成立していることが言える。しかし、主観的な認識や価値観が必要であったとしても、具体的な主観の影響については明示されていないことから検討が必要であると考える。

次に、常田は不満や不安などを感じた状況を問題の兆候としているが、この時に、不満や不安などのネガティブな感情のみが原因になるのかは明らかではない。特に、状況の中の喜びや希望などのポジティブな感情の観点から問題の兆候を捉えることはないのかは不明である。認知されたネガティブまたはポジティブな感情を元にして、どのように問題を形成するのかについても明らかではない。つまり、感情などの価値観と認知される問題の関係や、それがどのようになされるかについて一層の検討が必要ということができる。

今吉らは、状況を観測して、システムへと変換する際に主観が用いられているが、状況内に含まれるギャップが理想と現状との差であるのであれば、ギャップという概念そのものが理想という主観的要素を含むものであり、今吉らのいうシステムへの変換以外の部分においても主観が作用している可能

性がある。つまり、ギャップを理想(目標)と現状の差として定義している限り、すでに主観によりギャップが認識されていることを意味することから、今吉らの言う状況とギャップの違いが存在しないと考えることができる。また、問題設定の際には、ギャップや状況の表現についての置き換えが起きていると考えることができる。しかし、この点についてはどのように対処されているかモデル上では明示的ではない。このことから、状況として捉える際にギャップの意味をどのように定義するのかについて今後検討する必要がある。

さらに、このようなギャップや状況に関する認知及び感情などの価値観がどのように作用し問題として評価されているかというメカニズムが明らかになっていないことに加え、このような過程で問題設定された問題の質についても検討の余地がある。Smith は、問題設定の処方的モデルを提案し、その中で問題認識の過程を手順として示しており、一つのよい問題設定のあり方を提案している。しかし、常田や今吉らのモデルによって作成された問題は、問題はどのように設定されるかを表したモデルであって、設定された問題の質に関する議論は行っていない。Smith の処方的モデルにおける問題の再設定過程が問題設定過程に疑問を感じた際に行われることから、問題設定には質という評価尺度が存在すると考えられる。常田や今吉らのモデルにおいても、問題の質を判定する過程を明らかにしていくことが必要となると考える。

さらに、問題設定から問題解決までモデル構築を拡大した場合に、よい問題設定から如何によい問題解決を行うのかという点も重要な研究課題である。今吉らの言う、問題を複雑な構成を持つシステムとして認知した際に、よい問題解決のためにはどのように不満度を下げていくのか、について検討する必要がある。筆者らの一人である細田は、意思決定を行うためにヒューリスティックアプローチとして、TH ルールを開発し、そのルールを発展させ、納得できる意思決定を行うため研究を行っている[15]。このアプローチは、今吉らの言う、複雑なシステムとして認知された問題を解決するために一つの方策となることが期待できる。

以上、問題の定義および問題設定に関する先行研究のサーベイを踏まえると、本研究においては、以下の点に関する課題を得ることができる。

- 問題設定には、客観的な状況だけではなく、人間が持つ主観が影響している。しかしながら、問題がどのような主観によって認識されるものであるかについて明らかにする必要がある。
- 状況として捉える際にギャップの意味をどのように定義するのかを明らかにする必要がある。
- 問題設定の質が存在することは明らかであることから、問題の質を判定する過程を明らかにする必要がある。
- 問題解決におけるモデル開発を行い、問題設定か

ら問題解決までの統合的なフレームワークの構築が必要である。

5 結論と今後の課題

本研究においては、Duncker や Mayer, Smith, Simon, 佐藤らの問題の定義について確認するとともに、Smith, 常田, 今吉らの先行研究のレビューを通じて、問題設定に関する論点整理を行った。それによると、問題設定の際には、単なる状況やギャップといった客観的な事象では不十分であり、それに対する人間の主観が入って初めて問題として成立する事になることを確認した。しかしながら、先行研究においては、問題設定の一部のメカニズムを述べているにすぎず、感情などの価値観や問題の認知といった問題設定と関係した主観に関するメカニズムを一層明らかにする必要があることが明らかになった。このことを明らかにするためには、問題の存在の根底をなすギャップの意味もまた一緒に検討すべきであると考える。その他にも、問題設定の質、つまりよい問題設定とは何かといった問題設定の評価方法あるいは、評価基準の確立についても今後検討の必要がある。それぞれ、深く関連し簡単に解明できるものではないが、ひとつずつ明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 高橋誠(編著), 新編創造力事典—日本人の創造力を開発する創造技法, 日科技連出版社, 2001.
- [2] T. Hosoda, Y. Chiba, S. Mishima, S. Yamamoto, Y. Iwasaki, J. Lijin, and S. Tsuruzawa, "Impacts of Cultural Background on Problem-Finding / Problem-Solving Approaches," Proc. 10th Int. Congr. Adv. Appl. Inform (IIAI-AAI), pp. 873-878, 2021.
- [3] P. F. Drucker, Men, Ideas, and Politics. Harvard Business Review Press, 2010.
- [4] K. Duncker, "On Problem-Solving," Psychol. Monogr. Vol. 58, no. 5, pp. i-113, 1945.
- [5] R. E. Mayer, "Problem Solving," in D. Reinsberg (Ed.) The Oxford Handbook of Cognitive Psychology, Oxford University Press, pp. 769-778, 2013.
- [6] H. A. Simon, The New Science of Management Decision, Prentice Hall, 1977. (稻葉元吉, 倉井武夫訳, 意思決定の科学, 産業能率大学出版部, 1979.)
- [7] 佐藤允一, 新版[図解]問題解決入門: 問題の見つけ方と手の打ち方. ダイヤモンド社, 2003.
- [8] 西尾実他, 岩淵悦太郎, 水谷静夫(編), 岩波国語辞典 第3版, 岩波書店, 1983.
- [9] G. F. Smith, "Towards a heuristic theory of problem structuring," Manag. Sci. Vol. 34, no. 12, pp. 1489-1506, 1988.
- [10] P. B. Checkland, "Systems Thinking, Systems Practice," J. Wiley, 1981. (高原康彦, 中野文平監訳新しいシステムアプローチ: システム思考とシステム実践, オーム社, 1985.)
- [11] G. F. Smith, "Defining managerial problems: A framework for prescriptive theorizing." Manag. Sci., Vol. 35, No. 8, pp. 963-981, 1989.
- [12] 常田稔, "ロバストな問題設定方法について", 早稲田社会科学研究, 第54号, pp. 133-160, 1997.
- [13] 田畠智章, 常田稔, 経営システムと経営モデル, 日本経営システム学会編, 「経営システム学への招待」, 日本評論社, pp. 13-39, 2011.
- [14] 今吉璃臣, 田畠智章, 常田稔, 「問題解決(Problem Solving)における問題の定義について」, 日本経営システム学会第49回全国研究発表大会講演論文集, pp. 76-77, 2012.
- [15] 常田稔, 細田貴明, "多属性代替案に対する新しい意思決定ルール," 工業経営研究, 第19巻, pp. 50-57, 2005.

オンラインホワイトボード『Miro』の遠隔授業における導入の是非

伊 藤 潤*

Pros and Cons of Introducing the Online Whiteboard “Miro” in Remote Class

Jun Ito*

Abstract

As a result of using the online whiteboard “Miro” in a remote class and conducting a questionnaire survey using a Likert scale, it was found that “Miro” is effective in remote classes, but it is important to provide time for basic tutorials in consideration of middle-aged and older students who have not fully formed mental models for PC applications.

Keywords: online white board, miro, usability, remote class

1はじめに

コロナ禍による大学の授業のオンライン化に際して、ワークショップ形式の演習をどう行うか、という問題に対して、各大学で様々な試みが行われている。

オンラインホワイトボードツール『Miro』(<https://miro.com>)は、東京都立産業技術大学院大学(以下、本学)の2021年のFDフォーラムにおいてハーバード大学での導入事例が報告されており^[1]、日本語化はされていないものの、日本国内でも既にデザイン関係の授業を中心として広く使われ始めている^[2]。

本学は一般的な大学に比べ、学生のキャリアや年齢層の幅が広いため、その導入に効果があるかどうかを検討した。

2方法

2021年度第2クオータ開講科目『人間中心デザイン特論』履修者42名を対象とし、全遠隔の授業内で『Miro』を使用したブレインストーミングなどのグループワークを行った。学生は各自 Educational account を作成した。

全15回の授業終了後、『Miro』の使用感についてLMSを通してオンラインでアンケート調査を行った。回答者は35名であったが、最終課題提出ならびに最終試験受験者も共に同一の35名であり、実質的な回答率は100%であった。

3結果

3.1 ホワイトボードの代替ツールとしてのユーザビリティ

まずホワイトボードの代替という観点で評価するため、ホワイトボードを用いたワークショップの経験の有無を尋ねた。

「付箋紙にアイデアを書き出し、ホワイトボードに貼って整理するワークショップを経験したことがありますか?」という質問に「はい」と答えたのは31名であった。その31名に対し、ISO 9241-240:2019のユーザビリティの定義に基づき、「有効性(effectiveness)」「効率(efficiency)」「満足度(satisfaction)」の3項目について、通常のホワイトボードとの比較をリッカート尺度による5段階評価で尋ねた。その結果を表1に示す。

表1: 付箋紙とホワイトボードを利用した場合との比較

	有効性	効率	満足度
5 良い	7人	7人	2人
4 やや良い	5人	7人	9人
3 どちらともいえない	12人	5人	7人
2 やや悪い	5人	8人	10人
1 悪い	2人	4人	3人
評価の平均値	3.32	3.16	2.90

表2: 今後も『miro』を使用したいか

	全体	40代以下	50代以上
5 思う	11人	10人	1人
4 やや思う	8人	6人	2人
3 どちらともいえない	8人	5人	3人
2 あまり思わない	7人	1人	6人
1 悪い	1人	1人	0人
評価の平均値	3.60	4.00	2.83
標本数(人)	35	23	12
不偏分散		1.273	1.061
分散比			1.200

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

3.2 今後も使用したいか

履修者全員に対し、「今後の授業におけるグループワークやPBL,ご自分の業務などで『miro』を使いたいと思いますか?」という質問をリッカート尺度による5段階評価で尋ねた結果を表2に示す。40代以下と50代以上で評価に差があるように感じられたため、その内訳も併せて示した。

このとき、自由度22と11のF値と比較して分散比が小さいため、等分散と仮定し(有意水準5%), t検定を行なった結果、40代以下と50代以上の評価間に有意な差が見られた($t(33)=2.988 p=0.005$)。

4 考察

表1の満足度は2.90と低い値であったのに対し、表2の今後も使用したいかという点では3.60と高い値であった。表1での回答者31名に限っても、今後も使用したいかについては3.45という高い値になる。例えば、満足度を2と評しつつも、今後も使い続けたいを3と評した回答者が4名いる。その意見には、「非対面だと使うと思うが、対面だとアナログを選択すると思う」という非積極的なものと、「使いこなしのスキルが挙がれば(練習時間が取れれば) miroだけでもかなり相当な作業がまとめられそうだと感じた」という積極的なものがあった。

本調査では、リッカート尺度による5段階評価に加え、自由記述での意見も求めた。40代以下で各質問に対して高評価をした履修者からの意見では「URL貼り付けや付箋機能など、オンラインでプレスをするのに便利なツールだと感じた」「無限にボードを広げることができる、次の会議のために片づけなくていい」という点が非常に作業効率を上げると感じている。「字のうまさに関係なく読みやすい字になる」「備品の準備の手間もかからず、他の人の考えも可視化でき、満足度は非常に高い」といった機能面での評価が見られたのに対し、50代以上で低評価をした履修者からの意見では「操作性が悪い」「何ができるのかが、分らず、有効に使えなかつたと思う」「ツールのUIが良くない」「使うのが面倒」といった操作性に関する評価が見られた。40代以下では「絵を描く」ことを初めて行ったのですが、パワポと違い使いやすかった」「使い易かった!」という意見があつたことから、少なくとも他のアプリケーションと比較して『miro』のUIが悪いということは考えにくい。筆者もアイコン類やメニューの並び、ショートカットキー、各種クリックに対する挙動などはデファクトスタンダードに準拠しているという印象を持っている。以上より、表2で見られる40代以下と50代以上の評価間の有意差は、50代以上の履修者の各種アプリケーションに対するメンタルモデルの形成が不十分であることを示唆していると考えられる。

まとめると、オンラインホワイトボード『miro』の遠隔授業への導入は有効であると考えられるが、PCへの習熟度が必ずしも高くない中高年学生の多い本学においては、主要機能

に関して十分な説明と試行の時間を設けることが必要である。

5 おわりに

本調査を行った『人間中心デザイン特論』では、『Miro』を使用したグループワークを経て、2つのデザインコンペティションに参加した。9チームが提出した『Future Furniture Competition 2021』(主催:株式会社ガイアエデュケーション)では1チームがファイナリストに選出され、1チームが特別賞を受賞、また35名が提出した『EQBC2021 金属アレルギーに優しいデザイン・アイデアコンテスト』(主催:一般社団法人金属アレルギー協会)では4名の学生がグランプリを含む各賞を受賞、という結果をおさめた。少なくとも『Miro』を利用することによる負の影響は小さく、円滑な授業運用ができたと言えると考える。今後の授業でも積極的に使用していくたい。

謝辞

調査実施に際しては、東京都立産業技術大学院大学研究倫理委員会の審査と承認を得ました。調査にご協力いただいた学生諸氏に心より御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 東京都立産業技術大学院大学, “第29回FDフォーラム”, AIIT FD レポート, vol.29, p.15, 2021.
- [2] 「チームコラボレーションソフト『Miro』を駆使したデザインプロセスや映像の世界観を表現したインスタレーションも展示します。」GOOD DESIGN MARUNOUCHI, “アフターコロナのユートピア”, <https://www.g-mark.org/gdm/exhibition76.html> (accessed 2021-10-01)

「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 —

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*

Design Development of the “Partner Robot”

— An attempt to build a concept focusing on the mouth opening and closing motion —

Yoshinori Misumi *, Daiki Ishida *, Taiga Kanazawa *, Xian Jiaqi *, Song Shun *,
Yuki Hirota *, Tomoyuki Hashimoto *, Yosuke Tsuchiya** and Jun Uchiyama *

Abstract

In this study, we focused on the opening and closing motions of the human mouth and attempted to make a partner robot express its emotions by opening and closing its mouth. We hypothesized that the robot could promote mental health by "making users feel emotional empathy" in communication with other users over a network. We developed a prototype of a small partner robot and implemented four behaviors: talking, yawning, greeting, and chatting. We also created 3DCG animations of all 33 motions, including the four mentioned above, and evaluated their emotions based on the Russell's circumplex model.

Keywords: Partner Robot, empathy, mental health, Russell's circumplex model.

1 はじめに

ロボット技術は長年主として産業用ロボットを中心に発展してきた。これに対し、家庭での家事や介護、子育て等を手伝つたり、人とのコミュニケーション相手になつたりする生活サービス分野のロボット（パートナーロボット）は、商品として実用化されることは少なかった。しかし近年、こうした生活サービス分野でのロボット活用に注目が集まっている[1]。

その背景としては、センサー技術、AI（人工知能）技術、情報処理技術等の、ロボットに必要な要素技術の技術革新が進み、そして、情報通信ネットワークの整備が進んだことである。これらの技術環境を活用することで、ロボット単独で機能させるのではなく、センサー情報の活用や人とロボット間の情報連携など、新たな形でのロボット活用が可能となりつつある[1-2]。

近年、経済・産業構造が変化する中で、仕事や生活に関する強い不安、悩み、ストレスを感じている人の割合が高くなっている。特に労働者の受けるストレスは拡大する傾向にあり、仕事に関して強い不安やストレスを感じている労働者が半数を超える状況にある[3]。より積極的にメンタルヘルスの

保持増進を図ることは、労働者とその家族の幸せを確保するとともに、我が国社会の健全な発展という観点からも、重要な課題である。

更に、2020年来の新型コロナウィルス蔓延下では、新しい生活様式や日常生活の様々な制限、テレワーク等での働き方など、生活や仕事に不安な気持ちを抱えている状況において、メンタルヘルスが一層の社会的課題となっている[4]。パートナーロボットの可能性として、このメンタルヘルスの課題に対し精神的に利用者を応援するような「情緒的なサポート」という新しい分野が考えられる。

2016年より本学・内山プロジェクトチーム（以下、内山PT）では「人と共生するパートナーロボット」を仮説提案型PBL（Project Based Learning）のテーマとして掲げ、異分野横断型学生と教員が共創して、バックキャスティングのアプローチにより、感性と機能の両面から利用者に対して「情緒的なサポート」を図るパートナーロボットの開発研究を行っている[5-8]。

2016年度は、「人間とロボットの関係性」を改めて見直し、構成要素を絞り込み、表示のみの球形としたCRC-01、機能・情報を絞り込み、生活に身近な例として気象情報に着目

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 東京通信大学, Tokyo Online University

した WCR-01 を提案した[5](図 1).

2017年度は、「表情」と「仕草」に着目したコンセプト構築を試みた。ロボットを通して子育てへの参加を促し、お母さんがロボット自身に共感し、ひとりぼっちでないことを気付かせてくれるパートナーロボット UCR-01 を提案した[6](図1)。

2018年度は、潜在的に感情を表現する足の「仕草」に着目し、仕草が際立つようなコンセプト構築を試みた。遠くにいる友人がロボットを通してそっと相手の気持ちに寄り添って、ロボットの表情や足の仕草から気持ちを伝えるロボット UCR-02 を提案した[7](図1)。

2019年度は、日常生活の中で「ハートフル」な体験を促すように働きかけるパートナーロボットを「ハートフルロボット」と称し、複数のロボットを提案した[8](図1)。

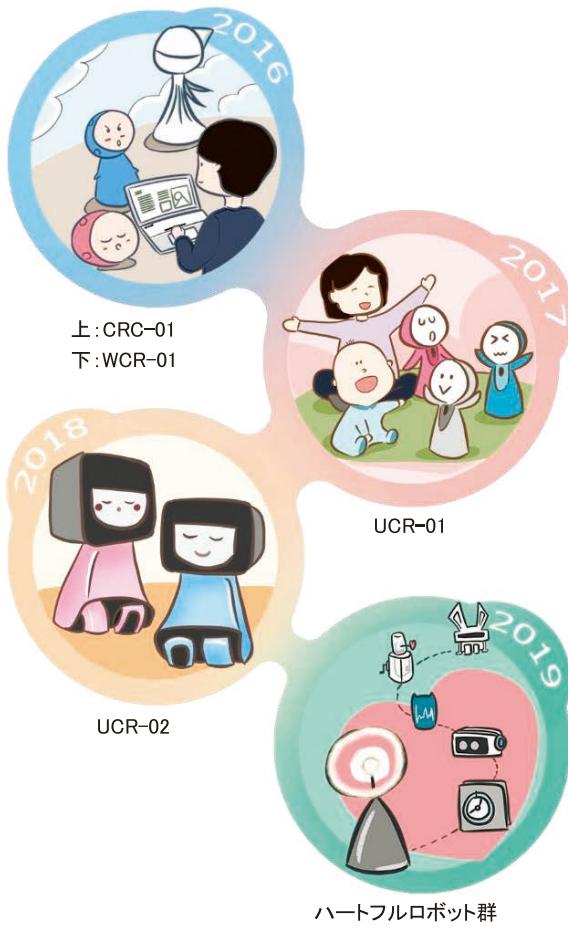


図 1:パートナーロボットのイメージシーン
(2016 年度～2019 年度)

2020年度は、ストレスコーピング(ストレス対処行動)[9-11]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」でコーピングの手助けになりうる[12-13]と仮説を立て、ロボットのコンセプトを構築し、4つのロボット群を提案した[14](図2)。

第 21 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会にて、「ストレスコーピングに着目したパートナーロ

ボット群のコンセプト提案」は、SI2020 優秀講演賞を受賞した。また、「RSNP を活用したロボットサービスコンテスト 2020」において、最優秀賞 RSi 賞を受賞した[21]。



図 2:パートナーロボットのイメージシーン
(2020 年度)

2 概要

本稿は、2020 年度提案されたロボット群の一つである UCR-07 ロボットに着目し、ロボット自体は身体的特徴を有せず、動作による身体的特徴を有することで、単純化した構成のロボットでも多様な「情緒的共感」を抱かせることのできるパートナーロボットの開発研究を深耕した。自身の心の状態を他者が認知することで「共感」を得ることは、多くの人にとって心の安定、ストレス緩和に繋がることが知られている[15-16]。パートナーロボットも同様に、ネットワークを介した利用者同士のコミュニケーションにおいて、例えば利用者が「哀しい」気持ちの時に、ロボットの動作表現を見て「哀しさを感じることができれば、ロボットに対して「情緒的共感」を感じることができ、自身の気持ちを受け止めてくれたという承認が自己肯定感を高めて、心の安定に繋がると仮説立てた。

人は日々様々な感情を抱えており、利用者の多様な感情に対してパートナーロボットが「情緒的共感」を示すことは、ストレス緩和だけでなく、日常のメンタルヘルス保持増進につながると考える。

第3章プロダクト提案では、パートナーロボットのコンセプト立案とプロトタイプモデル制作について説明した。

第4章動作試作では、人の口開閉動作を模したロボットの動作試作を行い、実装したシステムについて説明した。

第5章動作モードでは、動作モードの機能と、4パターンの動作(欠伸、談笑、会話、挨拶)を実装したロボットについて

説明した。

第6章ロボット動作の検証では、前記4パターンの動作検証と、3DCGアニメーション動画で制作した33パターンのロボット動作について、ラッセルの円環モデル[18]から抽出した28個の感情ワードに基づいて情動評価を行なった。

第7章では、まとめと今後の展開について説明した。内山PT内部評価において、3DCGアニメーション動画により、多彩で繊細な口開閉動作を実行することで、多様な感情表現の実現可能性を見出した。今後は新たなロボットの動作試作を行い、動作制御と感情との関係を定量的に検証していく。

3 プロダクト提案

3.1 コンセプト

人間の口開閉動作は、口唇の開閉運動と下顎の下制運動を伴う複合動作である。UCR-07 の外観は身体的な特徴は有せず、人の口開閉動作を単純化した「動作による身体的特徴」を有するものである(図 3)。本稿では、瞬間的に単純な動作でも、口開閉動作により気晴らし行動(ストレスコーピング)を促すことや情緒的な共感を抱かせる、というコンセプト[14]を立てた。

人の口を模した口開閉動作のみで多様な感情表現を試み、インターネットを介した利用者同士のコミュニケーションを図る。

3.2 プロトタイプモデル

近年の複雑化するロボットから視点を変えて、基本要素に戻って簡易化された要素を抽出し、単純化しても複雑さに負けないロボットの可能性を追求した。

歴代内山PTの基盤コンセプトを強く意識した上で、「存在感を削ぎ落し」、「機能・情報を絞り込む」という二つの方向からのアプローチを行い、プロトタイプモデル(UCR-07)を作成し、動作試作を行った(図3)。

- ・外形寸法(台座除く)

- 幅40×奥行40×高さ120(mm)(閉じた状態)

- 幅40×奥行40×高さ125(mm)(開いた状態)

- ・フラップ開閉角度

- 0~90度

- ・重量

- 145g(電源含まず)

- ・電源仕様

- USB給電(5V/500mA)



図 3: UCR-07 動作試作

4 動作試作

会話をして気晴らし行動を促すような動作や、情緒的な共感を抱かせる感情表現を検証するため、ロボットの動作試作を行い(図 3)、アプリケーションシステムを実装した。

4.1 部品構成

正面に人感センサー(HC-SR501)が配置され、内部にESP32マイコン(M5Atom Lite)を搭載して、マイコン制御により上部フラップの開閉をサーボモータ(SG90)で動作させる(図 4)。

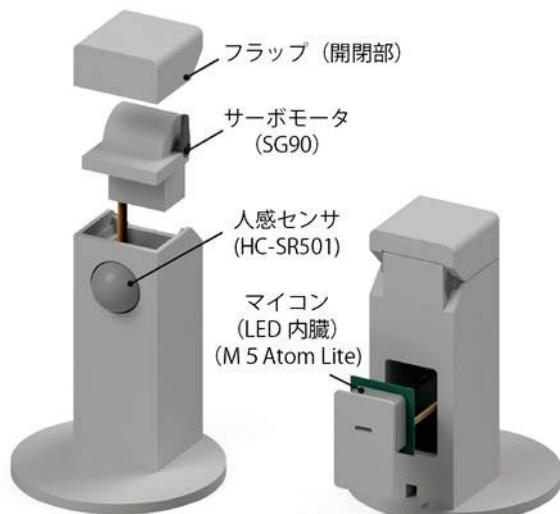


図 4: UCR-07 構成部品図

4.2 システム構成

システム構成は、インターネットに接続された ESP32 マイコンベースのロボットと Web API サービスとデータベースサービスを提供するサーバ、会話型アプリの Slack で構成される。サーバの Web API サービスは、ロボットとの情報の送受信や Slack とのメッセージ送受信を行うために用いられ、ロボットの動作情報、センサー情報等のログを記録するデータベースへのアクセスも Web API を通して行われる。動作情報、センサー情報のログを記録、活用するためサーバにデータベースを設けた。サーバは Web API サービスを提供し、Web API サービスを通して、データベースを操作する。

Slack からインターネットを介してメッセージを送信すると、Slack からのメッセージを Web API に変換し、Web API サービスにリクエストする。Web API サービスは、この情報をインターネット経由で ESP32 マイコンへ送信して、サーボモータを動作させる。ESP32 マイコンはサーボモータを動作させると共に、Web API から Slack へ送信することで、Slack 側では動作完了のメッセージを受信するシステム構成である(図 5)。

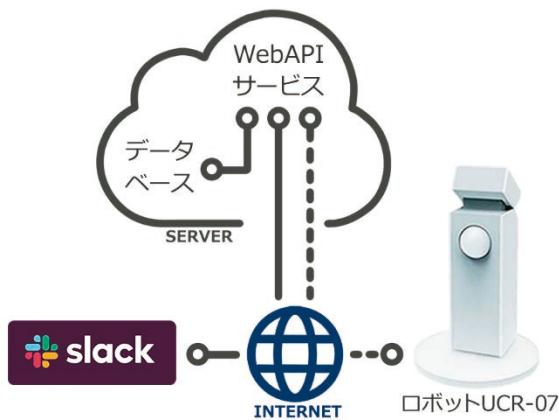


図 5:システム概略図

5 動作モード

5.1 動作モードの機能

起動時にサーバへの接続可否を判断し初期設定される。Slack でメッセージを送信し、遠隔でロボットを動作させる。動作モードは、Slack による動作モードの設定や Slack による動作実行を行うことができる。Slack のメッセージ送信でロボット名称とキーワードを入力することにより動作実行し、動作実行が完了すると、Slack には処理完了の情報が送信されメッセージが表示される。

ロボット動作は 4 パターン設定されている。1:口を開ける(欠伸)動作、2:フラッピングする(談笑)動作、3:元気か確認する(挨拶)動作、4:大丈夫か確認する(会話)動作である。動作パターンの詳細は次節で説明する。

利用シーンは図 6 に示すとおり、友人は利用者を想い、Slack から「大丈夫かな」とメッセージを送信し、利用者のロボットを動作させる。利用者は動作したロボットに気付き、ロボットの口開閉動作により友人の気遣いを感じ取る。友人の気遣いから、利用者は「気晴らし行動を促す」ことや、「情緒的な共感」を感じ取って、ストレスが緩和されメンタルヘルスの保持増進につながる。



図 6:利用シーン

Slack による動作実行が要求されると、動作モードを実行し、フラップ部が任意の角度 θ で開閉する(図 7)。



図 7:フラップ部の斜視図

動作時のフラップ角度 θ 例

5.2 「口を開ける」動作（欠伸）

Slack から「口を開けて」とテキストメッセージを送信すると、ロボットはフラップを緩やかに 90 度開き、緩やかに閉じる。ロボットがあたかも欠伸（あくび）をしているような動作表現をして、退屈をロボット（友人）と共有するような感情を抱かせることを試みた。

「口を開ける」動作（欠伸）が完了すると、「口を開けたよ」とテキストメッセージが Slack（友人宛て）へ返信される。

図 8 は、欠伸しているような動作の動作時間 t と口開閉角度 θ との関係と、対応するフラップ開閉状態の図である。

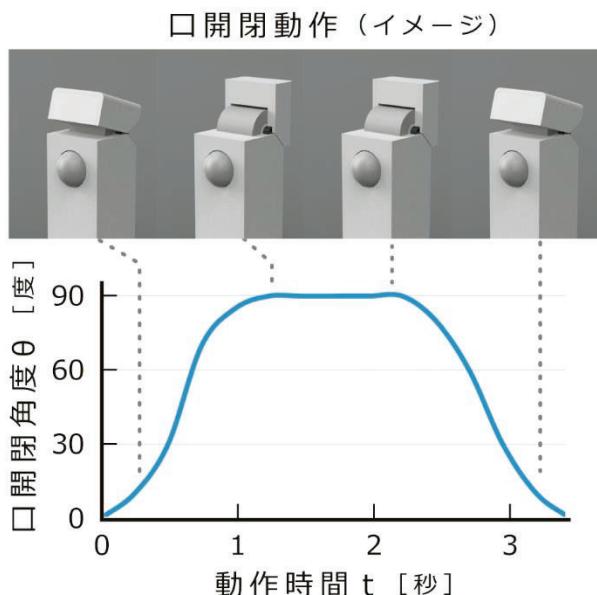


図 8: 動作状態(欠伸)

5.3 「フラッピングする」動作（談笑）

Slack から「フラッピングして」とテキストメッセージを送信すると、ロボットはフラップを連続して複数回開閉して、ロボット（友人）と談笑しているような動作表現を試みた。

「フラッピングする」動作（談笑）が完了すると、「フラッピングしたよ」とテキストメッセージが Slack（友人宛て）へ返信される。

図 9 は、談笑しているような動作の動作時間 t と口開閉角度 θ との関係と、対応するフラップ開閉状態の図である。

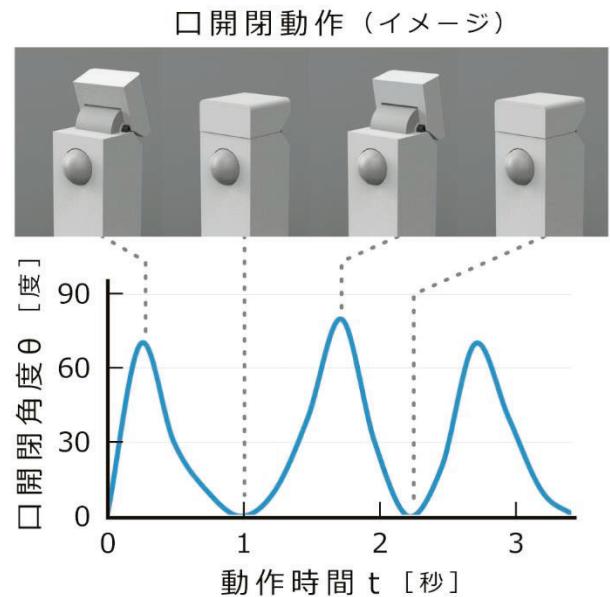


図 9: 動作状態(談笑)

5.4 「元気か確認する」動作（挨拶）

Slack から「元気かな」とテキストメッセージを送信すると、ロボットはフラップを素早く 90 度開き、少し待ってから緩やかに閉じて、ロボット（友人）から「元気かな」と話しかけられ挨拶しているような動作表現を試みた。

「元気か確認する」動作（挨拶）が完了すると、「元気か確認したよ」とテキストメッセージが Slack（友人宛て）へ返信される。

図 10 は、挨拶しているような動作の動作時間 t と口開閉角度 θ との関係と、対応するフラップ開閉状態の図である。

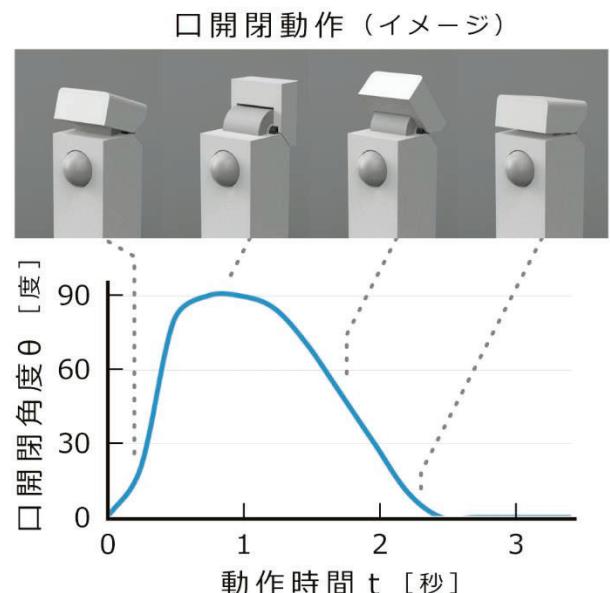


図 10: 動作状態(挨拶)

5.5 「大丈夫か確認する」動作（会話）

Slack から「大丈夫かな」とテキストメッセージを送信すると、ロボットはフラップを小さく不規則に複数回開閉し、ロボット（友人）から「大丈夫かな」とあたかも話しかけられ会話しているような動作表現を試みた。

「大丈夫か確認する」動作（会話）が完了すると、「大丈夫か確認したよ」とテキストメッセージが Slack（友人宛て）へ返信される。

図 11 は、会話しているような動作の動作時間 t と口開閉角度 θ との関係と、対応するフラップ開閉状態の図である。

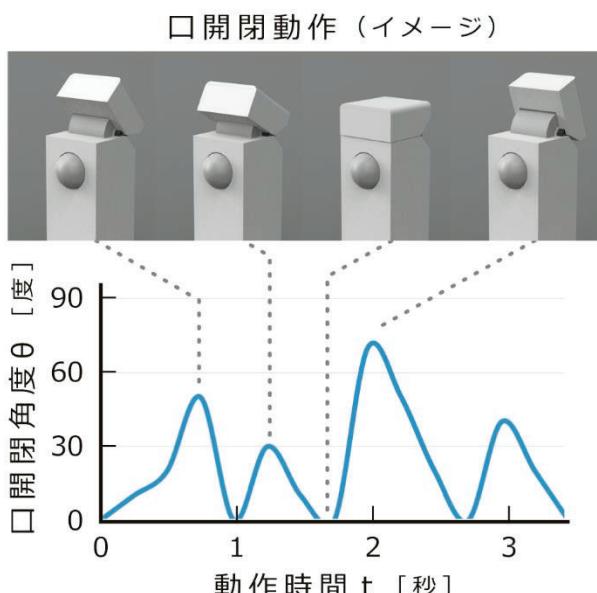


図 11: 動作状態(会話)

5.6 動作フロー

ロボット本体の電源を入れると、背面 LED が点灯し、フラップが 90 度開く。Wi-Fi 接続をチェックし、確認するとフラップが閉まり起動する。

動作モード時は、サーバのステータスを取得し Slack による設定や Slack による動作実行が可能となる。Slack からワードを入力してテキストメッセージを送信することにより、フラップ開閉動作が実行される（図12）。キーワードは、①「口を開けて」、②「フラッピングして」、③「元気かな」、④「大丈夫かな」の4種パターンを設定する。各キーワードに対応する動作は、①欠伸するような動作、②談笑するような動作、③挨拶するような動作、④会話するような動作である。動作実行が完了すると、Slack へ処理した意のメッセージが返送される。

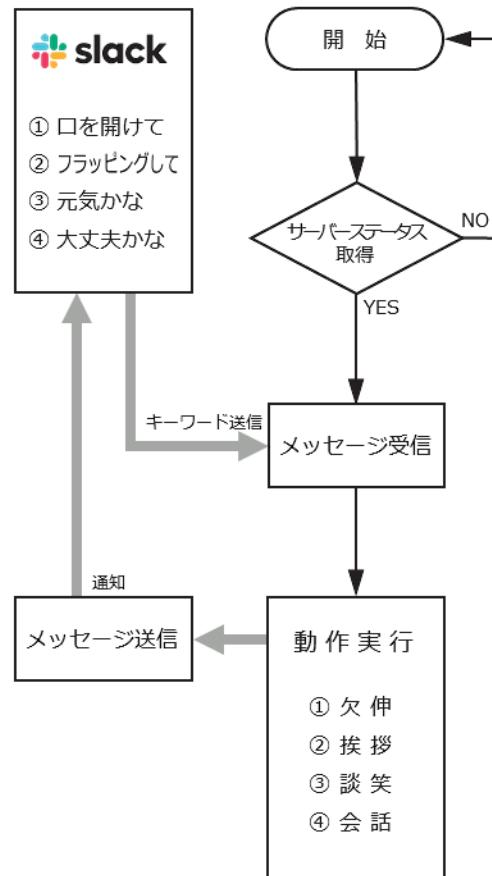


図12:動作フロー図

6 ロボット動作の検証

6.1 ロボット動作の印象調査

2020年度の内山PTメンバー($n=4$ 人)は、提案したロボットが狙いのコンセプトを実現できているか検証した。実験方法はUCR-07ロボットをメンバー4人の自宅に1週間設置し、外見、動作表現、および印象について調査し意見をまとめました。

外見については、「外見に身体的特徴がない」、「動作に身体的特徴がある」、「動作時に利用者の行動を妨げない」、「会話しているように感じる」は全員肯定的であり、「口を模した部分が開閉することで愛情・共感を抱く」は意見が分かれた。

動作表現については、「フラッピングモードで動作中、楽しくなった」は全員肯定的であり、「開閉モードで動作中、あくびをしたくなかった」は否定的であり、「口を開けるモードは話しているように感じる」、「開閉モードはあくびのように感じる」、「フラッピングモードは笑っているように感じる」は意見が分かれた。

表現の印象については、「ロボットに親しみを感じる」、「動作させたことで気晴らしになった」は肯定的であり、「愛情、共感を抱く」については意見が分かれた。

6.2 拡張動作の情動評価

2021年度の内山PTメンバーは前記調査結果を更に発展させたいと考え、ロボットの口開閉動作の時間と角度のパラメータ値を細分化して制御することにより、多種動作パターンを実現し、多様な感情表現が可能になるとの仮説を立てた。UCR-07ロボットに搭載しているサーボモータ(SG90)では現行の動作より細分化(より細かな動き)できないため、予備実験としてMAXON Computer社のCinema 4Dで3DCG動画(図13)を制作し、動作パターンを拡張して口開閉動作をアニメーションで実行した。メンバー各々が偏った表現にならないように、多様な感情を予想して33パターンの異なる動きを、開閉角度 θ と動作時間tをパラメータとして作成した。

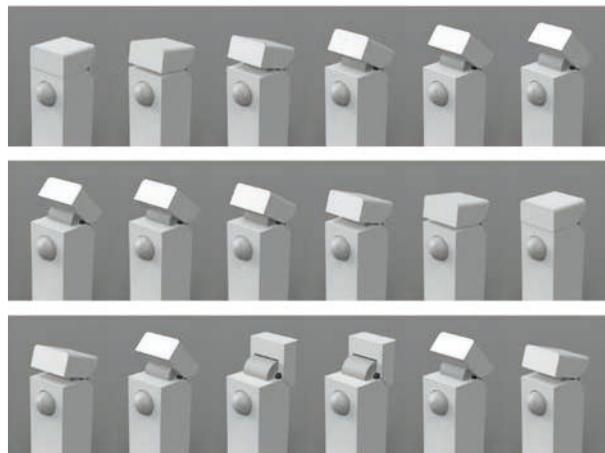


図13: アニメーション動画例

PTメンバー($n=6$ 人)を被験者とし、ラッセルの円環モデル[18-19]の 28 種の各感情ワード(図14)に対して、全く感じない(1点)から、とても感じる(10点)までの10段階の尺度で、被験者に採点依頼した。1パターンの動きについて 28 種の情動評価を実施し、6人の被験者の平均値-標準偏差を感情値とし、感情値 >5.0 (閾値)の感情ラベルを1ポイントとした。(1パターンで複数の感情ラベルもある。)本予備実験は内山PT6人の限定的な内部評価である。

ラッセルは快と覚醒の2軸に基づいた円環モデルで、全ての感情は28種の感情ラベルに分類できると提唱した[18]。直交する二次元座標のX軸には快(Pleasure) – 不快(Unpleasure), Y軸には覚醒(Arousing) – 沈静(Sleepy)の4象限を配置し、「快 – 覚醒」象限は興奮、喜びなどの感情を示す領域、「覚醒 – 不快」象限は怒り、緊張などの感情を示す領域、「不快 – 沈静」象限は哀しみ、憂うつなどの感情を示す領域、「沈静 – 快」象限は穏やか、くつろぎなどの感情を示す領域の4つの象限領域を定義している[17-20]。

全 33 パターンの異なる動作において感受された感情ラベルの累積ポイント数をグラフ(図 15)に示す。本実験の情動評価では、強弱の差はあるものの第 1 象限から第 4 象限領域までの多様な感情を利用者が感受する結果となり、口の

動きを模した単純化した構成のロボットであっても、多種パターンの口開閉動作を実現すれば利用者に多様な感情を印象付けられる可能性が明らかとなった。

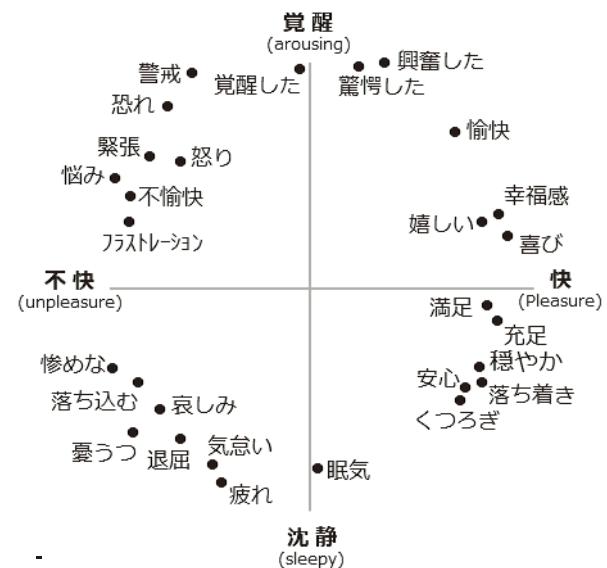


図 14: ラッセルの円環モデル[18-19]

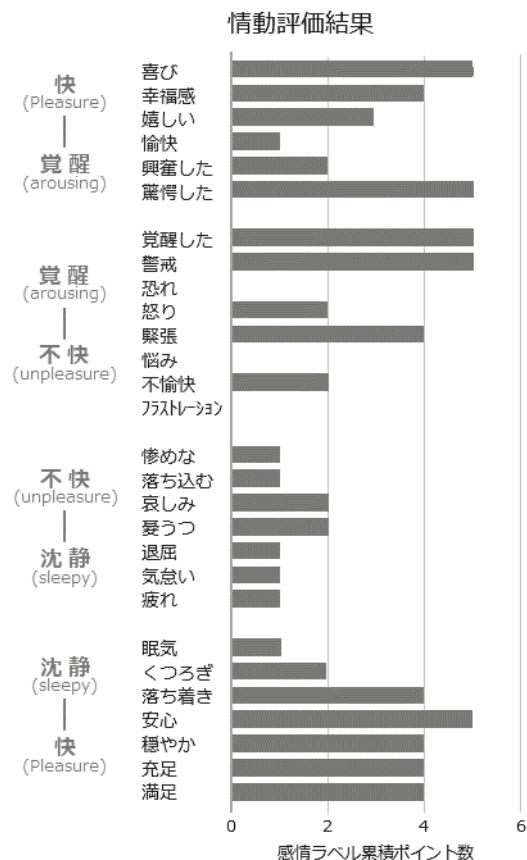


図 15: 情動評価結果のグラフ

7まとめと今後の展開

本稿では「人と共生するパートナーロボット」について、近年社会的な課題となっているメンタルヘルスに着目し、利用者は意図したロボットの動作から情緒的なサポートを感じ取ることによって、利用者のメンタルヘルス保持増進につながるという仮説を立て、その可能性を探求した。

ロボット試作においては、簡易化された基本要素を抽出し、単純化しても複雑さに負けないロボットの可能性を求め、基盤コンセプトを強く意識した上で、「存在感を削ぎ落し」、「機能・情報を絞り込む」という方向のアプローチをとった。

内山PTメンバーはロボットを動作させて、提案したロボットがコンセプトを実現できているか確認実験を行い、内部での評価・検証を行った。

その結果、ロボットの口を模した口開閉動作によって、「気晴らし行動を促す」ことや、「情緒的な共感を抱かせる」ことが利用者に感受され、口開閉動作表現によるストレスコーピングには一定の効果がみられた。

今後は、外部の利用者に対して調査を行い、動作制御と感情との関係を定量的に検証していく予定である。

更に予備実験として、3DCG アニメーション動画により、ロボットの口開閉動作を模して多彩で繊細な動きを試み、情動評価を実施したところ、より多様な感情表現の実現可能性を見出した。ロボットや友人が利用者の様々な感情に対して「共感」して、例えば喜び、哀しみ、くつろぎなどの感情を共有することで、ストレス緩和の一助となり、利用者が情緒的なサポートを感じ取ってメンタルヘルス保持増進につながると考える。今回の結果は限定的なものではあるが、この結果を基に今後はより多様な感情表現を実現するべく、UCR-07 ロボットのコンセプトは継承し、ロボット動作を更に多彩で繊細な動作制御をするための機能改善を実施して、評価・検証を進めていく。そして、最終的には日々の生活の中に小さな幸せと潤いを与える、心温まる「人と共生するパートナーロボット」の実現を目指す。

8おわりに

専門の異なる学生有志が、本学創造技術コース・内山研究室に集いスタートした「パートナーロボット」の開発研究は、内山PT・PBL テーマとして継続し6年目となる。簡易化された基本要素を抽出し、単純化しても複雑さに負けないロボットの可能性を求め、デザイン性を重視したパートナーロボットの開発研究を行ってきた。

2020 年來のコロナ禍の下では、日常生活の様々な制限、テレワーク等での働き方などの新しい生活様式が広がり、また、本学の PBL 活動も新しい活動形態が求められる等、我々が解決すべき新たな社会的課題が浮き彫りとなってきた。

研究活動スタート当初より「人と共生するパートナーロボット」の方向性について、本学情報アーキテクチャコース・成田雅彦先生、本学 Smart System Laboratory 所長・飛田博章先生から多くの助言をいただいた。また、設立有志メンバー、内山 PT 修了生に対して改めて感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 総務省 平成 27 年版通信情報白書, pp.191-193, 2015.
- [2] 一般社団法人 日本機械工業連合会, 平成 29 年度ロボット産業・技術振興に関する調査研究報告書, pp.50-51, 2017.
- [3] 厚生労働省 独立行政法人労働者健康安全機構、職場における心の健康づくり～労働者の心の健康の保持増進のための指針～, pp.3,20, 2017.
- [4] 厚生労働省, 令和2年労働安全衛生調査(実態調査), pp.12-16, 2020.
- [5] 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ー, 産業技術大学院大学紀要, No.10, pp.161-167, 2016.
- [6] 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ー, 産業技術大学院大学紀要, No.11, pp.175-180, 2017.
- [7] 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ー, 産業技術大学院大学紀要, No.12, pp.171-176, 2018.
- [8] 小川太輔, 大類桂一, 北浦なつみ, 胡瑤霞, 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ー, 産業技術大学院大学紀要, No.13, pp.121-126, 2019.
- [9] 斎藤瑞希, 菅原正和, ストレスとストレスコーピングの実行性と志向性(I)-ストレスとコーピングの理論, 岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要 第 6 号 pp.231-243, 2007.
- [10] 平井康次, ストレスコーピング—自分でできるストレスマネジメント—, 心理健康科学, 6(2) , pp.59-64, 2010.
- [11] 公益社団法人 日本看護協会,
<https://www.nurse.or.jp/nursing/shuroanzen/safety/mental/kojin/index.html>, (visited on Oct. 3rd, 2020).

- [12] 厚生労働省 e-ヘルスネット, ソーシャルサポート,
<https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/dictionary/exercise/ys-067.html>, (visited on Oct. 3rd, 2020).
- [13] 守口善也, 心身症とアレキシサイミア, 心理学評論
Vol.57 No.1, pp.77-92, 2014.
- [14] 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.
- [15] 日道俊之, 共感の多層的なメカニズムの検討, エモーション・スタディーズ, 第 2 卷, pp. 38-45, 2016.
- [16] 岡村直樹, クリスチャヌースのラポール形成に関する質的研究, キリストと世界:東京基督教大学紀要, 第 22 卷, pp. 78-104, 2012.
- [17] 柴田万里那, 大西俊輝, 呉健朗, 宮田章裕. 柔らかい物体の動きによる共感表現方法の基礎検証. 情報処理学会研究報告, Vol.2019-UBI-62 No.11, 2019.
- [18] Russell J.A.:A circumplex model of affect,
Journal of Personality and Social Psychology,
39(6), pp.1161-1178. 1980.
- [19] 江川翔一, 瀬島吉裕, 佐藤洋一郎, 情動評価のためのラッセルの円環モデルに基づく感情重心推定手法の提案, 日本感性工学会論文誌 18(3): pp.187-193, 2019.
- [20] 平松拓也, 池田悠平, 保科篤志, 香晨, 高橋裕也, 菅谷みどり, 生体情報による感情推定手法とステージの観客反応による評価, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2017)シンポジウム, 2017.
- [21] RSi ロボットサービスイニシアチブ, RSNP コンテスト
2020 受賞作品,
<http://robotservices.org/index.php/aboutrsnp/rsncontest/rsnpcontest2020/>, 2020, (visited on Oct. 3rd, 2021).

新しい働き方を実現する移動型オフィスのデザイン概念提案

安藤和美*・田中謙司*・村林覚*・村越英樹**・海老澤伸樹**

Design concept proposal of mobile office to realize new working style

Kazumi Ando* · Kenzi Tanaka* · Satoru Murabayashi*
· Hideki Murakoshi** and Nobuki Ebisawa**

Abstract

Under the COVID-19 disaster after 2020, the teleworking of various operations has rapidly progressed socially in Japan. Along with this, spatial deficiencies in the individual's remote work environment became apparent. This study proposes the design concept of mobile office based on the trend of changing needs for automobiles in Japan from the performance of mobility to the roominess of space. We explored the possibility of new work styles by using a combination of two types mobile office units that meet the needs of two different uses, one for individual work and the other for collaborative work and facilities.

Keywords: teleworking, working style, mobile office, mobility design concept, AIIT graduates community

1 はじめに

2020年、コロナ禍という未曾有の出来事により、私たちの日常は激変した。感染拡大の原因とされる「密集」、「密接」、「密閉」の三密を避けるため、よりよいコミュニケーションの手段としてこれまで当たり前に行っていた、「みんなで集まる」、「対面で会話をする」といった行動が制限されるようになった。

職場においても、通勤・通学で混雑する満員電車を避けるために「時差出勤」や、オフィスに人が密集することを避けるために「在宅勤務」や「テレワーク」が推奨され、会議や商談もオンラインミーティングツールを使った「リモート会議」、「リモート商談」が一般的となり、私たちの働き方や職場でのコミュニケーションの形が大きく変化した。

一方で、企業において遅々として進まなかつた「働き方改革」は、皮肉にもコロナ禍を機に一気に加速した。多くの企業では、時差出勤制度やテレワーク制度の導入を中心に、多様な働き方を推進する動きがみられるようになった。

しかし、付け焼刃的に導入されたテレワーク制度により、「最適なワーキングスペースの確保」や「リモート化によるコミュニケーションの不足」、これらに起因する「生産性の低下」といった、企業および企業で働く人々にとっての新たな課題が生まれている。

本論は、この現状における個人のテレワーク環境の不十分な状況に着目し、新しい移動型オフィスの可能性を検討する。コロナ禍により進んだ「働き方改革」が、コロナ禍収束

後に後戻りしないように、この提案の移動型オフィスを活用した場所を選ばない自由な移動による新たな働き方を提案することを狙いとしている。

2 問題の背景と顕在化した課題

2.1 先進国における情報化の進展と日本の停滞

日本のGDP成長率は、1997年を起点とした場合、先進7か国の中では最下位で、長年ゼロ成長の時代が続いている。また、1時間あたりの労働者の生み出す付加価値である労働生産性の成長率も、先進7か国の中では最下位である[1]。

一方で、各国のICT投資額の推移をみると、日本は1995年を境に投資が停滞し、その後他の先進国と大きく差がついており、これは経済成長や労働生産性の成長にリンクしている[2]。つまり、経済成長や労働生産性の低成長はICT投資の停滞と関係していると推測できる。日本は経済の低成長によりICT投資が停滞、ICT投資の停滞により労働生産性の成長が停滞、労働生産性の低成長により、経済成長が停滞、という負のスパイラルに陥っていると考えられる。

また、少子高齢化による超高齢化社会への突入により、日本の労働力人口は、今後減少することが想定されており、現状のままでは経済成長の停滞に拍車がかかると考えられる。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学 2019年 修了生, Advanced Institute of Industrial Technology graduated in 2019

** 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

2.2 働き方改革などの改善の努力

日本は経済成長の停滞が続いているが、その一つの要因と考えられているのが「少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少」である[3]。一方で「ブラック企業」と言われるような若年労働者への非生産的な長時間労働などの労働条件の悪化も顕在化し社会問題となった。改善のためには、高度ICTの活用による生産性の向上や、育児や介護と仕事の両立など「働く方々のニーズの多様化」による労働人口の創出が必要である。

そのような背景の下、2019年4月より「働き方改革関連法」が順次施行されることとなった。厚生労働省の資料によると、「働き方改革」は、働く人々個々の事情に応じた多様で柔軟な働き方を、自分で「選択」できるようにするための改革とされている。企業が働き方改革を推進するために、「長時間労働の是正」、「多様で柔軟な働き方の実現」、「雇用形態にかかわらない公正な待遇」の確保等のための措置が法制化され講じられている[4]。

上記を実現するには、社内就労制度の見直しだけでなく、高度ICTによる労働環境の整備や業務の効率化が必要とされる。その一つが「テレワーク」の導入である。

テレワークとは、情報通信技術(ICT)を活用した、場所や時間にとらわれない柔軟な働き方のことである。働く場所にとって、自宅利用型テレワーク(在宅勤務)、移動中や移動の合間に使うモバイルワーク、サテライトオフィスやコワーキングスペースといった施設利用型テレワークのほか、リゾートで使うワーケーションも含めてテレワークと総称している[5]。

テレワークを行うことで、先述の働き方改革における多様で柔軟な働き方を実現することが可能となる。

たとえば、在宅勤務の場合、オフィスへの通勤が不要となるため、子育てや介護をしながら自宅で仕事をすることが可能となる。サテライトオフィスやコワーキングスペースの活用は、オフィスが自宅から離れている場合の通勤時間の削減や、営業職など外活移動時間が多い職種の場合は、業務の効率化(生産性の向上)につながる。

2.3 コロナ禍で加速したテレワーク

企業のテレワーク導入は、企業にとって働き方改革の推進に非常に有効であるといわれており、一部の大手企業などはいち早くテレワークを制度化している。しかし、働くことがオフィスに出社することと同意であるといった古き慣習の下、制度化されていても周囲の目や上職からの評価が気になってなかなか制度を利用しにくいことも影響し、実際は制度があまり利用されていなかったのが現実である[6]。

また、中小企業においては、リモートでの管理上の課題(就労管理、セキュリティ管理)を解決するためのシステム導入コストの問題などもあり、制度化そのものが困難なことが多い。

しかし、2020年新型コロナウイルス感染症のパンデミック(以降、コロナ禍)により、状況が一変した。

新型コロナウイルスは三密と呼ばれる「密集」、「密接」、「密閉」が重なった場合に感染する可能性が高いことがわかり、人が集まり会議や商談などの会話をする「オフィス」もクラスターと呼ばれる集団感染の源になりうることがわかった。また、通勤の満員電車も「密集」、「密接」、「密閉」が重なる場所として、感染リスクがあるといわれている[7]。

2020年2月、広告代理店大手の株式会社電通は、汐留本社ビルに勤務する1名の新型コロナウイルス陽性者の発生により、汐留本社ビルに勤務する全従業員(約5,000人)を対象に在宅勤務に切り替えたと発表した[8]。

そして、2020年4月の緊急事態宣言の発令を機に、政府からの呼びかけにより中小企業を含め多くの企業がテレワークの導入に踏み切った。東京都の調査によると、東京都内の従業員30人以上の企業に対してテレワークの導入について調査した結果、導入していると回答した企業が3月時点では24.0パーセントであったのに対し、4月には62.7パーセントに増加していることがわかる[9]。

企業のテレワーク導入に伴い、様々なオンライン会議、オンライン商談ツールの利用が企業、個人問わず一気に広がり、テレワークの推進をさらに加速させた。

2.4 テレワークの課題

4月の緊急事態宣言後の調査によると、新型コロナウイルスの感染拡大をきっかけにテレワークを導入している企業は31%で、一度も実施していない企業は42%であった。一方で、感染拡大で一時実施したがすでにやめた企業が26%にのぼっている[10]。

企業がテレワークを実施できない、継続できない理由はいくつか考えられるが、その1つとしてテレワークによる「生産性の低下」があげられる。

生産性の低下の原因として、1つ目は、「通信・PC環境による生産性の低下」である。VDI(Virtual Desktop Interface)利用によるレイテンシーがおこる、Wi-Fi環境が良くない、モニターが小さいなど、オフィスと同じ設備がテレワークでは未整備であることが原因である。

2つ目は、「メンタル面での生産性の低下」である。オンとオフの切り替えが難しい、外出できないことが苦痛、人とのコミュニケーションがとりにくいなど、オフィスでの無意識な日常の働き方と異なることが原因である。単身者の場合は「メンタル面での生産性の低下」が多く、外出できないストレスから心身を病む人が増えている[11]。

2つ目は、「就労環境による生産性の低下」である。机が狭い、自宅に仕事部屋がない、生活音が邪魔になるなど、オフィスと同じ就業環境がテレワークでは未整備であることが原因である。

このように、これまで遅々として進まなかった「働き方改革」は、皮肉にもコロナ禍で一気に加速したが、企業内で十分な準備が整わないままに半ば強制的に導入したテレワークによって、新たな働き方の課題を生み出しているのも事実である。

3 テレワーク環境改善への動きとモビリティの動向

3.1 テレワーク環境対応への提案例

コロナ禍により加速的に進んだ企業のテレワーク導入ではあるが、急造での取り組みであるがゆえ、前述の通り新たな課題が生まれている。その一つである3番目の就労環境による生産性の低下について更に詳述する。

都心部を中心とした日本の住環境において、家庭を持つ一般的な男女は自身の専用部屋がなく、そもそもテレワークをする場所が自宅にないケースが多くみられる。

そのため、コロナ禍以降、テレワークのための公共施設の提供や、自宅でテレワークをするための設備やグッズなどが多く登場し販売されている。

例えばシェアスペース型のテレワーク設備として、図1に見るような駅ナカのテレワークボックスが多く設置される様になった。また、コロナ禍で利用客の減ったカプセルホテルをリノベーションし、コワーキングスペースとして提供している図2の例もある。それ以外にも、多様な働き方の一つであるワーケーション利用を狙い、リゾート地ではゴンドラを改造してテレワークスペースとして提供している図3の例もある[14]。



図1: TELECUBE(飯田橋)[12]



図2: パセラのコワーカー新宿南口駅前店 [13]



図3: リゾナーレハケ岳(星野リゾート) [14]

また図4にみられるように在宅型のテレワーク設備としては、自宅の庭やガレージ、空きスペースなどに設置できるコンテナ型のワーキングスペースが販売されている。室内でテレワークをするためのデスクやイスなどのほかにも、室内の共同スペースにおいて生活空間と仕事空間をセパレーションするための、室内に設置できる図5のテント型のベースや図6の段ボール製の簡易テレワークベースなど、在宅テレワークのための新たなマーケットが形成されている。



図4: リモートワークオフィス CONBOY(コンボイ) [15]



図 5: サンワダイレクト ゲーミングテント [16]



図 6: ハコデルーム [17]

コロナ禍においてはクルマを利用したテレワークも話題となつた。キャンピングカーやワンボックスカーの荷室を改造したテレワークカーの利用は、自治体や自動車メーカーを中心し実証実験が行われている[18]。また、後述する「駐車場パパ」がマイカーの車内で仕事をするための簡易テーブルやパソコンに電源を供給するための電源アダプターなど、車中テレワークグッズも多く販売されている。

このようなことから、コロナ禍以降、「就労環境による生産性の低下」という課題に対し、課題解決に向けた新たな需要が生まれていると考えられる。

3.2 駐車場パパの出現とマイカー価値観の変化

職場での感染対策のため会社から在宅勤務を命じられるも自宅に自分専用の部屋がなく、リビングなどの共有スペースでは仕事に集中できなかつたり、生活音がリモート会議や

商談の邪魔になつたりするといった理由で、駐車場に停めているマイカーにパソコンを持ち込んで仕事をする「駐車場パパ」がメディアで取り上げられた[19]。

「駐車場パパ」は、普段は使われていない平日のマイカーの室内を、部屋(パーソナルな居住スペース)として活用している。

そもそもマイカーは機能的な側面において、徒歩では困難な長距離・高速のヒトの移動や人力では運搬が困難なモノの移動といった「移動」の価値を生み出すものである。逆に言うと、移動していないときは価値が少ないともいえる。「駐車場パパ」はこの停車中のマイカーの「閉鎖された空間」に新たな価値を見出したケースと考えることができる。

2018年1月にNTTドコモが、首都圏在住の20歳から69歳までのカーシェア利用経験者を対象に「カーシェア時代における車の使い方」をテーマに行った意識調査によると、カーシェアリングサービスを移動以外に使用したことがある人は全体の12.5%にも上っている。その内容は、「休憩、仮眠」、「仕事、友人などへの電話」、「避暑・避寒・雨宿り」、「着替え・コインロッカー替わり」、「カラオケ」といった内容である[20]。

ほかにもコロナ禍以前より、旅行やキャンプの就寝場所としてマイカーの車内を利用する「車中泊」や、管楽器など大きな音の出る楽器の練習場所としてマイカーを利用する、といったケースもみられる。

1990年代以降、クーペやセダンよりも、ミニバンなど居住スペースが広いクルマをマイカーとして選択する人が増え、装備においてもフルフラットシートなど停車中に利用する機能の充実がみられることから、移動だけではない空間としてのマイカーの価値基準にも変化がうかがえる。

特にマイカーは事業用車とは異なり、移動している時間よりも利用されずに停車している時間の方が圧倒的に長い。停車中の「閉鎖された空間」をうまく活用することが、シェア時代に個人が所有するマイカーに新たな価値の転換を促す可能性があると考えた。

3.3 超小型モビリティについて

前述のマイカーを利用したテレワークの記載に伴い、ここでマイカーを含む現状のモビリティの動向について考えてみたい。まずは新しく検討されている超小型モビリティについてである。

超小型モビリティとは、自動車よりコンパクトで小回りが利き、環境性能に優れ、地域の手軽な移動の足となる1人～2人乗り程度の車両である。長距離の高速移動や大量輸送を目的としてはおらず、パーソナルな短距離移動を目的としている。

国土交通省では、高齢化が進む日本社会の変化への対応、CO₂排出量の削減、公共交通空白地帯の解消などを

目的とし、公道走行を可能とする認定制度を創設とともに、地方自治体、観光・流通関係事業者等の主導による超小型モビリティの先導・試行導入の優れた取り組みを重点的に支援する補助を実施している[21]。

現在すでに市販されている、あるいは市販予定の超小型モビリティは、キャビンの有無という大きな特徴から、表1にみるよう 1) キャビンなし…歩行を支援するためのモビリティ 2) キャビンあり…従来のクルマの代替としてのモビリティに大きく分類することができる。

キャビンを持たないセグウェイや電動キックスクーターは 1) に分類され、キャビンを持つ図 7 および図 8 のトヨタの C+pod や i-road は 2) に分類される。

表 1: 空間からみた超小型モビリティの分類

1) キャビンなし	歩行を支援するためのモビリティ	・セグウェイ ・電動キックスクーター
2) キャビンあり	従来のクルマの代替モビリティ	・トヨタ C+pod ・トヨタ i-road



図 7: トヨタ C+pod[22]



図 8: トヨタ i-road[23]

ここで、2)キャビンありにおける課題が、日本独自の規格である軽自動車との大きな差別化が図っていないことである。現状では一般的に、より小回りを重視した小型のサイズであるという製品の特徴よりも、その価格に比較して軽自動車マ

イナスの機能性(乗車定員や走行性能等)の製品と考えられている場合が多い。そのため、電動キックスクーターのようなキャビンなしの超小型モビリティに比べると、話題にもなりにくく国内では未だに一般の関心が低いように感じる。

3.4 CASEについて

最近のモビリティ動向として欠かすことができないのが「CASE」である。「CASE」とは、Connected(コネクテッド)、Autonomous(自動運転)、Shared(シェアリング)、Electric(電動化)の頭文字をとったこれからのモビリティを支える技術および方向性を示す造語である。

CASEにより、モビリティサービスは激変するといわれている。

現在、公共交通インフラが充実した都心部においては、マイカーの維持費に対する費用対効果から、マイカーを所有せずに必要なときのみ、カーシェアリングサービスを利用する人が増えているといわれている[24]。今後、コネクテッド、自動運転技術がさらに進化して無人運転が実現すれば、移動が必要なときにスマートフォンで呼び出して乗車し、目的地で降車して乗り捨てることが可能となる(クルマは無人で元の場所に戻る)。このようなオンデマンドな交通社会においては、マイカーとタクシーの境界がなくなるため、マイカーを所有する価値がかなり希薄になると考えられる。

これは、都心部に限った話ではなく、地方の過疎地において抱えている課題の一つである「高齢者の移動」の課題解決にもつながる。自治体が巡回バスや乗り合いタクシーの代わりに、無人運転のシェアリングモビリティを導入すれば、高齢者がマイカーを所有し運転する必要もなくなる。

このような交通社会の動向においてマイカーを所有する価値とは、単なる「移動の道具」から「移動もできる自分専用の空間」の価値が更に強くなって行くことが予測できる。

4 マイカーを利用したテレワークの体験調査と働き方の考察

4.1 テレワーク体験調査

2020 年 11 月に、マイカーを利用してテレワークをする体験調査を行った。

事前に準備したのは、ノートパソコン、ポケット Wi-Fi、電源アダプター、ステアリングテーブルで、自宅マンションの駐車場(自走式 3 階建ての 2 階中央)、山麓公園の屋外駐車場、ショッピングモールの屋外駐車場(食事)の順で行った。使用したマイカーは小型の SUV と称されるカテゴリーの車種である。

体験調査においての主な気付きを以下の様に仕事環境、空間構成、使い勝手の三つの観点から分析した。

1) 仕事環境

- ・立体駐車場などの環境によっては車室内が暗く、パソコンのキーボードや書類が見えない。マンションの駐車場が、昼間でも仕事をする環境としては暗いというのが想定外であった。また、逆に屋外ではパソコンのモニターが日光の反射で見づらいという問題がわかつた。
(-)
- ・ショッピングモールの無料駐車場やコインパーキングなど人通りの多い場所では、人目が気になって仕事に集中できない。自宅マンション(自己の所有地)以外の場所でテレワークをするとなった場合に、どこでテレワークをするか非常に迷った。現状では、クルマでテレワークする専用の場所(エリア)がないため、なんとなく居心地の悪さや不安が生じると感じた。マイカーでテレワークする専用の場所(エリア)のようなものがあるといいと感じた。
(-)
- ・トイレは公共トイレを探さなければならぬ(公園のトイレを利用した)。トイレなどで車を離れるたびに盗難防止のためパソコンや書類を片付けなければならない。外から丸見えの環境なので人目が気になる。また、クルマを離れるときも書類やパソコンなどを片付けて外から見えないようにしないといけないので、面倒である。
(-)
- ・食事や買い物などは自由に移動ができる便利。邪魔が入らない自分だけの空間であることや、いつでも移動しようと思えば移動できる自由さ(食事や買い物)は、利点であると感じた。
(+)
- ・プライベートな空間なので集中して仕事ができる。
(+)

2) 空間構成

- ・運転席でステアリングテーブルを使用する場合、運転席シートを最後端まで下げても、膝下やお腹のまわりにスペースがほとんどなく、テーブルにパソコンをおくと身動きがとれない。
(-)
- ・ワイヤレスマウスのUSB受信機をシートの隙間に落としそうになって慌てる。室内の狭さ、窮屈さは想定内であったが、床がフラットでない、隙間が多い、シートが固定されている、といった理由から小物を落としたときに拾うのが大変であると感じた。
(-)

3) 使い勝手

- ・テーブルが不安定なため、キーパンチ、クリックをするたびにぐらぐらゆれる。
(-)
- ・使用したパソコンが高輝度スクリーンのため、窓からの日光が反射してパソコンの画面が見づらい。
(-)
- ・職場や自宅では、サブモニターを使って作業しているので、作業性がよくない。
(-)

以上のように現状のマイカーにおいては作業空間としての空間構成や使い勝手などは考慮されていないためにほとん

どの項目がマイナスである。しかし仕事環境としては室内の暗さや駐車場など想定外の課題の発見はあったが、プライベートな空間として仕事に集中できる点や必要に応じて気軽に移動できる点に大きな可能性を感じることができた。

使い勝手や空間構成の問題点はテレワークスペースとして新たにデザインしていくことで解決できる課題である。この体験調査からハードとしてのテレワーク用モビリティの可能性が見えてきた。



図 9: マイカーを利用したテレワーク体験調査

4.2 ワーキングスペースとオフィスについて

ワーキングスペースとオフィスには明確な定義がなく、同義で使われることも多いが、本文では以下のように定義づけ、使い分けることとする。

ワーキングスペースとは、個人が1人で進める作業するために必要な空間、作業場とする。想定されるのは資料作成や思考、リモート会議対応などである。

オフィスとは、ワーキングスペースがいくつか集合し、コミュニケーションをとりながら複数以上のメンバーが共同で仕事や会議などを行うための空間と想定している。一般的なオフィスは、オフィスの中にいくつかのワーキングスペースが存在し、1人が1つのワーキングスペースを利用して共同で仕事を行っている。

また、オフィスには、コミュニケーションをとるためのミーティングルームや、効率的に作業を行うためのコピー機やプリンターといった共用設備、それ以外にもトイレや給湯室など、複数名が共用する空間や設備が存在する。これらを本論では「サービススペース」という総称で定義する。

1人で仕事を完結するSOHOなどは、ワーキングスペース、サービススペースとオフィスが同一の空間となる。

テレワークは、オフィスからワーキングスペースが分離しており、オンラインミーティングやチャット会話時のみ、バーチャル空間にミーティングルームが出現すると考えることができる。

テレワークにおいては、このオフィスからワーキングスペースが分離していることによるリアルな対人コミュニケーション不

足が、組織化やモチベーション、クリエイティブ等の面からみて課題とも考えられる。

4.3 仕事中の移動時間について

通勤、顧客訪問、出張など、仕事に関わる時間の中には多くの移動時間が含まれている。特に外活を中心の営業職などにおいては、商談のための小刻みな移動時間が多い傾向がみられる。また、コロナ禍以前は、1時間足らずの商談や会議のために、新幹線で往復5時間かけて東京、大阪間を移動するといったことも、多くみられた。

コロナ禍による移動の制限、またそれに伴うオンライン会議、オンライン商談が一般化したこと、仕事中の移動時間は大幅に削減された。これは生産性の向上として「働き方改革」の一助となっている。

しかし、コロナ禍以前は、この移動時間が存在したこと、移動時間を使って商談や会議発表のシミュレーションを行ったり、先述の新幹線による出張の際にはパソコンで書類を作成したり資料を確認したり、移動時間にできる仕事を選び出して効率よく活用していた。

また、アイデアが生まれる場所として3B(Bath, Bus, Bed)に例えられるように、移動中にアイデアが生まれることが多いといわれている。この3Bに共通しているのは、リラックスをしている状態であることと、1人でいることである。アップル創業者のスティーヴ・ジョブズ氏も散歩をしながらアイデアを創出していたといわれている[25]。

先述の移動時間の削減による生産性の向上に対し、テレワークにより外出・移動の機会が減り、切れ間ないハードワークでリラックスできる時間が減ったことや、アイデアが創出しにくくなつたことが、生産性の低下につながっているとも考えられる。

4.4 解決すべき課題のまとめ

「働き方改革」に示されるとおり、テレワークによる「多様で柔軟な働き方の実現」は、移動時間削減による時間効率からみた生産性の向上に寄与している反面、テレワークをする環境が十分に整っていないことによる生産性の低下が課題となるっている。マイカーを活用したテレワーク(駐車場パパ)では、マイカーの空間としての価値を見出しワーキングスペースとして活用するまではよかつたが、そもそもワーキングスペースとして最適化されていないため、体験調査からもわかるようにこのままでは生産性は決してよくない。

また、在宅によるテレワークでは集まることができないことによるコミュニケーション不足や移動がなくなったことによるアイデア創出の機会損失といった、生産性を低下させる原因を生んでいる。

本論ではこれらを解決するために、個人のワーキングスペースとして最適化した新たなワーキングスペースユニットと、

複数人以上のための仕事を想定したサービススペースユニットを組み合わせてデザイン提案する。通常は集中して作業ができることで個人の生産性を維持・向上させる。また必要に応じてリアルに集まってコミュニケーションをとることができ、アイデア創出のために移動しながらアイデアを創出したり、アイデア創出のためにリラックスできる場所に移動して仕事ができたりする新たな働き方のデザインの可能性が見えてきた。

5 提案の方向性

5.1 ワーキングスペースにおける課題とワーキングスペースユニットの提案

ワーキングスペースに移動の自由を与えることで、働く場所の自由度をさらに広げることができる。たとえば、小さなお子様の夕方のお迎えが必要な場合や、仕事が終わったあとにスポーツ施設に行く場合など、道路の空いた時間に目的の場所に移動し、近所のパーキングで仕事をすることができるため、より時間を有効に活用することが可能となる。また、移動によりリラックスや気分転換の時間を作ったり、アイデアの創出機会を増やしたりすることで、生産性の向上が期待できる。

また、この様なワーキングスペースユニットを例えれば超小型モビリティの規格で提案することで、現在の「軽自動車マイナス」の機能イメージから一般に関心の薄い超小型モビリティ普及においても果たす役割は大きい。マイカーの潜在的な価値である「空間」に着目し、移動という元来のモビリティが持つ価値とは異なるワーキングスペース(作業空間)としての価値を高めることで、これまでのクルマとは異なるマイカー兼マイルームという新たな需要を喚起できるのではないかと考える。

現状のマイカーを利用したテレワークでは、体験調査から多くの課題が見つかっている。たとえば、仕事をする環境としての適切な光量や遮音性、着座姿勢や頭上空間、足元空間の快適性などは、配慮されていない。そのため、長時間、長期的なワーキングスペースとしての利用を考えると、結果的に生産性の低下につながる。生産性を維持あるいは向上させるためには、少なくとも駅ナカのテレワークボックスもしくはそれを上回る機能・設備が必要と考える。

5.2 コミュニケーションにおける課題とサービススペースユニットの提案

テレワークにおいては、コミュニケーション不足になることやインフラとしての共用設備が利用できないことも課題である。前述の通り、テレワークではオフィスからワーキングスペースが分離している。オフィスから分離していることにより、ミーティングルームや共同作業場のようなリアルなサービススペースがないため、所謂ワイガヤ会議のような闊達な意見交換の

場を作ることが難しい。また、昔から「人事は喫煙室で決まる」などと冗談めかしていわれるよう、さまざまなアイデアや方針が、共有スペースでのリラックスしたコミュニケーションの中から生まれることも多い。

また、オフィスに存在する共用設備(コピー機、プリンター、大型文具など)などが使えないため、生産効率が落ちる、あるいは職種、業種、所属部門によっては、そもそもテレワークができない、といった課題が起こっており、コロナ禍においてはそれが原因で転職や転籍を希望する人もいる。

そこで、仕事をするためにオフィスに赴くのではなく、オフィスにあるサービススペースのみを必要に応じて移動させることができないかと考えた。移動図書館や移動販売車のように、オフィスの持つ機能や設備をユニット化してモビリティと組み合わせることにより、必要なときに必要なユニットだけを移動させ、オンデマンドなオフィスを作るイメージである。

先述のワーキングスペースユニットと組み合わせることで、様々な場所に自由に集まりオフィスを作ることができる。これは新たなオフィスタイルの提案であるとも考える。

6 デザイン提案

6.1 ワーキングスペースユニットの基本コンセプト

ワーキングスペースユニットは、常時はパーキングに据置状態で、個人のワーキングスペースとして機能する。従来の超小型モビリティとは異なり、移動よりもワーキングスペース(作業空間)としての価値に重点を置いた設計により、オフィス内のワーキングスペースと同等もしくはそれ以上の仕事場としての快適性を目指す。

また自律運転の超小型モビリティとしての機能を持っており、必要なときは超小型モビリティの最高速度である 60km/h 以下の速度で移動することができる。この移動機能を使うことで、リアルなコミュニケーションが必要な場面ではワーキングスペースごとどこかに集合することが可能となる。自律運転での移動中はアイデア創出などのちょっとした作業をしたり、休憩をとったりすることができる。

利用方法は、所有(購入・リース)とシェアリングの両方を想定している。所有の場合は、自宅駐車場や月極駐車場を利用する。こちらは、自宅にもう一部屋を追加(増築)するイメージである。自分好みに内装をカスタマイズすることで仕事だけでなく趣味(楽器練習、工作、アウトドアスポーツなど)や副業(出張サービス)などにも利用することが可能となる。またシェアリングの場合は現状のカーシェアリングと同様に、未使用時はコインパーキングなどに駐車してありインターネット予約して利用することができ、必要なときのみ時間利用できることを想定している。

6.2 ワーキングスペースユニットのデザイン

停車時の空間利用に比重を置くワーキングスペースユニットにおいて、インテリアの機能性はもっとも重要であると考える。特に体験調査で見つかったいくつかの課題は、作業性の低下、生産性の低下につながるため、解決方法を検討しデザインに展開する。

完全自律運転の電気自動車(EV)であることにより、従来のクルマに不可欠であったハンドルやブレーキ・アクセルなどの運転装置が必要なくなり、ドライブトレインもインホイールモーターを採用することで、図 10 に見るよう突起が少なくコンパクトでありながらもフラットで広いキャビンを実現することが可能となる。これにより、足下がすっきりし、床に落としたものが隙間に入ってとれないといったストレスも解消することができる。

また、パッテリーやコントロールユニットを車両の前後に集中させることにより低床化を実現し、地面と床面の段差を少なくて乗り込みやすくする。

図 11 に見るよう一人分のワーキングスペースとして、室内スペースは駅ナカのテレワークボックス(テレキューブ)を参考にした[26]。

ただし、室内高はテレキューブでは約 2,000mm のサイズであるが、ワーキングスペースユニットは据え置き固定ではなく移動体であるため、走行時のバランスに配慮し、軽トールワゴンの室内高を参考とし 1,500mm 程度に留める。これは身長 180 センチの人が着座したときに十分な頭上空間が確保できる寸法である。

ワーキングスペースとして、一人がパソコンをデスクに置いて快適に作業をするためのデスクやシート、空調、照明、電源、通信環境が装備されている。

デスクサイズはパソコンを置いて、さらに書類やノートなどを広げることを考え、幅 900~1,200mm × 奥行き 700mm 程度の一般的な一人用作業デスクのサイズを想定している。

シートは電車やバスの二人掛けシートのようなベンチシートで、2:1 の分割前後スライド、背もたれはリクライニング可能とする。前後スライドとリクライニングを組み合わせることにより、ワーキングモードとリラックスモードを切り替えることができる。これにより、長時間の作業での疲労を軽減させるとともに、移動時の着座状態の不安定さも解消することができる。

上記のシートスライドとリクライニングを実現するため、室内長はテレキューブより 1,000mm 長い 2,000mm に設定した。

デスク前方は、フロントガラスではなく、プロジェクター映像を投影するスクリーンとなっている。作業時はパソコンやタブレットを接続し、大型のサブモニターとして活用することで生産性の向上につなげる。移動時は外部カメラによる外の映像と走行データや地図を投影することができる。

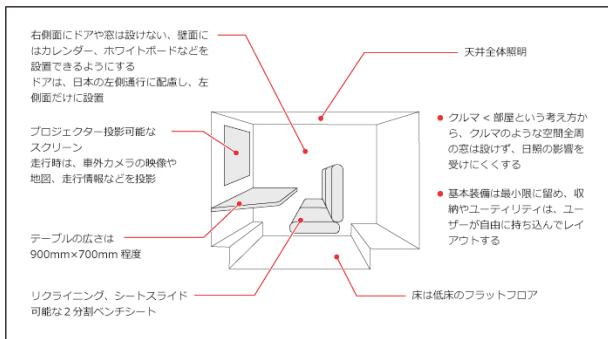


図 10 ワーキングスペースユニット 室内イメージ

ワーキングスペースユニットは、移動機能よりも空間機能を重視するため、前述の室内装備と空間を確保し、国土交通省が規定する超小型モビリティ(型式指定車)の範囲内(長さ 2,500mm × 幅 1,300mm × 高さ 1,800mm)で、空間を最大限有効に活用するため、スクエアなフォルムを検討する。

この寸法の範囲内であれば、理論上一般的な乗用車 1 台分の駐車スペースに 2~3 台駐車できる計算となり、都心部などにおける駐車スペースの課題解決にも寄与できると考える。

また、体験調査で見つかった屋外で日差しの影響を受けやすいという課題を解決するため、壁面や窓は傾斜させずに垂直に近い角度にする。これは走行時の空力抵抗を考えるとマイナスであるが、ワーキングスペースユニットは、停車時の空間利用に比重をおくデザインとする。

自律運転により安全性は担保されているという前提で、国土交通省の超小型モビリティ(型式指定車)の動力性能(最高速度 60km/h、定格出力 0.6kW 超)を想定している。

また、満充電で往復約 30km の移動と 9 時間(一般的な企業の定時労働時間 8 時間+残業 1 時間を想定)程度の停車作業(テレワーク)が可能な容量のバッテリー搭載を想定する。定位置で長時間の作業などが続く場合はプラグインで常時の通電によりエネルギーを確保する。

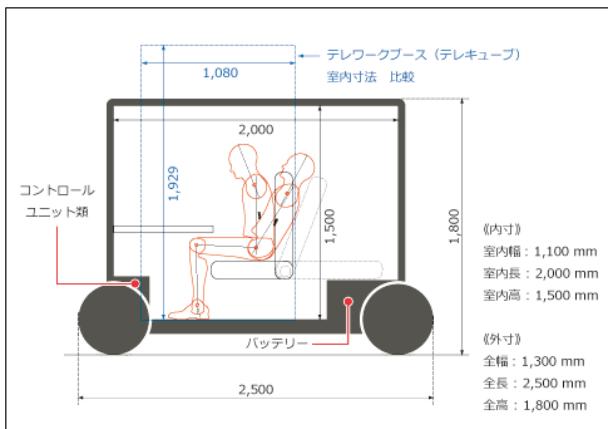


図 11: ワーキングスペースユニット サイズイメージ

6.3 サービススペースユニットの基本コンセプト

コロナ禍によりテレワーク化がうまく進んだ企業では、オフィスに出勤する人がほとんどなくなり、大きなオフィスを売却(あるいは解約)して、最小限の機能とスペースを持つ小さなオフィスへと引っ越しといったケースも見られる[27]。今後はそもそも物理的なオフィスを持たない(社員はオンラインネットワークでのみつながっている)企業が現れてくるかもしれない。サービススペースユニットはそのようなオンラインワークを主体とした企業に向けて新しい働き方を可能とする、オンデマンドな移動オフィスを作るためのユニットである。

サービススペースユニットは、一般的なオフィスにある、ミーティングルームや共同作業場、資料室、またリラックスのための休憩室や食堂などをそれぞれの目的に応じてユニット化している。

個人が所有するのではなく、企業が保有、あるいはレンタル・リース会社が保有し、ユーザーは必要なときに予約して利用するシェアリングモビリティであり、シェアリングサービススペースである。

當時は企業が所有する土地、あるいは大型の駐車場に停車されている。予め予約をして、一般的なシェアオフィスのように自ら赴いて利用することもできるし、指定場所に呼び出して利用することもできる。

日常的にはオフィスは必要ないが、月に数回はリアルな対面でしかできないというような業務や、突発的に集まらなければならないといったニーズのほかに、従来のオフィスのサービススペースを機能別にユニット化することで、土地(駐車スペース)さえあれば、必要な機能のみを必要な場所に移動させてオフィスを作ることができる。

6.4 サービススペースユニットのデザイン

基本ユニットは何もないフラットな空間で、用途・機能により表 2 のように目的に応じた機能で自由にレイアウト可能である。

表 2: ユニット例

ワーク	<ul style="list-style-type: none"> ・ミーティングルーム、作業場 ・コピー、プリンター、大型文具
リラックス	<ul style="list-style-type: none"> ・休憩室、食堂 ・トイレ、給湯、炊事場
インフラ	<ul style="list-style-type: none"> ・発電、給電設備 ・Wi-Fi 基地局、サーバー等

車体の大きさ、形状はすべて共通で、大きく分けるとセンターユニットと両サイドパネルによる構成を想定している。図 12 のようにセンターユニットは共通で、サイドパネルは、樹脂製、木製、ガラス製、などのバリエーションがあり、用途に応じ

て選択が可能である。

また、休憩室や食堂のようなリラックスを求める施設ではサイドパネルを跳ね上げてサンシェードにすることも可能で、オープニアの解放感が味わえる。

當時は決まった土地や駐車場に据置されており、必要なときのみ移動するため、建造物に近いスクエアな外観であり、見た目からはモビリティとしての機能を備えていることはわからない。

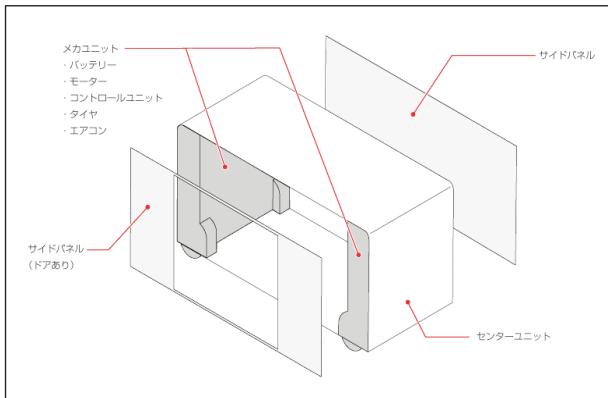


図12 サービススペースユニット 構造イメージ

コントロールユニット、バッテリー、モーター、タイヤなどの動力機関を前後に集中させることで、低床化を実現する。

一般的な駐車場の利用を想定し、図13のように車体サイズは全長、全幅をそれぞれ 5,000mm × 2,300mm 程度とし、全高は走行時のバランスに配慮した上で、車室内で 180 センチの人が起立状態で手をのばしても余裕がある 2,300mm の室内高を確保できる 2,500mm 程度とする。

自律運転の電気自動車であり、発電設備、Wi-Fi 基地局などユニットによっては高速道路を使った移動も可能と想定している。また人を乗せての移動は想定しておらず、人の移動を伴う場合は、乗用のシェアモビリティや公共交通を別途利用する。

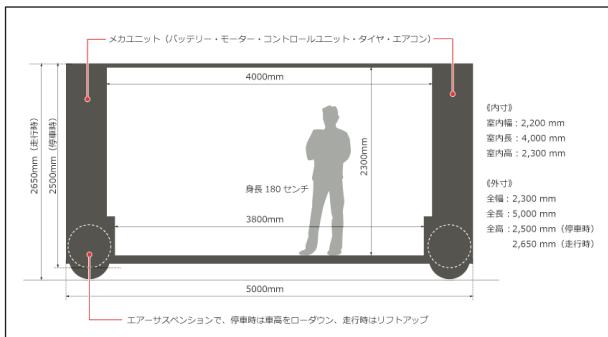


図13 サービススペースユニット サイズイメージ

6.5 新たなワーキングスタイルの可能性

ワーキングスペースユニットは、自宅駐車場や街中の駐車スペースなど自由な場所に停車して、通常は単体(1人)で

利用することを想定している。オフラインでのミーティングが必要な場合は、相互に申し合わせた場所に移動して面会することもできるし、前述のサービススペースユニットを組み合わせて利用することもできる。

ワーキングスペースユニットも、サービススペースユニットも、移動可能な空間であり、あくまで停車して空間を利用することを前提としている。そのため、自宅や自己所有の駐車場以外で利用するには、長時間気兼ねなく駐車できる場所が必要である。また、利用時は照明、空調、電子機器の使用などに電気を消費するため、給電設備のない場所でのテレワークは、発電機能のない電気自動車では不安である。体験調査においても、駐車する場所に困ったりバッテリー上がりが気になったりした経験から、自宅駐車場や月極駐車場以外にも、気兼ねなく駐車して給電をしながらテレワークができる専用の場所があるとよいと考える。

また、予め共用設備として、ミーティングルームやリラックススペース、トイレなどのサービススペースユニットを設置しておくことで、ワーキングスペースユニットを使ったテレワークの生産性がさらに向上すると考える。また、サービススペースユニットを呼び出す場所としても活用することができる。

サービススペースユニットの利用状況は、スマートフォンなどの通信機器から確認することができ、サービススペースユニットを予約し、駐車場所に赴いて利用することもできるし、サービススペースユニットを別の場所(指定場所)に呼び出して利用することもできる。上記のようなタイムリーなミーティング以外にも、下記のように、さまざまな機能・設備を備えたサービススペースユニットを組み合わせることで、そのときどきのニーズに応じたオフィスを作ることができる。

1) オンデマンドオフィス

指定場所に必要な設備・機能を備えたサービススペースユニットを呼び出し、ワーキングスペースユニットで集まることにより、必要なときに必要な時間だけオフィスを作ることができる。

たとえば、大きな駐車スペースに、ミーティングルームと合わせて、プリンターやコピー、トイレや食堂・休憩室などを呼び出せば、一時的にクライアントのオフィスの側に、営業所を設けることが容易にできる。案件に応じて週替わりでオフィスを引っ越すといった、これまでのオフィスでは困難であったことが、比較的容易に実現できるかもしれない。

また、電源や Wi-Fi 環境のない山奥のへき地などであっても、発電設備や Wi-Fi 基地局を備えたサービススペースユニットを呼び出すことで、即席のオフィスをつくることができる。

例えばグループでのワーケーションの様な新たな働き方も自由な場所で比較的容易に設定できる。

2) オンデマンドファクトリー

ものづくりの製造ラインをユニット化してサービススペース

ユニットに搭載し、集結させることにより、オンデマンドな簡易のものづくり工場を実現することが可能となる。3D プリンターによる造形設備を備えたユニット、研磨設備を備えたユニット、塗装設備を備えたユニットが、集結することにより、現地現物合わせのオーダーパーツの製造などができる。

その他にもオフィス機能以外の、行政や医療の出張サービスにも活用できる可能性や、野外教室やキャンプ、屋外スポーツイベントのベース及び災害時の被災地における仮設避難所や事務所などへの活用も期待できる。

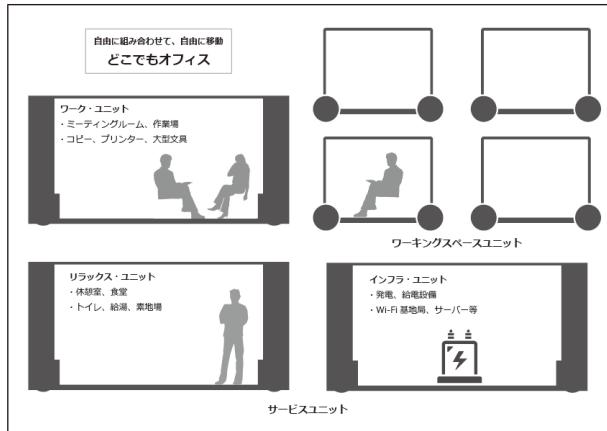


図14 使われ方のイメージ

7 おわりに

これまでモビリティはその場では達成できない何かの目的、例えば働いたり学んだり、買い物や食事のサービスを受けたりといった目的を達成するために、A 地点から B 地点に移動するための効率的な手段として「より速く」「より快適に」「より便利に」を目指して発達してきた。しかし社会の急速な情報化に伴いこの概念が大きく揺らぎだした。

EC の発達や、キッチンカーの存在などに典型的に見られるようにサービスを受けるための必要な移動は減り、むしろサービスが必要な時に必要な場所に来てくれるような社会が実現している。そしてこのコロナ禍によるテレワークの強制的な実施などで、これまで日常生活において常識であった通勤の概念も大きく変化してきた。

本論は潜在的に進んでいたマイカーにおける移動から空間への価値観の変化と、コロナ禍で一気に進んだテレワークの環境不備に着目し、モビリティを活用した新しい働き方のあり方の可能性の探求を目的としたデザイン概念の提案である。

キッチンカーにみるサービス概念の変化の様に、自由に任意の場所で快適に働くという新しいワークスタイルを実現するための手段として、次のモビリティの新たな可能性を探求した。そのためハードとしてのモビリティ自体の細部のデザインについては十分な検討がまだ不足している。あくまでも現在の社会変化やライフスタイルの急激な変化に基づくデ

ザイン概念の試論である。

なお、この研究は東京都立産業技術大学院大学において 2018 年に「移動の喜び」をテーマとして取り組んだ PBL チームの継続研究として、2020 年から 2021 年にかけて同学の修了生コミュニティ制度を利用し、コロナ禍での完全なりモートワークによる共同作業でおこなわれたものである。

参考文献

- [1] 公益財団法人日本生産性本部 労働生産性の国際比較 2019
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/R2attached2.pdf)
- [2] 総務省 情報通信白書 令和元年版 ICT 投資の状況
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r01/html/nd112210.html)
- [3] 平成 29 年版厚生労働白書 資料編 (2017 年 10 月 厚生労働省)
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/17-2/dl/01.pdf)
- [4] 厚生労働省 働き方改革を推進するための関係法律の整備に関する法律(平成 30 年法律第 71 号)の概要
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.mhlw.go.jp/content/000332869.pdf)
- [5] 一般社団法人日本テレワーク協会 テレワークとは
https://japan-telework.or.jp/tw_about/ (visited on 2021) (ウェブ参照)
- [6] リモートワーク進まないのは上司の無理解。“見えない”部下に不安な上司と企業の本音(2019/2/14)
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.businessinsider.jp/post-184761)
- [7] 首相官邸 3 つの密を避けるための手引き
[\(visited on 2021\) \(ウェブ参照\)](https://www.kantei.go.jp/jp/content/000062771.pdf)
- [8] 電通、汐留電通本社ビルに勤務する全従業員を対象に、2 月 26 日からリモートワークを実施(2020/2/25)
[\(visited on 2020\) \(ウェブ参照\)](https://www.dentsu.co.jp/news/release/2020/0225-010021.html)
- [9] 東京都 テレワーク「導入率」緊急調査結果(2020/5/12)
[\(visited on 2020\) \(ウェブ参照\)](https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/hodohappyo/press/2020/05/12/documents/10.pdf)

- [10] 東京商工リサーチ 第6回「新型コロナウイルスに関するアンケート」調査(2020/7/14)
https://www.tsr-net.co.jp/news/analysis/20200714_01.html (visited on 2020) (ウェブ参照)

[11] 広がる「コロナ疲れ」ストレス多く在宅勤務で休職も
<https://style.nikkei.com/article/DGXMZO63297800R00C20A9000000/> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[12] TELECUBE
<https://telecube.jp/> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[13] カプセルホテルがコワーキングスペースに大変身。既存施設のリノベには、快適テレワークを実現する工夫が詰まっていた(2020/12/9)
<https://workplacemag.jp/n1e1e101afd11> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[14] 【リゾナーレ八ヶ岳】日本初!「テレワークゴンドラ」が設置完了、いよいよ11月10日から利用開始します!(2020/11/6)
<https://www.hoshinoresorts.com/information/topics/2020/11/115560.html> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[15] リモートワークオフィス CONBOY(コンボイ)
<http://www.hello-container.jp/16014357741940> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[16] 好きなときに籠もれる。ちょっと広めのテレワーク用テント(2021/2/1)
<https://www.gizmodo.jp/2021/02/200-tent002bk.html> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[17] 災害時の備えやテレワークに。ダンボールで作る個室が思った以上に便利そうだ
<https://www.roomie.jp/2021/07/735973/> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[18] テレワークは自動車内で!スズキや東海理化などが提案を本格化(2021/1/27)
<https://newswitch.jp/p/25673> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[19] コロナ禍で増殖!家に居場所なく愛車リモート「駐車場パパ」の悲劇(2020/6/6)
<https://friday.kodansha.co.jp/article/117077> (visited on 2020) (ウェブ参照)

[20] 移動以外にも!?カーシェアリングの意外な5つの使い方(2020/11/10)
<https://carlike.jp/carshare-igai> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[21] 国土交通省 超小型モビリティについて
https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000043.html (visited on 2018) (ウェブ参照)

[22] トヨタ自動車 C+pod
<https://toyota.jp/cpod/index.html> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[23] トヨタ自動車、首都圏で「TOYOTA i-ROAD」のモニタ一調査を実施(2014/03/20)
<https://global.toyota/jp/detail/1228754> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[24] NTT ファシリティーズ 自動車業界の新たな潮流「CASE」が社会や私たちの考え方を変える
<https://www.ntt-f.co.jp/column/0148.html> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[25] スティーヴ・ジョブスが独創的なアイデアを生み出すためにやっていた、たったひとつの習慣。それは「散歩をすること」(2017/6/7)
<https://karapaia.com/archives/52240372.html> (visited on 2021) (ウェブ参照)

[26] TELECUBE by okamura カタログ
https://www.okamura.co.jp/product/others/telecube/pdf/telecube_ja_202011.pdf (visited on 2021) (ウェブ参照)

[27] エイベックス&電通 本社売却に見るコロナ後の企業の新形態(2021/2/8)
<https://www.nikkan-gendai.com/articles/view/money/284887> (visited on 2021) (ウェブ参照)

プログラミング言語 Rust による Linux カーネルモジュールの開発

追川修一*

Development of a Linux Kernel Module by the Rust Programming Language

Shuichi Oikawa *

Abstract

The Linux operating system is widely used by personal mobile devices and also by supercomputers. The Linux kernel is a heart of the operating system. It provides the abstractions of hardware resources and manages them to be used efficiently and effectively by application programs. The kernel has been programmed by the C programming language, which has been a major system programming language. Recently, there is a move to introduce the Rust programming language to the Linux kernel for the type and memory safety. This paper explores the possibility of using the Rust programming language to program Linux kernel modules.

Keywords: Systems Software, Operating Systems, Programming Languages, Linux, Rust

1 はじめに

Linux オペレーティングシステムは、現在、スマートホンやノート PC のような個人向けの携帯デバイスから、数百万個ものプロセッサコアを持つスーパーコンピューターまで、幅広く用いられている。オペレーティングシステムカーネルは、アプリケーションプログラムの実行環境を提供するシステムソフトウェアであり、ハードウェア資源を抽象化し、管理する役割を担っている。Linux オペレーティングシステムの場合、Linux カーネルがそれにあたる。

オペレーティングシステムカーネルは、ハードウェアを直接制御するため、その目的に適したシステムプログラミング言語によって記述されてきた。UNIX と共に開発されてきた C プログラミング言語は、最も広く用いられているシステムプログラミング言語の一つである。C 言語は、開発された当初は高級アセンブリ言語とも言われ、データの集合である構造体とメモリ上へのデータの配置との対応付け、データが配置されるアドレスの操作、ビット演算などのビット単位でのデータの操作といった、ハードウェアの制御に適した機能を提供している。C 言語のコンパイラとして標準的に用いられ、Linux カーネルでも用いられている GNU C コンパイラ (GCC) は、C プログラム中にアセンブリ言語のプログラムを組み込むインラインアセンブリや、プログラムのセクションの記述といった拡張機能を提供しており、システムプログラミング言語としての有用性をさらに高めている。

C 言語はハードウェアの直接制御を主な目的とするシステムプログラミング言語としての有用性は極めて高い一方で、型安全性やメモリ安全性が弱い点が短所としてあげられる。型安全性とは、データや関数に付けられた型を文法的、意味的に検査し、問題が起きないようにする安全性である。C 言語はコンパイル時に型検査を行うが、厳格ではないため、動作が未定義の場合でもコンパイルは成功してしまうことが多い。例えば、戻り値がある関数に、戻り値を指定する return 文がなくとも、コンパイル可能であり、実行も可能である。また、型の異なるデータ間での演算や代入がある場合、コンパイル時に暗黙の型変換が行われるため、想定外の結果を引き起こす場合もあり得る。メモリ安全性とは、プログラムの不正なメモリ操作による問題が起きないようにする安全性である。C 言語は、メモリ安全性については検査しない。例えば、配列について宣言された範囲内でのアクセスかどうかの検査は一切行わないため、範囲外のアクセスも可能であり、セキュリティ脆弱性の温床となりえてしまう。例えば、ローカル変数上の配列に対し、宣言された範囲を超えて値を書き込むことで、任意のプログラムを実行させるスタックスマッシング攻撃を行うことができてしまう。

オペレーティングシステムカーネルは、単体のプログラムとしての規模は非常に大きく、構成要素は相互に依存し、割り込みや例外処理、そして現在ではマルチプロセッサに対応した並列プログラミングを行う必要があるため、プログラミングには既存のプログラムおよびハードウェアに対する深い理解

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

が必要である。従って、カーネルプログラミングの難易度は高い。そのため、C 言語のような安全性が弱い言語であっても、スキルが高く十分な知識を持つ技術者や研究者がプログラミングをするため、問題は生じにくいとする考え方方が主流であり、安全性よりもシステムプログラミング言語としての利便性やコンパイルされたプログラムの実行性能を優先してきた。

システムプログラミング言語以外では、計算機性能向上、コンパイラフレームワークなどプログラミング言語の開発技術の向上、Web アプリケーションの拡大に支えられ、多種多様なプログラミング言語が発展した。安全性についても、改良された言語が開発された。例えば Java 言語はガーベッジコレクションを提供し、実行時に配列境界の検査、ポインタの参照外し(ポインタのアクセス)の検査を行うためメモリ安全であると見なされるが、実行時に NULL ポインタ参照の例外は発生する。Kotlin 言語は、NULL ポインタ参照による実行時の例外が起らないように改良された言語である。Kotlin 言語のプログラムは Java 仮想マシン上で動作し、Android アプリケーションの開発にも用いられている。また、JavaScript にも型を導入した TypeScript が開発されている。

このようなシステムプログラミング言語以外のプログラミング言語の発展を背景に、システムプログラミング言語でも安全性の高いシステムプログラミングが可能なプログラミング言語への要求が高まり、その結果として Rust 言語が開発された。Rust 言語は、型安全性、メモリ安全性を提供する。Rust 言語は、安全性を提供するために、性能を犠牲にしない方針で開発されている。そのため、実行時のメモリ管理コストが大きい、ガーベッジコレクションは提供しない。その代わりに、所有権という概念を導入し、コンパイル時にメモリの所有権の移動の管理を可能としている。このような安全性を提供する一方で、Rust 言語のプログラムと既存の C 言語のプログラムとの結合も可能とすることで、システムプログラミングに用いやすくしている。

Rust 言語の仕様および開発ツールが安定するに従い、様々なアプリケーションが開発されるようになった。その一つとして、Linux カーネルのモジュールを Rust で記述可能にする Rust for Linux [1]が開発され、将来的にメインラインカーネルに取り込まれる可能性が高い機能を試験的に導入する Linux next に取り込まれた[2]。また、RFC も投稿され、議論されている[3]。Google が Android 用の Linux カーネルに必要となる機能の開発に Rust を用いることも発表[4]され、新聞等でも取り上げられた[5]ことで、一般にも注目を集めこととなった。

Rust for Linux がメインラインカーネルに取り込まれるまではまだ時間がかかると考えられるが、Google/Android のサポートのために着実に開発は進むとも考えられる。現状では、Rust for Linux の情報は非常に限定的であるため、先行的に開発を行い、知見を貯めることには大きな意義があ

る。そこで、本論文では、Linux カーネルのモジュールを Rust 言語で開発した経験について述べる。2 章では、Rust モジュールを含む Linux カーネルの開発環境についてまとめる。3 章では、Rust 言語によるカーネルモジュールの記述方法について述べる。4 章では、Rust 言語による FAT ファイルシステムモジュールの開発について述べる。5 章で本論文をまとめる。

2 Rust for Linux カーネルの開発環境

本章では、Rust モジュールを含む Linux カーネルの開発環境についてまとめる。

2.1 コンパイラのインストール

Linux カーネルは一般的には GCC によりコンパイルされるが、Rust 言語は LLVM コンパイラフレームワーク上に構築されているため、結合する C 言語のプログラムも LLVM(C コンパイラは clang)によりコンパイルされる想定となっている。LLVM により Linux カーネルをコンパイルできるようにする作業は長らく行われてきたが、現在は正式にサポートされている。

Rust コンパイラは活発に開発が進められており、Rust for Linux でも新しく Rust コンパイラに取り入れられた機能が用いられている。そのため、安定版の stable リリースの他に提供される、開発版のリリースを用いる必要がある。必要となるバージョンは変更されるため、Rust for Linux のドキュメントに記載されているバージョンを用いる。

LLVM、Rust コンパイラ共に、新しいリリースが必要となるため、開発環境とする Linux ディストリビューションが配布するバージョンとは異なる可能性が高い。そのため、Docker を用いて、Rust for Linux の開発で必要とされるバージョンのソフトウェアをインストールした Docker イメージを構築すると、ソフトウェアのバージョン間の不具合等が発生しにくい。Docker イメージは複数バージョンを保持可能であるため、新しいリリースをインストールしたイメージを作成し、問題があった場合に、容易に旧バージョンに戻すことができる点も利点である。

本論文を執筆するために用いた Docker イメージを構築する Dockerfile は、Ubuntu 20.04 (Focal) をベース環境として構築した。Linux カーネルのコンパイルに必要とされるツールをインストールした後に、LLVM および Rust コンパイラをインストールしたイメージを作成する。Docker イメージの起動時に、作業を行うディレクトリをコンテナにマウントすることで、ホスト環境で編集したファイルを、Docker イメージのツールでコンパイルすることができる。Docker コンテナ内で実行するユーザを、ホスト環境のユーザと同じく設定することで、Docker コンテナ内外の差異を意識することなく開発作業を行ふことができる。

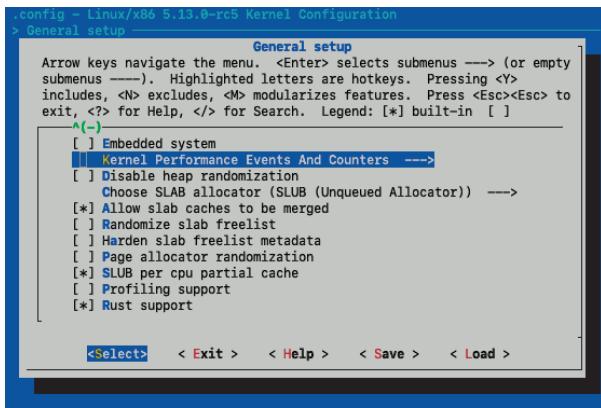


図1: Rust support の選択画面

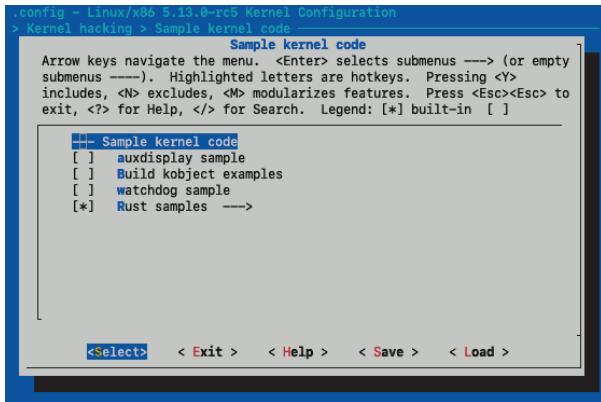


図2: Rust samples の選択画面

2.2 Linux カーネルのコンフィグレーション

Linux カーネルのコンパイル(ビルド)をするにあたり、Rust 言語のサポートを有効にするには、Linux カーネルのコンフィグレーションの設定で General setup から Rust support を有効にする必要がある。このオプションは、Rust コンパイラがインストールされており、バージョンが適合する場合にのみ表示される。Rust 言語で書かれたモジュールもコンパイルするには、Kernel hacking 内に表示される Sample kernel code を選択し、その中の Rust sample を選択する。図 1 に make menuconfig で表示される Rust support の選択画面、図 2 に Rust samples の選択画面を示す。それぞれ、最下部に Rust support, Rust samples が表示されており、左側に [*] が表示され、選択されていることがわかる。

Linux カーネルのビルドコンフィグレーションの設定肢は膨大であるが、デフォルトのコンフィグレーションでは、多くの場合で不要な機能、デバイス、オプションが選択されてしまう。これをそのままにしておくと、コンパイルに長時間かかることになるため、開発の効率を上げるために、できる限り簡素化したコンフィグレーションを作成すべきである。

2.3 Linux カーネルのビルド

コンフィグレーションが終了した後に、前述の通り、C コンパイラには LLVM (clang) を用いて Linux カーネルをビルドする。そのためにはいくつか方法があるが、最も簡便な方法は make に LLVM=1 オプションを指定する方法である。LLVM=1 オプションを指定することで、CC や LD 等をまとめて LLVM のツールを使用されるようになる。この方法で気をつけることは、LLVM 関連のコマンド名にはバージョン番号が含まれない点である。例えば、LLVM バージョン 12 の C コンパイラは clang-12 というコマンド名でインストールされることが多いが、clang でも実行できるように、例えばシンボリックリンクが張られている必要がある。

Linux カーネルのビルドが成功すれば、x86_64 アーキテクチャの場合は arch/x86_64/boot/bzImage として起動イメージが作成される。

2.4 実行環境

動作確認およびデバッグのために作成した起動イメージを実行するには、仮想マシンを用いるのが簡便である。様々な仮想マシンが開発されているが、その中でも QEMU [6] は、Android の開発環境として採用され、また Linux カーネルの仮想化機能である KVM のデバイスエミュレータとしても用いられており、オープンソースの仮想マシンとして幅広く用いられている。

QEMU を開発用の仮想マシンとして用いることの主な利点としては、1) 端末からコマンドラインで使いやすいこと、2) 準仮想化デバイスが使用できること、3) 高速であることがあげられる。QEMU は、端末のコマンドラインから仮想マシンの起動およびその結果の確認が容易にできる。特に、カーネルがコンソールに出力する実行結果を端末上に表示できることは、カーネルの開発を行いうえでは非常に重要である。また、起動イメージをコマンドラインで指定するため、作成した起動イメージを起動するために、毎回、起動ディスク上に書き込む必要がない。QEMU は KVM のデバイスエミュレータとしての機能として、準仮想化デバイスを提供している。ディスクデバイスとして準仮想化デバイスを用いることで、SATA や SAS 等の複雑なディスクデバイスのドライバをカーネルに組み込む必要がなくなる。QEMU は、ゲストの機械語命令を実行時にホストの命令に変換し、キャッシュして蓄える機能を提供しており、高速なシステムエミュレーションを実現している。

本論文で Rust 言語によるカーネルモジュールの開発を行うにあたり、QEMU を用いて開発、デバッグを行った。上記の利点は、開発を効率化するにあたり、有効であることを確認した。

```

static int __init helloworld_init(void)
{
    printk("Hello World.\n");
}

static int __exit helloworld_exit(void)
{
    printk("Goodbye World.\n");
}

module_init(helloworld_init);
module_exit(helloworld_exit);

```

図 3: C 言語でのカーネルモジュールの定義

3 Linux カーネルモジュール

本章では、Linux カーネルのカーネルモジュールの記述方法について述べる。Linux カーネルに何らかの機能を導入する場合、カーネルモジュールを定義することになる。まず、C 言語によるカーネルモジュールの定義について述べたのち、Rust 言語による方法について述べる。

3.1 C 言語でのカーネルモジュールの定義

C 言語により初期化および終了時にメッセージを出力するカーネルモジュールの定義を、図 3 に示す。初期化時に実行する関数 `helloworld_init()` を `module_init()` で指定する。同様に、終了時に実行する関数 `helloworld_exit()` を `module_exit()` で指定する。`printf()` は、カーネル内でメッセージを出力するために用いられる `printf()` 相当の関数である。`helloworld_init()`, `helloworld_exit()` に指定されている `_init`, `_exit` はマクロであり、それぞれの関数が配置される実行バイナリファイルにおけるセクションを指定する命令に展開される。`_init` が指定されると、初期化関数用のセクションに配置され、起動時の初期化が終了すると不要になるため、そのセクションのメモリ領域は開放される。`_exit` が指定されると、終了関数用のセクションに配置される。この機能がモジュールでない場合は不要であるため、ビルドの対象とはならず、メモリ領域が節約される。

`module_init()` は、コンパイル時に初期化時に実行する関数をカーネルに登録するために考え出された仕組みである。引数として指定された関数へのポインタ(関数の実行開始アドレス)を、特定のセクションに配置することで、初期化関数へのポインタの配列が作成される。カーネル起動時に、この配列の要素、即ち初期化関数へのポインタを順番に呼び出すことで、モジュールの初期化を行うことができる。この仕組みが導入される以前は、新たなモジュールを追加する度に、初期化関数を呼び出すための数行のコードも追加する必要

```

module! {
    type: HelloWorld,
    name: b"Hello World",
    author: b"Rust for Linux Contributors",
    description: b"hello world sample",
    license: b"GPL v2",
}

struct HelloWorld;

impl KernelModule for HelloWorld {
    fn init() -> Result<Self> {
        pr_info!("Hello World.\n");
        Ok(HelloWorld{})
    }
}

impl Drop for HelloWorld {
    fn drop(&mut self) {
        pr_info!("Goodbye World.\n");
    }
}

```

図 4: Rust 言語でのカーネルモジュールの定義

があつた。初期化関数の呼び出しは、モジュールが追加される場合に限られるため、モジュールの追加の有無のコンフィグレーションとの整合性をとる必要があり、煩雑であった。`module_init()` 導入後は、モジュールの追加の有無のコンフィグレーションだけで済むこととなり、簡素化することができた。

`module_exit()` は、`module_init()` と同様の仕組みで終了処理関数を特定のセクションに配置する。

3.2 Rust 言語でのカーネルモジュールの定義

前節に記載の C 言語による初期化および終了時にメッセージを出力するカーネルモジュールの定義の、Rust 言語による記述を図 4 に示す。`module!` は Rust 言語のマクロであり、C 言語での `module_init()`, `module_exit()` で行っている初期化および終了処理関数へのポインタの特定セクションへの配置を行う。

初期化および終了処理関数は、`type:` に指定される構造体のトレイト (trait) `KernelModule`, `Drop` で、それぞれ `init()`, `drop()` メソッドとして定義する。即ち、C 言語でのカーネルモジュールにおける `helloworld_init()` に相当するのが、`KernelModule` トレイトに定義される `init()` メソッドであり、`helloworld_exit()` に相当するのが `Drop` トレイトに定義される `drop()` メソッドである。

Rust 言語のトレイトとは、型に対して呼び出せるメソッドのグループ、即ちある目的を達成するための振る舞いを定義したものである。ある型があるトレート、即ちメソッドのグループを定義すると、そのトレートの目的を達成するための振る舞いを定義したことになる。

Linux カーネルモジュールに対しては、初期化を行うという目的を達成するための振る舞いを定義するトレートとして `KernelModule` が用意され、終了処理を行うという目的を達成するための振る舞いを定義するトレートとして `Drop` が用意されている。`KernelModule` トレートは初期化を行うための `init()` メソッドを提供し、`Drop` トレートは終了処理を行うための `drop()` メソッドを提供する。

4 FAT ファイルシステムモジュールの開発

本章では、Rust 言語による FAT ファイルシステムモジュールの開発について述べる。

4.1 実装対象の選択理由と実装状況

本論文を執筆するにあたり、Rust for Linux では提供されていない Rust 言語による新規のカーネルモジュールを開発する対象として、FAT ファイルシステムを選択した。Rust for Linux ではデバイスドライバのサンプルが提供されており、実装の参考とすることができます。しかしながら、サンプルとは異なる機能モジュールである方が Rust for Linux の理解が進むと考え、サンプルには実装が存在せず、機能独立性が高く、インターフェースが整理されているモジュールとして、ファイルシステムを選択した。FAT ファイルシステムは、マイクロソフト社の MS-DOS で採用されたファイルシステムである。単純な構造であることから、多くのオペレーティングシステムで実装されており、実装情報の入手も容易であることから、開発対象として FAT ファイルシステムを選択した。

実装を開始するにあたり、前述の開発環境を整備し、シンプルなカーネルモジュールを作成するところから開始した。この作業から、Rust 言語により記述するカーネルモジュールの追加方法を明確にした。カーネルのコンフィグレーションを定義する `Kconfig` ファイル、およびビルド方法を定義する `Makefile` の記述方法は、C 言語と Rust 言語のモジュールで基本的に同様である。若干の違いとしては、Rust 言語では機能的に依存するファイルを指定するため、`Makefile` では、モジュールのエントリーポイントとなるファイルだけを指定すれば良い。

シンプルなカーネルモジュールを定義した後に、C 言語の FAT ファイルシステムの実装を参考にしながら、Rust 言語での実装を行った。現在、機能的には大きく限定されるが、ファイルシステムからのファイルの読み出しが可能な状況である。これまでの Rust 言語での Linux カーネルモジュールの

実装における要点としては、以下があげられる。

- カーネル本体の関数の呼び出し
- 関数ポインタ
- カーネル本体から渡される構造体に対する操作

以下、それぞれについて述べる。

4.2 カーネル本体の関数の呼び出し

カーネルモジュールとは、何らかの機能をカーネルに提供する、即ち何らかの必要性に応じてカーネルからモジュールへの呼び出しを受けるものである。最初にその呼び出しを受ける窓口が、3 章で述べたモジュールの初期化関数になる。その初期化関数は、モジュールの役割に応じて呼び出しを受けるための窓口をカーネルに登録する。登録したモジュールの窓口は、カーネルが必要になった時に呼び出すことになる。

ファイルシステムモジュールの初期化関数では、ファイルシステムの種類を表す文字列と、そのファイルシステムが指定された時に呼び出す窓口となる関数をカーネルに登録する。この登録のための関数は `register_filesystem()` になる。Rust 言語で記述したカーネルモジュールも、カーネル本体からの呼び出しを受けるためには、`register_filesystem()` を呼び出し、自身の窓口をカーネルに登録する必要がある。

Rust 言語は、C 言語のプログラムと相互連携できるように、基本的には C 言語に合わせるかたちで、Rust 言語のプログラムから C 言語のプログラムを、またその逆ができるようになっている。また、Rust 言語から C 言語の関数や構造体がどのように見えるのかの宣言を自動生成するためのツールも提供されている。

Rust for Linux では、Linux カーネルのモジュールから利用可能な関数や構造体を Rust 言語から利用するための宣言を自動生成し、`bindings_generated.rs` ファイルを作成する。ファイルシステムモジュールの初期化関数は、このファイルに記載される形式に合わせて、`register_filesystem()` を呼び出すことになる。自動生成された `register_filesystem()` の宣言を以下に示す。

```
extern "C" {
    pub fn register_filesystem(
        arg1: *mut file_system_type
    ) -> c_types::c_int;
}
```

これは、`file_system_type` 構造体へのポインタを引数として受け取り、戻り値として整数を返す C 言語の関数であることを表している。Rust 言語のプログラムは、この構造体を用意し、引数として渡すことで、呼び出すことができる。

4.3 関数ポインタ

前節に記載の `file_system_type` 構造体のメンバの 1 つ `mount` は関数ポインタであり、別のメンバ `name` は、ファイルシステムの種類を表す文字列である。これらのメンバの値を設定したうえで、`register_filesystem()` を呼び出し、ファイルシステムを登録する。すると、ブロックデバイスをマウントするにあたり指定されたファイルシステムの種類が、メンバ `name` の文字列に合致した場合に、メンバ `mount` で指定された関数が、カーネル本体から呼び出される。メンバ `mount` で指定された関数を Rust 言語で記述する。

Rust 言語により実装した FAT ファイルシステムにおいて、`register_filesystem()` で登録する `file_system_type` 構造体のメンバ `mount` に指定する関数を、以下に示す。

```
unsafe extern "C" fn msdos_mount(
    fs_type:
        *mut bindings::file_system_type,
    flags: c_types::c_int,
    dev_name: *const c_types::c_char,
    data: *mut c_types::c_void,
) -> *mut bindings::dentry {
    pr_info!("msdos_mount\n");
    unsafe {
        bindings::mount_bdev(
            fs_type, flags, dev_name,
            data, Some(msdos_fill_super))
    }
}
```

Rust 言語の外部の C 言語のプログラムと連携するために、`extern "C"` という宣言が付けられている。また、この関数はポインタを扱い、Rust 言語からは安全ではないため `unsafe` が付けられている。`file_system_type` や `dentry` 等のカーネルが定義する構造体の前に `bindings::` と付いているのは、自動生成された宣言ファイルを参照するためである。

上記の関数 `msdos_mount()` へのポインタを渡すには、単に関数名 `msdos_mount` を指定すれば良いのは、C 言語と同じである。`msdos_mount()` の処理は、カーネル本体の関数 `mount_bdev()` を呼び出すのみであるが、その最後の引数は `msdos_fill_super` であるが、これは FAT ファイルシステムモジュールの関数 `msdos_fill_super()` へのポインタを渡している。`mount_bdev()` 以降のファイルシステムの初期化処理中に、`msdos_fill_super()` が呼び出され、ここで FAT ファイルシステムの管理領域がマウントされたデバイスから読み出され、実質的な初期化処理が行われる。

4.4 カーネル本体から渡される構造体に対する操作

カーネルモジュールは、カーネル本体から様々な情報を構造体のかたちで渡され、構造体から読み出した情報をもとに処理を行い、処理の結果を構造体に書き込み保存し、他の機能とその情報を共有する。ファイルシステムモジュールの場合、操作対象となる構造体のうち主要なものとしては以下がある。

- `super_block`
- `dentry`
- `inode`
- `file`
- `buffer_head`

`super_block` はファイルシステムの管理領域について、`dentry` はディレクトリ、`inode` はストレージ上のファイル、`file` はプロセスの操作対象としてのファイル、`buffer_head` はストレージ上のデータの読み書きについての情報を表す構造体である。

以下、カーネル本体から渡される C 言語で定義された構造体に対する操作について、Rust 言語の特徴である、メモリ安全性、型安全性の面から述べる。

カーネルモジュールの主要な操作対象は、C 言語で定義された構造体であり、カーネルモジュールへはそのポインタが渡される。Rust 言語では、ポインタの先のデータの参照は全て `unsafe` なブロックに入る必要があり、Rust 言語のメモリ安全性の保証対象とはならない。ファイルシステムが必要とするストレージ上のデータも、カーネル本体の機能を用いて読み出し、C 言語で定義された構造体へのポインタが渡されるため、多くの処理は `unsafe` なブロック内で行われることになってしまう。

Rust 言語のカーネルモジュールで提供する機能に固有の情報を保持するメモリ領域の管理についても、カーネル本体で管理する構造体に依存する。`super_block`、`inode` などは、ファイルシステム固有の情報が必要となり、そのためのメモリ領域を確保する必要がある。カーネル本体からの処理要求は、`super_block`、`inode` 構造体に対して出されるため、それのポインタが渡される。そこから、ファイルシステム固有の情報を保持するメモリ領域を取り出す必要がある。そのための仕組みとしては、構造体に固有領域へのポインタを保持するメンバを持たせたり、カーネル本体が認識する構造体を包含する構造体を定義し、オフセット演算を用いて固有領域へのポインタを取得する方法が、C 言語ではとられている。どちらの方法も、Rust 言語のメモリ安全性とは相容れないため、何らかの手法を開発する必要がある。

Rust 言語のカーネルモジュール内で定義され、その関数間でのみ受け渡されるローカル変数は、上記の限りではない。一方、値を変更可能なグローバル変数の操作は、Rust 言語では `unsafe` なブロック内で行う必要がある。現状では、ロー

カル変数のみがメモリ安全性の保証対象となりうる。

型安全性については、C 言語で定義された構造体に対する操作についても保証される。C 言語で定義された構造体は、Rust 言語で表現される型に変換され、関数の引数および戻り値などについて、その型に従った検査が行われる。また、暗黙の型変換が行われないことから、必要となる箇所について明示的な型変換を記述する必要がある。記述が煩雑になってしまふが、型が明確であることは、プログラムのわかりやすさ、正確さにもつながるため、明示的な型変換は有効であると考えられる。

[android-platform.html](#), 2021. (visited on 2021)

(ウェブ参照)

[5] Google が OS 開発に新言語 背景にサイバー戦争の影,

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC106KY0Q1A510C2000000/>, 2021. (visited on 2021)

(ウェブ参照)

[6] QEMU: the FAST! processor emulator,

<https://www.qemu.org>, 2021. (visited on 2021)

(ウェブ参照)

5 おわりに

本論文では、Linux カーネルのモジュールを Rust 言語で開発した経験について述べた。開発を行うカーネルモジュールとしては、FAT ファイルシステムを選択した。ファイルシステムのモジュールは Rust for Linux の Rust 言語でのモジュールサンプルには含まれていないため、モジュールの定義方法から、Linux カーネル本体とのインターフェースまで、様々なことを調査する必要があり、多くの知見を得ることができた。

カーネル本体と C 言語で定義された構造体をやり取りする必要があるカーネルモジュールは、Rust 言語の特徴である、メモリ安全性、型安全性の面からは、メモリ安全性を十分に発揮できない面があることがわかった。一方、型安全性については、有効性が確認できた。Rust 言語および Rust for Linux の調査をより深くすすめ、メモリ安全性を含め、Rust 言語によるカーネルモジュールを開発することの有効性を明らかにし、より安全なカーネルモジュールの開発を可能にすることが今後の課題である。

参考文献

[1] Rust for Linux, <https://github.com/Rust-for-Linux/linux>, 2021. (visited on 2021)

(ウェブ参照)

[2]<https://git.kernel.org/pub/scm/linux/kernel/git/next/linux-next.git/commit/?id=c7c4c9b88eecd28d3b48ba855cd6f9f7391a33b2>, 2021. (visited on 2021)

(ウェブ参照)

[3] [PATCH 00/13] [RFC] Rust support,
<https://lkml.org/lkml/2021/4/14/1023>, 2021.
(visited on 2021)

(ウェブ参照)

[4] Rust in the Android platform,
<https://security.googleblog.com/2021/04/rust-in->

音楽療法支援のための リアルタイム表情検出システムの開発

大久保友幸*・百枝将司**・田部井賢一*・小林一行**

Development of Emotion Estimation Algorithm Based on Facial Expression for Assistance of Music Therapy

Tomoyuki Ohkubo*, Masashi Momoeda**, Ken-ichi Tabei*
and Kazuyuki Kobayashi**

Abstract

Because of Japan's rapidly growing aging society, the number of patients who have dementia is also increasing. Since dementia cannot be cured, one of the effective treatments to slow down its progression is to apply music therapy. Music therapists have evaluated the effect of music therapy and assessed patients' emotions based on their facial expressions. However, the accuracy of the evaluation based on facial expressions is problematic because it can vary among music therapists. In this paper, we developed a face detection algorithm and emotion estimation algorithm based on changes in patients' facial expressions to evaluate music therapy's effectiveness. For the detection of face, we trained the algorithm on the WIDER dataset. In Addition, detecting facial expression changes, we trained the algorithm on the JAFFE dataset and evaluated the correspondence with actual facial expression changes of about 20 Japanese face images.

Keywords: Deep Learning, YOLO, Music therapy, Face detection, Emotion estimation

1 はじめに

日本における認知症患者の数は、2012 年で約 462 万人、65 歳以上の高齢者の約 7 人に 1 人と推定されている[1]。認知症患者は、高齢化の進展に伴い、さらに増加が見込まれており、図 1 に示すように 2025 年には認知症患者は、約 700 万人前後と推計されている[2]。認知症の原因疾患はアルツハイマー型の他にも、レビー小体型、脳血管性など多様である[3]。

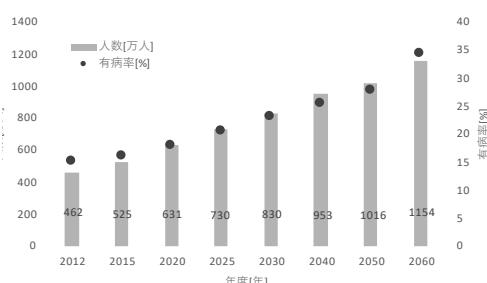


図 1: 日本における認知症人口の将来推計

認知症の症状は、中核症状と周辺症状に分けられ、中核症状には、記憶力の低下、見当識の障害、判断能力の障害など、さまざまな知的能力の低下を含む。周辺症状は、認知症の行動・心理症状(:BPSD)ともいわれ、徘徊や妄想、幻覚などを含む。認知症は、患者本人とともに家族などの介護者にとっても大きな負担となるが、周辺症状の進行は、適切なケアにより、防止が可能と言われる。運動、回想、ゲーム、音楽などの活動を通じて、認知症患者に快刺激を与えると認知症患者の行動意欲が高まり、周辺症状が緩和し[3]、その結果、本人と介護者の負担は減る。

快刺激を与える活動の 1 つに音楽療法がある[4]。特別養護老人ホームやグループホームなどの介護施設で、音楽療法士が定期的に音楽療法を遂行する方法などがあり、音楽療法の内容は定められておらず、日本ではグループで懐かしい歌を歌ったり、タンバリンや鈴など、演奏しやすい楽器を奏でたり、音楽とともに身体を動かしたりする方法が多く見られる。

一般に介護施設等で行われる際には、30~50 人程度のグループで活動が行われる。グループで行うため、参加者個

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 法政大学, HOSEI University

人での成果の確認が難しいという問題がある。また、患者の効果測定方法が、定量的に測定できる方法が統一されていない。そのため、それぞれの病院や音楽療法士による評価基準があり、評価は音楽療法士の経験や患者の回復状況に左右されてしまうため定量的かつ統一的な方法を見いだす必要がある。以上のような状況から、参加している個人がどのような行動・表情を取っているか解析することは、認知症対策の強化には有意義である。

一方、画像処理分野では GPU を用いた深層学習の発展により、深層学習を用いた物体検出手法が大きく発展を遂げている。カメラ画像から高速度かつリアルタイムで、大量の物体を検出することが可能となってきている。そのひとつに YOLO(You Only Look Once)[5]がある。

本研究では、参加者の行動を抽出、解析することで、音楽療法の効果を確認することを目標とする。深層学習を用いてビデオを解析することにより、効果的に参加者の行動と、表情の変化を検出する。このことにより、多人数の療法を一度に行っている音楽療法への支援につなげる。その際、オープンデータとして公開されている顔画像を用い、既に存在する標準の重みに加えて、転移学習させることでリアルタイムでの顔の検出を行う。また、顔画像から表情を推定することにより音楽療法を開始した際の表情と、音楽療法を開始して一定の月日がたった点での表情を分類し、音楽療法の客観的な方法を開発することを目標とする。

2 音楽療法支援システムの概要

音楽療法の効果確認には、次の問題点が存在する。

- 1) 感覚的な効果判定が多い。
- 2) 30 人から 50 人のグループで行うため、参加者個々人の様子を正確に把握できない。
- 3) 効果の確認のためアンケート等の心理試験を参加者に毎回行うこととは不可能。

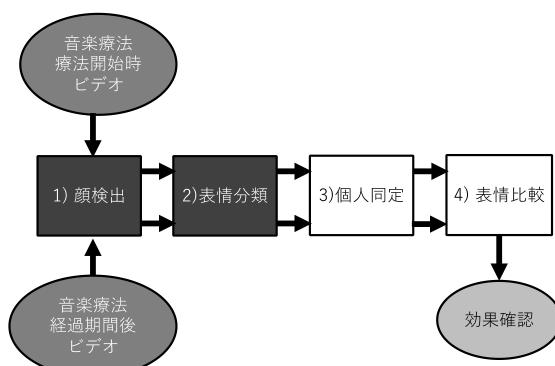


図 2: 提案システムのシステムブロック図

これらの問題を解決するため、定量的な効果の確認法が必要である。音楽療法を複数回受けた参加者は表情が豊かになったり、活発な行動を示したりする。そのため、音楽療法成果確認は、毎回、参加者の行動を抽出し、参加者の表情や行動を解析し、その上で、回数を重ねた参加者の行動・表情の変化を統計づけなければならない。そのために図 2 に示すようなシステムを提案し、実装していく。

まず、音楽療法を実施する際、初回の参加者の様子をビデオカメラで撮影する。比較対象として、音楽療法を開始してから一定月日を経過した経過期間後のビデオを撮影する。この 2 つを利用しシステムで効果確認を行う。

システム内では、1)動画内で顔検出を行い、顔画像の切り出しを行う。2)顔画像の表情を分類することで、ネガティブ感情かポジティブ感情か、無表情の分類を行う。3)検出した顔画像に対して個人同定を行う。4)3)までに取得した顔表情の分類からポジティブ感情の頻度具合から効果を確認する。

次章から実装に着手した 1)顔検出と 2)顔表情分類についての解説を行う。

3 リアルタイム顔検出システム

本論では、顔検出の際に、深層学習ベースの一般物体検出アルゴリズムである YOLO(You Only look Once)を使用し、バージョンは YOLO v3 [5]を用いる。YOLO、今までの「物体検出」の処理の後に「物体識別」の処理を行うような直列な処理構成とは違い、「物体検出」と「物体識別」を同時にを行うことで処理時間の遅延を解消している。そのため、利点として、高速でありリアルタイム性に優れていること、背景と物体の区別がしやすいこと、一般化が可能であることが上げられるが、欠点として、精度が低いこと、小さな物体の検出が困難であることが上げられる。

3.1 顔検出用学習モデルの作成

YOLO v3 が標準で提供している学習モデルでは、人の顔を検出することができないため、独自の学習モデルを作成する必要がある。学習モデルの作成には、約 30,000[枚]の顔画像データが含まれるオープンデータセットである WIDER FACE (図 3)[6]を用いた。一部に顔のアノテーションが正確に行えないものも含まれるため、そのうち 12,878[枚]を学習に用いた。このデータセットを YOLO v3 での学習に適する形式に変換する OpenCV を利用した python プログラムを作成し、学習に適さない画像を削除する。その上で、表1に示すスペックの PC を用いて学習を行った。学習には約 33 時間を要した。

表 1:PC スペック

CPU:	Intel Core i7-7700 3.6[GHz]
メモリ:	16[GB]
GPU:	Geforce GTX 1080ti
OS:	Ubuntu 18 LTS
CUDA:	10.0.130



図 3: WIDER FACE の画像サンプル

3.2 動作検証に使用する動画

今回、顔検出の実験に使用する動画の一場面を、図 4 に示す。認知症患者に対する音楽療法を行っている実際の動画は、現時点では倫理的な問題もあり使用することが難しい。そのため、動画共有サイトに公開されている、ケアハウス所属の高齢者合唱団が練習を行っている光景の動画を使用する[7]。動画は 1920×1080[Pixel], 30[FPS]の画像である。この動画の光景は、音楽療法で行われている場面によく似たものである。この動画では、指導者 1 名、高齢者 33 人、および成人 1 名が写っているが、手持ちのカメラで撮影しているためズームとパンにより人数が変化する。実験では結果の比較がしやすいよう、ズームとパンが比較的穏やかな開始 1 分を使用する。



図 4: 顔検出検証に使用した動画の一場面

3.3 顔検出検証の結果

3.1 節で顔画像を学習させた学習データを用いて動画から参加者の顔を検出させた。検出結果のサンプル画像を図 5 に示す。実験の結果、1) カメラに対して真後ろを向く指導者、2) 他の参加者の影になり動画から確認できない参加者、3) 譜面を見てうつむいている参加者、以外のほぼ全員を検出している。図 6 に検出人数の推移を示す。ほぼ全編に渡り 33 人前後の人数を安定的に検出した。動画の処理は、53[FPS]前後で行われた。しかしながら、図 7 に示すような、検出ミスもあった。図 7 左は参加者の手を誤検出したもの、図 7 右は画面右側の歩行器を誤検出したものである。



図 5: 顔検出結果の例

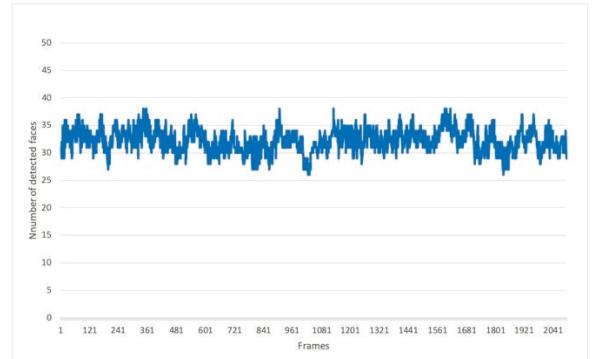


図 6: 顔検出人数の推移



図 7: 顔検出ミスの例

3.4 顔検出検証の考察

結果から、動画より参加者の顔検出を行う際に、現在は標準のしきい値で行っているが、今後はしきい値の変更が必要である。また、動画では、参加者の顔が、他の参加者の影となり顔検出が不能な場面が存在するため、今後、音楽療法の実施風景を撮影する際には、カメラアングルの検討が必要である。また、うつむく参加者の対応は、身体全体を取得するなど、今後検討が必要である。

4 リアルタイム顔表情分類システム

次に顔表情分類システムについて述べる。一般的に、認知機能が低下していくと、ネガティブな感情が表情にあらわれたり、顔に表情が表れない無表情になったりする。逆に認知機能が回復すると、表情が明るくなったりなどと言われる。これまで、音楽療法の過程で、この変化が起きたとしても、音楽療法士の主観でしか判定できず、客観的な判定が難しかった。そのため、表情の分類を自動化することは有意義である。音楽療法士一人に対して多数の患者を診るという音楽療法の特性とリアルタイムで推定ができるという点において YOLO は他の手法よりも特に速さに優れているため、本実装も YOLO を用いたものを実装する。

4.1 顔感情データセット(FER2013)

表情認識には Facial Expression Recognition 2013(FER2013)データセットを用いる[8]。サンプル画像を図怒り、嫌悪、恐怖などの基本 6 感情と無表情に紐付けられた顔画像で構成される。グレースケールの画像で画像サイズは 48×48 になっている。FER2013 データセットの枚数とその構成を表 2 に示す。

感情ごとに学習をさせ各々の感情でどれくらいの精度で推定できるか検証した。

表 2: FER2013 データセットの構成

表情	枚数[枚]
無表情 / Neutral	4965
喜び / Happy	7125
悲しみ / Sad	4380
驚き / Surprise	3171
怒り / Anger	3995
嫌悪 / Disgust	436
恐怖 / Fear	4097



図 8: FER2013 データセット画像のサンプル

4.2 画像における表情抽出検証

実際の音楽療法に適用する際には、日本人で行うことを想定しているため、検証実験では日本人の顔で検証する事とした。そのため、Japanese Female Facial Expression (JAFFE) というデータセットを用いた[9]。このデータセットは、日本女性 10 人の基本 6 感情と無表情の顔画像とそのラベルで構成されている図 10 に検出時の画像を示す。また誤検出の結果を図 11 に示す。

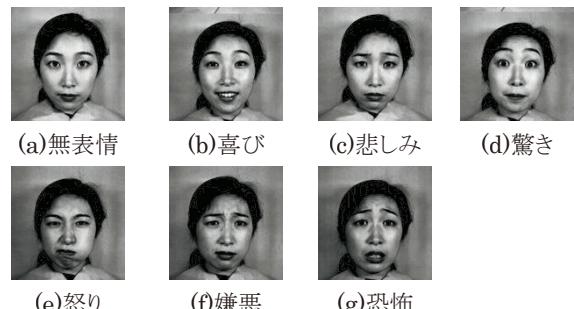


図 9: JAFFE データセットの例

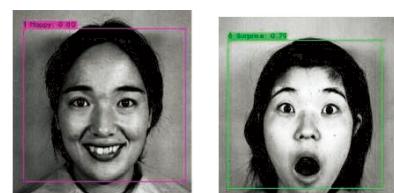


図 10: 表情検出結果の例

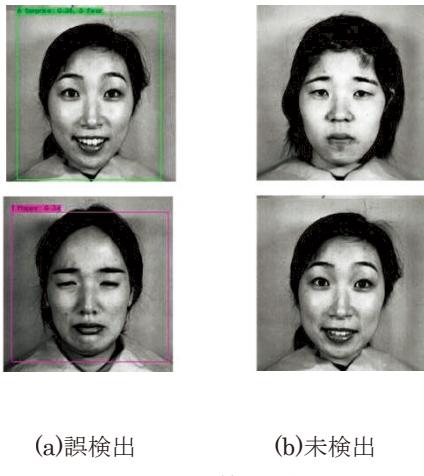


図 11: 誤検出の例

表 3: 検出割合

感情	検出割合[%]
喜び	33
悲しみ	0
驚き	56
怒り	0
嫌悪	0
恐怖	0

4.3 リアルタイム感情分類システム検証結果の考察

今回の学習に用いたデータセットの顔画像は外国人のものが多く、検証に用いたのは日本人の顔画像だった。外国人の顔は一般的に表情が豊かであるため、日本人は無表情に偏りがちであるため精度が得られなかったと思われる。実験結果より喜びと驚きの感情は検出できたが、他の項目においては改善の余地がある。

FER2013 データセットは ICML2013 のコンペティションで使用されたものであるが、このコンペティションでは上位 5 位の精度(Accuracy)は上から 71.1[%], 69.2[%], 68.8[%], 67.4[%], 65.2[%]である。感情を分類するモデルの作成は、比較的困難なタスクであると考えられる。

5 おわりに

本論では、認知症患者に対する音楽療法支援として、深層学習を利用した YOLO 物体検出手法によるリアルタイム顔検出と表情検出システムの開発を行った。まず第 1 に、深層学習を用いた顔検出を行った。顔検出の方法として深層学習ベースの一般物体検出手法である YOLO v3 を用いた。顔画像オープンデータセットである WIDER FACE を使用し顔画像の学習を行い、学習結果の重みと YOLO を用いて、ケアハウスでの合唱動画をサンプル動画として顔検出を行い、結果、参加者の大半の顔を認識した。

第 2 に顔表情オープンデータ FER2013 を用いた表情画

像を学習することにより、顔画像の表情分類を試みた。その結果、喜びおよび驚きに関しては一定の検出割合を得たが、その他に関しては改善の必要があった。今後の課題として、FER2013 と JAFFE を混合し学習データとして使用することや、データセットの再検討、学習データに対するノイズの混入や回転など学習データの水増し(Data Augmentation)を行うことにより、表情分類の精度向上を図る。また、顔表情を学習させるのではなく、顔を構成する一部の顔部位から感情を推定することも検討したい。また、提案する音楽療法支援システムで、未実装の部分の開発を行い、システムを完成させたい。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 平成 29 年版高齢社会白書, 2017.
- [2] 二宮利治, 清原裕, 小原知之, 米本孝二, "日本における認知症高齢者人口の将来推計に関する研究", 2014.
- [3] H. YAMAGUCHI, Y. MAKI, K. TAKAHASHI, "Rehabilitation for dementia using enjoyable video-sports games, International Psychogeriatric", Vol.23, No.4, pp.674-676, 2011.
- [4] Chang YS, Chu H, Yang CY, Tsai JC, Chung MH, Liao YM, Chi MJ, Liu MF, Chou KR, "The efficacy of music therapy for people with dementia: A meta-analysis of randomised controlled trials", Journal of Clinical Nursing, Vol.24, No.23-24, pp.3425-3440, 2015.
- [5] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection", arXiv:1506.02640, 2015.
- [6] Yang Shuo, Luo Ping, Loy Chen Change, Tang Xiaoou, "WIDER FACE: A Face Detection Benchmark", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
- [7] ケアハウスグランディきみつ, 春一番(高齢者の合唱)グランディきみつ, <https://youtu.be/yG4tBBwAO-0>, (visited on 2021).
- [8] Ian J. Goodfellow, "Challenges in Representation Learning", A report on three machine learning contests, 2013.
- [9] M. Lyons, S. Akamatsu, M. Kamachi and J. Gyoba, "Coding facial expressions with Gabor wavelets," Proceedings Third IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, pp. 200-205, 1998.

実験科目授業の DX 化に向けた考察と設計法の提案

河西大介*・張晁逢*・田部井賢一*・松井実*・橋本洋志*
平社和也**・慎祥揆***

Consideration of Digital Transformation of Laboratory Training Sessions and Proposal of Course Design Approaches

Daisuke Kasai*, Chaofeng Zhang*, Ken-ichi Tabei*, Minoru Matsui*, and
Hiroshi Hashimoto*, Kazunari Hirakoso**, Sanggyu shin***

Abstract

In an attempt to effectively introduce DX into a laboratory training course, this paper divided course topics into knowledge and practical skills, examined them from the perspectives of taxonomy, motivation, and self-efficacy, identified some issues inherent in the current training sessions, and made some suggestions for improvement. With these suggestions for improvement in mind, we presented an example of how to create a digital aid that provides enactive mastery performance and verbal persuasion to students. An interview/questionnaire survey conducted on several students revealed our digital aid to be useful for self-directed learning.

Keywords: DX, Taxonomy, Motivation, Self-efficacy, Digital aid

1 はじめに

大学等の高等教育機関における理工学系やデザイン系の実験科目は、知識とスキルを修得する重要な科目の一つであり、実験室内で実際に機器・道具や材料(物質、試薬などの総称とする)の操作や加工を必須とする。ここでいうスキルは、機器・道具を身体により操作することで材料の変化する状態を知覚し、この知覚に基づき、ときには推定や予測を含めて、適切な評価や操作を施すことを意味する。この操作と知覚を必須とするため、実験室内で教育を実施するという考え方方が主流である。

実験科目の学習効率を高める方法の一つとして DX (Digital transformation) の導入がある[1] [2]。ここでいう DX は、主にコンピュータ上で作動するものであり、動画、写真、音声、テキスト、チャットボットなどから構成されるデジタル教材と学習手順を予習・復習に導入し、実際の実験を含めた学習全体の学習順序や学習方法を変更することで学習効率を高めることを意味する。

本稿では、デジタル教材(マルチメディア、Web 機能などを含む)の設計法と学習意欲を高める方法を提案する。具体的にはデジタル教材の設計法に、改訂版タキソノミー[3](以下、タキソノミーと略称)を指針として導入する。さらに、学習心理学に基づき学習意欲を高める工夫を考察する。タキソノ

ミーは学習目標を定めているものであり、各目標のレベル向上の仕方については述べていない。そのためレベル向上を図ることが可能な考え方を導入する必要がある。レベル向上には、学習者の心理を上手に導くことが必須と考え、本稿では教育論で良く研究されている動機づけ理論[4-6]を導入し、実験科目における動機付けの導き方を考察する。動機づけ理論は幾つかの要因を有するが、今回は直接的達成経験と言語的説得に注目し、これを具現化できるデジタル教材の仕様を考察する。デジタル教材と学習手順の予習・復習を導入することで、学習者は実験時において機器・道具の操作や材料変化の知覚がより深く理解できると期待される。

なお、本紀要是感性工学会で発表した内容[7] [8]を基に、まとめなおしたものである。

2 学習項目と学習順序

既存の実験科目の学習項目と学習順序を分析する。ここでは、学習項目を知識とスキルに大別し、スキル獲得の説明がどれほど十分であるかを調べる。これより、実験科目の特徴的な学び方を明らかにする。

2.1 学習項目

幾つかの理工学系などの実験指導書を参照して、学習項目を知識とスキルに大別し、更にこの 2 つを細分化したもの

Received on October 3, 2021

*東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

**玉川大学, Tamagawa University

***東海大学, Tokai University

表 1: 知識とスキルを分解した学習項目

知識	(K1) 実験の目的, (K2) 機器・道具の名称, (K3) 機器・道具の機能, (K4) 物質変化のメカニズム（化学変化、機械加工など）, (K5) 手順, (K6) 観測方法, (K7) 結果の評価法（図表化に基づく見方、作品の仕上がりの見方など）, (K8) 考察に必要な実験背景
スキル	(S1) 機器・道具の操作力（安全で最善最適な使い方） (S2) 段取り力（空間認識力、準備力） (S3) 洞察力（音、振動、光、温度などから対象状態や原因を推察できる能力）

を表 1 に示す。

表 1 に示す分類は、他の文献では見当たらなかったので、筆者らが幾つかの実験指導書を調査して分類した。

表 1 にスキルの中で、例えば、操作力は、実験で必須である安全を遵守しつつ、道具と材料の位置まで身体を動かし、その機能の知識を前提として、その操作の効率性を高めるように手や身体を動かす能力を意味する。段取り力は、何がどこにあるかを空間的な認識力と、操作の実行前、実行後の道具・材料の操作と配置、および身体の姿勢を計画できるという準備力をいう。洞察力は、物体や環境の状態の知覚から推定や予測が行え、それに基づき、現状や将来の評価と準備を行える能力である。これらは、複数の知覚、複数の身体部位の協調した動き、さらに、計画力、準備力、行動力、推察力などが統合されたスキルである。このように、表 1 のスキルは、操作という運動と現象の知覚に加えて、段取り力という知識や経験を伴うことより、タキソノミーにおける精神運動的能力の領域で評価されると考える。

スキルの獲得には、身体と感覚の両方が良好に協調して働くなければならない。これは福祉医療学やスポーツ科学でいう感覚運動統合と呼ばれるもの一種である。技能学習においては、この統合を果たすには、操作結果の知識の評価、技能の記憶、技能の転移に関する項目を考慮しなければならず、これらは適切な反復練習の説明が必要である[9]。

この感覚運動統合を目指す点が、身体運動を必要としない知識修得型の授業科目と異なる特徴的な点である。しかしながら、多くの実験指導書の説明では、知識の獲得を主に要求しており、スキル獲得のために時間をかけて反復練習を行うことの説明は少ないことが認められる。これは、授業時間の制約と指導側の対応（一人の指導者が複数人を見なければならないことなど）が原因と考えられる。

2.2 学習順序

幾つかの実験指導書や時間割を参照して、標準的な学習順序は次のように表現される。

L1: 学習者を実験室に指定した時間に集める

L2: 指導者は実験手引書を用いて、実験の目的を説明する
L3: 指導者は機器の名称、機能、操作法、実験上の注意（安全面）を説明する

L4: 指導者が模範操作を示す（省略されることもある）

L5: 学習者が機器を操作し、計測と記録を行う

L6: 指導者が学習者の実験状態を見て必要な指導を行う（省略されることもある）

L7: 学習者は、記録を基にレポート作成を行い、この提出後に評価を受ける

上記の手順における問題点を指摘する。

L1: 学習者は、その実験に必要とされるスキルを有していない場合がある。このスキルは実験手順や作業工程を経て、ある程度獲得されるであろうという想定でカリキュラムが作成されていることが多い。

L3, 4: 指導者が限られた時間内で丁寧に説明しても、学習者の基本知識やスキルの不足が自信を形成できないまま実験が進行することになる。このことは、学習者に負の心理（上手にできないことの焦りや疑問など）を与えることにつながるため、教育の質の維持・向上が臨めないことになる。

L6: 実験では、材料の変化を不可逆的に進めており、かつ身体動作が伴うため、指導者は同時に複数人の学習者の動作や実験状態を観測することは非常に困難である。しかも実験科目の時間は限られている。このため、指導が不十分な場合が生じる。

この問題点は、従来の実験科目の学習順序では、スキルが不十分な学習者の学習効率や効果が十分に望めないことを指摘している。

3 学習項目とタキソノミー

3.1 学習項目の分類

2章では学習項目を知識とスキルに分類した。学習項目の各要素がそれぞれどのような特徴を有するかを調べるために、学習項目をタキソノミーに分類する。このタキソノミーは認知過程次元（6 種）と知識次元（4 種）の 2 次元で表現される[3]。分類した結果を表 2 に示す。

この分類は学部1, 2 年生向けの実験指導書を基にして、学習項目の内容を分析して定めた。なお、学部実験において、学習時間内に「6.創造する」ことを求めていないため、この欄は空欄となった。

この反映の仕方が唯一のものではない。例えば、(K4) 物質変化のメカニズムは事実的知識、概念的知識だけでなく、その手続きによりさまざまに変化することがあり、この知識に基づき物質を変化させるための手続きを行う場合がある。すなわち、「C.手続き的知識」として学習させたいという事例も

表 2: 実験学習項目のタキソノミーへの分類

知識次元	認知過程次元					
	1. 記憶する	2. 理解する	3. 応用する	4. 分析する	5. 評価する	6. 創造する
A. 事実的知識	K2	K3, K4	K3	K8		
B. 概念的知識		K1, K3-8, S4			K7, 8	
C. 手続き的知識		K5-7, S1-3	S1	S3		
D. メタ認知的知識		K1, K7-8				

ある。このように、分類の仕方は、分野や教え方に依存するため、唯一にタキソノミーが定まるものでないことに注意いただきたい。

ここで、スキル S1-3 は、操作方法、その方法を選択する、状況や状態変化に対応した目配りや観察などの基本を知ることが必要であり、これは知識とみなされるので、「C.手続き的知識」に分類した。S1 が表 2 の 2 と 3 の両方にあるのは、例えばハサミを考えると、次のことが考えられるためである。

- 理解する：指の入れ方と動かし方、刃先の動かし方、材料に対する刃先の当て方
- 応用する：細かい切り込みを入れるときや、材質による切り方などの工夫

このように、機能の理解があつたうえで、倣った切り方以外など機能の工夫、すなわち、応用が求められることは、機器・道具の操作ではよくあることである。

3.2 考察

このタキソノミ一分類を見て、基本となる学習項目は「2.理解する」に多くの項目が存在するという特徴が認められる。理解できるためには、物理的・社会的背景をある程度素養として身に付けておくことと、実験科目の場合、身体動作の類似した体性感覺を必要とする[10]。このことは、「B.概念的知識」と「C.手続き的知識」にも共通的に言える内容である。

2 章で指摘したことと併せて考えてみると、十分な知識とスキルを有していない学習者は、タキソノミーの「2.理解する」に到達することが、授業に際して初めてである。さらに、暗黙のうちに「2.理解する」ことを求められることになる。限定された授業時間内で到達できなければ学習意欲の減退につながる可能性があると考えられる。

スキルの獲得は、実験科目を学ぶ動機づけ、学習の継続性に大きな影響を与えると考える。この動機づけと学習の継続性をどのように維持するかを次章で考察する。

4 動機づけと自己効力感

4.1 動機づけ

これまで、実験科目はスキルの獲得に関する教示を陽には示していないため、学習意欲へ負の影響が生じる可能性があることを指摘した。そのため、学習論で重要な項目の一つとして取り上げられる学習の動機づけと継続性が損なわれる危険性がある。

継続性を保つためには、動機づけを何らかの方法で形成することが重要と考える。動機づけには、良く知られているように、外発的動機づけと内発的動機づけがある。学びの初段階で外発的動機づけが良い学習の意識づけを与えたとしても、いずれは、自立的学習態度を身に付けるために内発的動機づけを養成することは重要であることは良く知られている[11]。この観点に立ち、実験科目の教科書では、外発的動機づけと内発的動機づけ、どちらを多く与えているかを調べる。

多く見かける例として、「本実験の目的は…」、「この結果の重要性は…」という記述である。これらは外発的動機づけに相当するとみなされる。一方、内発的動機づけの形成法を明記した実験科目の教科書は見当たらない。この理由として、実験をとにかく進めれば、学習者はおのずと実験に興味が湧き、自発的に実験を進めるだろう、という想定が働いているものと推察する。この想定どおりならば、内発的動機づけが形成されて、学習の継続性が維持できるであろう。しかし、現代若者の多くは身体を動かして技能を発揮する環境や機会が乏しいと言われており[12]、このとおりであるならば、実験において身体の動かし方や段取りが上手でないため、負の感情が沸き起こり、実験に飽きた、または、好きになれない、ひいては、内発的動機を上手に形成できない学習者が存在するであろう。

この対策を考える。ただし、学習の効率化という条件を設けて、この観点から、指導者の助けを得ることなく、学習者の自学習のもとで行える方策を考える。このため、動機づけの中でも自己効力感に注目する。自己効力感が与えることが

できたならば、内発的動機の形成に寄与できるであろうという考え方である。そこで、自己効力感の生成に寄与できるデジタル教材の在り方を考察する。

4.2 自己効力感

自己効力感とは“自分が目標を叶えるために正確な行動を選び取り実現できるだけの能力を持っていることの認知”であり、簡潔に述べると“自信”である。ただし、根拠なし自信ではなく、明確な根拠に裏打ちされ、自分を肯定する力をいう。自己効力感の要因として次があることが知られている[5] [6]。

- i. 直接的達成経験:自ら成功体験を積み重ねていくこと
- ii. 代理的経験:他人の成功体験を見たり知ったりして自己効力感が高まる
- iii. 言語的説得(社会的説得):他人に「君はできる」と励まされること
- iv. 生理的情動的歓喜:心身を健康な状態に保つこと

この中で、研究の第1ステップとして、(i)と(iii)に注目し、次のように考えた。

4.2.1 直接的達成経験

学習の初段階では、事前に次のことを学習できる工夫が必要と考える。

- 実験室の空間情報の事前知識:学習者自身が、事前に装置、機器、道具、材料の場所を空間的に把握できれば、実際に実験室に訪れたときに、自ら実験準備を行える確信を持つことになる。これは、初めて学ぶ学習者の不安感を拭い去ることにも繋がる。
- 機器・道具の名称・機能と使い方:学習項目の知識を事前に得ることで、指導者の指導を理解しやすくなる。

これらの知識を事前に修得しておくことで、実際に実験室に入室したとき、どこに何があるかを知って、段取りがスムーズに行えるという疑似的な直接的達成経験を得られることになる。

4.2.2 言語的説得

学習の初段階は、学習者は未熟であるため、失敗や結果評価への恐れや不安を持つことが多い。学習の継続性を維持するには、いわゆるコーチングでいう「褒める」ことが大事と言われている[13]。ただし、実験科目の性質上、失敗してもそのプロセスを褒めることは教育上負の面を持つので、学習者が質問する態度を承認するという行為の導入が有効と考える。この自己効力感の導入方法は5章で説明する。

5 DX化設計論の提案

5.1 設計論

直接的達成経験と言語的説得に関する設計論を説明する。直接的達成経験の設計は主に予習、言語的設計は主に復習で使用するものである。

5.1.1 直接的達成経験の設計

実験室の空間情報の事前知識と、機器・道具の名称・機能と使い方を設計条件としたデジタル教材を作成する。この意味は、未知の情報に対する心理バリアの低減することと、空間認識力に基づく知識を与えるためである。オンデマンドで反復したイメージトレーニングを可能とすることにより、表2の「2.理解する」と「C.手続き的知識」も習得することも可能となる。

このデジタル教材を予習で反復学習することで、学習者は、疑似的な直接的達成経験を得られると考える。さらに、これは2章で示したスキルの獲得にも寄与すると考える。例えば、スキルの一つである段取り力は、作業や操作を効率よく進めるために必要な能力とされている。また、ものづくり分野では、熟練者になるためには、この力が求められる[14-16]。これらの先行研究を参照して、段取り力に必要な能力は次とされる。

- 空間認識力:これは、機器・道具や材料がどこにあるかの3D空間認識力を意味する。この能力により、次の手順で、身体をどのように動かすかの準備ができ、それに基づき、強く意識をしなくても動作が自然化される。
- 準備力:スポーツ科学でいう動き出す前の身体と精神の構えである[8] [17]。これに加えて、作業位置の移動、姿勢変化が機器・道具と材料の属性が適合できるような動作の予測も準備力に入る。教育学の用語の「構え」はこの準備力を包含する。

この能力は、実験を円滑に進めるのに必要な能力であるが、実験指導書にはこの能力の獲得の記述はほとんど見当たらない。この段取り力の説明により、これらは疑似的な直接的達成経験に基づくため、このデジタル教材が初学者に対する低レベルではあるが、段取り力の芽生えに寄与できるものと考える。

5.1.2 言語的説得の設計

学習者からの質問への回答文にその質問態度を承認するという文章を導入する。この機能をチャットボットに与える。このデジタル教材を復習用として提供することで、学習者は自分の質問が承認されることで、より質問が行いやすい、または、再度の質問を行ってみたい、という良い心理が生成さ

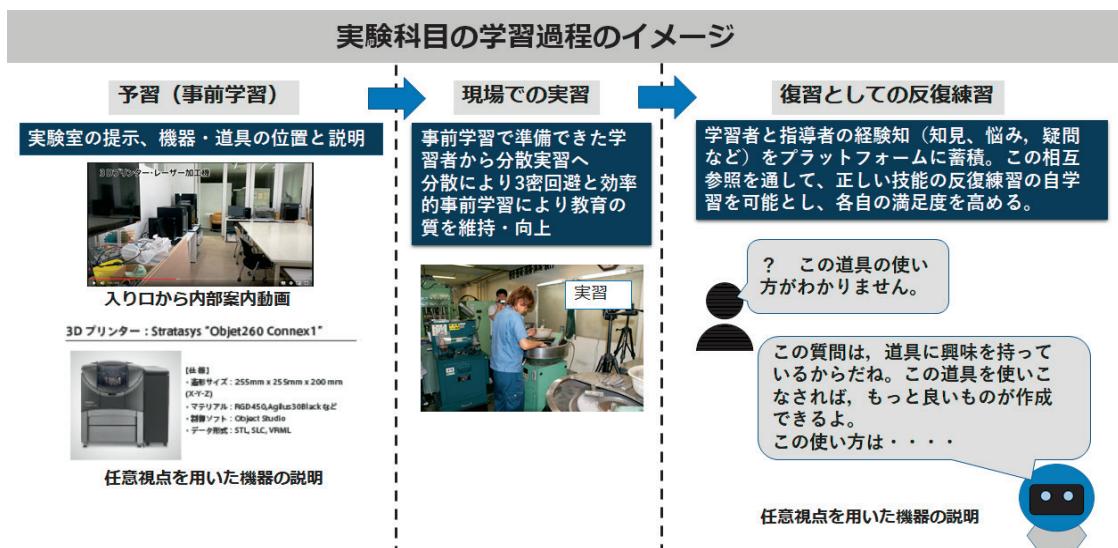


図 1: 学習順序のイメージ

れ、学習の動機づけや継続性を維持できることが期待できる。これらの考えから、提案する授業 DX 設計法でイメージした学習順序を図 1 に示す。

図 1 は次を説明している。すなわち、予習で空間認識や機器・道具の使用法の知識、オンデマンド動画でその使用法のイメージトレーニングを行い、十分に準備ができた学習者から、現場での実習に臨む。このとき、従来の実験手順に基づく学習よりも、効率の良い学習が期待できる。この後で、復習で疑問に思ったことの質問をチャットボットに聞いたとき、自分の質問が承認されるため、さらに質問を行ってもチャットボットが受け入れてくれるという安心感から学習の継続性を維持できる。

5.2 直接的達成経験のための設計例

設備講習を対象とした設計例を説明する。設備講習とは、プロトタイピングや作品制作の作業が行える施設の基本的な使用方法と注意事項を、施設にて指導者が対面で学習者へ説明するものである。これまで実施してきた設備講習における問題として次があげられる。

- 学習者のほとんどは、施設への入室が初めてのため、周りに眼を配ることがなかなかできず、指導者の方に眼を向け、指導者の言葉を聴くことに集中しようとする。
- このため、機器、道具、材料の存在する空間的配置を認知しようとすることが薄れ、次回に入室したときに、それらを準備することに手間取る様子をよく見かける。
- 現場での説明は、一回だけの説明のため、質問し忘れたときに、自ら再確認（復習ともいう）が行い難い。そのため、内向的な学習者は、改めて指導者に質問できず、理解が進まないままに学習に向き合うことになり、良

い学習効果が得られない場合がある。

上記の問題 i, ii の対処策として、次の設計要件を取り入れたデジタル教材を作成する。

- 指導者が学習者の代わりとなって、施設の入室から始まり、移動しながら施設内の機材などの 3 次元空間配置を説明するデジタル教材を作成する。
 - 次に、機器、道具、材料の前まで移動して、これの説明を行うデジタル教材を作成する。
- ここに、1の説明は、FPS(First Person Shooter)の効果を発揮できるようにする。すなわち、音声ガイドと共に手先だけが見えるようにして移動中の動画を録画する。この目的は、FPS 効果は空間認知、身体の知覚運動の仮想体験などに、あたかも自らが体験して経験値としての精神運動の獲得に寄与できることが期待されるためである[18][19]。

2 の説明は、オンデマンドで何度も見返すことで、装置の外観や操作方法などを何度も繰返し視聴できることにより、疑似的な直接的達成経験を得られるようにするためである。

上記の問題 i, ii に対応する、施設内の案内動画の一部を図 2 と図 3 に示す。

この動画では、次の設計仕様を与えた。

- 学習者が施設を空間的に認識しやすいうように、施設全体の見取り図を提示し各エリアの説明を加えた後、動画を活用しながら施設の使用方法などの説明を表示する（図 2）。
- 動画の左上には説明項目をわかりやすく表示し、音声説明と同期した字幕を動画中央下に表示する。
- 各機器の説明の際には、音声説明に加えて右下にワープの窓を設け、この中で機器の詳細説明を表示する（図 3）。ここでは、学習者により具体的な施設情報として、施設の見

取り図から施設全体の位置関係が把握できるようにする。その後、動画を通して施設内を視聴することで、一度も訪れたことのない施設内の空間認識が得られ、実際に施設を使用する際の準備力がある程度備わる。

さらに、動画内の機器の詳細説明を画面右下にワイプで表示することで、機器使用時に必要となる各情報を印象付ける効果を期待するものである。動画におけるテキストなどのレイアウトは、学習者がより自然に情報を取得できるように左上から右下に視線を誘導するものとしている。ワイプの設計では、背景の動画とコントラストが強くなる配色にすることで、より視認性を高くし学習者が見やすくなるようにしている。

5.3 言語的説得のためのチャットボット設計例

問題Ⅲの対処策として、質疑応答用チャットボットの動作例の一部を図4に示す。この作成方針を次に示す。この作成方針を次に示す。

- 質問内容については、これまでの設備講習などから抽出し、これに対する回答文を用意、自動回答するようにした。
- この回答文の工夫として、自己効力感を与えるような回答の仕方を工夫した。

この工夫について説明する。図5に示す「初めて学ぶ人には大事なことですから」を回答の最初に表示した意味は次のとおりである。すなわち、この文章はこの質問という行為が承認されたこと、すなわち自己効力感の言語的説得を与える効果を狙ったものである。

さらに、このような質問が承認され、自分に欲しい情報が回答で得られるという経験は、仮想空間上であっても、直接的達成経験が得られることになると見える。これは、学習者が疑問点は気軽に質問等が行うことができるという安心感から自ら学習を進めることができるという効用を期待するものである。

5.4 DX化設計論を取り入れた設備講習の実施

前節のデジタル教材を使用した設備講習を実施したのち、学習者へアンケートを行った。

5.4.1 調査方法

アンケートは東京都立産業技術大学院大学の学生を対象にGoogle Formsを使用し、アンケートの回答を持って調査への同意を得るものとして実施した。アンケートの設問項目は、全9項目全12問(選択形式9問、記入形式2問、自由記述1問)とした。

なお、アンケート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した。

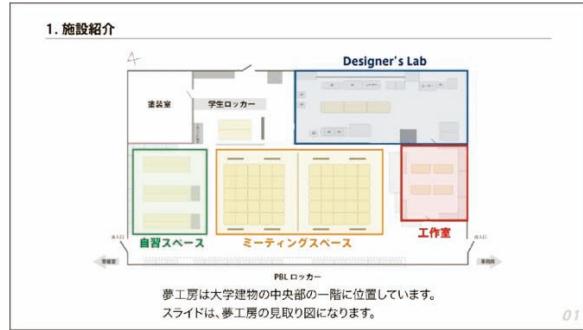


図2: 設備内案内動画の一部(機器の説明)



図3: 設備内案内動画の一部(機器の説明)

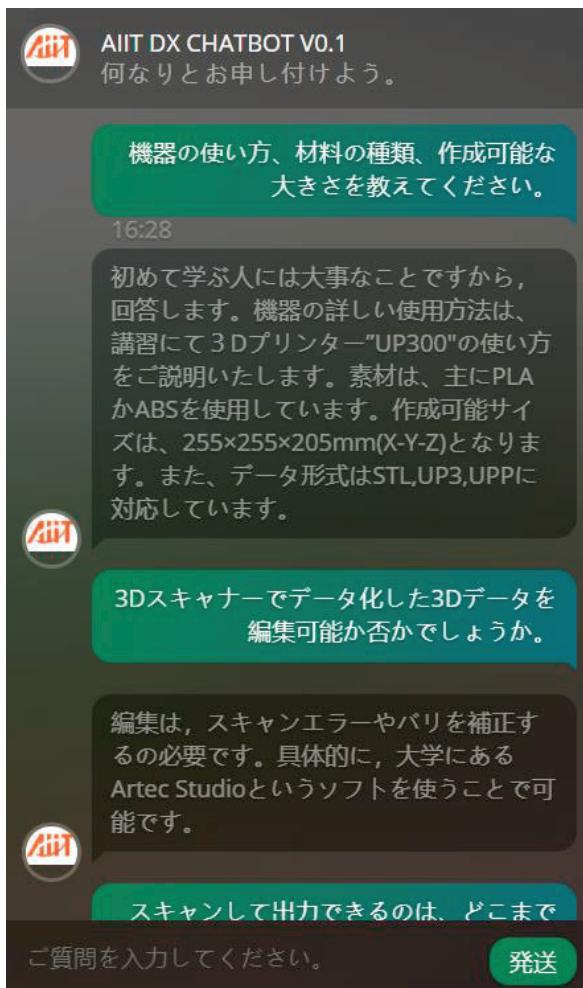


図4: チャットボット応答の例

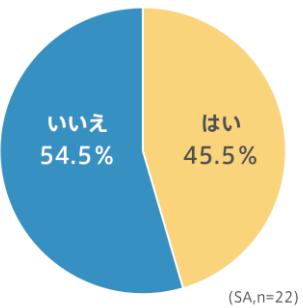


図 5: 工作機器が設置してある施設への訪問の有無

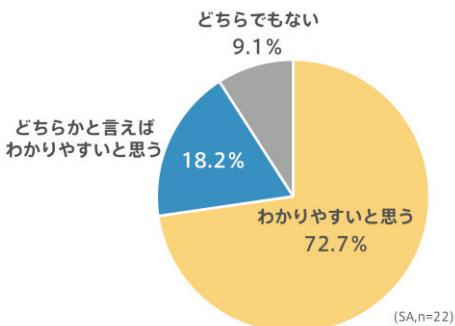


図 6: 施設についての間取りの説明と案内動画を取り入れた説明のわかりやすさについて

5.4.2 結果と考察

アンケートは 38 名中 22 名から回答され(回収率 57.9%), 22 名全員のアンケート結果(有効回答率 100%)を分析に用いた。

アンケート結果より、学習者の工作機器(3D スキャナー/3D プリンター/レーザー加工機)の使用経験については、「全て使用したことはない」が 15 名(68.2%)と最も割合が高く、「3D プリンターやレーザー加工機を使用したことがある」が 5 名(22.7%), 「レーザー加工機のみ使用したことがある」が 2 名(9.1%)であった。また、工作機器が設置してある施設への訪問の有無に関しては、「訪れたことがない」が 12 名(54.5%), 「訪れたことがある」が 10 名(45.5%)であった(図 5)。このことから、設備講習の受講者の多くは工作機器の経験が少ないことに加え、工作機器が設置してある施設を訪れたことがないことから、施設を空間的に認知していないことが窺える。

また、デジタル教材における施設の間取り(位置関係)の説明と案内動画を取り入れた説明のわかりやすさについては、「わかりやすいと思う」が 16 名(72.7%), 「どちらかと言えばわかりやすいと思う」が 4 名(18.2%)と高い割合であった。上記の回答からも、デジタル教材が初心者に対する知識とスキルの構築化に有効であることが窺える。

加えて、デジタル教材を制作する上で取り入れた方が良い要素(情報)やポイントの記述式の自由回答から、下記のことを得られた。

- デジタル教材のみで全ての質問事項への対応は難しいことから、ホームページとリンクした質問欄を設け随時拡張していく良いのではないか。
- 各説明を章立てすることで、みたい場所から見られると良い。
- 動画コンテンツは各 5 分程度の長すぎないものが良い。デジタル教材の製作については、ホームページなどとリンクさせ絶えず学習者からの質問事項や要望を取得し活用できる体制を常に整える必要性がある。各動画コンテンツについては、コンパクトに編集し章立てしいつでも閲覧できる Web

アップすることで、学習者の予習と復習に貢献できると考えられる。

5.4.3 まとめと今後の展開

今回作成したデジタル教材はアンケート結果から有効性は確認できたが、対象とした学習者が少ないと今後も調査やアンケートなどを継続的に実施する必要がある。

また、今後はアンケート結果を踏まえた設備講習のデジタル教材の改善に加え、3D スキャナーや 3D プリンター、レーザー加工機などの工作機器に関するデジタル教材の作成を計画している。プロトotyping を行う工作機器を対象としたデジタル教材においては、基本的な使用方法や注意事項だけでなく、指導者の経験知から得られた作業時のコツなども含めることを想定している。

6 おわりに

本論文は、実験科目の効果的な DX 化を図るために、実験科目の内容を知識とスキルに分解し、これらをタキソノミー、動機づけ、自己効力感の複合的観点から考察を行い、幾つかの問題点の指摘とその改善案を提案した。この案を基に、直接的達成経験、言語的説得のためのデジタル教材の作成例を示した。数人の学習者へのインタビュー／アンケートでは、自学習には有効であるとの回答を得ているが統計的有意性を示すものではない。そのため、今後、この研究を進めて、インタビュー／アンケートのサンプル数を増やすことでその有効性を確認する予定である。

また、今回は、学習項目のタキソノミーのみを扱い、スキルの目標分類[20]を考えてなかった。これは、本研究の検討課題としてあげる。

なお、このデジタル教材を与える目標の一つとして、事前学習でイメージトレーニングを行い、あるレベルに達した学習者から現場実習に入れば、従来の一斉同時よりは人数の分散が図れることが期待でき、分散授業によるウイルス感染対策にも繋がると期待できる。

本論文は、デジタルを活用した大学・高専教育高度化プラン（文部科学省）令和3年度、取組②で採択された「技能教育高度化のための共創的技能学習プラットフォームの構築」の事業の一部の成果である。

参考文献

- [1] G.S.Aulakh, S.Duggal and D.Sutton : Findings from an OMFS journal club: is COVID-19 the catalyst we have needed to embrace technology?, British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2020.08.056>, 2020
- [2] V.J. García-Morales, A.Garrido-Moreno and R.Martín-Rojas : The Transformation of Higher Education After the COVID Disruption: Emerging Challenges in an Online Learning Scenario, Frontiers in Psychology, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.616059>, 2021
- [3] L.W.Anderson and D.R. K rathwohl(eds.) : A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives, Addison Wesley Longman,2001.
- [4] 鹿毛雅治: 学習動機づけ研究の動向と展望, 日本教育心理学会, vol.57, pp.155-170, 2018.
- [5] A.Bandura: Self-efficacy, The exercise of control, New York, W.H.Freeman, 1997.
- [6] T.R. Kelley, J.G. Knowles, J.D. Holland and J. Han: Increasing high school teachers self-efficacy for integrated STEM instruction through a collaborative community of practice, International Journal of STEM Education volume 7, Article number: 14, 2020, <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00211-w>
- [7] 橋本洋志, 河西大介, 田部井賢一, 張晁逢, 松井実, 平社和也, 慎祥揆: 実験科目授業のDX化のための考察と設計法の提案第1報: 知識とスキルの分類, 第23回日本感性工学会大会, 2021.
- [8] 河西大介, 張晁逢, 田部井賢一, 松井実, 橋本洋志, 平社和也, 慎祥揆: 実験科目授業のDX化のための考察と設計法の提案第2報: 設備講習用のデジタル教材, 第23回日本感性工学会大会, 2021.
- [9] M.Yamauchi and Y.Haruki (ed.): Psychology of Learning - Behaviors and Cognition -, Skill Learning in Chap.3, Saiensu-Sha Co.,Ltd., 1985.
- [10] 村上 陽一郎, 銀林 浩, 三宅 なほみ, M・コール, 佐伯 胖: 理解とは何か, 東京大学出版, 2007.
- [11] M.Kage: Trend and Future Perspective of Studies on Learning Motivation, The Annual Report of Educational Psychology in Japan, vol.57, pp.155-170, 2018.
- [12] R.Guthold, G.A.Stevens, L.M.Riley and F.C.Bull : Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analysis of 298 population-based surveys with 1·6 million participants, Lancet Child Adolesc Health, [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(19\)30323-2](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2), 2020
- [13] L.L.Finn : Improving interactions between parents, teachers, and staff and individuals with developmental disabilities: a review of caregiver training methods and results, Intl. J. of Developmental Disabilities, <https://doi.org/10.1080/20473869.2020.1830460>, 2020
- [14] K. Doi: Usefulness of “Work Arrangements” in Assembling Jobs, Japanese Journal of Educational Psychology, vol.46, no.1 pp.68-76, 1998.
- [15] K.Ohashi: A Planning Methodology for training the Setup of Turning Operation, Japan Society for Production Management, vol.11, no.2, pp.159-164, 2005.
- [16] D.G. Faust: “be ready to improvise” in Leadership Without a Secret Code, The New York Times, Oct. 31, 2009, <https://www.nytimes.com/2009/11/01/business/01corner.html>
- [17] 深代千之, 石毛勇介, 若山章信, 川本竜史: スポーツ動作の科学, 東京大学出版会, 2010.
- [18] S.Wu : Playing shooter and driving videogames improves top-down guidance in visual search, Attention Perception Psychophys, 75(4), pp. 673-86. doi: 10.3758/s13414-013-0440-2, 2013.
- [19] Y. Seya and H. Shinoda: Experience and Training of a First Person Shooter (FPS) Game Can Enhance Useful Field of View, Working Memory, and Reaction Time, vol.15, Issue 3, pp.213-222, 2016.
- [20] E. J. Simpson: The Classification of Educational Objectives in the Psychomotor Domain, Gryphon House, Washington DC.

機械学習による ELVO 予測の改善の取り組み

小山 裕 司*・佐藤 孝治*・林 昌 純**
清元 佑 紀***・重田 恵 吾***・松本 省 二****

Improvements of an ELVO Prediction using Machine Learning

Hiroshi Koyama*, Takaharu Sato*, Masazumi Hayashi**,
Yuki Kiyomoto***, Keigo Shigeta*** and Shoji Matsumoto****

Abstract

Time is important in acute ischemic stroke care, so the sooner medical treatments are delivered, the better the outcome for stroke patients is. In case of emergency transport of a patient who is suspected of a stroke and especially emergent large vessel occlusion (ELVO), it is necessary to start appropriate treatments immediately. We developed an ELVO prediction application (ELVO checker) using machine learning. In this paper, we show that several parameters for random forest construction in this application are modified to improve the sensitivity.

Keywords: Acute Ischemic Stroke Care, Emergent Large Vessel Occlusion, Machine Learning, Random Forest Construction

1 緒言

脳血管疾患等の救急医療では、早期治療が重要であり、患者の社会復帰率を高める。脳血管疾患の大半を占める脳梗塞の治療では、t-PA (Tissue-Plasminogen Activator, 血栓溶解薬) 治療及び脳血管内治療が代表的である。脳の太い血管が詰まる急性脳主幹動脈閉塞症 (ELVO: Emergent Large Vessel Occlusion) による脳梗塞は、t-PA 治療に引き続き脳血管内治療を行い、脳血栓を回収することが効果的である。脳梗塞の早期治療の測定指標としては、患者が病院に到着してから t-PA 治療開始までの DTN (Door-to-Needle) 時間、脳血管内治療開始までの D2P (Door-to-Puncture) 時間等が使われている。著者らは、情報通信技術を活用し、各種の連携を管理し、効率及び効果を改善し、DTN 及び D2P 時間短縮を実現したり[1]、機械学習を利用し、脳卒中予測を行ったり[2]する取り組みを行ってきた。

脳血管内治療は、t-PA 治療以上に事前準備の手順を要するため、脳卒中疑いで搬送される患者のうち、搬送前情報から脳血管内治療を要する ELVO 患者を予測できれば、あらかじめ脳血管内治療を開始する準備を行うことができ、D2P 時間の短縮に効果的である。患者の症状から脳卒中で

あるか、ELVO であるかどうかの判別基準(スケール)は既に多数存在する。

既存の病院前脳卒中スケールである CPSS, TOPSPIN, SPSS の感度、確度、陽性的中率、特異度を表 1 に示す[3-5]。この表の CPSS の値は、東京都が平成 22 年 2 月の 1 週間に救急車が利用された傷病者 10,109 件及び平成 24 年 2 月の 1 週間の 10,238 件での実証検証の結果と、平成 28 年 7 月から平成 29 年 2 月の間に災害医療センターに救急搬送された脳卒中 A 患者 153 症例での結果である。この表の TOPSPIN 及び SPSS の値も同じ脳卒中 A 患者 153 症例での結果である。また、TOPSPIN の陽性適中率は 72%、SPSS の感度は 84.1%と報告されている[6][7]。

表 1: 病院前脳卒中スケール

	感度	確度	陽性的中率	特異度
CPSS(平 22)	82.4%	82.4%	59.6%	97.9%
CPSS(平 24)	70.8%	71.0%	60.4%	98.4%
CPSS(153 症例)	83.3%	75.8%	79.2%	63.1%
TOPSPIN	86.5%	73.2%	74.7%	50.9%
SPSS	83.3%	74.5%	77.6%	59.6%

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 法政大学, Hosei University

*** 独立行政法人国立病院機構災害医療センター, National Hospital Organization Disaster Medical Center

**** 藤田医科大学, Fujita Health University

ELVO 予測スケールである ELVO screen, GAI2AA, JUST では感度 85%以上が報告されているが、物品呼称、無視、失語等の救急隊の確認外の項目が使われている。JUST の感度は 98%であるが、21 の確認項目を要する[8-10]。

前回の著者らの研究では、救急隊の確認項目のみから高い精度での ELVO 予測を実現する試みとし、Python (scikit-learn) 及び Google Colaboratory 環境でのランダムフォレスト法による ELVO 予測モデルを構築した。国立病院機構 災害医療センターに搬送された脳卒中疑い患者を対象に、観察項目のうち、データを取りにくかったり、不正確

であったり、不適切であったり、欠損値があつたりする等のデータに問題がある項目を外し、東京消防庁の消防隊が現場で確実に確認できるかどうかの視点で絞り込み、次に観察項目間の相関を確認し、脳卒中学会の推奨項目を考慮して、最終的には手作業で、年齢、拡張期血圧、顔面の麻痺、上肢の麻痺、下肢の麻痺、心房細動、共同偏視の有無の 7 項目を説明変数として選択し、ELVO かどうかという診断結果を目的変数とした。脳卒中学会の推奨項目は顔面の麻痺、上肢の麻痺、心房細動、共同偏視の有無、半盲、失語、構音障害の 7 項目である。データの属性、患者データの基準及び最終的に説明変数に使用した観察項目を表 2 に示す。

表 2: データの属性及び患者データの基準

属性	患者データの評価基準	変数	脳卒中学会 推奨
発症後時間経過	(×確認が難しい場合があるので、除外する)		
症状・主訴	(×処理が難しいので、除外する)		
既往	(×確認が難しい場合があるので、除外する)		
性別	男性:0, 女性:1		
年齢	60 歳以上:0, 60 歳未満:1	説明変数	
拡張期血圧 (mmHg)	10 刻み	説明変数	
JCS	0-3: 0, 10-30:1, 100-300:		
共同偏視	無:0, 有:1	説明変数	○
名前確認	正解:0, 不正解:1		
年齢確認	正解:0, 不正解:1(×信頼性が低い、除外する)		
従命	正解:0, 不正解:1		
麻痺(顔面・四肢)の左右	左右差無:0, 有:1		
握力低下	無:0, 有:1(×信頼性が低い、除外する)		
顔面麻痺	無:0, 軽度:1, 有:2	説明変数	○
上肢麻痺	無:0, 軽度:1-3, 有:4	説明変数	○
下肢麻痺	無:0, 軽度:1-3, 有:4	説明変数	
失語構音障害	無:0, 有:1		○
失認	無:0, 有:1 (×信頼性が低い、除外する)		
心房細動	無:0, 有:1	説明変数	○
痙攣の既往	(×確認が難しい場合があるので、除外する)		
ADL	(×確認が難しい場合があるので、除外する)		
ELVO 診断	ELVO 以外:0, ELVO:1	目的変数	

前回の研究では、感度 75.0%、確度 80.9%、陽性的中率 35.3%、特異度 78.3%を得ることができた[5, 11-12]。

感度、確度等は予測精度の指標である。確度(正確度、Accuracy)は「(真陽性 TP + 真陰性 TN) ÷ 総数」(正しい予測数を、総数で割ったもの)で、いわゆる正答率、正解率にあたる(真陽性、真陰性等は表 3 参照)。

感度(真陽性率、Sensitivity、再現率、Recall)は「真陽性 TP ÷ (真陽性 TP + 偽陰性 FN)」(予測できた陽性数を、実際の陽性数で割ったもの)である。実際の ELVO 患者を誤つ

て非 ELVO 患者と予測することは避けたいので、今回のように疾患の有無の判定では感度が最重要指標である。

特異度(真陰性率、Specificity)は「真陰性 TN ÷ (偽陽性 FN + 真陰性 TN)」(予測できた陰性数を、実際の陰性数で割ったもの)で、今回は高いほうがいいものの、これが下がっても感度が高いほうが望まれる。

陽性的中率(適合率、Precision)は「真陽性 TP ÷ (真陽性 TP + 偽陽性 FP)」(予測できた陽性数を、予測の陽性数で割ったもの)で、陽性と診断したものがどの程度正しかったとい

う陽性診断の信憑性を表す。

前回の研究では、感度を重視しすぎたため、陽性的中率が低下しすぎてしまった。確度と陽性的中率の両者を 100%に近付けることは難しいため、両者を重視したい場合は両者の調和平均「 $2 \times \text{感度} \times \text{陽性的中率} / (\text{感度} + \text{陽性的中率})$ 」で算出される F 値(F-measure)が使われる。今回は、ELVO 予測の感度を 85%以上に改善するための取り組みを報告する。

表 3: 予測及び診断の集計表の例

		実際の ELVO 診断	
		陽性 P	陰性 N
ELVO	陽性 P	○ 真陽性 TP (True Positive)	✗ 偽陽性 FP (False Positive)
	陰性 N	✗ 偽陰性 FN (False Negative)	○ 真陰性 TN (True Positive)

2 ELVO 予測の改善のための試み

今回は、ELVO 予測の感度を改善するため以下の変更を試みた。

2.1 不均衡データ

前回の著者らの研究の対象データは、2016 年 7 月から 2017 年 2 月及び 2018 年 2 月から 9 月の間に災害医療センターに救急搬送された脳卒中疑い 270 症例であり、このうち ELVO 患者は 32 症例(11%)という大きく偏りがある不均衡データであった。

今回は、新規に ELVO 患者の 86 症例のみを追加(アップサンプリング)し、脳卒中疑い 356 症例のうち ELVO 患者を 118 症例(33%)まで引き上げ、データの偏りを緩和することで、感度の改善を試みた。

2.2 決定木の重み付け、深さ、数

前回の研究では、大きく偏りがある不均衡データであったため、ELVO 患者に 10 倍の重みを付けたランダムフォレストを構成した。ランダムフォレストの構築では、構築する決定木の数を決める必要があり、また、決定木の深さに制限を設けることができる。前回の研究では、深さの上限を 3 にし、140 個の決定木のランダムフォレストを構築した。

今回は、高い感度を実現する重み、最大の深さ、決定木の数の最適パラメータの(グリッドサーチ)探索を行う。

2.3 説明変数

東京消防庁の救急隊が収集する患者情報は東京消防庁救急活動基準に規定され、各救急隊は活動基準が要約された疾病観察カードを携行し、患者情報を収集している。多数

の観察項目があるが、脳卒中に関連する観察項目は表 2 に示す 21 項目で、最終的に脳卒中、ELVO であったのかの診断情報が記録される。

前回の研究では、年齢、拡張期血圧、顔面の麻痺、上肢の麻痺、下肢の麻痺、心房細動、共同偏視の有無の 7 項目を手作業で説明変数として選択した。顔面の麻痺、上肢の麻痺、心房細動、共同偏視の有無の 4 項目は脳卒中学会の推奨項目である。

今回は、前回の研究の 7 項目に性別を足した 8 項目から説明変数として高い感度を実現する項目を(グリッドサーチ)探索する。

2.4 連続値・離散値

前回の研究では、連続値の項目では、年齢は経験的に 60 歳で区分し、拡張期血圧は 10mmHg 每の離散値として扱った。

今回は、これらの項目を連続値か離散値か、また離散値の場合は区間をどのように設定すれば、高い感度が実現できるかを試す。

3 実装及び結果

今回も、前回の研究同様、Python (scikit-learn) 及び Google Colaboratory 環境でのランダムフォレスト法による ELVO 予測モデルを構築した。

感度を改善するために次の実装の変更を試みた。実装を変更する際には、基本のランダムフォレストの実装から、比較のために変更箇所以外は同じ条件で結果を確認した後、次の変更を順次行った。

3.1 基本のランダムフォレストの実装

症例数: 270、年齢及び拡張期血圧: 連続値、深さの最大値: 無し、クラスの重み: 自動、決定木: 200、説明変数: (年齢、拡張期血圧、顔面の麻痺、上肢の麻痺、下肢の麻痺、心房細動、共同偏視の有無) の実装では、感度 25.0%、確度 91.2%、陽性的中率 100.0%、特異度 100.0%、F 値 40.0% であった。この実装を基本にし、第 2 章で示した改善の試みを行う。

3.2 ELVO 患者の 86 症例の追加

前回の症例数 270 に ELVO 患者の 86 症例を足した症例数 356 の実装では、感度 72.4%、確度 83.1%、陽性的中率 75.0%、特異度 88.3%、F 値 73.7% であり、感度及び F 値は大幅に上昇したが、残りの精度指標は若干下落した。

〈同じ条件〉年齢及び拡張期血圧: 連続値、深さの最大値: 無し、クラスの重み: 自動、決定木: 200、説明変数: (年齢、拡張期血圧、顔面の麻痺、上肢の麻痺、下肢の麻痺、心房

細動, 共同偏視の有無)

3.3 拡張期血圧の連続値から離散値への変更

拡張期血圧を連続値から 10 刻みへ変更した実装では, 感度 72.4%, 確度 84.3%, 陽性的中率 77.8%, 特異度 90.0%, F 値 75.0%であり, 感度は同じであったが, 確度, 陽性的中率, 特異度, F 値が若干上昇した.

(同じ条件) 深さの最大値: 無し, クラスの重み: 自動, 決定木: 200, 症例数: 356, 説明変数: (年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無)

3.4 年齢の連続値から離散値への変更

年齢を連続値から 60 歳未満, 60 歳以上へ変更した実装では, 感度 79.3%, 確度 85.4%, 陽性的中率 76.7%, 特異度 88.3%, F 値 78.0%であり, 特異度以外の精度指標は上昇した.

しかし, 年齢を 70 歳未満, 70 歳以上へ変更した実装では, 感度 75.9%, 確度 83.1%, 陽性的中率 73.3%, 特異度 86.7%, F 値 74.6%であり, すべての精度指標が低下した.

(同じ条件) 深さの最大値: 無し, クラスの重み: 自動, 決定木: 200, 症例数: 356, 拡張期血圧: 10 刻み, 説明変数: (年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無)

3.5 深さの最大値の設定

第 3.4 節の年齢を 60 歳未満, 60 歳以上で区切った実装から, 深さの最大値を無しから 3 へ変更した実装では, 感度 79.3%, 確度 86.5%, 陽性的中率 79.3%, 特異度 90.0%, F 値 79.3%であり, 感度は同じであったが, 確度, 陽性的中率, 特異度, F 値が若干上昇した.

(同じ条件) クラスの重み: 自動, 決定木: 200, 症例数: 356, 拡張期血圧: 10 刻み, 年齢: 60 歳未満, 60 歳以上, 説明変数: (年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無)

3.6 決定木の数

深さの最大値が無し及び 3 の実装で, 決定木の数を 200 から 100 へ変更した実装を試みたが, すべての精度指標が同じであった.

(同じ条件) 症例数: 356, 拡張期血圧: 10 刻み, 年齢: 60 歳未満, 60 歳以上, クラスの重み: 自動, 説明変数: (年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無)

3.7 クラスの重みの設定

クラスの重みを自動から重み付けした実装での結果を表 4

に示す. 非 ELVO:ELVO の重み付けを 1:2 から 1:10 にした実装の感度は同じ 93.1%であるが, これらの重み付けでは 1:6 の実装が確度 75.3%, F 値 73%であり, 最も高い精度を示した.

(同じ条件) 決定木: 200, 症例数: 356, 拡張期血圧: 10 刻み, 年齢: 60 歳未満, 60 歳以上, 深さの最大値: 3, 説明変数: (年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無)

表 4: 重み付けの結果

重み	感度	確度	陽性的中率	特異度	F 値
1:2	79.3%	86.5%	79.3%	90.0%	79.3%
1:3	79.3%	83.1%	71.9%	85.0%	75.4%
1:4	82.8%	82.0%	68.6%	81.7%	75.0%
1:5	86.2%	76.4%	59.5%	71.7%	70.4%
1:6	93.1%	75.3%	60.0%	70.0%	73.0%
1:7	93.1%	73.0%	55.1%	63.3%	69.2%
1:8	93.1%	71.9%	54.0%	61.7%	68.4%
1:9	93.1%	71.9%	54.0%	61.7%	68.4%
1:10	93.1%	71.9%	54.0%	61.7%	68.4%

3.8 説明変数

今回, 性別, 年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 下肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無の 8 項目から抽出した 7 項目を説明変数とし, 第 3.1 節から第 3.7 節までのすべての条件で試行したが, 感度 93.1%超の精度を実現する選択の組は無かった. ただし, クラスの重み: 自動, 決定木: 100, 症例数: 356, 拡張期血圧: 10 刻み, 年齢: 60 歳未満, 60 歳以上, 説明変数を性別, 年齢, 拡張期血圧, 顔面の麻痺, 上肢の麻痺, 心房細動, 共同偏視の有無の実装(第 3.6 の深さ 3 の条件から, 説明変数の下肢の麻痺を外し, 性別を足した条件)では, 感度 86.2%, 確度 87.63%, 陽性的中率 78.1%, 特異度 88.3%, F 値 82.0%であり, 感度は下落したが, 確度が上昇し, F 値が最高値であった.

今回, 感度を改善するために行った試みによって, 感度 93.1%, 確度 77.5%, 陽性的中率 60.0%, 特異度 70.0%, F 値 73.0%を実現することができた.

- ELVO 患者の 86 症例の追加(第 3.2 節)
- 年齢の連続値から離散値への変更(第 3.4 節)
- クラスの重みの設定(第 3.7 節)

対象症例数のうち ELVO 患者の症例数を 11%から 33%まで引き上げたことで, ELVO 患者の症例数の不均衡さが緩和され, 感度を改善したと考えられる.

また、F 値を優先すれば説明変数が変わるが、今回も感度が最重要指標であるため、説明変数は前回と同じであり、アプリケーションの使い勝手を変更する必要は無かった(図1)。



図 1: ELVO 予測アプリケーションの画面例

4 結言

脳卒中疑いで搬送される患者のうち ELVO 患者は 6～10%程度であり、実際の臨床データを対象とした機械学習では高い感度を得ることが難しい。今回は感度を優先して実装を行った。前回の研究の対象 270 症例(ELVO 患者 32 症例, 11%)に ELVO 患者の 86 症例のデータのみを追加し、356 症例(ELVO 患者 118 症例, 33%)することで、感度が上昇した。説明変数は年齢(60 歳で区分)、拡張期血圧(10mmHg 毎の離散値)、心房細動、共同偏視、顔面の麻痺、上肢の麻痺、下肢の麻痺の有無の 7 項目、非 ELVO:ELVO の重み付けを 1:6 とした場合、感度 93.1%，確度 77.5%，陽性的中率 60.0%，特異度 70.0%，F 値 73.0% の ELVO 予測モデルが得られた。

本論文は、文献[13-18]をもとに再構成、加筆したものである。

参考文献

- [1] 小山 裕司, 松本 省二, 吉良潤一, “急性期脳梗塞治療支援システムの取り組み”, 情報処理学会 論文誌 (IPSJ Journal), Vol.57, No.5, 2016. (日本語論文誌)
- [2] 重田 恵吾, 早川 隆宣, 八ツ繁 寛, 青木 満, 大橋 博明, 徐 向陽, 小山 裕司, “東京都の病院前救護活動の分析と Stroke bypass の検討”, 日本脳卒中学会 脳卒中, 41(2), pp.79-84, 2019. (日本語論文誌)
- [3] 東京都健康福祉局, “東京都脳卒中救急搬送体制実態調査報告書”, 2011.
https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo_iryo_hoken/nousotyuutorikumi/nousotyyuuhoukokusyo.html (visited on 2021) (ウェブ参照)
- [4] 東京都健康福祉局, “東京都脳卒中救急搬送体制実態調査(第 2 回)報告書”, 2013.
https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo_iryo_hoken/nousotyuutorikumi/nousotyyuuhoukokusyo_2.html (visited on 2021) (ウェブ参照)
- [5] 大橋 博明, 青木 満, 徐 向陽, 重田 恵吾, 米盛 輝武, 松本 省二, 小山 裕司, “機械学習を利用した脳卒中の簡易判別システムの開発”, 産業技術大学院大学紀要, (12), pp.21-25, 2018. (日本語論文誌)
- [6] 辻 裕丈, 近藤 直英 et al., TOPSPIN: TOYOTA Prehospital stroke Scale for t-PA Intravenous therapy(経静脈的 t-PA 療法のためのトヨタ脳卒中プロトコルスケールを用いた救急隊との前方連携), 脳卒中, 30(5), pp.651-659, 2008. (日本語論文誌)
- [7] 湘南地区メディカルコントロール協議会, 病院前脳卒中スケールによる脳卒中の判別に関する研究 研究報告書, pp.6-15, 2011.
<http://www.fasd.or.jp/tyousa/pdf/21-8nousochuu.pdf> (visited on 2021) (ウェブ参照)
- [8] SUZUKI Kentaro et al., Emergent Large Vessel Occlusion Screen Is an Ideal Prehospital Scale to Avoid Missing Endovascular Therapy in Acute Stroke, Stroke, Vol.49, No.9, pp.2096-2101, 2018. (Journal)
- [9] OHTA Tsuyoshi et al., Optimizing In-Hospital Triage for Large Vessel Occlusion using a Novel Clinical Scale (GAI₂AA), Neurology, Vol.93, No.22, pp.e1997-e2006, 2019. (Journal)

- [10] UCHIDA Kazutaka et al., Clinical Prediction Rules to Classify Types of Stroke at Prehospital Stage Japan Urgent Stroke Triage (JUST) Score, *Stroke*, Vol.49, No.8, pp.1820 – 1827, 2018. (Journal)
- [11] 重田 恵吾, 大橋 博明, 青木 満, 佐川 博貴, 小山 裕司, 機械学習を利用した脳卒中判別システムの開発, 第 23 回日本医療情報学会春季学術大会, 2019. (Conference proceedings)
- [12] 小山 裕司, 重田 恵吾, 佐川 博貴, 大橋 博明, 松本 省二, “機械学習による ELVO 予測システムの開発”, 産業技術大学院大学紀要, (13), pp.103-106, 2019. (日本語論文誌)
- [13] 清元 佑紀, 重田 恵吾, 林 昌純, 松本 省二, 小山 裕司, 急性脳主幹動脈閉塞症予測アプリケーション "ELVO checker" の感度向上のための研究, *Neurosurgical Emergency*, vol.25, no.3, pp.484, 2021. (Conference proceedings)
- [14] 林 昌純, 清元 佑紀, 重田 恵吾, 佐藤 孝治, 松本 省二, 小山 裕司, 機械学習手法による急性脳主幹動脈閉塞症の予測の試み, 第 10 回 JAMI & JSAI AIM 合同研究会, 2021. (Conference proceedings)
- [15] 林 昌純, 清元 佑紀, 重田 恵吾, 佐藤 孝治, 松本 省二, 小山 裕司, 急性脳主幹動脈閉塞症を高感度で予測するための機械学習モデルの設計, 第 3 回日本メディカル AI 学会学術集会, 2021. (Conference proceedings)
- [16] 佐藤 孝治, 林 昌純, 清元 佑紀, 重田 恵吾, 松本 省二, 小山 裕司, 機械学習による急性脳主幹動脈閉塞症の予測精度の向上とアプリケーションの操作性改善, 情報処理学会 第 133 回 MPS・第 66 回 BIO 合同研究発表会, 2021. (Conference proceedings)
- [17] 林 昌純, 佐藤 孝治, 清元 佑紀, 重田 恵吾, 松本 省二, 小山 裕司, 急性脳主幹動脈閉塞症のための機械学習による予測とアプリケーションのユーザビリティ, 日本ソフトウェア科学会第 38 回大会, 2021. (Conference proceedings)
- [18] 佐藤 孝治, 林 昌純, 清元 佑紀, 重田 恵吾, 松本 省二, 小山 裕司, 機械学習による急性脳主幹動脈閉塞症の予測精度の向上とアプリケーションの操作性改善, ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム 2021, 2021. (Conference proceedings)

人と社会を繋ぐ交通システムに向けて —AI の活用とマルチエージェントシミュレーションによる評価—

岩瀬一彦*・阿部晶子*・武村知昭*・東川瞬*
張桀碩*・大久保友幸*・林久志*

Towards Transportation Systems that Connect People and Society
Kazuhiko Iwase*, Shoko Abe*, Tomoaki Takemura*, Shun Higashikawa*,
Jieshuo Zhang*, Tomoyuki Ohkubo* and Hisashi Hayashi*

Abstract

In order for everyone to live in a familiar town with peace of mind and comfort, it is necessary to consider both sustainable town development and transportation systems. Therefore, we considered transportation systems that allow everyone to live in a familiar town and easily move to anywhere, anytime. In the age of declining birthrate and aging population, we picked up the following two important categories of transportation systems: AI public transportation systems that make it easy for everyone to use, and the AI road systems that efficiently maintain and control highway networks and autonomous driving. And we made a total of five proposals from those two categories. We plan to conduct simulation experiments in the near future to confirm the effectiveness of proposals, and we expect that there is a great possibility of creating new services depending on the results.

Keywords: Chord, Demand Responsive Transportation, E-Ticket, Road Network, Traffic Light Control

1 はじめに

現在、世界人口の約 50%にあたる 35 億人が都市部に暮らしており、2030 年にはその割合は 60%に達すると言われている[1]。爆発的な人口増加とともに、人々は豊かさを求めて農村部から都市部へ移動し、先進国や開発途上国的一部ではすでに都市インフラが限界に達している。日本国内には、道路上に約 70 万の橋と 1 万のトンネルが存在しているが、老朽化が進みそれらの維持・修繕費用が大きな負担となっている[2]。さらに運転手不足も顕在化しており、コロナ禍での EC 急増で配送業はより一層繁忙を極めている。一方、地方の中間地域では人口減少が加速した影響で、空き地や空き家が急増している。その結果、公共交通が衰退し、自動車が使えない高齢者などが買い物難民化している[3]。従って、誰もが住み慣れたまちで安心して快適に暮らしていくには、持続可能なまちづくりと持続可能な交通システムを併せ考えなければならない[4]。

持続可能なまちづくりでは、社会的弱者と呼ばれる女性、子ども、障害者、高齢者などへの特別な配慮や、公共スペースの確保、誰もが快適に利用できる緑地の充実などの視点も

不可欠である[5]。従って我々は、誰もが住み慣れたまちに暮らし、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる、人と社会を繋ぐ交通システムについて検討を行った。

1.1 本稿における取り組み

SDGs(Sustainable Development Goals)が 2030 年の世界の姿を示しているとすれば、我々がしなければならないのは、未来の立場に立って今の世界を見ることである[6]。そこで見える景色は、「女性、子ども、障害者、高齢者などが取り残されつつある社会、そして社会基盤が老朽化して、維持・管理が困難となりつつある社会」である。

そこで持続可能なまち、持続可能な交通を考える上で、「誰もが、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる」をコンセプトに、「人と社会を繋ぐ交通システム」について幾つかの視点から検討して提案を行った。

1.2 本稿の構成

コンセプト「誰もが、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる」を掲げて、大テーマを「人と社会を繋ぐ交通システム」とした。その大テーマは二つの中テーマに掘り下げ、「交通弱

者(移動制約者)が乗りやすい「AI 公共交通機関」と「運転者数減少時代の AI 道路交通システム」を中心テーマとして検討した。

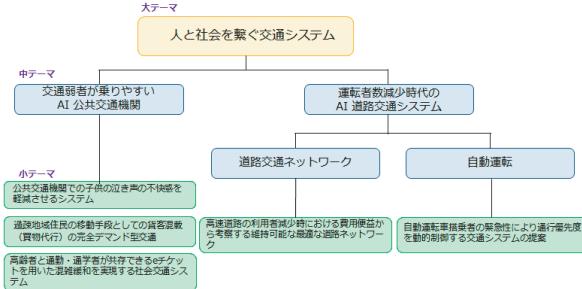


図 1: 大中小テーマのドリルダウンツリー

図 1 に大中小テーマのドリルダウンツリーを記したが、以下にその小テーマについて摘要を記す。

一つの中テーマからは、以下の 3 つの小テーマを詳細に検討した。2 節では、「公共交通機関での子供の泣き声の不快感を軽減させるシステム」を小テーマとして提案する。3 節では、「過疎地域住民の移動手段としての貨客混載(買物代行)の完全デマンド型交通」を小テーマとして提案する。4 節では、「高齢者と通勤・通学者が共存できる e チケットを用いた混雑緩和を実現する社会交通システム」を小テーマとして提案する。

二つの中テーマからは、以下の 2 つの小テーマを詳細に検討した。5 節では、「高速道路の利用者減少における費用便益から考察する維持可能な最適な道路ネットワーク」を小テーマとして提案する。6 節では、「自動運転車搭乗者の緊急性により通行優先度を動的制御する交通システムの提案」を小テーマとして提案する。

そして 7 節では、まとめと今後の課題を記す。

2 公共交通機関での子供の泣き声の不快感を軽減させるシステム

2.1 背景

公共交通機関は多様な人々が使用する。そのため、多様な人にとって使いやすい環境である事が望ましい。しかし、交通機関を使用しづらい人は多く存在している。例えば、障害者、高齢者、子供連れの家族などである。本テーマでは、その中でも子供連れの家族に着目した。乳幼児を連れた家族は子供が泣く事が多いため、公共交通機関を使用しづらい。また、使用時は周囲への気配りを強く求められ負担となっている。周囲の人は子供の泣き声に不快を感じる、睡眠や作業などを妨害されるなどの問題が生じている。

2.2 関連研究と課題

騒音を改善する手法として、アクティブノイズコントロール

(ANC)[7]があるが、騒音と逆位相の二次音源を必要とする。そのため、効果は騒音の周波数帯域が低域の場合のみに限定される。また制御できる空間範囲が極めて狭いため使用用途が限られる。そのため、ヘッドフォンやイヤホンに利用されている[8]。他手法として、聴覚マスキングを使用した不快感軽減の手法がある[9]。この手法では、騒音を別の音で覆い隠す事で不快感を軽減させる。しかし騒音の音圧が大きい場合、それを覆い隠す音圧レベルの制御音が必要となるため、不快感を増大させる恐れがある。そこで本テーマでは、騒音を音楽の和音で軽減させる過去研究に着目した。

当該研究は、音楽の和音を用いて歯科治療音の快音化を研究したものである。この研究は継続的に行われているもので、複数の論文で研究を発表している[10–15]。研究では歯科治療音から不快なピーク周波数を算出し、その周波数成分に対し和音構造を付与する事で歯科治療音の快音化を行っている。また、多重和音構造や時間・周波数領域和音構造などを付与する事により、更なる快音化を行っている。

本テーマでは、前述した和音を利用した歯科治療音の快音化の研究を子供の泣き声の快音化に転用し、子供の泣き声への不快感の軽減を目指す。

2.3 目的と提案手法

本テーマの目的は、子供の泣き声の不快感を軽減させる事である。この時、提案手法は公共交通機関側が提供する形である事が望ましいと考える。子供の泣き声の不快感を軽減させる方法として、アクティブノイズコントロールを用いたノイズキャンセリング機能搭載のヘッドフォンなどが考えられる[8]。しかしその場合、周囲の人が購入しヘッドフォンを装着する必要がある。誰もが利用しやすい公共交通機関を目指した時に、特定の利用者に負担となるシステムは望ましくない。同様に、子供連れの家族が所持する必要があるシステムも望ましくないと考える。そのため、本テーマでは公共交通機関が提供する形で子供の泣き声の不快感を軽減させるシステムを提案する。

前述した和音を利用した歯科治療音の快音化の研究を基に、歯科治療音を対象としたシステムを子供の泣き声を対象としたシステムに転用する。

和音には協和音と不協和音がある。今回は、協和音のなかでも協和性の高い和音である長三和音を利用した。長三和音は、根音、第三音、第五音の 3 音で構成される。平均律に基づく長三和音の周波数比は、式(1)で定式化できる[16]。

$$f_R : f_T : f_F = 1 : 2^{\frac{4}{12}} : 2^{\frac{7}{12}} \quad (1)$$

平均律とは、1 オクターブの周波数を 12 等分し、音名をつけた音律の事である。

提案手法では、まず環境音の中から子供の泣き声のみを識別し抽出する。抽出した子供の泣き声に対し、フーリエ変

換を用いてピーク周波数を検出する。この検出したピーク周波数を根音 f_R とし、式(1)を用いて第 3 音の周波数 f_T 、第 5 音の周波数 f_P を算出し、制御音として付与する。付与する制御音が純音の場合、制御音自体がビープ音のため、不快感の原因となる事が考えられる。そのため、倍音を付与することで不快感を軽減させる。また、快音は低周波域にスペクトル特徴が存在する[17]。そのため、検出したピーク周波数を根音 f_R とした和音とは別に、低音で基音を設定し和音を生成する。これにより快音化の向上を図る。この時、基音同士の周波数比が協和性の高い周波数比となるようにする[18]。提案法の全体像を図 2 に示す。

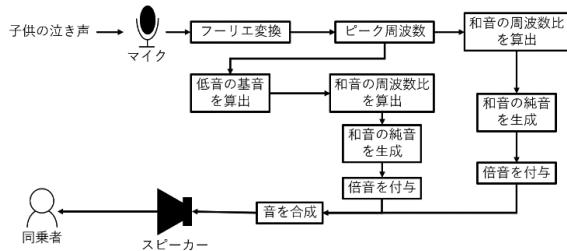


図 2: 提案手法全体像

2.4 期待される成果

本テーマの提案手法により、期待できる事は大きく二つである。一つは子供連れの家族が、子供が泣く事を気にせずに公共交通機関を利用できる事である。これにより、子供連れの家族の公共交通機関利用の難易度が低下し、利用時の負担を軽減できると考える。もう一つは、子供と同乗した人が不快感を覚えずに、公共交通機関で過ごせる事である。これにより、同乗者が快適に過ごす事ができる他に、子供連れの家族への周囲からの反発を抑える効果も期待できる。これは、子供連れの家族が公共交通機関を利用する際の難易度の低下にも繋がる。

これらの期待される成果は、本稿のコンセプトである「誰もが、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる」に繋がる。特に「誰もが」と、「気軽に移動できる」の部分に大きく貢献する成果であると考える。

3 過疎地域住民の移動手段としての貨客混載(買い物代行)の完全デマンド型交通

3.1 背景

高齢者(特に単身高齢世帯)の増加、小規模小売業の廃業、公共交通の衰退などにより、自家用車や送迎無しでは食料品などの購入が困難な買い物弱者(店舗まで 500m 以上の距離に居住し自動車利用が困難な 65 歳以上の高齢者を指す)が増えている[3]。農林水産政策研究所・研究成果報告会資料(2018 年)によると、2015 年の買い物弱者比率が 30% 以上の県は、青森県、秋田県、愛媛県、長崎県と鹿

児島県であり、過疎化が進む中山間・離島地域では大きな問題である。買い物が困難な高齢者は通院も同様に困難であり、やがては住み慣れたまちを離れて地域が消滅していく。消滅可能性都市は 2014 年当時で全国の自治体の 49.8% に上るとの報告もある[19]。しかし同様の問題は超高齢化が進む大都市圏でも発生しており、日本全国の問題となってきた。

3.2 関連研究と課題

2006 年の道路交通法の改正と規制緩和を経て、現在までに全国市町村 1700 余りの中で 1200 以上がコミュニティバスを導入し、300 以上が乗り合いタクシーを導入している[20]。また高齢化・過疎化等による交通弱者への対応策として、路線バスとタクシーの間に位置するデマンド交通(Demand Responsive Transportation)が導入されてきた。デマンド交通は路線バスと違って決まった停留所やルートを持たず、乗客の要望に応じて配車時間やルートを決めて運行するのが特徴であり、コミュニティバスや乗り合いタクシーとは趣を異にするものである。以前のデマンド交通は、NTT 東日本方式、フジデジタルイメージング東北支社方式、自治体独自方式等から始まり、今日では東京大学／(株)コンビニクル[21]、公立はこだて未来大学／(株)未来シェア[22]、NTT ドコモ、モネテクノロジーズ等が IT 技術を活用して遅延の発生を無くしたデマンドバスの自動運行システムを提供している。

さらに路線バスによる荷物の貨客混載は、幾つかの地域で実施されており、例えばヤマト運輸の荷物を主管支店から配送センターに運ぶ貨客混載の路線バスがある[23]。2020 年には、市町村が運営する公共交通では全国初となる貨客混載デマンド交通が誕生し、佐川急便のトラックから宅配荷物の引渡しを受けデマンドバスに積み替えを行って、旅客の予約のない時間帯を活用して個宅まで荷物を運送するものである[24]。一方で買い物弱者に特化した事業として、買い物支援サービス(買い物ツアーや買い物代行)、タクシーによる買い物代行サービス、店舗独自の配送サービス等がある。このように貨客混載は進んではいるが、旅客輸送と荷物の集荷・配送を同時に使う完全貨客混載デマンド交通は未だ報告が無いと思われる。また利便性を高めるには車両数を増やす必要があり、車両数を増やすとコスト高でとても採算が取れないことが報告されている[25]。概してデマンド交通は、乗客を目的地まで乗り換えなしに運ぶよう設計されたものであるが、今回の提案では途中で乗り換えることで車両数を増やすことでコストを抑える設計思想を取り入れた。

3.3 目的と提案手法

地域公共交通は赤字経営が続き、市町村による補填でなんとか運行してはいるが、市町村も財政的に厳しい状況にあ

る。また高齢者ドライバーによる事故も増えており、免許返納により交通弱者が急増する現実がある。従って持続的なまちづくり、そして持続的な交通システムへの取り組みは、住民が主体となって取り組むべき課題である。

先ずは地域住民がどのような交通システムを望んでいるかを検討する為に、ペルソナを作りそのシナリオを作成した。法人格がないと団体としての契約や助成金、行政などからの委託事業などができるないことや、資金調達面で不利になることがあるので、デマンド交通はNPO法人化して運営する必要がある。そして着目したのは、単身高齢者の買い物に近所の方が送迎してくれて大変に感謝していると同時に、気兼ねもあることである。また住み慣れたまちでいつまでも元気で生きがいを感じ、充実した日々を過ごしていきたいシルバー人材がいることである。利便性は重視するがコスト面から車両数は増やせないので、良く知った地区内に限定して自家用車でその地区住民をデマンド交通へと誘うドライバーとしてシルバー人材の雇用を考えた。さらに商店街ではシャッターが降りている店舗が散見され、デマンド交通に協力してまちを少しでも活性化したいとの思いも強いと思われた。そして高齢者にとって煩わしい支払い(デマンド交通の運賃、商店の買い物の代金、買い物代行受取時の代金)を無くすためのサブスクリプションや口座引き落としも重要であると考えた。

このようなことから、住民が主体となったサービスは価値共創時代にふさわしいものである。そこで乗り換えも含めて、到着時間と買い物受取時間が正確な貨客混載(買物代行)の完全デマンド型交通を運行すれば、地域公共交通のない過疎地域の住民が気兼ねなく移動できる環境が構築できるとの考えに至った。そして持続的なまちづくりや持続的な交通システムへの取り組みには、顧客との関係性のライフサイクルを検討して常に顧客との恒久的関係性を維持する努力や、ブループリントを作成してサービスが不十分な点を抽出して改善策を提案する努力は欠かせないものである。

ルート探索については、巡回セールスマン問題[26]を応用し、(1)乗車と降車の順序対応、(2)到着時間や買い物受取時間の厳守、(3)乗車時間の最適化、(4)乗り換え方法、について現在検討しているところである。特に乗り換え方法では、シュタイナー木問題[27]を応用した乗り換えや、最短のルート探索を検討している。

この提案では乗り換えも含めて到着時間と買い物受取時間の正確性が評価軸になると考えており、少なくとも以下の(1)から(3)を満たす必要がある。

$$(on_i - \delta_i) \leq T_i \leq on_i \quad (\forall i \in V) \quad (1)$$

$$(off_i - \delta_i) \leq T_i \leq off_i \quad (\forall i \in V) \quad (2)$$

$$c_i \leq T_i \leq d_i \quad (\forall i \in V) \quad (3)$$

$[on_i, off_i]$:i 地点の乗車と降車の希望時間

$[c_i, d_i]$:i 地点の荷物受取の希望時間範囲

T_i :i 地点への到着予定時間

δ_i :i 地点の乗降ゆとり時間

V :{乗車地点集合}+{降車地点集合}+{車庫}

図3には、上記(1)から(3)を満たすデマンド交通の停車地点*i*の到着予定時間と出発予定時間を示す。デマンド交通は、デマンド客の乗車が完了しなければ発車することはできない。従って、乗車と降車の希望時間に差がある場合でも、ゆとり時間[28]によってその差を小さくすることができる。そしてこのゆとり時間を調整することにより、買い物代行の荷物受取を行うことも可能になると考えられる。

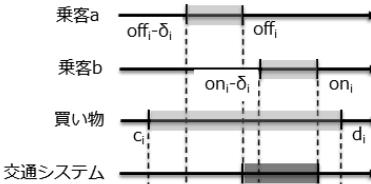


図3: i 地点の到着予定時間と出発予定時間

3.4 期待される成果

持続可能なまち、持続可能な交通を考える上で、「誰もが、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる」をコンセプトに、大テーマに人と社会を繋ぐ交通システム、中テーマに交通弱者(移動制約者)が乗りやすいAI公共交通機関とした。そして、本節の小テーマでは、過疎地域住民の移動手段としての貨客混載(買物代行)の完全デマンド型交通の提案を行った。本提案は住民が主体となった持続的なまちづくりそして持続的な交通システムであり、価値共創時代にふさわしいサービスを創出できるものと考えている。近々、シミュレーション実験を行って、新たに提案する完全貨客混載デマンド交通システムの有効性を確認する計画である。

4 高齢者と通勤・通学者が共存できるeチケットを用

いた混雑緩和を実現する社会交通システム

4.1 背景

現在のコロナ禍において、また、新たな病原菌が発生した場合においても、パンデミックを防ぐためには密集を避けることが非常に重要である。しかし、東京では従来から公共交通機関を利用した移動が基本であるため、通勤・通学時の混雑度が高いという課題がある。また、この混雑度が高いという状況は、コロナ禍における緊急事態宣言下においても大きく変わっていない。

今後、安心・安全な移動を行うためには、通勤時間帯の調整や別の交通手段を使うことにより、混雑度を下げた新たな社会交通システムが必要である。特に、緊急事態宣言下においても、医療従事者の通勤や、学生の通学は避けられないことから、優先度の高い利用者が優先的に移動でき、優先度の低い利用者は、移動時間を調整することにより、密集を避けた移動を促す社会交通システムが重要になると考えら

れる。現在では、リモートワークの普及率も上がっており、オフィスと自宅を使ったフレキシブルな働き方も、今後さらに重要なことが予想される。

4.2 関連研究と課題

これまで、車の移動に関しては混雑課金を利用することにより、混雑度を下げる研究の分析や[29–30]、混雑課金を導入することによる費用分析に関する研究が行われている[31]。実際に2020 東京オリンピックでも、オリンピック期間中の首都高利用には、1000 円上乗せの施策も実施され、高速道路の混雑解消に効果が出ている。このように、車の移動に対してはこれまで混雑を下げる研究・施策が行われてきたが[32]、公共交通機関に対する混雑解消研究の展開はこれからという段階である。

また、スマートフォンの普及により、様々な移動手段を組み合わせたマルチモーダルな移動の実現化も進んでおり、[33–34]のような実運用に向けた課題研究や、[35–38]のような最適な移動手段を提案する研究が行われている。これらの研究では、公共交通機関を組み合わせて、ユーザに最適な移動手段を提案する研究を行なっているが、利用者の優先度や、混雑度を考慮した提案までは行われていない。

これらの状況から、公共交通機関を含めた様々な移動手段に対して、利用者の優先度・希望をもとに、乗車人数制限や乗車日時を最適化することで混雑度を下げ、安心・安全な移動手段を提供することが課題である。

4.3 目的と提案手法

本テーマでは、特に混雑度の高い通勤・通学時間帯の公共交通機関に対し、図4のように移動目的に応じて、公共交通機関利用の優先度付けを行い、利用者の優先度・希望を考慮してeチケットを配布することにより、安心・安全・快適な次世代社会交通システムを提案する。

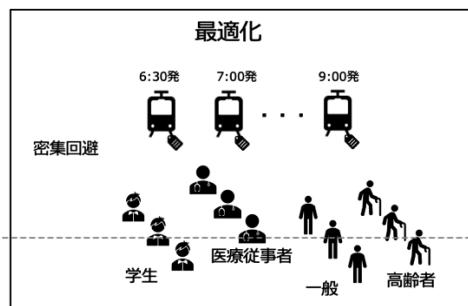


図4: 移動目的に応じた配布チケットの最適化

移動目的に応じた公共交通機関利用の優先度設定例として、医療従事者の通勤、学生の通学、高齢者の通院、一般的な通勤を用い、システムが優先度を設定する。コロナ禍においては、医療従事者の優先度を最高にし、自宅でのリモートワークによる代替が可能な一般的な通勤の優先度を最低

にするなど、時期に応じて優先度を変えることが可能である。この条件下において、利用者は好みの移動手段、例えば、なるべく運動を兼ねて徒歩や自転車の希望を入力するとともに、希望の公共交通機関利用の時間帯を第三希望まで入札する。

システムはユーザと希望の公共交通機関の時間帯で、混雑回避可能な枚数のeチケット分のマッチングを行い、適切なユーザにeチケットを配布する。このマッチング処理において、前述の優先度を用いた重み付けによる最大重みマッチングを適用し、最適化を行う。ただし、乗車人数、電車数、乗り換えの組み合わせが増えていくと、計算時間が膨大になるというアルゴリズムの課題もある。また、公平性、受容性という観点から、消滅性のある仮想ポイントを、週に一定数ユーザに配布し、ユーザが仮想ポイントを入札時に入力することにより、一時的にユーザの優先度を調整することも可能である。また、システムの提案を受け入れて移動したユーザや、希望が叶わなかったユーザには、仮想ポイントを追加で付与する。この仮想ポイントを使うことで、通常は優先度の低い一般的な通勤者が、この日のこの時間帯にどうしても電車を利用したいといふことも可能になる。

本シミュレーションでは、前述のカテゴリのユーザが、第三希望の時間帯までを入力し、三密回避した安全利用可能な電車の定員を山手線の定員の30%である約500人として設定する。評価軸として、公共交通機関の混雑度と、提案する移動手段の最適度を用いる。混雑度は、利用ユーザ数/安全利用人数で計算し、いかに100%に近づけることができるかで評価する。提案する移動手段の最適度は、いかに優先度・希望を考慮した移動手段を提案できたかを示し、公共交通機関を利用できるユーザ毎の重みと、希望の移動手段にマッチした重みの最大化を目的とする。

4.4 期待される成果

利用ユーザの優先度と、希望を考慮したeチケットを配布する新たな社会交通システムにより、密集を回避した安心・安全な移動を促すことができる。特にコロナ禍では、医療従事者の優先度を高くすることにより、移動優先度が高いユーザが、安全に優先的に移動可能になる。この優先度は動的に変更することができるため、時期やその時の状況に応じて柔軟に調整することにより、移動すべきユーザが優先的に安心・安全に移動できる新しい社会交通システムを目指す。

5 高速道路の利用者減少における費用便益から

考察する維持可能な最適な道路ネットワーク

5.1 背景

少子高齢化による人口減少は経済活動の様々な面に影響を与えるが、そのうちの一つに高速道路の路線利用者減

少が挙げられる。

利用者減少は、高速道路の運営会社の料金収入の減少を通じて収支の悪化に繋がる可能性がある。首都高速道路株式会社を例に挙げると、2020年3月期の営業収益4983億円、営業費用4977億円である。このうち道路資産の新設に要した額を高速道路機構に引き渡した分として、営業収益に道路資産完成高、営業費用に道路資産完成原価がそれぞれ2345億円計上されている。これらを除くとそれぞれ営業収益は2638億円と営業費用は2632億円となる。この営業収益のうち料金収入が2635億円でほぼ全てを占めている。営業費用は建設際に要した費用などの返済に当たる道路資産賃借料の支払いが1901億円、高速道路の管理費用等が729億円とそれぞれ72.2%と27.6%を占める。よって、高速道路事業は、道路建設時に発生した費用返済と維持管理費用を料金収入により賄う構図となっている[39]。その他の高速道路の運営会社の収益構造も同様になっている。仮に料金収入が減少した場合、維持管理費用が収入を上回り、廃止が求められる場合も想定される。

一方で、高速道路の利用者の観点では、高速道路は生活や物流面で重要である。そのため、高速道路の収支の悪化により廃止するべきかどうかは利用者の便益を考慮した上で判断されるべきである。

5.2 関連研究と課題

道路の建設費や維持管理費用と道路利用者の便益から道路を評価する分析を費用便益分析という。高速道路の路線の建設時や再評価時には国土交通省が公表する費用便益マニュアル[40]に基づいて行われている。これは利用者の便益と整備・維持管理の費用を道路整備が行われた場合と行われない場合に分けてそれぞれ算出し、その差から道路整備の有効性を測るものである。ここで、便益は走行時間短縮便益と走行経費減少便益、交通事故減少便益をそれぞれ金銭で表したもの合計である。費用は道路整備に要する事業費と道路維持管理に要する費用をそれぞれ金銭で表した合計である。

費用便益分析を用いた研究は様々あるが、一例として[41]は費用便益分析を用いて高速道路の各路線の評価を行った。また、[42]では費用便益分析を用いて今後建設が計画・予定されている高速道路に対してその整備順序や時期の最適化を行った。これらの研究では既存や新規の高速道路の評価に対して費用便益分析を行っているが、費用便益を用いた高速道路の廃止の検討は行われていない。

費用便益分析により高速道路の廃止が検討される場合、その影響を考慮する必要がある。高速道路廃止の影響として最も大きいと考えられるのが一般道の渋滞である。ある道路が渋滞した場合、その道路の走行を避けた車両が別の道路へ向かうため周辺道路も渋滞する可能性がある。そのため

道路ネットワーク全体での渋滞度を捉えることが求められる。

道路のネットワーク構造を用いて交通量予測を行う手法として近年注目されているのがGCN(Graph Convolutional Neural Network)である。GCNは道路ネットワークの空間的特徴と交通量の時間的特徴の双方を捉えることができる。Guo et al.[43]やLiu et al.[44]ではGCNを用いて交通量の予測を行い、GCN以外の手法よりも高い精度となった。ただしGCNを利用する際には大量のデータが必要になることや長期の予測を行うことが難しいなどの問題がある。

道路ネットワークの混雑度を測る指標としてMFD(Macroscopic Fundamental Diagram)がある。MFDはDaganzo[45]で提案され、横軸が道路区間の車両の平均密度、縦軸が道路区間の平均交通量で表される図である。平均密度が高くなると平均交通量は上昇するが、平均密度が更に高くなっていくと渋滞が発生し交通量は減少するという関係を示すことができる。Geroliminis and Daganzo[46]やLoder et al.[47]では都市の道路ネットワークでMFDを利用した分析を行った。またBuisson and Ladier[48]では高速道路や一般道を含めてMFDによる渋滞評価を行った。

5.3 目的と提案手法

本研究では、高速道路の交通量が減少した場合の影響を分析するために、まず図5のように道路交通シミュレーターを用いて、首都高速道路と一般道を再現する。そして、シミュレーターから得られた将来の予測交通量を用いて、費用便益分析マニュアルを用いて高速道路の路線ごとに費用と便益を比較する。このときに費用が便益を上回った路線の廃止を検討する。



図 5: 高速道路と一般道のネットワーク図

しかしながら、高速道路は人々の生活や物流など公共に資するものであるため、赤字となった路線を廃止した場合の影響を考慮する必要がある。そこで、赤字路線を廃止しない

場合と廃止した場合で、周辺の一般道の混雑度を MFD で比較する。また廃止路線周辺以外にも混雑度に影響が現れると見られるため、高速道路と一般道全体での MFD も分析する。

5.4 期待される成果

高速道路の利用者減少により料金収入の低下が予想される中で、本研究では高速道路の路線の廃止の検討を行うことで、高速道路事業の安定した収益の確保をする方法を提案する。

6 自動運転車搭乗者の緊急性により通行優先度を動的制御する交通システムの提案

6.1 背景

「少子高齢化」が進む日本社会において、人手不足などの原因で生産や製造業への人工知能の導入が進められている。そして高齢化によって車移動のニーズが高まっている一方で、運転者不足が問題となっている。未来社会システムの基盤となるのは AI 技術であると思われ、AI 技術を用いた自動運転が社会に導入されて普及していく可能性が高いと考えられる。

6.2 関連研究と課題

近年、交通信号制御に強化学習を取り入れることによって交通渋滞を改善させる、またはマルチエージェントシミュレーターを用いて効率的な交通制御を行う研究が盛んに行われている。

6.2.1 関連研究

Deep Learning を用いた交通システム制御がよく用いられているが、文献[49]の Sample-Based の最適化の考え方とは本研究のシミュレーション構築のヒントとなっている。

文献[50]は Q-Learning を用いて交通信号制御問題を検討している。Phase-base と Step-base のシミュレーション結果から、Step-base の方がより効果が出たため、本研究では Step-base を用いることにした。

文献[51–53]は DQN(Deep Q-Network)を用いて交通信号を制御している。更に文献[53]ではネットワーク連携によって、2 つの交通信号エージェントを連携している。本研究では文献[51–53]のネットワーク構造を参考にして、9 つの交通信号エージェントの連携を考えた。

文献[54]は、強化学習の A2C(Advantage Actor-Critic)モデルを改良した HiLight 構造になっており、強化学習の reward の遅延問題が解決されている。本研究も強化学習を考えているので、文献[54]を参考にして reward の遅延問題を解決したいと考えている。

文献[55–56]はネットワークを階層構造にして、予測精度を高めた強化学習である。本研究のネットワーク構造にも、階層構造を検討したいと考えている。

文献[49], [51], [57]は、交通シミュレーターの SUMO を使用している。本研究では NetLogo を使用しているが、シミュレーションの環境設定(車両状態、道路構造など)は参考にしたい。

以上、関連研究はいずれも「渋滞解消」のための信号制御である。本研究では、上述先行研究を参考にして、「利用者の都合を考慮した」信号制御システムの開発を目指している。

6.2.2 課題

これまでの交通制御システムは、渋滞を解消するために交通信号制御を行っていた[49–58]。しかし搭乗者の乗車目的はそれぞれに異なり、緊急度もそれぞれに異なる。社会的な効率を鑑みると、緊急度が高い車と低い車に同じ優先度を与えることはできない。

自動運転が普及した未来社会においては、搭乗者の情報(例えば搭乗者の出発時間、目的地、予定期間、緊急度、スケジュールや現在位置など)はデータ化されていると予想される。そして搭乗者の緊急度やスケジュールに合わせた社会的な「優先度」を与えることは可能であろう。

故に本研究では、搭乗者の緊急度による交通信号制御システムを提案する。全ての搭乗者のスケジュールによって、交通状況を最適化することで、「交通効率」から「社会活動効率」へと進化させる。

6.3 目的と提案手法

6.3.1 目的

今後、自動運転技術はさらに発展して、自動運転は普及していくと思われる。自動運転が普通になる社会においては、車両走行効率の向上は重要視されると思われる。

車両走行効率を向上させるには、搭乗者のスケジュールによって車両の優先権を合理的に与えたり、回収したりすることが必要となる。即ち、優先権を動的に変化させる交通信号制御システムを開発することが解決策の一つであると考える。

そこで本研究では、搭乗者の緊急性により通行優先度を動的制御する交通システムを作ることを目的とする。

6.3.2 提案手法

まず、全ての交通信号を制御できるエージェントを作る。それから交通全般の状況変化に応じて、車に優先権を動的に与え、そして回収する。最後に、優先権を持つ車を優先的に進ませるために、エージェントは交通信号を制御する。しかし、この提案には三つの課題がある。

一つ目は、優先度による動的な変化に対応できる交通信号制御システムを作ることである。

近年では、マルチエージェント強化学習(MARL: Multi-Agent Reinforcement Learning)を用いたアルゴリズムを作ることが主流になっている。文献[54–57]は、マルチエージェント強化学習から交通システムを制御する方法を検討している。本研究における信号制御システムもマルチエージェント強化学習を考えている。即ち、各交差点の信号はエージェントであり、強化学習により信号の制御を行うものである。各エージェントの目標は、優先権を持っている自動運転車に利便をはかり、スケジュール通りに目的地に到着させることである。さらに文献[54], [56]は、多くのエージェントが協働できる環境を作っている。故に本研究でも、それを参考にしたマルチエージェント連携の方法を検討したいと考えている。

二つ目は、自動運転車の搭乗者のスケジュールによって緊急度を予測できるシステムが必要である。そのシステムでは、自動運転車の情報(位置、目的地、到着予定期刻など)と渋滞情報から、自動運転車がスケジュール通りに目的地に到着できるかどうかを判断する。到着できない場合には優先権を与え、到着できる場合には優先権を回収する。

文献[58]は、交通システム制御に優先権を与えることを検討してはいるが、優先権を動的に与えたり回収したりすることは検討していない。

本研究の交通制御システムは、「マルチエージェント強化学習の交通信号制御システム」と「自動運転車のスケジュール予測システム」の二つから構成されるものである。二つのシステムの協働を図6に示す。

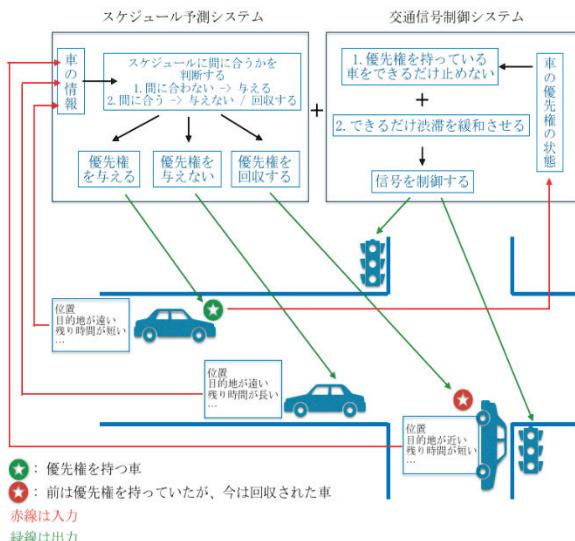


図 6: 搭乗者の都合を考慮したシステムのイメージ図

そして三つ目は、強化学習をシミュレーションで行うので、シミュレーターを作る必要がある。現実的なシナリオ環境でのシミュレーターを作ることが、機械学習の精度に大きな影響を与えるため重要である。

「マルチエージェント強化学習の交通信号制御システム」は NetLogo の Town-Traffic & Crowd simulation by Jiri Lukas(November, 2014.)プログラムを基に作成している。このシミュレーターは 3x3 の 9 セルで構成されている。街には、道路、交差点、信号、家などがある。本研究は Lukas のシミュレーターを基に 4x4 の 16 セルの環境を構築した。走行車両はそれぞれランダムなスケジュールを持っている。そしてそのスケジュールが達成されると、新しいスケジュールが生成される。そして交通信号は上述したように搭乗者の緊急度やスケジュールによって動的に制御される。

提案するシステムの効果は、三つの評価軸によって評価される。一つ目は、優先度が高い車両の内、スケジュールに合った車両数が最大であること。二つ目は、優先度が低い車両の内、スケジュールに合った車両数ができるだけ多いこと。そして三つ目は、全ての車両の待ち時間の平均ができるだけ小さいこと。

当然、搭乗者の緊急度はどのように決めるか、公平性が保たれているかの議論の余地はある。

6.4 期待される成果

現在の交通信号制御システムは単に渋滞問題解決することを目指しているが、搭乗者の緊急度については全く考慮されていない。社会資源が有限である前提で、緊急性を無視することは社会資源の無駄と社会活動の不公平となる。

本研究は利用者の都合を考慮した通行権に基づく信号制御である。本提案は緊急性を無視する原因で生じた社会資源の無駄問題と社会活動の不公平問題を解決することが期待できる。

7 おわりに

2 節から 6 節に記述した 5 つの小テーマは、「誰もが、いつでも、何処へでも、気軽に移動できる」をコンセプトにした、「人と社会を繋ぐ交通システム」の提案である。これらは、AI 等の最先端技術を活用して社会的課題の解決を目指し、誰もが快適で活力に満ちた質の高い生活を送ることができる「人を中心の社会」の実現を目指したものである。

今日では、新型コロナウイルス感染症の拡大により、移動や交流が長期にわたり制限され、多くの企業や政府・自治体がテレワークを始め、新しい取り組みを行っている。コロナ禍は、生活スタイルや社会経済構造の変革を加速し、新しい日常を生み出している。我々の「人と社会を繋ぐ交通システム」の提案は、この新しい日常を支える交通システムに成りえると思っている。近々、シミュレーション実験を行ってその有効性を確認する計画であり、その結果によっては新しいサービス創出の可能性が大きいにあると期待している。例え好みい結果が得られなかったとしても、シミュレーション実験で得られた知見を検討することで、既存のサービスに新しい付加価値

を見出すこともできるかもしれない。

参考文献

- [1] 国際連合広報センター, 持続可能な開発のための2030アジェンダ採択 -- 持続可能な開発目標アクションシート,
https://www.unic.or.jp/news_press/features_backgrounders/15775/, 2015. (visited on 2021)
- [2] 西山敏樹, “交通サービスの革新と都市生活 行動の意思決定を有効に支援する技術,”慶應義塾大学出版会, 2017.
- [3] 篠祐介, “持続可能な地域のつくり方 未来を育む「人と経済の生態系」のデザイン,”英治出版, 2019.
- [4] 国道交通省, 2040年、道路の景色が変わる ~人々の幸せにつながる道路~,
<https://www.mlit.go.jp/road/vision/pdf/01.pdf>, 2020. (visited on 2021)
- [5] SDGs.TV, 住み続けられるまちづくりを,
https://sdgs.tv/tg_mov/goal11, 2016. (visited on 2021)
- [6] 高須幸雄(編著), NPO 法人「人間の安全保障」フォーラム(編), “全国データ SDGsと日本 誰も取り残されないための人間の安全保障指標,”明石書店, 2019.
- [7] S.M. Kuo and D.R. Morgan, “Active Noise Control: A Tutorial Review,” Proceedings of the IEEE, vol. 87, no. 6, pp. 943-973, 1999.
- [8] S.M. Kuo, S. Mitra and W.S. Gan, “Active Noise Control System for Headphone Applications,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, vol. 14, no. 2, pp. 331-335, 2006.
- [9] 中山雅人, 大塩祥剛, 生藤大典, 福森隆寛, 西浦敬信, “聴覚マスキングとメロディ構造付与に基づく歯科治療音の快音化手法の検討,”日本音響学会講演論文集, pp. 429-430, 2015.
- [10] 大塩祥剛, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, “和音構造付与に基づく歯科治療音の快音化の基礎的検討,”電気関係学会関西連合大会講演論文集, vol. 2014, pp. 340-341, 2014.
- [11] 大塩祥剛, 生藤大典, 福森隆寛, 中山雅人, 西浦敬信, “コード進行の構造付与に基づく歯科治療音の快音化,”電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 169, pp. 47-52, 2015.
- [12] 大塩祥剛, 生藤大典, 須原裕子, 中山雅人, 西浦敬信, “コード時間・周波数領域和音構造付与に基づく歯科治療音の快音化,”電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), vol. 135, no. 12, pp. 1565-1573, 2015.
- [13] 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, 山下洋一, “多重和音構造の付与による歯科治療音の快音化,”日本音響学会研究発表会講演論文集, vol. 2018, pp. 463-464, 2018.
- [14] 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, 山下洋一, “多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化に向けた快音特徴量の最適化,”日本音響学会研究発表会講演論文集, vol. 2019, pp. 725-728, 2019.
- [15] 吉岡真呂理, 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, “多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化～最適な多重和音構造の選択手法の検討～,”電気関係学会関西連合大会講演論文集, vol. 2019, pp. 248-249, 2019.
- [16] E. Brattico, K.J. Pallesen, O. Varyagina, C. Bailey, I. Anourova, M. Jarvenpaa, T. Eerola and M. Tervaniemi, “Neural Discrimination of Nonprototypical Chords in Music Experts and Laymen: An MEG Study,” Journal of Cognitive Neuroscience, vol. 21, no. 11, pp. 2230-2244, 2009.
- [17] S. Kumar, H.M. Foster, P. Bailey and T. Griffiths, “Mapping Unpleasantness of Sounds to Their Auditory Representation,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 124, no. 6, pp. 3810-3817, 2008.
- [18] A. Kameoka and M. Kuriyagawa, “Consonance Theory Part II: Consonance of Complex Tones and Its Calculation Method,” The Journal of the Acoustical Society of America, vol. 45, no. 3, pp. 1460-1469, 1969.
- [19] 国土交通政策研究所, 「地域消滅時代」を見据えた今後の国土交通戦略のあり方について,
https://www.mlit.go.jp/pri/kouenkai/syousai/pdf/b-141105_2.pdf, 2014. (visited on 2021)
- [20] 中島秀之, 松原仁, 田柳恵美子(編著), スマートシティはこだてラボ+未来シェア(著), “スマートモビリティ革命 未来型 AI 公共交通サービス SAVS,”近代科学社, 2019.
- [21] 大和裕幸, 稔方和夫, 坪内孝太, “オンデマンドバス－公共交通サービスに於けるイノベーション－,”オペレーションズ・リサーチ, vol. 51, no. 9, pp. 579-586, 2006.
- [22] 野田五十樹, 篠田孝祐, 太田正幸, 中島秀之, “シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価,”情報処理学会論文誌, vol. 49, no. 1, pp. 242-252, 2008.
- [23] 公益財団法人日本自動車教育振興財団, “「貨客混載」は運送事業改革の牽引“車”となるか ～長野県飯

- 綱町にみる官民の連携～,”Traffi-Cation, no. 47, pp. 1-12, 2018.
- [24] 鳥取県県政一般・報道提供資料, 大山町営スマイル大山号による貨客混載輸送の出発式の開催について(全国初! 市町村営バスによる各戸宅への貨物輸送), 2020.
- [25] 日高洋祐, 牧村和彦, 井上岳一, 井上佳三, “MaaS モビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ,” 日経 BP 社, 2018.
- [26] 山本芳嗣, 久保幹雄, “巡回セールスマン問題への招待,”朝倉書店, 1997.
- [27] K. Chour, S. Rathinam and R. Ravi, “S*: A Heuristic Information-Based Approximation Framework for Multi-Goal Path Finding,” 31st International Conference on Automated Planning and Scheduling, pp. 85-93, 2021.
- [28] 大和裕幸, 坪内孝太, 稔方和夫, “オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価,”運輸政策研究, vol. 10, no. 4, pp. 002-010, 2008.
- [29] 円山琢也, “都市域における混雑課金の政策分析:レビューと展望,”土木計画学研究・論文集, vol. 26, pp. 15-32, 2009.
- [30] 円山琢也, “領域形状に着目した次善混雑課金の政策分析,”応用地域学研究, no. 20, pp. 13-22, 2016.
- [31] X. Guo and H. Yang, “Pareto-Improving Congestion Pricing and Revenue Refunding with Multiple User Classes,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 44, no. 8-9, pp. 972-982, 2010.
- [32] Y. Yamanari, M. Miyao, S. Syo, T. Nishino and H. Hayashi, “Dynamic Travel Permits Allocation Mechanism Based on Auction and Personal Trading Combination,” 10th International Congress on Advanced Applied Informatics, pp. 351-357, 2021.
- [33] 原祐輔, “交通システムのメカニズムデザインとその動学化に向けた課題,”自動制御連合講演会講演論文集第 60 回自動制御連合講演会, pp. 1336-1337, 2017.
- [34] 西田遼, 金森亮, 野田五十樹, “実データとシミュレーションを用いた MaaS の導入効果の評価,”第 35 回人工知能学会全国大会, 2021.
- [35] H. Liu, T. Li, R. Hu, Y. Fu, J. Gu and H. Xiong, “Joint Representation Learning for Multi-Modal Transportation Recommendation,” 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 1036-1043, 2019.
- [36] P. Bonte, M. Brouwer, D. Arndt, M. Sande, P. Heyvaert, A. Dimou, P. Colpaert, R. Verborgh, F. Turck and F. Ongenae, “Context-Aware Route Planning: a Personalized and Situation-Aware Multi-Modal Transport Routing Approach,” 19th International Semantic Web Conference, 2012.
- [37] D. Wu, Y. Yin, S. Lawphongpanich and H. Yang, “Design of More Equitable Congestion Pricing and Tradable Credit Schemes for Multimodal Transportation Networks,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 46, no. 9, pp. 1273-1287, 2012.
- [38] A. Namoun, A. Tufail, N. Mehandjiev, A. Alrehaili, J. Akhlaghinia and E. Peytchev, “An Eco-Friendly Multimodal Route Guidance System for Urban Areas Using Multi-Agent Technology,” Applied Sciences, vol. 11, no. 5, pp. 1-30, 2021.
- [39] 首都高速道路株式会社, “IR 報告書 2020 年 7 月,” 2020.
- [40] 国土交通省道路局都市局, “費用便益分析マニュアル,”2018.
- [41] 美濃雄介, 青山吉, 中川大, 松中亮治, 赤堀圭佑, “都市内高速道路網における拡幅プロジェクト実施順序に関する研究,”土木計画学研究・講演集, vol. 19, no. 4, pp. 619-626, 2002.
- [42] 青山吉隆, 松中亮治, 野村友哉, “大規模高速道路ネットワークの段階的整備プロセスの最適化手法とその応用,”運輸政策研究, vol. 5, no. 2, pp. 2-13, 2002.
- [43] S. Guo, Y. Lin, N. Feng, C. Song and H. Wan, “Attention Based Spatial-Temporal Graph Convolutional Networks for Traffic Flow Forecasting,” 33rd AAAI Conference on Artificial Intelligence, pp. 922-929, 2019.
- [44] D. Liu, S. Hui, L. Li, Z. Liu and Z. Zhang, “A Method for Short-Term Traffic Flow Forecasting Based on GCN-LSTM,” 2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning, pp. 364-368, 2020.
- [45] C.F. Daganzo, “Urban Gridlock: Macroscopic Modeling and Mitigation Approaches,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 41, no. 1, pp. 49-62, 2007.
- [46] N. Geroliminis and C.F. Daganzo, “Existence of Urban-scale Macroscopic Fundamental

- Diagrams: Some Experimental Findings,” Transportation Research Part B: Methodological, vol. 42, no. 9, pp. 759-770, 2008.
- [47] A. Loder, L. Ambühl, M. Menendez and K.W. Axhausen, “Understanding Traffic Capacity of Urban Networks,” Scientific Reports, vol. 9, no. 1, 16283, 2019.
- [48] C.M. Buisson and C. Ladier, “Exploring the Impact of Homogeneity of Traffic Measurements on the Existence of Macroscopic Fundamental Diagrams,” Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, no. 2124, pp. 127-136, 2009.
- [49] S. Dhamija, A. Gon, P. Varakantham and W. Yeoh, “Online Traffic Signal Control through Sample-Based Constrained Optimization,” 30th International Conference on Automated Planning and Scheduling, vol. 30, pp. 366-374, 2020.
- [50] M. Treca, J. Garbiso and D. Barth, “Guidelines for Action Space Definition in Reinforcement Learning-Based Traffic Signal Control Systems,” 30th International Conference on Automated Planning and Scheduling, vol. 30, pp. 585-589, 2020.
- [51] R.M. Golam and N. Fukuta, “Toward a Framework and SUMO-based Simulation for Smart Traffic Control Using Multiagent Learning,” 10th International Congress on Advanced Applied Informatics, pp. 544-548, 2021.
- [52] 佐藤季久恵, 高屋英知, 小川亮, 芦原佑太, 栗原聰, “Deep Q-Network を用いた交通信号制御システムの提案,” 第 31 回人工知能学会全国大会, 2017.
- [53] 神崎陽平, 佐藤季久恵, 高屋英知, 小川亮, 芦原佑太, 栗原聰, “Deep Q-Network を用いたマルチエージェントによる交通信号制御システムの提案,” 第 32 回人工知能学会全国大会, 2018.
- [54] B.-Y. Xu, Y.-W. Wang, Z.-Z. Wang, H.-Z. Jia and Z.-Q. Lu, “Hierarchically and Cooperatively Learning Traffic Signal Control,” 35th AAAI Conference on Artificial Intelligence, vol. 35, No. 1, pp. 669-677, 2021.
- [55] H.-C. Hu and S.F. Smith, “Learning Model Parameters for Decentralized Schedule-Driven Traffic Control,” 30th International Conference on Automated Planning and Scheduling, vol. 30, pp. 531-539, 2020.
- [56] Z.-X. Yu, S.-X. Liang, L. Wei, Z.-M. Jin, J.-Q. Huang, D. Cai, X.-F. He and X.-S. Hua, “MaCAR: Urban Traffic Light Control via Active Multi-agent Communication and Action Rectification,” 29th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp. 2491-2497, 2020.
- [57] T.-S. Chu, S. Chinchali and S. Katti, “Multi-agent Reinforcement Learning for Networked System Control,” 8th International Conference on Learning Representations, 2020.
- [58] 長谷川佑馬, 橋本大, 河野浩之, “優先権付き信号を用いた自動車運転車の混雑率による渋滞への影響,” <http://www.st.nanzan-u.ac.jp/info/graduation/thesis/2019/kawano/pdf/16sc013.pdf>, 2019. (visited on 2021)

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

三好きよみ*

Survey on the Background and Motivation of Working Adults to Learn at University

Kiyomi Miyoshi*

Abstract

The purpose of this study is to obtain findings to promote career self-reliance and recurrent education of working adults. We conducted a survey of items that are the background and motivation to study at university, career change, career self-reliance. For those items, we analyzed the differences between those who enroll in university and those who interested in becoming university. And we analyzed what gained from their studies at the university.

Keywords: Recurrent Education, Adult Learning, Career Design, Motivation

1 はじめに

国際化、情報化、科学技術の急速な進展など社会が激しく変化し、社会に出てからも必要とされる知識や技術を身に付けていくことが求められている。さらに、2020年に発生したCOVID-19の影響で学び方や働き方、生活様式も変わってきており、これまで以上に変化に対応できる力が重要視されている。また、公的年金の支給開始年齢の引き上げに続いて、2021年4月には、「高年齢者雇用安定法」が施行され、70歳までの就業確保が努力義務となった。少子高齢化とともに、一生のうち働く期間が長くなっている。このような背景から、自ら主体的にキャリアを設計し、学び直しや再挑戦を行うことが推奨されている。しかしながら、我が国の現状として、社会人が大学や大学院といった教育機関で学んでいる割合は他国と比べて極端に少ない状況にある[1]。なお、文部科学省が行った学び直しの実態調査では、「費用が高い」「勤務時間が長くて十分な時間がない」「関心がない／必要性を感じない」「適合した教育課程がない」「受講場所が遠い」といったものが学び直しの障害要因として挙がっている[2]。このような状況に対して、厚生労働省では教育訓練給付制度の拡充[3]、文部科学省では社会人の学びを応援するためのポータルサイト「マナパス」の公開[4]、経済産業省によるサバティカル休暇と呼ばれる有給の長期休暇制度の導入の推進[5]など様々な施策を講じ、学び直しを促進している。以上のような社会的背景、および学び直しの実態状況から、主体的なキャリア形成、および学び直しを促進する

ことは喫緊の課題であると考える。

そこで、社会人の主体的なキャリア形成、及び学び直しを促進するための知見を得るために、アンケート調査を実施した。本論文では、アンケート調査結果から、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、及び学び直し経験者が学びによって得たことについて報告する。

2 先行研究

本研究に至るまでに、社会人の学び直しについて、次のような研究を行ってきた。社会人に対するアンケート調査結果の分析からは、学び直し志向者の特徴として、リスクがあつても将来の生活設計や自己の能力開発を考える意識、自己の学歴を挽回しキャリアを形成しようという意識が高いこと、職場環境や家族からのサポートは学び直しへの促進要因にはならないことを示した[6]。続いて、インタビュー調査を行い、社会人がどのように動機づけられ学びへと向かうのか、また、学びによってどのように変容していくのかについて、次のようなことを明らかにした。シニア層向け起業講座で学んだ社会人を対象とした調査分析からは、キャリア中期の仕事環境や職場環境の変化によって、キャリアの見直しを行ったことで、学びへの欲求が高まり、最初の学び直しにあたる学習行動へと動機づけられる。この学習行動で経験した達成感や充実感が、キャリア後期において定年が視野に入ったときに、学ぶことへの期待と見通しが立つことにつながり、再度の学び直しに踏み切る要因となっていることが確認できた[7] [8]

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

[9]. 専門職大学院で学んだ社会人を対象とした調査分析からは、仕事環境の変化や停滞によって、模索や葛藤があり、仕事人生を振り返ることで、学び・出会いへの欲求へと動機づけられていることが確認できた。大学院入学によって、多様な人々と仕事環境とは異なる関係性がある学びの場に身を置くこととなり、その環境下では、期待通りの学びが得られるとともに、想定外の学びも得られていることが確認できた[10]。心理系大学院で学んだ社会人に対する調査分析からは、キャリア初期までに、対人援助に関連した何らかの心残りの体験があったことが、キャリア中期において困っている人への支援やサポートがしたいという思いや、キャリア後期の心理系について専門的に学びたいという欲求となっていることが確認できた[11]。以上の調査分析の結果、および関連研究を検討し、アンケート調査項目を設計した。

3 方法

3.1 調査方法

株式会社インテージに委託し2021年8月にアンケート調査を実施した。登録されている全国のモニターから、社会人になってからの大学や大学院での学び直しの状況について、現在学んでいる・過去に学んでいた者、学んだことはないが学びたいと考えている者、今後も学びたくない者をそれぞれ200名という割付目標を設定した。本研究では、在学んでいる・過去に学んでいた者、学んだことはないが学びたいと考えている者の計428名のサンプルを分析の対象とする。なお、本研究は東京都立産業技術大学院大学研究倫理安全委員会の承認を得て実施された。

3.2 調査内容

アンケート調査は、大学・大学院の種別、学びの領域、学びたいと考えたときの環境、学びたいと考えたときの心境、学びたいと考えたときの動機に関する質問、転職に関する質問、仕事に関する価値観、キャリア自律、ソーシャルスキル自己評価、及び性別、年齢、勤務先規模、学歴等についての個人属性で構成した。本論文では、以下の調査項目を分析対象とした。

1) 学びたいと考えたときの仕事環境・生活環境

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの仕事環境や生活環境12項目について、その頃のことを振り返ってもらい、「はい・いいえ」で回答を求めた。

2) 学びたいと考えたときの心境

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの心境12項目について、その頃のことを振り返ってもらい、「あてはまる・ややあてはまる・どちらでもない・あまりあてはまらない・あてはまらない」の5件法で回答を求めた。

3) 学びたいと考えたときの動機

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの動機12項目について、その頃のことを振り返ってもらい、「あてはまる・ややあてはまる・どちらでもない・あまりあてはまらない・あてはまらない」の5件法で回答を求めた。

4) 学びたいと考え、受験を決めたきっかけ

社会人になってから大学や大学院で学んだ経験のある者に対し、受験を決めたきっかけ13項目について、「あてはまる・ややあてはまる・どちらでもない・あまりあてはまらない・あてはまらない」の5件法で回答を求めた。

5) 学びで得たもの、感じたこと

社会人になってから大学や大学院で学んだ経験のある者に対し、学びで得たもの、感じたこと13項目について、「あてはまる・ややあてはまる・どちらでもない・あまりあてはまらない・あてはまらない」の5件法で回答を求めた。

4 調査結果と考察

4.1 回答者の属性

分析の対象とする428名の回答者の性別は、男性343名、女性85名、年代は、39歳まで61名、40~49歳145名、50~59歳154名、60歳以上68名であった。学び直し志向として、現在学んでいる・過去学んでいた者210名を[学び直し経験者]群、今後社会人大学院で学びたいと考える者218名を[学び直し志向者]群とした。学び直し経験者の学び直し対象の大学・大学院の種別は、4年制大学(通学・通信)115名、修士課程63名、博士課程23名、その他9名であった。

4.2 結果と考察

1) 学びたいと考えたときの仕事環境・生活環境

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの仕事環境や生活環境についての質問に対して、はいと答えた割合を[学び直し経験者]群、[学び直し志向者]群別に、図1に示す。学びたいと考えたときの仕事環境・生活環境は、どちらの群も上位から順に“仕事の先々がみえてきた”が40%超、“業務内容が変わった”、“仕事上で役割が変わった”、“仕事が忙しく、家と会社の往復だった”が30%超であった。

仕事の先々が見えてきたということは、見通しが立って気持ちに余裕ができ、その先を考えたり、これまでを振り返ったりして、何か学びたいと考えたことが推測される。一方、仕事が忙しく家と会社の往復という余裕がない状況であっても、学びたいと考えるのは、現状を打破したいという思いが推測される。文部科学省の調査結果の学び直しの阻害要因として「勤務時間が長くて十分な時間がない」が挙がっていたが、今回の調査では、多忙で余裕がない環境でも学びたいと考えることが確認された。また、文部科学省[2]において、学び

直しの阻害要因として「費用が高すぎる」が挙がっていたが、今回の調査では、学びたいと考えたときの環境として、お金の余裕ができたは、10%未満と低い割合であった。学びたいという考え方と、金銭的な余裕については、関連が高くはないとい推測される。

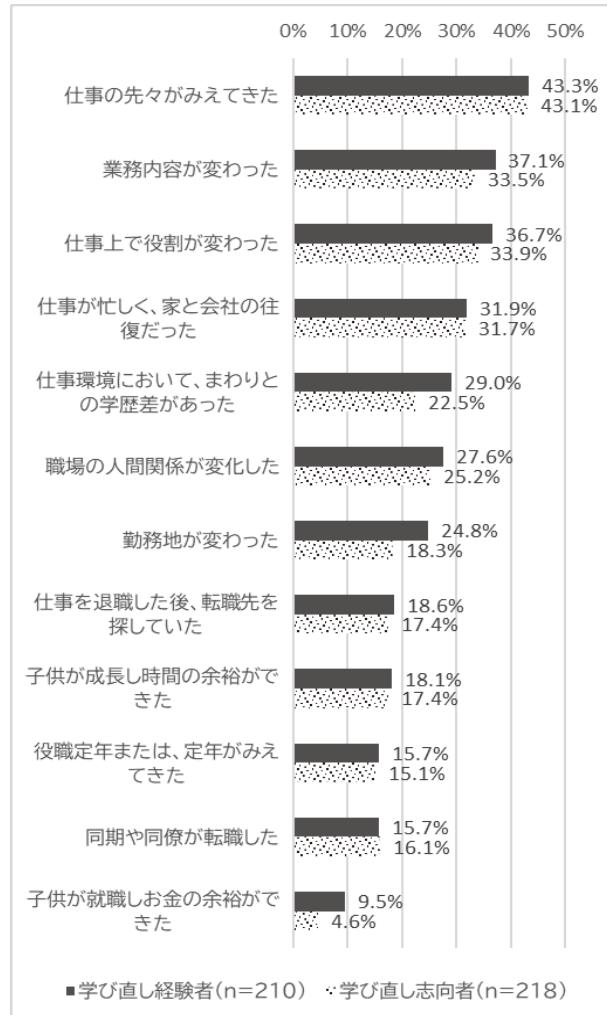


図1: 社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの仕事環境や生活環境

2) 学びたいと考えたときの心境

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの心境についての質問に対して、あてはまる・ややあてはまると回答した割合を[学び直し経験者]群、[学び直し志向者]群別に図2に示す。学びたいと考えたときの心境は、[学び直し経験者]群では、“何かにチャレンジしたいと思っていた”79.5%、“悔いのないように生きたいと思っていた”65.2%、“経験や能力を活かしたいと思っていた”63.8%、“自分の思うように働きたいと思っていた”61.4%、“これから的人生どうしようと思っていた”56.2%、“刺激が欲しいと思っていた”53.3%であった。[学び直し志向]群では、“何かにチャレンジしたいと思っていた”67.4%、“悔いのないように生きたい

と思っていた”54.6%、“これから的人生どうしようと思っていた”53.7%、“自分の思うように働きたいと思っていた”53.7%、“経験や能力を活かしたいと思っていた”51.8%、“刺激が欲しいと思っていた”50.9%であった。

[学び直し経験者]群、[学び直し志向者]群ともに、学びたいと考えたときの心境は、何かにチャレンジしたい、悔いのないように生きたいということが、高い割合で学びへの欲求となっていることがわかる。[学び直し経験者]群と[学び直し志向者]群で大きく違いがあったのは、社会貢献したいという点である。[学び直し経験者]群は約5割であるが、[学び直し志向者]群は、約3割である。社会貢献したいという思いは、大学などでの学び直しを志向している状態から、実際に受験して入学するという行為へ影響を及ぼすと推測される。

3) 学びたいと考えたときの動機

社会人になってから大学や大学院で学びたいと考えたときの動機についての質問に対して、あてはまる・ややあてはまると回答した割合を[学び直し経験者]群、[学び直し志向者]群別に図3に示す。学びたいと考えたときの動機は、[学び直し経験者]群では、“幅広い知見・知識を得るために”79.0%、“現在の職務に直接必要な基礎的な知識を得るために”51.0%、“ばらばらの知識を体系化したいため”50.0%、“現在の職務における最新の専門知識を得るために”49.5%、“学位が欲しいため”49.0%、“最終学歴を上げたいため”47.6%、“資格を取りたいため”43.8%であった。[学び直し志向]群では、幅広い知見・知識を得るために”73.4%、“資格を取りたいため”51.0%、“ばらばらの知識を体系化したいため”40.8%、“現在の職務における最新の専門知識を得るために”39.9%であった。

[学び直し経験者]群、[学び直し志向者]群ともに、幅広い知見・知識を得たいということが高い割合で、学びへの動機となっていることがわかる。[学び直し経験者]群と[学び直し志向者]群で大きく違いがあったのは、学位が欲しい、最終学歴を上げたいという点である。社会人になっても学歴は重要であり、大学などでの学び直しを志向している状態から、実際に受験して入学するという行為へ影響を及ぼすと推測される。

4) 学びたいと考え、受験を決めたきっかけ

[学び直し経験者]群を対象とした、社会人になってから大学や大学院への受験を決めたきっかけについての質問に対して、あてはまる・ややあてはまると回答した割合を図4に示す。受験を決めたきっかけとしては、“学びたい科目や内容があった”が65.2%であった。つづいて、“学びための費用の算段がついた”51.0%、“学ぶための時間がとれる見込みがついた”45.7%、“通えそうな場所にあった”44.3%であった。

学びたい動機として挙がっていた、幅広い知見・知識を得たいということから、実際に受験するに至るには、具体的に学びたい科目があつたことがきっかけとなるようである。そして、

費用や時間の見通しがつくこと、通える場所にあることが、重要なことがあることがわかる。

5) 学びで得たもの、感じたこと

[学び直し経験者]群を対象とした、社会人になってから大学や大学院での学びで得たもの、感じたことについての質問に対して、あてはまる・ややあてはまると回答した割合を図5に示す。学びで得たもの、感じたこととしては、“視野が広がった”80.5%、“新たな考え方ができるようになった”78.1%、“学んでいるとき、毎日が刺激的であった”と“これからもなんらかの形で学び続けたい”71.9%、“学んでいるとき、毎日が充実していた”69.5%、“自主的に学ぶのは楽しいとわかった”67.1%、“自分もまだまだできるという自信がついた”63.8%、“勉強の習慣がついた”53.3%、“時間をうまく使えるようになった”50.0%であった。

得たもの感じたことの高い割合として、“視野が広がった”、“新たな考え方ができるようになった”、“毎日が刺激的であった”に並んで、“これからもなんらかの形で学び続けたい”ということが確認できた。学びで視野が広がり、新たな視点を得ることが、次の学びへと誘われるようである。シニア層への調査研究[9]において、過去の学習行動で経験した達成感や充実感によって、その後の学びが推進されることが、確認されていたことと整合する。

5 おわりに

本論文では、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、及び学び直し経験者が学びによって得たことについて、アンケート調査結果を報告した。引き続き、調査結果を分析し、インタビューによる先行研究の結果を検証するとともに、学び直し志向と個人特性との関連等を明らかにしていく予定である。そして、それらの結果を基に、社会人の主体的なキャリア形成、及び学び直しを促進するための施策を検討し提案したい。

謝辞

調査にご協力いただいた皆様へ心より感謝いたします。本報告は、文部科学省科学研究費[2019-2020年度スタート支援課題番号 19K23321]の研究成果の一部である。

参考文献

- [1] 内閣府、平成30年版 年次経済財政報告、2018.
- [2] 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究、2016.
- [3] 厚生労働省、教育訓練給付制度、
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/a/koyou_roudou/jinzaikaihatsu/kyouiku.html.

(Visited 2021)

- [4] 文部科学省、社会人の学びを応援するためのポータルサイト「マナパス」、
<https://manapass.jp/>. (visited on 2021)
- [5] 経済産業省、我が国産業における人材力強化に向けた研究会報告書、2018.
- [6] 三好きよみ、川崎知己、南裕子、社会人大学院志向者の将来や仕事に関する価値観の特徴、産業技術大学院大学紀要、Vol. 12, pp.107-112, 2019.
- [7] 三好きよみ、板倉宏昭、専門職大学院でのシニア層を対象とした学び直しプログラム－スタートアッププログラム受講者へのインタビュー、及びアンケート結果からの知見－、産業技術大学院大学紀要 Vol. 13, pp.77-83, 2019.
- [8] Miyoshi,K.,Itakura,H. , A Recurrent Education Program for Seniors at a Professional Graduate School, International Conference on Project Management, pp.887-894 , 2019.
- [9] 三好きよみ、シニア層が学習行動へ至るプロセスの検討－シニア層向けスタートアップ講座の受講生を対象として－、キャリアデザイン研究、Vol.17, pp.1-13, 2021.
- [10] 三好きよみ、専門職大学院で学ぶ中高年社会人の学習動機と学習行動、横幹、15(1), pp.4-11, 2021.
- [11] 三好きよみ、社会人の学習動機と学習行動－心理系社会人大学院の修了者へのインタビューから－、産業・組織心理学会 第36回大会、pp.17-20, 2021.

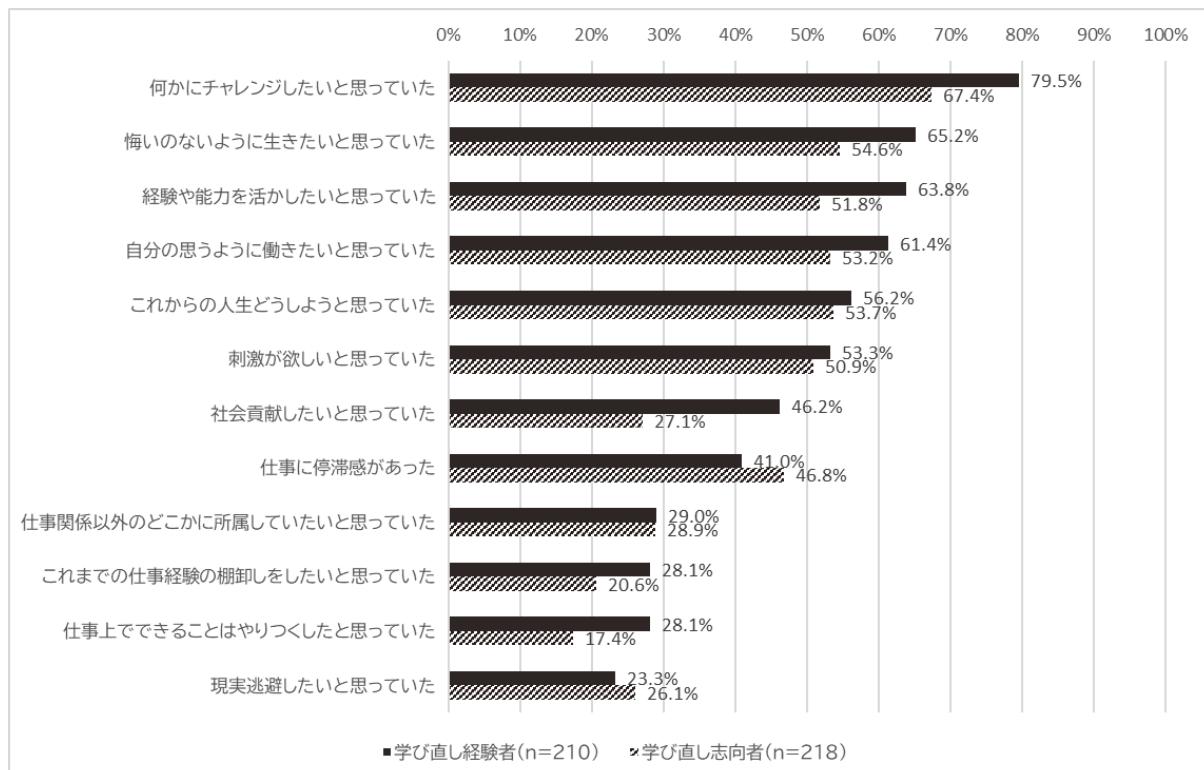


図 2: 大学や大学院で学びたいと考えたときの心境

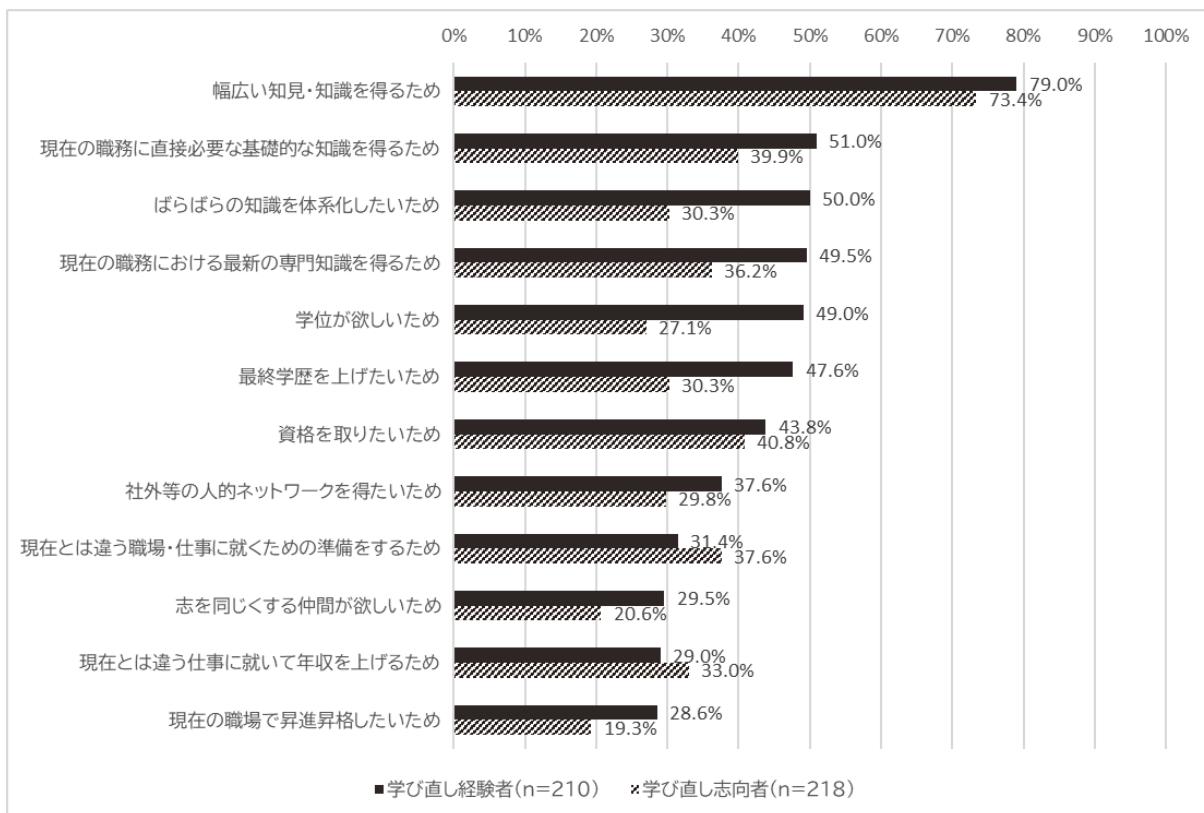


図 3: 大学や大学院で学びたいと考えたときの動機

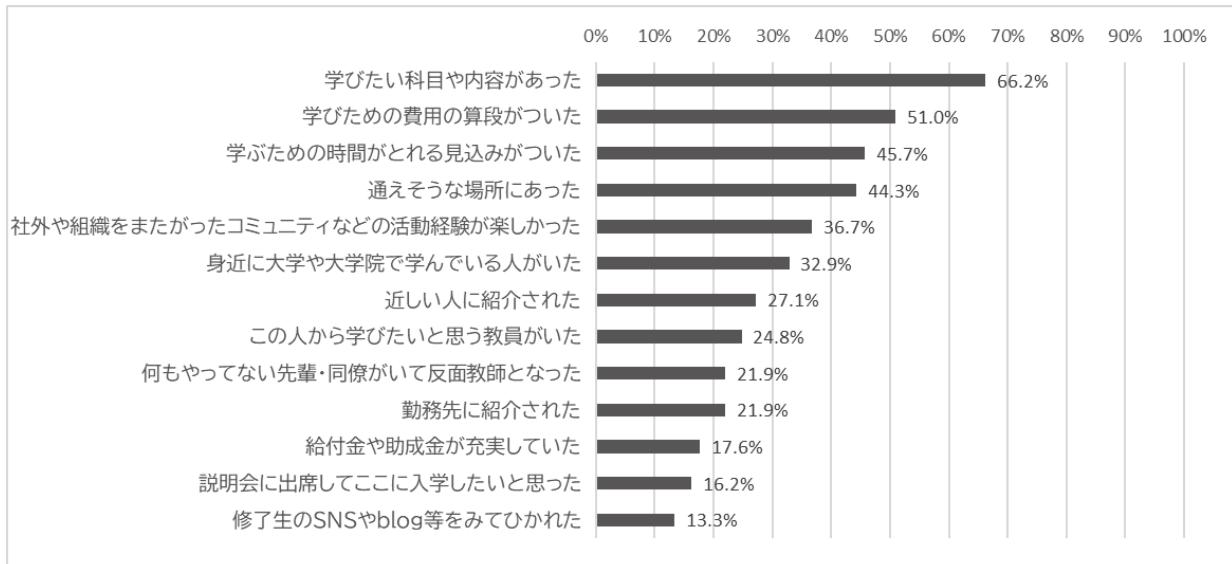


図 4: 受験を決めたきっかけ(n=210)

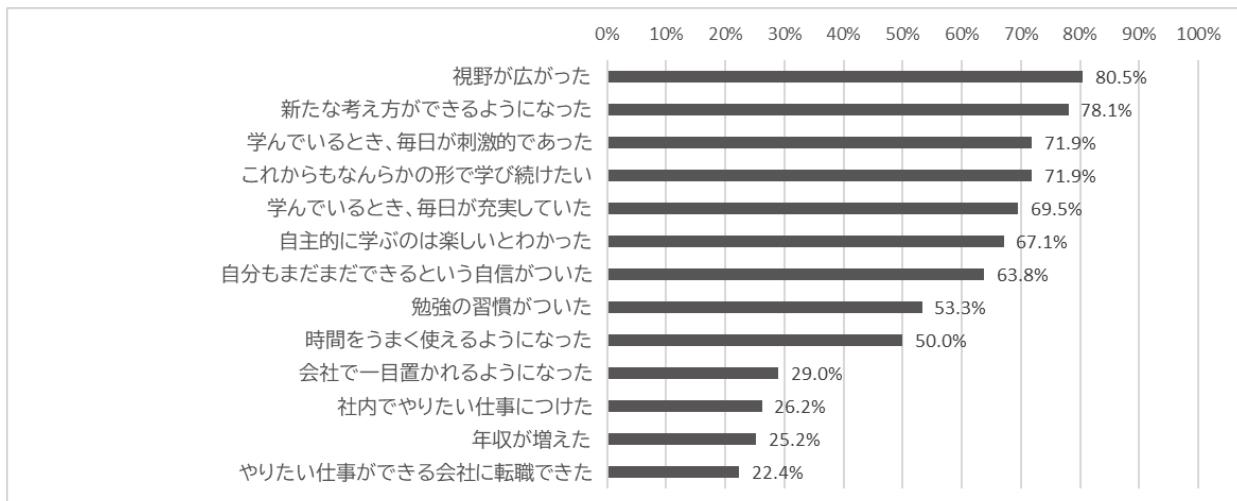


図 5: 学びで得たもの, 感じたこと(n=210)

働く単身者のためのメンタルケアシステムの開発

神尾 成也*・築澤 広淑*・リョウジンヨウ*・岡本 紳太郎*・
村越 英樹*

Development of A Mental Care System for Working Singles

Shigeya Kamio*, Hiroyoshi Tsukisawa*, Ling Haogeng*, Shintaro Okamoto* and
Hideki Murakoshi*

Abstract

It is known that when stressed, it affects voice and causes actions such as scratching the head. Focusing on those behaviors, we aimed to develop a system for grasping the mental situation without imposing a load on singles who are busy with daily work. Specifically, the stress situation is estimated from actions such as response voices to questions, sleep-talking during sleep, and scratching the head, which are emitted from a system installed in the living room of a single person. According to the detected stress situations, the mental care system is able to provide appropriate feedbacks.

Keywords: Mental Care System, Machine learning, OpenPose, openSMLLE, Open software

1 はじめに

少子高齢社会が進展する現代社会において、20 才・30 才台といった若年世代の労働者が、不安なく業務に集中できるような職場環境を提供することが、雇用する企業に必要な時代となっている。

ストレスを抱える労働者に対し面接指導等を行う産業医に対して実施した調査によると、20 才代のメンタルヘルス不調の特徴について、他の年齢階層と比較した場合、職場への適応に関する問題や偏った性格・人格といった個人的要因、発達障害や統合失調症といった精神障害との関連性が強いことが分かっている。また、30 才代の特徴について、他年齢階層と比較すると、業務量、質的負担、量的負担、過重労働といった業務に関する問題との関連性が強く認められている[1]。

平成 27 年に導入された労働者に対するストレスチェック制度については、企業が実施するストレスチェックに対し概ね約 8 割の労働者が受験している一方、事業規模に応じて実施している企業の割合が高くなっている[2]。また、高ストレス者のほとんどが医師による面接指導を受けていない状況がある[3]等、ストレスチェック制度が機能しているか懸念されるところである。

特に、若年世代の中で、一人暮らしの人々は、職場での人間関係に加え、孤独などのストレス要因を抱えやすい環境で生活している。同居している人がいれば、会話や外見、行

動などから、精神状況等の変化について指摘してもらうことが期待できるが、一人暮らしの場合には、状況の変化を客観的に捉えることは困難であると推測される。

一方、近年、メンタルケアのためのアプリ等が普及し、それらを使うことにより、個人の精神状況等の変化を捉えることが可能な状況になっている[4]。しかしながら、日常業務に追われ、精神的に余裕がない状況において、メンタルアプリ等のツールを使い、メンタルケアを行う可能性は低いものと考えられる。

このことから、日常業務に追われている単身者に対して、主体的にメンタルケアのための行動を行わなくても、日々の生活行動から得られる会話、行動等に関する情報について、IoT の技術によりセンシングし、単身者のストレス状況に応じて、声掛けをしたり、対話を通して、アドバイスを与えることができる、家族や友達の代わりとなるようなサービスシステムの開発を目指した。

本稿では、働く単身者のためのメンタルケアシステムの開発について報告する。第 2 章では、ユーザに提供すべきサービスの設計と、これらサービスを実現するためのシステムの概要について解説する。ここで開発システムが 4 つのサブシステムで構成される構成されることを示す。第 3 章では、4 つのサブシステムの詳細と実装方法について述べる。第 4 章では、それぞれのサブシステムの実装と実験結果について紹介する。第 5 章は、本稿のまとめと今後の展望である。

Received on October 3, 2021

* 東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

2 ユーザに提供するサービスの設計

サービスの提供にあたり、提案するメンタルケアシステムが、ユーザーのストレスとなり、不要な負担になることは極力さけるべきである。そのため、ユーザーが通常通り生活する中で、ストレス状況を察知し、対応することが求められる。

そこで、本章では通常の生活内において表れるストレスの検出方法と、その対処を可能とするシステム構成について述べる。

2.1 センシング情報とストレスの関係

本節では、各種ストレスについて考察し、ストレスの検出方法について提案する。ストレスの検出方法としては、日常生活の中で発せられる会話や、自然に表れる行動からストレス状況を把握する。

1) ストレス反応の種類

単身者のメンタルケアを行うためには、ストレスによる反応を把握する必要があり、一般的には、主に心理面、身体面、行動面に分類される[5]。

心理面の反応には、不安や抑うつ(気分の落ち込み、興味・関心の低下)、イライラ、意欲の低下、集中力の低下などがある。

次に、身体面での反応には、入眠障害(寝付きが悪い)や中途覚醒(夜中に目が覚める)などの不眠、易疲労感、頭痛や肩こり、腰痛、目の疲れ、めまいや動悸、腹痛、食欲低下、便秘や下痢などさまざまな症状がある。

また、行動面でのストレス反応には、飲酒量や喫煙量の増加、食欲亢進(ドカ食い)、ひきこもり、欠勤や遅刻の増加、仕事でのミスやヒヤリハットの増加などがある。

2) 身体に表れる視覚情報(しぐさ)

対象者に負荷をかけることなく、在宅時のストレス状況を把握するために、身体面での反応においてどのようなものが適当であるかについて検討したところ、ジョー・ナヴァロ[6]の著書において、体の各部分によるあらゆる仕草と心理的な意味の関係について調査した結果が示されていた。その調査結果から、肩こりや目の疲れ等が生じた場合や、症状を和らげるために首に手を当てたり(肩こりへの対処)、瞼を揉む(目の疲れへの対処)等の対処を行うということが分かり、それら対処行動を視覚情報としてカメラで取得することが適当であると考えた。

3) 心理に表れる聴覚情報(音声)

ストレスの心理面の反応について、不安や抑うつ等を事例として述べたが、不安や抑うつのような心理状態は、異なる視点で捉えれば、恐れ・悲しみ・不快等といった感情に関

係するものと考えられる。

また、感情の状態は、交感神経・副交感神経の活動等に関係し、人の音声にも影響を与えることが分かっていることから[7]、ストレス状況と関係が深いと考えられる快・不快の感情を聴覚情報としてマイクで取得することが適当であると考えた。

さらに、不安や抑うつのストレスがある場合には、睡眠中の寝言として表面化することが分かっていることから[8]、寝言の音量、及び、発する音声中の言葉としての要素の有無等について、聴覚情報としてマイクで取得することが適当であると考えた。

2.2 システムの全体像

提案するメンタルケアシステムは、ユーザーに極力負担を掛けることなく、ストレス状況を把握することを目的としていることから、以下に述べる方法を採用することとした。

- 居室内に設置したスピーカーから発する「おはよう」、「お帰りなさい」との問い合わせに対して、ユーザーから発せられる返答をマイクで収録する。
- ユーザーの睡眠時における寝言をマイクで収録する。
- 居室内に設置したカメラでユーザーの行動や仕草等を収録する。

また、上記3つの方法によりセンシングした情報に機械学習等により推定したストレス状況に応じて、「おはよう」等の問い合わせ時や起床時に、適切なフィードバックをスピーカーから発することとした。

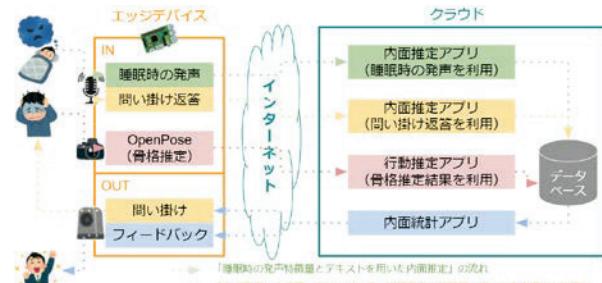


図 1: サービスイメージの概要

メンタルケアシステムのサービスのイメージを図 1 に示す。メンタルケアシステムは、主に睡眠時の発声(寝言:グリーン)、問い合わせに対する返答(オレンジ)、居室内的行動(骨格情報:ピンク)からユーザーのストレスなどの内面状態を推定するという3つのサブシステムで構成する。また、3つのサブシステムで推定した内面状態について統計処理等した結果のフィードバックや、「おはよう」等の問い合わせを音声で行うために、日本語テキストに基づいて自由な音声を生成するオープンソフトウェアである OpenJTalk[9]をインストールし、任意の音声を出力できるサブシステムを構成した。

これら4つのサブシステムについては、以下に述べるハードウェア(装置)により稼働している。

ユーザの音声情報等を入出力するために、マイク・スピーカー・カメラといった外部機器をエッジデバイスである Raspberry Pi 4・Jetson Xavier NX に接続し、それらエッジデバイスで取得した情報について、ネットワークを介してクラウドのデータベースで処理するとともに、統計処理した結果等についてネットワークを介してフィードバックすることとした。

3 サブシステムの詳細及び実装方法について

実装するサブシステムは、ユーザが発する音声や行動から得られる様々な物理的特徴量の中から、科学的にストレスに関することが確認されている特徴量に着目し、一定の仮説に基づき、数値化したデータからストレスの状態を把握するものである。

次節以降、ストレスと物理的特徴量の関係について具体的に述べ、それら特徴量を取得するための方法等についても解説する。

3.1 睡眠時の発声による内面推定

睡眠障害診療ガイド[10], 睡眠障害の対応と治療ガイドライン[8], 睡眠とメンタルヘルス[11]によると, 睡眠中に発せられる寝言については, 表 1 に示すように発生音量や発する言葉の内容(叫び, あえぎ等)と, ストレス状態との関係性が分かっている.

表 1: 寝言とストレスの関係

寝言の表徴	ストレスとの関連性
短い、小声な寝言	生理的寝言として、ストレスとは関係ない
激しい寝言、叫び声、悲鳴など	心理的ストレスが高いことが推定できる
あえぎ、うめき声、ぶつぶつ言うような声	日中の過度の眠気と疲労(物理的ストレス)が推定できる
叫び声、悲鳴など	心理的ストレスが高いことが推定できる

このことから、寝言からストレスの有無を推定するために、図 2 のフローに示すとおり、まず、閾値以上の音量を超えているか否かを判断する。次に、寝言の中に言葉の要素が含まれているか否かを判断することにより、ストレスのない正常の寝言と、ストレスのある寝言(大きな寝言、叫び・悲鳴、あえぎ・うめぎ)に区分することとした。

ここで、音量の閾値については、試作したシステムでは 80 db に設定し、また、言葉の要素の有無については、1回の寝言の中で、音声認識システム（試作したシステムでは Google Cloud Speech-To-Text[12]）において、単語として

の認識信頼度が低いもののみが抽出された場合に、要素が無いもの判定した。

なお、音声取得時における大きな物音の影響を遮断するためにローパスフィルターを採用することとした。

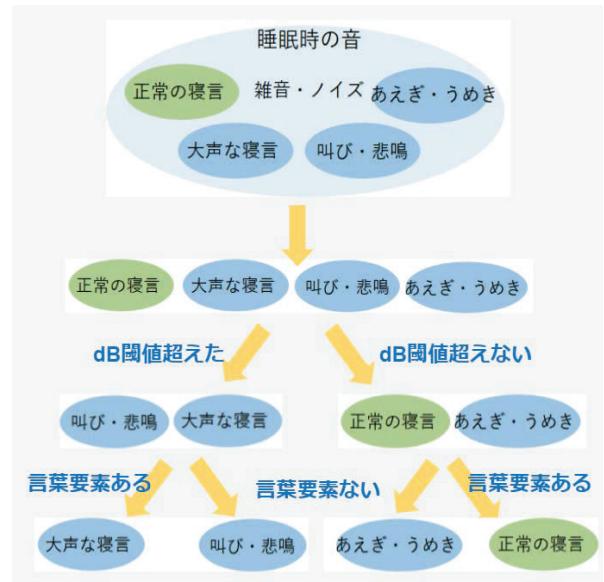


図 2: 寝言の区分方法

3.2 問い掛けに対する返答音声による内面推定

ストレスの心理面の反応について既述したとおり、人は、不安や抑うつのような心理状態になった場合、恐れ・悲しみ・不快等といった感情を抱き、音声に影響することが分かっている。

音声情報が有する物理的特徴量の代表的なものとしては、声の高さ(基本周波数)や大きさ(パワー)があり、これらは一般的に単位時間(フレーム)毎に算出された時系列データとなる。更に近年では、感情をこめて発話すると発声方法自体に変化が表れるため、声色も通常とは変化することが言われており、そのため声色の変化を表すようなスペクトル的特徴量を加えることも行われてきている。

ここでは、音声の大きさ(フレーム毎の平均パワー等)やスペクトル(各周波数帯域ごとのパワー等)に関するもの及び発生に関係するもの(基本周波数等)といった、フレーム毎に算出される時系列データと、その時系列データの統計的特徴(平均、分散、尖度等)を組み合わせた384種類の特徴量を抽出することができるopenSMILE[13]というフリーソフトウェアを採用した。

次に、ユーザの発話音声の特徴量からストレスの状況を推定するため、人の会話による音声データに対し、ストレス状況についてラベリングしたデータセットを教師データとして、深層学習により推定することとした。

採用したデータセットは、宇都宮大学パラ言語情報研究向け音声対話データベース(UUDB)[14]である。このデータベースは、自然で表情豊かな音声対話を集めたものであり、全ての発話に対し、話者がどのような感情であったと感じられるかを評価したラベルを付与したものとなっている。また、UUDBでは、快—不快、覚醒—睡眠、支配—服従、信頼—不信、関心—無関心、肯定的—否定的の6つの感情について7段階のラベルを付与している。この中でストレス状態に最も関与していると思われる「快—不快」のデータを採用することとした。「1—非常に不快」、「2—かなり不快」、「3—やや不快」、「4—どちらでもない」、「5—やや快」、「6—かなり快」、「7—非常に快」となっている。このことから、UUDBに収録されている約5000の発話データについて、openSMILEによって抽出した特徴量と、快—不快の7段階のラベルを深層学習に関連づけた学習モデルを作成し、openSMILEとともにクラウド上のサーバに保存した。

このようなセットアップを踏まえ、起床時や帰宅時に、システム側であるスピーカーから、「おはようございます」、「お帰りなさい」といった音声を出力後、ユーザからの返答である「おはよう」、「ただいま」といった音声をマイクで入力し、クラウド上のサーバに音声データとして送信後、サーバでUUDBのデータセットにより学習した7つのストレス状態に分類することとした。

3.3 行動や仕草等による内面推定

部屋の中の行動を視覚情報として常時センシングし、ストレス行動を検出するためには、情報量が多い画像情報から、人の頭、首、肩等を機械学習により検出する骨格情報を利用することが有効であると考えた。

骨格情報の取得については、アメリカのカーネギーメロン大学のZhe Caoらが論文で発表した、人物の骨格を深層学習で推定するシステムであるOpenPose[15]を採用することとした。OpenPoseは、目、鼻などの顔のパートから、首、肩、肘、手首、腰、膝、足首などの18箇所にわたり、それらを点と線で示した姿勢を推定するものであり、図3に例示する。

今回対象とするストレス行動は、首に手を当てる、瞼を手で揉む、頭を手で搔くといったような、主に首、目、手の動作が関係するものであり、OpenPoseで検出する目、首、手首の動作パターンについて、歩く、座るなどの他の行動パターンと機械学習により分類することにより、対象となる行動を検出できるものであると考えた。

具体的な検出プロセスとしては、画像情報から骨格情報へ変換する際の負荷の大きいプロセスについて、GPU推論ボード用のAIコンピューティングボードを搭載し、組込みデバイス向けに製品化されたJetson Xavier NXにOpenPoseをインストール後、教師学習によりストレス行動を検出するこ

とした。



図3: OpenPoseによる骨格推定(文献17より引用)

3.4 ユーザへのフィードバック

骨格情報による視覚情報、声掛けへの返答及び睡眠中の寝言による聴覚情報から分析したストレス状態について、ユーザにフィードバックする方法としては、クラウドから電子メールで定量的に示したり、居室内のライトの色を変えることにより示す等の方法を検討した。最終的には、ユーザが一人暮らしであることを勘案し、対話形式で音声によりフィードバックすることとした。

また、対話形式によるフィードバックを行うためには、ユーザの発話を認識する必要があることから、今回はオープンソフトウェアであるJulius[16]をクラウド上のサーバにインストールし、ユーザの発話内容をテキスト化することとした。なお、Juliusによる音声認識においては、全ての発話内容を正確にテキスト化することは困難であるが、システム側からの声掛けに対するユーザの「うん」、「そう」といった「Yes」の反応、又は、「いや」、「違う」といった「No」の反応は十分に認識することが可能であることから、「Yes/No」形式の対話とした。

4 サブシステムの実装及びサービスの実施状況

今回提案するメンタルケアシステムは、図4に示すとおり、単身者の居室内に、4つのサブシステムの機能を有するスマートスピーカーのような製品を設置し、サービスを提供することを想定している。



図4: メンタルケアシステムの設置イメージ

また、サブシステムについては、Raspberry Pi 4 等のエッジデバイスとクラウド上のサーバを連携してサービスを提供することとしているが、実製作業や作業状況の確認を効率的に行うため、個人が保有するPCを見立て、エッジデバイスとの通信はWi-Fiで行うこととした。

4.1 単身者を対象としたシステムの設定要件

メンタルケアシステムは、単身者の在宅における利用を前提としているため、人が朝起きて出勤するまでの間、及び帰宅後、寝るまでの間において、居室においてのユーザーの行動や「おはよう」などの声掛け等による反応からストレス状況を把握することを想定している(図 5)。



図 5: システムの利用状況

単身者のメンタルケアを効率的に行うためには、ユーザからの発話を多く取得し、効果的にストレス測定を行うためには、発話内容に応じて、一定量以上の対話をを行う必要がある。このことから、システムで時間管理を行い、設定した時間にユーザーに問い合わせを行ったり、システムとユーザー間において、一定回数の対話をを行うプログラムなどを実装した。

4.2 声掛けへの返答及びフィードバック

図 6 に示す事例は、テレビやパソコン等により度々夜更かしをするユーザーに対し、就寝を促したものである。

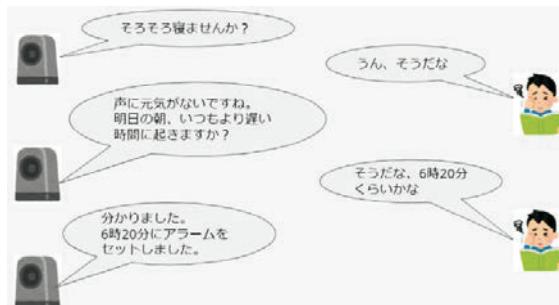


図 6: 就寝を促す対話

図 6において、左側はシステム側から出力する音声、右側はユーザーが発する音声を示している。

まず、システムに午後 11 時になつたら、「寝ませんか」という出力を設定し、ユーザーが発声した「うん」の部分をシステムが「Yes」と判定するとともに、発生音声を機械学習において「3—やや不快」のレベルと判定している。

次に、システム側は、「3—やや不快」のレベルの判定の場

合は、多少ストレスがあると推定し、「声に元気がない」とのメッセージに加え、翌朝の起床時刻を遅くすることを促している。

次に、ユーザが発生した「6 時 20 分」のテキスト情報についてサーバを通して、システム側から「6 時 20 分」にアラームをセットしたことを知らせている。

4.3 睡眠中の寝言及びフィードバック

図 7 に示す設定(状況)は、4. 2でユーザが指定した起床時刻時に、睡眠中の寝言から判定したストレスに対して、コミュニケーションを通して元気づけるものである。

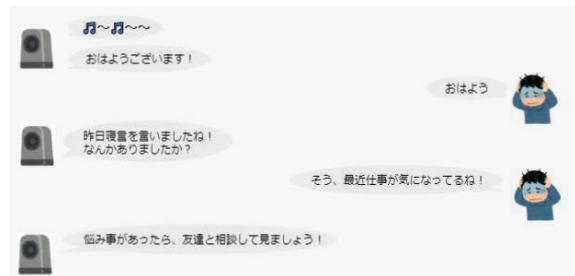


図 7: 寝言を確認後のアドバイス

まず、ユーザが指定した時刻にシステム側から音楽を流すとともに、「おはようございます」と声を掛ける。

システムは、ユーザが睡眠中に発せられる寝言を取得しており、その中に、音量が閾値である 80db を超えてはいないが、音声認識システムで言葉として認識されない「あえぎ・うめき」が確認されていることから、ストレスがあるものと判定している。

このことから、ユーザからの「おはよう」という発話を確認した後、システム側は、寝言からストレスがあると判定したユーザーに対し、「何かありました？」と声を掛けている。

その後、システムは、ユーザの応答の中に「そう」という言葉あったことから、「Yes」と判定し、一般的なアドバイスとして、友達との相談を促している。

4.4 ストレス行動の検出及びフィードバック

この事例は、ユーザの骨格情報の中から、ストレスに関する行動を検出した場合に、リラックスする行動を促している。

行動や仕草等からストレスの有無を判定するにあたり、Feiyu Chen らによる EECS-433 Pattern Recognition というプロジェクトの最終盤として発表された「Real-time Action Recognition Based on Human Skeleton in Video」を実装したソフトウェアを採用することとした[17]。このソフトウェアは、内部にOpenPoseを使用し、OpenPoseによって推定されたリアルタイムの骨格情報を元に、リアルタイムな行動推定が可能となっている。

ストレス判定する仕草や行動としては、デフォルトの学習済みモデルである「sit・walk」に加え、今回機械学習した「scratching-hand」を加えた8種類の仕草とした。

図8に示すとおり、左側に示した8種類の行動から、ストレス行動と関連のある「頭を搔く」動作を検出している。



図8: ストレス行動の検出

次に、図9に示すとおりストレスを和らげる「なななな運動」という、両足を肩幅に開き、横に動かす運動を音声により、ユーザに促し、実際に運動していることを骨格情報で認識している。



図9: ストレス行動へのフィードバック

4.5 実験結果及び考察

1) 声掛けへの返答について

帰宅時や起床時等にシステムから「おはよう」等の声掛けをした際のユーザからの返答に対し、判定した快一不快のレベルは、「4—どちらでもない」の場合多かった。返答の際に意識的に声のトーンを高いた場合は、「6—かなり快」の判定となったり、図6で示した事例の場合においても、声のトーンを意識的に低くしないと「3—やや不快」と判定しない傾向となっていた。

50才台の被験者の応答に対しては、声のトーンを様々なに変えて「4—どちらでもない」と判定する場合多かったが、20才台の被験者が声のトーンを変えて実施した場合には、判定結果が多少改善されたように感じた。

今回、機械学習の教師データとして採用したUUDBのデータセットについて確認した結果、「快一不快」の7つのラベリングにおいて「4—どちらでもない」と判断したものが大半を

占めていたため、このことが判定レベルの偏りに影響しているものと推測される。

一方、50才台よりも20才台の判定で偏りが改善された原因としては、UUDBのデータセットは女子大学生の発話を採用したものであり、年齢層が近い20才台の発話の方が偏りの少ない結果になったものと推測される。

2) 睡眠中の寝言について

3.1で説明した、寝言からストレスの有無を判定する際に設定した閾値80dbについては、総務省のwebサイトに掲載されている「騒音に関する苦情とその解決方法」[18]において、80dbの音量に相当する列車等の騒音が会話・電話が聞き取れない状況であるということを参考に設定したものである。この閾値に設定した音量により、ストレスに関して発せられる「大きな寝言」や「叫び・悲鳴」と判定するためには、実験を行う必要があったが、時間的制約により実施できなかった。

寝言の音源である人からマイクまでの音声の距離減衰の影響等も考慮し、今後、実験により閾値の設定音量を決定する必要がある。

また、「あえぎ・うめき」のような言葉として認識されない発声については、音声認識システムにおいて単語としての認識信頼度が一定数値以下のものを感覚的に採用したが、この数値についても実験により設定する必要がある。

3) ストレス行動の検出について

プロトタイプでは、ストレス行動として「頭を搔く」という動作1つのみであった。今後、多くのストレス行動を検出するために、ユーチューブなどの公開画像から、「首に手を当てる」などのストレス行動の画像を多く収集し、学習させることが必要であると考える。

5 まとめ及び今後の展望

本研究では、ストレスに起因する仕草や音声情報等について、機械学習によりストレスを判定するシステムを提案し、プロトタイプを試作した。

4.5で述べたとおり、提案したシステムを製品化するためには、多くのデータセットや実験等により、ストレスの推定精度を向上させる必要がある一方、それらのプロセスについて時間を掛けて確実に行うことにより、製品化は可能である感じている。

また、プロトタイプは、openSMILEやOpenJTalk等、様々なオープンソフトウェアを組合せることにより、効果的なサービスを提供するものであり、試作実験を通して、これらソフトウェアの高い機能性が確認され、より効果的な使用により、メンタルケアシステムの質の向上が期待されるものと考えられる。

一方、ユーザに負荷を与えることなく、メンタルケアを行うということは、ストレス状況をセンシングするために、システム側がユーザの行動に即して対応する様々な機能を備える必要がある。例えば、帰宅したユーザに対して「お帰りなさい」と声を掛けるためには、システム側はユーザが帰宅したことを人感センサ等で検出したり、効率的に居室内の行動からストレス行動を検出するためには、常に OpenPose を稼働させることなく、ストレス行動のトリガーとなる手足等の動きについても検出する等、様々なサブシステムの実装も必要となる。

そこで、プロトタイプの開発のプロセスにおいて気付いた点や、当初掲げていたプロセスが実行できなかった点等について列挙し、今後の開発に向けて整理することとする。

1) 音声データセットの充実

音声の基本周波数は、一般的に年齢及び性別により異なる数値を示す傾向にあるが、今回のモデルで採用したデータセットは若い女性の音声を採用したものであった。

のことから、快・不快の推定の精度を向上させるために、若い男性の音声データを収集することが必要であると考える。

2) 複数のセンシング情報による評価

開発の初期段階においては、一定期間、若年層の方の居室においてセンシングした音声・行動から数値化した複数のストレスレベルと、その期間の若年層の方のストレス状態を数値で定期的に記録した結果について、両者の相関関係等、統計的手法により分析する予定であった。

このような実験を通して、数値化した複数のストレスレベルと個人が評価したストレスレベルを関連付けることにより、双方の因果関係のみでなく、センシング情報の中で、ストレスに影響を与える音声・行動の選定や、センシング手法の改善等も可能になると考える。

3) プロトタイプの拡張性

今回開発したプロトタイプでは、時間管理を行うプログラムも実装していることから、ユーザが夜遅くまで職場にいることを確認した場合には通信アプリ等により、帰宅を促すメッセージを送信するサービスを提供することが可能である。

今回の研究においても、通信アプリの一つである slack の WebAPI を利用し、ユーザに帰宅を促すテキストメッセージを送信するための作業を進めていた。

また、送信したメッセージに対するユーザの応答メッセージからユーザのストレス状況を把握するために、テキストデータを文節ごとに区分し、数値化したデータについて、機械学習により応答メッセージがポジティブかネガティブかを判定するためのプログラムの実製作業も進めていた。

このように、通信アプリや機械学習を活用することにより、居室外におけるストレス状況のセンシングも可能であると考

える。

謝辞

本研究を進める中で、機械学習によるストレス評価の精度向上等のために、様々な提案や御指導をいただいた林先生、ユーザに対するフィードバックの方法等について助言をいただいた佐々木先生、OpenPose の使用方法等についてアドバイスを頂いた、村越 PT の OB である角田さんに対しまして感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 池上和範, 江口将史, 大崎陽平, 中尾智, 中元健吾, 日野亜弥子, 廣尚典, “若年労働者のメンタルヘルス不調の特徴と対策－自由回答式質問票を用いた横断調査－”, 産業衛生学雑誌, 56巻, 3号, pp.74-88, 2014
- [2] 松本吉郎, “ストレスチェック制度開始後の現状と問題点”, 総合検診, 45巻, 2号, pp.16-21, 2018
- [3] 黒木 宣夫, “近年のメンタルヘルス対策とストレスチェック制度の課題”, 日本職業・災害医学会会誌, 65巻, 6号, pp.283-288, 2017
- [4] 大宮康宏, “スマートフォンを用いた音声による健康状態のモニタリングシステム(MIMOSYS)の開発”, 心と社会, 47巻, 3号, pp.16-21, 2016
- [5] 公益社団法人 日本看護協会, 看護職の働き改革の推進, <https://www.nurse.or.jp/nursing/shuroanzen/safety/mental/kojin/index.html> (visited on 2021)
- [6] ジョー・ナバロ, FBI 捜査官が教える「しぐさ」の実践解説辞典407, 河出書房新社, 2019
- [7] 鈴木基之, “音声に含まれる感情の認識”, 日本音響学会誌, 71巻, 9号, pp.484-489, 2015
- [8] 内山真, 睡眠障害の対応とガイドライン 第3版, じほう, 2019
- [9] 大浦圭一郎, 橋本佳, 南角吉彦, 徳田恵一, “隠れマルコフモデルに基づく日本語音声合成ソフトウェア入門”, システム/情報/制御, 62巻, 2号, pp.57-62, 2018
- [10] 日本睡眠学会, 睡眠治療ガイド, 文光堂, 2011
- [11] 上里一郎, 白川修一郎, 睡眠とメンタルヘルス, ゆまに書房, 2006
- [12] Google Cloud, <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs/word-confidence?hl=ja> (visited on 2021)

- [13] Florian Eyben, Martin Wollmer, Bjorn Schuller, “openSMILE: The Munich versatile and fast open-source audio feature extractor”, Proc. ACM Multimedia, pp. 1459-1462, 2010
- [14] NII 音声資源コンソーシアム, “宇都宮大学パラ言語情報研究向け音声対話データベース(UUDB)”
- [15] OpenPose: Realtime Multi-person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields,
<https://arxiv.org/pdf/1812.08008.pdf> (visited on 2021)
- [16] 李晃伸, “汎用大語彙音声認識ソフトウェア入門”, システム/情報/制御, 62 卷, 2 号, pp.50-56, 2018
- [17] Real-time Action Recognition Based on Human Skeleton in Video,
<https://github.com/felixchenfy/Realtime-Action-Recognition> (visited on 2021)
- [18] 総務省, 「騒音に関する苦情とその解決方法」, pp.25,
https://www.soumu.go.jp/main_content/000352509.pdf (visited on 2021)

紀要編集委員会

編集委員長 中鉢 欣秀 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

奥原 雅之 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

村越 英樹 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

廣瀬 雄大 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 准教授

河西 大介 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

木下 修司 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

2021年度 東京都立産業技術大学院大学紀要

2022年1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)7834
URL <https://aiit.ac.jp>



この印刷物は、環境に配慮した
資材と工場で製造されています。



この印刷物はグリーン
電力を使用した印刷機
で出力しています。
547202