

産業技術大学院大学 紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第 13 号

2020 年 1 月

産業技術大学院大学

目 次

論 文

公的機関の創業助成事業の考察について

～内部収益率 (IRR)による事業性評価～	木佐谷 康 三好 祐輔 都築 治彦 安藤 豊 亀井 省吾 板倉 宏昭	1
-----------------------	---	---

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—	前田 充浩	9
---------------------------------	-------	---

産業技術大学院大学におけるデータサイエンス教育の取り組み

—大学院授業と小中学生向けのワークショップの実践—	大崎 理乃 柴田 淳司	25
---------------------------	----------------	----

製品の創造プロセスの中で生み出される情報に関する考察

—建築創造プロセスからみた BIM に関する情報の体系的理解—	吉田 敏	31
---------------------------------	------	----

Spectral Analysis on IoT Healthcare Data for Stress Estimation

	Xuping HUANG	39
--	--------------	----

コンテナ型仮想化技術を利用したサイバーセキュリティ攻撃と

防御演習システム CyExec の開発	瀬戸 洋一 中田 亮太郎	47
---------------------	-----------------	----

ワードクラウドによる学習動画の要約と検索を支援する

eラーニングシステム	朱 偉 張 軍 飛田 博章	55
------------	---------------------	----

RUI (ロボットユーザインタフェース) の提案と検討

人形浄瑠璃を参考にした身体性と振りについて	成田 雅彦 中川 幸子	61
-----------------------	----------------	----

人間のヒューリスティックに基づく意思決定に関する一考察

—意思決定基準としての納得という概念の提案—	細田 貴明	67
------------------------	-------	----

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—	三好 きよみ 板倉 宏昭	77
--	-----------------	----

総 説

準天頂衛星災害通報サービスの EU 衛星 Galileo との共同開発	嶋津 恵子	85
-------------------------------------	-------	----

認知症に対する非薬物療法	田部井 賢 一	89
ソフトウェア開発演習のための仮想環境の構築と今後の展望	中 鉢 欣 秀	93
研究速報		
PBL テーマ設定に関わるインストラクションデザインの例	橋 本 洋 志 牧 野 千 里 岡 崎 浩 二 石 井 隆 之 梶 原 直 仁 北 村 嘉 崇 蔣 蕭	99
機械学習による ELVO 予測システムの開発	小 山 裕 司 重 田 恵 吾 佐 川 博 貴 大 橋 博 明 松 本 省 二	103
会話のキャッチボールを支援するデバイスと活用プランの提案	安 藤 豊 菊 池 直 子 門 田 英 宋 茜 陳 海 偉 池 本 浩 幸	107
サイバー攻撃と防御演習コンテンツ Webwolf の高等教育への 利用可能性の検討	瀬 戸 洋 一 牧 宣 彰	115
「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 —	小 川 太 輔 大 類 桂 一 北 浦 なつみ 胡 瑶 霞 楊 旭 近 藤 嘉 男 内 山 純	121
Social Value and Timeliness Aware Splitting Scheme for Multi-copy Routing in Mobile Opportunistic Network	Chaofeng ZHANG	127

産業技術大学院大学における屋外用自律移動ロボットの開発……………	大久保 友 幸 怒 木 弘 隆 兼 光 有 沙 日下部 忠 之 高 橋 匠 森 本 寛 之 劉 鑫 ZHANG ZIYAO	135
我が国の観光産業の持続的発展にむけて……………	松 尾 徳 朗 岩 本 英 和	141
人生ゲームライフシフト編 with AR を活用したカンファレンスの実施……	押 野 貴 志 鈴 木 宏 幸 井 上 耀 介 徐 揚 付 金 大久保 友 幸 越 水 重 臣	147
再生可能エネルギーと EV を用いた電力地産地消の課題と展望 —マルチエージェントシミュレーションによる効果検証—……………	城 一 平 福 田 和 彦 加 藤 武 徳 蔡 詩 傑 青 井 恵 太 張 子 壺 林 久 志	157
技術系ベンチャーと投資家のための戦略的ロードマッピング……………	廣 瀬 雄 大 ロバート ファール 岡 田 有 希 木 下 裕 介	169
生体情報を基にした時間管理システムに関する研究 —2018 年度イノベーションデザイン特別演習 村越 PT—……………	佐 藤 里 恵 村 越 英 樹	179
水辺地域におけるマルチモーダルモビリティのデザイン提案……………	安 藤 和 美 応 舜 天 田 中 謙 司 村 林 覚 楊 再 峰 村 越 英 樹 海老澤 伸 樹	185

QOL 向上へ向けて広義のケルスケア視点に立った、
健康価値を創出するサービスデザイン……………

飯 洙 弘 成
張 叢
柳 田 識 歩
國 澤 好 衛
池 本 浩 幸
インネッラ ジョバンニ 199

CONTENTS

Regular Papers

Judgment of public institutional support for start-up companies ·····	Yasushi Kisatani Yusuke Miyoshi Haruhiko Tsuzuki Yutaka Ando Syogo Kamei Hiroaki Itakura	1
The 'INDUSTRIUM' Model of the World Systems in the Age of the Third Modernization 'Leave No One Behind' and the 'Great Convergence' ·····	Mitsuhiro Maeda	9
A Data Science Education at Advanced Institute of Industrial Technology - Case Studies of the Graduate School class and Workshop for K-12 – ·····	Ayano Ohsaki Atsushi Shibata	25
A Study of the Information in Creation Process of Products Systematic Understanding of Information Structure related with Building Information Modeling(BIM) based on Creation Process ··	Satoshi Yoshida	31
Spectral Analysis on IoT Healthcare Data for Stress Estimation ·····	Xuping HUANG	39
Development of cyber security attack and defense exercise system CyExec using Docker container-type virtualization technology ·····	Yoichi Seto Ryotaro Nakata	47
Interactive Word Cloud to Summarize and Browse Online Videos to Enhance eLearning ·····	Wei Zhu Jun Zang Hiroaki Tobita	55
Physical Properties and choreography of Service Robot with reference to Joruri Puppets ·····	Masahiko Narita Nakagawa Sachiko	61
A Study on Human Decision Making based on Heuristics – Suggestion of a Concept of Acceptable Decision Making – ·····	Takaaki Hosoda	67
A Recurrent Education Program for Seniors at Professional Graduate School – Findings from Interviews and Questionnaires with Start-up Program Participants – ·····	Kiyomi Miyoshi Hiroaki Itakura	77

Review Papers

Japanese Joint Project with EU:

Emergency Warning Services via GNSS signals	Keiko Shimazu	85
Non-pharmacological therapy for Dementia	Ken-ichi Tabei	89
Construction of virtual environment for software development exercise and its prospects	Yoshihide Chubachi	93

Short Notes

Example of Instruction Design of PBL theme Setting	Hiroshi Hashimoto Chisato Makino Koji Okazaki Takayuki Ishii Naohito Kajihara Yoshitaka Kitamura Jiang Xiao	99
--	---	----

A Development of an ELVO Prediction System
using Machine Learning

KOYAMA Hiroshi SHIGETA Keigo SAGAWA Hiroataka OHASHI Hiroaki MATSUMOTO Shoji	103
--	-----

Proposal of spherical device and utilization method
to support interactive communication

Yutaka Ando Naoko Kikuchi Akira Kadota Sou Sen Chin Kaii Hiroyuki Ikemoto	107
--	-----

Consideration of the availability to the higher education
of cyber attack and defense exercise contents WebWolf

Yoichi Seto Nobuaki Maki	115
-----------------------------	-----

Design Development of the “Partner Robot”

— Heartwarming robot concept approach —	Tasuke Ogawa Keiichi Ohru Natsumi Kitaura Ko Youka Yang Xu Yoshio Kondo Jun Uchiyama	121
---	--	-----

Social Value and Timeliness Aware Splitting Scheme for Multi-copy Routing in Mobile Opportunistic Network ·····	Chaofeng ZHANG	127
Development of the autonomous mobile robot for Outdoor Environments in Advanced Institute of Industrial Technology ·····	Tomoyuki Ohkubo Hiroyuki Ikarugi Arisa Kanemitsu Tadayuki Kusakabe Takumi Takahashi Hiroyuki Morimoto Liu Xin Zhang Ziyao	135
Development of Tourism based on Meeting, Incentive Tour, Convention and Conference, and Event and Exhibition ·····	Tokuro Matsuo Hidekazu Iwamoto	141
Conducting a Conference that utilizes Jinsei Game Life Shift ver. with AR ·····	Takashi Oshino Hiroyuki Suzuki Yosuke Inoue Xu Yang Fu Jin Tomoyuki Ohkubo Shigeomi Koshimizu	147
Towards local energy production for local consumption using renewable energy and EV systems ·····	Ippei Jou Kazuhiko Fukuda Takenori Kato Shijie Cai Keita Aoi Ziyao Zhang Hisashi Hayashi	157
Strategic Roadmapping for Technology Ventures and Investors ·····	Yuta Hirose Robert Phaal Yuki Okada Yusuke Kishita	169
A Study of the Time Management System Based on the Biological Rhythm - Murakoshi - PT 2018 (Advanced Exercises: Innovation for Design and Engineering) ·····	Rie Sato Hideki Murakoshi	179

Design proposal of Multi-modal mobility in the waterfront area·····	Kazumi Ando Ying Shun Tian Kenzi Tanaka Satoru Murabayashi Yang Zaiteng Hideki Murakoshi Nobuki Ebisawa	185
Service design to create health value toward improving QOL ······	Kosei Iibuchi Cong Zhang Shikiho Yanagida Yoshie Kunisawa Hiroyuki Ikemoto Giovanni Innella	199

公的機関の創業助成事業の考察について

～ 内部収益率(IRR)による事業性評価 ～

木佐谷 康*・三好 祐輔*・都築 治彦**・安藤 豊*・亀井 省吾*・板倉 宏昭*

Judgment of public institutional support for start-up companies

Yasushi Kisatani*, Yusuke Miyoshi*, Haruhiko Tsuzuki**, Yutaka Ando*, Shogo Kamei* and Hiroaki Itakura*

Abstract

In order to improve the founding rate in Japan and to foster unicorn companies, it is necessary to change the way in public institutions.

In this study, we will discuss the point of judgment of public institutional support for start-up companies, focusing on the relationship between company performance and internal rate of return.

Keywords : Internal rate of return, Company performance, Public institutional support, Start-up, Unicorn

1 はじめに

日本の創業率の低さが指摘されて久しい。2017年版「中小企業白書」[1]によれば、2015年度の日本の開業率は5.2%となっており、イギリスの14.3%、フランスの12.4%と比べても大きく水をあけられている。2001年度から2015年度の開業率を見ても、最高が2003年度の4.8%、最低が2014年度の3.7%と、過去25年間4.0%前後で推移しており、政府や地方自治体等が取り組んでいる創業支援の成果が数字に表れていない。また、アメリカや中国に比べ、日本ではユニコーン企業ⁱⁱがほとんど存在しないという実態もある。本研究では、日本の開業率を向上させるための創業支援施策について考察する。

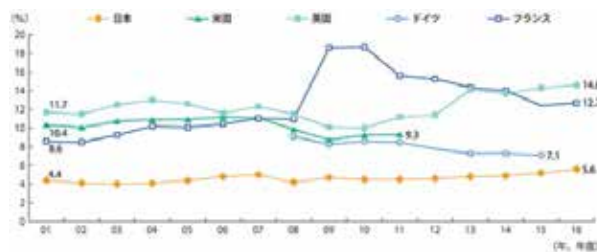


図 1: 開業率の国際比較[1]

政府や地方自治体等の公的機関は、補助金・助成金や専門家の支援制度などを活用した中小企業の支援スキームを構築しており、企業規模や信用力の観点から民間の支援

が受けにくい創業期には公的機関の支援が欠かせない。また、創業期には設備やITに対する投資が不可欠であり、新規投資のための資金需要に対しては金融機関の融資や公的機関の利子補給、補助金・助成金等の支援が必要となる。

中小企業の資金需要に対応する金融行政を見てみると、バブル崩壊後は、大手銀行の経営悪化を引き起こした不良債権処理のために平成11年7月に公表された「金融検査マニュアルⁱⁱⁱ」[2]により、回収不能になるリスクを最小化する方向で融資が検討されるようになった。その後、平成17年7月には日本銀行金融機構局が「内部格付制度に基づく信用リスク管理の高度化^{iv}」[3]というペーパーを発行し、金融機関の信用リスク管理の基本的枠組みである内部格付制度を発表した。

こうした動きを受けて、金融機関が中小企業に融資する際には、内部格付制度により財務諸表の情報を元に債務者を区分して融資金額と貸出金利を決定し、融資金額と経営者の個人保証と担保設定、信用保証協会^vの保証付融資の3点セットでリスクヘッジする方法が一般的となった。

その後、2008年(平成20年)9月に発生したリーマンショックにより資金繰りが悪化した中小企業に対し、政府は中小企業等金融円滑化法^{vi}を施行し、できる限り金融機関に貸付条件の変更等に努めることや、信用保証協会による緊急保証制度や条件保証対応保証制度、セーフティネット貸付など資金繰りを支援する環境を整備した。

金融円滑化の取り組みは、金融機関に対して、厳格な内部格付制度の運用だけではなく、新規融資や貸付条件の変更

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 佐賀大学, 経済学部, Graduated School of Economics, Saga University

等に関する相談・申込みから対応後のフォローアップ、経営課題に関する相談とその解決に向けた提案といったコンサルティング機能の積極的な発揮を促すきっかけにもなった。その一方で、担保余力の乏しい中小・零細企業企業に対するリスクヘッジ手段として、保証付融資の活用が増加した。

リーマンショックの影響も落ち着き、不良債権処理にも目途が立った平成 26 年 9 月、「平成 26 事務年度 金融モニタリング基本方針」が発表され、「事業性評価^{vii}」というキーワードが登場し、平成 31 年 3 月に「金融検査マニュアル」が廃止されたことで、金融機関には、将来にわたる健全性の確保と金融仲介機能を十分に発揮し、利用者重視の経営に転換することが求められ、従来の内部格付と 3 点セットによる融資から、事業性評価による融資へと金融行政は大きく舵を切っている。このように、企業価値向上への取組みの一環として、取引先の担保・保証に依存せず、企業の事業内容や成長可能性等を適切に評価して金融仲介・コンサルティング機能を発揮する「事業性評価」が注目され、事業性評価の概念が金融機関に浸透しつつある。

一方で、公的機関による利子補給や補助金、助成金は、それぞれ政策の目的・趣旨に沿って制度化され、対象事業を限定するなど、厳格に運用がなされている。このため、事業の採択にあたり、事業内容や成長性などにおいて定量的な目標を求めているものの、事業が適正に行われているかのチェックが重視され、事業の成果に対する評価まで至っていないのが実態である。

また、金融機関にとって、貸倒リスクを負わない信用保証協会の保証付融資に過度に依存することは、事業性評価融資やその後の期中管理・経営支援への動機が失われるおそれがあることから、プロパー融資(信用保証なしの融資)と信用保証付き融資を適切に組み合わせ、柔軟にリスク分担を行うことで、融資先の経営実態に応じた事業性評価を行う環境を整える必要がある。

特に創業期に関しては、事業リスクが非常に高い反面、事業内容によっては成長の可能性を秘めている場合もあり、公的機関が事業リスクや事業内容、成長性などを考慮した支援を行うことで、リーンスタートアップを実現し、雇用拡大や地域経済の発展につながる事業を育成することも可能である。リスク許容度という観点から、スタートアップ企業に対する公的機関の支援の判断のポイントについて、企業業績と内部収益率の関係に着目して議論を進めてゆく。

本研究の結論をまず述べると、良いシナリオの時と良くないシナリオの時の内部収益率(IRR)をリスク中立確率のもとで、加重平均して求めた最適な金利水準(事業を起こすことでも収益があがる上限)を下回る限り、企業は事業を継続することにより収益を得ている。したがって、民間金融機関の貸し出し金利を上げる代わりに、公的機関が金利補助を行い、現状の審査基準よりもう少しリスクの高い事業に融資を行う

(そして、事業を拡大してもらう)ことにより、創業を促し、地域経済の拡大を図ることができる。

以下のように構成される。

第 2 章では、先行研究について述べる。

第 3 章では、仮説創設としてレモンSPA事例研究について述べる。

第 4 章では、政策提言の観点から述べる。

そして、最後に結論をまとめる。

2 先行研究

経済主体の意思決定機会の多くは、

①埋没的な(あるいは不可逆的な)設備投資費用(sunk cost)が存在する。

②将来の経済環境に関する不確実性(uncertainty)がある。

③設備投資を先送りすることができる。

上記の 3 条件を同時に満たすことから、リアル・オプション理論はさまざまな不確実性下の意思決定行動分析に有用である。

Dixit and Pindyck[1994]が包括的にサーベイしているように、欧米ではすでにさまざまな分野にリアル・オプション理論が応用されている。[5]

わが国でも、リアル・オプション理論を用いた研究例がみられるようになってきているものの、リアル・オプション理論の基本的な考え方を直観的に説明するとともに、リスク中立確率を用いた最適金利の計算方法を紹介する。

[プロジェクトの割引現在価値の計算の方法]

以下では、リース契約をする際のプロジェクト価値を計算する方法を説明する。

まず、1 年目時点のプロジェクト価値は、1 年目の収益に 2 年目、3 年目の期待割引収益を加えたものとなる。

次に、2 年目時点のプロジェクト価値は、2 年目の収益に 3 年目の期待割引収益を加えたものになる。

最後に、3 年目時点のプロジェクト価値は、翌年以降操業を行わないため、3 年目の収益に一致する。

そこで、1 年目時点のプロジェクト価値を求めるには、

①3 年目のプロジェクト価値を 2 年目時点に割り引き、2 年目の収益を加えて 2 年目時点のプロジェクト価値を得る。

②2 年目のプロジェクト価値を 1 年目時点に割り引き、1 年目の収益を加えて 1 年目時点のプロジェクト価値を得る、というステップを踏むことが必要となる。

ここで注意が必要なのは、1, 2 年目時点において翌年のプロジェクト価値を割り引くときの割引率と、期待値を計算するための確率の選択である。企業がプロジェクト価値を算出する際には、当該企業がもつ将来時点においてある収益額が実現する確率と、安全資産利子率にリスク・プレミアムを加

えた主観的割引率を用いるのが通例である。

しかし、本稿では、以下の理由により、リスク中立確率を用いて将来の収益の期待値を計算し、安全資産利率を用いてそれを割り引くこととする。

リスク中立確率とは、リスクに対する市場評価を織り込んだ確率のことで、将来の起きうる不確定な価格の期待値を求めたとき、その期待値を現在の安全資産利率で割り引いたときに現在の価格になるように定める人為的な確率である。

2 期間モデルにおいては、無裁定条件が満たされている限り、株価の上昇率 u 、下降率 d 、安全資産の利益率 R の間に $d < R < u$ の関係が成り立つ。なぜなら、もし $d > R$ だとすると、株価は下がった場合でも安全資産より高い利益を生むことになるため、 $t=0$ において安全資産を S 単位空売りして（すなわち銀行から S 借りて）その代金で株式を購入し、 $t=T$ で株を売却して銀行に $(1+R)S$ を返済すれば、初期投資ゼロで満期において正の利益が得られることになるからである。同様に、 $u < R$ と仮定しても、株式を空売りしてその代金を安全資産に投資する（すなわち銀行に預金することにより、無裁定条件と反する結果が得られる。

無裁定条件

- (1) 現在の投資額が 0 または負で、将来確実に正の利益を得る機会は存在しない。
- (2) 現在の投資額が負で、将来確実に 0 以上の利益を得る機会は存在しない。

リスク中立確率を P とし、上昇倍率を u 、下落倍率を d 、無リスク金利を r とすると、

$$P = \frac{(1+r \cdot d)/(u \cdot d)}{(1+r \cdot d)/(u \cdot d) + (1+r \cdot u)/(d \cdot u)} \quad (\text{リスク中立確率(上昇時)} = [(1 + \text{無リスク金利}) - \text{下落倍率}] \div [\text{上昇倍率} - \text{下落倍率}])$$

で求められる。

IRR の定義

IRR とは、投資案のキャッシュインフローとキャッシュアウトフローの現在価値額が等しくなるような利率であり、投資案自体のもっている投資効率を意味する。IRR が資本コスト以上であれば経済的に有利であり、資本コスト以下であれば不利である。

IRR の一般式は次式で定義される。

$$\sum_{t=0}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+r)^t} = 0$$

$$\sum_{t=0}^n \frac{(R_t - I_t)}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

$$R_t = t \text{ 期におけるキャッシュインフロー}$$

$$I_t = t \text{ 期におけるキャッシュアウトフロー}$$

$$r = \text{内部利益率}$$

たとえば、0 期におけるキャッシュアウトローを 1800、1 期から 4 期におけるキャッシュインフローを 500、5 期は 550、そして、内部収益率を r とおくと以下のように表せる。

$$-1800 + \frac{500}{(1+r)} + \frac{500}{(1+r)^2} + \frac{500}{(1+r)^3} + \frac{500}{(1+r)^4} + \frac{550}{(1+r)^5} = 0$$

3 レモンスパ事例研究

3.1 AIIT シニアスタートアッププログラムについて

実際の企業の事業計画とその実施結果を入手することが困難なため、本研究では 2019 年に開催された AIIT シニアスタートアッププログラムの PBL で検討された「レモンスパ」プロジェクトの事業計画を事例として取り上げる。

AIIT シニアスタートアッププログラムは、産業技術大学院大学(AIIT)が平成 30 年 8 月に開校したプログラムで、50 歳以上のシニア層を対象に起業に必要な知識とスキル習得のための大学院教育(修士課程レベル)でのシニアの学び直しのためのコースとなっている。プログラムは主に 3 つのステップで構成され、基礎科目では経営戦略、マーケティング、ファイナンス、IT の各分野の基礎知識を学ぶ選択科目のほかに、必修科目である「東京経済事情」では起業家や企業支援者による経験談や苦労の話の聞くことができる。基礎科目の合格者は、事例研究型科目「事業デザイン要論」に進み、事例をベースに企業に必要な事業開発手法の習得を目指す。そして最後の PBL 型科目「シニアスタートアップ特論」では、現実の課題もグループで取り組み、ディスカッションや共同作業を通してチームワークや課題解決能力を身につける構成になっている。

平成 30 年度の基礎講義では、経営戦略はコンテキストデザイン、マーケティングではマーケティング概論、ファイナンスでは資金調達や企業価値評価、IR では kintone を中心に学習した。また、「東京経済事情」では、全 8 回にわたって創業者や東京都中小企業振興公社、品川区の担当者が登壇し、創業時の苦労話や成功のポイント、企業の際の注意点などの講義が行われた。

2 ステップ目の「事業デザイン要論」ではサイボウズ社のダイバーシティ経営が事例として取り上げられ、働き方改革や在宅勤務をテーマにグループワークを行った。各チーム 4 人の 7 グループに分かれて、架空の起業を想定して在宅勤務を提案するというテーマが与えられ、約 3 週間の間に 4 日間、計 8 コマの講義時間の中でプレゼンを作成し、発表するという内容だった。

最後の「シニアスタートアップ特論」は、AIIT の特徴である

PBL 型科目として、プロジェクトベースの課題解決のスキルとコンピテンシー(業務遂行能力)を身につけることを目標として設定されている。平成 30 年度は、「八丈島の課題を解決する地域ビジネス」をテーマに、課題解決のための事業や企業をデザインした。希望者は2泊3日で八丈島でのフィールドワークに参加して、地元の企業やホテル、観光施設などの経営者、責任者の方にインタビューする現地調査が冒頭のプログラムとして組まれていた。オリエンテーションでは、地域ビジネスのテーマのアイデアを各自 4~6 個考え、その中から自分が取り上げたいテーマを選んでグループを作る形でテーマを選定。その結果、「子供キャンプ」、「黄八丈」、「レモンスパ」、「発酵」、「インバウンド人間ドッグツアー」、「スマートシティ」の 6 つのテーマに絞られ、各チーム 2~5 名のメンバーで八丈島のフィールドワークを実施した。八丈島のフィールドワークは 11 月 23 日~25 日に行われ、最終日には訪問先の企業やホテルなどの責任者の方や観光協会の担当者などが参加して発表会も開催している。



図 2: 八丈島 PBL における発表会

フィールドワークに参加できなかった学生も交えた「シニアスタートアップ特論」の最初の講義が 12 月 9 日に行われ、フィールドワーク参加者同士でディスカッションの上、「黄八丈」と「インバウンド人間ドッグツアー」、「レモンスパ」と「発酵」がチームを合体し、テーマを 4 つに絞り込んだうえで、参加できなかった学生も各チームに合流した。PBL 型科目は、学生が自律的にチームを組成・運営していくのが特徴で、平成 30 年 12 月 9 日~平成 31 年 1 月 27 日の 4 回の講義の多くはチームミーティングを行ったほか、2 月 17 日には全チーム参加の補講と自主的なミーティングを各チーム数回実施している。各チームの検討結果は、修了式と同日、3 月 9 日に開催された発表会の場で八丈町長以下多くの出席者の前で発表されている。

3.2 レモンスパ事例について

「レモンスパ」チームで検討したビジネスは、以下のような内容となっている。

LEMON SPA

Co-Healing space

図 3: レモンスパ ロゴ

3.2.1 事業コンセプト

事業コンセプトは、ニューリッチ向けおひとり様 Co-Healing サービスと定めている。Co-Healing とは、Co-Working のように日常の集団やつながりを離れ、自立した個どうしが一定の距離で出会い、刺激を得ながら自分を見つめ直す、おひとり様向けの新しい休日の過ごし方の提案。

3.2.2 事業開発の視点

事業開発の視点は、ポジティブな“孤独”と“共創”の融合に着目している。他人の束縛や周囲の同調圧力から解放され、自立した個どうしが一定の距離で出会い、刺激を得ながら自分を見つめ直すのが“選択的孤独”。

世の中の喧騒から離れ、自立した個どうしが一定の距離で出会い、刺激を得ながら自分を見つめ直す“実存的孤独”。

“選択的孤独”と“実存的孤独”の中から、新たな“共創”をつくり出す。

3.2.3 カスタマーターゲット

ポジティブな孤独を楽しむニューリッチ層をカスタマーターゲットに設定している。デモグラフィック属性は、上場企業役員、エグジティブを果した起業家・投資家、エアラインプレミアムクラス利用者、ジオグラフィック属性は、人生の岐路で決断を迫られている、素の自分と向き合い独創性を養う層を設定している。

3.2.4 本プロジェクトの特長

本プロジェクトは、以下の特長がある。

- ① 島内での体験を通じた「コト」と島外での食事や食材の提供である「モノ」の融合
コンシェルジュアプリを通じたサブスクリプション型ビジネスモデルと、コトとモノの融合によるライフタイムバリューの最大化を実現。
- ② 島内の体験の拠点、事業展開のシンボルとなる「レモンスパ」
玉石垣の景観が残る「ふるさと村」に八丈島の特産品であり、新たなシンボルとなるレモンの庭園を配したレストラン&スパ「レモンスパ」を建設。



図 4: レモンスパ イメージ

- ③ 「レモンスパ」での Co-Healing プログラム
雨の多い八丈島で重要となる屋内体験では、フィットネスやボディコンディショニングのほか、写経や座禅、ヨガ、断食道場などのアクティビティを東京近郊の施設や専門家と提携して提供。好天時には、体験ダイビングやウォーキングのほかに滝行やネイチャーヨガなどを提供。
- ④ モビリティサービスを活用した泊食分離
島内の民宿やホテルなどの宿泊者向けに、チーズやくさや、焼酎といった島内の発酵食材、海の幸を提供するデリバリーサービスを行い、泊食分離による宿泊施設の稼働率と島内消費の最大化を実現。
- ⑤ 島外でのモノ消費を最大化するフードラボ
1 万種類以上の菌がいると言われるくさや液からの菌の抽出研究や発酵食材、発酵サプリメントの開発により、八丈島ならではの料理、食材を開発することでサブスクリプション型の島外消費を実現。

3.2.5 事業計画

プロジェクトを 3 ステップに分けて、以下の事業計画を策定した。

表 1: レモンスパプロジェクトのステップ別事業計画

解決メソッド	Step1	Step2	Step3
方向性	分散	集中	分散
テーマ	ネットワーク	ブランディング	スケールアウト
解決する課題	スバプログラム提供者と利用者のマッチング	モノとの融合によるサブスクリプション化	島全体の宿泊と飲食の連携
スバ施設開発	提供者とのマッチング	関連施設との連携 (スバマッサージ・リビング)	スバ施設開設 (スバマッサージ・リビング)
景観開発	ブランディング	コンセプトモデル提案	シゴボル景観開発
飲食サービス	泊食分離	周辺飲食店と連携してメニューシフト提供	ふるさと汁掛け施設建築
宿泊サービス	泊食分離	周辺宿泊施設と連携 古民家リノベーション	ふるさと十指宿泊施設建築
移動サービス	モビリティサービス	タクシーとの連携 小乗バス連携サービス	モビリティサービス検討
アプリ	コンシェルジュアプリ	コンシェルジュサービス	ヘルスケアアプリ提案
フードラボ	サブスクリプション化	オリジナルメニュー開発	発酵センター開設
マーケティング	ネットワーク	クラウドファンディング 動画、SNSの活用	行政との連携

3.2.6 収支計画の考え方

- ① リアルオプションアプローチ
設定条件の達成状況に従って、3 ステップで事業を拡大(条件未達の場合は、撤退も視野)。第 2 ステップでは、「レモンスパ」の行政建築による指定管理者プランと自費建築プランを状況により選択。
- ② リーンスタートアップ
第 1 ステップでは、既存建築物の活用、既存業者とのアライアンスで短期での事業立ち上げを想定。
- ③ 補助金・助成金の活用
東京都創業助成事業、東京都革新的事業展開設備投資支援事業、ものづくり補助金等の補助金・助成金を徹底活用。

3.3 レモンスパプロジェクトの収支計画と内部収益率

レモンスパプロジェクトの収支計画を題材にして、スタートアップ企業に対する公的機関の支援の判断のポイントについて、企業業績と内部収益率の関係を検討する。

3.3.1 高収益の場合

企業業績が良い＝高収益が予定されている場合は、以下のような収支計画となっている。

表 2: 高収益の場合の収支計画

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
売上高合計	30,448	114,499	309,209	462,646	579,101
売上原価 (仕入費) ②	16,131	42,948	209,030	321,946	411,929
売上総利益③ (①-②)	14,317	71,551	100,180	140,681	167,173
経費合計 ④	28,100	47,542	116,517	129,176	139,941
補助金 ⑤		9,667	30,000	30,000	30,000
利益⑥ (③-④+⑤)	-13,783	-6,324	13,671	41,504	57,232
税金⑦ (所得税・法人税)	0	0	7,867	12,451	29,621
税引後利益⑧ (⑥-⑦)	-13,783	-6,324	5,804	29,053	40,068
減価償却費⑨	1,250	3,997	13,375	16,500	16,500
借入金返済額⑩ (⑧+⑨)	-12,533	-2,327	22,945	45,553	56,568
借入金返済額⑪	5,400	16,200	16,200	16,200	16,200
(⑩-⑪)	-17,933	-19,527	6,745	29,353	40,368
研究開発費	0	1,148	3,092	4,626	5,791
新入人員数 (正社員)	2	4	8	8	10
期末人員数 (パート)	4	8	14	14	18

以下の計算から、高収益の場合の内部収益率 (IRR) は 29.0%となる。日本政策金融公庫の創業融資の貸出金利は 1~3%と比べても、非常に高い収益が期待できる・高収益となれば、法人税や追加投資による固定資産税等の税金が期待できるほか、雇用の創出、物流や人の移動による地域活性化など、行政にとっては様々なプラス効果が期待できる。

表 3: 高収益の場合の内部収益率

ハードルレート (負債コスト)	0.020		
年次	CF	DF	PV
	-50,000	1	-50,000
1	-17,933	0.9804	-17581
2	-18,527	0.9612	-17808
3	6,745	0.9423	6356
4	29,353	0.9238	27118
5	40,363	0.9057	36558
		NPV	-15357
IRR	29.0%		
年次	CF	DF	PV
	-50,000	1	-50,000
1	-17,933	0.7751	-13900
2	-18,527	0.6008	-11132
3	6745	0.4657	3141
4	29353	0.3610	10596
5	40363	0.2798	11294
		NPV	0

表 5: 低収益の場合の内部収益率

ハードルレート (負債コスト)	0.020		
年次	CF	DF	PV
	-50,000	1	-50,000
1	-22,333	0.9804	-21895
2	-32,327	0.9612	-31071
3	-850	0.9423	-801
4	22,388	0.9238	20683
5	33,223	0.9057	30091
		NPV	-52994
IRR	0.06%		
年次	CF	DF	PV
	-50,000	1	-50,000
1	-22,333	0.7751	-13900
2	-32,327	0.6008	-11132
3	-850	0.4657	3141
4	22,388	0.3610	10596
5	33,223	0.2798	11294
		NPV	0

3.3.2 低収益の場合

企業業績が悪い＝低収益の場合は、以下のような収支計画になっている。

表 4: 低収益の場合の収支計画

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目
売上高合計	30,468	114,499	309,209	462,646	579,101
売上原価(仕入高)②	20,551	76,748	219,870	331,916	422,128
売上総利益③(①-②)	9,917	37,751	89,338	130,731	156,973
経費合計④	28,100	67,542	116,517	129,176	139,941
補助金⑤		9,667	30,000	30,000	30,000
利益⑥(③-④+⑤)	18,183	20,124	2,821	31,554	47,032
税金⑦(所得税・法人税)	0	0	5,872	9,466	23,576
税引後利益⑧(⑥-⑦)	18,183	20,124	1,975	22,088	32,923
減価償却費⑨	1,250	3,997	13,375	16,500	16,500
借入金返済原資⑩(⑧+⑨)	16,933	16,127	15,350	38,588	49,423
借入金返済額⑪	5,400	16,200	16,200	16,200	16,500
(⑩-⑪)	22,333	32,327	850	22,388	33,223
研究開発費	0	1,145	3,092	4,626	5,791
増末人員数(正社員)	2	6	8	8	10
増末人員数(パート)	4	8	14	14	14

以下の計算から、低収益の場合の内部収益率(IRR)は0.06%となる。

高収益の場合と比べると、収益性は非常に低くなり、税収や雇用の創出、地域活性化などの効果も同様に低くなるが、収益を上げている限りは地域経済に対するプラス効果が期待できる。

4 考察

従来の公的機関の支援では、3章で見た高収益と低収益のいずれのケースでも、金融機関の判断で決定された金利に対して、公的機関が一定の利率を補助する運用となっている。この運用では、金融機関の事業評価でリスクが高いと判断されたプロジェクトには融資が実行されず、公的機関の支援も及ばないことになる。

一方、事業収益を内部収益率(IRR)によって評価を行い、内部収益率の高い高収益の事業には、公的機関の補助利率を高く設定することで事業者の負担と金融機関のリスクをヘッジすることにより、高収益が見込まれる、すなわち、事業拡大の可能性が高い事業を育てることが可能になる。また、今回は同一事業の高収益と低収益のパターンを比較しているが、複数のビジネスモデルの内部収益率を比較することにより、公的機関がメリハリをつけた支援を行う際の基準や目安を設定することが可能になり、より効果的な支援が実行できる基盤を構築することができる。

また、以下のように、リスク中立確率のもとで高収益と低収益の内部収益率(IRR)を加重平均すると0.14%となり、これが最適な金利水準(事業を起こすことでも収益があがる上限)となる。

$$1 \cdot 1.001 = 1.29 \cdot q + 1.0006 \cdot (1 - q)$$

$$0.0004 = 0.2894q$$

$$q = 0.0014$$

この水準を下回る限り、企業は事業を継続することにより収益を得ていることになり、行政にはプラス効果が生じることになる。従って、低収益の場合であっても補助金を出すことによって当該企業の収益性が上がり、創業を促進する意義

がある。

このような内部収益率による事業評価を公的機関の判断に持ち込むことにより、金融機関のリスクを公的機関も負担することで事業拡大の可能性のある創業者を育てることが可能になるとともに、創業者の負担も軽減することができ、創業率の向上と将来のユニコーン企業の育成を図ることができる。

5 政策提言

公的機関の創業支援は、事業性評価が十分になされないことが多く、予算の上限まで採択が決定されることが多い。他の予算と同様に、年度の予算をいかに消化するかが公的機関の関心である。

また、公的支援の内容は、起業者に知られていないことも少なくない。行政が提供する支援メニューを知っていたかどうかで資金調達が決まってしまう可能性は否定できない傾向である。

技術商業化（Management of Technology Commercialization）のループモデルによりステージごとの資金調達のマネジメントを示してきた【8】。アーリーステージでは、検証すべきリスクが多い。ファイナンス理論が示すようにリスクにみあったリターンが投資家、地方公共団体でいえば、住民の要求する金利となる。リスクが高い事業には高いリターンが要求される。

本稿で述べたように、内部収益率といった基準によりリスクの高いアーリーステージでの公的支援が可能となり、地域の産業振興に寄与することができる可能性がある。

今後は、創業資金の支援といった「ハードの経営支援」だけではなく、ファイナンスなど経営知識の提供など「ソフトの経営支援」の充実が期待される。ファイナンスなど経営の知識を身につけたからといって、市場を出し抜いて利益を得られる訳ではないが、誤った経営判断や資金提供を避けることには役立つからである。

6 おわりに

以上の考察からも分かるように、民間金融機関が事業性評価にシフトを進める一方で、公的機関の創業助成事業は依然として一律の基準により支援が実行されているのが実態である。創業率の向上やユニコーン企業育成のためには、公的機関の支援も事業内容やリスクに応じたメリハリのある施策が必要となってくる。その際に、内部収益率（IRR）による事業評価をベースに、創業期の企業の成長性とリスクを定量的に分析することで、貸し出し金利を上げながら現在は支援が及ばないリスクの高い事業に融資を行うことにより、創業を促し、地域経済の拡大を図ることができると考えられる。

謝辞

本研究の基礎となった AIIT シニアスタートアッププログラム

2019 のレモンスパプロジェクトを検討したチームメンバーの大久保敏之氏、小泉満氏、坂本弘子氏、竹内仁氏、松下秀治氏、本原幸夫氏の協力の感謝の意を表します。

Appendix

◎《リスク中立確率の計算の証明》

$$\begin{array}{l}
 \Gamma \quad 0 \quad 1 \\
 | \quad \Gamma(p) - u \pi \\
 | \quad \pi \\
 | \quad L(1-p) - d \pi \\
 | \\
 | \quad 1 \text{ 時点の価値を割引現在価値で評価すると,} \\
 | \quad u \pi \div (1+r), d \pi \div (1+r) \text{ より加重平均すると} \\
 | \quad \pi = pu \pi \div (1+r) + (1-p)d \pi \div (1+r) \text{ を } p \text{ でまとめると} \\
 | \quad p[u \pi - d \pi] = (1+r) \pi - d \pi \\
 | \quad \therefore p = [(1+r) - d] \div [u - d] \\
 \perp
 \end{array}$$

参考文献

- [1] 中小企業庁, 2017 年版中小企業白書,
<https://www.fsa.go.jp/manual/manualj/yokin.pdf>,
2017. (visited on 2019)
(ウェブ参照)
- [2] 金融庁, 金融検査マニュアル(預金等受入金融機関に係る検査マニュアル),
https://www.fsa.go.jp/p_fsa/manual/manual.html,
1999. (visited on 2019)
(ウェブ参照)
- [3] 金融庁, 中小企業等金融円滑化法等について,
<https://www.fsa.go.jp/policy/chusho/enkatu02.html>
(ウェブ参照)
- [4] 「中小企業者等に対する金融の円滑化を図るための臨時措置に関する法律」(平成 21 年法律第 96 号)
- [5] 日本銀行金融機構局, 内部格付制度に基づく信用リスク管理の高度化,
https://www.boj.or.jp/research/brp/ron_2005/fsk05_07a1.pdf, 2005. (visited on 2019)
(ウェブ参照)
- [6] 金融庁, 平成 26 事務年度 金融モニタリング基本方針,
<https://www.fsa.go.jp/news/26/20140911-1/01.pdf>,
2014. (visited on 2019)
(ウェブ参照)
- [7] Avinash K. Dixit, Robert S. Pindyck [1994], "Investment under Uncertainty", Princeton University Press

[8] 板倉宏昭『新訂 経営学講義』, 勁草書房, 2017,
pp.354-357

ⁱ 日本の開業率は, 保険関係が成立している事業所(適用事業所の成立を元に算出している。

ⁱⁱ ユニコーン企業とは, 創業 10 年以内で評価額が 10 億ドル以上となっている未上場企業をさす。アメリカのリサーチ機関「CBinsight」が 2019 年 9 月に発表したユニコーンリストによれば, 世界に 310 社のユニコーン企業がある。アメリカ企業が 151 社, 中国企業が 82 社リストされたのに対して, 日本企業はプリファードネットワークス 1 社だけとなった。

ⁱⁱⁱ 金融検査マニュアルは, 金融庁の検査官が金融機関を検査する際のマニュアルの俗称で, 銀行, 保険会社, 金融持株会社ごとに定められている。検査官だけでなく各金融機関がマニュアルを参考として, 方針や内部規程等を作成している。

^{iv} 「内部格付制度に基づく信用リスク管理の高度化」は, 日本銀行金融機構局が発行する

リスク管理高度化と金融機関経営に関するペーパーシリーズの中の 1 点で, ほかに「オペレーショナル・リスク管理の

高度化」と「統合リスク管理の高度化」がある。シリーズ公表の目的は, ステークホルダーとの効率的なコミュニケーション・ツールの整備と客観的で納得性の高いリスク把握手法の開発とされている。

^v 信用保証協会は, 信用保証協会法(昭和 28 年 8 月 10 日法律第 196 号)に基づき, 中小企業・小規模事業者の金融円滑化のために設立された公的機関で, 47 都道府県と 4 市(横浜市, 川崎市, 名古屋市, 岐阜市)に設置されている。信用保証制度は, 金融機関からの融資の際に協会の保証を付けることで, 万が一債務者が弁済できなくなった場合に信用保証協会が金融機関に代位弁済する制度。

^{vi} 「中小企業者等に対する金融の円滑化を図るための臨時措置に関する法律」(平成 21 年法律第 96 号)

^{vii} 「平成 26 事務年度 金融モニタリング基本方針」によると, 事業性評価とは, 財務データや担保・保証に必要以上に依存することなく, 借り手企業の事業の内容や成長可能性などを適切に評価すること, と規定されている。

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

前田 充浩*

The 'INDUSTRIMUM' Model of the World Systems in the Age of the Third Modernization

'Leave No One Behind' and the 'Great Convergence'

Mitsuhiro Maeda*

Abstract

In the modern world system model, the globalization is defined as an 'inclusion' of developing economies into the modern global capital system.

In the past, many models explained that the globalization would expand the difference of economic development between developed states and developing economies, since substantial industrialization would be promoted only in developed states. Those models would be called as 'the Great Divergence Views.' Those models are based on the fact that quite a small number of developing economies have successfully launched the industrial development in the modern world system until the middle of the 20th century. This phase of the globalization would be called as 'the First Modernization'.

Recently, many models explain the distinction among developing economies between those which are successfully promoting the industrial development and those which are not. Those models would be called as 'the Distinction Views'. Those models are based on the fact that a substantial number of developing economies have launched the industrial development in the modern world system especially in the last stage of the 20th century and the beginning of the 21st century. This phase of the globalization would be called as 'the Second Modernization'.

The United Nations adopted the SDGs (Sustainable Development Goals) in 2015. The slogan of the SDGs is 'leave no one behind'. We believe that this slogan reflects the latest status of the globalization, namely substantially all developing economies are launching the industrial development, and thus the difference of economic development between developed states and developing economies would be decreased in the long run.

This paper tries to establish a kind of 'the Great Convergence Model', based on the perception of the present status of the globalization as 'the Third Modernization', in which the door of the industrial development is open to all developing economies.

Keywords: globalization, the modern world system, SDGs (Sustainable Development Goals), the Great Convergence, 'governmentium', 'industrium',

1 問題の所在

21世紀の今日、世界は、事実上全ての発展途上国が産業化に基づく経済社会開発を本格的に開始しつつあるという近代史上全く新しい局面を迎えつつあると考えられる。2015年に国際連合サミットが採択した、発展途上国の経済社会開発に関して世界全体で取り組むべき目標であるSDGs (Sustainable Development Goals)では、スローガンとして「Leave No One Behind」が謳われている。このスローガンが現実のものになりつつあるのである。

一方で、発展途上国の産業化に関するモデルについては、その大半がこの現実には追いついておらず、今日の世界における様々な事象を適切に分析することができないのではないかと考えられる。本研究は、近代世界システム論及び情報社会学近代化論に依拠し、基本的に一切の区別なく、全ての発展途上国が産業化による経済社会開発を成功させるという現下の動きを包括的に説明するためのモデルを構築しようとするものである。

本研究では、グローバリゼーションにおける発展途上国の産業化による経済社会開発に関する各種のモデルを支える考

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

え方(史観)を,以下のように分類する。

第1は,産業化による経済社会開発に成功するのは,基本的に先進国だけである,とする考え方である。先進国は産業化による経済社会開発を推進していくのに対して発展途上国は産業化を成功させることがないため,近代世界システムの中で先進国と発展途上国との経済格差は時間の経過とともに拡大していくことになる。このような考え方をここでは,グローバリゼーションに関する「大分岐」史観と呼ぶこととする。

第2は,産業化による経済社会開発に成功するのは,先進国及び条件を満たした一部の発展途上国(優等生)であると,する考え方である。この考え方によると,発展途上国は,産業化により経済成長を順調に進める発展途上国と,それに失敗する発展途上国の2つのカテゴリーに峻別されることになる。このような考え方をここでは,グローバリゼーションに関する「峻別」史観と呼ぶこととする。

第3が,本研究で取り組む,先進国,発展途上国の区分なく,また発展途上国の中でも「峻別」なく,全ての国々が産業化による経済社会開発を順調に推進する,とする考え方である。発展途上国が順調に産業化を推進することから,先進国との経済格差も縮小していく可能性が生じる。このような考え方をここでは,グローバリゼーションに関する「大収斂」史観と呼ぶこととする。

以下では,第1に,発展途上国の産業化による経済社会開発の動きを近代世界システム論のグローバリゼーションの枠組みで整理し,上記の3つの史観をグローバリゼーションの態様の局面遷移として捉える。

第2に,歴史的に展開されてきた,グローバリゼーションにおける発展途上国の産業化による経済社会開発に関する様々な見解を,上記の3つの史観に基づいて整理する。

第3に,グローバリゼーションの態様の局面遷移が生まれた要因を,既存の社会科学上のモデルを用いて分析する。

第4に,現下の世界の実情に対応する新たな「大収斂」史観のグローバリゼーションのモデルを構築する。以下見ていくように,「大分岐」史観及び「峻別」史観の理論的枠組みについてはすでに豊富な内容が展開されている一方,「大収斂」史観の理論的枠組みについては,現時点で展開されているものは少なく,これから構築していくことが必要な状況にある。筆者は,新たな「大収斂」史観のグローバリゼーションのモデルとして,インダストリウム・モデルというものを提案する。

2 グローバリゼーションの局面遷移

2.1 近代世界システムの見解

近代世界システム論の枠組みでは,世界を中心と周辺との2つの領域に峻別する(注1)。中心とは,近代資本主義システム

の発祥の地であり,具体的には西ヨーロッパ及び北米を指す。周辺とは,それ以外の地域であり,アジア,アフリカの大半の地域がそれに含まれるとされる。近代とは,近代世界システムにおいて,中心で生み出された近代資本主義システムが,次々に周辺を包摂(inclusion)していく過程であると捉えられる。このような過程は,グローバリゼーション,と呼ばれる。

それぞれの地域と産業化との関係については,次のように整理される。中心は,定義上,産業化を成功させている地域である。中心に属する各国は,帝国主義時代には周辺における植民地を擁する宗主国と呼ばれ,周辺の政治的独立以降は先進国と呼ばれる。本研究では,中心について,特に植民地に対する宗主国としての立場を強調する必要がない場合には,中心のことを先進国,と呼ぶことにする。周辺は,時期に応じて異なる政治形態を採る。帝国主義時代においては,代表的な政治形態は,(宗主国の)植民地,であり,20世紀後半にはその大半が政治的独立を果たし,国民国家を構築したものの,一人当たり GNI が低水準にあることから発展途上国と呼ばれる。周辺についても,特に帝国主義時代の植民地という立場を強調する必要がない場合には,周辺のことを発展途上国,と呼ぶこととする。

発展途上国と産業化との関係については,近代世界システム論では,以下のように説明される。

先進国において発生した近代資本主義システムに,発展途上国は順次包摂されていく。この包摂が発展途上国の産業化をもたらすのかについては検討が必要になる。

先進国は,産業化を成功させたゆえに発展途上国を順次包摂していく近代資本主義システムの主要な担い手となったのであり,グローバリゼーションの進展は,先進国の更なる産業化をもたらすことは間違いない。近代資本主義システムのグローバリゼーションは,世界全体を覆う国際分業システムを構築していくことになり,発展途上国は先進国による包摂により近代資本主義システムに組み込まれ,国際分業システムの一端を担うようになる。

一方発展途上国は,包摂されることは必ずしも産業化の開始を意味しない。この国際分業システムにおいて発展途上国に与えられる役割は,必ずしも製造業ではないためである。帝国主義時代には,農産物という原料の生産(プランテーション)の役割が付与されており,その生産物は先進国へと移され,中心においてそれを原料とする製造業が実施された。

結局,発展途上国の産業化については,その時点で構築される国際分業システムの態様によることになる。発展途上国の産業化を推進することになる態様の国際分業システムもあれば,推進しない態様の国際分業システムもある。発展途上国の立場から見ると,近代資本主義システムに包摂されることにより自国の産業化が進む「良い」国際分業システムもあれ

ば、自国の産業化が進まない、場合によっては阻害される「悪い」国際分業システムもあることになる。

発展途上国に農産物のプランテーションを強要する国際分業システムは、発展途上国の産業化を阻害するものであるため、「悪い」国際分業システムであることになる。

それでは 20 世紀後半に見られる製造業、特にアセンブリー系製造業の先進国の多国籍企業による国際分業システムではどうか。この国際分業システムにおいては、先進国の多国籍企業の直接投資により、発展途上国にも多くの工場が設立される。その限りにおいては、発展途上国の産業化が進む。

産業化は進むものの、それは必ずしも発展途上国の中長期的経済社会開発に資するものではない、とする見解もある。例えばウォーラー・ステインは、中心的生産様式及び周辺の生産様式という概念を用いて、この国際分業システムにおける発展途上国の産業化を「大分岐」史観で捉える。

中心的生産様式とは、製造業の国際分業の中で、技術水準が高く、資本集約的で、利益率の高い生産部門であり、これは先進国が先進国内で実施することになる。周辺の生産様式とは、製造業の国際分業の中で、技術水準が低く、労働集約的で、利益率の低い生産部門であり、これを先進国の多国籍企業は直接投資を行った発展途上国において実施するのである。その結果、先進国の多国籍企業のイニシアティブによって構築された国際分業システムにおいて、先進国は利益率の高い生産部門の生産に従事し、一方で発展途上国は利益率の低い生産部門に従事することから「大分岐」は拡大する、というものである。

20 世紀半ばの反グローバリゼーション論者は、このような理論的枠組みに立脚し、先進国の多国籍企業による発展途上国への直接投資の拡大を、先進国による発展途上国の「搾取」と呼び、否定的な見解を数多く表明した。実際にそのような見解は多くの発展途上国政府に政策決定に重要な影響を及ぼし、それら発展途上国政府は、外資規制を強化した。その結果、それら発展途上国諸国は、積極的な外資導入政策を進めた他の発展途上国に比べて経済社会開発を大きく遅らせることになったのが 20 世紀後半の現実である。

一方筆者は、拙著(注2)において、当初は周辺の生産様式に甘んじていた発展途上国の幾つかは、「追い付き創造性(Catch-up Creativity)」を発揮することにより、比較的短期間に中心的生産様式を実施するようになり、更には自国が他の発展途上国に対する投資を進めるようになる経緯を分析し、グローバリゼーションに関する「大分岐」史観とは異なる視点を示した。

以上のように、近代世界システム論の立場を取ると、従来は「大分岐」史観が優勢であったと見られるものの、今日においては、必ずしもそうではなくなってきていると結論することがで

きる。

2.2 近代化の3局面

筆者は、「大分岐」史観、「峻別」史観及び「大収斂」史観の3つの見方の違いは、それぞれが分析の対象としたグローバリゼーションの態様が異なることから生じたものと考えている。この場合のグローバリゼーションの態様を決定する要因として、産業化による経済社会開発に成功する発展途上国の数を考える。

「大分岐」史観は、産業化に成功するのは先進国だけであり、発展途上国においては近代化に成功する国民国家はほぼゼロである、という態様のグローバリゼーションに対応した考え方であると考えている。グローバリゼーションがこのような態様である近代化の局面をここでは、第1近代、と呼ぶことにする。

「峻別」史観は、産業化に成功するのは、先進国に加え、発展途上国の一部である、という態様のグローバリゼーションに対応した考え方であると考えている。グローバリゼーションがこのような態様である近代化の局面をここでは、第2近代、と呼ぶことにする。

「大収斂」史観は、先進国に加え、基本的に全ての発展途上国が産業化に成功する、という態様のグローバリゼーションに対応した考え方である。グローバリゼーションがこのような態様である近代化の局面をここでは、第3新近代、と呼ぶことにする。

さらに、近代世界システムにおけるグローバリゼーションをこれらの3つの局面遷移によって分析していく枠組みを、第3新近代論、と呼ぶこととする。

先進国と発展途上国の定義については、OECD-DAC リスト(注3)に拠ることとする。これは OECD(経済協力開発機構: Organisation for Economic Cooperation and Development)が3年毎に発表している、一人当たり GNI に基づく国家のリストであり、このリストに載っている国に対する譲許性の高い政府間資金が ODA(Official Development Assistance)として計上される。ODA とは発展途上国に対して供与されるものであるため、このリストに載っている国が発展途上国であることになる。リストでは、発展途上国が、一人当たり GNI により4つのカテゴリーに分類されている。

2018 年、2019 年及び 2020 年に有効である現行リストによると、LDC(Least Less Developed Countries)(注4)は 47 か国、その他低所得国(Other Low Income Countries(2016 年の一人当たり GNI が 1,005 ドル未満))は 2 か国、低位中所得国(Lower Middle Income Countries and Territories(2016 年の一人当たり GNI が 1,006 ドルから 3,955 ドル))は 37 か国(地域を含む)、上位中所得国(Upper Middle Income Countries and Territories(2016

年の一人当たり GNI が 3,956 ドルから 12,235 ドル)) は 57 か国(地域を含む)となっている。一人当たり GNI が上位中所得国の上限を超えると「卒業」と呼ばれ、このリストからは外れ、先進国扱いとなる。現行リストでは、発展途上国の数は、143 か国(地域を含む)であり、世界全体の約 3 分の 2 を占めることになる。

このリストを用いると、グローバリゼーションの態様の 3 つの局面は、以下のように定義される。第 1 近代とは、「卒業」している諸国が、ヨーロッパ及び北米諸国だけである局面である。第 2 近代とは、「卒業」している諸国が、ヨーロッパ、北米に加えて一部のアジア、アフリカ諸国である局面である。第 3 新近代とは、概ね全ての諸国が「卒業」しているか、「卒業」の見込みが立っている局面である。

これら 4 つのカテゴリーのうち、上位中所得の多くは、既に国内において順調な産業化を開始させており、「卒業」の目途の立っている諸国も少なくはない。上位中所得国のカテゴリーの上部に達しながら、長期間「卒業」を果たせずにいる諸国に共通する問題は、「中進国の罠(Middle Income Traps)」と呼ばれ、その克服方法に関する研究が進んでいる。

第 3 新近代の考え方とは、特に、低所得国(LDC 及びその他低所得国)が今後短期間に下位中所得へ、上位中所得国へ、更には「卒業」を果たすことが可能であると考え、そのための方途を検討するものであることになる。現在低所得国の数は凡そ 50 か国、世界全体の国家の中の 4 分の 1 である。

3 グローバリゼーション「論」の局面遷移

3.1 第 1 近代と近代文明論

本章では、グローバリゼーションを巡ってこれまでに展開された様々な見解を、第 3 新近代論の枠組みで整理する。

第 1 近代を前提に述べられた見解は、基本的に「大分岐」史観に立つものとなる。「大分岐」史観に基づく見解の例には、以下のようなものがある。

第 1 は、西ヨーロッパ諸国に共通する宗教上の特性を取り上げるものである。

代表例には、ウェーバー(Weber, Max)の「プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神」(1904-1905)(注 5)がある。これは、プロテスタンティズムという宗教と近代資本主義システムの成立を結び付けるというものである。

プロテスタンティズムに限定するこの主張については世界中で大きな論議があったものの、結局産業化の成功とキリスト教徒を結び付ける言説は広くみられることとなった。すなわちキリスト教国家でなければ産業化を成功させることはできない、というものである。

時代が下り、1970 年代になると、日本はもとより、アジア

NIEs(韓国、台湾、香港及びシンガポール)の産業化の成功は世界で注目されるようになった。これら諸国は、どう無理をして見てもキリスト教国家とは言えない。

そのような時期においてすら、産業化の成功を宗教上の要因で説明する言説は続いた。儒教仮説、がその例である。すなわち、産業化の成功は、基本的にはキリスト教国でなければ不可能ではあるものの、儒教はその教義体系がキリスト教に類似しているため、例外的に産業化に成功した、とするものである。日本とアジア NIEs はいずれも儒教国家であることが証左である、とする。

第 2 は、近代文明、という概念を持ち出すものである。

産業化に成功した西ヨーロッパ諸国の産業社会に共通する要因は、多岐に亘ることになる。その多岐にわたる内容を包括的に捉える概念が、近代文明、という概念でモデル化された。近代文明は、西ヨーロッパ諸国の歴史的経緯の上で、西ヨーロッパにおいて構築された、社会全体の運営に関わる原理である。したがって、産業化に成功するためには近代文明を受け入れなければならない、すなわち社会全体を西ヨーロッパ化しなければならない、とすると、発展途上国にとって産業化に成功することは極めて困難な取り組みであることになる。

現時点で振り返るならば、産業化を推進するためには、一部の分野については近代文明を採用する、すなわち西ヨーロッパの社会制度を導入することが必要であるとしても、その他の大半の分野においては、西ヨーロッパの社会制度の導入と産業化の成功との間には論理的な関係がない、か、薄いものも少なくはないと考えられる。

そのような論理的な関係についての厳密な検証をすることなく、近代文明化、すなわち西ヨーロッパの社会制度の全面的な導入を産業化の必須の条件として捉えたところに「大分岐」史観の特徴があると考えられる。また西ヨーロッパの社会制度の全面的な導入に成功する国は極めて例外的であったことから、産業化に成功する発展途上国は殆どなく、産業化に成功するのは先進国だけであるという「大分岐」の考え方が維持されていたと見られる。

3.2 第 2 近代と優等生競争

第 2 近代とは、発展途上国の中にも相当数産業化に成功する国家が出てきたため、第 1 近代の、先進国しか産業化に成功しない、という前提を維持することができなくなった局面である。

一方で全ての発展途上国が産業化に成功するわけではなく、発展途上国は、産業化に成功する発展途上国と成功しない発展途上国とに峻別されることになる。その峻別の条件に関する説明が「峻別」史観の理論的枠組みの柱となる。すなわち、産業化の成功のための条件として、「大分岐」史観で

は西ヨーロッパ諸国に共通する要因を広範に取り上げていたのに対して、「峻別」史観では、その要因に加えて、発展途上国の中で実際に成功した国々に共通する要因を取り上げることになる。

「峻別」史観では、産業化の成功の可能性は、論理的には全ての発展途上国に対して開かれていることになる。産業化に取り組もうとする発展途上国は、「峻別」史観が述べる、成功のための条件、を厳格に順守していけばよいことになる。言わば、優等生競争、を展開するのである。

一方で、各種の見解が提示する産業化の成功のための条件は、大変に厳しいものであり、大半の発展途上国にとっては順守が不可能であるものが多くなった。このため、全ての発展途上国が産業化を成功させる、という「大収斂」史観に辿り着くことはなかった。

なお、その条件の厳しさは、時代によって変遷していくことになる。当初は、大半の発展途上国にとっては順守が事実上不可能な内容が述べられていたのに対して、徐々に緩和されていくこととなったと見ることができる。

宗教、文化まで含めて西ヨーロッパ諸国に共通する要因を産業化のための必須条件であるとした「大分岐」史観に比べればその内容は相当適切なものになってきているものの、それでもなお、論理的には産業化のためには不必要なものが多量に含まれているのではないかと、というのが筆者の考えである。厳選に次ぐ厳選によって、不必要な条件の大半が除かれ、言わば「Leanな」産業化が可能になるのは、第3新近代の時代の「大収斂」史観を待たなくてはならないことになる。

「峻別」史観の代表的な見解には、以下のようなものがある。

第1は、ジョンソン(Johnson, Chalmers Ashby)の発展志向型国家(Developmental States)論である。要約すると、先進国は一般的に規制志向型国家(Regulatory States)であるところ、発展途上国の中には、日本を代表とする発展志向型国家という体制の国家が出てきているとして、両者を対比させ、かつ日本の通商産業省の行政指導を中核とする産業化の方法論を分析したものである(注6)。

これは、「大分岐」史観のように日本及びアジア NIEs 諸国を先進国の「亜種」として、基本的には先進国と同様の国家であると見るのではなく、発展途上国における独自の体制であると捉えたことに特色がある。西ヨーロッパ諸国ではない発展途上国でも、発展志向型国家という体制を整えれば産業化を成功させることができることを認めたものである。日本は、偶然西ヨーロッパ諸国に似ていたために産業化を成功させることができたのではなく、西ヨーロッパ諸国とは全く異なる方法で産業化を成功させたのであり、更に日本の成功モデルはアジア NIEs 諸国に引き継がれているとした。論理的には、今後、

多くの発展途上国がこのモデルによって産業化を成功させていくことができることになる。

この見解においては、発展途上国は、発展志向型国家の体制を構築して産業化に成功する発展途上国と、それをするのができず、その結果産業化に成功することができない発展途上国とに峻別されることになる。

第2は、村上泰亮の開発主義論である。

村上は、20世紀後半の日本の通商産業省の行政指導を中心とする産業化の過程を、日本独自の例外的な事象ではなく、論理的には全ての発展途上国が採用可能なモデルとして提示し、それを開発主義と呼んだ。更に、20世紀後半の数十年間に亘って欧米諸国から強い批判を受け続けた日本の通商産業省の行政指導方式が、産業化の成功という観点では経済学的に合理的であることを論証した。

この見解においては、発展途上国は、開発主義の体制を構築して産業化に成功する発展途上国と、それをするのができず、その結果産業化に成功することができない発展途上国とに峻別されることになる。

第3は、ワシントン・コンセンサスである。

東西冷戦の終結が見えてきた 1989年に、国際経済研究所のウィリアムソン(Williamson, John)はワシントン・コンセンサスを発表した。これは、発展途上国が累積債務問題を回避しつつ中長期的に持続可能な経済社会開発を推進するために必要な政策の「最大公約数」として、財政赤字の是正、補助金カットなど財政支出の変更、税制改革、金利の自由化、競争力ある為替レート、貿易の自由化、直接投資の受け入れ促進、国営企業の民営化、規制緩和及び所有権法の確立の10項目を挙げるものである。

これは、多くの発展途上国に対して優等生競争を強要する効果を持った。

ワシントン・コンセンサスが発表された 1989年は、東西冷戦が終結した年である。東西冷戦の終結により、従来の計画経済圏諸国が、新たな発展途上国(移行経済圏諸国: Transition Economies)として、産業化を推進することとなった。従来からの発展途上国と、移行経済圏諸国に対して、産業化を成功させるための手引きとして用いられたのがワシントン・コンセンサスである。

そのメッセージは明確である。当時は、世界の主導産業はアセンブリー系製造業であり、先進国のアセンブリー系製造業の多国籍企業の誘致に成功するかどうかが発展途上国の経済社会開発の成否を左右する重要事項であった。先進国の多国籍企業は、数多くの発展途上国の中から投資先を決定する。発展途上国の側から見れば、ワシントン・コンセンサスを遵守する優等生としての姿を先進国の多国籍企業に示し、投資先として選定してもらえるようにすることが目指された。

この見解においては、発展途上国は、ワシントン・コンセンサスを遵守する優等生になり、先進国の多国籍企業の誘致に成功して産業化に成功する発展途上国と、それをすることができず、その結果産業化に成功することができない発展途上国とに峻別されることになる。

ただし、ワシントン・コンセンサスの内容は、先進国の多国籍企業から見て投資先としての魅力を向上させることに集中したものとなっているため、発展途上国の中長期的な持続可能な経済社会開発を保証するものとはなっていないことに注意が必要である。実際、魅力向上のために多くの移行経済圏諸国は、ショック・セラピーと呼ばれる急激な市場経済化を進め、ワシントン・コンセンサスの内容を遵守しようとしたところ、少なからぬ国々では、経済の大混乱が生じ、結局は多国籍企業の誘致にも失敗し、産業化を順調に推進することができなかった。

第4は、MDGsである。

2000年9月、国際連合サミットは2001年から2015年を対象とする、発展途上国経済社会開発支援に関する包括的なプログラムであるMDGs (Millennium Development Goals)を採択した。内容は、貧困削減 (Poverty Reduction)に重点を置くものであり、具体的には、2015年における世界の貧困人口(1日1.25ドル以下で暮らす人々)を、1990年時点のその半分にしようというものであった。

このような目標が設定された背景には、20世紀第4四半期に東アジア諸国が順調な経済成長を遂げたのとは対照的に、アフリカ、特にサブ・サハラ・アフリカ諸国の停滞が際立っており、この地域に対する支援について世界全体の課題として取り組む必要が痛感されたことがある。

更には1989年12月のマルタ会談において東西冷戦が終結し、かつて計画経済を採用していた多くの諸国が移行経済圏諸国という新たな発展途上国として経済社会開発に取り組むこととなり、それら諸国に対しては、経済社会開発に対する支援と同時に市場経済化、経済制度の自由化に関する支援も同時に行わなければならないという事情もある。

先進国による発展途上国に対する経済社会開発支援、いわゆる開発援助の対象には、大別して、経済セクターと社会セクターがある。経済セクターに対する開発援助の提供は経済制度の自由化という政策目的と矛盾することになり易いため、社会セクターに対する開発援助が重視された。貧困削減はまさに社会セクターを最重要視する概念であったため、MDGsの中心的な課題として取り上げられることになった。

国際連合の2015年7月6日の発表(注7)によれば、結果は超過達成となった。貧困人口は、1990年には世界人口の47%(19億2,600万人)であったのに対して、2015年には世界人口の14%となった。この超過達成に寄与した最大の

要因は、中国とインドという大人口国における順調な経済成長の進展であったと言える。

世界の開発援助の対象として、経済成長に直接寄与する経済セクターではなく、社会セクターを重視するこのMDGsの発想は、第2近代の枠組みを前提にしているものであると言える。MDGsが策定された2000年時点においては、発展途上国は、東アジアに典型的なように、産業化に成功して高い経済成長を遂げつつあった発展途上国と、サブ・サハラ・アフリカに典型的なように、それに成功することなく目立った経済成長が見られなかった地域とに峻別することが合理的であった。MDGsは、後者に着目し、開発援助の主な対象とすることを主張するものであった。

3.3 第3新近代と「Leave No One Behind」

第3新近代については、それを推進するための理論的枠組みについては現在のところは明確になっているとは言えない。一方で、それを前提にした取り組みは現れてきている。

その典型は、SDGsである。

2015年9月には、国際連合サミットにおいて、MDGsの後継の目標として、2016年から2030年を対象としたSDGs (Sustainable Development Goals)が採択された。MDGsが貧困削減、という特定のテーマに特化したものであったのに対して、SDGsは、発展途上国の経済社会開発に必要な内容を網羅的に取り上げたものとなっており、具体的には17の大目標、169の個別のターゲットを設定している。現在世界各地でこの目標に基づく取り組みが推進されている(注8:産業技術大学院大学においても、2018年度及び2019年度においては、グローバルPBLとしてSDGs関連の政策を取り上げて、アジア、アフリカの諸大学と共同プロジェクトを推進しているところである。)

既に述べたように、SDGsのスローガンは、「Leave No One Behind」であり、第3新近代を直截に述べている。

SDGsの立案過程においては、オーナーシップが強く働いたことに注目すべきである。オーナーシップとは、開発援助の受取国である発展途上国の関係者が開発援助、及び経済社会開発の進め方の決定においてイニシアティブを果たす、ということである。

MDGsの立案過程においては、世界銀行を代表とするMDBs (Multilateral Development Banks: 多国籍開発金融機関)のイニシアティブが強く働いたことは否定できない。それに比べてSDGsの立案過程においては、アフリカ、アジアの関係者の関与が極めて強いものとなった。最終的な大目標の数が17という多数になったことは、そのような過程を反映している。すなわちオーナーシップが強く働いたため、多くの関係者の意見が提示され、少数の大目標に集約することができ

なかった。

「Leave No One Behind」をスローガンとするSDGsの問題は、そのための方法論に関する理論的枠組みの構築である。SDGs そのものは、今後発展途上国が取り組むべき課題を網羅的に列挙したものとなっており、それらの課題間の論理的な関連、更には発展途上国の産業化による経済社会開発に関するモデル等は、必ずしも明確なものとはなっていない。

4 第3新近代論の理論的背景

4.1 グローバル生産ネットワーク分析

第3新近代論は、グローバリゼーションの態様について、2度の局面遷移を想定する。第1の局面遷移が第1近代から第2近代への局面遷移、第2の局面遷移が第2近代から第3新近代への局面遷移である。本章では、これらの局面遷移が生まれた動因を説明する理論的枠組みについて検討する。

第1に採用する理論的枠組みは、製造業、特にアセンブリー系製造業の多国籍企業の国際分業システムの態様に関するグローバル生産ネットワーク分析(GPNA: Global Production Network Analysis)である。これは、ボールドウィン(Baldwin, Richard)のアンバンドリングの考え方に筆者独自の修正を加えて構築したものである(注8)。

グローバル生産ネットワーク分析は、近代世界システム論の観点から、製造業、特にアセンブリー系製造業の多国籍企業の国際分業システムの態様を4つの局面に分類する。

第1局面は、生産と消費が分離していない元型局面である。この局面では、近代的な工業生産は先進国内だけで行われている。発展途上国は、先進国にとっての商品市場(輸出先)であり、この局面では、発展途上国の産業化は限定的なものに留まる。

ボールドウィンは、近著(注9)では、グローバリゼーションの段階を、貿易コスト、コミュニケーション・コスト及び対面コストの3つのコストの状態での分析する枠組みを提示している。それによると、元型局面は、3つのコストが全て高い状態におけるグローバリゼーションであったことになる。

第2局面は、先進国の多国籍企業による発展途上国への直接投資が進むファースト・アンバンドリング局面である。ファースト・アンバンドリングの概念は、ボールドウィンによって提示されたものであり、工業製品の生産は先進国の多国籍企業によって発展途上国において行われ、それら工業製品の消費は先進国において行われる、という、生産と消費の分離(ファースト・アンバンドリング)が発生するということである。

ファースト・アンバンドリング局面は、様々なロジスティクスの発達により、原料、中間財、最終製品等の輸出入等に関する貿易コストが大幅に低下したことによって実現したものであるこ

とになる。一方コミュニケーション・コスト及び対面コストは引き続き高い状態にある。

第3局面は、企業組織と各機能ユニットとが分離する、ボールドウィンの言うセカンド・アンバンドリング局面である。企業内のR&D部門、高度技術生産部門、労働主役部門、アセンブリー部門等の各機能ユニットが、それぞれ最適な投資先を求めて別々の国に直接投資を行うことになる。

セカンド・アンバンドリングは、既にファースト・アンバンドリング局面において大幅に低下していた貿易コストが更に低廉になることに加え、様々なICT技術の発達によりコミュニケーション・コストが大幅に低下したことによって実現したものである。一方、対面コストは引き続き高い状態にある。

第4局面は、サード・アンバンドリング局面である。ICT技術の更なる発達により、既に低下している貿易コストは更に低廉になり、既に低下しているコミュニケーション・コストは更に低廉になることに加え、それまでは高い状態であった対面コストが大きく低下する。これにより、企業及び人々は、物理的に所在している場所から解放され、世界各地において経済活動を行うことができるようになる。テレプレゼンス、テロボティクス等は現実のものとなり、またバーチャルな移民も加速する。このような、企業及び人々の物理的に所在している場所と、経済活動を行う場所との分離がサード・アンバンドリングである。

以上がグローバル生産ネットワーク分析の枠組みである。これに基づいて、本研究の課題である発展途上国の産業化のあり方を整理すると、以下のようになる。

元型局面では、工業生産は先進国内のみで行われる。発展途上国に課せられた役割は、原材料の供給及び商品市場の提供である。したがって、この態様のグローバリゼーションの中では、発展途上国が特定の努力を行わない限りにおいては、先進国と発展途上国との格差は一層拡大していくことになり、「大分岐」史観が適合することになる。

元型局面の態様のグローバリゼーションを前提に、発展途上国側の努力による産業化の成功の可能性を説明する「峻別」史観として、先述の村上開発主義論がある。

グローバリゼーションの態様が元型局面である場合には、ファースト・アンバンドリング局面以降のように、発展途上国は、産業化を開始するために先進国の多国籍企業の投資を待つという発展戦略を用いることができず、自国内に世界に伍する製造業の大企業を育成しなければならないことになる。発展途上国にとって、世界に伍する製造業の大企業を育成するという事は、大変に困難な課題となる。

それを可能にする方が開発主義である。開発主義とは、政府の産業政策当局が行政指導という方法で民間企業に対して事実上の強制力を発揮することにより、製造業の費用逓減局面における過当競争による市場の失敗を回避し、適

正競争を促し、中長期的に自国の企業を育てるものである。

この開発主義を採用し、世界に伍する製造業の大企業を自国内に育成することに成功した典型例は、日本及び韓国である。韓国は、1953年の朝鮮戦争終結時においては国内に見るべき製造業が存在していなかったにも関わらず、基本的に開発主義の手法を採用し、世界を代表する大企業を幾つも育成することに成功した。

一方で、開発主義を全面的に採用するためには、優秀なテクノクラートの存在、独特の官民協調体制の存在等、幾つかの重要な条件が存在し、発展途上国の中でそのような条件を満たすことができるのは、決して多数派とは言えない。すなわち、理論的な可能性としては元型局面においても「大収斂」史観は可能ではあるものの、現実に成功させることができるのは限られた少数の発展途上国に限定されるため、開発主義論は実質的には「峻別」史観に立つことになる。

ファースト・アンバンドリング局面では、発展途上国に対して、先進国の多国籍企業の直接投資が進む。その結果、発展途上国における工業生産が拡大し、産業化が進展する。

それでは、このような先進国の多国籍企業のイニシアティブによる産業化による経済社会開発は、発展途上国と先進国との「大収斂」を生むのか、引き続き「大分岐」を拡大するのか。

先進国の多国籍企業による発展途上国への直接投資が拡大しつつあるというファースト・アンバンドリングの動きを捉え、この動きの結末を「大分岐」とした見解には、例えば先に見たウォーラーステインの中心的生産様式、周辺的な生産様式という概念を用いたものがある。

一方筆者は、ファースト・アンバンドリングの態様のグローバリゼーションを前提にしつつも、先述のように、「追い付き創造性」という概念を用いて、発展途上国側の努力により「大収斂」の可能性が開けると考える。

ファースト・アンバンドリング局面のある時期までは、先進国における中心的生産様式と発展途上国における周辺的な生産様式の構図が見られ、工業生産を開始したにも関わらず、発展途上国は期待したような経済成長を実現することが難しい時期もあったことは否定できない。一方で、発展途上国側が「追い付き創造性」と呼ばれる努力を重ねるならば、技術は急速に向上するものであり、国による差はあるとしても、ある時点において発展途上国における工業生産は、周辺的な生産様式の段階を超え、中心的生産様式に分類される内容に踏み込んで行くことが可能である。

すなわち、技術の観点からは、ファースト・アンバンドリング局面を前期と後期に2分して見るが必要になると考える。

前期においては、先進国の多国籍企業の国際分業システムにおいて、先進国における工業生産と発展途上国における工業生産とを比較すると、生産活動に用いられる技術に違い

が見られる。

先進国の多国籍企業が発展途上国に直接投資を行う最大の理由は、発展途上国の労働賃金の安さである。先進国の多国籍企業は、発展途上国において、低い技術を用いる労働集約的な部門の生産活動(周辺的な生産様式)を行い、自国内または他の先進国において、高い技術を用いる資本集約的な部門の生産活動(中心的生産様式)を行う。発展途上国にとっては、労働集約部門の生産活動であっても、雇用、税収、外貨獲得を生むことができる。

この段階では、先進国の直接投資を受け入れる発展途上国は、先進国側からある種の脅しを受けていると言える。すなわち、労働賃金が閾値を超えて上昇すると、先進国の多国籍企業は、当該発展途上国の工場を閉鎖し、他の労働賃金の安い発展途上国に直接投資するためである。

このように、先進国の多国籍企業が発展途上国の低賃金労働を主たる目的として直接投資を行い、発展途上国において低い技術を用いた労働集約的な生産(周辺的な生産様式)を行っている段階を、「第2局面前期」と呼ぶこととする。この局面では、「大分岐」の可能性を認めることができる。

一方で、20世紀第3四半世紀以降、特に東アジア諸国の実例を見ると、当初は低賃金労働を主たる目的として直接投資を行った発展途上国の地において、賃金が相当上昇した以降も先進国の多国籍企業が設備投資を大きく拡大している例を多く見ることができる。それらの発展途上国は、投資環境として、低賃金労働とは別の多くの魅力を備えるに至ったのである。

すなわち投資環境として、低賃金労働とは別の多くの魅力を備えるに至った発展途上国に対して先進国の直接投資が進む段階を、「第2局面高度化期」と呼ぶことができる。

「第2局面高度化期」の特徴は、先進国の多国籍企業が、R&D、高度技術生産部門等を含め、時には、先進国本国の主力工場を閉鎖してまで、生産活動の主力を発展途上国に置こうとするようになることである。こうして発展途上国に建設された工場は、しばしば世界最先端、世界最高水準の技術を用いた生産活動を行うものとなる。

この局面において、先進国には中心的生産様式、発展途上国には周辺的な生産様式、という枠組みは当てはまらなくなる。また、発展途上国において世界最先端、世界最高水準の技術を用いた利益率の高い生産部門の生産が行われることから、発展途上国は高い経済成長を実現することが可能になる。

日本の通商産業省が1993年に発表した、ASEAN4(マレーシア、タイ、フィリピン及びインドネシア)政府に対する政策提言書である『ASEAN 産業高度化ビジョン—産業政策のススメ』(注10)では、中心的生産様式、周辺的な生産様式という言葉は使っていないものの、まさしくこのような考え方が述べら

れている。

その主張は、1990年代初頭のASEAN4の産業化の現状を、低い技術を用いた労働集約的部門のみの産業化であるとし、「産業高度化」を推奨したものである。現状のままでは、先進国の多国籍企業に対する唯一の魅力は安くて大量の労働力だけであるところ、世界には、安くて大量の労働力を提示できるライバルが幾つも登場してきている。典型的には、中国及びベトナムである。従って、産業化の段階が現状のままでもかつ最低賃金が急上昇している状況では、早晚、先進国の多国籍企業は、直接投資先をASEAN4から中国、ベトナム等にシフトすることになり、それら諸国の産業化による経済社会開発は中断することになる。そのような事態を避けて、中長期的にサステイナブルな産業化による経済社会開発を継続するために、「産業高度化」、即ち高い技術を用いて、資本集約的で、利益率の高い生産部門を強化、拡大していくことを、政府の産業政策当局の強いイニシアティブによって推進していくことを推奨し、そのための全面的な協力を申し出たものである。

セカンド・アンバンドリングの進展は、特に現時点で貧困国、低所得国または低位中所得国のカテゴリーに属している発展途上国に、リープ・フロッグ的に世界最先端の技術水準の産業化を推進する可能性を大きく開くものとなる。これによって、現時点では産業化による経済社会開発が本格的には開始されていない多くの発展途上国においてその開始が可能になることになる。この意味で、セカンド・アンバンドリングの進展は、「大収斂」史観を強く支持するものとなる。

セカンド・アンバンドリング前、全ての機能ユニットが企業の中にバンドルされていた状態では、先進国の多国籍企業は、労働賃金の安さ、インフラの整備状況、国内法制の状態等を総合的に勘案することにより、企業全体にとっての最適な投資先を選択していた。多国籍企業が、技術水準が低い労働集約部門だけではなく、技術水準が高い資本集約部門をも含めて直接投資を考えている場合には、発展途上国の中でもある水準以上の経済発展を遂げた国が選択されることになる。このため、現時点において相応の産業化に成功している発展途上国では今後更なる産業化が推進され、一方でそれに成功していない発展途上国では大変な困難に直面することになる。すなわち発展途上国の「峻別」が進むことになる。

一方セカンド・アンバンドリング後は、国家全体としての経済発展は進んでいなくとも、その中に存在するある工業団地が先進国の多国籍企業の特定の機能ユニットにとって魅力ある条件を備えていれば、直接投資が実現することになる。この意味で、現時点で国家としての経済発展が進んでいない発展途上国に大きな発展の機会がもたらされることになり、「大収斂」史観を支持することになる。

実際に、カンボジアのような成功例も出てきている。

ASEAN 域内においては、カンボジアは国家全体としての一人当たり所得は低い(注 11)にもかかわらずハイテク部門の直接投資受入れが拡大しているのがカンボジアである。ソビエト連邦が崩壊した 1991 年にカンボジア和平を達成したカンボジア政府は、1994 年 7 月の ASEAN 外相会合において、準備が出来次第 ASEAN に加盟する意向を表明し、了承された。カンボジア政府は、外資主導で、かつハイテク部門をも含む産業化を急速に推進するために、1994 年に、CDC(カンボジア開発評議会：Cambodian Development Committee)によるワン・ストップ・サービス制度という画期的な外資導入策を構築し、それが今日に至るまで功を奏している。

4.2 インダストリウム・モデル

第2の理論的枠組みは、筆者が構築に取り組んでいるインダストリウム・モデルである。これは、産業政策当局と呼ばれる政府内の部局が強力なイニシアティブを発揮して、国家の産業社会の中に、後述するインダストリウムという社会システムを構築、運営するものである。政府内に産業政策当局が構築されることと、政府により NIS が策定されることをその特色とする。

産業政策当局とは、後述するように、産業システムの構築、運営と、インダストリウムの構築、運営に関する政府全体の調整を行う政府の部局のことである。NIS (National Innovation System) とは、政府が取りまとめ、発表する、国家の発展の方向性に関する基本的なシナリオのことである。

インダストリウム・モデルの基礎は、倉都康行が考案した、資本システムの考え方である(注 12)。倉都は、近代資本主義システムの中で資本が増殖していくための産業社会における社会的インフラストラクチャーとして、金融システム(Financial System)と資本システム(Capital System)とをそれぞれ独立した社会的制度として捉える見方を提示した。

金融システムとは、金融産業及びそれを健全に機能させるための社会的制度を包含する概念である。基本的な構成員は、金融業界の銀行、証券会社、投資信託、投資顧問、保険会社等、及び規制当局(行政庁)である。金融業界の活動を健全に機能させるために、規制当局は活動を日常的に監督し、自己資本強化による健全化等を厳しく指導する。これらの活動を包含して、金融システム、と呼ぶ。

これとは独立して、「資金を資本に転換する」動学的な信用創造体系を、資本システム、として独立した社会的制度として捉えるのが倉都の資本システムの考え方である。

近代資本主義システムにおいては、資本は増殖しなくてはならない。そのためには、金融システムが健全に機能していることは絶対の必要条件であるものの、それだけでは足りず、資

本が増殖していくために必要な社会的インフラストラクチャーが整備されていなくてはならない。金融システムは、そのような社会的インフラストラクチャーが十分に整備された上で、実際に増殖した資本を投資家等に還元していくという実務を担当することになる。

社会的インフラストラクチャーに関する具体的な課題としては、分配、雇用、投資、融資等に関する余剰資本の利用法、借入、社債、株式発行等資本調達の手法の多様化、証券投資、不動産投資等資産運用機会の拡大等がある。これらの課題に対応する社会的制度を包括して資本システムと呼ぶ。

資本システムにおいては、資本市場のプライシング機能が重要な役割を果たす。また、金融システムの健全性が自己資本比率という数字で明確にとらえられるのに対して、資本システムにおいては難易度の高い健全性が求められることになる。

金融システムは、金融産業の態様は各国毎に法律等で規定され、またそれらの監督も各国の行政庁が行うものであることから、国家の枠が比較的強く見られるものとなる。一方資本システムは、国家の枠を超えて、グローバルな展開が見られる面が多いものとなる。倉都は、「企業や投資家が広義の資本市場を通じて相互の利益を拡大させることにより、資本主義経済の拡張を図るグローバルなシステム」のことを、グローバル資本システム(Global Capital System)、と呼んでいる。

資本システムにしてもグローバル資本システムにしても、近代の世界の歴史において、順次構築されてきたものであり、今日なお進化の途上にあるものである。

今日見られる資本システムを構成することになる歴史的な重要産物として、倉都は以下を挙げる(注 13)。

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、ポンド決済の拡大とドルによる承継による基軸通貨の誕生である。

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見える化である。

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。

このような資本システムを金融システムとは別に捉えていく視座は、各時代の経済状況を適切に見通すために極めて高い効果を持つものとなる。例えば倉都は、2008年のリーマン・ショック以降の現下の国際経済情勢を以下のように説明する。中国の大規模な財政出動、先進国の大規模な金融緩和等により、景気は拡大し、株高、低金利が見られることから金融システムは大きく安定した。一方で、巨額の官民債務、中央銀行の超緩和策、金融規制緩和の上に多くの地政学的リスクが存在し、また多くの国家においてポピュリズムが台頭してきていることから、資本システムは不安定化しつつあると見られる。

以上が倉都の金融システムと資本システムの2層構造モデルである。

筆者の提唱するインダストリウム・モデルは、この2層構造モデルに産業システム(Industrial System)を加えた3層構造モデルである。

近代資本主義システムにおいて資本を増殖させるための資本システムの重要な機能には、資本を拡大するためのメカニズムを構築することであると言える。すなわち、比較的风险が低く、資本収益率が長期に亘って安定しているために、中長期的に持続可能な資本の増殖を可能にする投資先を構築することが必要となる。その投資先としての産業を、ここでは基幹産業、と呼ぶこととする。

改めて倉都の2層構造モデルを整理すると、金融システムとは、資金(financial asset)のマネジメントに関する社会的制度であると言える。資本の増殖は、最終的には金融システムにおいて行われることになる。金融システムが機能するためには、資金を資本化し、増殖させるための社会的インフラストラクチャーである資本システムが機能していなければならない。一方でこれらの2つの機能によって実際に資本が増殖するためには、中長期的に持続可能なリターンを保証する資本の投資先、すなわち基幹産業が必要であることになる。近代の歴史を見ると、基幹産業の態様は製造業であることが多かったものの、必ずしも製造業でなければならぬわけでもない。倉都の整理では、資本システムが誕生したのは12世紀から15世紀にかけてのイタリアのことであるとされるところ、この時期における基幹産業は商業であった。また15世紀から17世紀にかけての大航海時代においては、基幹産業は国際的な貿易業であった。一方、産業革命以降は、基本的には基幹産

業は製造業であると言える。

問題は、資本システムを安定、強化していても、それらによって自動的に基幹産業が育成されるのではないことである。資本システムの安定、強化の役割を担う主体と、基幹産業の育成に関わる主体は大きく異なる。そこで筆者は、基幹産業の育成に関わる社会的制度を独立に取り上げ、それを産業システムと呼び、金融システム及び資本システムと合わせて3層構造のモデルを考える。そのような3層全体のことを、インダストリウム (Industriium: 産業体)、と呼ぶこととする。

産業システムは、基幹産業が製造業である場合には、主体は、政府における産業政策当局及び製造業を担う企業であることになる。

更には、必須ではないものの、以下のような主体も重要な役割を果たすことになる。第1は、企業に対する支援機関であり、これには各種の政府系機関、及びコンサルティング業務を行う、いわゆる「士業」がある。

第2は、製造業に関する人材育成システムである。実務系教育を担う教育機関(注 14)及び各種の職業訓練機関がそれに含まれる。

第3は、DFI (Development Finance Institutions: 開発金融機関)である。DFI は、開発金融を担当する金融機関である。開発金融とは、市場の失敗が発生する分野に対して供給される資金のことであり、原理的に商業性はない。すなわち資金の供給による収益はない。このため DFI は、金融機関ではあるものの資本の増殖過程には加わらないため、金融システムの主体とはならない。DFI は多くの場合政府によって設立、運営されており、その主たる役割は基幹産業の振興であると言える。

以上を図示すると、図1のようになる。

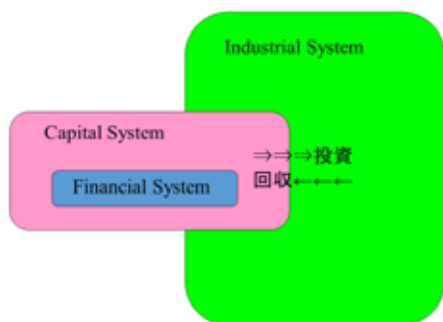


図1: インダストリウムの構造

3つの層における政府の役割を整理すると、以下のようにな

る。

金融システムの主体は、金融産業に属する(民間)金融機関と、それを監督する政府である。資本システムの主体は、金融機関の健全で円滑な機能を支える社会的インフラストラクチャーを構築する政府または各種の公的機関である。産業システムの主体は、政府(産業政策当局)及び基幹産業の生産活動を担う(民間)企業である。これら3層に跨る、資本の増殖過程に関係する政府の役割の領域を、ガバメントイウム (governmentium: 政府体)と呼ぶこととする。

これを図示すると、以下のようになる。

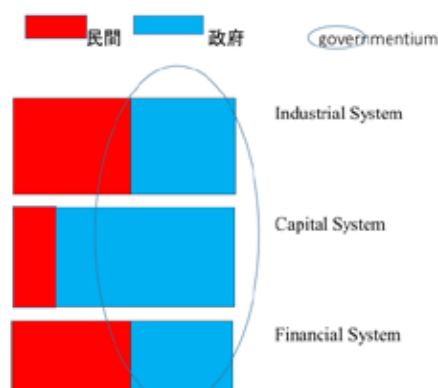


図2: 3層構造と政府の役割

4.3 インダストリウム・モデルと第3新近代論

それでは、以上のようなインダストリウム・モデルはどのように第3新近代の現実を説明するのか。

インダストリウム・モデルで言うガバメントイウムとは、「近代資本主義システムにおける資本の増殖過程に関与する」政府機能のことである。政府には、資本の増殖過程への関与以外にも数多くの機能がある中で、敢えて、特にその機能「だけ」に着目した概念である。

第3新近代論の最大の関心事は、全ての発展途上国が産業化による経済社会開発を成功させることができるかどうかである。発展途上国が産業化による経済社会開発を成功させるためには、政府の果たすべき役割は大変に重要なものである。一方で、政府は産業化による経済社会開発だけをその機能とするのではなく、その他の極めて広範な機能を担っており、実施している。

政府の形態は、近代の局面毎に異なったものとなっているところ、実際にそれぞれの時点において産業化による経済社会開発の機能を担当するのは、それぞれの局面において成立している独特の形態の政府である。以下見ていくように、政府の機能として産業化による経済社会開発が重視されるのは、近代史の中では極めて限られた状況だけであり、近代史を俯瞰して見ると、それら、それぞれの局面において成立し

ている独特の形態の政府は、産業化による経済社会開発という機能の観点からみると、圧倒的に「他の機能」を担っていることになる。

筆者の提唱するガバメントイウムという概念は、金融システム、資本システム及び産業システムに跨る資本の増殖過程に関係する政府及び政府関係機関を指す概念であり、それはすなわち産業化による経済社会開発という機能を担当する政府の形態を、金融システム、資本システム及び産業システムの3層構造のインダストリウム全体で、すなわち産業政策の実施だけではなく金融面及び資本に関する社会的インフラストラクチャーをも含めて捉えたものであると見ることができる。

近代の発展途上国において実際に存在した政府の形態を、このガバメントイウムの考え方で整理すると、以下のような不可逆的な局面遷移を捉えることができる。

第1局面は、インダストリウムの構築による産業化の機能が政府の果たすべき主要な機能としては組み込まれていない形態の政府である。政府の主要な機能としては、第1に、外交、治安(安全)、憲法上保証する国民としての最低限の生活の保障等の機能(これを、行政サービスの基礎機能、と呼ぶこととする。)、及び第2に富の(再)配分機能であるとされる。この局面の政府においては、産業政策当局は存在しない。

インダストリウムを構成する3つの社会的制度について見ると、金融システムについては、当局の厳密な規制を欠いては機能しないものであるため、この局面の形態の政府においてもそれを規制する部局は存在し、機能している。また、資本システムについても、担当する部局は存在し、機能している。一方で、産業システムの構築、運営に関する部局(産業政策当局)を欠いていることから、インダストリウムを包括的に構築、運営することができないことになる。

このような形態の政府を、ここでは政治的ガバメントイウム(Political Governmentium)と呼ぶこととする。

第2局面は、政府の果たすべき主要な機能の1つとして、インダストリウムの構築、運営による産業化の推進が組み込まれており、強大な産業政策当局が構築されている形態の政府である。

このような形態の政府を、ここでは開発型ガバメントイウム(Developmental Governmentium)と呼ぶこととする。

開発型ガバメントイウムにおいては、政府に求められる重要な機能として、政治的ガバメントイウム同様に、行政サービスの基礎機能と富の(再)配分機能が挙げられる。それに加えて、インダストリウムの構築、運営による産業化の推進が重要な機能として求められる。

開発型ガバメントイウムにおけるインダストリウムを構成する3つの社会的制度について見ると、金融システム及び資本システムについては、政治的ガバメントイウム同様に、担当す

る部局が存在し、機能している。それに加えて、産業システムの構築、運営を行う産業政策当局が存在し、それが同時にインダストリウム全体の円滑な運営のための調整機能をも果たしている。すなわち産業政策当局は、先述した産業システムを所掌し、その構築、運営を実施すると同時に、政府全体において、特に金融システム及び資本システムを担当する部局との調整を行い、インダストリウム全体の円滑な運営を行うという調整機能の2つの機能を果たすものであることになる。

更に産業政策当局は、インダストリウム全体の円滑な運営を行うための国家全体の歩むべき道筋を示した基本的なプログラムを発表し、関係機関、国民の協力を仰ぐ。そのような基本的なプログラムは、NIS(National Innovation System)と呼ばれる。

世界で最初に明確な形態をとった開発型ガバメントイウムの例としては、1950年代以降20世紀中の日本の通商産業省のモデルを拾うことができる。通商産業省は、所管官庁として産業システムの構築、運営に関する業務を遂行するとともに、政府全体において、インダストリウム全体の円滑な運営のための各種の調整機能を果たした。すなわち、金融当局、財政当局、政府系金融機関等の中で、産業化による経済社会開発の観点に基づく調整を行った。

日本政府は、NISとして、5次に亘る全国総合開発計画を取りまとめ、発表した。目標年次を1970年に設定した全国総合開発計画は1962年に、目標年次を1985年に設定した新全国総合開発計画は1969年に、目標年次を1987年に設定した第3次全国総合開発計画は1977年に、目標年次を2000年に設定した第4次全国総合開発計画は1987年に、目標年次を2015年に設定した「21世紀の国土のグランドデザイン」は1998年に、それぞれ閣議決定された。

また通商産業省は、通商産業省自身のNISとして、「1970年代の通商産業ビジョン」、「1980年代の通商産業ビジョン」、「1990年代の通商産業ビジョン」及び「2000年代の通商産業ビジョン」をそれぞれ取りまとめ、発表した。

この日本の通商産業省のモデルは、20世紀後半のいはは特に東アジア諸国に伝播し、多くの東アジア諸国は、同様の体制を構築した。例えばマレーシアは、日本の通商産業省と同じ名称の行政庁(Ministry of International Trade and Industry)を1990年に設立している。

それら東アジア諸国の幾つかは、NISを策定するための専門の行政庁、すなわち産業政策当局が果たすべき調整機能を専門に担当する行政庁を設けた。タイでは、国家経済社会開発庁(NESDC:Office of the National Economic and Social Development Council)がその任に当たる。インドネシアでは、NISを担当するのは国家開発企画庁(BAPPENAS:Badan Perencanaan Pembangunan

Nasional)であり、これが20年毎の長期国家開発計画(Rencana Pembangunan Jangka Panjang)と5年毎の中期的国家開発計画(Rencana Pembangunan Jangka Menengah)を設定する。それを確実に実施するために、5年毎の実施戦略計画(Rencana Strategis Kementrian/Lembaga)が策定され、さらに1年毎の政府行動計画(Rencana Kerja Pemerintah Rencana Kerja Pemereintah)及び政府実施計画(Rencana Kerja Kementrian/Lembaga)を策定している。

政府の形態に関する局面遷移については、既に公文俊平が情報社会学近代化論で国家建設の局面論として整理を行っている。筆者が公文の最新刊(注15)をもとに拙著(注16)で整理したところでは、情報社会学近代化論では、近代における政府の形態(国家化)を以下のように分類している。

第1局面は、概ね16世紀半ばから19世紀半ばにかけての主権国家(Sovereign States)建設局面であり、これは絶対制期、立憲君主制期、及び民主制期に細分される。第2局面は、概ね18世紀半ばから21世紀半ばにかけての国民国家(Nation States)建設局面であり、これは、欧米中心期、一部の発展途上国の追従期及び全球期に細分される。第3局面は、概ね20世紀半ばから23世紀にかけての統合国家(Integrated States)建設局面であり、これは、欧州統合期、アジア統合期及び全球統合期に細分される。

この公文の枠組みと、インダストリウム・モデルとを対照させると、以下のようにまとめられる。

開発型ガバメントが確立したのは20世紀半ばのことであり、公文の理論的枠組みにおいては、国民国家建設局面の、一部の発展途上国の追従期に当たる。この局面において国民国家建設を推進しつつある一部の発展途上国は、政府の機能として、行政サービスの基礎機能及び富の(再)配分機能に加えて、産業化による経済社会開発をも重要な機能であると認識し、そのための手法として、インダストリウムの構築に取り組んだものと見ることができる。

20世紀後半以降、世界の国家建設の潮流は、国民国家建設局面の全球化期と第3局面である統合国家建設局面とが重疊的に進展している状況にあるとされる。このような状況では、以下の2つの方向で、開発型ガバメントの構築が進められているものと見ることができる。

第1は、多くの発展途上国において、産業政策当局の整備が進み、開発型ガバメントを構築する発展途上国の数が拡大していくことである。

第2は、統合国家において、統合国家全体の産業化による経済社会開発を推進することを任務とする行政庁が構築され、機能を始めている。

その典型は、ASEANである。ASEANは、1992年のAFTA

— CEPT (ASEAN Free Trade Area - Common Effective Preferential Tariffs) 合意以降、ASEAN事務局がイニシアティブを発揮してASEAN市場統合の動きを進め、2015年12月31日のAEC (ASEAN Economic Community) 発効を実現した。この場合のASEAN事務局については、ある種の産業政策当局の機能を果たしていたものと見ることができる。またASEAN事務局は、2018年にはASEAN全体のNISである『ASEAN Vision 2040』を発表した。

このようなASEANに見られる統合国家としての開発型ガバメントの例は、今後も幾つかの地域機構において広まっていくものと見られる。

それでは開発型ガバメントは、「大収斂」史観の理論的枠組みとなるのかを検討することとする。

政府の形態が政治型ガバメントである場合、当該国家において意図的に、短期間に産業化による経済社会開発を成功させることは困難であると言える。行政サービスの基礎機能と富の(再)配分機能は産業化による経済社会開発の前提条件であるとしても、あくまで前提条件でしかない。その前提条件が揃っていても、実際に産業化による経済社会開発が成功するかどうかは他の外生要因によることになり、そのような外生要因が備わっている先進国ではそれは成功しても、備わっていない大半の発展途上国では成功しないことになる。

政府の形態が開発型ガバメントになると、発展途上国にとっても産業化による経済社会開発の成功の可能性が開ける。

開発型ガバメントによる産業化による経済社会開発が成功するためには、既に見たように、産業政策当局による産業システムの構築と運営、及びインダストリウム全体の調整、の2つの機能が十全に発揮される必要がある。

産業システムの構築と運営は、村上開発主義の言う、開発主義体制下における産業政策当局が実施することになる。すなわち開発主義体制下における産業政策当局が整備されていることが前提となる。

開発主義の考え方に立脚すると、産業政策当局を整備することは、全ての発展途上国にとって可能なことではない。村上自身、開発主義は、政治形態はさておいても、少なくとも国民国家の国家建設が相当進んだ状態において可能な体制であるとしている(注17)。

世界では、現在数多くの発展途上国が、これら2つの機能を果たす国家建設に注力しているところである。すなわち今日の世界では、政治的ガバメントの構築に成功している発展途上国とその途上にある発展途上国の「峻別」が見られることになる。したがって政治的ガバメントの構築後でなければ産業化による経済社会開発を開発型ガバメント

の方法で推進することはできないとするならば、「峻別」史観に繋がることとなる。

一方筆者は以下のように、政治型ガバメントウム、開発型ガバメントウムに続く第3のガバメントウムの類型を考えることにより、「大収斂」史観のインダストリウム・モデルを構築することができると思われる。

政治型ガバメントウムにおいては、政府に求められる機能は、行政サービスの基礎機能及び富の(再)配分機能の2つであり、開発型ガバメントウムにおいては、これら2つの機能にインダストリウムの構築、運営という機能が加わり、それを実施するために産業政策当局が構築されることとなった。

ここで問題になるのは、これまで当然のことと考えていた、インダストリウムの構築、運営は政府が行うという前提である。

政府は産業社会の運営に関する最も強力な主体であることは疑いないものの、筆者は、インダストリウムの構築、運営については、必ずしもそのような強力な主体は必要なく、インダストリウムの構築、運営という機能を政府という主体からアンバンドルして考えることができるのではないかと考える。すなわち、徴税、国防に関する徴兵、刑法犯に対する収監等の強い権力(公権力)の行使を必要とする機能と比べると、インダストリウムの構築、運営は、さほど強い権力の行使を必要とはしないため、必ずしも強い権力を有する国家の政府という主体でなくとも実施できるのではないかと考える。

開発型ガバメントウムの典型である日本の通商産業省のモデルにおいても、機能の中核を担ったのは、「法律に基づかない」行政指導であったことを想起すべきである。民間企業は行政指導に反したとしても刑法上の処罰を受けることはなく、通商産業省のモデルが機能したのは、あくまで民間企業が通商産業省に「説得」されたためである。

このような考え方に立脚するならば、アンバンドルによって多様な可能性を探ることができることになる。

アンバンドルされた場合、政府に代わってインダストリウムの構築、運営の機能を果たすことができる主体として、今日では以下のようなものを挙げることができる。

第1は、民間企業である。

既に、従来は政府のみが実施することができると考えられていた機能を、政府と民間企業との協働によって実施する手法は、PPP(Public Private Partnership:官民協調)として確立されており、日本でも、刑務所の運営等多数の実例が見られている。

これに加えて、近年では、いわゆるプラットフォームと呼ばれる巨大な IT 企業が登場しており、その活動は、単なる商業活動を超越して、産業社会全体の運営に関する機能を果たすようになって来ていると見ることができる。

第2は、地域機構である。EU のように国家の主権の一部

を委譲された場合を除けば、今日世界で見られる通常地域機構自体は、政府ではない。一方で、先に ASEAN の市場統合の例で見たように、国家の主権を委譲されない状態であっても、地域機構は地域全体の産業化による経済社会開発の推進にとって極めて重要な役割を果たすことができる。

第3は、開発金融機関(DFI)である。

先述のように、開発金融とは、市場の失敗に対応するファイナンスである。市場メカニズムにおいては社会的に必要な(socially optimal)量と比べて過少供給しか行われなために、政府関係機関である DFI が供給するものである。

実際に、後述するように、南部アフリカ地域では、各国の DFI は、市場の失敗金融の供給という役割を超えて、地域の包括的な産業化による経済社会開発のプログラムを自ら策定し、実施しようとしている。しかも、各国毎に設立されている DFI の国際的なネットワークを構築し、その国際的なネットワークを産業化による経済社会開発の主体としようとしているところに大きな特徴がある。

以上のように、インダストリウムの構築、運営の機能は公権力の主体である政府にバンドルされることは必要ではない。政府の求められる必要な機能は、他の主体がある国家における産業社会で産業化による経済社会開発を推進する機能を発揮することを可能にするプラットフォームを提供することであると考えられる。

すなわち、従来の行政サービスの基礎機能、富の(再)配分機能に加えて、そのようなプラットフォームの機能を備えたガバメントウムを考えることができる。そのようなガバメントウムを、プラットフォーム型ガバメントウム、と呼ぶこととする。プラットフォーム型ガバメントウムにおいては、政府の内部に産業政策当局は構築され、それがインダストリウムの構築、運営の機能を担うことになるものの、それは、プラットフォームの機能によって参加してきた政府とは別の主体との協働によって進められることになる。

以上を図示すると、[図3]のようになる。



図3: ガバメントウムの類型

このプラットフォーム型ガバメントウムは、現時点で産業

化による経済社会開発が遅れており一人当たり所得の低い多くの発展途上国に対して、急速な経済成長の成功を約束するものとなり得る。開発型ガバメントにおいては、インダストリウムの構築、運営は、政府の自力でのみ行わなければならない課題であったのに対して、プラットフォーム型ガバメントにおいては、他の主体との共同で行うことになるため、各段に容易なものになるためである。すなわちプラットフォーム型ガバメントは、「大収斂」史観の理論的枠組みとなる可能性がある。

4.4 プラットフォーム型ガバメントのアフリカにおける実践

現下の世界の発展途上国の産業化による経済社会開発に対する取り組みを俯瞰して見ると、第3新近代の主役、すなわち第2近代までの態様のグローバリゼーションにおいては「behind」とされかねなかった発展途上国を多く抱えるアフリカ、特にサブ・サハラ・アフリカの地において、プラットフォーム型ガバメントの実例と見ることができる動きが出てきている。

第1は、筆者が2019年3月に訪問したエスワティニである。エスワティニは、人口約140万人、2018年の一人当たりGDP(注18)は4,250ドルで、下位中所得国のカテゴリーに入っている。政治体制は、絶対王政から立憲君主制への移行を進めているところである。

このエスワティニ産業開発公社のMuzikayse Dube 総裁の招きによりエスワティニを訪問した筆者は、Siboiso Nkambule エスワティニ経済産業省筆頭次官、Dr. Sibongile M. Mtshali-Dlamini エスワティニ教育訓練省次官等政府要人と会談するとともに、エスワティニにおける発展戦略をテーマに、エスワティニ大学との共催セミナーを開催した(注19)。エスワティニ政府からは、既にエスワティニ政府において、産業政策当局を構築していることの説明を受け、更に、その産業政策当局を用いて実施すべき発展戦略について、日本の経験を踏まえた日本独自の提案を歓迎する旨の要請を受けた。説明によると、その時点で、欧州による発展戦略の提案及び台湾(注20)による発展戦略の提案を受けており、それに加えて日本による発展戦略の提案も受け、比較検討したとのことであった。

産業政策当局が、自国の発展戦略を世界に普及したいと考える世界の複数の先進国にとってのプラットフォームとして機能している実例である。

第2は、南部アフリカ開発共同体開発銀行協会である。拙著(注21)で述べたように、筆者は2013年以降、南部アフリカ開発銀行(DBSA: Development Bank of Southern Africa)及び南部アフリカ開発共同体(SADC: Southern

African Development Community)開発金融協会(dfrc: Development Finance Resource Centre)と連携し、南部アフリカ地域を対象とした、金融オーナーシップ型発展戦略と呼ぶ独特の発展戦略の構築に取り組んでいる。これは、アフリカにおける開発銀行の地域的なネットワークを構築し、各国国民国家ではなく、そのネットワーク自体が独立して政策を企画立案し、CNV(Commercially Non-viable: 商業性が成立しない)ファイナンスを提供することにより、SDGsを実現し、かつ各国の産業化による経済社会開発を実現していく、というものである。

これは、産業化による経済社会開発の実施が、政府そのものではなくサブ・ソブリンと呼ばれる開発銀行の、しかもその国際的なネットワークによって実施されるというものであり、近代史上初の試みとなる。それが可能であるとすれば、まさしく現下の南部アフリカ諸国の政府の中で産業化による経済社会開発を担当する部局については、その形態が、それぞれの歴史的経緯の拘束を受ける政治的ガバメントではなく、また各国がそれぞれ政府の所掌範囲内での機能に終始する開発型ガバメントでもなく、プラットフォーム型ガバメントの機能を発揮しつつあるものと見ることができる。

第3新近代とは、「Leave No One Behind」、すなわち地球上の全ての国々が産業化による経済社会開発に成功する局面であり、「大収斂」史観とは、本当にそれが可能であると考え、そのために必要な機能を実務的に検討する見解である。

現時点で世界には、貧困国のカテゴリーに属する発展途上国が、約50か国、世界の国家の約4分の1存在する。更に下位中所得国まで含めると、その数は合計約90か国、世界の国家の半分近くに達する。

それでもなお、今日世界で見られる多くの動きは、「Leave No One Behind」が可能であることを確信させてくれる。

第3新近代において筆者に与えられた課題の1つが、その理論的枠組みの構築であると認識し、そのための努力を日々続けて行こうと誓う次第である。

[注]

注1:この項における近代世界システム論の記述は、ウォーラステイン[1987]、及びウォーラステイン[1997]による。

注2:前田充浩[2016]。

注3:OECD『DAC List of ODA Recipients; Effective for reporting on 2018, 2019 and 2020 flows』。

注4:LDCは、一人当たり所得が低いことに加え、幾つかの経済指標が閾値以下となっている諸国のことである。一人当たり所得は低いものの、経済指標については閾値以上となってい

る諸国はその他低所得国とされる。

注5:ウェーバー[1989].

注6:Johnson[1982]及びジョンソン[1982].

注7:出典は国際連合ウェブサイト.

注8:グローバル生産ネットワーク分析(GPNA: Global Production Network Analysis)については前田充浩[2013]を参照のこと.

注9:ボールドウィン[2018].

注10:通商産業省[1993].

注11:2018年時点の一人当たりGDPは2,720ドル(出典,IMF World Economic Outlook 2019年4月版.).

注12:倉都康行[2014].

注13:出典は,倉都康之『グローバル資本システムの危機—不安定化する金融—』,産業技術大学院大学講演資料,2019年1月.

注14:初等中等教育,高等教育の両方を含む.実務系教育を担う高等教育の典型が,日本における高等専門学校(高専)である.

注15:公文俊平[2017].

注16:前田充浩[2018].

注17:村上泰亮[1993].

注18:出典,IMF - World Economic Outlook Databases (2019年4月版).

注19:2019年3月4日.

注20:エスワティニは台湾との外交関係を維持している.

注21:前田充浩[2018].

Policy, 1925-1975』,Stanford University Press,1982年.

[6]ジョンソン[1982]:チャーマーズ・ジョンソン『通産省と日本の奇跡』,矢野俊比古監訳,TBSブリタニカ,1982年.

[7]前田充浩[2013]:前田充浩(石島辰太郎との共著)『産業コミュニティ構築措置(ICBM)ーグローバル産業ネットワーク(GIN)下におけるアジアの発展戦略』,産業技術大学院大学2013年度紀要,産業技術大学院大学,2013年12月.

[8]ボールドウィン[2018]:リチャード・ボールドウィン『世界経済大いなる収斂—ITがもたらす新次元のグローバリゼーション』,遠藤真美訳,日本経済新聞出版社,2018年.

[9]通商産業省[1993]:通商産業省『ASEAN産業高度化ビジョンー産業政策のススメ』,通商産業調査会,1993年.

[10]倉都康行[2014]:倉都康行『金融氏の真実』,ちくま新書,2014年.

[11]公文俊平[2017]:公文俊平『人類文明と人工知能I』,NIRA研究報告書,2017年.

[12]前田充浩[2018]: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2018年度紀要,産業技術大学院大学,2018年12月.

[13]村上泰亮:村上泰亮『反古典の政治経済学』下,第7章『システムとしての開発主義』,中央公論新社,1993年.

参考文献

[1]:ウォーラー・ステイン[1987]:イマニュエル・ウォーラー・ステイン『資本主義世界経済(1)中核と周辺の不平等』,藤瀬浩司他訳,名古屋大学出版会,1987年.

[2]:ウォーラー・ステイン[1997]:及びイマニュエル・ウォーラー・ステイン『史的システムとしての資本主義』,川北稔訳,岩波書店,1997年.

[3]前田充浩[2016]: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2016年度紀要,産業技術大学院大学,2016年12月.

[4]ウェーバー[1989]:マックス・ウェーバー『プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神』,大塚久雄訳,岩波文庫,岩波書店,1989年.

[5]Johnson[1982]:Chalmers Ashby Johnson『MITI and the Japanese Miracle: the Growth of Industrial

産業技術大学院大学におけるデータサイエンス教育の取り組み —大学院授業と小中学生向けワークショップの実践—

大崎理乃*・柴田淳司*

A Data Science Education at Advanced Institute of Industrial Technology — Case Studies of the Graduate School class and Workshop for K-12 —

Ayano Ohsaki* and Atsushi Shibata*

Abstract

This paper reports two case studies of data science education at the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT). Recently, data scientist's demand has increased dramatically in the IT industry. To satisfy this need, AIIT has data science education classes for IT engineers. The authors proposed an Artificial Intelligence (AI) utilization in the class because students need to learn pragmatic knowledge and skills in a professional school. Additionally, the authors held a workshop of AI education for K-12 students as a part of the data science education based on the experience in that class at AIIT. The results of these cases suggested the usefulness of both programs.

Keywords: Data science, Artificial Intelligence, STEAM, Professional school, Workshop

1 はじめに

近年、ビッグデータ、IoT (Internet of Things)、人工知能(Artificial Intelligence, AI)といった多様な情報技術 (Information Technology, IT)ブームを受け、データサイエンティストの需要が高まっている[1]。その需要に応えるための教育プログラムも増加しており、海外における学位もしくは履修証明書が発行されるプログラムは、2015年に184件であったのに対し、2019年には603件まで増加している[2]。また、日本においてもデータサイエンスを専門に扱う学部が設立しつつある[3-5]ほか、大学が主導するデータサイエンス教育のコンソーシアムが立ち上がっている[6]。さらに、社会人向けのデータサイエンス教育も増加しており、代表的なものとして総務省統計局の実施しているオンライン講座がある[7]。

データサイエンスの対象範囲は広く、その内容を詳細に定義することは困難である。しかし、教育プログラムの検討に関する議論では、AIに関連する人材として、AI研究者、AIエンジニア、データサイエンティストが定義されている[8]。また、データサイエンティストであるConwayは自らのWebサイトでデータサイエンスの近接領域を整理しており、そこでは実装技術と数学的知識、実質的な専門性の3点が成立する場面をデータサイエンス領域、数学的知識と実装技術が両立する場面をAI理論の一つである機械学習と定義している

[9]。これらのことから、データサイエンス教育では、各自の専門性に合わせてAI技術を利用するための知識・技術に関する教育が必要であると考えられる。

そこで、著者らはデータサイエンス教育として、個人の専門性に合わせてAI技術を利用することに焦点をあてた教育プログラムを大学院と小中学校の2種類のレベルで検討することとした。本稿では、産業技術大学院大学(Advanced Institute of Industrial Technology, AIIT)でのデータサイエンス教育として、大学院での教育プログラムと小中学生向けワークショップの実践を報告する。

2 AIITでのデータサイエンス教育の取り組み

2.1 データサイエンス教育の先行事例

先に述べたとおり、国内外や対象レベルを問わず、様々なデータサイエンス教育プログラムが開講されている。米国パークシティ数学研究所で作成された学部向けデータサイエンス教育プログラム[10]では、データサイエンス概論と数学を基礎科目とし、統計学、アルゴリズム、機械学習、データ管理、応用実習を応用科目として設定している。一方で、日本での社会人向けデータサイエンス教育プログラムでは「統計データの利用」「統計学の基礎」「データの見方」「公的データの使い方とまとめ」という4段階で4週間のプログラムが構成されている[7]。

具体的な教育プログラムの設計と提供にとどまらず、デー

タサイエンス教育のカリキュラムを定義した例では、欧州の European Data Science Academy (EDSA) によって、様々なレベルの学習者を対象とした複数の教育プログラムが整理された「15 カリキュラム」がある[11]。EDSA のカリキュラムは、授業内容を「基礎」「ストレージと処理」「分析」「利用」の 4 ステージに分類した上で、「データサイエンスの基礎」「数学と統計学の基礎」「機械学習、データマイニングと基礎的分析」「データの可視化とストーリーテリング」など、15 の科目から構成されている[11]。さらに学習者は、EDSA の Web サイトから、自分自身のレベルや受講形式に合わせて様々な機関が提供する教育プログラムを検索できるようになっている[11]。

米国での学部向けプログラムは、データサイエンスの基礎となる数学から学習することを前提とした複数年のものであり[10]、専門職大学院における教育プログラムの検討には学習項目の精査と授業実践の工夫が必要となる。一方で、総務省統計局によるプログラムは、統計学が重視されており[12]、AIIT で実施するような IT 技術者育成のためのデータサイエンス教育とは求められる内容が異なる。しかし、学習者の自学自習や発展的学習を促すためには、授業がデータサイエンス教育のカリキュラムに位置づけることは重要と考える。そこで著者らは、IT 技術者育成のための専門職大学院として適切な学習内容と授業設計を、体系的なカリキュラムに関連づけて検討することとした。

2.2 AIIT における社会人向けデータサイエンス教育の事例

専門職大学院である AIIT では、主に社会人学生に向けたデータサイエンスに関する授業を開講している[13]。著者らの担当する「IT ソリューション特論」は、IT 技術の最新トピックを扱う科目であり、2016 年度授業から、データサイエンスをメイントピックとして扱い、短期間で業務に活用可能な実践的知識・技能を身に付けることを目的としてきた。当該科目では、社会で利用される AI サービス開発環境(以下、AI 開発環境)を利用したサービス開発やシステム開発といった、実務に直結した実践的科目として、AI の仕組みを理解し、AI を利用した新しいサービスを開発可能な人材の育成を目指した課題を実施している。2018 年度第 4 クォータに開講した IT ソリューション特論の授業計画は、ESDA のデータサイエンス教育カリキュラムの要素を網羅的に扱うものであった。授業計画を ESDA のカリキュラムに対応づけて整理したものを表 1 に示す。1 回あたりの授業時間は 180 分であり、授業は全 8 回開催された。

授業における第 1 の工夫は、数学や統計学などの理論的内容は最低限に留め、受講生が実データを解析しながらその見方やデータ分析方法の特性を理解できるようにしたことである。さらに、実践的内容に注力するために、分析に用いる数式は後から紹介する程度に控えた。

授業における第 2 の工夫は、実際に業務で使われること

の多い Application Programming Interface (API) や AI 開発環境の利用を、授業の中心的内容として扱い、専門的なプログラミングの実装は必須としなかったことである。具体的には、機械学習を扱う授業回では、Python のコードを解説した後で同様の動作を実現可能な API を紹介し、コードがほとんど書けない受講生でも、AI をツールとして利用できるよう工夫した。ほかにも、業務アプリケーションの構築支援サービス(業務ソフト)を利用することで、受講生がプログラミングスキルにかかわらず、チームで付加価値の高いサービスを開発するという授業の活動目標達成に専念できるよう工夫した。そして、API や AI 開発環境を利用したサービスの開発を課題とし、企業におけるサービス開発を擬似的に体験できることを目指した。

授業の結果、授業の設計意図通り、受講生自身の業務経験に基づいたサービスのプロトタイプが最終成果物として提出された。具体的には、実際のレンズ画像のデータからの異常検知システムや、株価の予測サービス、音声認識デバイスが作成された。また、授業評価アンケートの 5 段階評価では、有用性、継続学習性ともに 4 以上の高い評価を得た[14]。本授業では、定量的な分析を行っていないものの、これらの結果から、IT 技術者育成を目指す専門職大学院において、AI 開発環境を使用したサービス開発を中心とした網羅的データサイエンス教育プログラムの有用性が示唆された。今後学習プロセスなどの分析を行うことで、より詳細な評価と検討が期待される。

表 1: IT ソリューション特論の授業計画

授業回	学習内容	対応する ESDA ステージ
1	データサイエンスの基礎的知識	データサイエンスの基礎
2	データ分析の方法	
3	機械学習の基礎的知識と API を使った処理	分析
4	AI 利用サービスの事例紹介と AI 開発環境の利用	
5	業務ソフトによるデータ収集と管理 1	ストレージと処理 利用
6	業務ソフトによるデータ収集と管理 2	
7	チーム活動の成果発表	
8	まとめ	

また、IT ソリューション特論では、AI に関連する内容として、AI の理解を目的にした内容を第 3 回授業に、AI 開発環

境の使用に関する内容を第 4 回に扱った。中でも、AI 開発環境である IBM Watson Assistant[15]を使用したチャットボットの作成は第 4 回授業中に約 60 分をかけて行った。IBM Watson Assistant のインターフェースは、プログラミングに関する高度な専門的知識がない受講生でも操作可能なものであり、活動中の受講生からの質問は主にログイン方法と操作箇所の確認に関するものであった。これらのことから、第 4 回授業で使用した AI 開発環境は、体験的活動のための環境として適切と考えられる。

3 AIIT での小中学生向けワークショップの取り組み

3.1 小中学生むけ AI 教育プログラムの先行事例

初等中等教育では STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) 教育や STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育への注目の高まりとともに、データサイエンスやコンピュータサイエンスに関する様々な教育プログラムが、国内外を問わず行われている[16–18]。例えば台湾は、AI 教育の強化を発表しており、2019 年から小学校教育に AI 教材を導入している[19]。日本においては、小学校段階からプログラミング教育の実施と統計教育の強化の方針が示されている[20–21]。

小中学生を対象とした、AI 技術を利用するための知識・技術に関連する教育実践の多くでは、子ども向けに開発された教材を使用しており[22–24]、社会で利用される AI 開発環境を使用し、サービスやシステムを作成する実践は著者らの管見の限りでは報告されていない。しかし、子ども達の AI に対する概念的理解や AI 技術への興味・関心の促進には、AI 開発環境を使用した開発する経験は重要だと著者らは考える。ただし、AI 開発環境を利用した小中学生向け教育プログラムでは、事前に課題や操作の難易度について十分に検討を行なうことが求められる。そこで著者らは、大学院で実施したデータサイエンス教育プログラムを基に、IBM Watson Assistant[15]を用いた小中学生向けワークショップの活動デザインを提案し、実践した[25]。

3.2 ワークショップのデザイン

本稿で紹介するワークショップの目的は、参加者がチャットボットの作成活動を楽しみ、AI の基本である「人っぽい動きをするプログラム」への興味を促進することである。そこでワークショップの活動は、活動時間中に小学校高学年以上の児童・生徒がチャットボットのプログラムを完成させることを目標に設計した。ワークショップの活動時間は、60 分であった。目標の達成のため、(1) 難易度の異なる目標設定、(2) 操作回数の精査、(3) 段階的な操作難易度の向上、の 3 点を工夫した。ただし、AI 開発環境でのプログラミングを体験するという主旨のため、チャットボットのプログラミングに重要な概念となる「インサイト」「エンティティ」「ダイアログ」といった用語は、

平易な言葉に言い換えることなく、解説を加えて使用した。

第 1 の工夫である難易度の異なる目標設定では、参加者全員が達成を目指す「標準目標」と、標準目標の達成者がさらに発展的に達成を目指す「発展目標」の二つを設定した。標準目標達成のための活動は、画面からの入力に対して決められた返事を返すだけの単純な対話を、ファシリテーターの案内と共に操作するチュートリアル形式の活動であった。発展目標は、参加者自身が自由にチャットボットとの対話を考えプログラムし、オリジナルチャットボットを作成することとした。本稿では、標準目標達成を目指す活動をフェーズ 1、発展目標達成を目指す活動をフェーズ 2 とする(表 2)。

第 2 の工夫である操作回数の精査では、標準目標達成のために、ボタン押下回数 11 回、文字入力回数 9 回で完結するように活動を整理した。ボタンの押下回数には、「前の画面へ戻る」などの、画面遷移のためのボタン操作を含んだ。

第 3 の工夫である段階的な操作難易度の向上では、標準目標の達成を目指すフェーズ 1 の活動を三つの活動に分割し、簡単な操作から活動を開始した。さらに、標準目標の達成後に発展目標に取り組むこととした。本研究で提案する活動のスケジュールは表 2 のとおりである。

このほかに実践の工夫として、活動の支援体制を整備した。具体的には、キーボード入力の支援としてローマ字対応表の配布、発展課題の支援としてチャットボットプログラムのサンプル提供、活動全体の支援のためにサポートスタッフの準備の 3 点を行なった。サポートスタッフは、全体のファシリテータ 2 名のほか、活動のアシスタントとして情報系の大学院生と大学教員が計 4 名参加し、スタッフ 1 名の支援対象が参加者 4 名以下になるよう準備した。

表 2: ワークショップの予定タイムスケジュール

活動フェーズ	No.	内容	予定時間
-	1	ガイダンス	5 分
1	2	勉強済みのチャットボットと話そう(標準目標)	5 分
	3	勉強していないチャットボットと話そう(標準目標)	5 分
	4	チャットボットに会話を教えよう(標準目標)	20 分
2	5	オリジナルチャットボットをつくらう(発展目標)	20 分
-	6	まとめ	5 分

3.2.1 実践の内容

実践は、2019年春に自治体主催の科学技術振興イベント(以下、科学イベント)の一部として行われた。本ワークショップの開催会場では、いくつかの科学技術教育プログラムが同じ時間帯に実施された。参加者の募集は、科学イベントのWebページと当日配布された科学イベント全体のチラシにて行われた。募集のための案内では、本ワークショップがコンピュータサイエンスの基礎的内容を扱うことと、チャットボットの作成を予定していることが案内された。対象者は小学校高学年以上とし、保護者のサポートが得られる場合のみ小学校低学年の参加を受け入れた。

科学イベント当日は、60分のワークショップを全3回行い、述べ44名の小中学生が参加した。ワークショップ参加者(以下、参加者)の学年分布は表3のとおり、性別分布は表4のとおりである。また、実践後に行なったアンケートから、参加者のうち約26%がコンピュータをほぼ毎日利用しており、一度もコンピュータを使っことがない参加者は約19%であることが確認された(表5)。参加者の参加理由は表6のとおり、内容に関する興味・関心が最も多かった。また、アンケート回答者のうち約94%が、ワークショップの参加前に「AI」という言葉を聞いたことがあり(表7)、約70%がプログラミング経験を有していた(表8)。

表3: 参加者の学年分布

学年	割合(人数)
小2	2%(1)
小3	7%(3)
小4	34%(15)
小5	25%(11)
小6	23%(10)
中1	9%(4)

表4: 参加者の性別分布

性別	割合(人数)
男子	59%(26)
女子	41%(18)

表5: 参加者のコンピュータ利用頻度分布

頻度	割合(人数)
ほぼ毎日	26%(11)
1週間に1~2回	16%(7)
1ヶ月に1~2回	28%(12)
1年間に1~2回	7%(3)
1年間に1回以下	5%(2)
使ったことがない	19%(8)

表6: 参加の理由

理由	割合(人数)
内容がおもしろそうだったから	63%(27)
友達からさそわれたから	5%(2)
おうちの人や先生にすすめられたから	28%(12)
その他	5%(2)

表7: 参加時のAIに関する既存経験

	割合(人数)
ワークショップに参加するまでに、AIという言葉聞いたことがあった	95%(35)
ワークショップに参加するまでに、AIという言葉聞いたことはなかった	5%(2)

表8: 参加者のプログラミング経験

	割合(人数)
ワークショップに参加するまでに、プログラミングをしたことがある	70%(26)
ワークショップに参加するまでに、プログラミングをしたことはない	30%(11)

3.3 実施結果の評価方法

ワークショップは、活動時間中に小学校高学年以上の児童・生徒がチャットボットのプログラムを完成させることを目標として、活動が設計されているため、第1の評価基準には参加者の標準目標達成有無を採用した。評価の方法は、サポーター及びファシリテーターの目視確認とした。

さらに、第2の評価方法として参加者を対象としたアンケートを行なった。配布したアンケート用紙の設問から、イベント名称を「ワークショップ」に修正したものを図1にて示す。回答の選択肢は「1(全くそう思わない)」「2(そう思わない)」「3(どちらともいえない)」「4(少しそう思う)」「5(とてもそう思う)」の5段階で設定した。表9はアンケートの結果であり、縦軸は回答された選択肢、横軸は各設問、設問番号下部の括弧内数字は回答者数を表す。なお、回答の肯定及び否定の選択肢が対照となっていないため、1,2を否定的回答、4,5を好意的回答として考察する。

問1	ワークショップは楽しかった
問2	ワークショップは勉強になった
問3	人っぽい動きをするプログラムに興味を持った
問4	人っぽい動きをするプログラムのしくみが分かった
問5	またパソコンを使って、プログラムを作りたい

図1: 参加者アンケートの設問

3.4 実施結果と考察

実践の結果、参加者全員が表 2 におけるフェーズ 1 でのチャットボット作成を完了し、標準目標の達成が確認された。このことから、コンピュータの操作スキルにばらつきがあっても、提案方法程度まで入力作業を簡略化することで、AI 開発環境でのチャットボット作成活動が可能であるといえる。

表 9 に示す参加者アンケートでは、いずれの設問でも 70%以上の好意的なフィードバックを得た。これらの結果から、本ワークショップは小中学生への AI 開発環境を使用した AI 利用経験の提供と、AI への興味・関心の促進という観点で一定の効果があったものと考えられる。

しかし、AI やチャットボットの理解に関する問 4 では約 22%からの否定的な回答が確認された。また、自由記述には「説明が難しかった」という意見もあった。本実践では、仕組みや内容理解の評価方法にアンケート調査のみ採用しており、より適切な評価のためには他の評価方法によるデータが求められるものの、これらの結果からは楽しさや興味・関心だけではなく、内容理解という観点からはさらなる改善が必要と考えられる。今後、AI やチャットボットの仕組みをより体感的に学習できるような学習活動の検討が求められる。

表 9: 参加者アンケートの回答結果

選択肢	問 1 (35)	問 2 (37)	問 3 (37)	問 4 (37)	問 5 (37)
5	83%	73%	76%	59%	84%
4	11%	11%	11%	14%	3%
3	0%	5%	8%	5%	8%
2	0%	5%	0%	14%	0%
1	6%	5%	5%	8%	5%

4 おわりに

本稿では、AIIT でのデータサイエンス教育として、大学院での教育プログラムと小中学生向けワークショップの実践を報告した。

大学院での教育プログラムでは、IT 技術者育成を目的とした専門職大学院の教育プログラムの検討を目的として、データサイエンス教育カリキュラムの要素を網羅的に扱う授業を提案し、具体的な授業での工夫として(1)実データを解析しながらのデータ分析方法を多く行う、(2)業務に直結しやすい API や AI 開発環境の利用を中心的内容として扱う、の 2 点を行った。授業の結果、授業の設計意図通り、受講生自身の業務経験に基づいたサービスのプロトタイプが作成されたほか、授業評価アンケートの結果、有用性や継続学習性が高いとの評価を得た。

小中学生向け教育プログラムであるワークショップは、参加者がチャットボットの作成活動を楽しみ、AI の基本である

「人っぽい動きをするプログラム」への興味を促進することを目的に設計された。ワークショップ設計の目標は、活動時間中に小学校高学年以上の児童・生徒がチャットボットのプログラムを完成させることである。具体的な目標達成のための工夫として、(1)難易度の異なる目標設定、(2)操作回数の精査、(3)段階的な操作難易度の向上、の 3 点を行った。実践の結果、参加者全員が、基本的なチャットボットプログラムを完成させたことが確認された。また、参加者アンケートでは、参加者の 70%以上から好意的なフィードバックを得た。

これらの結果から、本稿で報告した実践では、大学院での教育プログラム及びワークショップの両者において、それぞれの有用性を確認したと考える。また、大学院レベルの授業実践での検討結果を活用することで、小中学生向けワークショップがより社会での実践的な開発を視野に入れたものとなり、IT 技術者育成と IT 技術の利用者教育の両面から独自性の高いものになる可能性がある。

今後検討が求められる最も大きな課題は、学習成果と学習プロセスの評価である。本報告で扱った二つの実践では、学習成果物などを基にした学習状況の評価は実施していないため、教育プログラムの検討としては不十分である。今後、学習プロセスの評価を含め、より詳細に学習の状況を把握することが必要となる。さらに、それらのデータを基に、学習者の内容理解を促進する教材や授業の検討が求められる。

付記

本稿は、大崎・柴田(2019)[25]で発表した研究を発展させ、その成果をまとめたものである。

謝辞

本研究の実施にあたり、ワークショップの参加者にアンケートの回答へご協力いただいた。ここに記して感謝する。

参考文献

- [1] J. Manyika, M. Chui, B. Brown, J. Bughin, R. Dobbs, C. Roxburgh, and A. H. Byers, “Big Data: The Next Frontier for Innovation, Competition, and Productivity”, <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/big-data-the-next-frontier-for-innovation>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [2] 北川源四郎, “6大学コンソーシアムを中心とした数理・データサイエンス教育強化の取組,” 統計・データサイエンスにおける人材育成, 15th Jun. 2019, <http://qajss.org/jinse.html#openlectures>. (visited at 15th Sep. 2019)

- [3] 滋賀大学 データサイエンス学部,
<https://www.ds.shiga-u.ac.jp/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [4] 武蔵野大学 データサイエンス学部,
https://www.musashino-u.ac.jp/academics/faculty/data_science/. (visited at 15th Sep. 2019)
- [5] 横浜市立大学 データサイエンス学部,
<https://www.yokohama-cu.ac.jp/academics/ds/index.html>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [6] 数理・データサイエンス教育強化コンソーシアム,
<http://www.mi.u-tokyo.ac.jp/consortium/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [7] 総務省統計局, “社会人のためのデータサイエンス入門”, <https://gacco.org/stat-japan>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [8] 前一平, “AI 時代を担う人材の育成”, 立法と調査, No.405, pp.46-55, 2018
- [9] D. Conway, “The Data science Venn Diagram”, <http://drewconway.com/zia/2013/3/26/the-data-science-venn-diagram>, 2010. (visited at 15th Sep. 2019)
- [10] R. D. De Veaux, M. Agarwal, M. Averett, B. S. Baumer, A. Bray, T. C. Bressoud, L. Bryant, L. Z. Cheng, A. Francis, R. Gould, A. Y. Kim, M. Kretchmar, Q. Lu, A. Moskol, D. Nolan, R. Pelayo, S. Raleigh, R. J. Sethi, M. Sondjaja, N. Tiruvilumala, P. X. Uhlig, T. M. Washington, C. L. Wesley, D. White, P. Ye, “Curriculum Guidelines for Undergraduate Programs in Data Science”, *Annual Review of Statistics and Its Application*, Vol.4, pp.15-30, <https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-060116-053930>, 2016
- [11] Europa Data Scientist Academy,
<https://courses.edsa-project.eu/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [12] 総務省統計局, “データサイエンススクール 統計力向上サイト”, <https://www.stat.go.jp/dss/online.html>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [13] 産業技術大学院大学, “情報アーキテクチャ専攻”, https://aiit.ac.jp/master_program/isa/. (visited at 15th Sep. 2019)
- [14] 産業技術大学院大学, “AIIT FD レポート”, Vol. 26, (印刷中)
- [15] IBM, “Watson assistant”, <https://www.ibm.com/cloud/watson-assistant/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [16] readyai, <https://www.readyai.org/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [17] R. D. Poth, “Teaching Students about AI”, <https://www.gettingsmart.com/2019/01/teaching-students-about-ai/>, 2019. (visited at 15th Sep. 2019)
- [18] 平井卓也, “AI 戦略(人材育成関連)”, 内閣府,
<https://www8.cao.go.jp/cstp/siryoy/haihui043/siryoy1.pdf>, 2019. (visited at 15th Sep. 2019)
- [19] R. Jonnings, “小学校から「AI 教育」導入、台湾政府のサバイバル戦略”, <https://forbesjapan.com/articles/detail/27666/1/1>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [20] 文部科学省, “平成 29・30 年改訂 学習指導要領、解説等”, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm. (visited at 15th Sep. 2019)
- [21] 文部科学省, “新学習指導要領について”, http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shisetu/044/shiryoy/_icsFiles/afieldfile/2018/07/09/1405957_003.pdf. (visited at 15th Sep. 2019)
- [22] 文部科学省, “小学校プログラミング教育に関する研修教材”, http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1416408.htm. (visited at 15th Sep. 2019)
- [23] champierre, “ML2Scratch(Scratch2ML)”, <https://github.com/champierre/ml2scratch>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [24] 神谷加代, “「Googleが考える「AI×プログラミング」の授業案」-町田第三小学校で公開授業”, 2019, <https://japan.cnet.com/article/35140685/>. (visited at 15th Sep. 2019)
- [25] 大崎理乃, 柴田淳司, “小中学生を対象としたチャットボット作成ワークショップの実践”, 日本教育工学会 2019 年秋季全国大会講演論文集, pp.635-636, 2019

製品の創造プロセスの中で生み出される情報に関する考察 —建築創造プロセスからみた BIM に関する情報の体系的理解—

吉田 敏*

A Study of the Information in Creation Process of Products

Systematic Understanding of Information Structure related with Building Information Modeling (BIM) based on Creation Process

Satoshi Yoshida*

Abstract

The way of creating products/services that companies have established thus far may have brought an advantage in that field. However, amid changing environments and conditions, ways of thinking have to be continuously changed in many processes, and yet it is very difficult to completely grasp the contents of those ideal changes. In addition, even if the contents of the changes can be grasped, there will arise a need for discarding acquired competencies and transforming organizational structures and philosophies, in order to change the mentality of the entire organization.

Every project in the field of Construction has complicated process, and these processes are based upon different industrial fields. It is difficult to fix the way to order buildings which has own various conditions because of this this complicated characteristic. Therefore, discussion of this topic has not developed enough, so it is necessary to consider that immediately.

This paper discusses the aspect of Information on the process of construction projects, and tries to contribute to establish a fundamental theory of the concept of Building Information Modeling. Especially, the theoretical analysis of information creation on the process of construction projects shows the important points of issues for the foundation of Building Information Modeling.

Keywords: Design Process, Design Information, Emerged Function, Building Information Modeling

1 はじめに

建築は、一つ一つが異なる場所、異なる時期、異なる目的で創られる。敷地が隣り合わせの建築プロジェクトでも、接道条件、方位、敷地面積、用途、予算など、多くの創造因子で異なる面が含まれていることになる。まして、主要用途、副次的な用途などは、多くの場合に異なることになるが、創る考え方、大切にすべき要素、用途同士の関係性に関する思想など、作り手の創造に関する多くの面が影響を受けることになり、創り方そのものが違うものとなっていく可能性があると考えられる。

このような建築の創造活動の中で、多くの創造に関する情報が創出されていくことになる。それらの情報は、創造プロセスの各段階で生み出されることになるといえるが、同一なものや均一なものが多くみられるというよりは、異なる特性や因子が認められる可能性が少なくないと考えられる。なぜなら、創られる建築の各部分は機能や位置や目的によって異なるため、それを創るための情報も各部分で異なる傾向があると考えられることにな

るといえる。

しかし、このような建築の創造に関する情報は、体系化しながら全体像を理解するための議論は多くなかったと考えざるを得ない面がある。その反面、技術の進化によって記述できる情報の範囲は飛躍的に広がり、創られる建築も複雑性が増している。

本稿の目的は、このような現状を踏まえ、建築の創造過程の中で生まれていく情報を、できるだけ体系的に整理して行くことである。これにより、現在議論が進んでいる BIM (Building Information Modeling) が扱うべき情報を整理し、全体像を理解できる可能性が高まると考えられることになる。この方向性により、建築生産の技術面の進歩に寄与できると考えられるものである。

2 建築の創造プロセスと情報との関係性

2.1 生産物の創造プロセスの精査

ここでは、製品やサービスなど、人が創る生産物の基本的な創造プロセスを考えていきたい。他領域の議論を

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

参照すると、経営学領域を中心に、設計空間、意味空間、現実空間に分けて考えている場合がある[1]。これは、それぞれの空間の中で、創られていくものに異なる特性があることが理解できる[2]。特に、不確実性や複製可否の点は、様々な創造上のプロセスに影響を及ぼすことになる。

このような考え方を参考に、生産物の基本となる創造プロセスを考えていきたい。まず、人工物である以上、目的が存在しているはずである[3]。これは、誰かが何かの要望を持ち、それを実現させることが基本となると考えられることになる。逆に言えば、だれも望まないものを人工的に創るのは、不自然であると言わざるを得ないということになる。しかし、何らかの生産物を取り上げて考えてみると、対象者が誰であるかを明確に限定できることは、多いということが難しいといえる。特に、建築を考えてみると、個人の住宅でさえ、数人の家族が施主として関与し、出資に関して他の関与者が存在する可能性もある。また、設計者、施工者、メンテナンス担当者、セキュリティ担当者など、実際のつくり手側としても多くの立場が存在し、それぞれが考え方や方向性を持っている面がある。その上、近隣住民から近くに勤務したり通学している立場も関与者であり、場合によっては地球の逆側の環境保護団体のような立場も関与者になり得ることが想像できることになる。

また、要望の内容については、完璧な想定は極めて難しい場合が多いと考えられる。これは、これから創られる生産物に対し、自分の要望を正確に示唆することが困難なためである。マーケティング領域の洗練された議論によると、主に、使い手の立場として、対象の創造に際しどのような可能性があるのか知識や情報を持っていないこと、保有経験や使用経験をしていない対象に対する要望を想定できない面があること、損益分岐点により供給されたものの中からの選択しかできないことの三点から、使い手は自分の要望の記述が完全にはできないと考えられている[4, 5]。

このような面を持ちながら、つくり手は対象の目的を掲げなければならない。つまり、つくり手は、自ら仮説を立て、「このような人がこのような要望を持っているはずだ」ということを示すことによって、生産物の目的を示唆することになるといえる。ただし、この仮説が、使い手が将来対象の生産物を手にした後に思い浮かぶ要望とは、全く異なるプロセスで導き出されていることを理解しておかなければならない。

このような使い手の要望に基づく目的の達成のため、設計情報の記述がなされる。まず、実際の設計内容にしていくために、目的を概念設計に置き換えなければならない。そして、その概念に基づき、機能の構成を設計しなければならない。この機能設計に即した形で、デザイ

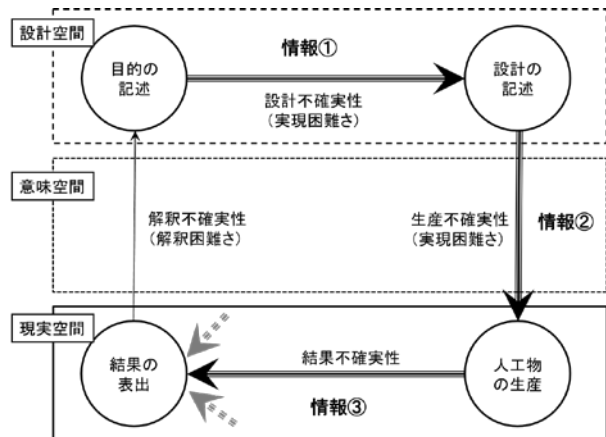


図1 人工物の基盤的な創造プロセス

ン、構造、設備システムなどの構成を設計していくことになる。そして、最後に生産や施工のプロセスを設計することになる[6]。

もちろん、各段階の課題が、前の段階に影響を及ぼすことは少なからず起こって当然であるため、前の段階へのフィー

ドバックが必要となることになる[7]。特に、機能設計、構成設計については、関連要素数が増えるため、複雑性が上がり、このような前段階の再検討が必要となる場合が多くなることなどが考えられる。

次に、この設計情報に基づき、実際の生産物の生産が行われる。このとき、設計情報は実際に質量がある物理的な世界について考えを進めたものではないため、多くの新しい解釈が必要となる面がある。また、コスト、工期、工法などの多くの因子についても、全ての面を検討しなければならない。

また、つくり手の立場も飛躍的に増加することになる。これは、通常の事務所ビルなどの建築工事において、数十から百を超える企業が参加することからも、多くの異なる組織が参加することが把握できる。それも、重要なものが、それらの組織の技術的知識領域が広い範囲に散っていることである。一つの知識領域が、別の知識領域の内容からの影響を受けながら、創るための必要な答えを出していかなければならないことになる。このため、領域間の相互依存性が事前に抑えきれない限り、複雑性が高くなることを否定できない。しかし、実際の建築計画の中では、全てのプロジェクトが独自性を持つため、慣行的に工期が抑えられており、相互依存性を抑えることが難しい面がある。

ここで考えておきたいのが、設計情報の作成と実際の生産の関係性である。萌芽的な生産物でもない限り、生産時に不可能な内容の設計情報が創られることは無いこ

とが、設計者の役割の一つであるといえよう。そのうえ、生産時に、コスト、工期、工法などの面で合理的な内容を、設計情報に盛り込むことが、設計者には求められると考えることが出来そうである。このことにより、設計情報の作成と人工物の生産の間には、擦り合せられた部分が含まれていることが認識できることになる。

そして、この生産された人工物、建築分野の場合は施工された建築や空間は、結果として、使い手によって使用されることになる。このような人工的なものをつくる場合、結局、使用された結果がどうなったかが重要なことであるといえる。設計者が良い設計をしたと考えていても、誰も望まないようなものが出来た場合、良いものを創ったと言い切ることが難しい。特に、建築の場合、人の何らかの活動のための場をつくるのが目的である面があるわけであり、誰も望むことが無い建築や空間に、創られた意義を見出すことは困難であるといえよう。

また、この結果としての、使い手の行動や選択については、当初の建築や空間そのものだけでなく、多くの要素の影響を受けることになる。使い手は、建築や空間そのものだけでなく、流行や価値観の変化、規制や法規の変更、景気や為替の状況、影響力のある人物の発言など、多くの要因によって、使い手はどのように利用し、使用していくかを変えていくことになる。理論的には、創られる建築や空間の、社会の中でのどのように認識され、使われていくかという結果については、事前に正確に掌握することは極めて難しいということになる。

以上をまとめたものが、図1となる。

2.2 創られる情報と基本的価値・付加的価値の関係性

図1の中で、前項の内容を鑑みて整理すると、3つの段階で情報が創られる面があると考えられる。これらは、図中の「情報①」、「情報②」、「情報③」である。また、これらの情報を考えるに際し、基本的な二つの範疇である、「基本的な価値」と「付加的価値」に分けて考えることが出来る面がある。ここでは、これらの創造プロセスにおいて創られる情報に関し、これらの6つに分け(表1)、議論を進めていきたい。

まず、表1の左側については、基本的価値に対する情報を考えていくことになる。建築の場合、基本的に求められる内容であり、室内環境についての通常レベルとして求められる快適性、利用する上で当然求められる安全性、慣行的に達成することが標準的と考えられるプライスや工期などを上げることが出来る。これらは、取り扱い説明書に記されているものであり、使い手としては、これらが不備であればクレームの対象とすることになり、どうしても必要なものとなる。このため、発注担当者や設計担当者・施工担当者・管理担当者にとっては、建物を健全に保つことが主要な用務であり、重要な事項とい

表1 基本的価値と付加的価値から見る情報

	基本的価値 (これが無いと成立しない)	付加的価値 (これがあることが望まれる)
情報①	必要要求性能の充足	感性的・機能的な付加
情報②	必要要求性能の充足	感性的・機能的な付加
情報③	(必要要求性能の充足)	使い手が取りだす機能

うことになる。このような面は、ここ数年でまとめられてきた感がある品確法についても、当てはまる面がある。

表1の左半分にあたる基本的価値に関する情報は、ものがつくられ、使われていくプロセスの中で創られていく基本的価値に基づいた情報である。建築の場合、計画面では、各室必要面積、必要な天井高、必要な開口、的確な仕上げ材、要求通りの建具などを上げることが出来る。構造面では、殆どの地震で安全な構造フレーム、内部空間に問題を生じさせない構造詳細などを上げることが出来る。設備面では、要望通りの室内環境を保つための設備機器や、メンテナンスやランニングコストが通常の状況の機器やシステムについての情報となる。

これらは、建築設計者や施工者に求められることから、現在のBIMなどの議論においても中心的な内容となっている。しかし、このような基本的価値の創造だけでは、より良いものは実現されることが無い方向となる懸念がある。

情報①、情報②の右半分は、設計プロセスの中で創られる付加的価値に関する情報である。本稿では、感性的なものは、論理的な議論が困難な面があるために除くが、基本的価値にも含まれることになるが、付加的価値に少なからず影響を及ぼすことは、ここで抑えておきたい。

情報③の付加的価値の情報については、見落としが多い面があることを否定しきれない。実際の建築が出来た後に、多くの付加的な価値が創られていくことになるが、現在、この内容をとらえる方向性は薄いと言わざるを得ない。しかし、それぞれの建築や空間に求められる機能があれば、それがどの程度望まれる方向で、実現されているかを考えることは、ごく自然なことであるはずである。

3 建築の目的と創られる情報の関係性

3.1 建築の目的に関する基本的な考察

前章では、全ての建築に共通の側面、基本的価値と付加的価値について述べたが、本章では一つ一つの建築に特性があることに足を踏み入れるものである。このこと

によって、建築に関する情報の特性の認識が明確になってくる面があると考えられるため、議論を進める。

前章の議論を踏まえ、建築の特性を議論するとき、創造プロセスの最初の段階である対象の目的に着目することが考えられる。しかし、建築の目的を直視した情報に関する議論は、これまで薄めであったと言わざるを得ない。

建築の目的を議論するために、使い手の要望について考えていきたい。これは、製品やサービスが創られる目的について、誰かが何かを望むから、その内容を実現するために創られる、というものをつくる始点があり、そこに目的と重なる部分があると考えられるためである。また、使い手が製品やサービスを手にした後、どのように消費するかという面については、重要な点となる。ユーザー側が対象を要望するが、その要望内容が正しいかどうかは確かではないため、要望の実現だけでは良い製品やサービスのつくり方にはならない。ましてや、その使い手の要望をつくり手が正確に記述することが困難であるということが理解できたところである。ここで、ユーザーがどのように対象を消費していくのかを記述し、ユーザーが望む消費の方向性を論理的に理解していきたい。藤本によると、ユーザーによる消費という行為は、「使い手が対象を操作して機能を取り出すとしている」[6, 8]。本稿では、この考え方を使っていきたい。この考え方では、どのような機能が取り出されるか、という点が重要となる。そのため、ここでは、取り出される機能の特性を考えていくものとする。

建築を対象として、取り出される機能を考えていくと、機能の特性を抑える必要が出てくることになる。そのため、ここでは機能の特性を抽出するための因子を検討していきたい。まず、設計プロセスで検討される機能が単一か複雑かということが考えられる。これは、機能の特性として、複雑性に着目したものであり、このような人工物の因子による特性分析に、基本的なものであるといえる[9]。また、最終的に使い手によって取り出される機能がどのようなものかを予測しやすい対象と、いろいろな要因の影響で、予測がしにくい対象があり得る[10]。様々なパラメータが考えられるが、ここでは、試考として、このような基本的な2つもパラメータによって、様々な用途の建築の特性を議論していきたい。

対象とする建築について、どのように取り上げるべきかは、難しい面を持つことになる。基本的に、建築プロジェクトは、一つ一つが異なる条件や環境によってつくられることになり、同じような建築でも、全く異なる独自の要因が含まれることになる。要するに、全てのプロジェクトが異なる面があるということである。そのため、対象の特性を正確に議論するためには、特定の一つのプ

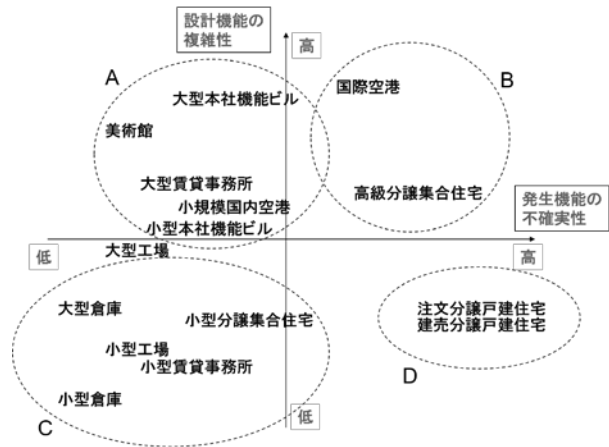


図2 機能面から見る建築の特性

ロジェクトを取り上げて検討していかなければならない面がある。しかし、一般的に適応できる知見を引き出したい面があるため、ここでは、慣行的な考え方の一つとして、主要用途の考え方を使っていくものとする[11]。その中で、複数の専門家に取り上げるべき典型例をあげて頂き、「大型本社機能ビル」、「小型本社機能ビル」、「大型賃貸事務所」、「小型賃貸事務所」、「高級分譲集合住宅」、「小型分譲集合住宅」、「注文分譲戸建住宅」、「建売分譲戸建住宅」、「大型工場」、「小型工場」、「国際空港」、「小規模国内空港」、「美術館」、「大型倉庫」、「小型倉庫」の15種類の主要用途について、検討していくものとする。

このような考え方から、複数の専門家に議論をしながらプロットして頂いたのが図2である。縦軸には設計プロセスでつくられる設計情報がどの程度複雑であるかに着目したものである。横軸は、出来上がった建築が、実際に使われることによってはじめて発生する発生機能に着目し、その不確実性を表したものとなっている。次項で、この二つのパラメータで整理された内容を、つくられる情報との関係を考えながら分析していきたい。

3.2 建築の目的と情報の関係性

まず、建築でつくられる情報を前章で考えたが、表1を参照しながら、建築プロジェクトの流れを具体的に考えながら考察を加えていきたい。

情報①と情報②については、共通な状況な点が多い。まず、基本的価値については、その建築が社会の中で通常の役割を果たす生産物となっていることが必要である。また、異なる視点から考えると、施主が要求する仕様を満たすことが求められるが、それを反映した設計内容が情報①に適合し、施工上の情報が情報②にあたる。また、付加的内容についても、設計プロセスの中で創られ、施工プロセスの中で情報が生まれてくることになる。

しかし、情報③については異なる状況となる。基本的価値については、情報①、そして情報②の内容を、そのまま反映するものとなる。言い換えれば、創ったシステムや機構が、予定通りに働いているか、もしくは変化する状況を正確に掌握して対処しているかを問うものとなる。要するに、設備のメンテナンスの合理性を上げるような情報などとなることになる。逆に言えば、このような情報を整理することが可能なのは論理的に理解できるが、つくるときに情報の体系的抽出を設計していない建築が多いということになるかもしれない。もしそうであれば、すぐにでも設計時、施工時で、何を情報化できるような建築にするのかを考えていかなければならないことに気づくことになる。

情報③の付加的価値については、実際にユーザーが建築を使用し、利用していく中でどのような機能が取り出されていくかが、この情報の内容となる。なぜなら、使われない内容、ユーザーが機能を取り出さないものは、作り手が頑張っ創ったとしても、残念ながら意味を持たないことになるからである。つまり、情報①と情報②で存在する情報の中で、情報③として取り出されるものは、限定的になるということである。また、情報①と情報②には存在しなかった内容も、情報③に表出してくることになる。

このような考察の上で、図 2 の内容を見ていきたい。図中の C に注目すると、設計時の機能設計の複雑性が低く、使い手が使ってはじめて発生する発生機能の不確実性も小さいものである。この場合、情報③の付加的価値の部分については、基本的に記述内容が限定的なものとなる可能性が高いと考えられる。一方、A の場合、設計時の機能設計の内容が、要素数が多く相互依存性が高い可能性があり、情報①、情報②の内容を正確に記述し、情報③に反映させることが必要な面があると考えられる。そして、B と D の内容については、注意深く考察をしていかなければならない面がある。なぜなら、対象の建築が発生機能の不確実性が高いものであり、設計時や施工時の情報、つまり情報①や情報②には、出てこない内容が、事前に予測できない傾向を持ちながら表出してくる傾向が強いことを示している。この内容は、使い手が対象を操作し、自分たちに必要な価値を見出していくことをとらえている面もあると考えられ、価値創造の観点から、極めて重要な側面を持つことになる。

具体的に考えていく。B の事例として、高級分譲集合住宅を考えていくものとする。設計段階の機能設計は複雑性が高く、多くの情報が生じることになる。また、それを反映した構成設計、それに基づいて施工された建築、それぞれの複雑性も高くなる傾向があるはずである。その中で、このような集合住宅は住まい手によって使い始められると、住民は自分の価値観と生活スタイルに合わ

せて、空間をアレンジし、カスタマイズしていく。各居室は、それぞれの住まい手によって、プランが同じだったとしても、かなり異なるものとされていくことになる。ただし、これは共有部についても同様のことが起こり得る。家具やプリンター、そして何らかのインスタレーションが置かれ、特定の領域が創られるかもしれない。また、クリスマスや正月をはじめ、何らかのデコレーションと共に、イベントが行われるかもしれない。そして、あるコミュニティが生まれるかもしれない。ただし、そのような内容は、似たような集合住宅でも、すべて異なることになる可能性が高いといえよう。

D の事例として、注文分譲戸建住宅を考えてみる。設計段階、施工段階では、住まい手は完全に理解することなく、慣行に沿って判断したり、設計者や施工者の薦める内容を受け入れたりしながら、必要事項に関する要望をまとめていくことになる。そのために、出来上がった建築を見て、明るさや広さに驚いたりすることになる。このような段階では、自分たちがどのように建築や空間を使い、どのような機能や価値を取り出していくのか、殆ど想定はついていないと考えるべきであろう。住まい手は、住み始めることによって、様々なことに気づき、欲求が生まれてくることになろう。ある空間にいると落ち着き、ある居室にはあまり入らなくなるかもしれない。そして、一時的な経験ではなく、1年、2年と長い時間、継続的に生活することによって、様々な機能や価値を取り出すことになろう。その中には、時間と共に、考えてもみなかったことも含まれるだろうし、思いもしなかった環境の変化もあり、価値観も変化していくのかもしれない。このような中では、取り出される機能や価値に関する情報や、使われなくなった情報などが、重要なものとなる考えられる。しかし、現在、このような情報を用意するようなメカニズムが建築産業には殆ど無いことは否定しきれない。

A の美術館を考えると、基本的な美術品の展示と収蔵については、要求仕様が明確であり、固定されているため、基本的に情報①、情報②、情報③の基本的価値、付加的価値のいずれも、設計機能は複雑であるものの、発生機能の不確実性は小さいと考えられる。そのため、情報面では、設計プロセスにつくられ、施工プロセスで実現され、その維持のための管理プロセスで重視されているものが重要となり、その内容の認識と記述が重視されるべきであろう。しかし、美術館も、地域コミュニティの場になったり、防災拠点になったり、美術と関係なく人が集う場所になったりする可能性は内包していると考えられるため、情報③の付加価値について、情報の整理と表現を検討する必要があると考えられる。

このように、図 2 の A, B, C, D の何れを検討してみても、基本的価値と付加的価値によって、それらの組成が異な

ることが認識でき、情報①、情報②、情報③の創生の相違点が理解できる。そして、現在重視されている情報と、軽視されている情報を、体系的に認識することができる可能性を得たと考えられる。しかし、前提とした通り、建築に関しては、本来個々のプロジェクトが持つ特性を理解し、個別に検討していかなければならない。そのために、今回仮説的に取り上げたパラメータについて考察を加えていき、体系的に情報の創出を行う可能性を追う必要がある。

この内容は、現在建築産業で注目されている BIM (Building Information Modeling) の議論にもヒントとなる部分があると考えられる。現状では、技術の専攻によりデータ化された情報を前提に、建築にかかわる情報の技術的整備が急がれている。ただ、現在の議論は、すでにある情報や技術の扱い方を議論している面が中心であると言わざるを得ない面がある。現在扱っていない部分、軽視している部分、気づいていない部分の情報に、極めて重要な可能性があるかもしれないが、議論が進められていない面がある。むしろ、何が重要であるのかを最初に見極め、目的を掲げ、技術や情報の整備をしていく必要があると考えられる。そして、その目的は、産業レベルの戦略性を持ち、将来像に対する明確な意思を持つ必要があるのではないだろうか。

4 まとめ

本稿では、建築の創造プロセスの中で生まれていく情報を、できるだけ体系的に整理し、課題や方向性を得たと考えている。これにより、現在議論が進んでいる BIM が扱うべき情報に関する課題を整理したものである。

特に、人工物の創造プロセスを精査し、生み出される情報が3段階に整理できる可能性を得たことは重要であると考えられる。また、情報の方向性が基本的価値と付加的価値の創生のために分類して考える手法については、まだ萌芽的であり、今後の議論が必要である面がある。引き続き、理解を深め、理論化を目指すものである。

ただし、本稿の一番重視すべき成果は、現在国土交通省を中心に進められている BIM の業界標準化に対して、何となくつくられた情報の活用ではなく、何となく出来るようになった 3D モデルの活用ではなく、どのような考え方で進みつつある新しい技術を位置付けていくかを考えなければならないことを示唆し始めたことである。このような既存技術のプラットフォームを短期間で再構築する可能性がある技術については、過去にも他領域で様々な国家レベルの戦略や、国際標準を活用した戦略によって、大きな成果を上げた立場が散見される。しかし、残念ながら、国内の組織が主導できた事例は殆ど無いと言える。今回の BIM に関する議論により、少なくとも国

内の建築産業において、情報を中心とした産業の再構築を、国内が主導で進めてもらいたいと思わざるを得ない面がある。

いずれにしても、本研究は上記の課題を克服するために、継続して進めていくものである。

参考文献

- [1] 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
- [2] Herbert A. Simon, *The Sciences of the Artificial* 3rd Ed., pp3-13, The MIT, Press, 1996.
- [3] 上田完次, 「研究開発とイノベーションのシステム論」, 精密工学会誌 Vol76, No7, pp737-742, 2010
- [4] 井関利明, 山川悟, 新井範子, 上原征彦, 『創発するマーケティング』, 日経 BP 企画, 2008
- [5] 上原征彦, 『マーケティング戦略論』, pp245-246, 有斐閣, 1999
- [6] 藤本隆宏, 『日本のもの造り哲学』, 日本経済新聞社, 2004
- [7] 藤本隆宏, 『能力構築競争』, pp85-110, 中公新書, 2003
- [8] 藤本隆宏, 桑嶋健一編, 『日本型プロセス産業』, p28, 有斐閣, 2009
- [9] 上田完次編著:『共創とは何か』, pp36-42, 培風館, 2004
- [10] 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巻2号 pp. 325 - 333, 2015
- [11] 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
- [12] 藤本隆宏 キム B.クラーク, 『製品開発力』, pp4-14, ダイヤモンド社, 2009
- [13] Ulrich, Kirl, "The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm," *Research Policy*, 24, pp.419-440, 1995
- [14] S Schmitt, B. and Simonson, A., *Marketing aesthetics: The strategic management of brands, identity, and image*, Free Press, 1997
- [15] Schmitt, B., and Rodgers, *Experiential Marketing: A New Framework for Design and Communications*. *Design Management Journal* 10(2), pp10-16. 2008
- [16] Prahalad, C.K., & Ramaswamy, V. *The New Frontier of Experience Innovation*. *Sloan Management Review*, Summer, pp12-18. 2003

- [17] 吉田敏, 野城智也, 「アーキテクチャ」の建築生産における構成要素のモジュラー化に関する考察, 日本建築学会計画系論文集, 第 595 号, pp173-180
- [18] 社会資本整備審議会, 「官公庁施設整備における発注者のあり方について —公共建築工事の発注者の役割—」, 2017
- [19] 国土交通省, 「BIM 活用による営繕工事の更なる生産性向上に向けて」, 2018
https://www.mlit.go.jp/report/press/eizen06_hh_000030.html
- [20] 内田祥哉, 『建築生産のオープンシステム』, 彰国社, 1977
- [21] 吉田敏編著, 『技術経営』, 理工図書, 2012
- [22] J. A. Schumpeter, 『経済発展の理論』, 岩波書店, 1977

Spectral Analysis on IoT Healthcare Data for Stress Estimation

Xuping HUANG*

Abstract

In recent years, quantitative analysis of sleep quality and stress estimation during sleep have been important social issues due to sleep deprivation. Conventionally, sleep quality is mainly subjectively evaluated by pittsburgh questionnaire, while stress is estimated by power spectral analysis of electrocardiogram. However, measurement is difficult during sleep since restrictions on respiration rate and body motion. Sleep depth transition presumable by heart rate variability is achieved, however, the correlation between heart rate and sleep quality during sleep is not clarified. In this report, stress estimation during sleep by autonomic balance evaluation index and correlation analysis are performed to heart rate and sleep depth data collected by wearable IoT equipment. Privacy preserving healthcare data analysis using homomorphic cryptography is proposed as a target application.

Keywords: wearable IoT, stress estimation during sleep, privacy preserving

1 Introduction

Sleep deprivation has been a social problem and an important issue for research on both of IT and metabolome pathological analysis. Conventional works indicate stress affect sleep quality [1], [2], [3]. IoT devices-based research on relationship between heart rate variability (HRV) and autonomic nerve activity has been focused [4]. In [4], the relationship between heart rate and sleep states in camp has been investigated using subjective sleep states data collected by pittsburgh questionnaire. Power spectral density (PSD, $[ms^2=Hz]$) analysis of heart rate has been used as the stress index to calculate the ratio between low frequency (LF) component and high frequency (HF) component. The same index is widely used to estimate autonomic nerve (stress index) in conventional works [3], [5], [6], [7], [8], [9], [10].

For heart rate, in conventional works, RRI (RR Interval), collected via electrocardiogram (ECG) is used for analysis. According to manual [11], in order to avoid arrhythmic heartbeat of RRI, body motion and deep respiration are not allowed. Yoshida et al. [12] also suggested the respiratory sinus arrhythmia (RSA), which indicates breathing, implies a strong correlation to heart rate by analyzing PSD. Since breathing and body motion are difficult to be controlled during sleep, heart rate collected from ECG may result noise. Thus, to collect HRV (bpm: beats per minute) during sleep correctly, a more suitable device, which is unaffected

by breath or body motion, is required. A wearable IoT device, which collects sleep depth, has been an alternative solution.

For sleep depth, Takeda et al. [13] proposed a model to estimate transition of sleep depth by analyzing heart rate variability and sleep duration. For this inference, a strong correlation between heart rate and sleep stage is required and has been an indispensable prerequisite. However, in the conventional works, the correlation between heart rate and sleep depth is not revealed.

Furthermore, confidentiality of sensitive personal information, including health monitoring systems has been an important issue [14]. However, it is not considered in the conventional works when analyzing biological information for stress estimation. As an alternative solution to privacy preserving, Ma et al. proposed a simple, but effective security solution for ECG signals based on an ECG compression algorithm [15]. However, the security against attack is not robust enough. Kikuchi et al. proposed a privacy preserving method to medical data by applying homomorphic cryptography to distributed dataset from different hospital and analyze the logistic regression to encrypted data to analyze real medical dataset [16], [17].

The final aims of this project are: (1) to disclose an appropriate indicator for sleep quality, (2) to clarify correlation between heart rate and sleep depth, and (3)

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

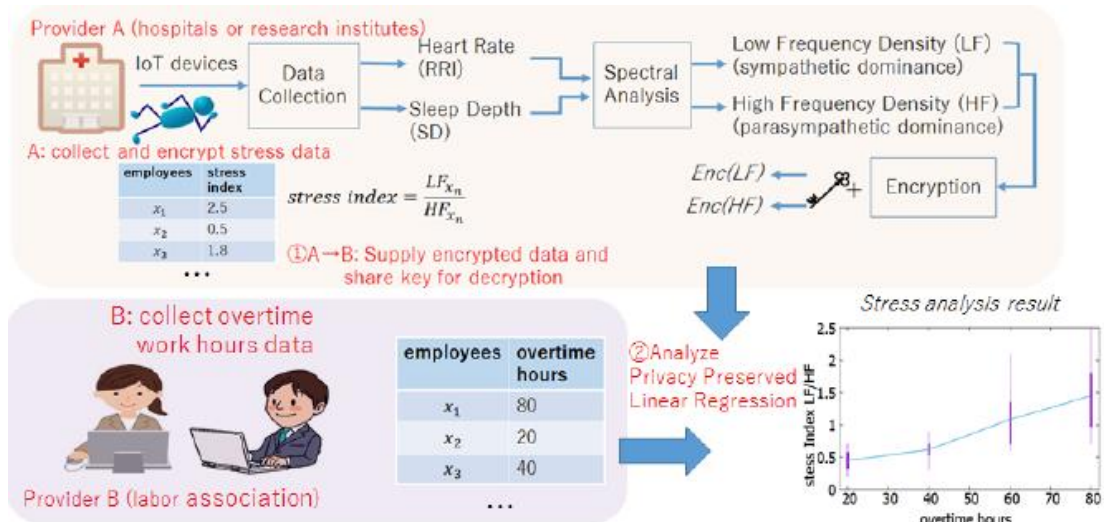


Figure 1 Target application: stress analysis with distributed and encrypted data

to give a proposal to achieve confidential data processing and analysis using homomorphic cryptography for real biometric dataset collected by IoT devices.

As the contribution of this paper, we collected real dataset of heart rate and sleep depth data during sleep via wearable IoT device, and then we applied PSD analysis to the real data to analyze sleep quality by autonomic nerve as a stress index rather than subjective questionnaire or estimated from HRV. We examined PSD results of heart rate and sleep depth data collected by different IoT devices and disclosed which data is more appropriate to analyze sleep quality. Correlation between heart rate and sleep depth is also clarified through our experiment and analysis. Additionally, privacy preserving is considered to protect sensitive personal data.

As a preliminary preparation for privacy preserving, this report supplied a privacy preserving analysis process through cryptologic protocol between distributed institutes. Figure 1 illustrated a target application of this paper. A privacy preserving stress analysis is archived by a new protocol between hospital A, who owns the sensitive stress index, and the labor association B, who maintains the overtime history for employee. The stress of employees is identified through linear regression towards encrypted stress index and overtime hours to prevent suicide without using vulnerable plain data. Homomorphic property of public-key encryption allows to perform any analysis without revealing the confidential data.

2 Spectral Analysis on Heart Rate and Sleep Depth Data

2.1 Heart rate and sleep depth data

In conventional works, RRI value from ECG is used to analysis stress via PSD and to estimate sleep depth combing with sleep duration [13].

Sleep depth is usually defined to be Non-rapid-eye-movement (NREM) sleep and REM sleep to show sleep depth into different stages. Beth et al. divided REM and NREM into NREM 1-4 [18]; Huupponen et al. divided sleep depths into 6 stages as: W (wake), REM, S1 (light sleep), S2, S3, S4 (deep sleep) [19]; Takeda et al. divided sleep stages into 3 depths: Wake, REM, and NREM [13].

Jawbones sleep coach report pointed out that deep sleep repairs muscles, and fights diseases, while REM sleep optimizes concentration, consolidates memories and organizes learnings when we dream [20]. As the relationship between heart rate and sleep depth, it is figured out that during REM sleep, heart rate is irregular. Deep sleep has slightly more physical movement but a very steady heart rate. Light sleep is associated with more movement [20].

In this work, according to Jawbone's wearable IoT multi-sensor technology in UP3, it seeks out the unique physical characteristics associated with *Wake*, *REM*, *Light* and *Deep Sleep* without uncomfortable electrodes capturing eye movement and brainwave, then classifies the sleep accordingly. For quantitative analysis, sleep depth is marked with numbers for four

sleep depths captured by Jawbone UP3 with sleep duration as: 4. Wake 3.REM 2. Light 1. Deep sleep [20].

2.2 Spectral analysis for stress estimation

PSD shows the strength of the variations in frequency domain. By investigating the density of a certain power value and by analyzing the specific frequency range where the peak power located in, it will be a useful index as the health indicator. Computation of PSD is calculated by fast Fourier transform (FFT) of autocorrelation.

Spectral power between [0.04, 0.15] Hz indicates LF power (ms^2), while [0.15, 0.4] Hz indicates HF power (ms^2); and LF/HF ratio evaluates stress as the autonomic balance evaluation index [4], [5], [6], [7], [8]. Sleep apnea typically associated with spectral power oscillations between [0.01, 0.04] Hz, which may indicate heart disease or apnea syndrome as a dangerous sign. According to work [7], healthy and younger participants has higher RRI and RSA shows a more obvious peak in high frequency. Generally, power of HF gets larger during sleep than daytime, which indicates parasympathetic nerve activity. Thus, a good sleep quality may have higher HF value, lower LF and LF/HF values.

2.3 PSD based on Wiener-Khintchine Theorem

According to Wiener-Khintchine Theorem, PSD function can be obtained by computing Fourier transform of autocorrelation function of a signal [21]. Periodogram, a one-sided Fourier Transform is used to calculate PSD, and hamming window with length of 64 is applied to $x(t)$.

Autocorrelation function $C(\tau)$ measures the linear correlation between two variables $x(t)$ and $x(t + \tau)$. It is an even function on variable of time-lag τ with $C(0)$ as the maximum value and correlation gets weaker if τ gets larger. According to Ergodic Theory, autocorrelation of $x(t)$ is defined to be:

$$C(\tau) = \overline{x(t)x(t+\tau)} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t+\tau)dt \quad (1)$$

Here, T is the periodic variable, and $-T/2 < t < T/2$.

Suppose $X(\omega)$ is the Fourier transform coefficient of $x(t)$, then FFT and inverse FFT are represented as follows:

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (3)$$

, here $\omega = 2\pi/T$.

Power spectral $S(\omega)$ can be obtained by processing FFT to autocorrelation function $C(\tau)$ as:

$$S(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{2\pi |X(\omega)|^2}{T} \quad (4)$$

2.4 Calculation of stress index

Heart rate converted to RRI and sleep depth values are used to estimate stress felt during sleep.

LF value is calculated as follows:

$$P(\omega)_{LF} = \int_{0.04}^{0.15} S(\omega) * \frac{\Delta\omega}{2} d\omega$$

$$P(\omega)_{HF} = \int_{0.15}^{0.4} S(\omega) * \frac{\Delta\omega}{2} d\omega \quad (5)$$

, where $\Delta\omega = 1/\text{length}(\omega)$, and stress index is estimated by

$$\text{ratio} = \frac{P(\omega)_{LF}}{P(\omega)_{HF}} \quad (6)$$

In case that most of PSD values concentrated in higher frequency domain and peak value is detected in higher



Figure 2 IoT devices to collect heart rate and sleep depth data during sleep

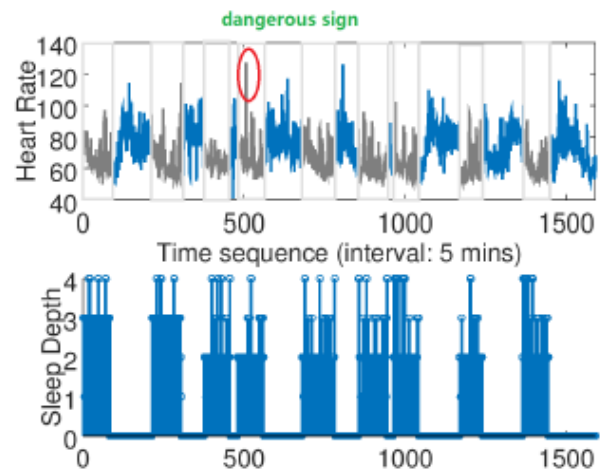


Figure 3 Heart rate and sleep depth data

value, it indicated parasympathetic dominance. Oppositely, if the peak value of PSD located among LF domain, it indicated sympathetic dominance. The lower the ratio is, the more relaxing it indicated. Stress is estimated from result of ratio as defined in [22] that (1) ratio $2[0, 0.8]$: *relaxing*, (2) ratio $2[0.8, 2]$: *normal*; and (3) ratio >2 : *stressful*.

3 Experimental result of stress

3.1 Dataset

Heart rate $x(t)$ ($x, t \in \mathbb{R}$) in time sequence is collected by Jawbone UP3 and Verifit ver.41 as plotted in Fig.2 for sleep depth (SD) and heart rate (HR) during 6/8-8/4, 2017 for 43 days, 5263 samples. Time it is with an interval around 5 minutes. The participant for the experiment is a 30's female, healthy with BMI=18.7. The statistics of data collected is listed in Table 1. RRI is calculated by $60/x(t) * 1000$ (ms).

3.2 Data analysis on heart rate and sleep quality during sleep

Examples of heart rate and sleep depth during 6/8-6/10 and 6/16-6/21 are plotted in Fig.3. The gray components are heart rate during sleep while the blue components show heart rate during wake. It is obvious that heart rate values maintain to be lower during sleep than wake. Arrhythmic heartbeat, especially high value of heart rate and sudden upbeat may be observed if heart failure or sleep apnea occurs. $x_{507} = 127$ during light sleep may behavior disorder and should supposed to be a dangerous sign since the precipitous upbeat could be a relevant issue of breath after apnea period. This sign should be focused if abnormal value appears frequently.

Theoretically, heart rate stays stable if sleep quality is good, otherwise, variability is more remarkable. Figures 5 and 6 show a correlated variability between heart rate and sleep depth accordingly to a stable and unstable HRV on 18th and 8th, June, which may indicate sleep qualities. Table 2 lists the details of sleep depth, sleep duration and heart rate to give a comparison between good and bad sleep qualities. As shown, good sleep quality is associated with sleep better stability and the slow oscillation, which is indicated in Figures.5 and 6 good sleep has slower heart rate and most of sleep depth concentrated around light sleep with longer deep and light sleep duration.

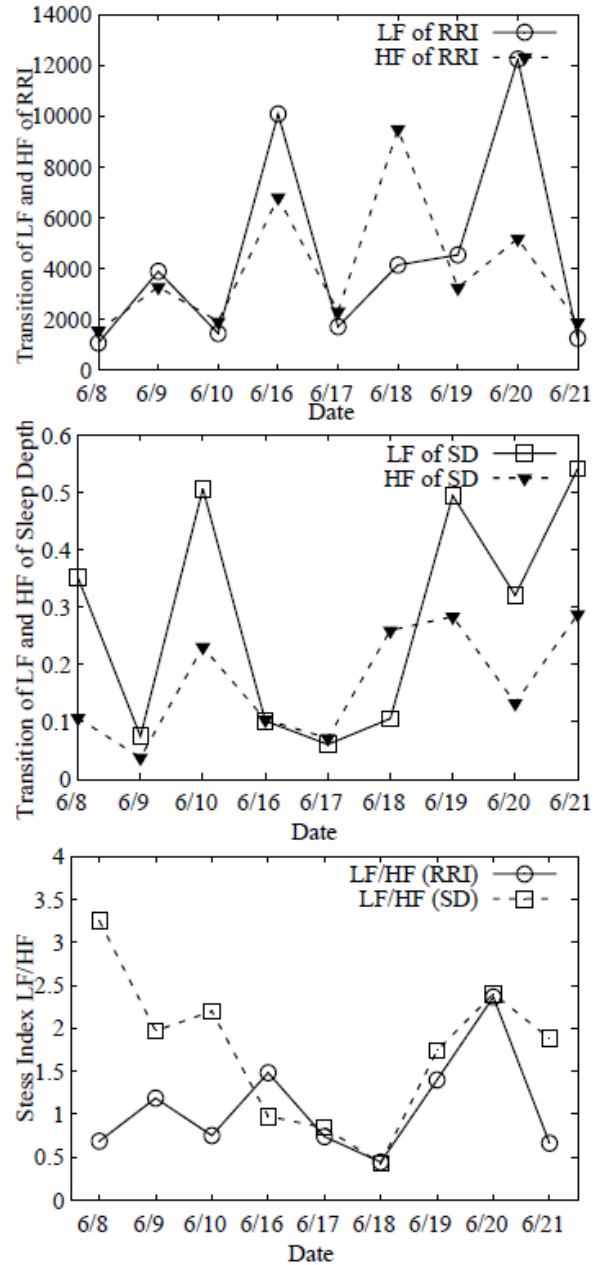


Figure 4 Transition of LF, HF, and stress index LF/HF ratio of RRI and sleep depth

Table 1 Statistics of heart rate and sleep depth data

Index	Value
$\overline{HR} \pm \sigma$ (bpm)	70 ± 13.7
$\overline{RRI} \pm \sigma$ (ms)	884 ± 162
$\overline{SD} \pm \sigma$	2.35 ± 0.78
median, mode (HR)	68, 55
median, mode (SD)	2, 2
maximum, minimum (HR)	136, 41

In order to verify whether the daytime activities affect heart rate during sleep, heart rate at 1 hour before sleep (average value of every minute) and average heart rate during sleep are listed and compared. Figure 7 plots the comparison result with 25 days' data. The average value of 1 hour before sleep and average value during sleep is 62 BMP and 57 BMP. It indicates that heart rate values stay stable and lower during sleep, while heart rate values at 1 hour before sleep decrease but are generally higher than average HRV during sleep, which are supposed to be affected by the daytime activities.

3.3 Result of power spectral analysis on stress

Formulas (5) and (6) are implemented to calculate LF, HF and LF/HF with one-sided spectral power, in hamming window sized 64.

Figure 4 plots the transition of LF, HF and ratio to estimate the sleep quality and stress index during sleep using data from 6/8 to 6/21 which include data approximately a circle of week.

According to Fig.4, in case of RRI, $LF > HF$ in 6/16 and 6/20, which obviously indicate stressful condition. $HF > LF$ on 6/18, which shows a relaxing condition. In case of sleep depth, a stressful condition is indicated on 6/8, 6/10, 6/19, 6/20 and 6/21 that $LF > HF$ is obviously shown, while on 6/18, a relaxing condition is shown that $HF > LF$. For both of RRI and sleep depth, data on 6/18 refers to a good sleep quality. In case of stress index, data on 6/18 has both of RRI and sleep depth a low ratio, while on 6/8, the ratio of sleep depth is 3.279, which means a stressful condition. On 6/8, 6/10, 6/17, 6/18 and 6/21, data show a low ratio value of RRI and on 6/16, 6/17, and 6/18, data show low ratio value of sleep depth, which indicated a relaxing condition. However, according to Fig.4, there is seldom correlation in the trend of transition of ratio between RRI and sleep depth.

Figure 8 shows the result of stress index LF/HF. A comparison between RRI and sleep depth between 8th, June and 18th, June is plotted to show the difference between stressful and relaxing condition.

According to both of periodgrams of RRI and sleep depth, there are more power spectral in HF components on 18th than those on 8th, with a more significant detectable peak value in HF component rather than in LF components, which indicates that

Table 2 Comparison on heart rate and sleep qualities on 8th (stressful) and 18th (relaxing) June

Index	Stressful (8th June)	Relaxing (18th June)
$\overline{HR} \pm \sigma$	67± 9.87	61± 8.98
$\overline{SD} \pm \sigma$	2.81±0.79	2.12±0.80
median, mode (HR)	65, 60	59, 58
median, mode (SD)	3, 3	2, 2
deep sleep duration	43 mins	1h 35 mins
light sleep duration	12 mins	1h 30 mins
rem sleep duration	5h 16 mins	4h 21 mins
wake	1h 47 mins	35 mins
arousals (times)	3	3
total sleep duration	7h 22 mins	7h 27 mins

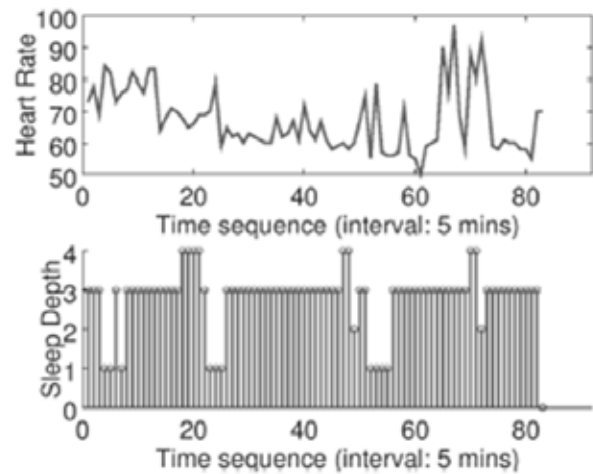


Figure 5 HRV and sleep depth on 8th June

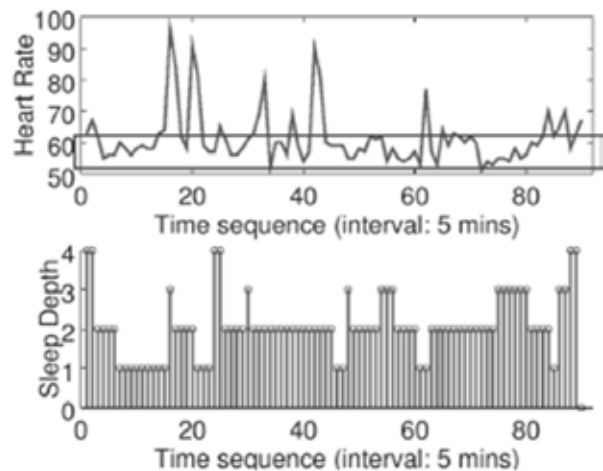


Figure 6 HRV and sleep depth on 18th June

18th data is relevant to a more relaxing sleep. More power spectral concentrated in LF components on 8th data.

PSD frequency components of sleep depth are

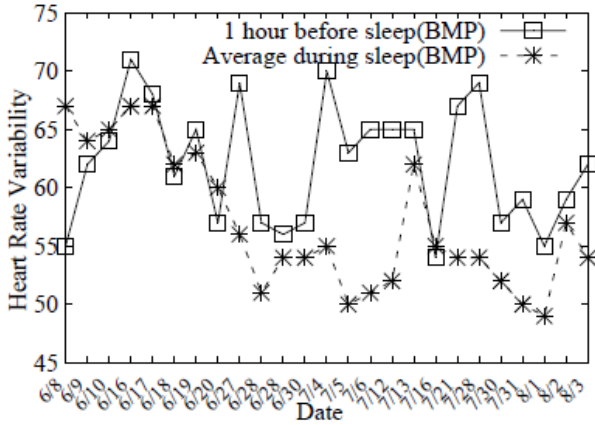


Figure 7 Comparison on HRV between 1 hour before sleep and average value during sleep

Table 3 Cross-correlation coefficients between HR and SD

6/8	6/9	6/10	6/16	6/17	6/18
0.078	-0.097	0.113	0.016	-0.162	-0.011
6/19	6/20	6/21	8/4	Total	
-0.461	-0.143	-0.467	-0.106	0.068	

Table 4 Correlation coefficients between HR and SD (daytime vs. sleep)

	6/9	6/16	6/17	6/19	6/20
hr day v.s hr sleep	-0.047	0.042	0.090	0.190	-0.294
hr day v.s sd sleep	0.042	0.005	0.000	0.058	-0.185

difficult to detect due to a wide distribution of peak value points. Furthermore, LF/HF of sleep depth on 8th June is 3.23, which implies to a stressful condition, and the result is more convincing than that of RRI (LF/HF=0.69) according to the sleep depth and duration data listed in Table 2, Figs. 5 and 6. According to the result, LF/HF of sleep depth represented the stress condition more correctly than that of heart rate.

3.4 A discussion on correlation between heart rate and sleep depth during sleep

Many conventional works analyzed sleep quality and sleep depth by PSD of RRI, however, whether the LF/HF of RRI implies the sleep quality correctly and accordingly should be clarified. To achieve this, the correlation between heart rate and sleep depth is calculated and analyzed. Suppose sleep depth is $y(t)$ ($y: t \in \mathbb{R}$) in time sequence and i is the index of samples,

then the correlation coefficient R is expressed as follows:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^t (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

The result of correlation is listed in Table 3.

According to the results, there is correlation between heart rate and sleep depth on 6/19 and 6/21 and no correlation on the other days, either total data during this period. The reason is not clear since the conditions (light, temperature, etc) for experiment are similar.

Kume et al. [10] identified a difference of autonomic nervous by comparing anxiety/relaxation indicator Δ LF/HF between listening to relaxing music and keeping silent, which is suggested to be related to the feeling of sleepiness and wakefulness for sleep quality. It also suggested that LF/HF might show a delayed response to fatigue.

Our experiment result of LF/HF on stress index on 8th and 18th, June is in consistency with the result in [10] that the participant was busy preparing a presentation on 8th for a group seminar to be held on 9th, Friday and feel stressful during daytime, while keeping relaxing on 18th, Sunday by attending a classical violin-piano concert during 13:00-16:00.

In order to clarify the effectiveness of daytime activities to sleep, we investigated the correlation of RRI during daytime vs. RRI during sleep and RRI in daytime vs. sleep depth during sleep adjusted to be with the same number of samples from the time stamp of falling asleep.

The result is listed in Table 4. Seldom correlation is there between variables during daytime and sleep except data on 6/20 that heart rate during daytime has a low correlation to heart rate during sleep.

4 Conclusion

This work collected healthcare data including heart rate and sleep depth data during sleep via wearable IoT device with the purpose to analyze the stress conditions and sleep quality during sleep by spectral analysis on autonomic nervous stress index. We identified a stronger correlated between sleep quality and LF/HF of sleep depth rather than that of heart rate. Experimental results also suggest daytime activities affect sleep quality, however, the heart rate has seldom correlation to sleep depth. Improving sleep

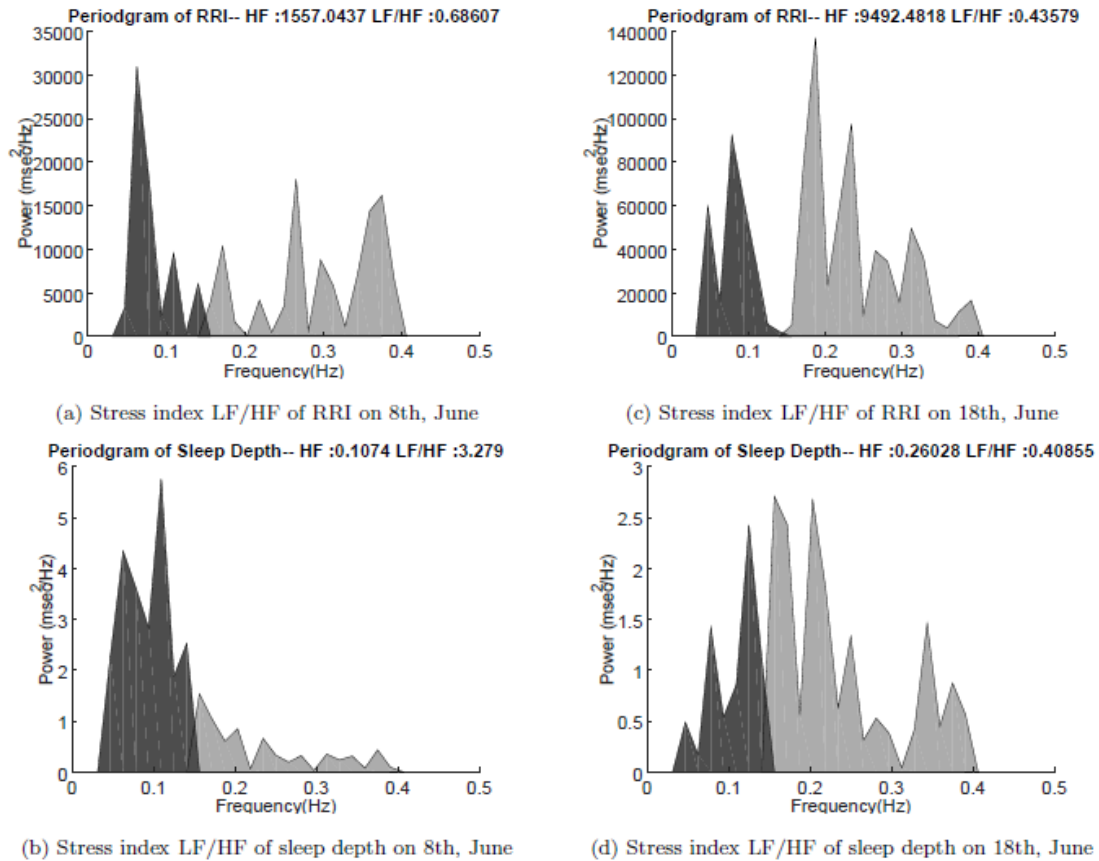


Figure 8 Comparison on stress index LF/HF of RRI and sleep depth on 8th and 18th June

quality by analyzing the affective aspects such as environment data collected by IoT sensors and daytime activities with more sophisticated data and algorithm is another point we will focus on in the future.

Acknowledgement

This work is advised and supported by Prof. Hiroaki Kikuchi in Meiji University and Prof. Chun-I Fan in National Sun Yat-sen University. This project is funded by JST in Japan from 2017 to 2019.

References

- [1] M. R. Irwin, R. Olmstead, J. E. Carroll.: Sleep Disturbance, Sleep Duration, and Inflammation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies an Experimental Sleep Deprivation, *Biological Psychiatry*, vol.80(1), pp. 40-52, (2016)
- [2] S. K. Davies, J. E. Ang, al et.: Effect of sleep deprivation on the human metabolome, *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111(29), pp. 10761-10766, (2014)
- [3] 永松俊哉, 甲斐裕子, 「低強度のストレッチ運動が軽

度睡眠障害者の睡眠およびストレス反応に及ぼす影響」, 体力研究, *Bulletin of The Physical Fitness Research Institute*, No.112, pp.1-7, (2014)

- [4] 永吉英記, 浅倉大地, 山崎源太, 「キャンプにおける主観的睡眠感と睡眠時心拍数及び自律神経活動の関係」, *The Annual Reports of Health, Physical Education and Sport Science* Vol. 30, pp. 141-145, (2011)
- [5] 小川洋二郎, 岩崎賢一, 加藤 実, 「周波数解析を用いた自律神経機能評価機器」, *Anesthesia 21 Century* vol.13, No.2-40, pp.20-25, (2011)
- [6] 青柳直子, 山本義春, 「心拍変動長周期ゆらぎの機序」, *時間生物学* Vol.11(2), pp.1-8, (2005)
- [7] 早野順一郎, 「日常生活下の生体情報モニタリング: ホルター心電図から見える未来像」, 第59回名古屋市立大学医学会総会, *Nagoya Medical Journal*, Vol.50, pp. 93-99, (2009)
- [8] 土川奏, 岩倉成志, 安藤章, 「心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析 - AHS の需要予測にむけて -」, *土木計画学研究・講演集*, (2002)
- [9] U.J. Scholz, A.M. Bianchi, S. Cerutti, and S. Kubicki. Vegetative background of sleep:spectral analysis of the heart rate variability. *Physiology*

- and Behavior, vol. 62, pp. 1037-1043, (1997)
- [10] S. Kume, Y. Nishimura, K. Mizuno, N. Sakimoto, et al. Music Improves Subjective Feelings Leading to Cardiac Autonomic Nervous Modulation: A Pilot Study, *Frontiers in Neuroscience*, doi: 10.3389/fnins.2017.00108, (2017)
- [11] <https://www.kango-roo.com/sn/k/view/1501>
- [12] 吉田豊, 横山清子, 「心拍変動からの呼吸パラメータ推定」, *生体医工学* Vol. 43(3), pp.456-460, (2005)
- [13] 武田十季, 渡部智樹, 吉田和広, 水野理, 「心拍変動を用いた時間依存睡眠段階遷移モデル」, *日本データベース学会和文論文誌*, Vol.14-J(16), (2016)
- [14] J. Son, J. Park, et. al, Privacy-Preserving Electrocardiogram Monitoring for Intelligent Arrhythmia Detection, *Journal of Sensors*, vol. 1360, pp. 1-21, (2017)
- [15] Ma.T, Shrestha, P.Hempel, M.Peng, D.Sharif, and Chen, H. Assurance of Energy Efficiency and Data Security for ECG Transmission in BASNs, *IEEE Trans. Biomed.* vol. 59, pp.1041-1048, (2012)
- [16] H. Kikuchi, D. Kagawa, A. Basu. et al. Scalable Privacy-Preserving Data Mining with Asynchronously Partitioned Datasets, *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol. E96-A(1), pp.111-120, (2013)
- [17] H. Kikuchi, C. Hamanaga, H. Yasunaga, H. Matsui, and H. Hashimoto. Privacy-Preserving Multiple Linear Regression of Vertically Partitioned Real Medical Datasets. *Proc. of AINA 2017*, pp. 1042-1049, 2017
- [18] B. A. Malow, R. Kushwaha, X.H. Lin, K.J. Morton, and M. S. Aldrich, Relationship of interictal epileptiform discharges to sleep depth in partial epilepsy, *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, vol. 102, pp. 20-26, (1997)
- [19] E. Huupponen, S. L. Himanen, J. Hasan, A. Vrri, Sleep Depth Oscillations: An Aspect to Consider in Automatic Sleep Analysis, *Vol. 27(4)*, pp. 337-345, (2003)
- [20] <https://jawbone.com/blog/up3-deep-dive-into-sleep-tracking/>, Final access on 28th, Aug. (2017)
- [21] 辻義之, 田中宏彦, 大野哲靖, 「相関とスペクトル解析」, *Journal of Plasma Fusion Res.* Vol.85(9), pp.620-630, (2009)
- [22] <http://www.fatigue.co.jp/qa.htm>, final access on 8/22, (2017)

コンテナ型仮想化技術を利用したサイバーセキュリティ攻撃と防御 演習システム CyExec の開発

瀬戸 洋一*・中田 亮太郎**

Development of cyber security attack and defense exercise system CyExec using
Docker container-type virtualization technology

Yoichi Seto* and Ryotaro Nakata

Abstract

The threat of cyber attacks is expanding, and sophistication of attack methods is progressing. On the other hand, the shortage of corresponding security personnel is getting worse. Commercial exercise systems effective for security human resource development have problems in cost and operation, and their introduction in higher education institutions has not progressed. For this purpose, we have developed a Cyber security Exercise system (CyExec) that uses Open Source Software. This paper describes the development of the CyExec exercise system and the verification results of its effectiveness in educational institutions.

Keywords: Cyber Attack and Defense, Cyber security, Open Source Software, Threat and Vulnerability, WebGoat

1 はじめに

サイバー攻撃によるセキュリティインシデントの発生件数が増加している。2018年1月の仮想通貨流出事件や、2019年7月のコンビニ決済サービス不正利用事件など、事業継続や社会生活に直結する事件が発生し、サイバーセキュリティに対する社会の関心が高まっている[1]。

政府のサイバーセキュリティ戦略では、セキュリティ人材の育成が課題となっている。2020年には19万人以上の人材が不足する見込みである。また、既にセキュリティ業務に従事する人材の専門知識や技術の不足が懸念されている[2][3]。

セキュリティ人材育成の取り組みとして、一部の高等教育機関や公的機関等で、実践的な演習形式の教育が行われている。専用の体験学習ツールによる演習や、実際のセキュリティインシデントを想定した体験学習ができるサイバーレンジによる演習がある[4][5]。

サイバーレンジによる演習は、実在するシステムを模して構築した仮想環境上で、現実にかかるインシデントや実際

のマルウェアを用いるなど、実戦を想定した効果的な演習が実施できる。しかし、多くの高等教育機関では、演習システムの必要性を認識しているが、導入コストの高さや演習環境の維持管理を行う人員の不足から、サイバーレンジの導入が進んでいない[5][6]。

このため、サイバーセキュリティ演習システム CyExec (Cyber security Exercise)を開発した。CyExecは、基盤システムと演習コンテンツから構成される。

基盤システムは、VirtualBox や Docker など、オープンソースソフトウェア OSS を用い、低コストで導入・維持が可能である。また、高い移植性を持つアーキテクチャにより、複数の組織で利用が可能であり、演習プログラムをエコシステムとして共同開発・共同利用することで、個別組織による開発負担を減らし、多くの教育機関で目的に沿ったカリキュラム設定が可能である。

演習コンテンツは、基礎と応用に分け構成される。基礎編として体験学習ツールの実装、応用編として攻撃と防御のインタラクティブなシナリオを開発し、演習プログラムを実装した[5][6][7]。

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 昭和女子大学, Showa Women's University

本論文では、2章でサイバーセキュリティ教育の状況と課題、3章でサイバーセキュリティ演習システム CyExec の提案、4章で CyExec へ実装する演習コンテンツの内容、5章で高等教育機関での教育効果の検証結果について述べる。

1 サイバーセキュリティ教育の現状と課題

1.1 サイバーセキュリティ教育の状況

表1は、実践的なサイバーセキュリティ教育を実施している高等教育機関の状況を示す[5]。

表 1:サイバーセキュリティ教育の取り組み状況

大学	内容	教員体制	備考
東京工業大学	在籍する学生を対象に、「サイバーセキュリティ特別専門学修プログラム」として、2016年度から5つの講座を開講	概論科目は学内教員が担当。その他は協力企業の外部講師が担当	野村総研、楽天、NTT、産総研の協力でカリキュラム作成、講座の実施
東京電機大学	CISOや上級エンジニアを目指す社会人や大学院生向けに、国際化サイバーセキュリティ学特別コース「CySec」を開講	学内教員と企業等の外部講師によるオムニバス形式で実施	攻撃技術、フォレンジック、心理、法と倫理と、幅広いカリキュラム設定
情報セキュリティ大学院大学	在籍する学生を対象とした実習科目として、3つの講座が設けられている。企業からの支援によりサイバーレンジを導入し、大学院側との協業体制により演習を実施	学内教員と企業等の外部講師によるオムニバス形式で実施	
enPIT関係	基礎科目・演習・先進科目から構成される。大学院生向けに開講されているが、学部生向けのコースも設置し、11大学で連携。社会人向けコースは、実践技術を学びキャリアパス構築を支援する講座を7大学で実施	一部の大学では、講義は学内教員と企業等の外部講師によるオムニバス形式で実施	5つの大学（情セ大、奈良先端大、北陸先端大、東北大、慶應大）を中心に実施

例えば、東京工業大学は、2016年度より情報理工学院に「サイバーセキュリティ特別専門学修プログラム」を開設している。カリキュラム作成や外部講師として企業等の協力を得ており、理論的背景にある知識と、OWASP top 10をベースにしたサイバーセキュリティの実践的な内容を学ぶカリキュラムを設定している[8]。

東京電機大学は、2015年度より社会人や大学院生向けの特別プログラムとして「サイバーセキュリティ学特別コース(CySec)」を開講している。上級エンジニアの育成を目指し、学内教員と企業等の外部講師で幅広いカリキュラムを設定している。

これらの実践的なサイバーセキュリティ教育を実施する教育機関では、講義形式のみではなく演習形式の授業を取り入れ、実践力を伴った人材を育成するカリキュラムを設定しており、その維持のため企業や外部組織と連携し、専門家の支援を受けた運用体制をとっている。

上記に紹介した以外にセキュリティ教育を実施している高等教育機関の多くは、暗号やネットワークを専門とする教員により、情報セキュリティの概論あるいは暗号技術の教育の実施に留まっている。

サイバーセキュリティ教育は単独でカリキュラム開発や演習を実施することが難しく、費用面・人材面で企業等の支援を受けずにカリキュラムを維持することが難しい。多くの教育機関は、実践的サイバーセキュリティ教育の必要性を感じているが、対処できていないのが現状である。

1.2 サイバーセキュリティ演習の課題

実践的なサイバーセキュリティ教育を行っている教育機関で採用している演習方式として、以下の2つがある。

(1) 体験学習ツールによる演習

脆弱性の概要や診断、および対策などを体験し、知識や技術を修得する。ツールの例として、セキュアなソフトウェア開発を促進するコミュニティであるOWASP(Open Web Application Security Project)が提供するWebGoatや、IPA(情報処理推進機構)が提供するAppGoatがある。両者とも無償で公開されており、利用時はPCにインストールして演習環境を構築する。

AppGoatは、集合教育を想定したカリキュラムが策定されているが、カリキュラム変更が困難なため柔軟性に欠ける。また、ツールの改訂が定期的に行われていないため、新しい脆弱性への対処ができていない[9]。

WebGoatは、技術変化に合わせたプログラムの改訂作業が随時実施されているが、英語による学習素材のみの提供であり、演習実施にはカリキュラムやテキストの整備が必要である。また、完成度が不十分な演習も含まれ、利用にあたっては事前の分析が必要である[8]。

体験学習ツールによる演習の学習範囲は脆弱性の検出および対策に限定され、攻撃側と防御側に分かれたインタラクティブな演習に欠ける。

(2) サイバーレンジによる演習

CSIRT(Computer Security Incident Response Team)やSOC(Security Operation Center)など、セキュリティインシデントに対応可能な組織の人材の育成を目的とした実践的演習である。サイバーレンジで構築する演習環境は、専用に用意した機器で動作する仮想環境にクライアント、サーバ、ネットワークなど現実世界のシステム環境を模して構築する[4][5]。

表2に、サイバーセキュリティ演習の課題を示す。

受講者は、マルウェアなど不正なプログラムを用いた攻撃に対し、攻撃手法やマルウェアの種類、被害状況の確認や対応方法の訓練など、攻撃発生から対応終結までの一連の流れ(シナリオ)を想定した学習が可能である。しかし、サイバーレンジは導入・維持コストが高額である。また、市販の製品は導入組織の意向に合わせたシナリオ変更の柔軟性に欠ける。このため、次章で述べるサイバーセキュリティ演習システムCyExecを開発した[6][7]。

表 2:サイバーセキュリティ演習の概要と課題

	体験学習ツール	サイバーレンジ
目的	<ul style="list-style-type: none"> 攻撃手法の体験 脆弱性の検出および対策技術の習得 	<ul style="list-style-type: none"> 攻撃と防御技術の習得 役割に応じた実践的な対応
対象	<ul style="list-style-type: none"> システムやアプリケーションの脆弱性(主に Web アプリケーション) 	<ul style="list-style-type: none"> セキュリティ機器、ネットワーク機器およびシステム、サービスなど全域 インシデントに対応する各役割における担当者
代表例	<ul style="list-style-type: none"> WebGoat (OWASP) AppGoat (IPA) 	<ul style="list-style-type: none"> CYBERIUM (富士通) TAME Range (大日本印刷) ADI Cyber Range (NTT Data)
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 低コストで演習環境を構築可能 Web アプリを中心とした脆弱性検出と対策 	<ul style="list-style-type: none"> サイバー攻撃や防御の相互演習 組織的な対応方法の習得 実際のマルウェアや現実におこるインシデントを再現
費用	<ul style="list-style-type: none"> 無償 	<ul style="list-style-type: none"> 数千円～数億の導入費用 機器保守費用 シナリオ開発費用 演習実施や維持の人的費・委託費
課題	<ul style="list-style-type: none"> 演習シナリオが固定 一部を除き攻撃と防御の相互演習が未整備 組織的な対応方法は学習範囲外 	<ul style="list-style-type: none"> 導入、維持管理コストが高額 演習シナリオの自由な変更や追加が困難 演習実施や環境維持に専門知識を持つ人員が必要

2 WebWolf の構成と機能サイバーセキュリティ演習システム CyExec の提案

2.1 サイバーセキュリティ演習の課題と対策

高等教育機関におけるサイバーセキュリティ演習の課題に対応するには、下記に示す内容の考慮が必要である。

- ・ 現有する計算機システムおよび教員構成でサイバーセキュリティ教育の実施
- ・ 脆弱性の検出と対策に関する基礎技術の修得を重視
- ・ 演習コンテンツを複数の教育機関で共同開発・共同利用

表 3 は演習実施のための課題と対策を示す。

表 3:サイバーセキュリティ演習実施の課題と対策

課題	対策	特徴
<ul style="list-style-type: none"> ・ 現有計算機システムで実現 ・ 複数の教育機関で共同開発・共同利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 仮想化技術を採用し、現有する計算機環境下に導入可能な演習システムを実現 ・ 演習コンテンツを基礎と応用に分け構成 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導入・維持コストの負荷が低い ・ 共同開発・共同利用が容易(エコシステム) ・ 基礎演習コンテンツとして体験学習ツールを利用
<ul style="list-style-type: none"> ・ 知識や技術の不正利用防止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法と倫理教育の徹底 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 誓約書などの形で自覚を促す

(1) 演習システム

市販の演習システムを導入維持するには、高等教育機関では経費負担が大きい。また、教育機関では学生の能力に合わせた演習内容の調整が必要であるが、市販の演習システムでは、カスタマイズが容易ではない。このため、仮想化技術を用いて、教育機関で所有するサーバや PC 環境で導入可能な演習システムを実現する。

(2) 演習コンテンツ

演習での学習内容やシナリオは、教育機関における教育目的や受講者の能力などを考慮した開発が必要である。このため、図 1 に示すように、脅威や脆弱性など学ぶ基礎演習と、より実践的に攻撃と防御の技術を学ぶ応用演習に分け、段階的に学ぶ仕組みとする。

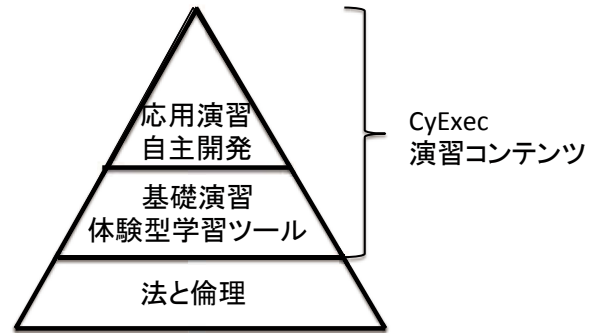


図 1: CyExec の演習コンテンツ構成

基礎演習は、サイバーセキュリティ教育に必要な基礎知識を、OSS ベースの体験学習ツールを利用して学習する。例えば WebGoat 演習ツールは、毎年、新たな脆弱性に関し改訂される長所がある。応用演習は、シナリオに応じた攻撃や防御の演習プログラムの開発が必要となる。

応用演習の開発は技術と時間がかかるため、複数の教育機関で得意分野のコンテンツを開発し共同利用できることが必要である。開発したコンテンツの移管や動作が容易なシステム構成とすることで、演習コンテンツのエコシステムが実現できる。

サイバーセキュリティの演習では、受講者が演習を通じて得た技量を、故意あるいは過失により悪用することがないよう、受講者に対し、得られた技量の扱い方により法律に抵触することを、倫理を含め教育する。特に社会人経験のない学生への教育は必須である。

2.2 サイバーセキュリティ演習システム CyExec の提案

提案するサイバーセキュリティ演習システム CyExec は、仮想化技術を用いて現有する計算機環境へ導入する。利用する仮想化技術に関して、表 4 に示す 3 つを比較し検討した。

ハイパーバイザ型の仮想化は、安定した動作が見込めるが、専用のソフトが必要であり、導入コストが高額である。ホスト型の仮想化は、仮想マシンの数が増えると負荷が高くなるが、現有する環境で稼働中の様々な OS (ホスト OS) 上で利用できるため多くの環境に対応でき、開発した環境の移植も容易である。コンテナ型の仮想化は、他の仮想化方式と比較すると安定性に欠けるが、高速・軽量で高密度な演習環境を構築できる。これらを考慮し、図 2 に示す

CyExec アーキテクチャを提案した。

表 4: 仮想化技術の比較

方式	特徴	メリット	デメリット
ハイパーバイザ型	専用ハードウェア上でハイパーバイザと呼ばれるプログラムが動作し、仮想マシンを構築	仮想マシンが他からの影響を受けにくく、安定している	専用機器や有償ソフトが必要で、導入コストが高い
ホスト型	稼働中の OS 上に導入する専用ソフトがハイパーバイザの役割を担い、仮想マシンを構築	既存の環境で使えるため、容易に導入可能	オーバーヘッド(遅延)が他に比べ大きくなりがち
コンテナ型	OS 上で必要なプロセスを分離させ、仮想マシンとして動作させる	余計なプロセスが無く、高速・軽量に動作	ホスト OS や他コンテナの影響が大きい

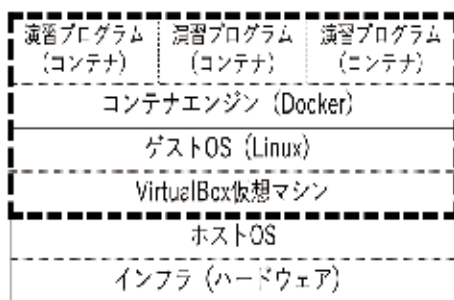


図 2: CyExec のアーキテクチャ

(1) 現有する計算機環境に依存しない演習環境

様々な環境で容易に利用できる移植性の高いシステムとし、多くの教育機関での導入・利用を可能とする。そのため、ホスト型の仮想化ソフトウェアである VirtualBox を基盤システムとして採用した。VirtualBox で作られた仮想マシンは、エクスポート・インポートの機能により容易に別の環境へ移植して利用することができる。また、対応する OS が多く、多くの教育機関で現有する計算機環境に導入することができる。

(2) 高い移植性の演習環境

演習の実施には様々な演習プログラムが必要となるが、単独の高等教育機関で開発から演習の実施まで全てを完結するのは困難である。そのため、コンテナ型の仮想化ソフトウェアである Docker を用いて演習プログラムを実装し、エコシステムの考え方による複数組織での演習プログラムの共同開発・利用を実現させる。エコシステムとは、単独の組織ではなく関連する組織の協業により、関連組織全体が発展することを示す言葉である[7]。

Docker はイメージ管理や共有の機能が優れており、公開されている様々な用途のコンテナイメージを開発に利用できる。演習目的により必要なコンテナイメージを利用することで、容易にかつ短期間で開発が可能である。また、開発した演習プログラムのコンテナイメージを関連組織内で共有することで、エコシステムとして共同開発・利用の体

制を容易に確保できる。

高等教育機関で所有する計算機環境で動作するホスト OS に VirtualBox で仮想マシンを作成し、そこで動作するゲスト OS 上の Docker コンテナで、攻撃や防御の演習プログラムを実装する。

多くの高等教育機関での導入が可能で、かつ、演習プログラムを容易に変更できる演習システムである。低コストで導入できる移植性の高いアーキテクチャを考慮し、攻撃や防御の演習プログラムをエコシステムとして共同開発・共同利用することで、単独での開発負荷を軽減して柔軟な学習内容の変更に対応する。エコシステムとして様々な組織での利用を想定するため、基本アーキテクチャには最低限必要な構成のみを定義した。

3 演習コンテンツ

3.1 概要演習コンテンツの基本構成

、図 1 に示すように、CyExec へ実装する演習コンテンツは基礎演習と応用演習から構成される。基礎演習は、体験学習ツールを用いるなど、脆弱性の概要や検出、対応技術を学習する。応用演習は、実際に起こるインシデントを想定し、実践的な知識やスキルを学習する。

演習コンテンツは、受講者のレベルや必要な学習内容に対応できるシナリオを検討する。必要な学習内容を検討するには、ITSS+や SecBok が参考となる。ITSS+はセキュリティインシデントに対応する各役割に関し、知識や経験を踏まえたレベルごとに必要なタスクが確認できる[14]。SecBok は、それぞれの役割ごとに必要となる知識やスキルが具体的に示されている[15]。これらを参考に、必要な学習内容を絞り込んで検討する。一つのシナリオで必要な学習内容を網羅することは難しいが、複数のシナリオを用いて、様々な攻撃手法や脆弱性への対処方法、扱うツールの違いを学ぶなど、受講者に適した内容を検討する。

法と倫理ガイダンスは、演習で学ぶ知識やスキルを悪用しないよう、サイバーセキュリティに関係する法律や、事例を交えた倫理教育などを実施する。得られ技術を不適切に扱った場合、どのような法律に抵触するか学ぶ。法と倫理を学習した上で演習を実施する。演習にあたって不正に技術を扱わないなど誓約書へのサインを求める[7]。

次節以降で、CyExec の演習コンテンツの内容について例を示す。

3.2 基礎演習

表 5 は Webgoat の演習テーマの概要を示す[9]。

WebGoat 演習は、OWASP により定期的に改訂されている。演習内容が十分にチェックされていない不完全なものもある。また、英語の専門用語から構成され、専門学校生、大学学部生がそのまま利用するには難度が高いという

問題がある。このため、本論文では内容を紹介しないが、専門家による日本語テキストを作成した。

WebGoat 演習の内容に関し、SQL インジェクションを例に説明する。

(1) 演習目的

SQL の基礎知識と SQL インジェクションの脆弱性の概要、検出方法について演習課題を通じて理解し、サイバー攻撃と防御の基礎技術を修得する。

(2) 修得可能なスキル (SecBok より該当する項目を抜粋)

- 脆弱性診断に関する基礎知識
- システムとアプリケーションのセキュリティ上の脅威と脆弱性に関する知識
- 脆弱性の種類と関連する攻撃の認知とカテゴリズに関するスキル

表 5: WebGoat 演習テーマの概要

演習テーマ	詳細
Introduction	WebGoat の概要
	WebWolf の概要
General	HTTP ベーシック
	HTTP プロキシ
Injection Flaws	SQL インジェクション (上級)
	SQL インジェクション
	SQL インジェクション (初級)
	XXE(XML External Entity)
Authentication Flaws	認証の回避
	JSON Web トークン (JWT)
Cross-site Scripting	パスワードリセット
	クロスサイトスクリプティング (XSS)
Access Control Flaws	安全でないオブジェクトの参照
	アクセス制御機能の欠陥
Insecure Communication	安全でないログイン
Insecure Deserialazation	安全でないデシリアライゼーション
Request Forgeries	クロスサイトリクエストフォージェリ
Vulnerable Components	脆弱なコンポーネントの利用
Client Side	フロントエンドの制限回避
	クライアント側のフィルタリング
	HTML の改ざん
Challenges	Webgoat 総合演習

(3) 攻撃手法の例

SQL インジェクションの主な原因は、入力データの一部がリテラル (SQL 文中の定数) をはみ出し、SQL 文の内容が変わることが原因である。以下に攻撃例を示す。

```
select * from users where LAST_NAME = "" +
userName + "";
```

…(式 1)

(式 1) は、LAST_NAME カラムを検索条件として users テーブルを検索する SQL 文である。userName は、リクエストから受け取った入力値を格納する変数である。例えば、画面の入力フォームから "Smith' or '1' = '1" という文字列を送信すると、入力した文字列が変数

userName に格納され、以下の式が実行される。

```
select * from users where LAST_NAME = 'Smith'
or '1' = '1';
```

…(式 2)

(式 2) の条件式 "LAST_NAME = 'Smith' "及び " '1' = '1' " は、論理演算子 "or" により論理和として評価される。条件式 " '1' = '1' " は必ず真となる条件のため、式 2 は全てのデータを検索対象としてしまう。

このように、SQL インジェクションの脆弱性がある実装は、SQL 文が入力値により改変され、意図しない実行結果を発生させる可能性がある[16]。

(4) 演習課題

図 3 は、WebGoat のによる SQL Injection の演習課題の例を示す。

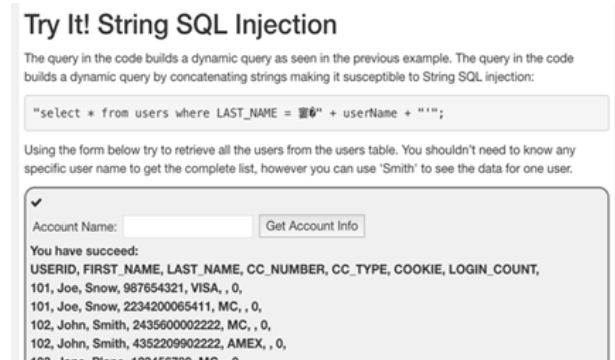


図 3: SQL Injectio の演習例

演習課題は、入力されたユーザの情報をデータベースから取得し、結果を表示する演習用プログラムである。このプログラムには SQL インジェクションの脆弱性があり、入力フォームに特定のコードを入力すると、攻撃が成功しユーザ情報の一覧が表示される。

WebGoat は、演習課題の例に示すような学習素材のみの提供で、全て英語である。また、演習の中には開発中のものもあるため、内容を吟味し、カリキュラムの整備や補助資料の作成が必要である。

3.3 応用演習

応用演習は、想定するシナリオに沿って実践的な知識やスキルを学習する[17]。以下に、開発した応用演習プログラムの例を示す。演習内容は、Web サーバへの不正アクセスを扱ったシナリオである。

(1) 演習目的

組織内での役割ごとの対応力向上のため、システム管理者、攻撃者、利用者など複数の視点で演習を実施することにより、セキュリティ インシデントへの対応手法を総合的に習得する。

(2) 習得可能なスキル (SecBok より該当する項目を抜粋)

- ・ セキュリティシステムにおける脆弱性スキャンの実施と脆弱性の認識に関するスキル
- ・ ペネトレーションテストの原理, ツール及び技術に関する知識
- ・ サーバ診断ツールと障害識別技法に関する知識

(3) 演習シナリオ

演習シナリオは, 攻撃側と防御側に分かれる. 図 5 に演習シナリオのイメージを示す.

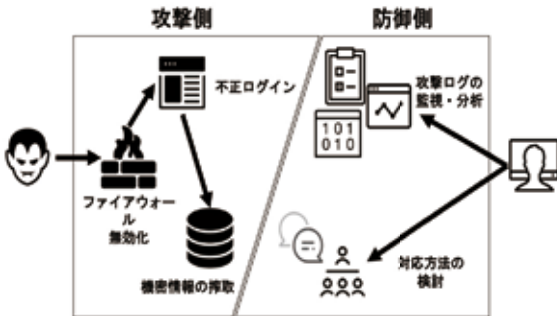


図 4: 演習シナリオ

攻撃側の演習は, 攻撃対象のサーバに存在する脆弱性を利用して Web サイトへの不正ログインを行う. ファイルアップロード機能を悪用したバックドアの作成や, データベースへの不正アクセスにより, 機密情報の窃取を体験する [18].

防御側の演習は, ログ分析ツール GoAccess を用いアクセスログを調査し, アクセス数やアクセス元, ログイン成否等の情報を可視化する. また, ログイン履歴やアプリケーションログの内容から, 攻撃の痕跡を調査する. ログの調査と分析を通じて, 対処方法を検討する.

(4) 仮想ネットワーク構成

図 5 は演習環境の仮想ネットワーク構成を示す実際のシステム環境を考慮し, サーバや利用端末毎に分けて演習環境を構築する.

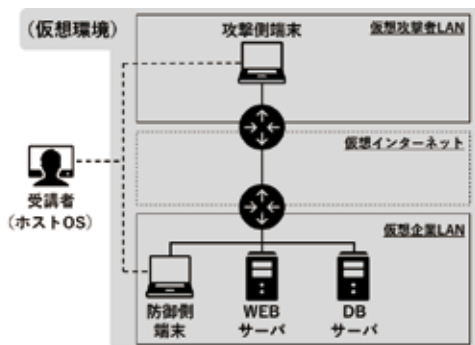


図 5: 演習の仮想ネットワーク構成

図 6 は CyExec に実装した演習プログラムの構成を示す. Docker コンテナにより, 演習シナリオの再現に必要な

仮想ルータ, 操作用のデスクトップ端末, サーバなどを実装する.

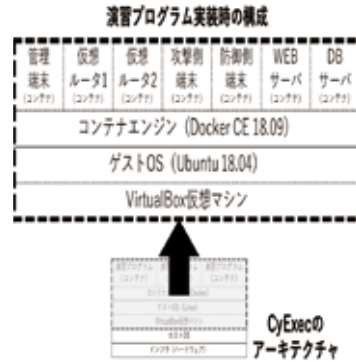


図 6: 演習プログラムのコンテナ構成

(5) システム要件

表 6 は, 開発した応用演習環境のシステム要件を示す.

表 6: 応用演習環境のシステム要件

ゲスト OS	OS	Ubuntu 18.04
	メモリ	2GB
	ストレージ	20GB
演習プログラム	コンテナ構築	Docker CE 18.09
	プログラム言語	Ruby 2.5.1, PHP 7.2
	データベース	MySQL 8.0
	Webサーバ	Apache 2.4

(6) 開発

開発は, 作成済みのコンテナをクラウド上で共有できる DockerHub を利用した. Web サーバや DB サーバなどが実装済みのコンテナイメージの利用や, Ubuntu が動作するコンテナイメージで操作端末や仮想ルータを開発し, 作業負担を大幅に軽減した. 図 8 は, 開発した演習コンテンツの画面を示す.

上記の開発には, 初期バージョンに 6 人月かかっている. 演習に使えるにさらに検証などの時間が必要である. このため, 一つの教育機関で開発するには負荷が大きく, 共同利用・共同開発の取り組みが必要である.



図 8: 応用演習の画面例

4 学習効果の検証

CyExec の学習効果を検証するため、4.2 に述べた基礎演習を用いた模擬授業を実施した。対象は、情報工学系、高専、および社会人大学院修士課程の学生のべ 14 名である。講師や TA (Teaching Assistant) を CyExec の開発に関与した産業技術大学院大学の学生が担当し、講義および演習のサポートを行った。

授業内容は基礎演習の要約版を 3 時間で実施した。時間が限られていたため、事前に CyExec および基礎演習コンテンツを実装した演習用 PC を用意した。演習内容は、Injection Flaws (SQL Injection) と Authentication Flaws (Authentication Bypasses) を使用した。また、効果の検証のため、授業終了後にアンケート調査を実施し、課題を分析した。

基礎演習で用いる WebGoat は全て英文で表記されており、演習内容や解説の理解が困難な場合がある。円滑に演習を行うため、日本語訳のテキストを用意した。演習で必要となるスキルについての解説を講義形式で実施した後、演習を行った。

受講対象者は、ネットワーク、データベース、プログラミング、情報セキュリティ科目の単位を取得済みで、サイバーセキュリティに関する基礎レベルの知識を有するが、演習を伴った授業の経験はない。

表 7 は、実施したアンケートの設問内容を示す。

設問は、演習の内容、および模擬授業で使用した教材、講師の説明、TA のサポートに関する内容で構成した。それぞれ 5 段階での評価と、選択した理由の記述により、理解に役立つ点や不足した点を確認する内容となっている。

全ての設問で、50%以上が 4 以上の高い数値を選択しており、模擬授業の理解度・満足度の高さが示された。特に CyExec の演習効果に直接関わる Q1 は 5 割が理解できたと回答しており、サイバーセキュリティ教育に効果的であることを確認できた。

表 7: アンケートの設問

設問	回答欄
Q1. 演習問題の理解度	・ 5 段階、および理由の記述 5 十分に理解できた 4 3 普通 2 1 理解できなかった 理由:
Q2. 演習教材の分かりやすさ	同上
Q3. 講師の説明の分かりやすさ	同上
Q4. TA のサポートの適切さ	同上
Q5. その他、ご意見ご要望	記述:

図 8 はアンケートの結果を示す。

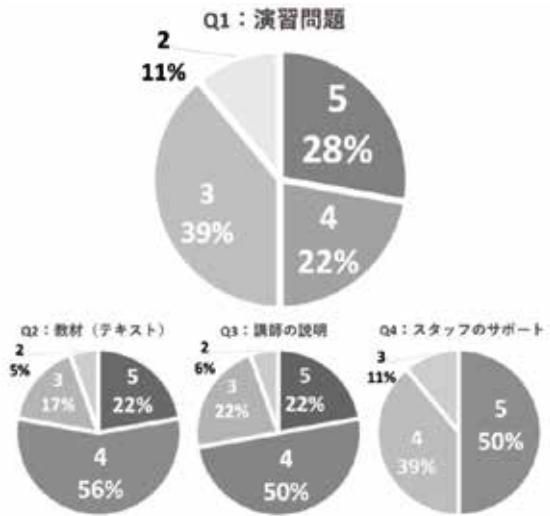


図 8: アンケート結果

自由記述への回答内容を以下に示す。

(1) ポジティブな意見

- ・ 授業内容が理解しやすく、日本語演習教材の活用などにより理解が促進された。
- ・ サイバーセキュリティに対する興味が強まった
- ・ 具体的な脆弱性検出などシンプルな内容で分かりやすく、演習がスムーズに進んだ
- ・ 手間取った演習も詳細な説明や TA (教員補助) のサポートより回答できた

回答の内容から、演習により理解が促進できることが確認できた。また、演習がスムーズに実施できたことや、講師による適切な解説や補助教材の充実に関する評価も得た。特に、日本語によるテキストを用いた講師の説明や TA のサポートに関する意見が多く見られ、補助教材や演習のサポート体制の重要性も確認できた。

(2) ネガティブな意見

- ・ 演習課題を回答するためには前提知識が必要であるため、事前に詳細な説明が必要である
- ・ 抽象的な話ではなく事例など具体的な内容の説明が欲しい
- ・ 3 時間の模擬授業では時間が少なく、演習解説の説明が理解できない部分があった

演習の難易度や時間設定に関する課題を得た。さらなる教材の改善や、講師用ガイダンスの作成により、演習による効果がより高くなるよう開発を進める必要がある。

今回の模擬授業による検証の結果、CyExec 演習システムをサイバーセキュリティ教育に採用する有効性が確認できた。特に、基礎レベルの知識を有する対象に対し、知識の深化や技術の修得に有効であることが確認できた。

全ての設問で、50%以上が4以上の高い数値を選択しており、模擬授業の理解度・満足度の高さが示された。特にCyExecの演習効果に直接関わるQ1は5割が理解できたと回答しており、サイバーセキュリティ教育に効果的であることを確認できた。

5 おわりに

サイバーセキュリティ人材の育成に用いられる演習システムは、コストの高さや運用面の課題から、高等教育機関で導入が進んでいない、このため、教育機関で容易に導入でき、共同開発・共同利用が可能なサイバーセキュリティ演習システムCyExecの開発を行った。

CyExecは、VirtualBoxおよびDockerエンジンによる基盤システムと、コンテナによる演習コンテンツから構成される。Virtual Boxによる仮想マシンの高い移植性と、Dockerコンテナによる演習コンテンツをエコシステムとして活用が可能なアーキテクチャであり、低コストで導入が可能な演習システムである。多くの教育機関で演習コンテンツの共同開発・共同利用を進めることで、単独での演習コンテンツ開発の負担を軽減し、多様なカリキュラムへ対応するため、学習内容の自由な変更が可能である。

演習コンテンツによる教育効果について、工学部学生などを対象に模擬授業を実施し、有効性の検証を行った。その結果、高い理解度と満足度を得ることができ、CyExecによるサイバーセキュリティ演習の効果について一定の評価を得ることができた。

CyExecは、2019年7月の時点で1つの企業、6つの大学、3つの専門学校へ移管済である。今後、移管先の組織でも検証を行い、演習コンテンツの充実と演習効果の向上を図る。

謝辞

本研究はJSPS科研費JP16K19K03006の助成を受けた。

参考文献

- [1] 情報処理推進機構: 情報セキュリティ白書 2018
- [2] 内閣サイバーセキュリティセンター: サイバーセキュリティ戦略, <https://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cs-senryaku-kakugikettei.pdf> (2019年6月1日現在)
- [3] 経済産業省: IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果, http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY/ITjinzai_report_summary.pdf (2019年6月1日現在)
- [4] 江連三香: サイバー攻撃に備えた実践的演習, 情報処理, Vol.55, No.7, pp.666-672 (2014).
- [5] 中田亮太郎, 長谷川久美, 瀬戸洋一: コンテナ型仮想化技術によるサイバー攻撃と防御の演習システムCyExecの開発, 情報処理学会第80回全国大会講演論文集 2018, pp.4150416 (2018).
- [6] 豊田真一, 中田亮太郎, 長谷川久美, 慎 祥揆, 瀬戸洋一: エコシステムで構成するサイバー攻撃と防御演習システムCyExecの提案, Computer Security Symposium 2018 (2018).
- [7] 笠井洋輔, 夏 立娜, 黒木大志, 豊田真一, 長谷川公志, 緑川和宏, 慎 祥揆, 瀬戸洋一: サイバーセキュリティ演習システムCyExecを用いた演習コンテンツの開発, 2019年 暗号と情報セキュリティシンポジウム (2019).
- [8] OWASP: OWASP WebGoat Project, https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP_WebGoat_Project
- [9] 情報処理推進機構: 脆弱性体験学習ツール AppGoat, <https://www.ipa.go.jp/security/vuln/appgoat/>
- [10] SANS Institute: The Who, What, Where, When, Why and How of Effective Threat Hunting, <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/analysis/who-what-where-when-effective-threat-hunting-36785>
- [11] SANS Institute: Building a World-Class Security Operations Center: A Roadmap, <https://finland.emc.com/collateral/white-papers/rsa-advanced-soc-solution-sans-soc-roadmap-white-paper.pdf>
- [12] NIST: Alterations to the NIST Cybersecurity Framework, https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/04/20/2017-04-10_sqrrl_enterprise.pdf
- [13] SANS Institute: Building a World-Class Security Operations Center: A Roadmap, <https://finland.emc.com/collateral/white-papers/rsa-advanced-soc-solution-sans-soc-roadmap-white-paper.pdf>
- [14] 情報処理推進機構 (IPA): ITSS+ (プラス)・ITスキル標準 (ITSS)・情報システムユーザースキル標準 (UISS) 関連情報, <https://www.ipa.go.jp/jinzai/itss/itssplus.html>
- [15] 日本ネットワークセキュリティ協会 (JNSA): セキュリティ知識分野 (SecBok2019), <https://www.jnsa.org/result/2018/skillmap/>
- [16] 徳丸 浩: 体系的に学ぶ 安全な Web アプリケーションの作り方 第2版 脆弱性が生まれる原理と対策の実践, SB Creative (2018).
- [17] 八木 毅, 青木 一史, 秋山 満昭, 幾世 知範, 高田 雄太, 千葉 大紀: 実践サイバーセキュリティモニタリング, コロナ社 (2016).
- [18] IPUSIRON: ハッキング・ラボのつくりかた 仮想環境におけるハッカー体験学習, 翔泳社 (2018). <https://github.com/WebGoat/WebGoat/releases>

ワードクラウドによる学習動画の要約と検索を支援する e ラーニングシステム

朱 偉* · 張 軍* · 飛 田 博 章*

Interactive Word Cloud to Summarize and Browse Online Videos to Enhance eLearning

Wei Zhu*, Jun Zang*, and Hiroaki Tobita*

Abstract

In this paper, we describe our Wordy system, which creates a word cloud based on video content and allows users to summarize and search for video content using the word cloud. We focus on lecture videos: converting speech information from the videos into text, extracting keywords from videos through morphological analysis, and creating a word cloud comprised of those keywords. In addition, the keywords in the word cloud are selectable. When a user selects a keyword, the system will find several points of the video in which a teacher talks about the keyword; the system then generates a relevant list of thumbnails. In order to save time for the user, the system offers a digest playback mode that consecutively browses the scenes concerned with the keywords. Herein, we describe our concept and the implementation of the prototype system.

Keywords: Online Learning, Word Cloud, Video Lecture, Interactive System, Web Application, Speech Recognition

1 はじめに

ネットワークの高速化とモバイルデバイスの発達により、オンライン e ラーニングシステムが広く使われるようになって [1, 2]. インターネットに接続することで、いつでもどこでもビデオ講義を受講することができる点に特徴があり、自然科学、情報技術、およびビジネススキル等様々なビデオコンテンツが提供されている。しかし、既存のシステムでは、ビデオコンテンツから必要な情報を効率的に検索することは困難である [3, 4, 5, 6].

一般的に、e ラーニングシステムで学ぶための操作は 2 つに大別される。まず、学習テーマに沿って視聴したい授業動画を選択する。この時、学習者は e ラーニングのウェブサイトにて授業動画の概要説明を読むことや、お試し版の動画をみることで、自分に適した動画を選択する。次に、選択した動画の再生位置を選択する。全体を学習したい場合は最初から動画を再生し、知りたい部分を中心に学習したい場合はスライダーを操作して再生位置を探す。特に、一度見た動画を復習する際には、スライダー操作を繰り返して復習ポイントを設定して動画を再生する。従って、授業動画による e ラーニングシステムでは、動画の選択方法と学習および復習ポイ

ントを特定する手法が重要であると言える。加えて、こうした一連の操作は単一の動画の操作を対象としているため、複数の動画にまたがる検索や閲覧も重要となる。

しかし、既存の e ラーニングシステムはビデオ内容に対するキーワード検索を提供していないため、検索や閲覧に際し制約が多い。特に、従来の e ラーニングシステムでは、学習者はビデオを再生せずにビデオコンテンツの内容をチェックすることが難しい。授業動画の検索は、現在のところ、タイトル、概要紹介や、タグ等事前に編集された情報をもとに検索する。しかし、動画の内容にはタイトルまたは、概要や、タグ等に含まれない情報が多いため、内容に関連する情報を検索する際にこうした手法では十分とは言えない。例えば、Google や他の検索エンジンの場合、ユーザはキーワードを入力することで、インターネットに公開されている情報からキーワードに関連する情報を容易に取得できる。また、こうしたキーワード検索を日常的に使っているため多くの人々が操作に慣れているため、授業動画の検索にも有効に作用すると考えられる。

本論文では、授業動画で教師が話している部分を抽出しワードクラウド化することにより、授業動画のキーワードとダイ

ジェスト閲覧を支援する Wordy システムについて述べる。授業動画で教師の話している部分は中心的な役割を果たしている要素の1つであり、キーワード検索と連携させることを考えた。そこで、授業動画から発話部分を抽出し、音声認識エンジンを介してテキストに変換した。次に、動画の再生位置とキーワードを関連付けワードクラウドとして表示する。このワードクラウドのキーワードをクリックすることで授業動画の関連する部分を検索が可能となり、検索結果からキーワードをクリックすると該当する部分を再生する機能を実現した。提案手法をクラウドサービスによる音声認識を利用した Web アプリケーションとして実現し、簡単な比較実験により有効性を検証した。

2 システム設計

2.1 従来の問題

授業動画を使った既存の e ラーニングシステムの問題点について述べる。特に、授業動画の配信を行うオンライン学習では、授業動画の選択と閲覧で制約があった。

2.1.1 講義選択

オンラインの授業動画による学習では、動画内容に関する情報を十分に伝えることが難しい。内容を入念にチェックして情報を提供することも考えられるが、授業の更新や変更への対応が難しくなる。近年、技術的な進歩の速さは目覚ましく、プログラム言語やクラウド技術は継続的に発展しているため、授業内容は毎年更新や変更されることが一般的である。また、講義全体のランキング情報や講義のサンプリング動画が提供されていればそれらを併用して講義を選択することも可能である。しかし、書籍と異なり学習者が自分に必要かどうかの判断をするためにはこれらの情報では講義選択には十分とは言えない。そのため、講義内容を知るための効果的な可視化方法が必要とされている。

2.1.2 ビデオ学習

学習者が授業動画を選択すると、動画を再生して勉強を進める。対象が動画であるため、単純な UI を操作することで動画を閲覧することができる (例えば、再生、停止や、早送りボタン等)。こうした手法は誰でも扱える点で有効であるが、単純な操作のみサポートされ、学習者は興味持つ部分を効果的に検索することが難しい。また、動画を効果的に視聴するためには、再生速度を制御することも重要である。

2.2 システムデザイン

Wordy は講義選択とビデオ学習の両方において、動画内容の視覚化とその検索により、学習効率を上げることを目的としている。

提案手法は動画内の教師の発話からワードクラウドを生成する (図 1 (左))。動画内容のキーワードは自動的にワードクラウドにまとめられるため、学習者はワードクラウドの検索ペ

ージにアクセスして、ワードクラウドからキーワードを選択することで目的の動画を見つけることができる。学習者が興味を持つキーワードをクリックすると、対応する動画と発話のテキストがリストに表示され、ヒットしたキーワードがハイパーリンクとして表示される (図 1 (右))。

また、提案手法は動画コンテンツの視覚化のために 2 種類のキーワードクラウドと、効果的な閲覧を支援するために 3 種類の再生モードを提供している。

3 実装

Wordy は、Web サービスにオンプレミスサーバーとパブリッククラウドサービスの両方を使用している。従来のシステムと同様に、オンライン e ラーニングをサポートするための Web サービスとして機能する。

3.1 システムアーキテクチャ

Wordy のアーキテクチャは、ウェブサーバとクライアントアプリケーションの 2 つの部分に分割されている (図 2)。システムは、Spring Boot フレームワークを使用してウェブサービスとして動作する。サーバー側では、ffmpeg を使用して動画から音声情報のみを抽出し、およそ 1 分単位のチャンクに分割して wav ファイルに保存する。その後、Google Cloud Speech API を使用して音声認識を行い、認識結果を Elasticsearch にロードする。また、Elasticsearch を組み合わせることで、全文検索が可能となっている。クライアント側では、Spring Boot と相性の良い Thymeleaf テンプレートを使用してウェブページを生成し検索結果を表示する。動画の再生は JW Player を使用している。

3.2 ワードクラウドの生成

クライアントアプリケーションには、大量の大学講義ビデオの内容を解析して得たキーワードで構成されたワードクラウドが表示される。ワードクラウドは D3 ワードクラウドのプラグインによって生成される。キーワードの出現頻度に応じて文字サイズを決定し、高頻度のキーワードは大きく表示され、低頻度のキーワードは小さく表示される。

提案手法では 2 種類のワードクラウドの表示が可能となっている。まず、音声認識によって生成されたテキストから作成されるワードクラウドで、形態素解析ツール (TreeTagger) を使用して、音声認識によって生成されたすべてのテキストの解析を行い、解析結果から名詞のみを選び出し、出現回数を数え、不要なキーワードを除外した後に csv ファイルに保存してワードクラウドを生成する。

また、学習者に検索されたキーワードのランキングからワードクラウドを作成することも可能である。Wordy システムは、学習者がクリックしたキーワードを記憶し、その出現回数をカウントしワードクラウドを生成するため、注目ランキングを反映させるワードクラウドとなる。



図 1：提案システムは主にワードクラウド (左) と検索結果一覧 (右) の 2 つの表示画面により構成される。学習者はそれぞれの画面を対話的に動かすことで学習を進める。

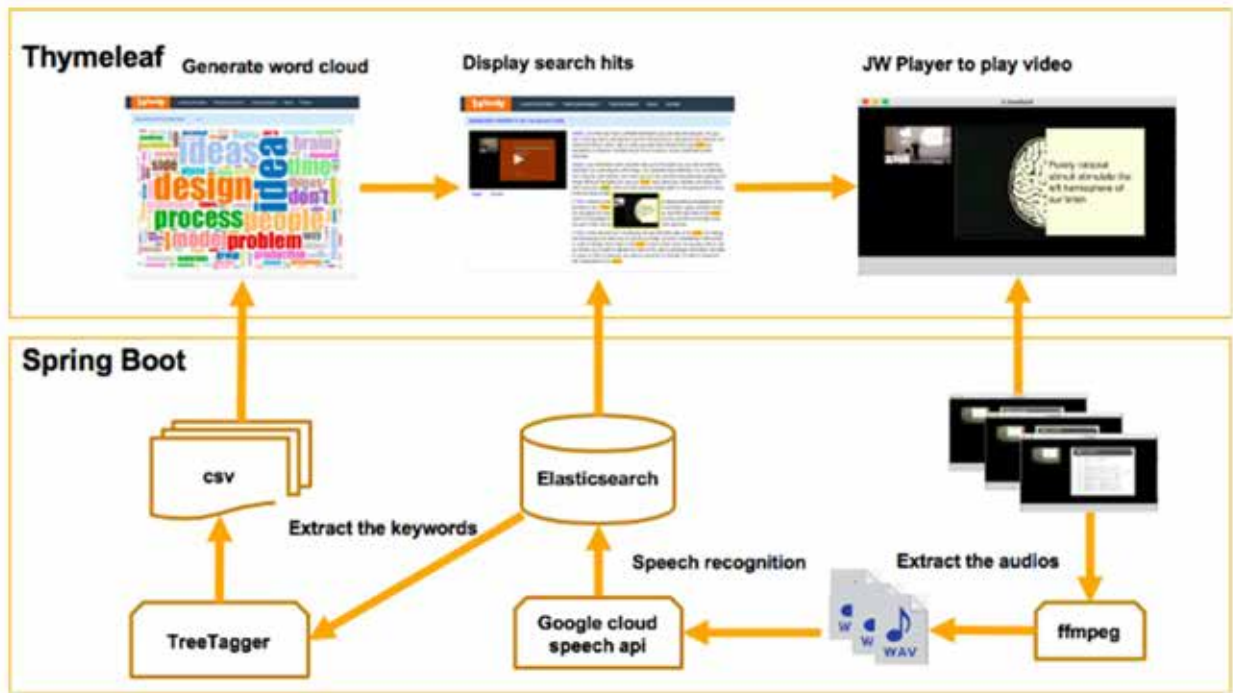


図 2：システムアーキテクチャ：Wordy はウェブサービスとして開発され、ウェブサーバ内のビデオコンテンツを分析し、検索用のユーザインターフェースを提供する。

3.3 ワードクラウドの編集

作成されたワードクラウドに対して、教師が対話的に編集を行うことが可能であり、不要なキーワードを削除することができる。Wordy システムでは、ワードクラウドは音声認識結果に基づいて自動的に作成されるため、作成された単語には重要な単語と重要でない単語の両方が含まれている。不要な単語のサイズが大きい場合、またはそれらの数が多い場合、現在のシステムは単語の視覚化を効果的に提供することができない。不要な単語を削除し、必要な単語を残すための編集機能がある。不要な単語を減らすことで、単語スペー

スを効果的に利用することができる。

ワードクラウドを編集する例を図 3 に示す。この例では、ワードクラウドには、講義のトピックとは関係のない“people”，“don't”，“time”，“things”などの不要な単語が含まれている。また，“idea”と“ideas”は、同じ単語の単数形と複数形でありながら重複して出現している (図 3 (1))。

特に，“idea”と“ideas”の両方が頻繁に登場するため、両方もサイズが大きくなってしまふ。従って、教師はそのうちの 1 方を選択し削除する (図 3 (2))。単語を削除すると、単語領域に空白が表示されるので (図 3 (3))、レイアウトを再計算し

て新しいワードクラウドを作成する (図 3 (4)).

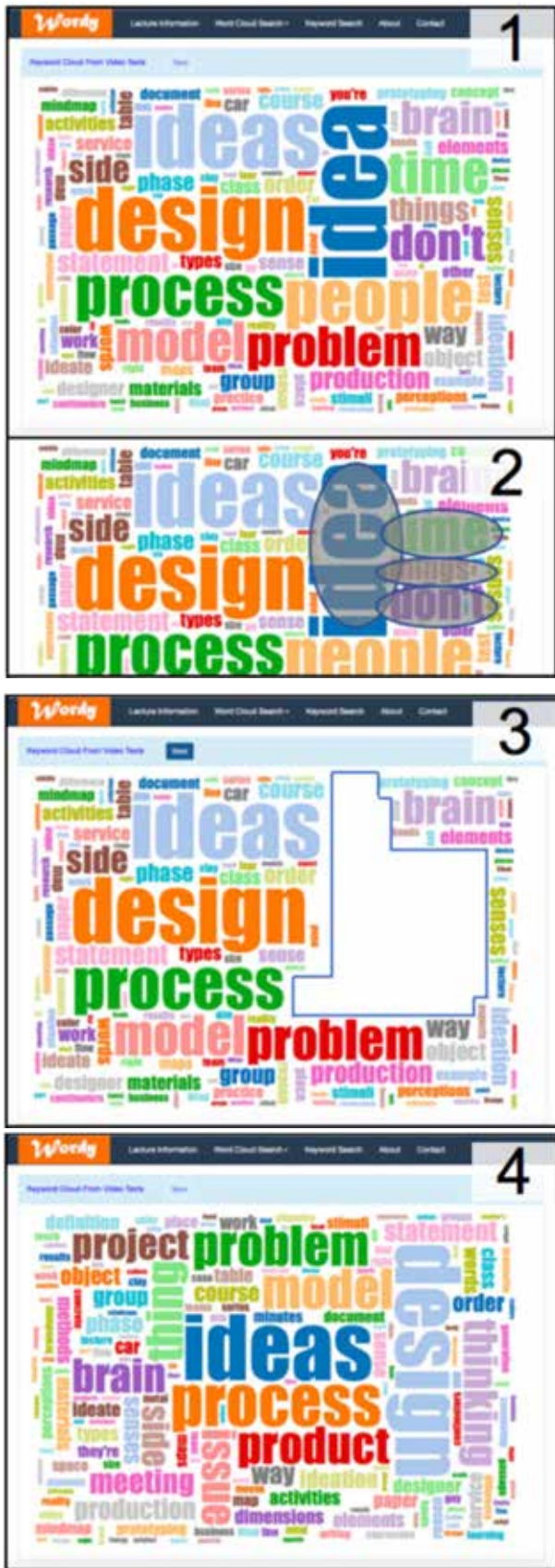


図 3 : ワードクラウドを対話的に編集し, 不要な単語を削除する.



図 4: キーワードのクリックによるプレビュー (上) と, ダイジェストプレビュー (下) により授業動画を閲覧する.

3.4 動画の操作

動画の内容がワードクラウドにより可視化されるので, 学習者はキーワードを選択することで, 関心を持つ動画位置を検索し閲覧することができる. 検索結果は Web ページとして表示され, 動画を再生する領域と, キーワードを含むテキストが表示される. 右側には, 音声認識によって生成されたビデオのテキストがリストとして表示され, 検索でヒットしたキーワードがハイライト表示されていることに加え, 対応する動画の位置にハイパーリンクが貼られている.

3.5 動画のプレビュー

効果的な動画のプレビューはビデオコンテンツを素早く見るために重要である. 提案手法では, 複数の授業動画を対象にしてワードクラウドを作成するため, 検索結果には複数のビデオが含まれている. 動画を効果的に再生し学習に役立てるために, Wordy は 3 種類のプレビューモードを提供している. 通常のプレビューモードに加えて, システムは 2 つのダイジェストプレビューモードを提供している (図 4).

キーワードクリックモードでは, 検索結果でハイライトされたキーワードのリンクをクリックして再生を開始する. マウスをハイパーリンクの上に置くと, 対応するシーンのサムネイルが

ツールチップとしてポップアップ表示される。学習者はサムネイルを確認して、ビデオを再生するかどうかを決める。ハイパーリンクをクリックすると、テキストにリンクされているターゲットシーンから再生が開始され、ビデオの最後まで再生される。

また、ダイジェストモードでは、ユーザはビデオファイル毎にキーワードを含む部分を連続で見ることができる。Wordy は、JavaScript によるコントロールで関連部分を含むダイジェスト再生を可能にした。これにより、ユーザはキーワードに関する知識をより詳細的に知ることができる。例えば、学習者が“Network”に興味がある場合、大量な授業ビデオの中、教師が“Network”を話しているシーンのみダイジェスト映画を見ることができる。

4 ユーザテスト

Wordy システムの有効性を検証するため、動画検索に関する比較実験を行った。

4.1 実験方法

実際に動画授業の視聴により学習している大学院生 5 名を被験者とし、机の上に配置したノート PC を介して実験を行った。対象とした授業動画は実際に大学院の授業で使われている 3 本の授業動画 (90 分/本) を使用した。

また、同一の授業動画に対して以下の 3 つの検索手法による比較実験を行った。

- P1 ビデオのみ提供
- P2 ビデオとそのビデオの音声テキストを提供
- P3 提案手法

P3 の提案手法では、ワードクラウドを作成し、被験者に特定のキーワードに関連する動画の部分を特定する検索を行ってもらった。

4.1.1 実験 1

以下の 3 パターンでそれぞれ実験を実施し、ターゲットシーンを見つけるまでにかかった時間を計測した。

- Q1: 1つのキーワードでターゲットシーンを探す
- Q2: 3つのキーワードでターゲットシーンを探す
- Q3: 1つのセンテンスでターゲットシーンを探す

4.1.2 実験 2

実験 1 の後でさらに実験が終わった後にアンケート調査を実施した。アンケートは以下の 3 項目である。

- Q4 該当のシーンを見つけるまで何回操作をしたか
- Q5 ビデオ検索に役立ったか
- Q6 実際に授業で使いたいのか

アンケート点数換算方法として、Q4 は回数を以下の 5 段階の中から選択してもらった。

1: 5 回以上, 2: 4 回, 3: 3 回, 4: 2 回, 5: 1 回

また、Q5 と Q6 に関しても以下の 5 段階の中から選択して

もらった。

1: 全くそう思わない, 2: あまりそう思わない, 3: どちらでもない, 4: そう思う, 5: 非常にそう思う

4.2 実験結果

ターゲットシーンを見つけるまでにかかった時間を計測した結果を表 1 に示す。図 5 から分析すると、Wordy を利用した場合、ターゲットシーンを見つけるまでの時間が普通のビデオのみ提供する場合の約 1/4 であることがわかった。

5 議論

提案手法に関して、プロトタイプ実装や、ユーザテストでの知見を踏まえて議論する。

5.1 Wordy システム

ユーザテストの結果、単一のキーワードと複数のキーワードの場合において、Wordy システムはターゲットシーンを効果的に見つけられることがわかった。まず、検索時間の比較から、Wordy システムはオンライン学習時に勉強したいポイント及び復習したいポイントを他の手法に比べ速やかに見つけられることがわかった。また、実験後のアンケートから、受験者の全員が Wordy システムを実際に授業で使いたいといった評価を得た。こうした結果から、Wordy システムを使用することで、既存の授業動画を使った e ラーニングシステムよりも、学習効率が上げることが可能であると考える。

		被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5
P1	Q1	233	91	229	132	400
	Q2	312	136	310	168	176
	Q3	237	51	335	392	396
P2	Q1	103	143	169	142	126
	Q2	87	109	47	122	160
	Q3	142	66	60	137	70
P3	Q1	80	90	70	89	86
	Q2	54	37	42	77	45
	Q3	60	63	67	58	66

表 1: ターゲットシーン検出時間 (単位: 秒).

実験が終わった後に実施したアンケート調査の結果を表 2 に示す。Wordy を利用した場合、他の 2 パターンより高い点数を得た (図 6)。特に、被験者全員が Wordy システムはビデオ検索に非常に役立つという回答を得た (表 2)。

Wordy では、ビデオのスピーチテキストに基づくワードクラウドと学習者の選択ランキングに基づくワードクラウドの 2 種類のワードクラウドを実装した。学習者の目的や好みに応じてそれぞれのワードクラウドを選択して講義ビデオを受講することが可能である。例えば、キーワードを検索して目的のビデオを見つけるには、1つ目のワードクラウドが効果的である。他人の利用ランキングを参考にしてビデオを選択して学習す

るには、2つ目のワードクラウドが効果的であると考え、ワードクラウドに関する有効性は今後調べていきたい。

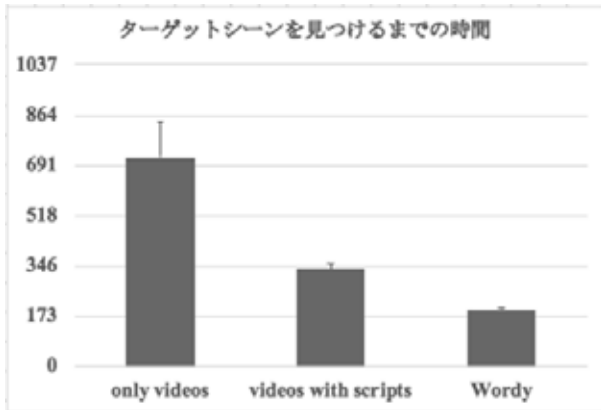


図 5: ターゲットシーン検出時間の比較。

		被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5
P1	Q4	1	1	1	1	1
	Q5	1	2	5	1	1
	Q6	2	1	1	1	2
P2	Q4	2	3	5	3	4
	Q5	5	4	5	4	4
	Q6	5	4	3	4	4
P3	Q4	3	5	4	4	5
	Q5	5	5	5	5	5
	Q6	5	4	4	5	5

表 2: アンケート結果。

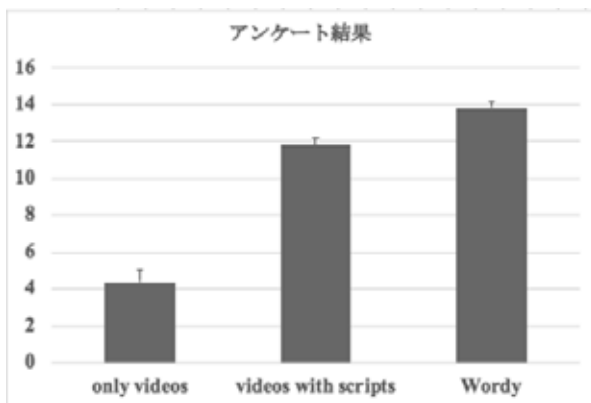


図 6: アンケート結果の比較。

5.2 Wordy の課題と今後

ワードクラウドを生成するために音声認識技術を利用しているため、音声認識の精度が視覚化に大きな影響を与える。今回のプロトタイプ実装では、現在認識精度が高い Google Cloud Speech API を使用して音声認識を行なっている。Google Cloud Speech API は普通の新聞など発音が良い音声の場合には、認識精度が 90%以上に達することがある。し

かし、講義ビデオの場合、教師の発音によって認識精度が大きく左右される。現在のプロトタイプでは、音声認識結果に含まれるエラーを手動で訂正しているため、教師の発音が悪い場合は、教師による手動訂正の負担が重いと想定される。

また、Wordy はビデオコンテンツの音声情報を使ってワードクラウドを作成するため、ターゲットビデオに大量の音声が含まれている場合は、この方法が効果的であるが、次の 2つの場合では、音声テキストだけでビデオを検索することが困難であった。最初のケースは、スピーチの少ないビデオである。この場合、ワードクラウドは小さくビデオ検索にあまり効果がない。もう 1つのケースは、バックグラウンドノイズが多い場合、または複数の人が同時に話す場合である。この場合、システムはスピーチ部分を正しく認識することが困難である。これらの問題を回避するため、講演スライドのような視覚的な情報を提供することが効果的である。スライド情報を含むビデオコンテンツの場合は、光学式文字認識 (OCR) などの画像処理テクノロジーを使用してビデオからキーワードを抽出し、ワードクラウドを作成することも検討する必要がある。

6 結論

本稿では、授業動画に基づくワードクラウドを作成し、ユーザがインタラクティブにコンテンツをまとめて検索できる Wordy システムについて述べた。また、大学のオンライン講義ビデオを使用して、システムの有効性を比較実験により示した。

音声認識の精度を高め、使いやすくするために、システムの改良を続け、実際の授業動画を使った e ラーニングシステムとして運用することを計画している。

参考文献

- [1] Udemy
<https://www.udemy.com>
- [2] MOOCs
mooc.org
- [3] Ting Yao, Tao Mei, Chong-Wah Ngo, Shipeng Li. Annotation for free: video tagging by mining user search behavior, In Proceedings of MM'13, pp. 977-986, 2013.
- [4] M.J.Morris, J.R.Kender. VastMM-Tag: a semantic tagging browser for unstructured videos, In Proceedings of MM'11, pp. 957-960, 2011.
- [5] S. C. Sebastine, B. M. Thuraisingham, P.B. Rabhakara n. Semantic web for content based video retrieval. In Proceedings of ICSC'09, pp. 14-16, 2009.
- [6] J.Law-To, G.GreVoxalead, J.L.Gauvain. News: robust automatic segmentation of video into browsable content, In Proceedings of MM'09, pp. 1119-1120, 2009.

RUI(ロボットユーザインタフェース)の提案と検討 人形浄瑠璃を参考にした身体性と振りについて

成田 雅彦*・中川 幸子*

Physical Properties and choreography of Service Robot with reference to Joruri Puppets

Masahiko Narita* and Nakagawa Sachiko*

Abstract

In the field of the building management, the nursing care and the welfare, where service robots are being introduced in Japan, cooperation among multiple, network-connected robots have begun to be required, and the need for the “common operation” for users has become apparent. In order to solve this problem, we have proposed the common robot user interface (RUI) concept. In this paper, as a part of RUI, we considering the Ningyo Joruri, a Japanese traditional puppet drama that has accumulated the play technique for handles years, we have systematized a mechanism to generate gesture expressions that take advantage of the robot's physicality from the message we want to convey, find a method to realize various gesture expressions, and verify its effectiveness.

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

1 はじめに

多種多様なサービスロボットが連携して活躍する時代が近づいている。複数ベンダのロボットと複数のロボットサービスの利用、複数のプラットフォームの利用など相互接続が必要になる。とくに、人と共存する環境に導入されるサービスロボットの産業化については、ビル管理、介護・福祉分野で導入が進みつつあり、すでに導入から1-2世代が経過して、入替やシステム更新を必要とするユーザ企業も現れは始めている。この時、ロボットの機種やメーカーにかかわらず、ロボット間の協調が要求されるようになる。さらに、ロボット利用者である業務担当者や一般ユーザが、様々なロボットをどのように“使いこなす”かも重要である。すなわち、移動ロボット、コミュニケーションロボットなど、ロボットの機能(役割)にかかわらず、共通に操作ができることが要求される。これらの課題に対応するためには、ロボットとサービスの相互接続と、操作の共通化が必要になる。

筆者らは「操作の共通化」を、共通ロボットユーザインタフェース(RUI: Robot User Interface)と呼び、このコンセプトを提案してきた[1]。サービスロボットの提供するサービスは、適用業務により、業務知識が異なっている[2][3][4]。観光案内であれば案内や問い合わせ対応のための業務知識、アンケートであればマーケティングのための業務知識が必要であるが、ユーザとの会話、会話蓄積、会話生成などの RUI 機

能は業務知識から独立している。従って、ロボットサービスは RUI と業務知識から構成されるが、RUI は業務知識から独立して提供でき、かつ、共通化が可能と考えられる。1980-1990年代、グラフィックユーザインタフェース(GUI: Graphic User Interface)が、PC やワークステーションの普及に決定的な役割を果たしたことから、共通 RUI の潜在的な重要性が認識できる。



図1: Japan Robot Week 2018 で展示・実証実験した顔長 9cm の「かしらロボ」(左)と「浄瑠璃ロボ」(右上)

さらに、RUI は、ロボットならではの特性として、ロボットの身体性を用いたメッセージ、動きやしぐさ表現が重要な要素

となる。本稿では、ロボットの身体性を用いたメッセージ、動きやしぐさ表現を体系化し、それらの多様な表現を実現するための手法を見出し、その有効性を検証する。この手法はロボットの身体性について、日本の伝統文化として蓄積された人形浄瑠璃を参考にするとところに特徴がある。

2 関連研究

2.1 関連研究

サービスロボットにおける身体性については多くの研究[5][6]がある。とくに、文献[7]ではロボットによるアドバイスで、ユーザの行動変容を促すことができるかの実験が行われている。この実験では、(A)身体性をもつロボットによる対話的カウンセリング、(B)身体性をもつロボットによる一方的アドバイス、(C)ディスプレイを用いた文書による一方的アドバイスの3つのケースで、ユーザの身体活動増進を評価した。結果、BとCの比較では、身体性を持つロボット(B)が優位であった。一方で、AとBの対話と独話の比較では、独話(B)が優位であった。これは、タイミングずれによる擬似対話の錯覚崩れが原因と考えられている。さらに、ロボットの形状の違いによるユーザの反応については、文献[8]に言及されているが、両者とも、ロボットのしぐさや振りは深く扱われていない。

他方、筆者らは、2018年10月に東京ビッグサイトで開催されたJapan Robot Week 2018にて、顔長9cmの「かしらロボ」および小型の「浄瑠璃ロボ」[9][10]をアンケートサービスと連携し、呼び込みとアンケートの収集を実施した(図1)。この業務に即して、RUIとして、“呼び込み”“指示・誘導”“同意(頷く)”“困惑(驚く)”という振りをつけた。その結果、多くの来訪者が立ち止まってロボットを眺めるなど身体性への反応が非常に良かった。一方、出展者側の意図を来訪者へ適確に伝えるため、ロボットのしぐさや来訪者への反応を、よりわかりやすくする必要があったことが明らかになった。

2.2 課題

サービスロボットの次の段階として、ロボットの身体性を生かした動きやしぐさ表現が、RUIとして共通に成立すると、受付・案内・呼び込み・アンケートなどの接客の一時対応業務などへロボットを導入しやすくなり、普及につながる。すなわち、メッセージを効果的に伝達するためのロボットのしぐさが課題となる。そのため、多様なしぐさと、質の良いしぐさを抽出・生成し、サービスロボットへ適用するしぐさの生成・利用を方法論として体系化する必要がある。本稿では、3章でしぐさの記録と体系化について述べる。4章と5章で豊かな表現をもつサービスロボットを展開するため、多様かつ良質なしぐさを抽出するための手法について述べる。第6章で、アニメーションによりしぐさを生成し、手法の有効性を検証する。

3 しぐさの生成・利用の体系化

サービスロボットの動きの課題に、我が国で高度に発達した人形浄瑠璃や人形芝居の技術を参考に、課題の解決を試みる。人形浄瑠璃の振りをサービスロボットに活用するにはロボットを制御するコンピュータで扱えるようモデル化・体系化される必要がある。以下、3.1で「しぐさ」の記録について述べ、3.2でその体系化を行う[11][12]。

3.1 しぐさの記録

演劇や舞踊は、台本、評論や解説、ラバーノーテーションなどの記譜、および動画など様々な方法で記録されてきた。人形浄瑠璃は通常、語り手である太夫と、三味線による義太夫(音楽)、それに人形との三業で構成され、台本に相当する文字記録として、床本がある。床本は、太夫の語る詞章、および三味線のために、節(曲節名)、句読点、墨譜など朱書が書入れられ、古くから用いられている。一方、従来、人形の動きについては、人形の遣い手の間で文字を経ないで伝承されている。江戸時代から戦前までの記録では、1790年頃に書かれたとされる淡路人形座の座本引田源之丞家に伝えられる「操曲入門口傳巻[13]」があげられる程度で、人形遣い向けに文字化した文献資料は稀少である。近年漸く、型として定型化した記述[14][15]や第三者による実際の演技の書き起こし記録[16][17]、関係者の対談[18][19]などがある。さらに、伝統民俗文化財の後継者育成の観点で、伝承された演技を文字化して座員に配布している相模人形芝居下中座[20]の演技台本[21]がある。また、南あわじ市の人形浄瑠璃における稽古とわざの継承の調査・研究[22]、文化財保護目的に2019年発行の横瀬の人形芝居調査・報告書[23]、およびその中の「横瀬人形の遣い方 -聞き覚えを基に」など、しぐさについて人形遣いの言葉で記述されたものが発表されている。

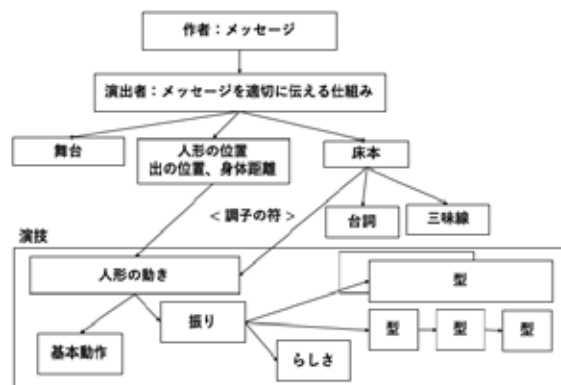


図2: 人形の「しぐさ」生成モデル

3.2 サービスロボットでの活用ためのしぐさ生成モデル

ロボットへ適用するには、伝えたいメッセージからしぐさを生成し、多様なしぐさの実現方法、網羅的な記述など、より多くの情報を文字として体系化し、最終的にプログラムにプレ

ークダウンする必要がある。このために、サービスロボットでの活用を念頭に置き、人形のしぐさ生成モデルを提案する。上述 3.1 の、しぐさの記録を元に図 2 に体系化した。以降、人形浄瑠璃におけるしぐさ生成に即して、本モデルについて述べる。

作者は表現したいメッセージを作成し、演出者が適切にメッセージを伝える仕組みを提供する。それが、舞台、舞台演出、床本に展開される。舞台演出では、出や位置を決める。その後、セリフにそれに細かい「振り(型、しぐさ)」を付ける。演技では、セリフに合わせて人形を遣い、「歩く」「立つ」「座る」など基本的な動きや「振り」をつける。型には、男女の型があり、「六方」「くりず」「うしろぶり」などはじめ数十あるとされている。また、名前のない動きもある。セリフの1節に対応する短時間のものや、短時間のものを組み合わせた、例えば 10~20 秒程度比較的長時間のものがある。型をつなげてシーンに相応しい型を新たに作ることもある。横瀬人形芝居では、太夫の語りの床本には、例えば、89 種類あるとされている。語り口や感情などを表す、ボダイ、カンなどの「調子の符」[23]が記入されている。振りは、セリフや符に連動している。尚、横瀬人形芝居の語りは、義太夫節ではなく説経節なので、義太夫節の人形浄瑠璃にそのまま当てはまるわけではないが、ここでは類似のものとして対応つけた。同様に、下中座の演技台本にも動作、表現すべき感情などの記載がある。一つの符には、ふさわしい型の中から重複しないように選択するか、また短い型をつなげたものを対応させる。ただし、前出の演技台本や覚書では、「さびしく」「シミリ」「物思い」など、表現すべき情感の記載のみで、具体的な振りが示されていない場合もあるため、実際の演技では人形遣いが補う必要がある。

下中座では、人形が遣え、ストーリーから演出できることを目標に、学生が創作ストーリーを演技化する大学の講義・演習を実施しているとのことで、作者は表現したいメッセージから人形遣いによる振りへのブレイクダウンの流れは、概ねこの流れになっている。また、南あわじ市の人形浄瑠璃における稽古においても、新たに振りをつける外題に対するアプローチもこの流れに近いと言える。このモデルをロボットに適用する場合、作者・演出者が業務的メッセージ・インテグレータに、床本がプログラムに相当する。また、図 2 の中、調子の符とある部分が、上位のインターフェースとなる。また、「演技」の部分ロボットの中のプログラム処理に相当する。

4 しぐさの多様性

3 章の体系にもとづき、豊かな表現をもつサービスロボットを展開するためには、多様で良質なしぐさが必要となる[24][25]。本章では、多様なしぐさについて述べる。

4.1 一つのメッセージに対するしぐさの多様性

サービスロボットの業務分野に導入されるロボットに共通に

要求されるメッセージ例をあげる。

- 歓迎(ウェルカム感, いらっしやいませ)
- 注意喚起 (呼びかけ)
- 感謝(ありがとう(軽く, 丁寧に))
- 謝罪(ごめんなさい) 等

これらのメッセージは、接客の業務プロセスの分析により定義される。本稿は、ロボットのしぐさの抽出手法を対象とするため、業務に必要な具体的なメッセージの種類等については別稿に譲るが、これらのメッセージは、しぐさを伴った言語コミュニケーション、あるいは、しぐさのみの非言語コミュニケーションとして表現される。しかし、接客のような対人コミュニケーションにおいては、伝えたいメッセージよりも、しぐさのレパートリーのほうがはるかに多い。例えば、「悲しい」というメッセージを伝える日常におけるしぐさを思い浮かべると、“両手で顔を覆って声をあげて大泣きする”、“片手でそっと涙をぬぐいながら静かにうなだれる”、“ハンカチをにぎりしめて肩をふるわす”など、様々な身体表現がある。すなわち、ロボットが違和感なく顧客に働きかけるためには、上記の各メッセージに対して複数のしぐさがある。

4.2 ロボットと人の身体距離による多様性

ロボットと人の相互の身体距離は非言語コミュニケーションの一つであり、この距離の置き方は、訪問者の反応としての非言語メッセージを内包する。よって、ロボットからのメッセージも、これに応じて適切に表現される必要がある。文献[26]等を参考に“近距離・中距離・遠距離”と設定した関連研究[27]をもとに、身体距離と、訪問者とロボットの状態の目安を以下のように分類する。

- 近距離: 訪問者とロボットの直接のインタラクションが成立する距離(1.2m 以下)
- 中距離: 訪問者はロボットに注目し、歩く速度をゆるめたり、立ち止まったりしている状態(1.2m~3.0m 以下)
- 遠距離: 訪問者はロボットに注目せず、通行している状態(3m 以上)

近距離では、会話やパネル操作を伴うインタラクションが成立しやすく、対象とする 1 人の客にメッセージを伝えることが比較的容易であり、対話的なメッセージとなる。中距離と遠距離では、複数人への呼び込みなどで注意喚起を行い、客に興味を持って近づいてきてもらう段階となる。中距離では音声を伴うアプローチが可能であるが、遠距離ではしぐさ等で存在を示すアプローチとなる。

4.3 ロボットの個性による多様性

ロボットのしぐさを多様にする方法を示唆する浄瑠璃人形



図 3: お園のクドキの場面(下中座[21])

の操法の工夫もある。ロボットの個性として性別や年齢を想定するとすれば、対応する振りは、年齢に比例して動作の速度を遅くすることで区別できる。すなわち、若さは機敏に、成熟や高齢は鈍重に動作する。また、動作で職業の違いや、手の向きで性別を示すこともある。さらに、伝達するメッセージの強弱は、振りを表す手・かしら(頭)・足を複数組み合わせるか否かでも表現できる。例えば、「否定(No, いいえ)」のメッセージを伝える場合には、手を振って否定、かしらだけを振って否定、あるいは、手とかしらを逆に動かして動作を大きく見せて否定などのバリエーションがある。

5 良質なしぐさ表現の抽出

4章では、しぐさの多様性について述べたが、本章では、人形浄瑠璃から良質なしぐさを抽出する手法を検討する。

5.1 場面の検証

サービスロボットの良質なしぐさの抽出ため、日本の伝統芸能の浄瑠璃人形の操法を対象とし、人形の動作を調べる。ここでは、人形の振り、および作品のあらすじや太夫の語る浄瑠璃の詞章(床本)から、「艶容女舞衣-酒屋の段-」を検証対象とする。中でも、人形浄瑠璃で最もよく知られている場面の一つである“今ごろは半七様、どこにどうしてござろうぞ”と語られる、帰らぬ夫を待つお園のクドキの冒頭約 30 秒間をとりあげる。人形の振りの特徴を捉えるため、国重要無形民俗文化財の相模人形芝居下中座の実演を対象とする[21](図 3)。

この部分の演技は、何種類か伝わっている[16][22]が、いずれも下手から上手へのかしらのひねり(このかしらのひねりは「クリズ」と呼ばれている型である)を中心に前後に「向こうを見る」、「面を伏せる」という振りがある。動きは早くかなり動く。一方で、短く止まるタイミングをいれ、動作にメリハリをつけている。また、顎の角度の変化、胴の上下も加わって女性らしい振りとなっている。このような、複数箇所の同時の動作が繰り返されることで自然な動きとなっている。

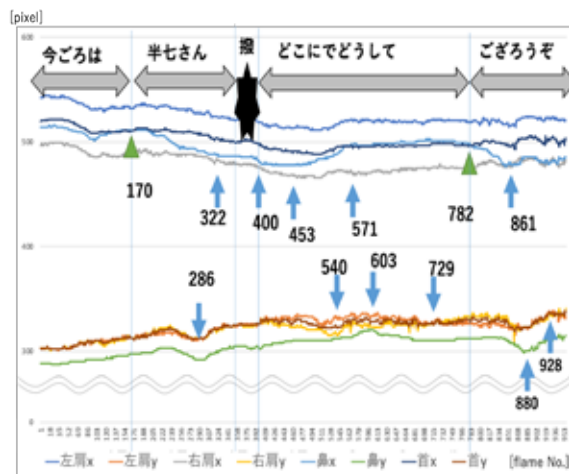


図 4: OpenPose で取得した
浄瑠璃人形の動作の軌跡データ

5.2 動作の分析

人形の振りを分析するにあたり、5.1 の場面について、浄瑠璃人形の各部位の軌跡データを抽出した。抽出には AI 技術を用いた OpenPose[28]を使用した。OpenPose では、身体 25 部位の関節(キーポイントとなる部位)位置から骨格を決めており、パソコンのみで人の姿勢推定を行うことができ、顔では 70 箇所、手や足のポイントも検出でき、静止画像や動画からの解析や、リアルタイムでの解析ができる。

データは、鼻梁、首、左右肩、左右肘、左右目、左右眉、口、顔輪郭の各部位の X 座標と Y 座標と画像をフレーム単位で取得した。尚、このシーンは上体の動きが主要であることから、腰より下の動きは対象としない。OpenPose で取得される X 座標は左右方向の座標を示していて値が大きいほど人形から見て左方、小さいほど右方に位置する。Y 座標は上下方向の座標を示していて値が大きいほど下方、小さいほど上方に位置する。5.1 の実演の撮影映像の検証から、とくに特徴を示している部位である、左肩、右肩、鼻、首、について、OpenPose で取得した軌跡データを図 4 に示す。横軸方向は時間軸であり単位は 30 fps で取得したフレーム番号である。縦軸方向は人形の部位の位置変化であり単位はピクセルである。本分析は、ここで得られた軌跡データを用いて、時間的な特徴点(大きく特徴が表れているフレーム)を取り出し、その特徴を明らかにすることを目的である。ここでの動きの特徴点は、かしらの角度、顔の向き(上、下、右、左)と動き始め、静止、両肩の位置(左右の傾き、水平)がある。また、セリフの区切り(図 5 では一番上の水平の矢印)との同期も特徴点になるが、動きの開始になることが多い。5.1 の場面からは、冒頭約 30 秒間から 13 の特徴点(図 5 で番号が振られている)が得られた。

ここで、大きく特徴が表れているフレーム番号を分析する。



図 5: アニメーション作成の基にしたポーズ

#170 では、鼻 X 値と首 X 値がほぼ同じ値、すなわち鼻と首が垂直になる。ここから次のセリフに同期して、顔を右へ向けていく。#286 は、対応するセリフの区間(“ゝ半七さん”)の中で鼻の Y 座標が最も小さく、顔があがっている。#322 は、右を向きながらのぞくような動作をする振りの一コマであり、首と鼻の X 座標が離れる一方で首と右肩の X 座標がぐっと近づくポイントである。#400 は、“ゝどこにどうして”の開始位置で鼻 X 座標が左へ大きく変位するタイミングである。#453 は鼻の X 座標が最小で最も右に位置する。#540 は、左右肩の Y 座標の差(高さの差)が最大となる。これらのフレームは後述のアニメーション作成のベースとなる。

このシーンの演技記録は、(1)大西重孝「文楽人形の芸術」[16]では、吉田文五郎の演技の記録として、“向こうを見やって「今頃は、半七様」とい「どこにィ」左からクリ頭して「どうして一エエござアローぞ」頭を細かく震わせて、やがてその面を伏せる”とある。尚、クリズ頭はかしらを回転させる型である。(2)相模人形芝居下中座の演技台本[21]では、“右手で向こうをさし、淋しく面を伏せる(6代 吉田国五郎(文楽)の振り)”と、“行灯の縁に両手をかけ、下手を見て、ことば(西川伊左衛門(文楽)の振り)”の2つの振りが記載されている。いずれも、下手から上手へのかしらのひねりを中心に前後に向こうを見る、面を伏せるという振りが付加されていると解釈できる。

6 「しぐさ」の生成・検証

5.2 で得られた分析結果を用いて、アニメーションにより元の場面の構築することで、提案の分析手法の有効性を示す。アニメーションの作成方法は以下の通りである。

- (1) 5.2 における動作の区切りを時間軸上の特徴点とし、得られた時刻に対応する各関節の位置を参考に、既に構築してある「浄瑠璃ロボ」の 3D モデル[6]を動かし、ポーズを作成する。図 5 のそれぞれのキャプチャは、図 4 の動作区切りを特徴点として作成したポーズである。時刻およびフレーム番号を付加した。
- (2) これをアニメーション作成ツールでつなぎ検証用のアニメーションを作成する。ツールには blender を用いた。
- (3) 音声と三味線のサウンドを付加し、実際の人形芝居の場面と同等のものにすることができる。
- (4) これを用いて一連の動作が不自然でなく、動作の特徴が再現できることを確認する。

このアニメーション作成方法では特徴点の数が少なく、また、分析結果を基にしているため特徴点の意味が明確である。実際、5.1 の例では、図 5 の 13 つの特徴点で 30 秒程度をカバーしている。したがって、後に、追加、微調整など振りを容易に修正できる。また、OpenPose では、分析結果などの関節位置に時間軸方向に揺れが見えるが、本方法では、揺れの影響は起きにくい。出来上がったアニメーションは、「浄瑠璃ロボ」のモデルをもとにしているため、「浄瑠璃ロボ」の振りとして実体化するのは比較的容易であると思われる。一方、「肩を震わせて泣く」などの振動は少ない特徴点で表せないため、後から補間曲線を適切に作成する必要がある。

一方、実際に本手法を用いて生成したアニメーション動画を複数の関係者に見せたところ、動きがよく特徴を表して違和感がないとのコメントを得ている。結果、本手法は、ロボットの振りの検討に有効であると言える。

7 まとめ

サービスロボット間の協調に、相互接続と同時に必要となる「共通ロボットユーザインタフェース」を提案し、課題となるサービスロボットへ適用する多様で、質の良いしぐさの生成について、方法論として伝統芸能を参考にしながら、「しぐさ」生成の体系化と「しぐさ」の抽出を試みた。「しぐさ」の抽出では、AI を用いて人形浄瑠璃の名場面を分析と特徴点の抽出を行い、少ない特徴点によるアニメーションによる合成による実証を行なった。30 秒の短時間の中に、伝統芸能ならではの、濃密なワザの蓄積があることがわかり、ロボットのしぐさ表現のための知見を得られた。今後、関連の方々と協力しながら、ブラッシュアップし、有効性を検証し、ロボットユーザインタフェースに生かしていく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 17K00366 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 成田雅彦, 松日楽信人, “RSi(ロボットサービスイニシアチブ)の活動 2018 と今後の展望,” 第 19 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 (SI2018), 2E3-01, 2018.
- [2] 成田雅彦, 土屋陽介, 中川幸子, 阿久津裕, 泉井透, 野見山大基, 松日楽信人, 本村陽一, “マーケティング分野への適用を目指したスタンプラリーと アンケートサービスの CRSP を用いた構築 ~クラウドベースのロボットサービス統合基盤の進展~,” 人工知能学会論文誌 Vol. 32, No.1, NFC-B_1-13, 2017.
- [3] 成田雅彦, 泉井透, 中川幸子, 土屋陽介, 松日楽信人, 加藤由花, “ネットワークを活用したロボットサービスのための非専門家向け開発フレームワークの提案,” 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.10, 807-817, 2015.
- [4] Masahiko Narita, et. al, “Demonstration experiments of a distributed questionnaire service using multiple robots with the aim of marketing at a tourist site,” International Journal of Smart Computing and Artificial Intelligence (IJSCAI), 2018, Vol.2, No.1, 1 - 21, 2018.
- [5] 塩見昌裕 他, “ロボットサイネージにおいて見かけと大きさの違いがもたらす広告効果の変化検証,” 情報科学技術フォーラム講演論文集, 9(3), 83-88, 2010.
- [6] 石超 他, “客引きロボット導入に向けた社会実験,” 日本ロボット学会誌, Vol. 35 No. 4, 334-345, 2017.
- [7] Toshikazu Kanaoka, et.al, Designing a Motivational Agent for Behavior Change in Physical Activity, CHI2015, 2015.
- [8] M. Narita, J. Uchiyama, Y. Kondo, Y. Tsuchiya and S. Nakagawa, “Physical Properties of Service Robot which is Referring to Joruri Puppets and Home Appliance Design- Enhancement of Robot Service platform for Non-experts -,” UR2019, 2019/6.
- [9] 成田雅彦, “サイネージロボットの身体性を実現する - 提案 浄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, 2017.
- [10] 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浄瑠璃ロボの実現,” 産業技術大学大学紀要, No.12, 89-95, 2018.
- [11] 成田雅彦, 中川幸子, “サービスロボットにおける共通ロボット・ユーザインタフェースの提案と体系化の試み,” 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, 3J1-01, 2019.
- [12] 成田雅彦, “RSi(ロボットサービスイニシアチブ)の取り組み,” 日本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, 2019/3
- [13] 引田家資料調査委員会, “操曲入門口傳巻,” 淡路人形浄瑠璃元祖上村源之丞座 座本 引田家資料, 215-219, 淡路人形協会, 2011.
- [14] 吉永孝雄, “人形の型,” 国立劇場芸能鑑賞講座文楽, 73-80, 1975.
- [15] 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%2d6%a4%8%6%3%4%a7>
- [16] 大西重孝, “文楽人形の芸術,” 演劇出版社, 1968.
- [17] 大西重孝, “文楽人形の演出,” 中尾松泉堂, 1974.
- [18] 山川静夫, 吉田玉男, “文楽の男,” 淡交社, 2016.
- [19] 山川静夫, 吉田簗助, “文楽の女,” 淡交社, 2016.
- [20] “相模人形芝居の世界,” 昭和女子大学光葉博物館, 2016.
- [21] 林美禰子, “相模人形芝居下中座における人形の遣い方,” 日本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での実演, 及び配布資料, 2019/7
- [22] 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.
- [23] 文化庁, “横瀬の人形芝居:平成 30 年度 変容の危機にある無形の民俗文化財の記録作成の推進事業,” 2019/3
- [24] 中川幸子, 成田雅彦, “ロボットユーザインタフェースのしぐさ抽出のための浄瑠璃人形の動作分析手法の検討,” 第 37 回日本ロボット学会学術講演会, 3J1-02, 2019.
- [25] 中川幸子, 成田雅彦, “ロボットの身体性について-業務システムに必要とされる範囲を含めた考察 -,” 日本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, 2019/3
- [26] 西出和彦, “人と人との間の距離”, 人間の心理・生態からの建築計画 (1), 建築と実務, No. 5, 95-99, 1985.
- [27] 森博志, 白鳥和人, 星野准一, “往来者の注意を喚起するヴァーチャルヒューマン広告提示システム,” 情報処理学会論文誌 Vol.52(4), 1453-1464, 2011.
- [28] Zhe Cao, et al., “Realtime Multi-person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields”, 2017 IEEE Conference on CVPR, 7291 -7299, 2017.

人間のヒューリスティックに基づく意思決定に関する一考察 — 意思決定基準としての納得という概念の提案 —

細田 貴明*

A Study on Human Decision Making based on Heuristics — Suggestion of a Concept of Acceptable Decision Making —

Takaaki Hosoda*

Abstract

The purpose of this study is to investigate the concept of acceptable decision-making through the researches of heuristics. According to the conventional researches, it is difficult to explain what the criteria is to make a decision. Based on the work by Simon, the satisfaction is the most important factor in decision-making. In addition, Montgomery claimed that the justification is one of the criteria in decision-making. In this paper, a new concept "acceptability" through reviewing the decision process is proposed based on two above-mentioned criteria. It was confirmed the acceptability can be one of the appropriate criteria in the heuristic decision-making.

Keywords: acceptability, justification, satisfaction, heuristic, TH Rule

1 はじめに

意思決定の定義は、広義、狭義の定義の仕方が可能である。広義の定義では、意思決定とは代替案の中から一つの代替案を選択すること、となる。竹村は、「意思決定 (decision making) とは、一群の選択肢 (alternatives) の中からある選択肢を採択すること、すなわち、行為の選択 (choice) であると定義することができる」と述べており、広義の意思決定の定義と一致する。しかし、この定義に基づく意思決定は難しいものではない。例えば、無作為に一つの代替案を選択するといった意思決定も定義の要件を満たすからである。したがって、広義の意思決定は研究を行う価値がない。

これに対して、狭義の定義の場合には、意思決定とは複数の代替案の中から目的に照らして最もよい代替案を選択すること、と定義することができる。サイモンは、「選択とは、それ自体が合理的で、かつ、その客観的状況を認識しているかぎりにおいて、いくつかの代替案のなかから一つの代替案を選出することを含意するものである」と述べており、この中には合理的であるといった意思決定の質に対する考え方が含まれている。このことから人間は、本質的によい意思決定を目指しているといえる。よい意思決定をしようとすると、意思決定は難しいものとなる。どのように意思決定すればよい意思決定となるかはきわめて難しい問題だからである。そのため、狭義の意思決定は意思決定研究を行う価値のあるものとなる。狭義の意思決定の本質を追求することこそが意思決

定研究の本質的課題である。

意思決定理論の一つである規範的意思決定理論では、期待効用最大化原理に基づく意思決定こそが合理的な意思決定であり、かつ最もよい意思決定であるとし、人間はそのような意思決定を行うべきであり、行っているはずだと考えられている。

一方の記述的意思決定理論は、実際の人間はどのように意思決定をしているのかを観察を通して実証的に説明する理論である。サイモンは、経営人の行動に対する観察から、人間は一定の目標水準を定め、その目標水準を達成できる代替案を発見した段階でその代替案を選択する、という満足化原理に従って意思決定すると主張した。他の一人であるモントゴメリは、人間は、経験から得られたヒューリスティックに基づく意思決定を行うことが一般的であり、自己の意思決定の正当性を自他に向かって示すことができるようにヒューリスティックを活用すると主張し、その意思決定のあり様を優越構造探索モデルとして開発した。サイモン、モントゴメリの業績は、規範的意思決定理論の想定する最適代替案ではなく、十分満足のできる代替案を受け入れて意思決定を行っているということを示している。

筆者は、複数のヒューリスティックに基づく意思決定ルール (以下、意思決定ルールと略記) を同時並行的に適用して意思決定する手法を、TH ルールと名付け、新しい一つの意思決定ルールとして開発した。サイモンやモントゴメリと同

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

様に規範的意思決定理論の想定する最適代替案ではなく、TH ルールの開発を通して自らの意思決定過程に納得した時点で得られた代替案を受け入れて意思決定を行うことが多いことを発見した。

これらの先行研究から、人間は、規範的意思決定理論の想定する完全な合理性に基づく最適解を求める意思決定を行うのではなく、ヒューリスティックに基づく意思決定のような最適ではないがほどほどに満足できる意思決定を行っているという示唆を得た。規範的意思決定理論による意思決定を行わない最も大きな原因は、サイモンのいう限定合理性、つまり合理的であろうと意図するが問題解決能力の限界によって限定された合理性しか持つことができないことに起因すると言える。しかし、なぜ人間はヒューリスティックで意思決定を行うことを受け入れることができるのかという点については限定合理性の概念だけでは説明が十分であるとは言えない。

そこで、本稿では、なぜ人間は規範的意思決定理論に従わずにヒューリスティックによる意思決定を受け入れることができるのかについて検討する。

2 代表的なヒューリスティック

2.1 ヒューリスティックの意味

ヒューリスティックとは、Newell ら(1963)によると、ある与えられた問題につき、それを解決するかもしれないが、その保証は必ずしも与えないプロセスを指すものである。研究分野によって様々な呼称があり、意思決定方略やヒューリスティック意思決定ルールと呼ばれることもある。以下、本稿では、意思決定ルールと表記する。

2.2 意思決定ルールの特徴

モントゴメリ(1983)は、意思決定ルールの代表的なものとして、八つを挙げている。それらをまとめたものが表 1 である。

例えば、優越性ルールは、すべての評価基準となる属性において、評価基準が同一またはそれ以上であるときにその代替案を唯一解として選択するものであり、その場合に選択の最適性が理論的に保証されるが、優越性ルールを適用し

て解を導出することは必ずしも可能とは限らない。一方、例えば辞書編纂ルールは、優先順位の高い評価基準となる属性から順に比較し代替案が一つに絞られたものを選択するものであることから、選択する解を一つに絞り込むことができる可能性が高いが、各代替案における優先順位の高い属性だけで評価し、すべての属性を検討しないで終わってしまうことがある。優越性ルールのように全評価基準を対象とするものに、連言ルール、勝率最大化ルール、効用加算ルール、属性排除ルール、効用差加算ルールがあり、一部の属性で解が導出可能なものとして選言ルールが存在する。各意思決定ルールにはその適用方法の違いから代替案の導出過程に相違する特徴を持つ。

2.3 意思決定ルールの分類

前項で確認した特徴をもとに、表1の意思決定ルールを分類すると、補償型と非補償型に大別される。補償型とは、「ある属性の上での低い評価を別のある属性の上での高い評価が補って、これらを総合した評価というものが考えられる場合、この二つの属性の間には補償関係がある」[10]である。

非補償型とは、「ある選択肢がどれかの属性の上で成績が悪い場合、非補償型のルールは、他の属性におけるその選択肢の望ましさによってそれを帳消しにしたり、いくらかでも補償することを許さない」である[10]。

補償型の意思決定ルールの場合には、選択肢の持つ属性をもとに総合的な評価を行うため、選択肢の持つそれぞれの属性の特徴を打ち消してしまう。そのため、例えば効用加算ルールの場合に、重要な属性の評価をあまり重要でない他の属性によって平均化されるような、属性の補償関係が発生した場合に意思決定者にとって許容可能なものであるかどうかを確認する必要がある場合に依って発生する。

非補償型の意思決定ルールの場合には、すべての属性を評価対象としないことから、属性の検討順番によって、決定結果が異なることがある。例えば、辞書編纂ルールは、唯一解が得られる可能性が高いが、各代替案における上位の属性だけで意思決定してしまい、すべての属性を検討しないで終わってしまうことがある。

優越性ルール (Dominance rule: DOM): 非補償型	代替案の中から2つを取り上げて比較したとき、一方が少なくとも1つの属性において他方よりも望ましく、その他のすべての属性において同等以上に望ましい場合、その代替案は他方より優越しているという。そこで、他のすべての代替案に優越する代替案を選択する。	辞書編纂ルール (Lexicographic rule: LEX): 非補償型	あらかじめ属性間の重要性の順序がつくと仮定する。あるいは、属性の重要性の順序をつけておく。一度重要な属性の上で代替案を比較し、最も望ましいものを選択する。それで順序がつかなければ、次の重要な属性上で比較する。この手続きを、1つだけ代替案が勝ち残るか、すべての属性が検討され尽くしてしまうまで続ける。
連言ルール (Conjunctive rule: CON): 非補償型	各属性上で属性値の基準値(それ以上ならばその属性に関する限り十分望ましいという水準)が決まっているとする。すべての属性において、基準値以上の属性値を持つ代替案を選択する。	勝率最大化ルール (Maximizing number of attributes with a greater attractiveness rule: MNA): 補償型	代替案の中から2つを取り上げて比較し、他方より優る属性の数の多い方を選択する。
選言ルール (Disjunctive rule: DIS): 非補償型	基準値を1つでも満たす代替案ならそれを選択する。	効用加算ルール (Addition of utilities rule: AU): 補償型	すべての属性毎の(属性値の)効用値の重み付き和の最大値をもつ代替案を選択する。
属性排除ルール (Elimination by aspects rule: EBA): 非補償型	属性の重要度の順に検討の対象となる代替案を取り上げ、その属性を持っていない代替案、もしくは、基準値未満の代替案を排除する。これを繰り返して、最後に残った代替案を選択する。	効用差加算ルール (Addition of utilities differences rule: AUD): 補償型	属性毎の望ましさの差の関数を考え、この関数の重み付き和の最大の代替案を選択する。

表1: ヒューリスティックに基づく代表的な意思決定ルールの例

以上のような特徴をもつ意思決定ルールであるが、条件が整った場合には、意思決定ルールを適用するだけで解が導出されるという簡便性を持つ。しかし、簡便であるという利点の反面、意思決定者の意思とは無関係に一方的に解が導出されるため、なぜその代替案を選択したのかという経緯を説明するという点で、十分な納得感を意思決定者に与えることは困難だという欠点がある。この欠点を補うため、単一の意思決定ルールのみに従うのではなく、複数の意思決定ルールを順次的に組み合わせて使用することがあることをモントゴメリが、同時的に組み合わせて使用することがあることを筆者が、確認している。

3 複数の意思決定ルールを用いた意思決定

前節で述べたように、人間は、適用条件が整うような意思決定問題においては単独の意思決定ルールを適用して意思決定することが可能であるが、それが難しい場合には複数のルールを適用して意思決定することがありうる。本節では、その具体的な意思決定の仕方について論ずる。

3.1 モントゴメリの優越構造探索モデル

モントゴメリは、意思決定ルールの評価基準として、完全適用性(一つ、かつ、一つの代替案が選択できること)、正当化容易性(選択の理由を自他に説明・弁護できること)、適用容易性(実際の意思決定問題への適用が容易であること)の三つを人間は評価すると主張した。そのうち、人間は正当化容易性を最も重要視し、まず正当化容易性の主張が最も可能な優越性ルールを適用して唯一解を発見しようとし、もし唯一解が発見できなかった場合には、優越性ルールに代替する別のルールを逐次的に適用して意思決定問題を優越性ルールが適用可能な構造に変換する、優越構造化処理を行う。モントゴメリは、この変換過程を優越構造探索モデルと名付けた。

優越構造探索モデルは、以下の4つの手続きで構成される。

《優越構造探索モデルの手続き》

I. 事前編集

代替案および属性の選択と評価を行う。

II. 有望な代替案の選出

選言ルール、辞書編纂ルール、属性排除ルールを利用して、一つの有望となりうる代替案を選出する。

III. 優越性検査

有望な代替案について優越性を検査する。不合格である場合は、IVを呼び出す。

IV. 優越構造化処理

次の操作を通じて、優越性を妨げている理由を解消する。

- ぼかし: 辞書編纂ルールを利用して、重要でない属性

の評価を変更する、確率的に考えて不要と判断する、遠い将来に起こることとして後回しにする。

- 補強: 選言ルールを利用して、有望な代替案をより良く見せるようにする、連言ルールを利用して、有望でない代替案に対して悪い面を強調する。
 - 相殺: 勝率最大化ルールを利用して、代替案の持つ良い面と悪い面を相殺してしまう。
 - 均一化: 効用加算ルールを利用して、複数の属性について平均化することで、より補償的な属性にしてしまう。
- モントゴメリは、図1のようなフローチャートを示している。

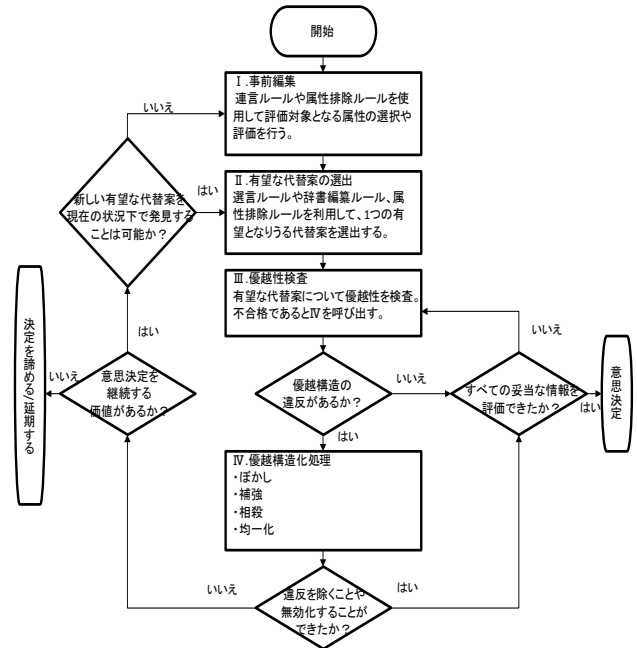


図1: モントゴメリの優越構造探索モデル

優越構造探索モデルは、そのフローチャートの中で多くのフィードバックを経る。これらのフィードバックを通じて自己の意思決過程を振り返ることとなると言えよう。人間は、そのことによって、自己の意思決定の正当化を主張することが可能な問題構造を探索しているのである。このことは、モントゴメリが意思決定過程を振り返ることの重要性を認識していたことを示唆している。

意思決定において、優越性ルールの適用により唯一解を得ることはほぼ皆無に近いため、まず有望な代替案を選出して、その代替案に優越性ルールが適用できるように複数の意思決定ルールを逐次的に適用して意思決定問題を操作し唯一解として選択する方法は、限られた時間の中で意思決定を行ううえで有効なものであるといえる。

一方で、唯一解を得るための優越構造化処理によって問題構造を操作して優越構造を探索するという行為自体が目的となってしまう、正当性の主張が困難になる可能性がある。本来は、優越構造化の実現可否に重要性があるのではなく、

その優越構造化の実現に至った過程にこそ重要性があり、そこから正当性を他者に主張できることが必要となるはずである。言い換えれば、優越構造化に至る過程を十分に理解したうえで、優越構造探索モデルによって意思決定を行うのであれば、正当性の根拠も明確に主張することが可能となり、意思決定の正当性を主張する上で非常に有効であるといえる。

3.2 筆者の TH ルール

筆者は、自分の意思決定経験に対する内省と意思決定行動に対する観察から、モントゴメリと同様、人間は複数の意思決定ルールを用いて意思決定していることが多いという事実を見出した。ただし、そこにおいては、モントゴメリの言うように複数の意思決定ルールを逐次的に適用するのではなく、複数の意思決定ルールの持つ特徴を活かして適用しようとしていた。そこで、筆者はこれをヒントに、優越性ルールと辞書編纂ルールを同時並行的に活用して意思決定する新しい意思決定ルールを開発し、TH ルールと名付けた(図 2)。

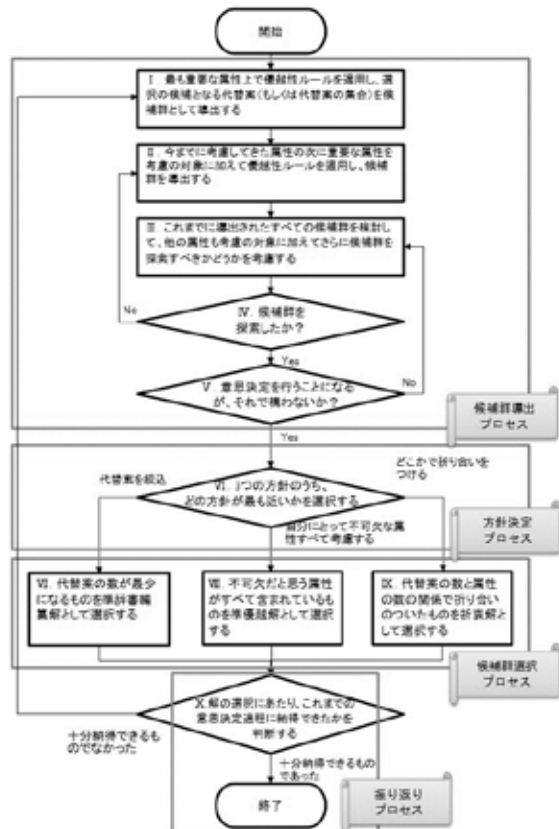


図 2 TH ルールのフローチャート

このフローチャートで、候補群導出プロセスは、意思決定者にとって重要だと思ふ属性までを考慮対象として優越性ルールを適用しながら選択の候補を導出する工程である。この工程で導出された候補である代替案の集合を候補群と呼ぶ。方針決定プロセスは、候補群導出プロセスで導出された候補群の中から、代替案の数を最少にする、自分にとっては

不可欠だと思ふ属性を出来るだけ考慮する、妥協するといった 3 つの方針の中でどれが意思決定者の方針に近いかを決定し、選択する工程である。

候補群選択プロセスは、方針決定プロセスで決定した方針に沿って、どれかひとつの候補群を解として選択する工程である。

振り返りプロセスは、これまでの意思決定過程全般を回顧し、候補群選択プロセスで選択した候補群に十分納得できるかどうかを吟味する工程である。

優越性ルールは、すべての属性を考慮しなければならなため得られた唯一解は最適である可能性があるが、唯一解が得られないことがほとんどである。一方、辞書編纂ルールは、上位の属性から考慮することによって容易に唯一解を得ることができうるが、考慮する属性数は限定的であり最適な解とはならないかも知れない。したがって、それぞれの意思決定ルールを同時並行的に適用しようとする、考慮すべき属性数と候補とすべき代替案数の間で、トレード・オフ関係が発生する。その場合、TH ルールでは、次のような意思決定パターンが考えられる。

- 考慮すべき属性数の最大化ではなく選択の候補となる代替案数を最小まで絞り込むことにする。
- 候補の代替案数が多くなっても自分にとって不可欠の属性を最大限多く残すか、または、考慮すべき代替案を最小化し同時に残すべき属性の最大化を図る。
- 代替案数と属性数の間で折り合いのついた解を選択する。

筆者は、TH ルールの利用において、正当化容易性と受容性(その意思決定ルールを自分自身のルールとして進んで受容できること)において一定以上の効果を持つことを、実験を通じて統計的に(5%有意水準で)確認している。人間の意思決定において正当化容易性と受容性は非常に重要である。自己の意思決定結果の正当性を他者に説明・主張することは、いずれの意思決定場面においても必要であるし、自分自身も採用した意思決定ルールを受け入れ、それに自信を持って意思決定することが必要だからである。

このことは、TH ルールによる意思決定を実践する場合、意思決定者は、自己の意思決定過程を振り返った上でその意思決定過程に納得して意思決定を行っていることを示唆している。

4 ヒューリスティックによる意思決定の基準

前節までの意思決定ルールを活用した人間の意思決定のあり方の検討を通して、単一の意思決定ルールの適用が困難となるような意思決定問題においては、複数の意思決定ルールを用いて意思決定者が代替案の選択が可能状態を作り出し意思決定を行っていることを確認することができた。

モントゴメリの優越構造探索モデルにおける優越構造化処理や、筆者の TH ルールにおける方針決定プロセスがその選択可能な状態を作り出す処理に該当する。ここでは、そのような選択可能な状態、つまりその選択を受け入れることができる状態とはどのような意思決定基準に基づくものであるかを、サイモンの研究成果をもとに、検討する。

4.1 サイモンの限定合理性と満足化原理

サイモンの意思決定に関する研究は、多岐に渡り極めて広範に及ぶものであるが、ここでは主に限定合理性と満足化原理という2つの概念に注目する。

サイモンは、合理性の概念に関して、『経営行動』において「行動主体が、意思決定の前に、(a)行動の代替案をパノラマのように概観し、(b)それぞれの選択に続いて起こる諸結果の複合体全体を考慮し、(c)全ての代替案から一つを選抜する基準としての価値システムを用いる、ことによって、みずからの全ての行動を統合されたパターンへと形づくることである」[5]と述べ、これを完全合理性と呼んだ。その上で、彼は、人間はこのような完全合理性は有してはおらず、限定合理性しか有していないと主張し、その理由を「現実世界における客観的に合理的な行動のために明らかにする必要のある問題空間の大きさと比較して、人間の問題解決能力は非常に小さい」[7]からであると説明した。

限定合理性の下では、規範的意思決定理論で要求するあらゆる代替案を考慮することは現実的ではない。そこで、サイモンは、そのような状況下では、人間は一定の目標水準を定め、その目標水準を達成できる代替案を発見した段階でその代替案を選択するという、満足化原理に従って意思決定すると主張した。彼は、「特定の基準を満たすか超えているが、唯一の代替案であるとも、またいかなる意味でも最善のものであるとも保証されていない代替案を選択する意思決定者は、満足化を行っている」[9]と述べている。

4.2 意思決定過程と手続的合理性

サイモンは、さらに、限定合理性下における人間の意思決定過程に関して、複数の活動過程に分割して詳細に分析している。

サイモンは、1960年に発表した *The new science of management decision* の中で、意思決定過程は、情報活動、設計活動、選択活動の三つの活動過程を経て行われるものという考え方を展開した。

情報活動とは、意思決定のための情報を収集し、問題点を明らかにすることで、意思決定問題を明確にする活動である。情報活動は、意思決定の始まりに当たるものであり、理想に対する現実との間に何らかの乖離がある状態であることに起因して意思決定者が問題を認識するものである。

設計活動とは、情報活動を通して認識した問題点に対し

て、選択可能な代替案を発見、開発、探索する活動である。発見、開発は、過去の経験や行動をもとに、代替案や属性を検討することを含むものと考えられることができる。

選択活動は、情報活動で設定した意思決定問題に対して設計活動で導出した代替案を選択する活動である。サイモンの原文における選択活動の説明に“selecting”という語があるように、単に選択するだけでなく、代替案同士の評価、吟味を含む活動である。

情報活動、設計活動、選択活動は、この順序で生起する。

サイモンは前掲書の改定の際に再検討活動という4つ目の活動を追加した。再検討活動とは、これまでの意思決定における活動について振り返って評価する活動である。この活動によって、情報活動、設計活動、選択活動の間でフィードバックが生起することになる。つまり、意思決定過程は、各活動が一方に進行するものではなく、双方向的に交錯しながら進むことが一般的であるとサイモンは主張している。

以上のサイモンの主張から、サイモンの三局面の部分、図3のような流れ図であると筆者は考える。

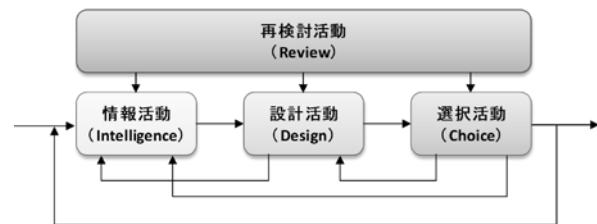


図3: 意思決定過程の循環構造

さらに、サイモンは、「一般的には情報活動は設計活動に先行し、また設計活動は選択活動に先行する。しかしこれら諸局面の循環は、このような順序が示唆するものよりもはるかに複雑である。ある特定の意思決定をする各局面それぞれが、複雑な意思決定過程であるからである」[5]とも述べ、意思決定過程を振り返って循環する構造を図4のような入れ子構造として理解すべきとしている。このように、サイモンは、人間の意思決定過程を四つの活動で理論展開し、さらに活動全体をフィードバック構造および入れ子構造によってとらえていることから、人間の意思決定過程における振り返りの重要性を強調していると推察できる。

サイモンは、後に手続的合理性という概念を導入し、代替案の重要性に加えて、如何に意思決定過程を経るかということも重要であると主張している。手続的合理性とは、「適切な熟慮の上で出された行動であれば、その行動は手続的に合理的である。このような手続的合理性はそのプロセスに依存するものである。大抵、心理学者が合理的という用語を用いる場合、手続的合理性を想定している」[4]と言うものである。

これは、目的や手段という単一の側面からの結果のみで考えると、人間の合理性は限定的であるが、プロセス(過程)

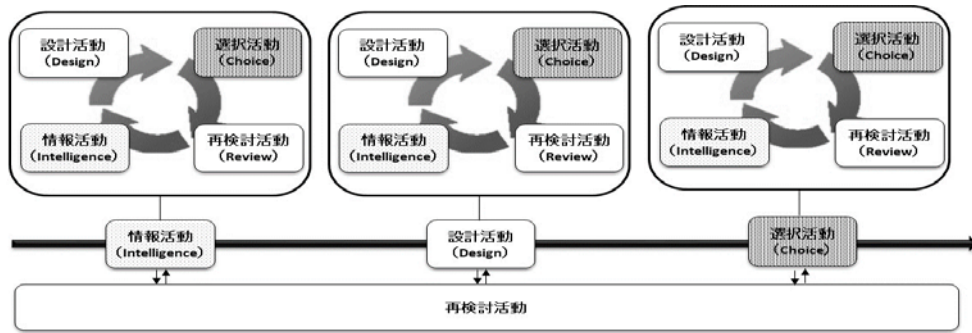


図 4:意思決定過程の入れ子構造

を熟慮すると、手続的には合理的であるという意味である。

以上から、サイモンは、限定合理性を持つ人間は自己の意思決定過程を振り返り充分熟慮することによって手続的合理性を確保し、自己の要求水準に達するか超えているかの代替案を満足化原理に基づく満足解として選択する、と主張していると要約できるだろう。このことは、代替案選択における一つの意思決定基準として機能していると考えられることができるものである。

4.3 意思決定過程に対する満足の概念

前項のサイモンの先行研究調査において、サイモンの考える意思決定基準は限定合理性下における満足化原理に基づくものであることが確認できた。本項ではその基準の詳細を確認するべく意思決定過程に焦点をあてて検討する。

サイモンは、限定合理性ゆえに、人間は規範的意思決定理論による意思決定が不可能であると指摘した。その上で、サイモンは、そのような限定合理性の下では、人間は検討の対象となる代替案を次々に評価していき、自己の目標水準に照らして充分満足のできる代替案(“good enough” alternative)に出会った時点でその代替案を選択するという満足化原理に従って意思決定するとした。したがって、そのような意思決定においては、満足の対象となるものは、代替案そのものである。

サイモンは、満足化原理を発表した後に、手続的合理性の考え方も提唱した。彼は、手続的合理性は、満足化原理に基づく満足解の選択に加えて、解の選択に至るまでの意思決定過程を考慮した上で解釈されるべき概念であるとしている。また、十分に熟慮された結果としての行動は手続的に合理的であるとも述べている。

そうすると、意思決定者は、自身の行ってきた意思決定過程における情報活動、設計活動、および選択活動の三つの活動を再検討活動によって振り返る過程において、自身の意思決定過程がどのようなもので、それは満足できるものであったかどうかを熟慮して満足できるか否かの判断を下している、と考えることができる。サイモンもこの循環構造について、「interweaving of the phase」と述べているように、各

活動が意思決定に向けて 1 枚の布になるように編み込まれていくという意味を込めて、この言葉を当てたのではないかと感じる。それだけ各活動を密接に振り返りながら意思決定しているとサイモンは考えたのであると推察する。

筆者の開発した TH ルールは、自己の意思決定過程を振り返って吟味したとき、たとえ唯一解でなくとも、納得することができる代替案ならばそれを選択するという意思決定ルールであった。したがって、そこにおいては、納得の対象は代替案の筈であった。ところが、TH ルールの実践者達は、筆者を含めて、自己の意思決定過程を振り返り見直し吟味するうちに、自分の意思決定過程そのものに満足・納得し、代替案に対する評価は一旦棚上げにして、その時点における代替案を選択することが多々あった。

以上の考察からすると、サイモンがそのように明示的に言及していないとしても、人間は自己の意思決定過程に対する満足感によって代替案を選択することがありうると考えることは、サイモンの考えそのものとは決して矛盾していないといえるだろう。すなわち、人間は、必ずしも代替案の満足感のみで意思決定するのではなく、自己の意思決定過程そのものに対する満足感にも依拠して代替案選択を行うことがある、ということになる。これは、サイモンの意思決定基準とも違う一つの意思決定の基準と考えることができよう。

なお、モントゴメリの優越構造探索モデルにおいても、自己の意思決定過程を振り返って検討・判断することが重要な位相となっているから、そこにおいては、自己の意思決定に対する満足の概念が含意されていると推察できることは言うまでもない。

5 意思決定における納得の概念

5.1 意思決定における納得という概念の定義

前節で、自己の意思決定過程そのものに対する満足感によっても代替案選択を行うことがあることを述べた。サイモンの満足化原理における満足という概念は、あくまでも代替案に対する満足を指す概念であって、意思決定過程そのものに対する満足を指す概念ではない。満足という語を代替案と

意思決定過程の双方に使用すると、代替案と意思決定過程のどちらに対する満足であるかが不明確になる。そのため、筆者は、意思決定過程に対して満足という語を使うことは適切ではないと考え、意思決定過程の満足感をあらわす語として納得という語を用いることとし、意思決定における新しい一つの意思決定基準として提案するものである。以降、意思決定過程の満足感をあらわす語として納得という語を用い、意思決定過程に満足したうえで行う意思決定を納得できる意思決定と呼ぶことにする。

納得と言う語の本来の意味は、「他人の考え・行動を理解し、もつとだと認めること」[11]である。つまり、納得という概念は、本来、他者（客体）に対する判断を示す概念である。そこで、筆者は、「納得とは、意思決定過程の満足感を指し、自己の意思決定過程を客体化して評価し、自己の価値観に照らし合わせて容認することである」と定義する。

ここで言う価値観とは哲学で言う「個人において自分の行動を律する動因になっている主観的なもの」[13]を意味する。したがって、それは自己の人生における経験に基づく内面的な判断の基準である。客観的に意思決定することが可能と考える規範理論的意思決定とは異なり、意思決定においてはこの内面的・主観的な価値観が大きい影響を与えると筆者は考える。

なお、モントゴメリは、納得と明示的には言っていないが、彼の優越構造探索モデルには納得という概念が含意されている。実際、竹村はこのモデルに関して、「人間の情報処理の観点というよりも、『納得』や『正当化』に関する動機づけの側面を強調していると言える」[15]述べている。

筆者の納得という概念はサイモンの満足という概念に近いといえる。サイモンは、意思決定者は自己の意思決定過程をフィードバック構造および入れ子構造によって何度も循環し（振り返り）、満足のいく代替案を選択すると言っている。筆者はこの考えを全面的に踏襲するものである。ただし、サイモンにおける満足の対象は代替案であり、筆者における満足の対象は意思決定過程である。それ故、誤解を避けるために、筆者はあえて、意思決定過程に対する満足感を指すものとして納得という語を用いることにしたものである。

筆者は、「納得できる、あるいは、納得のいく」に対応する英語表現は、意思決定者自身の主観と調和するという意図を込めて“suitable”であると考え。しかし、その一方で、「納得できる、あるいは、納得のいく」という日本語には、「妥協的」な側面も含意されているとも考えることができる。よって、ここでの意味は、より総体的に表現することができる“acceptable”がより適当であると考え。したがって、「納得できる意思決定」に対応する英語は、“acceptable decision making”とする。“acceptable”の度合いによって、大いに納得できる場合には“suitable”であり、妥協的もしくは十分納得できない場合には“unsuitable”であると表現する。

5.2 納得できる意思決定の性質

意思決定者は、意思決定を行う際にはなんらかの判断基準を有している。その例として、代替案に対する満足感を指すサイモンの満足化基準が該当する。意思決定者は、代替案の満足感を評価して、自身の満足化基準を満たす代替案を探索する。

その一方で、意思決定者は、単に代替案の満足感のみで判断するのではなく、意思決定過程に対する満足感も評価して判断している、と筆者は考える。つまり、納得できる意思決定は、意思決定過程の満足感にあたる基準があるということである。

納得できる意思決定における納得の判断基準は、意思決定者の主観にあたるものであるため、容易に特定できるものではないが、その基準の一つとして代替案の選択に至った経緯の明快さにあると考える。なぜその代替案の選択に至ったのか、ということ自分を自分自身の中で理路整然と説明することができるということは、解に至るまでの意思決定過程に対して十分に納得したからだといえる。仮に意思決定者にとって満足できる代替案でなかったとしても、選択候補の代替案に妥協的ではあるものの、選択に至った経緯が明快であれば、意思決定過程に納得して解を選択することができるであろう。

このように考えると、意思決定過程への納得と代替案への満足の関係は図5のように整理できる。

例えば、選択する代替案に満足し、かつ意思決定過程に納得できる場合に、意思決定者の選択する代替案は満足できる納得解領域に存在すると考えることができる。同様に、選択する代替案は十分な満足感はないが、意思決定過程には納得できる場合には、意思決定者の選択する代替案は妥協的納得解の領域に存在する。このように、納得できる意思決定の解は四象限での存在領域をあらわすことができる。

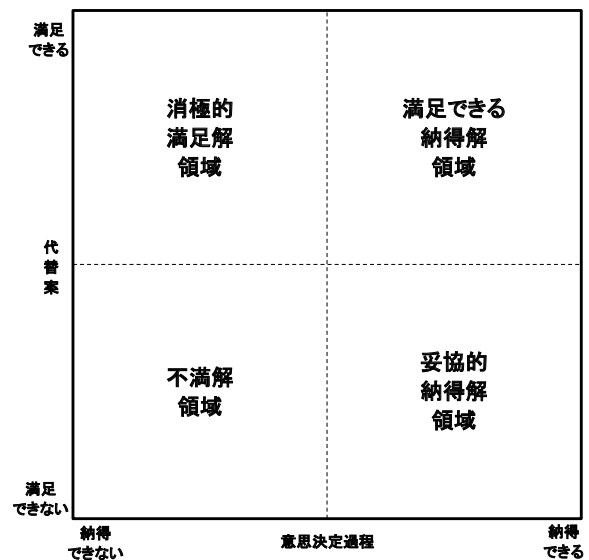


図5: 納得できる意思決定の解の存在領域

5.3 納得できる意思決定の概念モデル

前項までで整理した納得できる意思決定の概念と性質を纏めると、次の図6のような概念モデルを提案することができる。

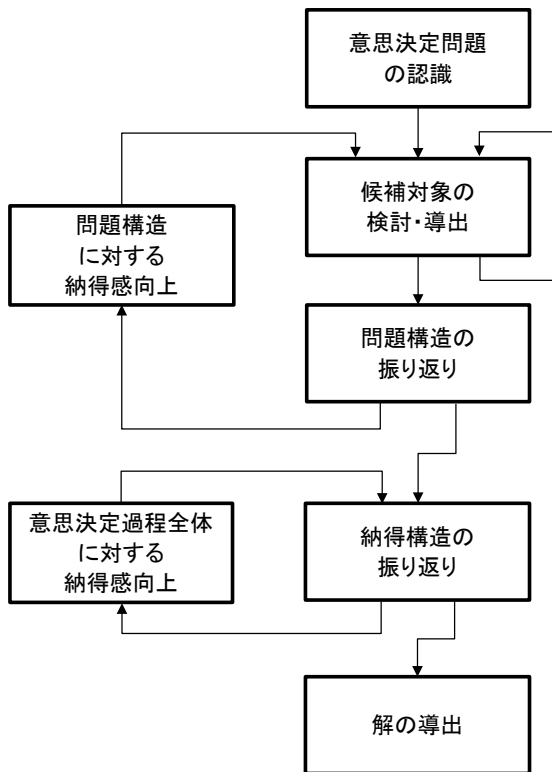


図6: 納得できる意思決定の概念モデル

この概念モデルは、意思決定問題の認識を契機として開始され、解の導出をもって終了する。

「候補対象の検討・導出」は、属性と代替案の関係を把握し、意思決定問題のもつ代替案とその属性とのトレード・オフ関係を客観的に理解するためのプロセスである。

「問題構造の振り返り」は、「候補対象の検討・導出」プロセスで理解した問題構造を振り返るプロセスである。振り返った結果として問題構造に十分納得できる場合には、次プロセスに進むことも可能であり、より納得するために、必要に応じて重要属性の優先順位の変更や評点の変更を行い、再度「候補対象の検討・導出」に戻ることで選択候補となる代替案と重要属性のトレード・オフ関係を解消することも可能である。こういった振り返りのプロセスを踏むことで、問題構造に対する理解が深まり、選択する代替案の絞り込みの過程に対する納得感を高めることができる。

「納得構造の振り返り」は、意思決定者の辿った意思決定過程を客体化して、自己の価値観、人生観、世界観に照らしてその過程を容認できるかを内省するプロセスである。選択に躊躇する場面でも、それまでの人生で培ってきた価値観からすれば、妥協し、納得する場合があります。ここでの納得感向上は、意思決定過程全体に対する納

得感の向上を指すもので、「問題構造の振り返り」プロセスにおける納得感を得た過程も含めて、これまでの検討過程全体を改めて振り返るものとなる。

このように、納得できる意思決定の概念モデルでは、二つの納得感の向上を以って、意思決定過程に納得して意思決定することを記述的モデルとして表現することができる。

6 結論と今後の課題

筆者は、本稿において、サイモンとモントゴメリの所説をもとに、限定合理性下にある人間の意思決定は、規範的意思決定理論に基づくものではなく、ヒューリスティックに基づく意思決定を行うことを確認した。その上でヒューリスティックに基づく意思決定を行う際の一つの基準となるサイモンの満足の概念に対して、意思決定過程に対する納得という概念を一つの考えとして提示した。納得の概念は、サイモンの満足の概念に依拠し、その延長上にある概念であると考えられる。

この納得の概念をもとに、人間はどのように意思決定において納得に至るのかを示す一つの概念モデルを提案した。

今後は、納得できる意思決定の概念モデルの妥当性をより明らかにするべく、実証研究によって明らかにしていきたい。それが筆者の当面の研究課題である。

参考文献

- [1]Adelbratt, T., & H.Montgomery, "Attractiveness of Decision Rules," *Acta Psychologica*, No45, pp.177-185,1980.
- [2]Newell, A., Shaw, J. C., & Simon H. A., "Empirical explorations of the logic theory machine: A case study in heuristics," in E.A.Feigenbaum, & J. Feldman(Eds), *Computers and Thought*, McGraw-Hill, P.114,1963.
- [3]Montgomery,H., "Decision Rules and the Search for a Dominance Structure:Toward a Process Model of Decision Making," in P. Humphreys,O.Svenson,& A. Vari, (Eds.), *Analysing and Aiding Decision Processes*,North-Holland, pp.343-360,1983.
- [4]Simon, H.A., "From Substantive to Procedural Rationality," in *Method and Appraisal in Economics*, S. J. Latsis ed., Cambridge University Press, Cambridge, pp.129-148,1976.
- [5]Simon, H.A., *The New Science of Management Decision rev.ed.*, Prentice-Hall ,1977.

- [6]Simon, H.A., *The Sciences of the Artificial 3/E*, Nobel Foundation,1996.
- [7]Simon, H.A.,*Models of Man*, John Wiley & Sons,1987.
- [8]Simon, H.A., *Administrative Behavior 4/E*, The Free Press,1997a.
- [9]Simon, H.A.,*Models of Bounded Rationality*,Volume 3, The MIT Press,pp.295-298,1997b.
- [10]小橋康章,『決定を支援する』, 東京大学出版会, 1988.
- [11]西尾実他(編),『岩波国語辞典 第3版』, 岩波書店, 1983.
- [12]氏原寛他(編),『カウンセリング辞典』, ミネルヴァ書房, 2002.
- [13]下中弘(編),『哲学事典』, 平凡社, 1997.
- [14]高巖,『H.A.サイモン研究—認知科学的意決定論の構築—』, 文眞堂, 1995.
- [15]竹村和久,『行動意思決定論』, 日本評論社, 2009.
- [16]竹村和久, 多属性意思決定の心理モデルとよい意思決定』,『オペレーションズ・リサーチ』, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 第56巻, 2011.
- [17]細田貴明,「人間の意思決定過程への支援に関する一考察」, 早稲田大学大学院社会科学研究科修士論文, 2003.
- [18]細田貴明,「ヒューリスティックによる人間の実務的な意思決定について」,『経営実務研究』, 日本経営実務学会, 第10巻, 2015.
- [19]細田貴明,「意思決定理論の歴史的変遷：納得できる意思決定の概念へ」,『経営会計研究』, 日本経営会計学会, 第20巻1号, 2016.
- [20]細田貴明,「人間の実務的な意思決定に対するひとつの試論：納得過程模索モデルの提案」,『工業経営研究』, 工業経営研究学会, 第30巻1号, 2016.
- [21]細田貴明,「人間の実務的な意思決定のあり方に関する一考察」, 早稲田大学大学院社会科学研究科博士論文, 2017.
- [22]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』, 工業経営研究学会, 第19巻, 2005.
- [23]宮川公男『意思決定論:基礎とアプローチ』 中央経済社, 2005.

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 —

三 好きよみ**・板倉宏昭*

A Recurrent Education Program for Seniors at a Professional Graduate School – Findings from Interviews and Questionnaires with Start-up Program Participants –

Kiyomi Miyoshi** and Hiroaki Itakura *

Abstract

The Advanced Institute of Industrial Technology has established a recurrent education/professional development program at the graduate school level for senior citizens. The program is aimed at responding to the needs of actual entrepreneurship, and business succession for entrepreneurs, entrepreneurs and those who are aiming for business succession of SMEs (Small and medium-sized enterprises). The program consists of lecture and exercise type subjects as core curriculums, business development method subjects as case studies, and PBL (Project Based Learning). In this paper, we will analyze and report the results of this program based on interviews and questionnaire surveys from the participations.

Keywords: Recurrent Education, Start-up, Senior, Project Based Learning

1 はじめに

我が国の65歳以上人口の割合は、1950年には、総人口の5%に満たなかったが、1994年には14%を超え、2017年には、27.7%に達しており、今後も上昇を続ける傾向である[1]。また、2017年時点での平均寿命は、男性81.09歳、女性87.26歳であり、医療水準の向上などで、今後も延びる可能性があるとしている[2]。このような中、経済産業省は、「人生100年時代」の到来を見据え、社会人が自らのキャリアや働き方を見直すため、国内外の大学院や専門学校、海外ボランティアなどで学び直す「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を企業に呼びかけており、柔軟な勤務時間や学費補助など、働きながら学べる環境づくりも整いつつある[3]。また、「中小企業白書」によると、シニア世代の起業希望者、及び起業家の全体に対する比率は増加傾向にある[4]。一方、シニア世代の開業後の採算状況や予想月商達成率は、若い世代に比べて悪く、シニア起業の経済面から見た成功率は低い[5]。平井らは、シニアが起業を成功させるためには、起業前の準備段階から専門知識・スキルや人的ネットワークなどを蓄積しておく必要があり、継続

的に新しい知識や考え方を学び続けることが重要であることを確認している[6]。しかし、日本において、学び直しを行っている人の割合は他国と比べてまだまだ少ない[7]。人がどのように学びへと動機づけられるかについて、学習意欲という点では、多くが青年期までを対象にして研究されてきた。櫻井は、内発的動機と、学ぶことを手段とする外発的動機のうちで自発性が認められるものを包含する学習動機を自ら学ぶ意欲とし、そのプロセスモデルを明らかにしている[8]。一方、成人期を対象としたものとしては、ワークモチベーションが研究されてきている。ただし年齢に伴うモチベーションの変化についてはほとんど知られていない[9]。年齢とワークモチベーションの関連性として、Kooij et al.は、加齢とともに、内発的動機づけは増加し、外発的動機づけは減少することを示唆している[10]。社会人となってキャリアを重ねていく過程では、キャリア発達に応じた課題を乗り越えていることが想定される。キャリア発達の基礎理論としては、5段階からなるキャリアの発達モデル[11]、8つの段階と発達課題[12]、4つの発達期と過渡期[13]等がある。以上のように、社会人の学び直し、シニアの起業に関連する知見、学びへの動機、及

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 福岡女子大学 国際文理学部, International College of Arts and Sciences, Fukuoka Women's University

びキャリア発達について検討し示唆を得られた。しかしながら、シニア層の学び直しの実態について明らかにしたものは少ない。

本論文では、シニア層を対象とした学び直しのためのプログラムを紹介するとともに、受講者に対して実施した、インタビュー調査、及びアンケート調査から、受講の背景と動機、受講後の評価を分析し、受講の満足度評価について報告し、シニア層の学び直しの実態について明らかにする。2章では、本論文で対象とする「AIIT シニアスタートアッププログラム」の教育プログラムについて述べる。3章では、インタビュー調査による受講者の受講の背景と動機について述べる。4章では、アンケート調査による受講後の評価について述べる。5章では、分析結果から考察する。最後に、今後のプログラムに向けての展望を取りまとめる。

2 教育プログラムの概要

本論文で対象とする「AIITシニアスタートアッププログラム」(以下、本プログラム)は、産業技術大学院大学が、東京都、産業界等の協力を得て、2018年に新規開設したプログラムである[14]。起業に挑戦するシニア層のための学びの場として、起業に必要な知識、及びスキルを短時間で修得できるよう、大学院教育レベルでの学び直しのための教育プログラムを提供している。以下に対象者、目的、教育内容等について述べる。

2.1 対象者、目的

起業家(アントレプレナー、イントレプレナー)や中小企業の事業承継を目指す者を受講対象としており、現実の起業・創業や、事業承継のニーズに応えることを目的としている。概ね50歳以上のシニア層に対して、起業に必要な知識・スキルを大学院レベルで提供し、学び直しを推進する。

2.2 教育内容、教育方法

教育プログラムは、基礎科目、事例研究型科目、PBL型科目の3階から構成されている(図1)。第1段階は、講義・演習型科目である。受講者は、起業に関する基本的な知識・スキルと、地域の現状・課題等を学ぶ。第2段階は、事例研究型科目である。受講者は、各種事例から事業開発手法を学ぶ。最終段階は、PBL型科目である。受講者は、

第1段階、第2段階で学んだ知識・スキル、及び事業開発手法を活用して、プロジェクトを遂行し、業務遂行能力を習得する。プロジェクトでは、対象地域の現状から課題を特定し、現実の課題に対する問題解決・事業開発を提案する。

各段階、及び各科目では、修得可能な到達レベルが明確に設定されている。また、科目の特性に応じて、講義、演習、グループワーク、録画授業による反復学修といった手法を適用している。以下に、各段階と科目について述べる。

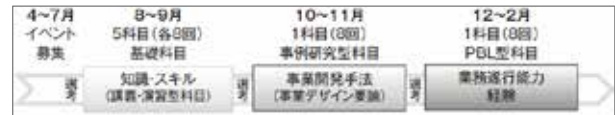


図1: プログラム構成

2.2.1 基礎科目(講義・演習型科目)

起業に必要なとされる基本的な知識・スキルの修得・定着を目指す。全5科目から、必須科目を含む2科目以上を選択して受講する。

受講者は、シニア世代であり、既に習得している知識・スキル、及び現在までのキャリアが様々である。さらに、受講の目的もアントレプレナー、イントレプレナー、及び事業承継等、様々である。したがって、すべての科目を必修科目としていない。各受講者が、自身のキャリアプランのために、必要とする知識・スキルを効率的に習得できるように、基礎科目群から独自の履修計画を立てられるようにしている。

「東京経済事情(必須科目)」

オムニバス形式で、活躍する行政、起業した経営者、支援団体のマネジメント等を講師に招く。東京の経済事情について、行政の政策やスタートアップ企業の戦略、スタートアップの現状と課題等、広く学ぶ。

「経営戦略要論」

講義を通して、実践的な戦略感を養成するための直感的な閃きと、これを実体化させる基礎的な理論に関する知識を習得する。

「マーケティング要論」

講義、演習を通して、マーケティング・マインドを養い、現代社会の潮流を分析する。その上で、今後のマーケティングの中で重要になってきている顧客志向、関係構築、グローバル化、情報化社会について考察していく。

「ファイナンス要論」

講義、演習を通して、経営者の立場に必要なファイナンスの基礎を習得する。企業が、起業から事業成長する過程で、どのような資金調達手段があり、資金提供を受けるにはどのような要件を満たす必要があるかを学ぶ。

「ITイノベーション要論」

グループワークを通して、身近なテーマを選んで情報システムの構築を行う。プログラム経験がなくてもシステム構築が可能なクラウドを活用したアプリケーションを利用する。

2.2.2 事例研究型科目

起業に必要なとされる事業開発手法の習得を目指す。MBA等で活用されているケーススタディ、ケースメソッド等の手法を参考に、独自に開発した事例研究型教育を行う。

「事業デザイン要論」

グループワークを通して、事例に対する要因分析から、情

報分析、問題解決のスキルを駆使して、戦略立案、実現可能性の検証、意思決定の訓練を行う。その後の PBL 型科目に対する準備とする。以下のような流れで授業を展開する。フェーズ 1: 受講生による事前準備、フェーズ 2: 小グループでグループディスカッション、フェーズ 3: クラスディスカッション。

2.2.3 PBL 型科目

現実の課題に対してプロジェクトチームで取り組み、具体的な作業を行いながら解決に導くことで、コンピテンシーを高めていく。PBL 型科目を受講するには、その前段の基礎科目と事例研究型科目を受講し、選考を通過していることが条件である。したがって、起業に必要とされる基本的知識、及びスキルは修得しているという前提である。通常の業務では単独で問題解決にあたることは稀で、通常複数メンバーからプロジェクトが構成される。PBL では、これを反映し、複数のメンバーからプロジェクトチームを構成し、問題解決のために協働作業を行う。各 PBL チームに TA(ティーチングアシスタント)がアサインされるとともに、全体では、3 名の教員が指導にあたる。

なお、2018 年度の PBL 型科目では、「八丈島の地域ビジネスを考える」をテーマとしている。

「八丈島 PBL キャンプ」

プロジェクトチームを構成し、八丈島で、2 泊 3 日のキャンプ形式のアイデアソン・ハッカソンを実施する。事前に、調査を行った上で、実際に、八丈島でフィールドワークを行い、アイデアソン・ハッカソンを実施、提案を行う。

「シニアスタートアップ特論」

プロジェクトチームを構成し、地域の現状から問題を特定し、現実の課題に対する問題解決・事業開発のプロジェクトを遂行する。実際の業務に近いプロジェクトを体験することで、知識・スキルの活用経験を蓄積し、コンピテンシーを高めていく。

以下のようにチームと個人それぞれで活動していく。

チームとして: コアミーティングの実施、中間レビュー報告会、成果発表会、プロジェクト成果物の提出
個人として: チーム組成報告、週報の提出、セルフアセスメントの提出、相互評価の提出

2.3 修得するコンピテンシー

教育プログラムでは、基礎科目、事例研究型科目で得た知識・スキル、それらを基に実施する PBL 型科目を通して、最終的に習得するコンピテンシーを以下に示す[15]。

- ・コミュニケーション
- ドキュメンテーション
- 提案・説得・ネゴシエーション
- ・継続的学習・研究

- 革新的概念・発想力
- 社会的・マーケットの視点を伴ったニーズ分析力
- 問題解決力
- ・チーム活動
- リーダーシップ・マネジメント
- ファシリテーション・調整

2.4 日程等

本プログラムは、2018 年 8 月から翌年 3 月にかけて実施された。授業時間は、社会人を考慮し、平日夜間(18:30~21:40, 90 分×2 コマ)、及び土日昼間(9:00~18:00, 90 分×5 コマ)とした。授業録画等の仕組みを活用し、欠席時や復習時の対応を行っている。また、受講期間中は、付属図書館の利用が可能である。

3 インタビュー調査による受講の背景と動機の分析

3.1 調査方法

2018 年 7 月から翌年 2 月に、受講者 15 名に、半構造化面接によるインタビュー調査を実施した。インタビュー時間は、1 人あたり、約 40 分から 90 分であった。事前に面接依頼書にて目的、概要等を説明し、調査対象者の承諾を得た上で、IC レコーダーと筆記により記録した。これまでの経歴を振り返ってもらい、次の基本項目を基に自由に話してもらった。
①職業経験、②会社の仕事以外の活動経験、③学び直しの経験、④現在の仕事内容、⑤プログラム受講の動機、⑥今後に向けた展望。

3.2 分析方法

インタビューの逐語録を作成し、KJ 法[16]を援用して分類した。

3.3 結果

受講の背景と動機について分析の結果、表 1 に示す 3 カテゴリー、11 項目に分類された。1 つ目のカテゴリーは、「経験・環境」である。学び直し経験、学びからの成果、会社環境の変化、私的環境の変化 の 4 項目で構成される。2 つ目のカテゴリーは、「認知・欲求」である。キャリアの見直し、思うように働きたい、起業を視野に の 3 項目で構成される。3 つ目のカテゴリーは、「動機・期待」である。仲間を得たい、刺激を得たい、情報を得たい、知識スキルを得たい の 3 項目で構成される。分類されたカテゴリー、及び項目の関係について、受講の背景と動機から受講にいたるプロセスという視点から検討し、図 2 に示す仮説モデルを作成した。上から下に時間軸が進んでいくことを表す。また、カテゴリー、及び項目間で関係性が認められる部分は矢印で示した。

受講の背景と動機から受講に至るまでのプロセスとしては

以下が確認された。会社員としては、役職定年となって定年を意識するようになったり、世の中の変化に応じて事業を考えていく必要があったりと、会社環境の変化があった。私的環境では、起業を目指す人と接することがあったり、子供が自立し、家のローンも終わって、自分に使える時間とお金ができたりといった変化もあった。また、過去には、資格取得のために勉強したり、ビジネススクールにいたり、学び直し経験があり、そこでは、資格を取得できたり、多様な人たちとの出会いがあったりした。職場環境や私的環境の変化をきっかけに、これまでを振り返り、キャリアの見直しするに至った。その結果、今後は、やることを限定したい、まだまだ自分の能力を活かしたい、これまでやってきたことで社会還元したいという気持ちや、役職定年後に、部下に使われたくないという気持ちもあり、自分の思うように働きたいと考えるようになった。まずは副業として、できれば起業したいというように、起業を視野に入れるようになった。そして、そのためには、起業に向けた知識の補強が必要である。まだ気力体力のある今準備しておく必要がある。学び直しの経験や学びからの成果を得られた経験も後押しとなり、受講によって、同じ志の仲間を得たい、何か刺激が欲しい、情報が欲しい、といったことが受講の動機・期待となった。

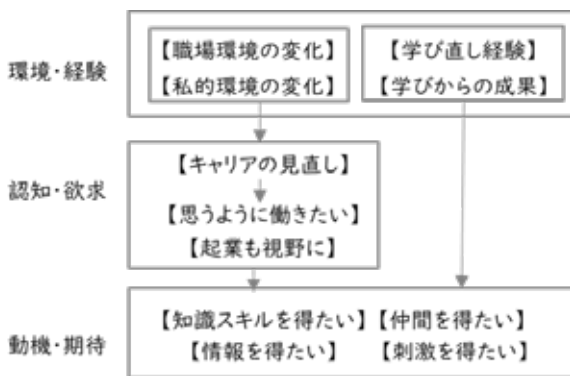


図 2: 受講の背景と動機のモデル

4 アンケート調査による受講後の評価分析

4.1 調査方法

全プログラム終了後の 2019 年 3 月に、第 3 段階の PBL 科目まで全段階の修了者 26 名に対して、質問紙調査を実施した。以下の 1) 2) の計 16 項目の満足度を 1(低)から 5(高)の 5 段階で回答を求めた。3) 4) については自由記述とした。

4.2 調査内容

1) プログラム内容に関する満足度 7 項目

講座全体の満足度、起業に役に立つか、修了を自慢できるか、知り合いに勧めたいか、知識・スキルの修得、業務遂行能力の修得、PBL 科目、学生間の人間関係

2) プログラムの日程・運営に関する満足度 9 項目

8 月開講、平日夜間の授業、土曜の授業、日曜の授業、3 段階制、授業動画のインターネット視聴、図書館、設備等(教室等)、受講費

3) プログラムでの学修や経験等を通じ得られて良かったと思うものを順に記述

4) プログラムがより良くなるための提案

4.3 分析方法

1) 2) については、各質問項目について、単純集計を行った。3) については、KJ 法[16]を援用して分類した。4) については抜粋した。

4.4 結果

1) プログラム内容に関する満足度

講座全体の満足($M= 4.32$ $SD= 0.61$)、起業に役に立つか($M= 3.72$, $SD= 1.00$)、修了を自慢できるか($M= 4.00$, $SD= 0.85$)、知り合いに勧めたいか($M= 3.96$, $SD= 0.87$)、知識・スキルの修得($M= 3.80$, $SD= 0.63$)、業務遂行能力の修得($M= 3.58$, $SD= 0.64$)、PBL 科目 ($M= 4.12$, $SD= 0.87$)、学生間の人間関係($M= 4.24$, $SD= 0.71$)であった。

2) 日程・運営に関する満足度

8 月開講($M= 3.76$, $SD= 0.81$)、平日夜間の授業開講($M= 4.36$, $SD= 0.63$)、土曜の授業開講($M= 4.40$, $SD= 0.57$)、日曜の授業開講($M= 4.28$, $SD= 0.72$)、図書館($M= 3.80$, $SD= 1.06$)、設備等(教室等)($M= 3.96$, $SD= 0.92$)、授業動画のインターネット視聴 ($M= 3.96$, $SD= 0.77$)、受講費($M= 4.48$, $SD= 0.64$)であった。

3) プログラムを通じて得たもの

自由記述からの分類の結果、知識・スキル、コンピテンシー、情報、多様な人脈、仲間からの学び、多才な仲間からの学び、内省の 7 項目に分類された。分類結果を表 2 に示す。なお、これらの 7 項目を「学習行動」カテゴリーとして取り扱う。

また、一番得られたものとして、多様な人脈 11 名、仲間からの学び 8 名、知識 3 名、コミュニケーション能力 1 名であった。すべてが同じように得られた(順番付けが難しい)が 2 名 であった。

4) 今後に向けての提案(抜粋)

- ・24 時間利用可能な PBL 設備の開放。
- ・1 人 1 台の PC を備えて欲しい。
- ・関連図書を幅広に備えて欲しい。
- ・チームビルディング、人材育成の科目

・シニアという年齢を限定したチームに大学生が混在するとさらなる化学反応が生まれたかもしれない。

5 考察

本章では、3章のインタビュー調査による受講の背景と動機の分析結果、及び、4章のアンケート調査による受講後の評価分析結果から考察を行い、シニア層の学び直しの実態について述べる。

受講対象のシニア世代は、それまでの生活を修正することができる「50歳の過渡期」[13]に相当する。分析結果からも、仕事環境や家庭環境の変化によって、これまでを振り返り、今後のキャリアを見直す行為が示された。環境の変化によって、キャリアの再設計の必要性を認知し、キャリアを見直した結果、自分の思うように働きたい、起業も視野に入れるという欲求となることが確認された。そして、プログラム受講によって、知識スキルを得たい、情報を得たいといった動機や仲間を得たい、刺激を得たいという期待となることが確認された。これらは、起業を目指すためであり、外発的動機に該当する。加齢とともに、外発的動機づけは減少するとされる[10]が、今回の分析では、シニア世代においては、外発的動機づけの減少には至っていないことが示された。ただし、何らかの目的をもって自発的に学ぶものであり、自ら学ぶ意欲[8]に該当する。また、この時期は一般的には、定年が視野に入り、先行きの不透明感や役割の喪失感を持つ時期であるが、過去の学びからの成果による自信と充実感を得た経験が、今回の新たな学びに踏み切る要因になっていると考えられる。プログラム受講における学習行動としては、知識・スキル、情報、多様な人脈、仲間からの刺激、コンピテンシー、多才な仲間からの学び、内省が確認された。

受講後の評価について、受講の動機・期待と学習行動を対比して考察する。3章のインタビュー調査による受講の背景と動機の分析によるから作成した仮説モデル(図2)、及び4章のアンケート調査による受講後の評価分析結果から得られた「学習行動」を統合し、図3に示す仮説モデルを作成した。「動機・期待」の項目と「学習行動」の項目で対応が確認された4項目についてグループとして破線で囲み、線で連結している。まず、受講の動機・期待の知識スキルを得たいということについては、プログラム内容の満足度として、プログラム全体、PBL科目、知識スキルの修得、業務遂行能力の修得において、3.5以上であったこと、及び学修や経験等を通じて得られたものについての自由記述において、知識スキル、及びコンピテンシーが挙がっていることから、受講者の期待に応えられたことが示された。受講の動機・期待として確認された、仲間を得たい、刺激を得たい、情報を得たい、についても、プログラムを通じて得られたものの記述から、人脈、情報が得られたことが示された。

また、受講の動機・期待にはなかったこととして、以下のよう学習行動が確認された。1点目は、コンピテンシーである。職歴やスキルが異なる人たちとの議論によるコミュニケーション能力、多様な人との作業と達成に向けたチームワーク能力を得たといった記述があった。2点目は、多才な仲間からの学びである。自分の職歴で体験できなかった考え方の習得、シニアならではの各メンバーの経験や専門性、多様性、様々な考え、発表の仕方、プレゼンにおける資料のまとめ方などを得た、といった記述があった。これらは、学習が他の個体の行動を観察することによっても成り立つという観察学習[17]の成果と考えられる。3点目は、内省である。自身の振り返りができた、との記述があった。以上のように、本プログラムは、受講者の受講の動機や期待に応じることができており、受講時に期待していたこと以外にも得たことが多くあったことがわかる。

櫻井が示した、自ら学ぶ意欲[10]においては、安心して学べる環境が、もっとも重要な要因とされる。安心して学べる環境は、物理的環境、人的環境で構成される。人的環境については、受講者の背景と動機の会社環境の変化、私的環境の変化、及び受講後の評価の人間関係の満足度の平均が、4.2ということから、特に問題ない環境であると考えられる。一方、受講者の今後に向けての提案からは、物理的環境について、改善の余地があることがわかる。これらを改善することで、より学習行動が促進されると思われる。

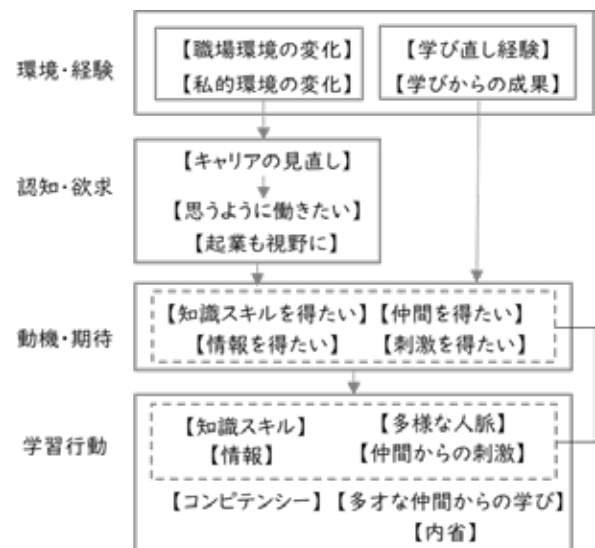


図 3：受講の背景と動機、学習行動のモデル

6 おわりに

本論文では、まず、起業に挑戦するシニア層を対象とした起業に必要な知識、及びスキルを短時間で修得するためのプログラムを紹介した。次に、インタビュー調査、及びアンケート調査を基に、受講者の満足度評価について分析した。受講の背景と動機、及び学習行動から構成される仮説モデル

ルを作成し、シニア世代の学び直しの実態と受講者の満足度を明らかにした。本プログラムの目的である起業に必要な知識・スキル、情報を提供することができており、人脈を得たい、仲間を得たいという受講者の動機・期待に応じることができていることが確認できた。さらに、受講者の期待を超えて、多様な人材、シニア世代ならではのプロフェッショナルな仲間から学びを得ていること、内省を促していること等が示された。なお、プログラム修了後、さらに学びを深めようと、新たに社会人大学院に入学を決めた受講者を数名確認できている。学習行動が、上首尾に終わり、課題が達成されることによって、有能感、自律感、といった認知・感情となって、学びの動機にフィードバックされるという、自ら学ぶ意欲の発現プロセス[10]である。また、学びの環境では、改善の余地があることも明らかになった。以上のような、今回の分析結果を活かし、次年度以降のプログラム設計、運用を検討していきたい。

謝辞

調査実施に際しては、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。本論文の作成にあたり、調査にご協力いただいた方々に、心より御礼申し上げます。

付記

本研究の一部は、プロジェクトマネジメント学会 2019 年度春季研究発表大会、13th International Conference on Project Management Yangon, Myanmar において発表した。

参考文献

- [1] 内閣府, 平成 30 年版高齢社会白書, 2018.
- [2] 厚生労働省, 簡易生命表, 2018.
- [3] 経済産業省, 人生 100 年時代の社会人基礎力とリカレント教育について, 2018.
- [4] 中小企業庁, 中小企業白書, 2014.
- [5] 日本政策金融公庫総合研究所, シニア起業家の開業～2012 年度「新規開業実態調査」から～, 2012.
- [6] 平井均, 亀井省吾, 大橋正和, サクセスフル・エイジングのためのアクティブ・シニアの スタートアップ活動に関する研究 :Well-Being 向上の一方法としての起業に関する考察 情報社会学会誌, 13(1), 2018.
- [7] 内閣府, 平成 30 年版 年次経済財政報告, 2018.
- [8] 櫻井茂男, 知的好奇心のはたらきと育て方 教育展望, 50(4), pp.20-27, 1994.
- [9] 池田浩, ワークモチベーション研究の現状と課題. 日本労働研究雑誌 684, 2014.
- [10] Kooij, D. T. A. M., de Lange, A. H., Jansen, P. G. W., Kanfer, R., & Dikkers, J. S. E. , Age and Work-related Motives:Results of a Meta-analysis. Journal of Organizational Behavior, 32, 197–225, 2011.
- [11] Super, D. E., The psychology of careers. New York: Harper & Row,1957. (日本進路指導学会(訳), 職業生活の心理学 誠信書房,1960)
- [12] Erikson, E.H., Identity: Youth and crisis. NewYork: W. W. Norton, 1968.
- [13] Levinson, D. J., The seasons of a man's life. New York: Ballantine,1978. (南博(訳), ライフサイクルの心理学 上・下 講談社学術文庫,1992)
- [14] 産業技術大学院大学, 平成 30(2018)年度 AIIT シニアスタートアッププログラム事業成果報告書, 2019.
- [15] 板倉宏昭, 亀井省吾, AIIT シニアスタートアッププログラム PBL ガイダンス. 産業技術大学院大学 産業技術研究科,2018.
- [16] 川喜田二郎, 発想法—創造性開発のために 中央公論, 1967.
- [17] Banclura, A. (Ed).:Psychological modering : Conflictingtheories, Chicago : Aldne,1971. (バンデューラ編 原野・福島訳 モデリングの心理学 金子書房,1975)

表 1：受講の背景と動機

カテゴリ	分類	内容
経験・環境	会社環境の変化	役職定年となってしばらくたち、定年が見えてきた
		世の中の変化に応じて、事業を考えていく必要がある
	私的環境の変化	起業や創業を目指す人をみてうすうす自分も考えなきゃいけない
		自分に使える時間とお金ができた
		人生100年の講演, 書籍に触れる機会があった
	学び直し経験	本を読んだり、資格の勉強を独学で行う
		ビジネススクールの単発講座を受講
		MBAコースや専門職大学院に通った
	学びからの成果	資格を取得できた
		学びを実践に適用できた
多様な人たちと出会いがあった		
認知・欲求	キャリアの見直し	50歳の節目でキャリアを振り返りこれからを考えたいと思った
		今後のキャリアを再設計するの必要を感じていた
		今ならまだ気力も体力もあるので準備しておきたい
	思うように働きたい	自分の能力をもっと前向きに活かしたい
		これまでやってきたことで何か社会に還元したい
		もと部下の下で働くのは嫌
	起業を視野に	これからはやることを選択して限定する
		自分でやりたいことをやるには起業するのがよいのではないか
		会社勤めの傍らやってみている
		社内で新しい事業を興したい
動機・期待	仲間を得たい	同じ志の仲間と出会いたい
		人脈を作りたい
		会社以外の人と出会いたい
	刺激を得たい	何か刺激を受けたい
	情報を得たい	様々な人からの情報を得たい
		起業のヒントを得たい
	知識スキルを得たい	不足している分野を学びたい
		知識を新しいものに更新したい

表 2：プログラムを通じて習得(学習行動)

分類	記述内容
知識・スキル	イノベーション理論、ファイナンスの基礎力、マーケティング、経営戦略 プランニングのための手法
	学術的知識
	パワーポイントによる発表体験
情報	アイデアソン他のイベントを知った
	参考となる文献等、適切に教示頂いた
	起業に関する様々な情報が得られたこと
多様な人脈	色々な分野の方に出会えたのが一番の財産
	多才で多彩な人たちと出会えた
	参加しなかったら会うこともなかったであろう素晴らしい同年代の方と知り合いになれた
	八丈島の方との人脈・交流
仲間からの刺激	プロフェッショナルな方から、パワーを分けてもらった
	同年代にこれだけの起業する気持ちを持った人がいるということがわかり勇気を得た
コンピテンシー	コミュニケーション能力(職歴・スキル他、異なる人たちとの議論)
	チームワーク: 多様な人との作業と達成に向けた行動
	リーダーシップのとり方
	PBLを通じてコミュニケーション能力を少しずつ高めることが出来た
多才な仲間からの学び	自分の職歴で体験できなかった考え方の習得
	シニアならではの各メンバーの経験や専門性、多様性
	様々な考え、発表の仕方、プレゼンにおける資料のまとめ方など
内省	自身の振り返りができた

準天頂衛星災危通報サービスの EU 衛星 Galileo との共同開発

嶋津 恵子*

Japanese Joint Project with EU: Emergency Warning Services via GNSS signals

Keiko Shimazu*

Abstract

We have started a joint project with EU Space Programmed Galileo team of EU/EC (European Union/European Commission). Our goal is developing a common service for Emergency Warning at the acute stage of disasters. We have designed Common Warning Message for the service. If Emergency Warning messages are formed according to this design, those are available both on QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) operated by Japanese Cabinet Office and Galileo operated by EU. In the paper, we show project outline and explain Common Warning Message as an information architecture.

Notice: this paper has been already published as a newsletter of IPNTJ (The Institute of Positioning, Navigation and timing of Japan), VIII No.2.

Keywords: Satellite Communication, acute stage of disasters, Emergency Warning Messages, Information Architecture

1 はじめに

我々は、準天頂衛星通信システム(QZSS: Quasi-Zenith Satellite System)に装備されている衛星安否確認サービス(Q-ANPI)を利用し、巨大災害発生時の急性期用情報集配信システムの構想の提案を行ってきた。そして、その実現方法の一部と成果を報告した[1]。この成果に続き、我々は、EU/EC (European Union/European Commission)の EU Space Programmed Galileo チームと共同で、QZSS に搭載されている災害・危機管理通報サービス(DC レポート)に搭載する世界共通アプリケーションの構築に着手した。Galileo チームは、QZSS の DC レポートと同様のサービスを EWS(Emergency Warning Service)として計画されていたが、昨年共同でこの両者に搭載可能なメッセージの開発に着手し、2019年3月に第一版を完成させた。今年度中に ICG(International Committee on GNSS)で発表する予定である。本書には、活動の概要と開発したメッセージの構造を紹介する。

本書は、測位航法学会発行のニューズレター X. No.3 に掲載された無いようである。

2 QZSS と Galileo: 通信帯域とメッセージ搭載可能容量の共通性

図 1 は、衛星通信システムの無線信号の概要を、上段に Galileo、下段に QZSS のそれをそれぞれ、衛星と地上との

通信で図式化したものである[2-4]。赤字の部分に注目されたい。両者の通信サービスとも、右下の地上局(“ground station”)から C 帯を使って災害およびそれに対する避難等指示を意味する信号が衛星に送信され、さらに衛星から左下のユーザセグメント層に(ほぼ)同じ周波数帯で配信される。ここで、Galileo と QZSS で、それぞれ E1 帯、L1 帯と周波数帯域の名称が異なっているが、これは欧州と日本での命名が異なるためである。また、より正確には、QZSS の DC レポートは、“測位補強信号 L1S”上に搭載されており、中心周波数帯 1575.42MHz で 30.69MHz が占有帯域幅として使用されている[2]。

そして図 2 は、両者のメッセージ帯域のうちの、どこが EWS と DC レポートにそれぞれ使われているかを示したものである。つまり、Galileo では全長のうち 122bits が EWS 送信用に割り当てられ、QZSS では 191bits が DC レポートに割り当てられている。ただし、QZSS は運用上 191bits のうち 24bits は Soc に用いられるため、実際に DC レポートとして利用するのは 187bits である。

これらのことから、我々は QZSS の DC レポートのメッセージ用に割り当てられている領域のうち 122bits を Galileo との共通メッセージ領域(Common EWS)として用いることにした。

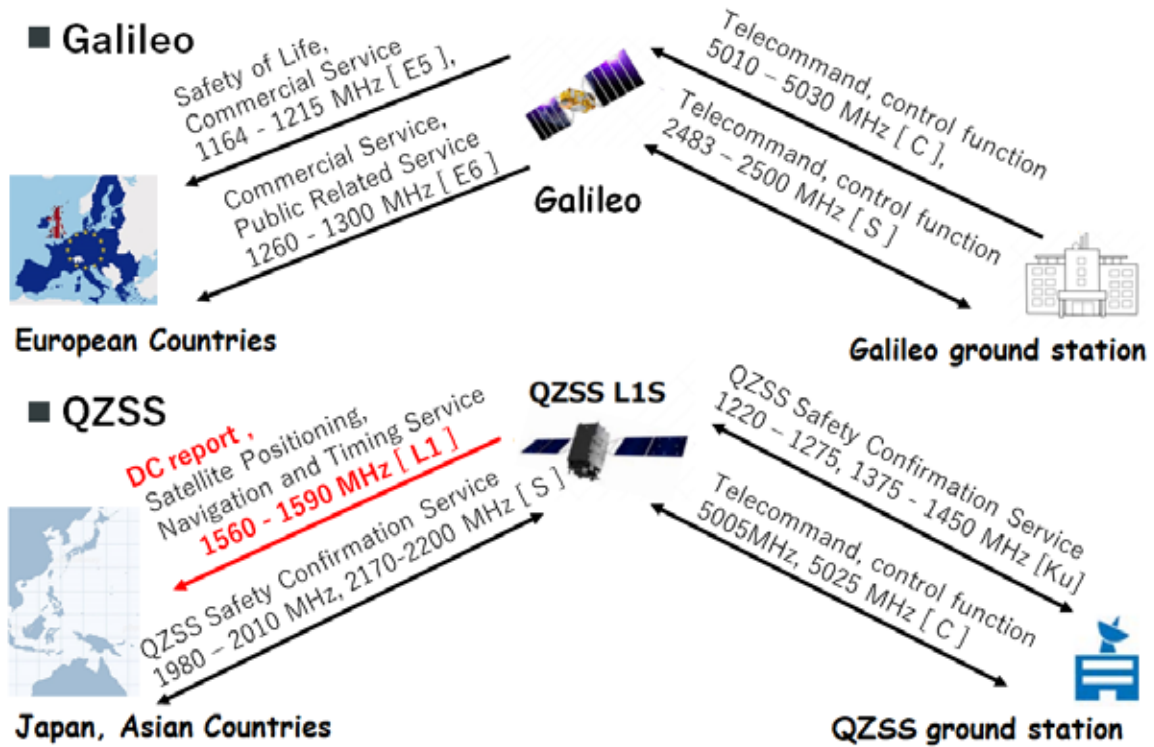
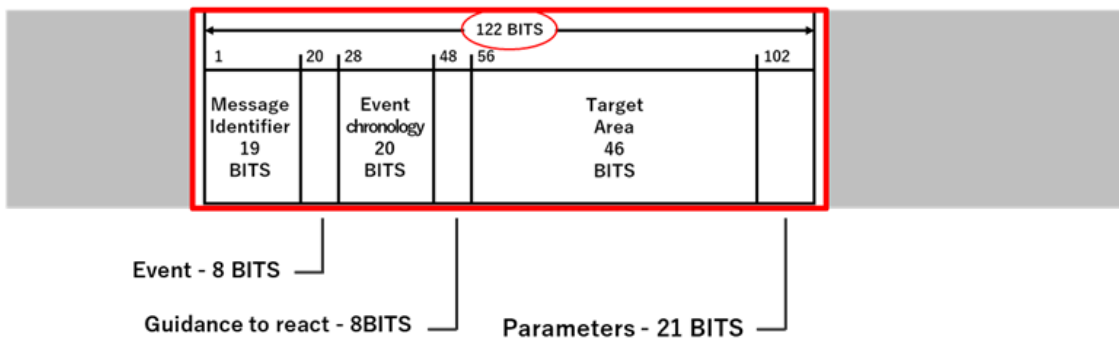


図 1: EWS と DC レポートのメッセージ帯域

Galileo



QZSS

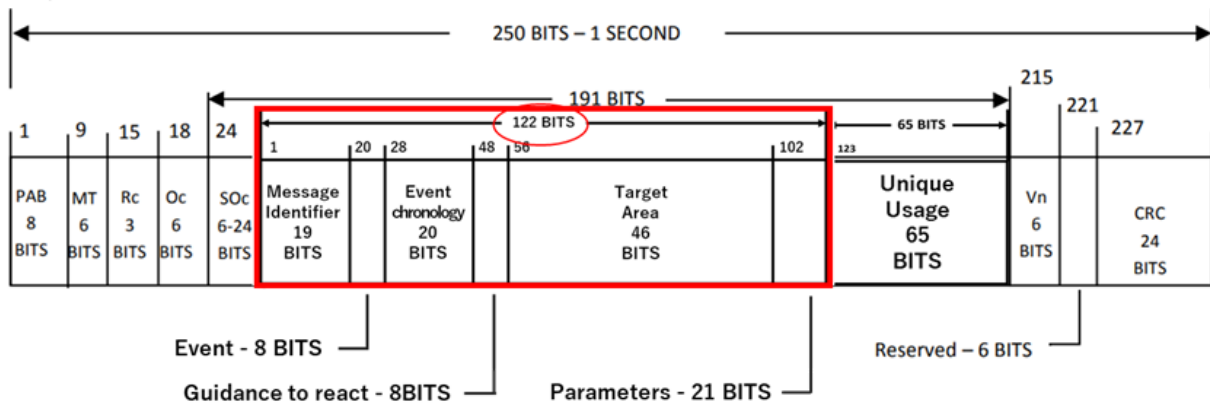


図 2: 共通 EWS メッセージの構成

3 Common EWS メッセージ 外観

我々は昨年から EU Space Programmed Galileo チームと共同で Common EWS メッセージの設計を行ってきており、今年の 3 月に第一版を開発した。本書は書面の限りがあり、外観を示すにとどめる(図 3)。

冒頭の 18bits は、メッセージタイプ(3bits)、国別コード(9bits)、災害および避難行動指示発令組織コード(6bits)からなる。国別コードにより、配信先国と地域が特定され、災害および避難行動指示発令組織コードにより情報の信頼性を示すことになる。3bits で示されるメッセージタイプは、テスト、訓練、初期警戒情報、更新情報などの区別に用いることを想定し、設計した。続いて災害の種類が Event 領域 61Bits で示される。災害の主な種類を Event Category 領域 3bits で、詳細化した種類を Event Sub-Category 領域 3bits で表現し、当該の災害の大きさを Severity 領域 2bits で表現する。

例えば、もしも冒頭 26bits が、“0001101011110000110000111”であった場合、送信される情報は、初期警戒(000)、日本(110101111)、L アラート発信“00001”(4 節参照)、自然災害“10”の地震“000”、災害の大きさ大“111”を意味する。

同様に、Event Chronology 領域 20bits で、発災時刻(Event Onset: 16bits)と災害継続予想時間(Expected Duration: 4 bits)を示す。知らされた住民が、その場にとどまるべきか避難すべきかなどの行動指示が Guidance to react 領域 8bits で、この情報が該当する地域を Target Area 領域 46bits で、そして、詳細の情報を残る 21bits か

らなる Parameters で表現する。

4 QZSS を介して国内に配信する場合の想定運用と技術課題

EU Space Programmed Galileo チームでは、開発した Common EWSメッセージを利用し、欧州の各国レベルで災害発生時にはその情報発信と避難指示を出す計画を立てている。一方日本では、歴史的背景から、自然災害・人為災害・紛争などの種類により災害発生情報発令機関が異なり、またこれらの発令をもとに地域住民に対する避難等の行動指示は地方自治体が発信するようになっている。そして、この地方自治体の発信内容を複数の情報通信機器を介して徹底して住民に知らせるために、FMMC(Foundation for Multimedia Communications: 一般財団法人マルチメディア振興センター)が各地方自治体からの発信情報を受け取り、共通フォーマットとして整備した XML の形式に変換して各メディアや通信キャリア各社に提供する(図 4)。前節の“L アラート”は、この XML ファイル発信システムを指す。

したがって、日本国内で発生する災害に対し、今回開発した Common EWS メッセージを利用する場合、同様に L アラートで配信される XML ファイルを受信し、前節で述べた Common EWSメッセージのフォーマットに変換し、QZSS の DC レポート回線を使って配信することになる。一般に、XML は、利用目的に応じ情報の構造を自由に設計でき、また各フィールドに格納される情報に容量等の制限が存在しない。これに対し、Common EWS メッセージは衛星特有のナローバンドを有効活用することを狙って設計されている。L

122Bits											
Message Identifier		Event		Event Chronology		Guidance to react		Target Area		Parameters	
18 Bits		8 Bits		20 Bits		8 Bits		46 Bits		21 Bits	
Message type	3	Event Category	3	Event Onset	16	Guidance Library	2	Target Area	46	Specific Setting	21
Country ID	9	Event Sub-Category	3	Expected Duration	4	Response Type	3				
Provider ID	6	Severity	2			Instruction	3				

図 3: Common EWS メッセージ構成外観

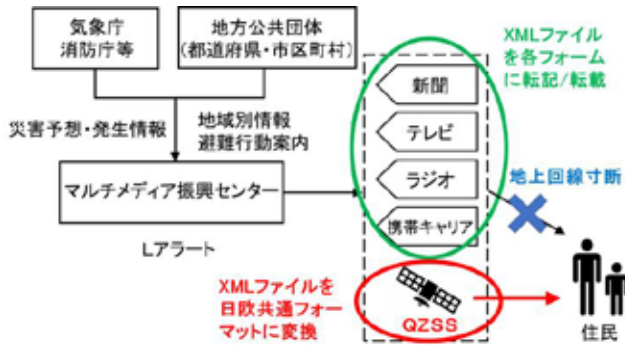


図 4: 日本の災害緊急情報配信経路と QZSS の利用

アラートが配信する情報のうち、緊急性と重要性の高いものを如何に欠損させずに変換するかが技術的な課題となる。これは、本プロジェクトの中で、メッセージ設計に続く、アプリケーションの開発で解決を図る予定である。

5 今後の計画

本書で紹介した我々と EU Space Programmed Galileo チームとの共同作業による活動と、途中成果である Common EWS メッセージの第一版の開発は、2019年3月14日に東京都港区の三田共用会議所で、内閣府と欧州委員会が共同で開催した、第4回日欧 GNSS 官民ラウンドテーブルの席で日欧の共同発表として公開された[5]。

我々は、巨大災害発生時の急性期にこそ、QZSS の災害対応用通信網が活躍し存命率の向上に貢献すると考えている[6]。今年の秋には、アプリケーションのプロトタイプを開発し、その有効性を広く周知させる計画である。

謝辞

本書で実施した活動は、内閣府競争的資金「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP:エスアイピー)」によるものです。

参考文献

- [1] 嶋津恵子 他, “準天頂衛星安否確認サービスの有効利用による巨大災害発生時の急性期用情報集配信システムの設計と実装”, 測位航法学会ニューズレター, Vol.X, No.1, pp.2-4, Mar. 22, 2019.
- [2] 内閣府宇宙戦略室, 実用準天頂衛星システム 開発・整備の状況について, p.5, June 17, 2015.
- [3] 総務省, L帯を用いた衛星測位システムの技術的条件策定に関する調査検討会, Feb. 2016.
- [4] Isidre Mateu et.al, “Exploration of Possible GNSS Signals in S-band”, 22nd International

Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Savannah, GA, pp. 1574-1587, September 22-15, 2009.

- [5] 4th EU-Japan Public and Private GNSS Roundtable Meeting by the Cabinet Office and the European Commission, http://qzss.go.jp/en/events/eu-japan_190415.html. (visited on Mar. 20, 2019)
- [6] 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ズレター, Vol.V, No.3, pp.3-6, Sep. 25, 2014.

認知症に対する非薬物療法

田部 井 賢 一*

Non-pharmacological therapy for Dementia

Ken-ichi Tabei *

Abstract

Non-pharmacological therapy has been shown to reduce cognitive decline in older people and may reduce the risk of MCI and dementia. However, since the number of studies is small, it is necessary to conduct further surveys and research and accumulate higher quality studies.

Keywords: Dementia, Non-pharmacological therapy, Music, Exercise

1 認知症の原因疾患

世界の認知症患者は 2015 年に 4,680 万人であり, 2050 年には 1 億 3,150 万人に達する[1]. 日本では 65 歳以上の 10 人に 1 人, 85 歳以上では 3~4 人に 1 人が認知症である. また, 認知症までは至らないが, 記憶などの認知機能の低下が年齢相応以上に認められる状態である軽度認知障害 (Mild Cognitive Impairment: MCI) の有病率は, 65 歳以上の高齢者で 15~25%とされる.

認知症は, 慢性あるいは進行性の脳疾患によって生じ, 記憶, 思考, 見当識, 理解, 計算, 学習, 言語, 判断など多数の高次脳機能障害からなる症候群である. 認知症は症候群であるため, アルツハイマー型認知症, 血管性認知症, レビー小体型認知症など, 原因疾患が様々である. 認知症は, 一度正常に達した認知機能が後天的な脳の障害によって持続的に低下する[2]点で, 発達障害とは異なる. 通常の高齢でも高次機能障害は生じるが, 認知症ではもの忘れをしている自覚がなく, 日常生活に支障が生じる点異なる.

認知症の症状は, 中核症状と行動・心理症状 (Behavioral and psychological symptoms of dementia: BPSD) に分けることができる. 中核症状は, 脳の障害により起こる症状であり, 新しいことが覚えられなくなる記憶障害, 時間, 場所, 人物などの周囲の状況を正しく認識できなくなる見当識障害, 計画を実行することができなくなる遂行機能障害などがある. 一方, 行動・心理症状は, 中核症状に付随して引き起こされる二次的な症状で, 不眠, 徘徊, 幻覚, 妄想などがある.

認知症は, 脳実質の変性によって起こる変性性認知症と, 脳血管の障害によって起こる血管性認知症の 2 つに分けることができる. 『認知症疾患診療ガイドライン 2017』[3]

には, Alzheimer 型認知症, Lewy 小体型認知症, 前頭側頭葉変性症, 進行型核上性麻痺, 大脳皮質基底核変性症, 嗜銀顆粒性認知症, 神経原線維変化型老年期認知症, Huntington 病, 血管性認知症, プリオン病, 内科的疾患等と様々な原因疾患があげられている.

認知症の代表的なものとして, アルツハイマー型認知症, レビー小体型認知症, 前頭側頭型認知症, 血管性認知症の 4 つを簡潔に述べる. 認知症の原因疾患としてはアルツハイマー型認知症が最も頻度が高く, 次いで血管性認知症もしくはレビー小体型認知症が多いという報告が多い[4]. アルツハイマー型認知症, 血管性認知症, レビー小体型認知症を合わせて 3 大認知症という場合もある.

アルツハイマー型認知症 (Alzheimer's disease: AD) は, 近時記憶障害で発症することが多く, 見当識障害や遂行機能障害, 視空間障害が加わっていく. 保持時間に基づく分類では近時記憶障害が, また内容に基づく分類では出来事記憶の障害が特徴である. 近時記憶とは対照的に, 遠隔記憶は比較的保たれる. 見当識障害は時間, 場所, 人の順番に進むことが多く, 遂行機能障害は仕事や家事などの日常業務に支障をきたす. 視空間障害は図形の模写を困難にし, 近所で迷うようになる. 進行とともに全般的な知的機能が障害され, 次第に周囲に対する認知ができなくなり, 会話が通じなくなり, 最終的には無言になる.

レビー小体型認知症 (Dementia with Lewy Bodies : DLB) は, 病初期には記憶障害は目立たない場合があり, 注意, 遂行機能, 視空間認知の障害を伴う. 変動する認知障害, パーキンソンニズム, 繰り返す具体的な幻視の中核症状がある. アルツハイマー型認知症の早期と比べ, パーキンソンニズム, 歩行の障害, 自律神経症状, 嗅覚障害, 幻視,

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

せん妄、睡眠障害や精神症状などがレビー小体型認知症の早期により多く見られる。

前頭側頭型認知症 (Frontotemporal dementia: FTD)は、行動異常、精神症状、言語障害などを特徴とする進行性の認知症である。自発性の低下、脱抑制、人格変化、異常行動で潜行性に発症し、常同行動などを呈したのち、精神機能の荒廃が高度で、無動、無言となり寝たきりになる。

血管性認知症 (Vascular dementia: VaD)は、脳梗塞や脳出血、クモ膜下出血などの脳血管障害によって生じる認知症であり、抑うつ、自発性の低下、遂行機能障害を伴うもの忘れは軽いことが多く、自覚がある。また障害される大脳の局在部位に応じて失語、視空間障害、運動障害を伴う。脳血流の循環不全を伴うことから、症状が日内～日間で変動しやすい。

2 認知症と非薬物療法

認知症の根本治療薬は未だ開発されていない。その原因は複数あるが、発症のメカニズムの解明が遅れたこと、精密な検査指標が存在しないことなどがあげられる。症状の進行を遅らせる抗認知症薬による薬物治療とともに、非薬物療法である認知機能訓練、運動療法、回想法、音楽療法などの非薬物療法が他の疾患に比べ盛んである。

運動は多くの観察研究により、認知症やアルツハイマー型認知症の発症率の低下と関連すると報告されている。定期的な運動は、高齢者の認知症の予防、あるいは高齢者の認知機能の低下を抑制すると多くの観察研究において示されており、積極的に推奨されている[3]。さらに、運動に認知機能訓練の組み合わせることでさらに効果が見られることが示されている[5-7]。

健常高齢者に運動と音楽を組み合わせた介入を行った場合、運動のみよりもさらに効果があるのかどうかを調べたのが、三重県の御浜町と紀宝町で行った御浜・紀宝プロジェクトである [8-9]。全国的に見ても両町の高齢化率は進んでおり、20年後の日本の平均とほぼ同等にまで進んでいる。そのため、両町での介入結果は20年後の日本に応用できる可能性がある。

対象は地域在住の健常高齢者207名であった。運動教室への参加を希望した166名を二群(音楽体操群、体操群)に分けた。また41名は介入をしないコントロール群とした。プロのインストラクターの指導のもと、週1回各1時間の運動を1年間行った。

介入として音楽体操には、音楽伴奏のついた体操を用いた。体操には、運動の内容は音楽体操と同一だが、音楽伴奏の代わりに太鼓によるビートのみを鳴らしたものを用いた。音楽体操群と体操群は介入前後に、コントロール群は1年間隔で2回、神経心理検査と脳MRI検査を行った。

神経心理検査として Mini-Mental State Examination (MMSE)、レーブン色彩マトリシス検査 (RCPM)、論理的記憶の即時/遅延再生 (LM-I/II)、語想起(動物名、語頭音)、Trail-Making Test (TMT) A/B、立方体模写を実施した。

脳MRI検査として1.5TのT1強調画像を撮像した。得られたデータからSPM12を用いて脳形態計測を行った。

すべての検査が実施できた音楽体操群51名、体操群61名、コントロール群32名を解析の対象とした。神経心理検査では、音楽体操群の視空間認知機能がコントロール群に比し有意に改善した。脳形態計測では、音楽体操群の前頭葉と聴覚野、体操群の前頭葉の容積が介入前に比し介入後に増加した (FWE $p < 0.05$)。音楽体操群と体操群の前頭葉と海馬の容積がコントロール群に比し維持・増加した。有酸素運動により海馬の容積が増加することが示されているが[10]、音楽伴奏が付くことで海馬だけでなく前頭葉の容積が維持・増加することがわかった。音楽体操群 > 体操群 > コントロール群の順に前頭葉容積の維持・増加が見られたことから、音楽体操は、健常高齢者の認知機能の改善とともに、前頭葉容積を維持・増加させることが明らかとなった。

また Satoh ら[11]では、音楽体操は認知症患者のADLを維持することを示した。認知症患者85名 (MMSE 15~26点) をランダムに音楽体操群 (ExM) 43、脳トレ群 (BT) 42名に分けた。週1回40分、ExMには音楽体操、BTには携帯型ゲームやドリルを半年間施行した。介入前後に神経心理検査を行い、認知機能と日常生活の活動度について検討した。

神経心理検査として MMSE、レーブン色彩マトリシス検査 (RCPM)、論理的記憶の即時/遅延再生 (LM-I/II)、語想起 (動物名、語頭音)、Trail-Making Test (TMT) - A/B、立方体模写を実施した。日常生活の評価として Behavioral Pathology in Alzheimer's Disease (Behave-AD)、Functional Independence Measure (FIM)を実施した。

脱落者23名を除く62名について解析した。年齢、教育歴、開始時MMSEに両群で差はなかった。変化量について群間比較を行ったところ ExM で、立方体模写に有意な改善 ($p = 0.009$)、TMT-A ($p = 0.070$) と FIM ($p = 0.066$) に改善傾向がみられた。各群内での前後比較では、両群ともに立方体模写 (ExM $p < 0.001$; BT $p = 0.001$)、ExM では RCPM の施行時間 ($p = 0.021$)、BT では LM-I ($p = 0.039$) が有意に改善した。FIM は ExM では変化はなかったが ($p = 0.385$)、BT は有意に悪化していた ($p = 0.048$)。

3 認知症と楽器演奏

演奏能力は認知症の発症後も保たれるのか、演奏は認知

症の予防や進行抑制に効果があるのかといった観点の研究は少ない。

Cowles ら[12]は、失語症のない中等度のアルツハイマー型認知症患者(SL)について報告した。先行研究では、アルツハイマー型認知症患者が慣れ親しんだ歌を発症後も演奏し続けたことを報告しているが、認知症患者が新規の歌を演奏できた報告はなく、新規の歌の習得を失敗した2つの論文が報告されていた。記憶検査(単語、物語、環境音、楽器音)の再生と再認の障害、および遠隔記憶の障害(有名な顔、自伝的記憶)とは対照的に、SLは0分と10分の時点において歌の保持を示した。SLは、歌詞や詩よりも歌の旋律の方が記憶は良好であった。

Choら[13]は、前頭側頭型認知症と診断された後に、サクソフォン演奏を初めて学んだ患者(JK)について報告した。前頭側頭型認知症の患者の一部は、芸術的な音楽能力を示す。しかし、前頭側頭型認知症患者は、発症後にどのように楽器演奏を学ぶことができるのかについては報告されていなかった。JKは3年間にわたってフォークソング10曲からなるレパートリーを習得した。さらに、彼のサクソフォンのスキルは、彼のクラスで他の生徒よりも優れていた。

アルツハイマー型認知症の近時記憶とは対照的に、遠隔記憶は比較的保たれる特徴が演奏においてもみられる。音楽療法で回想法のひとつとして、参加者の若い時に流行っていた音楽を歌うことが多いのは、そのような理由からである。ただし、上記の研究のように新たな楽曲を覚えて演奏していくことはアルツハイマー型認知症には難しいというのが一般的であり、変性疾患であり緩徐に進行するアルツハイマー型認知症が、Choら[13]の患者のように最後までその能力を保つことができるかは疑問である。そのため、Choら[13]の患者の変性した脳領域が一般的なアルツハイマー型認知症と異なるのかどうかなどの検証が必要である。一方、前頭側頭型認知症では記憶障害は多くの場合ないため、新たな楽曲を覚えて演奏していくことは可能と考える。ただし、進行するに従い、自発性の低下、脱抑制、人格変化、異常行動があらわれるため、新たな楽曲を覚えて演奏していく能力はある一定の期間に限定されるかもしれない。

Vergheese ら[14]は、レジャー活動への参加の増加が認知症リスクを低下させるかどうかを調べた。レジャー活動の中でも、リーディング、ボードゲーム、楽器演奏、ダンスは、認知症のリスクの低下と関連していた。

Balag ら[15]は、楽器を演奏することと認知症を発症したか否かの関連性を、双子を対象に調べた。音楽を演奏することは、若年時代の認知発達と健康に有益である証拠が増えているが、楽器の演奏が認知症の発症を抑制するかどうかはわかっていなかった。結果は、楽器を演奏することは認知症の発症が低いことと有意に関連していたことを示した。この結果は、認知症に対する保護因子としての音楽の効果

を支持した。

Doi ら[16]は、認知症のリスクが高い軽度認知障害を有する高齢者の認知低下のリスクを低減するために、長期的なレジャー活動プログラムが健康教育プログラムよりも効果的であるという仮説を検証した。軽度認知障害を有する日本人成人201名(平均76.0歳、女性52%)が参加した。参加者を2つの認知レジャー活動プログラムの1つにランダム化し、ダンス(n=67)と楽器演奏(n=67)、または健康教育対照群(n=67)に対し、毎週60分、40週の介入をおこなった。音楽プログラムは、コンガなどの打楽器を毎週60分のセッションで40週演奏することであった。コミュニティセンターの各クラスには11人から19人が参加した。1~2名のプロの音楽教師が各セッションを担当した。セッションの始めに、インストラクターは楽譜を発表し、打楽器の楽譜を参加者に何度か実演した。参加者は、打楽器の打撃のリズムと序列を覚えて、楽譜を読むことを学ぶように教えられた。参加者は、ミスをまったくまたは最小限に抑えることができるまで、楽譜を演奏した。後半のセッションでは、参加者は個別に即興演奏し、2つのグループで一緒に演奏した。各セッションの終わりに、音楽教師は参加者にそのセッションで学んだ楽譜を演奏するための宿題を与えた。40週間で、ダンスグループの記憶検査の値は対照群と比較して改善したが、音楽グループは対照群と比較して改善しなかった。対照群と比較して、ダンスグループと音楽グループの両群の全般的な認知機能の検査の値が改善された。ダンスや楽器演奏を含む長期の認知レジャー活動プログラムは、軽度認知障害を有する高齢者の健康教育プログラムと比較して、記憶および全般的な認知機能の改善をもたらした。

4 さいごに

『認知症疾患診療ガイドライン 2017』[3]において、音楽は認知症の行動・心理症状に対する効果があると示される一方、上記のようにいくつかの研究では、演奏は認知症の中核症状の改善をもたらすことを示している。今後そのような研究が増えることで、演奏が中核症状を改善させるというエビデンスが確立することもありうる。

非薬物療法は、高齢者の認知機能低下を減少させ、MCI・認知症のリスクを低下させる可能性があることが示されてきた。しかし、研究数が少ないため、さらなる調査・研究を行い、より質の高い研究を蓄積する必要がある。

本稿は、文献[17, 18]をもとに加筆修正したものである。

参考文献

- [1] Prince et al., World Alzheimer Report 2015, 2015
- [2] 中島ら編集, 認知症ハンドブック, 2013

- [3] 日本神経学会監修, 認知症疾患治療ガイドライン, 2017
- [4] Akatsu H, Takahashi M, Matsukawa N, et al. Subtype analysis of neuropathologically diagnosed patients in a Japanese geriatric hospital. *Journal of the neurological sciences*. Elsevier; 2002;196:63–69.
- [5] Fabre C, Chamari K, Mucci P, Massé-Biron J, Préfaut C. Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *Int J Sports Med*. 2002;23:415–421.
- [6] Oswald W, Gunzelmann T, Rupprecht R, Hagen B. Differential effects of single versus combined cognitive and physical training with older adults: the SimA study in a 5-year perspective. *Eur J Ageing*. springer; 2006;3:179–192.
- [7] Shatil E. Does combined cognitive training and physical activity training enhance cognitive abilities more than either alone? A four-condition randomized controlled trial among healthy older adults. *Front Aging Neurosci*. 2013;5:8.
- [8] Satoh M, Ogawa J, Tokita T, et al. The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihama-Kiho project. *PLoS ONE*. 2014;9:e95230.
- [9] Tabei K, Satoh M, Ogawa J, et al. Physical Exercise with Music Reduces Gray and White Matter Loss in the Frontal Cortex of Elderly People: The Mihama-Kiho Scan Project. *Front Aging Neurosci*. 2017;9:174.
- [10] Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2011; 108: 3017–22.
- [11] Satoh M, Ogawa J, Tokita T, et al. Physical Exercise with Music Maintains Activities of Daily Living in Patients with Dementia: Mihama-Kiho Project Part 21. *J Alzheimers Dis*. 2017;57:85–96.
- [12] Cowles A, Beatty WW, Nixon SJ, et al. Musical skill in dementia: a violinist presumed to have Alzheimer’s disease learns to play a new song. *Neurocase*. 2003;9:493–503.
- [13] Cho H, Chin J, Suh MK, et al. Postmorbidity learning of saxophone playing in a patient with frontotemporal dementia. *Neurocase*. 2015;21:767–772.
- [14] Verghese J, Lipton RB, Katz MJ, et al. Leisure activities and the risk of dementia in the elderly. *N Engl J Med*. 2003;348:2508–2516.
- [15] Balbag MA, Pedersen NL, Gatz M. Playing a Musical Instrument as a Protective Factor against Dementia and Cognitive Impairment: A Population-Based Twin Study. *Int J Alzheimers Dis*. 2014;2014:836748.
- [16] Doi T, Verghese J, Makizako H, et al. Effects of Cognitive Leisure Activity on Cognition in Mild Cognitive Impairment: Results of a Randomized Controlled Trial. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18:686–691.
- [17] 田部井賢一, 演奏×認知症医療. ヒューマンインタフェース学会誌. 2018; 20(4)243-246
- [18] 田部井賢一, 臨床心理学・最新研究レポート シーズン3(第17回)認知症患者の介入前の認知機能と脳容積から非薬物療法の効果を予測する : Tabei K, Satoh M, Ogawa J, Tokita T, Nakaguchi N, Nakao K, Kida H & Tomimoto H (2018) Cognitive function and brain atrophy predict non-pharmacological efficacy in dementia : The Mihama-Kiho Scan Project 2. *Frontiers in Aging Neuroscience* 10 ; 87. 臨床心理学: 19(4)485-489

ソフトウェア開発演習のための仮想環境の構築と今後の展望

中 鉢 欣 秀*

Construction of virtual environment for software development exercise and its prospects

Yoshihide Chubachi*

Abstract

When we teach application software development with programming, it is necessary to prepare an adequate programming environment including some programming languages, libraries, related tools and so on. This proposal is the way how to prepare those environments for the students with virtualization technologies using Vagrant for the BYOD condition. We consider the effect of using the virtual environment to teach programming. Future work will be also mentioned.

Keywords: Virtual Environment, Software Development Exercise, Agile Development, PBL

1 はじめに

プログラミング演習においては、学習者が利用するためのプログラミング言語やライブラリ、関連するツールなどのソフトウェアを提供する必要がある。利用するもの一式が全て揃っていることに加え、各ソフトウェアのバージョンもしっかりと揃えて置く必要がある。これらが少しでも欠けると学生の演習に支障をきたし、講師は本来の目的とは外れた難解なトラブルシューティングに追われることになる。

大学におけるプログラミング演習において、学習者が利用する PC の環境を提供する方法にはいくつか考えられる。

例えば、PC 教室を利用できる場合は予め学生が使用する全てのマシンに必要なソフトウェア一式を含むイメージを作成し、提供する方法は一般的である。この方法の場合、演習で必要になる全てのツール類を細かなバージョンの差異を見さだめて事前に確定させ、授業の開始前にイメージを準備する作業が必要である。もし、イメージの作成で間違いがあった場合、再度作成して配布するための時間がかかり、授業の進行を遅らせることにもなる。

あるいは、演習用のツール類をサーバ上に構築しておき、学生にアカウントを提供し、SSH によりリモートログインを行わせる方法もある。この場合、サーバに全てのアカウントを作成したり、パスワードや認証用の公開鍵/非公開鍵などを適切に準備しておく必要がある。

また、演習用に一台のサーバを利用する方法では、ポート番号がかち合うため、学生が任意にサーバ(アプリケーションやデータベース等のデーモン)を立ち上げることができない。

学生ごとにポート番号を変えることができれば可能ではあるが、手間が掛かる。サーバをどこに設置するか、あるいは、セキュリティ上の問題も懸念される。

以上見てきたとおり、プログラミング演習を実施する際に、学習者に共通の開発環境を提供する方法には複数考えられる。本発表では、仮想環境の技術である Vagrant[1]を利用し学生のプログラミング演習環境を提供する手法について提案し、その有用性について議論する。とりわけ、近年事例が増えている BYOD(Bring Your Own Device)への適用例を紹介し、考察する。

なお、この論文では、文献[2]の内容を再構成したうえで、提案手法の今後の改善に向けた技術動向の調査と今後の展望についても述べる。

2 提案手法

2.1 BYOD でのプログラミング演習

近年、学生も一人一台自分の PC を持つようになってきた。もちろん、全ての学生が PC を所持しているわけではないが、IT を学ぶ学生であれば所有している可能性は高いだろう。

プログラミング演習でも、PC 教室の PC ではなく自分の PC を利用したいという希望する者もいる。また、授業の課題を自宅でやりたいという要望があることも多く、学生が所有する PC を前提とした演習環境を構築することは学生のとってもメリットも有る。

また、本学の enPiT[3]で実施している夏合宿のように、宿泊施設の会議室などでアドホックにプログラミング演習をする

こともある。

自分のデバイスを自分で持ってくる、BYOD でのプログラミング演習を実施するには次の点を考慮すべきである。

1. Windows と Mac による OS の差異
2. 必要なソフトウェアが正しくインストールされていること

1. についての解となるのが仮想化技術の導入である。

仮想化技術は Windows と Mac (あるいは Linux) の OS の差異を吸収するアブストラクションレイヤとして機能する。これを利用し、例えば Linux の一種である Ubuntu を仮想環境において動作させれば、ホスト OS の差異を問わず OS を共通にできる。

2. については、仮想環境にある OS の状態 (ソフトウェアのインストールや各種の設定) をパッケージとしてインポート/エクスポートする機能で対応する。

2.2 Vagrant を用いた仮想環境の提供

Vagrant は HashiCorp 社が提供する仮想環境のツールである。インターネット上のクラウドに様々な OS のパッケージが登録されており、自由にダウンロードして実行できる。また、既存の OS のパッケージを利用し、利用したいツール類を追加し、各種の設定を施した上で新しいパッケージとして配布することも可能だ。

Vagrant を利用するためには VirtualBox[4] や VMware, AWS といった仮想化基盤を提供するプロバイダーも用意しておく必要がある。本提案では Vagrant を VirtualBox と組み合わせて利用している。

2.3 プログラミング演習用 Vagrant 環境の構築

プログラミング演習に用いる Vagrant 環境を構築するために、Vagrant を用いて学生に配布するイメージをパッケージにする。Vagrant では配布するパッケージを box と呼ぶ。

図1に配布用 box を作成するための Vagrant の設定ファイルを示す。Bento[5] が提供する ubuntu 18.04 を土台となる box として利用している。

```
Vagrant.configure("2") do |config|
  config.vm.box = "bento/ubuntu-18.04"
  config.vm.provision "shell",
    path: "provisioner.sh"
end
```

図 1 Vagrant ファイル

Vagrant では、土台となる box に任意のソフトウェアを追

加でインストールしたり、設定を施したりする作業をプロビジョニングと呼ぶ。これを行うために作成した shell のスクリプトファイルを次頁図 3 に示す。

なお、Bento プロジェクトは Chef での利用を想定しているが、この使い方であれば冪等性を担保する必要がないため shell を使う方が実行時間が短い。

以上の設定を準備し、Vagrant でプロビジョニングを実行するとその結果をパッケージファイルとして出力できる。なお、これらのファイルを MIT ライセンスのもとで次の URL にて公開している

https://github.com/yhubachi/vagrant_enpit

2.4 Vagrant 環境の配布

前項で作成したパッケージは HashiCorp 社が提供する Vagrant Cloud を用いて公開することができる。パッケージングしたファイルをこのクラウドにアップロードすると、だれでも自由にダウンロードできるようになる。このパッケージは次の URL からアクセスできる。

<https://app.vagrantup.com/yhubachi/boxes/enpit>

これをダウンロードし、演習のための開発環境として利用するためには、次の作業が必要となる。

1. VirtualBox のダウンロードとインストール
2. Vagrant のダウンロードとインストール
3. 利用するための Vagrantfile の作成
4. box のダウンロードと仮想環境の立ち上げ

1. と 2. は配布元のサイトから容易に実施できる。また、3. を行うためには Vagrant を用い、図 2 に示すコマンドを実行する。

```
vagrant init yhubachi/enpit
vagrant up
```

図 2 Box のダウンロードと起動

これを行うだけで、配布した Vagrant による仮想環境が立ち上がり、SSH 接続によりログインできる。

3 提案手法の評価

この仮想環境は 2013 年度の enPiT プログラムから継続して利用しており、2017 年度から本学の修士課程の科目でも利用を始めた[6,7]。enPiT では本学の学生の他、BizApp 分野/BisSysD 分野の参加校・連携校の学生 (主に、琉球大学、筑波大学、はこだて未来大学) が利用した。利用した学生はプログラムの経験者からある程度の経験者まで、本学の社会人学生も履修したことから年齢層も様々である。演習は各自が所有する PC を用い、BYOD で行った。

```
#!/bin/sh

# update apt repository
apt-get update

# tools
apt-get install -y emacs

# postgres
apt-get install -y postgresql
systemctl enable postgresql.service

# create a database for vagrant
/etc/init.d/postgresql start
sudo -u postgres createuser -d vagrant
sudo -u postgres createdb vagrant
/etc/init.d/postgresql stop

# install heroku tool belt
snap install --classic heroku

# ruby
apt-get install -y autoconf bison build-essential ¥
libssl-dev libyaml-dev libreadline6-dev zlib1g-dev ¥
libncurses5-dev libffi-dev libgdbm5 libgdbm-dev ¥
libpq-dev

sudo su - vagrant <<'EOF'
cd ~
# rbenv
git clone https://github.com/rbenv/rbenv.git ~/.rbenv
echo 'export PATH=~/.rbenv/bin:$PATH' >> ~/.bashrc
echo 'eval "$(rbenv init -)"' >> ~/.bashrc
# ruby-build
mkdir -p ~/.rbenv/plugins
git clone https://github.com/rbenv/ruby-build.git ~/.rbenv/plugins/ruby-build
# install ruby
~/.rbenv/bin/rbenv install 2.5.5
~/.rbenv/bin/rbenv global 2.5.5
~/.rbenv/shims/gem install rails
EOF
```

図 3 provision.sh

提案手法を用いた演習は、Web アプリケーションのチーム開発を通して最先端のアジャイル開発手法を学ぶためのプログラミング演習である。Web アプリケーションの開発フレー

ムワークには Ruby on Rails[8]を用い、データベースは PostgreSQL[9]、ソースコードのバージョン管理ツールには Git[10]を用いた。

開発した Web アプリケーションは、クラウド環境である Heroku[11]で公開し、ソースコードの共有には GitHub[12]、継続的統合(CI)のツールとして Travis CI[13]を利用した。受講者はこれらのツールを使いこなし、アジャイル開発の手法を体得する。

このような演習を実施するために利用したツールについても図 3 に示すスクリプトにより、予めパッケージ化し、学生に提供した。

4 考察

4.1 本提案の長所

本研究で開発した Vagrant の仮想環境パッケージの長所は、全ての受講者が完全に共通の開発環境を利用できるという点にある。仮に、演習で用いた全てのツールを受講者自身にインストールさせたとすると、どんなに手順書を整備してもヒューマンエラーは防ぐことができないし、受講者のスキルによってはインストール自体につまずく恐れもある。

本環境の導入には VirtualBox と Vagrant とという 2 つのソフトウェアのインストールが必要であるが、ここ 7 年間の経験ではトラブルが生じた受講者はいなかった。また、作成したパッケージの配布も、一般的なネット回線で 10~15 分程度でダウンロードできるサイズであり、大きなトラブルにはならなかった。

4.2 本提案の短所

一方、Windows 環境の受講者は、仮想化技術を制御する Hyper-V[14]と呼ばれる Windows の設定に起因するトラブルが発生した。また、ユーザ名を日本語でつけている場合にも問題が生じた。

現在配布している環境は CUI での利用を想定している。CUI を使わせることの意義はあるとは考えるが、GUI の IDE を利用したいという学生も一定数存在する。

5 将来研究

5.1 プログラミング演習に利用できる仮想環境の動向

本論文で述べた仮想環境のパッケージは 2019 年度の講義に向けて新たに作り直したものである。以前のバージョンは次の URL に保管している。

https://github.com/ychubachi/vagrant_enpit_cookbook

このバージョンには 2013 年 7 月に最初のコミットが記録されている。2019 年現在からみて 6 年前に開発されたものだ。この間、仮想環境に関連する技術は大きく進歩している。

現在の最新版と比較すると、2013 年度当時大いに注目されていた Chef の利用を止め、シェルスクリプトでプロビジョニングを行うように変更したことなど、少なからず改良を施した。また、パッケージに同梱するソフトウェアのバージョンも最新

のものに変更されている。

4 節で述べたとおり 提案手法はこれまで有効に機能しているものの、新しい技術に対応することで利用者の利便性を向上させ、学生の学習効果をより高めるよう改善する必要がある。以下、本設ではこのような代替可能技術について評価し、今後の展望について検討する。

5.2 AWS Cloud9

AWS Cloud9[15]は Amazon 社が提供するクラウドサービスであり、Web ブラウザから利用する IDE でソフトウェアの開発が行える統合環境である。

AWS は有料のサービスであるので、従来は AWS を学生が利用するに当たり、アカウントの作成のためにクレジットカードが必須であることが障害となることがあった。しかし、現在は AWS Educate[16]のプログラムが提供されており、学生はクレジットカードがなくともアカウントが登録できる。また、教員が仮想クラスルームを作成し、学生と共同作業することも可能だ。

ただし、あくまでも無料の枠が一定量提供されるプログラムであるので、学生がその枠を超えてリソースを利用しないよう注意する必要がある。Cloud 9 の利用自体は無料であるが、Amazon EC2[17]、Amazon EBS[18]と連携して利用することが一般的であるため、これらのリソースの利用料金が発生することになる。

AWS Cloud9 が提供する機能は、Ruby on Rails の開発、PostgreSQL データベースの利用など、本演習の実施に必要な環境が全てカバーされている。ただし、サーバのインスタンス立ち上げて各種の設定を行う必要があるなど、サーバのオペレーションについての理解の進んだ学生向けの環境といえるだろう。

5.3 Docker

Docker[19]はコンテナ型仮想化の技術である。本提案でも用いている VirtualBox 等の仮想化技術はホスト型仮想化と呼ばれ、ある OS (Windows など) の中に更に別の OS (Linux など) が動作する仮想マシンを立ち上げ、その中で目的とするソフトウェアを動かす。

これにくらべ、Docker は外部から隔離されたコンテナをホスト OS から直接動作させる。そのため実行速度の低下やリソースの使用量の増大などのオーバヘッドが格段に少なくなる。Docker のコンテナにソフトウェア開発に必要な各種のツール類などを格納しておくことで OS 内部の様々な環境の差異を吸収した、ポータビリティの高い仮想環境を利用できる。

よって、現在、Vagrant の Box として提供しているパッケージを Docker のコンテナとして提供すれば、今と同等の開発環境を、より小さなリソースで提供できるようになる。

ところが、本研究が想定する BYOD での演習環境構築に Docker を利用する場合、従来は大きな問題があった。それは、多くのユーザがいる Windows OS への対応である。Docker 社が提供する公式のツールは Windows 10 (64-bit) の Pro 版以上で動作する。ユーザが最も多いと思われる Windows Home では動作しない。その理由は、Windows Home では Hyper-V が利用できないからである。

ところが、Windows におけるこの不自由な状況は、ここ1年くらいで大きく変わるとみられている。Microsoft 社が現在開発中の WSL2 (Windows Subsystem for Linux 2) では従来の WSL1 とは異なり、実際の Linux カーネルそのものが動作するようになる[20]。これをうけて Docker 社も WSL2 への対応を表明している[21]。従来の WSL1 では、Linux カーネルをエミュレートさせていたので、Docker を動かすことはできなかった。WSL2 では正式な Linux カーネルが動作できることになることで、Docker を動作させることが可能になる。

なお、POSIX 準拠の OS である Mac OS に関してはこのような制約はもともとない。Linux マシンで Docker を使用するので同様のやり方で Docker を動かすことができる。

ソフトウェア演習環境に Docker を用いることで、現在の VirtualBox の仮想マシンのイメージを Vagrant の Box として配布することに比べ、インストールの時間、仮想環境を起動時間などが大幅に短縮できることが予想できる。もっとも、学生の PC に WSL2 が正しくインストールされていることが前提となるから、学生による事前の準備作業がどの程度の手間になるのかについては未知数だ。

5.4 Visual Studio Code

Visual Studio Code (以下 VSCode) [22] は Microsoft 社が提供する無料の IDE である。ソースコードのシンタックスハイライト機能やコードの入力保管機能 (IntelliSense) などを備えた高機能のエディタである。利用しやすいデバッガを備え、Git 機能も内蔵している。拡張性に優れ、別途配布されている様々な拡張機能をプラグインして機能をカスタマイズすることもできる。

この VSCode は前述の WSL との相性が極めて高い。VSCode をホスト OS 側 (例えば Windows) で実行させ、SSH 接続により WSL で動作する仮想環境にシームレスに接続できる。したがって、仮想環境で動かすソフトウェアを Windows で動作している VSCode で容易に開発できるようになる。

現在の提案手法では、コーディング作業を実施するには Vagrant にターミナルで SSH 接続し、内部で CUI のテキストエディタを利用するか、共有ディレクトリを経由して外部のエディタで作成したファイルをやりとりすることになる。後者の方法では Windows と Linux のファイルシステムに関する互

換性の乏しさから、ファイルのパーミッションが適切に扱えないなどの問題があった。あるいは、ゲスト OS に X Window Server をセットアップしてホスト OS で動作する X Window Client 経由で IDE を立ち上げるという選択肢もあるが、簡便な方法ではない。

5.5 今後の改善の方向性

以上の最近の技術動向を踏まえ、BYOD 環境でのプログラム開発演習を容易にさせる仮想環境として Docker と VSCode を組み合わせたパッケージが有力なものであると考える。

どちらも急速に発展中の技術であるから、その動向に注目し、当初の目標に適った利用方法について探っていくことになるだろう。

6 おわりに

本発表ではアプリケーション開発演習のために仮想環境を用いる方法について提案した。受講者は各自の PC で全く共通の開発環境を円滑に利用することができ、BYOD によるアドホックな演習環境にも対応する。

今後、仮想化技術の進化を踏まえ、本手法を改善させていきたい。

参考文献

- [1] HashiCorp: Vagrant. <http://www.vagrantup.com/>
- [2] 中鉢欣秀, BYOD に対応したソフトウェア開発演習環境の提供, 日本ソフトウェア科学会第 36 回大会 (2019 年度) 講演論文集, pp.1-4, 2019 年 8 月
- [3] 産業技術大学院大学: enPiT BizApp 産業技術大学院大学. <http://enpit.aiit.ac.jp/>
- [4] Oracle: Oracle VM VirtualBox. <http://virtualbox.org/>
- [5] HashiCorp: bento - Vagrant Cloud. <https://app.vagrantup.com/bento>
- [6] 小山裕司中鉢欣秀: アジャイル開発技術及び協調作業スキルセット学習のための体系的教育プログラム, 産業技術大学院大学紀要, No. 10(2017), pp. 37-41.
- [7] 小山裕司中鉢欣秀: アジャイル人材育成プログラムの専門職大学院修士課程への導入, 9 2018, pp. 425-426.
- [8] Ruby on Rails | A web-application framework that includes everything needed to create database-backed web applications according to the Model-View-Controller (MVC) pattern. <https://rubyonrails.org/>
- [9] PostgreSQL: The world's most advanced open source database. <https://www.postgresql.org/>

- [10] Git. <https://git-scm.com/>
- [11] Cloud Application Platform | Heroku. <https://www.heroku.com/>
- [12] GitHub. <https://github.com/>
- [13] Travis CI - Test and Deploy with Confidence. <https://travis-ci.com/>
- [14] Windows 10 での Hyper-V の有効化 | Microsoft Docs. <https://docs.microsoft.com/ja-jp/virtualization/hyper-v-on-windows/quick-start/enable-hyper-v>
- [15] AWS Cloud9 (Cloud IDE でコードを記述、実行、デバッグ) | AWS. <https://aws.amazon.com/jp/cloud9/>
- [16] Apply for AWS Educate <https://aws.amazon.com/jp/education/awseducate/apply/>
- [17] Amazon EC2 とは - Amazon Elastic Compute Cloud. https://docs.aws.amazon.com/ja_jp/AWSEC2/latest/UserGuide/concepts.html
- [18] Amazon EBS (EC2 ブロックストレージボリューム) | AWS. <https://aws.amazon.com/jp/ebs/>
- [19] Enterprise Container Platform | Docker. <https://www.docker.com/>
- [20] WSL 2 | Microsoft Docs. <https://docs.microsoft.com/ja-jp/windows/wsl/wsl2-index>
- [21] Docker ♡ WSL 2 - The Future of Docker Desktop for Windows. <https://engineering.docker.com/2019/06/docker-hearts-wsl-2/>
- [22] Visual Studio Code - Code Editing. Redefined. <https://code.visualstudio.com/>

PBL テーマ設定に関わるインストラクションデザインの例

橋本 洋志*・牧野 千里*・岡崎 浩二*・石井 隆之*・
梶原 直仁*・北村 嘉崇*・蔣 蕭*

Example of Instruction Design of PBL theme Setting

Hiroshi Hashimoto*, Chisato Makino*, Koji Okazaki*, Takayuki Ishii*,
Naohito Kajihara*, Yoshitaka Kitamura* and Jiang Xiao*

Abstract

This paper reports an investigation on a project type exercise for induction of customer's service value and its instruction design ways for PBL activities. The processes of PBL activities such as theme setting, exploring background, hypothesis test and realization are described. From the processes, the effectiveness to increase competencies by attaining the project is explained.

Keywords: project type exercise, instruction design, competencies

1 はじめに

本稿は、2019年度イノベーションデザイン演習1, 2(主担当:橋本)を実施した内容の紹介を通して、学生らがどのようにプロジェクトを立案、実施し、どのように進めているを説明するとともに、産業技術大学院大学(以下、産技大と略す)創造技術専攻(以下、本専攻と略す)が定めるコンピテンシーとどのように関係するかを説明する。

本授業科目で設定するプロジェクトは、大きく研究型、調査型、開発型の三つのタイプがあり、各学生は、自ら伸ばしたい能力に応じてこれら3つのうち一つ以上を選択する。テーマな次章で述べるように、大枠としてサービスコンテンツを対象ドメインとするだけで、具体的なテーマ・内容については学生らが主体となってアイデアを出し合い、相互議論を経て、プロジェクトテーマを決定する。この後、本専攻のコアコンピテンシーに沿って、表現、設計、開発、分析の各ステージに相応しい活動を行い、その過程で得られる知識はメンバー全員で共有するようにしている。これらが体系化されるようにするためのインストラクションデザインを文献[1・2]を基にして、プロジェクト過程で幾つか設計したので、これらを説明する。

次章以下では、テーマとして掲げるプロジェクトのドメインの説明、このドメインで学生らがどのようにテーマを設定するかの説明、この後にどのように表現、設計、実現化を図っており、それらが本専攻設定のコンピテンシーとどのように関わることの説明を行う。

2 プロジェクトの初期過程の概要

2.1 プロジェクトの選び方

本専攻では、約10名の主担当教員がプロジェクトのドメインを学生に対して、公示し、学生はそれを見て希望プロジェクトを提出する。専攻所属の教員全員で、学生希望、学生の専門性(学生が取得した授業を担当した教員の意見を考慮)、成績などを総合的に勘案して、プロジェクトへの配属を決める。

筆者のプロジェクトのドメインは「ヒューマンファクタを考慮したサービスシステムの開発・研究」にあり、その概要は次である。「本テーマは研究・設計・開発・調査型のプロジェクトです。ヒューマンファクタ(HF)とは、人間の心理、生体、行動様式、文化など、人間というものを構成する要因(Factor)を言います。サービスの定義は、現在において、サービス提供者と受容者との価値共創を言います。サービスの定義に基づきHFを科学的に考慮したサービスシステムはまだ数少ないのが現状です。そこで、真の意味での価値創出できるサービスシステムの開発と有効性の検証という一連のPDCAを通して、幾つかの技術スキル修得を図ります。サービス分野は、ものづくりサービス、技能伝承・教育サービスなど多様な分野からテーマを学生メンバーが選びます。技術スキルとして、人工物(IT, ロボット, メカトロニクス, 画像装置, CG など)設計, 心理分析, 顧客満足度測定, データマイニングなどから幾つかの修得を目指します。オプションとして、外部組織との交流, ならびに、国内・国際学会などでの学術研究の論文発表を通じた高度プレゼンテーションスキルの修得もあります。」

この目的・狙いは次の通りとした。「マーケットやユーザー

を意識した設計開発, その客観的評価が行える知識とスキルの修得を目的とし, これを達成するための題材が上記の概要です。さらに, 複雑な事象を体系的に学ぶ力を身に付け, 高度なものづくり人材となれるよう, 事象を分解し, 改めて整理し直し, それを新たな視点に基づいて体系化する能力を養成することを本 PBL の最大の狙いとしています。」

さらに, このプロジェクト実施により身に付けるべき達成目的, 到達目標を次のように設定した

- ・ 原理や本質を考究でき, これに基づく想像力および体系化能力
- ・ 先端技術動向やマーケティングを丹念に調査し, マーケットに受け入れられる要件を明確にできる分析力とサービス定義能力
- ・ 設計開発課題を設定する能力
- ・ 提案手法をサービスシステムとして実装する能力
- ・ プロジェクトにおけるコミュニケーション能力と努力継続能力
- ・ 国内・国際学会でのプレゼンテーション能力(オプション)
- ・ 英語・日本語の論文投稿(オプション)

このようなプロジェクトのドメインとプロジェクト活動方針を通して, どのような知識・スキルを獲得できるかを公示する。これは, 他の教員も同じことを行う。

今年度は 6 名の学生が選定され, そのうち 5 名が社会人学生(会社員, 起業家, コンサルタントなど), 1 名が新卒の学生であり, 20 代から 50 代の年齢分布を示す。

2.2 テーマの選び方

本プロジェクトに配置された学生全員に対して, 一人ずつ筆者が面接を行い, 各自の獲得したい知識とスキル, それがキャリアアップにつながるのか? また, 本プロジェクトとしてどのように関わられるのか, など聞き取り, この後に, 全員で共通テーマを見出す作業を実施する。ここで, 本授業科目は 1 年間という比較的短期間であるため, この共通テーマ決め時間を効率的に短縮するため, ある程度, 主担当教員(筆者のこと)がファシリテートを行う。

テーマ決定のための議論の当初, サービスの定義, 性質, 内容に関する調査から始まり, サービスが人間を対象とする以上, 人間の性質, 満足を得るプロセスや条件, また, サービス媒体となる人工物の仕様など, 幅広い事柄の先行研究調査を全員が実施した。テーマ選びは, 概念共有というメタレベルの知識やスキルが必要であり, この概念共有を果たすには, 学生間同士の活発な議論や質問を行うことが必須である。しかしながら, テーマ選びのための調査や学習において, 学術的または技術的な内容の理解が必須の場面に出くわしたとき, 主担当教員の示唆, 導き, 考え方の提示など複数のインストラクションメソッドを駆使する必要がある。

また, 多様な背景を有する学生のチームであるから, 当然, 理解に差があり(イメージや概念が異なるという意味), 学生同士で議論を行った場合, プロジェクト開始当初では, 学生間で突っ込んだ質問を行うことはなく, 議論は低調であった。しかし, 議論とは互いの立場を理解できる能力を必要とするため, 理解をどのように促進するかが重要な課題である。この場合, 教員が上手に導き, 示唆することで, 学生同士が質問し合うきっかけを作り, 理解の進捗度がお互いに認識できるようになった。この認識が共有できることで, 異なる理解間の溝を埋められるような説明の工夫が見受けられるようになり, メンバー全員の間で理解を深めることで質問や議論が活発になった。

議論が活発になると, 今度は, アイディアが発散するようになるという悪影響も生じる。このような事態になった場合, 主担当教員が上手にコントロールする必要がある。本プロジェクトでは, このコントロールの仕方として, 社会的意義, 新規性, 実現性, 有用性の 4 つの観点から提案された複数のアイディアを評価し, これを絞り込む作業を行うことを示唆した。これに基づき, 以下の内容を全員で共有することになった。

- 社会的意義: 日本の生産物(プロダクトのみならずサービスも含む)の良さを発揮し, かつ, 普遍性を有することで, 多くのドメインやフィールドでの使用に耐えられること。
- 新規性: 大学の学習活動ゆえ, 会社ではできないようなリスクな内容に挑戦することで, 革新的な新規性を考えるようにすること。
- 実現性: ドメインをヒューマンファクタを考慮したサービスシステムに置いていることから, 人が感じるサービス価値の計測とその分類に, ある程度の実現性を考慮すること。
- 有用性: 実社会で, 考え出したサービスシステムを誰が, どのようなシーンで使うことで, どのような意義が生じるのかを考えること。

上記のことを全て満足することが要求され, 複数回の議論(face to face 以外に, ネットワークコミュニケーションツールも多用)を経て, 今年度のプロジェクトテーマは「顧客サービス価値誘導モデルの開発」とすることの合意を得た。このテーマには上記の項目を含んでいることを常に全員で確認しながら, これらに沿ってプロジェクトを進めることとした。

2.3 タスク分担

先に述べたテーマの下, どのようなタスクに分解し, その担当を分担したかについて述べる。

新規性を有するテーマゆえ未知の内容があり, プロジェクト開始当初から, 俯瞰してプロジェクト全てをタスク分解することはできない。そのため, まず, 身近なゴールを設定し, それに向けての準備実験と準備開発, および背景調査を実行した。ここで言う準備実験と準備開発の意味は, まだ見えぬ

最終ゴールの方向とその具体的なイメージを探ること、プロジェクトがどのようなタスクで構成されるかを知るために設けられるものである。また、背景調査も準備実験・開発の進行に伴い見出した疑問点を解決するため、随時、背景の分野が変化し、それに応じて背景調査を行うこととなった。

具体的には、テーマのコンセプトの下、次の項目の背景調査を行った。

- どのようなフィールドで顧客サービス価値を上げたいのか。これと共に、そのフィールドでの当該価値を上げることとはどのような意義(社会的、学術的、経済的な面)からがあるのか？ また、これに応じた定量的、客観的計測・評価はあるのか？
- 価値の誘導は、各フィールドでどのようなメカニズムがあればよいのか？ また、その実現性を図るための設計論は何か？

上記の項目を検証するため、文献調査(先行研究調査など)のみならず、幾つかの試行錯誤的な準備実験、準備開発および背景調査を繰り返して行い、最終的に図 1 に示すタスクに分解し、各タスクを学生それぞれが分担してプロジェクトを実施することとした。この最終案に至ったのは 5 月初旬であった。



図 1: プロジェクトのタスク分担

このようなタスク分解を行うと、時として、個々人が連携せずに独立した内容や作業を実施する危険性がある。これを避けるために、改めて全員に共通する「顧客サービス価値誘導モデルの開発」という俯瞰的視点から各タスクの内容(特に共通性や体系性)をメンバー全員で考察した。この考察を通して、サービス提供側とサービス需要側にある属性で分類できることに気付いた。それは、従来の BtoB, BtoC (B:Business(企業や組織というイメージ), C:Customer(個人というイメージ))という捉え方ではなく、次の二つのクラスに分類できるという考えを持った。

- **One:** 一人の顧客というイメージよりは個人単位(複数人であっても、全員が同じような属性と嗜好があれば、ここでは、複数人も One とみなす)
- **Community:** 多様な属性や嗜好を有する One の集合体で、ある One から別の One に情報が伝播できるよ

うな集合体を指す。この情報の伝播とは、いわゆる Loyalty の「ロコミ」、さらに、このコミュニティで獲得した知識・スキルを各自がさらにアップデートして新たな知識・スキルを得て、それを他に伝達することを指す。

この 2 つの関係図を表したのが図 2 である。



図 2: サービス提供者と需要者の新たな関係

この考え方の妥当性の検証は今後に委ねられているが、もし、この考え方の支持が得られるようならば、新たな、サービス提供者と需要者の関係を表すことになり、先駆的で新規性のある考え方である。

次では、牧野と岡崎の担当するタスクを紹介する。

3 行動心理に基づくサービス価値誘導

3.1 問題設定

牧野と岡崎が対象としたのは、何か目的を持った行為を長期に渡り継続して行おうとする場合を考える。ここに、長期という時間軸を問題とする。長期において、人間は時として飽きたり、怠惰になったり、さぼったり、または、うまく行かないことを悲観して止める場合がある。このような負の感情は抱くと継続性を維持することは大変に難しい。

これを解決する手段は次であると考えた。

- A) 負の感情の予兆を定量的に測定できるようにする
- B) 予兆を測定したら、励ますことで負の感情を取り除き、行為を継続するやる気を導く

この 2 番目の考え方 B)は、まさしく、サービス価値の誘導に他ならないことに注目されたい。

具体例を通すことで、上記の 2 つの具体的実現性を得られるため、ここでは、フィールドを痩身サービスにおいた。無理なく痩せることを前提とするならば、徐々に減量、すなわち、長期に渡る減量行為を継続することとなる。この行為は、ときとして挫折する事例が多いことで有名である。

A)に関して、Web ツールとインターネットを活用して、日々のログとして体重とそのときのコメント(気持ちの代弁として使われる)を記録でき、それらを表示することを可能としている。

2 番目に関して、牧野は、挫折する顧客のペルソナを作成して、心理の属性を与え、それに基に各ペルソナを鼓舞する方法を認知科学の観点から調査・分類を行った。その結果の一部を図 3 に示す。

現状では、作業を単純化するためとフィージビリティスタディが行いやすいように、自身に近いペルソナを一つ取り上げ、自身を被験者として、体重とコメントの記録、そのときの心理状態の分析、それに対する鼓舞の内容と表現方法に関する検討、および、本方法の効果に関する検証を行っている。この作業の中で、牧野が方法論を論じて、岡崎がそれに対する実現化を主に担当している。もちろん、片方から片方の一方通行でなく、両方向議論であり、ときとして PT メンバー全員での議論を経ることも、良い解決法を見出すには重要である。

4 学習効果

PBL の重要な目的の一つに、創造技術で設定したコンピテンシー(表 1)向上のための PBL 学習がどのように関連付けられるかがある。これは、特に、1Q, 2Q において考えなければならない必須事項である。

3 章の例は 2Q までの過程しか述べていない。しかし、このわずかの間でも、表 2 に示すコアコンピテンシーのうち必要としたのは、発想力、表現力、設計力、開発力であることは明らかであろう。最後にある分析力は、サービスシステムのプロトタイプを用いて、何らかのフィージビリティスタディを繰り返して実施すること得られるものであるから、今後の課題とする。

実際、牧野、岡崎の両メンバーに限らず、本 PBL では、メンバー全員は上記と同じような過程を経ているので、表 1 のコンピテンシーの多くを効果的に獲得していると考ええる。

5 おわりに

本稿は、ヒューマンファクタを考慮したサービスシステムの開発・研究というドメインの下、コンピテンシーを向上させるた

表 1: コアコンピテンシー

1. 発想力	1.1 企画提案力
	1.2 要求定義力
	1.3 独創力
2. 表現力	2.1 プレゼンテーション力
	2.2 言語的可視化力
	2.3 非言語的可視化力
3. 設計力	3.1 機能デザイン力
	3.2 感性デザイン力
	3.3 機能と感性の統合力
4. 開発力	4.1 開発計画力
	4.2 実現化力
	4.3 試験・評価力
5. 分析力	5.1 ユーザビリティ評価力
	5.2 マーケットリサーチ力
	5.3 業務工程分析力

めの、インストラクションデザインを紹介した。これは、2Q までの途中経過報告となるが、それでも、コアコンピテンシーの多くを向上させえるものである。その鍵を握っているのは、PBL 活動の当初期間は主担当教員の適切なファシリテートと示唆、この後は、プロジェクトを適切にタスク分解して担当メンバーを適切に決めること。その後は、メンバー間の議論のコントロールのみならず、その成果の見え方を工夫することで、タスク遂行を強力に図ることができる。

ここで書ききれなかった学生の努力、成果は幾つかあるが、この点については別稿で紹介する予定である。

参考文献

- [1] 内田, 実践インストラクショナルデザイン—事例で学ぶ教育設計 (情報デザインシリーズ), 東京電機大学出版局, 2005
- [2] ジョン・M・ケラー, 学習意欲をデザインする: ARCS モデルによるインストラクショナルデザイン, 北大路書房, 2010

No.	ペルソナ	過程品質					結果品質
		導入期		維持期			
		心理	モチベーション	心理	モチベーション	タイミング	
1	中年男性 (のり込みタイプ)	・ザイオンズ効果 ・コントラスト効果 「達成動機」	・目標のサポート ・目標明確化、効果の可視化 「自己制御」、制御資源の提供	・ファイガムニク効果 ・ストレスからの回避 (ウィリアム・グラッサー)	・別の目的設定 (輪と棒)	毎日、毎週、毎月	体重
2	中年男性 (のり込み)	・競争心 (CI 心理学用語) 「自覚状態」、 「達成動機」	・「まげたくない」 「自己制御」、 「制御資源の提供」	・競争心 (CI 心理学用語) 「自覚状態」	・「まげたくない」	あるいは挫折しそうな時 ストレス負荷時	体重
3	中年男性	・競争心「達成動機」 「自覚状態」 「利己欲満定審美」	・体重を分関することにより、その状態から逃れたい。「自己制御」、 「制御資源の提供」	・競争心「達成動機」 「自覚状態」 「利己欲満定審美」	・体重を分関することにより、その状態から逃れたい。	毎食前	体重
4	ネガコン	なし	途中で挫折、なんとか達成	なし	挫折→リバウンド	なし	体重

図 3: 瘦身における心理学的視点サービス提供の分類

機械学習による ELVO 予測システムの開発

小山裕司*・重田恵吾**・佐川博貴***・大橋博明*・松本省二****

A Development of an ELVO Prediction System using Machine Learning

KOYAMA Hiroshi*, SHIGETA Keigo**, SAGAWA Hiroataka***,
OHASHI Hiroaki* and MATSUMOTO Shoji****

Abstract

Time is important in acute 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 after onset, and it is preferable to transport to a facility that performs specialized medical stroke cares. There are several prehospital stroke and ELVO scales that specify observation items and their evaluation methods for discriminating a potential stroke in the prehospital setting. We have tried to develop an ELVO prediction system using machine learning, to support discrimination of potential ELVO in the prehospital period. In this paper, we explain the overview of our decision tree construction and performance of the system.

Keywords: Acute Ischemic Stroke Care, Prehospital Stroke Scale, Machine Learning, Mechanical Thrombectomy, Neuroendovascular Therapy, Emergent Large Vessel Occlusion, Cloud Technology

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ことが示されている。脳梗塞治療では、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) 時間等が早期治療の測定指標として示され、各病院の医療の質評価の QI (Quality Indicator) プロジェクト等でも、これらの時間が評価指標として使われている。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、時間短縮を実現する取り組みを行ってきた[1]。

1.1 病院前脳卒中スケール

脳梗塞患者の早期治療の実現には、脳卒中疑いの患者を早期に発見し、脳卒中であるかを判別し、専門病院に運ぶことを可及的速やかに行う仕組み (stroke bypass) も重要である[2]。患者の症状から脳卒中であるかどうかの判別基準 (スケール) は以下のように多数存在する。

- ・ 〈スローガン〉
FAST (顔の麻痺、腕の麻痺、言葉の障害、発症時

刻)

- ・ 〈病院前脳卒中スケール〉
CPSS (シンシナティ病院), MPSS (聖マリアンナ医科大学), KPSS (倉敷病院), SPSS (湘南病院), TOPSPIN (トヨタ記念病院), LAMS (Los Angeles Motor Scale) 等
- ・ 〈ELVO 予測スケール〉
RACE (Rapid Arterial Occlusion Evaluation Scale), FACE2-AD (Face to Acute Delivery), ELVO Screen 等
- ・ 〈意識レベルスケール〉
JCS (Japan Coma Scale), GCS (Glasgow Coma Scale), ECS (Emergency Coma Scale) 等
- ・ 〈脳卒中重症度評価スケール〉
NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale)
- ・ 東京消防庁救急活動基準 A 選定

これらの判別基準の観察項目は運動麻痺、顔面麻痺、上肢麻痺、言語障害等で、概ね重複している。著者らは、これらの観察項目から、複数のスケールを救急の現場で簡便に算出できるアプリケーションである Stroke

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology (Department of Information Systems Architecture)

** 災害医療センター, Disaster Medical Center (Department of Neurosurgery)

*** 青梅市立総合病院, Ome Municipal General Hospital (Department of Neurology)

**** 藤田保健衛生大学, Fujita Health University (Department of Comprehensive Strokeology)

**** 九州大学, Kyusyu University (Department of Neurology)

Checkerを開発した[2].

これらの判別基準のうち、病院前脳卒中スケールの性能は、東京都が CPSS の実証検証を行い、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 件では、脳卒中診断に対する陽性的中率 59.6%、感度 82.4%、特異度 97.9%、平成 24 年 2 月の 1 週間の 10,238 件では陽性的中率 60.4%、感度 70.8%、特異度 98.4%であった[3]. また、TOPSPIN の脳卒中的中率は 72%、SPSS の感度は 84.1%と発表されている[4-5]. これらのスケールの観察項目を表 1 に示す. これらの観察項目のうち 1 つでも異常がある場合は脳卒中判定である.

表 1: 各病院前脳卒中スケールで使用する観察項目

	CPSS	TOPSPIN	SPSS
観察項目	顔面のゆがみ	意識状態	片側の麻痺
	上肢の麻痺	心房細動	顔面の麻痺
	構音障害	名前の確認	言語異常
		両上肢の挙上	
		両膝の屈曲	

著者らは、機械学習を利用し、的中率の高い脳卒中予測を行う取り組みを行ってきた[6-7].

1.2 ELVO 予測スケール

急性脳主幹動脈閉塞 (ELVO: Emergent Large Vessel Occlusion) 症例に対する脳血管内治療の高い治療効果が証明され、ELVO 疑い症例を脳血管内治療病院に直接運ぶ stroke bypass 等の病院前判断の重要性が増している. 現在、既に多数の ELVO 予測スケールが存在するが[8], 救急隊の確認項目からの的中率の高い ELVO 予測が実現できれば、t-PA 治療に引き続き、脳血管内治療を開始する準備をあらかじめ行うことができるため、D2P (Door-to-Puncture) 時間短縮に効果的である.

今回は、機械学習によって ELVO 予測モデルを構築し、これを簡易に利用できる Web アプリケーションを開発する. 以下の第 2 節では ELVO 予測モデルの構築及び ELVO 仕様の Stroke Checker の概略を示し、第 3 節では考察を行い、第 4 節では今後の取り組み等を示す.

2 ELVO 予測モデルの構築

2.1 患者データ

今回の対象データは、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 症例である. 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、脳卒中に関連する項目は、既往、主訴、性別、顔面麻痺の有無、上下肢の麻痺、失語構音障害の有無、JCS (Japan Coma Scale)、共同偏視の有無、心拍数、脈不整 (心房細動の有無)、頭痛、発症後時間経過、血圧等である. このほかに、性別等の個人属性、最終的に脳卒中、ELVO であったのかの診断情報が紐付けられ、平均年齢は 70.7 歳、男性が 56.3%、ELVO は 32 例 (11.9%) であった.

2.2 機械学習による ELVO 予測モデルの構築

今回の ELVO 予測モデルは、Google の機械学習環境 Colaboratory 上で、Python 3.6.8 及び機械学習ライブラリ scikit-learn 0.21.3 等を使ってランダムフォレストを構築した. 観察項目のうち、救急隊が現場で確認できるかどうかの視点で絞りこみ、次に観察項目間の相関を確認し、最終的には確度及び感度を高めることができる項目を説明変数にし、ELVO かどうかを目的変数にした. 観察項目間の相関を確認し、特徴量を特定する作業は、脳卒中に関する専門知識が必要で、手作業で行い、心房細動の有無、拡張期血圧、共同偏視の有無、年齢、上肢の麻痺、下肢の麻痺、顔面の麻痺の 7 項目を選択した. 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.

対象 270 例のうち 75%にあたる 202 例を訓練データとして使い、今回は感度を優先し、最大の深さ 3 の 140 個の決定木からランダムフォレストを構成した. 決定木の例を図 1 に示す.

このランダムフォレストをテストデータ 68 例で検証した結果を以下に示す (5 分割交差検証の平均値は 82.1%).

- 確度 (Accuracy) : 80.9%
- 感度 (Recall) : 75.0%
- 陽性的中率 (Precision) : 35.3%
- 特異度 (specificity) : 78.3%

2.3 ELVO 仕様の Stroke Checker のシステム構成及び特徴

急性期脳卒中患者の ELVO 予測を容易に行うことを支援するため、構築した ELVO 予測モデルを組み込み、ELVO 仕様の Stroke Checker を開発した. GCP (Google Cloud Platform) の Google App Engine 上で動作する Web アプリケーションである. 救急の現場での使い勝手

(操作性・視認性)を意識し、誤操作を減らすために大きなボタンを使ったり、表示内容を明瞭に示すためにカラー表示を工夫したりする等の試みを行った。画面例を図 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
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)	
診断	脳主幹動脈閉塞症以外:0, 脳主幹動脈閉塞症:1	目的変数

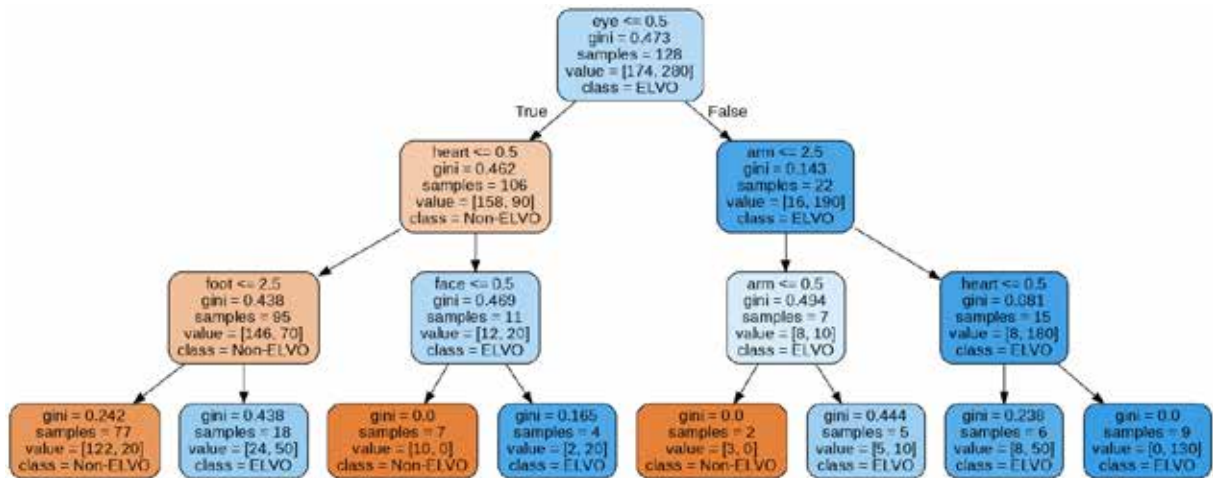


図 1: ELVO 予測の決定木の例



図 2: ELVO 予測の画面例

3 考察

今回の研究で、機械学習を利用し、救急隊が取得した病院前救護情報から、ELVO を予測するアプリケーションの開発が可能であることがわかった。

我々が特定したモデルの観察項目数は7項目で、CPSS等の病院前脳卒中スケールと比較すると多いが、拡張期血圧等、観察項目の内容は東京消防庁の活動基準で必ず確認する項目であり、救急隊が利用する上で新たに知識を要する項目は無く、また項目数も多すぎると感じるほどでは無いと考える。

本アプリケーションの活用によって、救急の現場でELVO 疑い例を的確に予測し、可及的速やかに脳血管内治療病院に直接運ぶことが可能となれば、ELVO 症例に対する脳血管内治療の高い治療効果が期待できる。

4 結言

救急隊の情報から機械学習を利用し、ELVO を予測するランダムフォレストを構築し、この予測モデルを簡便に使うことができる ELVO 仕様の Stroke Checker を Web アプリケーションとしてクラウド上に実装した。

今回は、特定のエリアの限られた数の患者データでの検証を行ったが、今後は広く協力者を募り、症例を積み重ね、観察項目の削減、推定値等の設定、複数の機械学習手法を試用、的中率の改善に努めたい。ELVO 仕様の

Stroke Checker を複数の医療機関で検証実験を行い、有用性を証明したい。

また、患者の機能回復、社会復帰が実現するように救急医療への情報通信技術活用の研究、開発を継続していきたい。

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”, 2013.
http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/iryoy/iryoy_hoken/nousottyuutorikumi/nousoxtuchuu.html (visited on 2019) (ウェブ参照)
- [4] 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レホスピタルスケール)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)
- [5] 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 2019) (ウェブ参照)
- [6] 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)
- [7] 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)
- [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, 2019. (Journal)

会話のキャッチボールを支援するデバイスと活用プランの提案

安藤 豊*・菊池 直子*・門田 英*・宋 茜*・陳 海偉*・池本 浩幸*

Proposal of spherical device and utilization method to support interactive communication

Yutaka Ando *, Naoko Kikuchi *, Akira Kadota *, Sou Sen *, Chin Kaii *, and Hiroyuki Ikemoto *

Abstract

Two-way communication is important for the team. However, due to various circumstances in the team, the amount of speak among members is not balanced. This article presents based on the questionnaire survey, in the team, we noticed that there were problems in the people who spoke less and the people who spoke less. As a solution to the problem, we propose a device and ice break methods that show the balance of speak.

Keywords: Keywords in English. Interactive communication, Device (SYMPASS), Ice break,

1 はじめに

産業技術大学院大学(以下, AIIT とする)では, 高度専門職人材育成の方法として Project Based Learning(以下, PBL とする)型教育を採用している. AIIT の PBL は, 担当教員の下, 数名の学生が, 明確な目標を掲げ, 実際の業務の内容に近い 1 つのプロジェクトを 1 年かけて完成させていく. そのプロセスの中で, 実社会で真に役立つスキルやノウハウを修得していく[1].

本稿では, AIIT の 2018 年度の PBL 型教育において, 「会話のキャッチボールを支援するデバイスと活用プランの提案」をテーマとして活動した池本 PBL の活動プロセスと成果を報告する.

AIIT PBL の重要な評価基準の一つに”コミュニケーション能力”がある. 年齢や国籍, 様々なバックグラウンドを持つメンバーがプロジェクトを進めていく中, チーム活動において高度なコミュニケーションを発揮することを求めている.

2018 年度の池本 PBL のメンバーは, 中国人留学生 2 名を含む 20~50 歳代の男女 5 名である.

2018 年度池本 PBL のスタートにあたり, メンバー間で議論したところ, 生き方, 働き方, ライフキャリアの選択や行動について様々な視点から検討することとなった. さらにプロジェクトのテーマを深掘りし, 人的ネットワークを広げる観点から, 各メンバーが様々なワークショップに参加することや働き方改革を実践する有識者へのインタビューを実施した. こうした取組みを通じて, それぞれのメンバーが経験したことは, 初

対面同士のコミュニケーションにおいて相手に圧倒されてしまうことである. 例えば, ”発言の多い人が議論をリードしている”, ”意見を言いづらい”, ”人の反応が気になる”といったコミュニケーションに対する苦手意識を持ってしまい, 思うように発言できないことであった.

また, チームに必要なコミュニケーションのあり方として, Google が”良い働き方”をテーマにしたデータ分析を公開する web サイト Google re-Work においては, “効果的なチーム”には, ”心理的安全性”が重要で, チームメンバーがリスクを取ることを安全だと感じ, お互いに対して弱い部分もさらけ出しコミュニケーションをとることがチームに必要なとしている[3]. 同サイトでは, マネージャーによるメンバーへの一方的かつ心無い叱責がチームの心理的安全性とパフォーマンスを著しく低下させた事例を紹介している. この事例から, チーム内での対話や良好なコミュニケーションを生み出すためには, 参加するメンバーがリラックスして話せるフラットな状況, 双方向的かつ均等な発言機会が重要な要素として必要だと考えられる.

これらの点を踏まえ, 池本 PBL では, 対話において発言を躊躇するなど, コミュニケーションに課題を抱える人に対し, 発言する機会を作り, 苦手意識を克服するための支援や能力の向上を目的としたデバイスの開発とワークショップなどを想定した対話の場における活用プランを提案することとした.

2 調査

2.1 ニーズの調査

池本 PBL の各メンバーが感じたコミュニケーションでの苦手意識は、他の人々にも共通する意識として存在するのかわを確認するため、産技祭(2018年10月27, 28日 於:東京都立産業技術高等専門学校)においてアンケート及びインタビューを実施した。

質問事項は、次の3項目である。

- ① ワークショップ等においてコミュニケーションに困った経験はあるか。
 - ② グループで対話が盛り上がらないとき、どうふるまうか。
 - ③ これらの状況で体験したいこと、感じたこと(自由回答)。
- 対話によるふるまいを調査した結果を図1に示す。(回答者61名(男性33名, 女性28名))

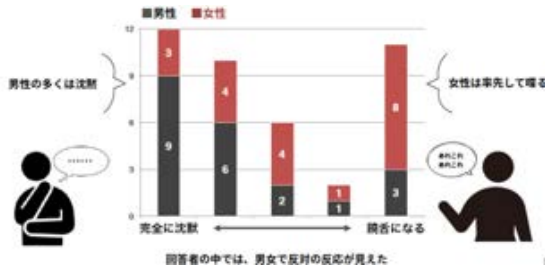
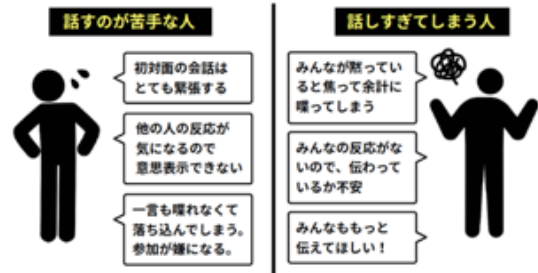


図1: アンケート結果(対話でのふるまい)

- ① 男女ともに9割以上がコミュニケーションを取りづらいなどの経験がある。コミュニケーションがとりづらいタイミングとしては、自己紹介など対話の始めから感じる場合が多い。
- ② グループで対話が盛り上がらないときにどのようにふるまうか。年代に関係なく多くの男性は沈黙してしまう場合が多いが、女性は中高年を中心に饒舌になる場合が多く、正反対の行動を取る傾向がある。
- ③ 自由回答によるインタビューにおいて得られた意見の概要は、図2に示すとおり、話すことが苦手な人は、緊張や焦り、気後れを理由に挙げる一方で、話し過ぎてしまう人にも不安や焦りを理由としている。この点から、話せない人、話せる人それぞれに相手のふるまいに不安を感じることで黙る、しゃべるといった行動をとっており、それぞれコミュニケーションに課題があることを把握した。



話せない人も、話せる人も、どちらもコミュニケーションに課題がある。

図2: 対話に関するインタビューでの意見

2.2 円滑なコミュニケーションを生み出すきっかけ

コミュニケーションに困る状況は、いつ訪れるのか、メンバーが参加したワークショップからカスタマージャーニーマップを作成し、時間の経過に応じた感情の動きや実際の行動を整理した(図3)。この整理では、ワークショップが始まる時点から不安を抱えており、さらにスタートのコミュニケーションが不調だと時間の経過とともに、緊張、不安が持続するという傾向が示されている。この点をメンバー間で共有すると各メンバーとも同じ経験があったという共通点があった。



図3: ワークショップで体験した心理状況

また、前述のインタビュー結果が示すとおり、双方向のコミュニケーションに対する不安や焦りは、対話の初期段階に多くが生じることを確認した。

他方、ワークショップなどでは、対話のスタート時の緊張を解きほぐしたり、積極的な対話を促したりする手段として、アイスブレイクを活用している。アイスブレイクは、対話のきっかけや変化が求められる際、自己紹介、ゲーム、アクティビティ、トーキングアイテムなどのツールを使って行われる。しかしながら、アイスブレイクは、「対話において有効に機能しているか」という観点から実施した市場調査において、「アイスブレイクを知らない」、「特に披露するテクニックはない」といった回答が半数以上を占めている。この結果から、アイスブレイクは、コミュニケーションの円滑化・活性化に効果はあるものの、魅力的なアクティビティ、ファシリテーターの能力に依存し、十分に利用されていない状況が示されている[7]。

調査結果からは、発言量の大小にかかわらず、多くの人がコミュニケーションに関して課題意識を持っていることを確

認した。また、従来型のアイスブレイクは、対話の円滑化・活性化といった目的において、必ずしも十分に機能が発揮できていない一面もあると考えられる。

こうした背景を踏まえ、対話のスタート時や変化する場面においてデバイスを活用したアクティビティを組み合わせたアイスブレイクを実施することによって、不安や焦りを解消できないか検討を行った。

不安や焦りの背景には、言語や年代、性別といった要素に加え、肩書きや経歴、先入観などがある。

こうした不安等は、フラットなコミュニケーションが生まれる機会を作り出し、参加者が同じ状況で双方向に対話を行うことで解消できるのではないかと、このような仮説を立て、対話による意思疎通が困難な不自由なコミュニケーションを体験するワークショップへの参加などを通じ [8-10]、制約がある中フラットな対話が生まれる状況を調査した。調査などから、どのような状況においてフラットな対話が実現するのか、デバイスを使って対話するイメージを膨らませ、そのデバイスには、不安や焦りを抱えることなく自分を語る状況をサポートする機能を具体化していく、という方向性が見えてきた。

こうした検討から、池本 PBL では、「タイプの違う人同士がより楽しみながらバランスよく会話できて、お互いの気持ちをもっとわかりあえる道具」というコンセプトを設定し、発言量の均一化を支援するデバイスを作成し、アイスブレイクなどで活用するプランと合わせて具体化することとした。

2.3 デバイスの機能定義

調査結果等を踏まえ、円滑な双方向のコミュニケーションの実現、発言量の均一化するデバイスは、対話の以下状況における意思表示をサポートすることにした。

- ① 言葉や表情、しぐさなど双方向に伝え合う状況
- ② 相手や自分に対する共感がシェアできる状況
- ③ 対話の流れ、盛り上がりが共有できる状況
- ④ 発言量が均一化している状況

なお、デバイスは、対話に参加する一人一人を支援するという目的から各人が 1 個持ち、コミュニケーションすることを前提とした。デバイスには、各参加者のコミュニケーションの状態を映し出し、時には勇気付けたり、参加者全体の気持ちを一つにしたりする存在と位置付ける。

また、これらの円滑なコミュニケーションは、言葉のキャッチボールの中から発生すると捉え、支援するデバイスの形状については、ボール(=球体)をベースにデザインすることとした。

2.4 デバイスの名称と機能

デバイスの名称は、対話の機会をキャッチボールでのボール回しと共感の二つの場面をイメージして“SYMPASS”という造語とした。

Sympathy×Pass=“SYMPASS”

各自 1 個ずつ持つデバイスは前述の機能定義を基に、図 4 に示すとおり、4 つの機能を持たせることとした。

- ① 発言量のバランス向上
対話の参加者個人の発言時間によってデバイスの色が変化、発言の活発度を可視化する。
- ② 密やかな共感の伝達
発言する人に共感したら、デバイスから意思表示をして共感する気持ちをお互いに共有する。
- ③ 盛り上がりの可視化
メンバー間の盛り上がり、多数が共感する状況を色などで可視化し、共有する。
- ④ ログによる振り返り
会話量や共感の状況を表示・記録することで、研修などの場面において、繰り返し使用することや改善のきっかけとして活用する。



図 4: SYMPASS の 4 つの機能

なお、球体のサイズや色の変化については、前述の産技祭においてアンケート調査を実施するなど、広く意見を聴取し、大きさは直径 70 mm (テニスボール～野球ボール程度)、フルカラーLED を使用することで、青色から赤色に色に変化を持たせることとした。

2.5 設計・開発作業

デバイスの開発にあたっては、4 つの機能を実現するため、デバイス本体には次の特徴を持たせた。

- ① 発言量のバランス向上と③盛り上がりの可視化については、デバイス本体の色を変化させることとし、タイマーにより計測した時間の経過に合わせて、内蔵したフルカラー LED ライトの色の変化をプログラムにより制御した。
- ②密やかな共感の伝達については、モーターを活用し、振動によって表現した。
- ④ログによる振り返りは、対話の実績を CSV ファイルに出力することとした。

対話時間や、通信及びそれらを制御は、arduino 互換機を使用した。また、各デバイスを総合的に管理し、対話のログを保存する機能をサーバー(タブレット)に持たせることとした。デバイス側の設計・仕様は図 5 のとおりである。

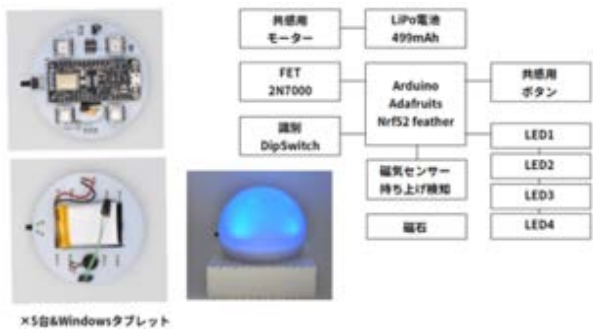


図 5: SYMPASS の設計・仕様

発言量のバランスは、発言時間にあわせて青色から赤色に色に変化を与え可視化した(図 6).

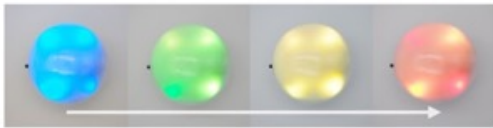


図 6: 色の変化による発言量の可視化

発言への共感については、図 7 で示すとおり、発言している人に共感した時、球体の側面にあるボタンをプッシュし、共感する人がいることを発言者だけに振動で伝える。



図 7: SYMPASS の活用シーン

ログによる振り返りについては、誰がいつどのくらい話した、誰が誰に対していつ共感したという実績を csv データで保存する(図 8).

図 8: SYMPASS の対話ログ

開発テストにおいて、SYMPASS を手に持つことで、対話に積極的な態度をとる、といった気づきがあった。心理学の文献では、手を隠す、腕組みする、反り返る姿勢は、相手に壁を作るが、手を見せる、前傾は、相手に心を開く姿勢であると紹介されている [11].

SYMPASS を持って対話することで前向きに参加するという副次的な効果があることを確認できた(図 9).



図 9: SYMPASS の心理的効果

3 活用プラン

3.1 タイムスケジュール

SYMPASS をワークショップや会議などのイベントで実施されるアイスブレイクとセットで活用することによって、コミュニケーションの円滑化・活性化など相乗効果を生み出す活用プランを検討した。

SYMPASS を活用するタイミングとして、図 10 に示すタイムスケジュールの中で位置付けた。スタート時及びチームが変化するタイミングにおいて実施するアイスブレイクにおいて活用することを想定し、活用プランを具体化した。

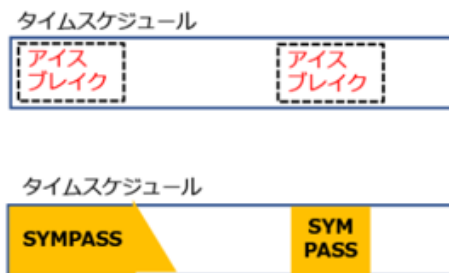


図 10: SYMPASS 活用のタイムスケジュール

実施時間については、ワークショップにおけるアイスブレイクの時間を参考に、アクティビティ時間は 20~30 分、5 人程度で行うこととし、一人当たりの発言時間は、3~10 分程度を想定している。

3.2 アクティビティ

プログラムは、アイスブレイクにおいて、参加者それぞれが

自発的な発言、聞き手が能動的になる自己紹介、オリジナルゲーム、フリートークなど既存のアクティビティを参考に SYMPASS の機能と親和性の高いかどうかの観点から検討・開発を行い、図 11 のようなアクティビティを作成した。



図 11: SYMPASS を活用したアクティビティ

4 検証

4.1 検証の前提

SYMPASS を使った対話は、コミュニケーションの課題に対してどういった効果を生むのか。これまで整理したデバイスの機能や活用プランの検討から SYMPASS に期待される効果を以下のとおり定義した。

- ① SYMPASS の機能(発言量・共感)を活用することで、対話は活性化する
- ② SYMPASS を使うことで対話に主体性が生まれる
- ③ 対話の聞き手が能動的に反応することで、話し手の自発的な発言を促す

これらの期待効果が発揮されるか、対話の場において検証を行うこととした。

4.2 検証する状況の設定

SYMPASS の機能・効果の検証においては、図 12 のとおり、参加メンバーの関係性や対話の場の状況から様々な対話の場を想定し、検証を行うこととした。具体的には、

- ① 4~5 人程度の気心の知れた人同士の会話
- ② 10 人程度の職場での会議
- ③ 10 人程度のミニワークショップ

の 3 つの状況を設定し、SYMPASS を使ったアイスブレイクと対話を実施した。

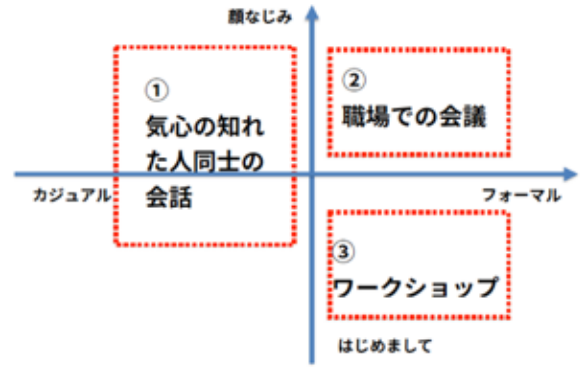


図 12: 検証の状況設定

検証は、2018 年 12 月から 2019 年 1 月の間に実施し、計 5 回の対話において、のべ 30 人の参加を得た。

4.3 プログラム

対話の雰囲気や参加メンバーの発言などの状況をアイスブレイクの手法で検証することとし、自己紹介、オリジナルゲーム、フリートークの 3 つのアクティビティで構成した。

なお、検証時間は、参加者がアクティビティに飽きないように 30 分程度を基本とし、SYMPASS の発言時間は、1 人あたりが発言する最大時間を 3 分で設定した。

4.4 検証の評価方法

定義した SYMPASS の基本機能がどの程度発揮されているかという観点から評価し、点数化した。

評価にあたっては、SYMPASS の機能から、図 13 の視点で、発言量、共感、盛り上がりの 3 つの機能に関して、15 項目、4 段階(とても良い、良い、よくない、とてもよくない)で判定し、満足度を 10 点満点で評価することとし、図 14 の評価シートを作成した。併せて、アイスブレイクにおいてファシリテーターが観察することで定性的な評価を行い、多面的な検証を行うこととした。



図 13: 検証の評価項目

モニタリング・ワークショップ評価表

日付： 年 月 日

(1) あるいは結果を記入し、評価時に記入してください。

	人 数 の 多 少	意 味 の 重 さ	あ ら わ か り な い	あ ら わ か り な い
1. 具体的な目的は明確に、最初で述べたか。	□	□	□	□
2. 趣意は、明確に述べたか。また、必要か。	□	□	□	□
3. 参加者が理解し、話し合えるようだったか。	□	□	□	□
4. 参加者が主体的に発言し、意見を述べたか。	□	□	□	□
5. モニター全体の発言量が十分だったか。	□	□	□	□
6. 各人の発言量に応じて発言がなされたか。モニター全体の発言の傾向も考慮して、適切に発言したか。	□	□	□	□
7. 参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
8. 参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
9. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
10. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
11. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
12. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
13. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
14. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□
15. 参加者が主体的に発言したか。参加者が主体的に発言したか。	□	□	□	□

(2) SYMPASSの全体性評価は、評価時に記入してください。

(3) このモニタリング・ワークショップで、参加者の発言が、次のとおりだったか。

図 14: 検証に対する評価シート

4.5 検証の実施と結果

検証 1: 仲間・気心が知れたグループでの検証(図 15)



図 15: 検証 1 の状況(写真)

4~5 人程度の元々知り合いで、気心の知る同士の対話において SYMPASS を活用したアイスブレイクを実施した(3 回)。

表 1: 検証 1 の観察結果

発言量	話す役、聞き役に分かれる
共感	興味はあるが操作を忘れがち
盛り上がり	一時的、継続しない

表 1 のとおり、もともと気心の知れている集団では、自然な形で対話が生まれることから、SYMPASS の操作が逆に対話の邪魔になることもあるのではないかと、という気づきがあった。

検証 2: 職場の会議での検証(図 16)



図 16: 検証の状況(写真)

10 人程度の職場での会議においてスタート時に SYMPASS を活用したアイスブレイクを実施した(1 回)

表 2: 検証 2 の観察結果

発言量	年齢・役職に限らず積極的に発言
共感	発言の少ない人をフォロー
盛り上がり	議論が活発になりファシリテーターの発言減

表 2 のとおり、上司・部下などの上下関係があつて発言に気を遣う集団では非常に有効、という気づきがあった。

検証 3: ワークショップでの検証(図 17)



図 17: 検証 3 の状況(写真)

10 人程度のミニワークショップ形式の自営業同士の勉強会において SYMPASS を活用したアイスブレイクを実施した(1 回)。

表 3: 検証 3 の観察結果

発言量	発言を気遣う(話す役、聞く役に適度に交代)
共感	ボタンを押す回数が多い、一度の複数の共感
盛り上がり	ゲームをきっかけに盛り上がりが継続

表 3 のとおり、ワークショップにおいては初対面同士でのアイスブレイクや発言量のバランス向上に寄与できた。

5 まとめと課題

5.1 まとめ

検証の参加者が記入した評価シートを点数化した結果は

表 4 のとおりである。特にワークショップでの評価が高かったが、全ての検証において総じて高い評価が得られた。

表 4: 評価結果

	仲間	職場	ワーク ショップ
発言量	2.9	3.1	3.4
共感	3.0	3.4	3.6
盛り上がり	3.0	3.2	3.4
満足度	7.1	8.2	7.6

検証をファシリテートしたことから得られた気づきは、次のとおりである。

- ・SYMPASS の操作は簡単、使い方は、すぐ理解できるが、慣れる、飽きると操作が雑になる(特に近い関係)。
- ・アイスブレイクでは、ゲームと組み合わせるとより効果を発揮し、共感し合い、まとまるきっかけになる。
- ・発言量は均一化し、話すこと、聞くことがバランスする。特に、フォーマルな場面、”はじめまして”に近い関係において効果を確認できた。
- ・対話の盛り上げ役として SYMPASS は有効に機能している。

検証の前提として定義した期待効果に関しては、以下のとおり。

- ① SYMPASS を使うと対話は活性化する
- ② SYMPASS は対話に主体性が生まれる
- ③ 聞き手が能動的に反応する

SYMPASS を活用することにより、対話の中から自己開示と他者からの気づきといった効果が得られることが確認できた(図 18)。

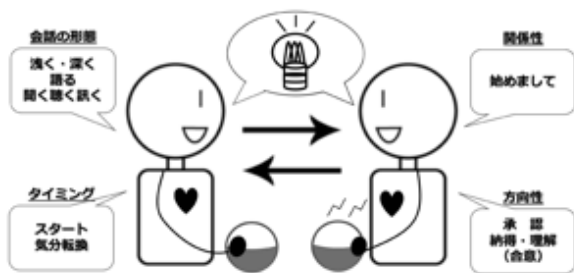


図 18: SYMPASS の期待効果

5.2 新たな活用の可能性

本研究は、AIIT PBL プロジェクト成果発表会(2019年2月11日 於:東京国際フォーラム)において発表プレゼンとブース展示を行った。来場者からは、SYMPASS について多くの感想、意見をいただいた。

中でも今後の活用シーンとして、

- ・教育研修(プレゼン練習, グループ面接)
 - ・遠隔地での活用(打ち合わせ, 左記の研修)
- という意見が多かった。

今後、モニタリングを継続し、ログを検証するにより、更なる改善を目指すこととしたい。

謝辞

SYMPASS のコンセプトに設定に関し、多くの示唆いただいた OQTA 株式会社の高橋浄久様、プロトタイプの実作、SYMPASS の制作にあたり多大なるご支援をいただいた国立極地研究所の菊池雅行様、活用プランの検討、ワークショップの設計等に関して多方面から指導等いただいた株式会社 TAM の日高由美子様、組織開発推進室ファシリテーターの内田龍之介様に感謝の意を表する。

また、複業家の石川貴志様や産業能率大学の井出久美様をはじめ、様々なコミュニケーション手段や方法に関してインタビューに対応いただいた方、検証に参加していただいた方、アンケートの記入いただいた方、このほか、本研究にご協力いただいた皆様に感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 産業技術大学院大学”PBL 型教育”
<https://aiit.ac.jp/education/>(ウェブ参照)
- [2] リンダグラットン, アンドリューススコット, 池村千秋(訳), LIFE SHIFT, 東洋経済新報社, 2016
- [3] Google re-work web
<https://rework.withgoogle.com/jp/>(ウェブ参照)
- [4] 伊庭正康, すべてを手にする人が捨てている 41 のこと, かんき出版, 2016
- [5] J.D. クランボルツ, A.S. レヴィン, John D. Krumboltz, AIS. Levin, 花田光世(訳), その幸運は偶然ではないんです!, ダイヤモンド社, 2005 年
- [6] 安藤昌也, UX デザインの教科書, 丸善出版, 2016.
- [7] ここぞというときに使いたい! アイスブレイクネタ&テク集, 株式会社インテージ (2017.9.29)
<https://www.intage.co.jp/gallery/aisubureiku/>(ウェブ参照)
- [8] DIALOGUE IN SILENCE
<https://dis.dialogue.or.jp/>(ウェブ参照)
- [9] 金箱淳一, 南澤孝太, ”Touch the sound picnic: 音一触感変換デバイスを用いた「音に触れる」ワークショップ”, 産業技術大学院大学紀要 No12. pp.11-19, 2018,
- [10] 井口昇, 小坂橋徹, 趙宇, 池本浩幸, ”互いに察しあう低解像度コミュニケーションを実現するデバイスの試作と

評価”, 産業技術大学院大学紀要 No12. pp.143-148, 2018,

- [11] 渋谷昌三, いちばんやさしい他人の心理学の本, 西東社, 2013
- [12] 茂木 一司 (編), 協同と表現のワークショップ—学びのための環境のデザイン, 東信堂, 2014.
- [13] 堀公俊, 加藤彰, ワークショップデザイン——知をつむぐ対話の場づくり(ファシリテーション・スキルズ), 日本経済新聞出版社, 2008.
- [14] 諸富祥彦, はじめてのカウンセリング入門(下) —ほんものの傾聴を学ぶ, 誠信書房, 2010

サイバー攻撃と防御演習コンテンツ Webwolf の高等教育への利用可能性の検討

瀬戸 洋一*・牧 宣彰*

Consideration of the availability to the higher education of cyber attack and defense exercise contents WebWolf

Yoichi Seto* and Nobuaki Maki *

Abstract

The threats of cyber-attacks are expanding rapidly and the shortage of cyber security personnel is becoming a serious issue. However, it is difficult to utilize commercial cyber exercises system in educational institutions. Therefore, Open Source Software exercise without burden of the cost is highly beneficial for security human resources development. Thus, practical exercises carried out from the viewpoint of the attackers as well as the defenders are necessary. WebWolf released by OWASP is OSS. In this paper, we investigated the function and configuration of WebWolf, and inspected whether WebWolf is effective in security exercises of higher education institutions.

Keywords: Cyber attacks and Defense, Cyber security, Open Source Software, Threat and Vulnerability, WebWolf

1 はじめに

近年サイバー攻撃は多様化・巧妙化している。国内外で業務・サービス障害、情報漏えい、金銭被害が発生し、社会経済の発展や生活の安全・安心が脅かされている。2016年12月には、ウクライナで、変電所がサイバー攻撃を受けて停電が発生し、2017年5月には、英国の多数の病院で医療サービスが中断する被害が生じた。我が国でも、2015年5月には日本年金機構が保有する個人情報約125万件の流出事案が発生し、2018年1月には暗号資産(仮想通貨)の窃取事案が発生した。経済的・社会的な損失が生じ得る状況にあり、サイバーセキュリティに対する社会の関心やニーズが高まっている[1]。

我が国のサイバーセキュリティに関する施策の目標と実施方針を示すサイバーセキュリティ戦略では、セキュリティ人材の育成を課題として掲げている[2][3]。

セキュリティ人材育成の取り組みとして、一部の大学や企業などではサイバーセキュリティの知識・技術を修得するため、専用のアプリケーションを用いたサイバー攻撃と防御を体験するサイバーレンジによる演習が実施されている[4][5]。

商用のサイバーレンジによる演習では、仮想環境に構築したネットワーク上で、サイバー攻撃を想定した防御技術を

体験学習できる。実際のマルウェアを用いるなど、現実起こり得るシナリオを利用して、役割に応じた組織的な対応方法を学ぶことができ、高い教育効果が期待できる[6][7]。

しかし、大学などの高等教育機関では、演習システムの導入コストの高さや演習環境の維持管理を行う人員の不足から、セキュリティ人材を育成するための教育環境の整備は進んでいない。

無償のセキュリティ演習ソフトウェアとして、WebGoatが公開されている[8][9]。WebGoatは、攻撃と防御の双方を体験学習する機能が不足し、攻撃手法の教育として用いるには不十分であったが、2017年に、WebGoatに攻撃演習環境を付加することを目的として、新たにWebWolfが公開された。これらのOSS(オープンソースソフトウェア)の演習ソフトウェアは、コスト負担なく実践的なセキュリティ人材の育成に資することが期待できる。

本稿では、2章で脆弱性診断演習ソフトウェアWebGoatおよびWebWolf演習の概要と攻撃側演習環境の必要性を概説し、3章でWebWolfの構成と機能、4章でWebWolf演習の事例を紹介する。5章では、高等教育機関のセキュリティ演習にWebWolfを活用することの有効性について検討する[10]。

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

2 WebGoat および WebWolf の概要

WebGoat は、OSS の脆弱性診断学習プログラムである。演習問題を通じて、Web アプリケーションの脆弱性の概要、検出および対策方法などを学習することができる。OWASP (Open Web Application Security Project) WebGoat Project に参画するセキュリティ専門家により開発、メンテナンスが行われている [11][12]。

OWASP は、Web アプリケーションのセキュリティに関する、普及啓発等を目的とする非営利の国際オープンコミュニティであり、OWASP WebGoat Project は、OWASP 内のプロジェクトの一つである。OWASP は、セキュリティに関連する多くの企業や組織、専門家から、Web アプリケーションの脆弱性に関する情報を幅広く収集、対応策を調査し公表している。

WebGoat の演習プログラムは、Docker コンテナと JAR ライブラリの 2 つの形式で公開されており、PC にインストールし容易に演習環境を構築することが可能である。WebGoat を用いることにより、OWASP が収集した最新の情報に基づいて専門家が選定した優先度の高いセキュリティ上の課題について、体系的に学習することができる。

2017 年発行以前の WebGoat は、防御側の視点からの静的な脆弱性診断演習が中心であり、攻撃手法を理解するための攻撃者の視点からの演習が必要であった。このため、2017 年 11 月の WebGoat バージョン 8 のリリースの際に、WebGoat から WebWolf が分離され、攻撃側の環境を模擬する別個のソフトウェアとして公開された。WebWolf と WebGoat を連携して演習環境を構成する。

表 1 に示すように、WebGoat は、12 の演習テーマ、70 の演習問題がある。演習者(学生)は、演習問題に解答することで脆弱性防御に関する知識・スキルを身につけることができる。

表 1: WebGoat 演習の概要

演習テーマ	演習数
1. Introduction	2
2.General	6
3.Injection Flaws	18
4.Authentication Flaws	9
5.Cross-Site Scripting	8
6. Access Control Flaws	7
7. Insecure Communication	1
8. Insecure Deserialization	1
9. Request Forgeries	6
10. Vulnerable Components	2
11. Client side	5
12. Challenges	5

WebWolf は、図 1 に示すように攻撃用ファイルの作成・アップロードや攻撃者・防御者とは別の第三のインターネット上の環境の使用など、攻撃者と防御者の行動を明確に区別する。

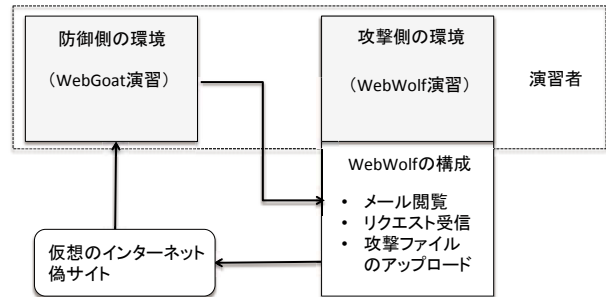


図 1: WebGoat と WebWolf の関係

3 WebWolf の構成と機能

3.1 WebWolf の構成

表 2 に示すように、WebWolf は、攻撃環境へのサインインする Home 画面のほか、WebGoat の演習問題を解答するための 3 つのサブシステムから構成される。

Home は、WebWolf 起動直後に表示される最初の画面であり、アカウントとパスワードを入力してサインインする。WebGoat と同一のアカウントを使用することにより、WebGoat と連動した演習を実施できる。

表 2: WebWolf のサブシステム機能の概要

サブシステム	機能
Files	攻撃者による Web 上へのファイルアップロードを模擬
Mailbox	攻撃者のメールクライアントを模擬
Incoming requests	攻撃者が取得した HTTP リクエストの表示

(1) Files

攻撃者が作成した脆弱性を悪用する攻撃用ファイルを演習環境にアップロードする。実際の攻撃で、例えばクロスサイト・リクエストフォージェリのために攻撃者が悪意ある Web サーバに攻撃手段を仕込むことなどを模擬する。

(2) Mailbox

攻撃者が使用するメールクライアントを模擬する。電子メールを利用したパスワードリセットに関する演習で用いる。

(3) Incoming requests

攻撃者が取得した HTTP リクエストを表示する機能を有する。他のツールを用いて WebGoat からの HTTP リクエスト

の宛先を WebWolf に改変することにより、リクエストの内容を確認する。

3.2 演習問題

表 3 は、WebWolf を使用する WebGoat の演習問題である。

2019 年 1 月以降の WebGoat のリリース状況は、下記の通りである。

- バージョン 8.0.0.M23(1 月 18 日更改)
- バージョン 8.0.0.M24(2 月 8 日更改)
- バージョン 8.0.0.M25(5 月 3 日更改)

上記に示すように更改の頻度は高い。

WebGoat の演習問題数は、v8.0.0.M25 の更改の際に 48 問から 70 問に増加するなど、OWASP が収集している最新のサイバーセキュリティ上の課題に対応している。

表 3 に示すとおり、WebWolf を使用する演習問題の数は、WebGoat の演習問題 70 問のうちの 9 問、機能の説明に関する演習問題を除くと 6 問となっており、現在も開発中である。

表 3: 演習問題と機能

演習問題	Files	Mail box	Incom . Req.
1.Introduction Your own mailbox		○	
2.Introduction Landing page			○
3.Injection Flaws Blind XXE assignment	○		○
4. Authentication Flaws Email functionality with WebWolf		○	
5. Authentication Flaws Creating the password reset link			○
6.Requests Forgeries Basic Get CSRF Exercise	○		
7. Requests Forgeries Post a review on someone else's behalf	○		
8.Requests Forgeries CSRF and content-type	○		
9.Requests Forgeries Login CSRF Attack	○		

4 WebWolf 演習の事例

WebWolf を使用する演習問題の例として、クロスサイト・リクエストフォージェリを扱った Post a review on someone else's behalf を取り上げる。

4.1 概要

クロスサイト・リクエストフォージェリの脆弱性により、掲示板にユーザの意図に反した投稿を行わせる演習である。

クロスサイト・リクエストフォージェリは、図 2 に示すように、偽造したリクエストのサイトを跨いだ送信を強要する攻撃手法である。例えば、攻撃者があらかじめインターネット上に攻撃用ファイルを配置し罠のリンクを設定、正規のウェブサイトログインしたユーザを誘導し罠のリンクをクリックさせ、ブラウザにユーザの意図しないリクエストを送信させるなどする。

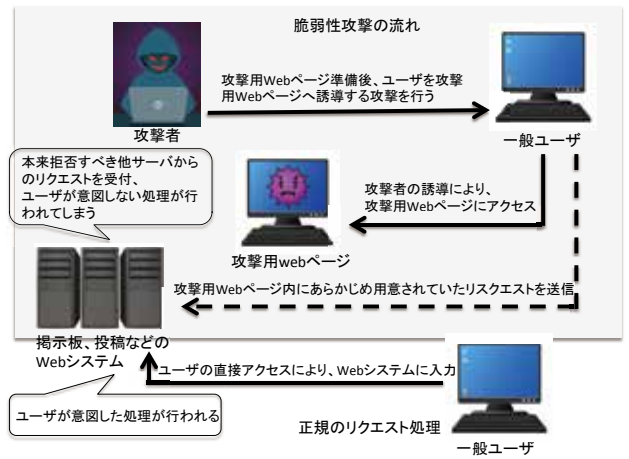


図 2: クロスサイト・リクエストフォージェリの概要

4.2 演習の構成

- WebGoat は、正規の掲示板の Web サーバおよびユーザが書き込みを行うブラウザの役割を担う。
- WebWolf は、攻撃者が攻撃用ファイルをアップロードする悪意ある Web サーバの役割を担う。
- WebGoat, WebWolf のほか、攻撃者は、現実の攻撃と同様に、OWASP ZAP などのペネトレーションツールおよびテキストエディタを用いて通信の傍受や攻撃ファイルの作成を行う。

4.3 演習シナリオ

①通信傍受

WebGoat 上の掲示板のフォームへの書き込みと同時に、ペネトレーションツールを使用し、ブラウザからのリクエストを確認する。当該演習の掲示板は、POST メソッドの HTTP リクエストメッセージボディにより、フォームに書き込んだ情報とユーザ固有の特定の値を引き渡す仕様になっている。

被害者による掲示板投稿の通信を攻撃者が傍受することを模擬している。

②攻撃ファイル作成

テキストエディタを用いて、クロスサイト・リクエストフォージェリ攻撃を行うための攻撃用 HTML ファイルを作成する。当

該 HTML ファイルを読み込むと①の投稿の際に使用されたユーザ固有の特定の値を窃用して偽の投稿を実行するよう、JavaScript を記載する。攻撃者が、攻撃用ファイルを作成することを模倣している。

③攻撃ファイルアップロード

WebWolf の Files を使用し、②で作成した HTML ファイルを保存する。攻撃者が悪意ある Web サーバに攻撃用 HTML ファイルをアップロードすることを模倣している。

④攻撃の実現

WebWolf の Files 画面に表示される「リンク」をクリックする。③で保存した HTML ファイルの JavaScript が実行され、攻撃者が用意した内容が投稿される。

ユーザの錯誤による罠リンクのクリックと、攻撃者のなりすましによるユーザの意図に反した掲示板書き込みを模倣している。

図 3 は演習の流れを示す。WebWolf は、攻撃者がインターネット空間上の攻撃用ファイルをアップロードする際の悪意ある Web サーバの役割を担っている。

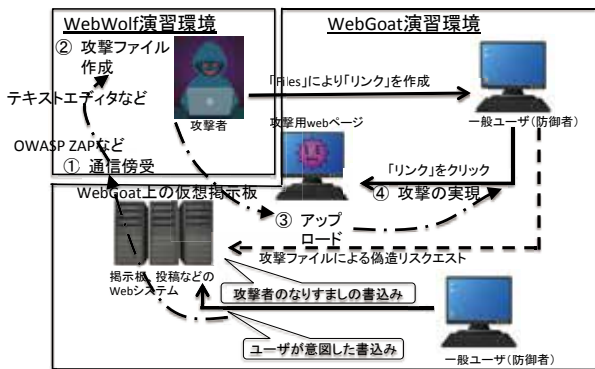


図 3: 演習の流れ(点線矢印)

攻撃者がファイルをアップロードする動作と、ユーザが誤ってリンクをクリックする動作を再現する際に使用される。

5 セキュリティ演習における WebWolf の有効性検討

高等教育機関において「コンマを削除」利用するセキュリティ演習プログラムは、導入・運営のコストが少ないことに加え、特に攻撃者の目線の理解を促すことに配慮し、十分な教育効果を発揮できることが求められる。具体的には以下の事項を満たす必要がある。

(1) 導入・運用コスト

導入・運用コストが高等教育機関における教育として実施するにあたり過大でないこと

(2) 攻撃と防御の役割分担

攻撃側・防御側の手順が整然と区別され、演習者が混乱なく理解できること

(3) 攻撃者の環境・手法の理解

現実の攻撃者の環境や手法について学ぶことができる。

(4) 演習環境の外部への影響

攻撃演習の影響が演習環境外部に及ぶことがないこと

WebWolf が高等教育期間の要求事項を満たすか以下に検討した。

(1) 導入・運用コスト

WebWolf および WebGoat の演習プログラムは、Docker コンテナと JAR ライブラリの 2 つの形式で公開されており、PC にインストールし容易に演習環境を構築することが可能である。商用のサイバー演習システムと比較して、導入、維持、管理のためのコストや専門人員確保の負担は少ない。

(2) 攻撃と防御の役割分担

バージョン 7 以前の WebGoat では、攻撃側と防御側の行動の区別が不明確であり、受講者に混乱が生じる場合があった。その解決のため、バージョン 8 では、WebGoat とは別の演習ソフトウェアとして攻撃者の環境を模倣する WebWolf が導入された。これにより、攻撃側と防御側の行動を受講者が明確に区別しながら学習することが可能になり、受講者の理解に資することとなった。

(3) 攻撃者の環境・手法の理解

サイバー攻撃と防御対策を学習するためには、攻撃者が用いる環境や手法について理解することが不可欠である。WebWolf は、攻撃者が使用するツールや脆弱性の悪用方法について、演習を通じ学習しやすい構成となっている。また、現実の攻撃者が複数の環境を利用して攻撃を実施していることも体験することができる。

(4) 演習環境の外部への影響

演習を実施する際には誤って演習環境外に攻撃を行うことがないように十分な注意が求められる。仮想環境上の WebWolf を用いることにより、攻撃は仮想環境の閉じたネットワークの内部に限られ、外部に影響を及ぼすことはない。インターネットから隔離された環境下で演習が完結するため、講習を実施する主催者及び受講生は安全に学習が実施できる。

6 おわりに

近年のサイバー攻撃の増加に伴い、セキュリティ人材の不足は深刻な状況にある。しかし、高価なサイバーレンジ演習を実施可能な高等教育機関は限られ、セキュリティ人材育成は進んでいない。高等教育機関に受け入れやすく、教育効果の高いセキュリティ演習プログラムが求められている。

本稿では、オープンソースのセキュリティ演習プログラム WebWolf の機能、構成や演習シナリオを調査し、高等教育機関のセキュリティ教育で使用するにあたっての有効性について考察した。その結果、WebWolf 演習は、導入・運用

のコストを要せずに攻撃側の演習環境が構築できることに加え、攻撃側の手順と防御側の手順が明確に区別されている。コスト、教育効果の両面から、WebWolf の有用性が認められた。

現在、開発中である WebWolf を利用する演習課題数は限られるが、今後演習コンテンツが拡充されれば、WebWolf による攻撃と防御を体験可能な演習環境を活用し、実践的なセキュリティ人材の効率的な育成が期待できる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K 19K03006 の助成を受けたものです

参考文献

- [1] 情報処理推進機構: 情報セキュリティ白書 2018, 2018 年 7 月.
- [2] 内閣サイバーセキュリティセンター: サイバーセキュリティ戦略, 2015 年 9 月
<https://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/cs-senryaku-kakugikettei.pdf>.
- [3] 経済産業省: IT 人材の最新動向と将来推計に関する調査結果, 2016 年 6 月
http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY/ITjinza_i_report_summary.pdf.
- [4] 情報通信研究機構: 平成 30 年度実践的サイバー防御演習「Cyder」の開催について
<https://www.nict.go.jp/press/2018/03/07-1.html>.
- [5] 中島滉介ほか: 「攻撃者目線」で学べるシステムセキュリティ実践的学習環境の提案, 日本ソフトウェア科学会 第 30 回大会, 2013 年 9 月.
- [6] 江連三香: サイバー攻撃に備えた実践的演習, 情報処理, Vol.55 No.7, 2014 年 7 月.
- [7] 株式会社ラック: 情報セキュリティの現状と動向について—サイバー演習の実施要領と演習事例—, 2015年, 2 月
- [8] 豊田真一, 瀬戸洋一ほか: エコシステムで構成するサイバー攻撃と防御演習システム CyExec, CSS2018, 2018.10
- [9] サイバーセキュリティ演習システム CyExec を用いた演習コンテンツの開発 SCIS2019, 2019.1
- [10] 牧宣彰, 瀬戸洋一ほか: 高等教育機関での利用を想定した WebWolf 演習コンテンツの調査分析, CSS2019
- [11] OWASP WebGoat Project:
<https://www.owasp.org/index.php/>
- [12] Category:OWASP_WebGoat_Project
ReleasesWebGoat/WebGoat
- <https://github.com/WebGoat/WebGoat/releases>

「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 —

小川 太輔*・大類 桂一*・北浦 なつみ*・胡 瑶霞*・楊 旭*・
近藤 嘉男*・内山 純*

Design Development of the “Partner Robot”

— Heartwarming robot concept approach —

Tasuke Ogawa*, Keiichi Ohrui*, Natsumi Kitaura*, Ko Youka*, Yang Xu*,

Yoshio Kondo* and Jun Uchiyama*

Abstract

In this article, one direction of the “Partner Robot” which assist humans in our daily lives will be studied. In the world where humans and robots coexist, there is a relationship between human emotion and the robot. Understanding this relationship, a concept of a robot with heartwarming interaction was developed. Based on this concept, several prototypes were developed.

One of the prototypes, a clock style heartwarming robot will be reviewed. This robot has the style of an analog clock which is seen in our everyday life and is aimed to provide comfortableness in our daily life.

Keywords: Partner Robot, heartwarming interaction, clock, comfortableness

1 はじめに

国内ロボット産業は製造分野において発展してきたが[1]、近年、非製造分野、特にサービス分野での発展は著しく、人々の日常生活支援を目的とする「パートナーロボット」[2]が関心を集めており[3]、掃除ロボット、ドローンなども一般家庭に普及しつつある。

本学創造技術専攻・内山プロジェクトチーム(以下、内山PT)・PBL(Project Based Learning)では、2016年より「人との共生を目指すパートナーロボットのデザイン」を仮説提案型PBLテーマとして掲げ、継続して取り組んでいる。異分野横断型学生と教員が共創し、「豊かな暮らし」実現を目指し、バックキャストिंगのアプローチにより、多様な「パートナーロボット」を提案し、学会や本学紀要、AIIT PBL プロジェクト成果発表会で成果を報告してきた[4-7]。

2019年度内山PTは、サラリーマン経験者の多い新メンバーにより、改めてバックキャストिंगのアプローチを行った。人とロボットが共存する世界には人間味あふれた人とロ

ボットの関係性があるとし、情緒的な面を加えた「ハートフルロボット」コンセプト(後述)の構築を試み、そのコンセプトに基づくプロダクト提案(仮説解の提案)を進めてきた。

本稿では著者らがアプローチの中で創出した「ハートフルロボット」コンセプトに基づく幾つかの仮説提案と、その一つである「時計型・ハートフルロボット」の動作試作について報告し今後の展開について述べる。

まず、次の2章において「ハートフルロボット」のコンセプトに至る背景と経緯を述べ、3章では著者らによる複数のプロダクト提案例を示す。4章では、その提案の一例として第37回日本ロボット学会学術講演会にて発表した「時計型ハートフルロボット:UHR-01」の開発について報告し[8]、5章でまとめと今後の展開について述べる。

2 「ハートフルロボット」コンセプト

未来の「人との共生を目指すパートナーロボット」のコンセプトを創出するにあたり、著者らが描く未来についての情報や体験を共有し、概念の視覚化を試みながら討議を重ねて

以下の一文を著者ら全員が共感するに至った。

「テクノロジーの進化は止まることなく、ロボットも歩みを同じにしている。しかし、その進化は人類に幸せをもたらすのだろうか？ドラえもんやベイマックスで描かれた未来はそんな殺伐とした世界ではない。「人」とは何か？そして「生きる」とは何か？そして「幸せ」とは？我々のプロジェクトはいたずらに進化を追うのではなく真価を追求する。」

メンバーでイメージマッピングを継続して行い、人と「真の」共生を目指すパートナーロボットとして、以下に述べる「ハートフルロボット」コンセプトを創出した。

2.1 「ハートフル」とは

「ハートフル」は心温まるなどを意味する和製英語であり、一般的に英語圏では、「Heartwarming」と表現される。著者らは改めて「ハートフル」という概念について、意識共有を行い、心踊る、心温まる、達成感、昂揚感、充実感、安らぎといったキーワードを抽出した。

さらに、人々が「ハートフル」と感じるにはどうすれば良いかを議論し、「生きがい」を持つことに強く関係しているのではないかと考えた。

2.2 「生きがい」の変遷

サラリーマンの生活と生きがいの変化(団塊の世代を追って)[9]によれば、1991年から2016年までの25年間におけるサラリーマンの「生きがい」について、「持っている」と答えた人の割合は1996年調査の78.4%をピークに一貫して減少し、2016年調査では初めて5割を切り、43.6%(前回比▲12.3%)まで低下しているという。

さらに、同報告によると、「生きがいは仕事」が32.5%から18.0%に減少、「ひとりで気ままにすごす」が7%から17.5%に増加し、心の安らぎや気晴らしを得られる場が「どこにもない」とする人も増えており、生きがいを得られる場は「仕事」から「家庭」に移る一方、「家族の理解・愛情」、「友人・仲間」との充足感も減少し、自ら他人との繋がりを求めない人も増えていと指摘している。

現代の日本では一人であることの価値観が高まり、心の安らぎの少なさから社会への閉塞感を感じている人が増え、「生きがい」を持っている人々が減少傾向にあるというこの報告は、サラリーマン経験者が多い著者らの実体験からも共感を覚える結果である。人々が日常的に「ハートフル」と感じるのが、「生きがい」を持つことに繋がるとして、それを支援する「パートナーロボット」のコンセプト構築を試みた。

2.3 「ハートフルロボット」コンセプト概要

「ハートフル」と感じるのが「生きがい」を持つことに繋がるのではないかと2.2節で述べたが、肉体的、精神的な安全や健康が脅かされている現代社会において、人々が「ハート

フル」な生き方を追い求めていくことが「生きがい」を持つことに繋がるという仮説は、著者らが目指す「人と共生するパートナーロボット」の一つの在り方を示唆するものであろう。

フィクションの世界では家庭内でロボットと共に生きる世界を描くことは多いが、現実是一般家庭内へのロボットの進出は未だ多いとは言えない。一方、センシング技術の発展は目覚ましく、ライフログの取得方法も多様になり、ヘルスケア分野での活躍が盛んとなっている。

著者らは、近い将来ライフセンシング技術がさらに発展し、容易かつ安全にライフログが取得できる未来社会が来ることを想定して、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」と呼び、そのコンセプト構築を試み、プロダクト提案を行う。

「ハートフルロボット」は日常生活に溶け込み、ライフログで繋がりをもち、心身の健康を生涯サポートするパートナーロボットであり、日常生活をより充実したものにすることを目的とする。

プロダクト提案を進めるにあたり、「ハートフルロボット」ユーザとして、将来の著者らを含む国内の平均的サラリーマンを想定した。また、2.2節から、「ハートフルロボット」が日常生活において「ユーザ自身と共感する存在」であるだけでも「ハートフル」な体験を促すのではないかと、この仮説を立てた。

つまり、ライフログからユーザの「心身の状態を可視化」することで、ユーザ自身が心身の状態を認識し、自己管理を促し、生活に「ゆとり」をもたらすことで、「ハートフル」な生き方を追い求めていくようになると仮定し、コンセプトの構築を試みた。

2.4 「ハートフルロボット」プロダクト提案

次章3章のプロダクト提案・展開は、将来的なライフログセンシング技術の発展により、様々な方法で安全にライフログの取得、活用が可能となり、ユーザの心身状態が把握できる未来を想定した提案である。

「心身の状態を可視化する」から「心の声を聴く」とし、耳に特徴を有する「ウサギ」から着想した初期の「ハートフルロボット」イメージを図1に示す。



図 1: 「ハートフルロボット」の初期イメージ

3 「ハートフルロボット」プロダクト提案・展開

本章では前章2章で述べたように「心身の状態を可視化」をする「ハートフルロボット」コンセプトの幾つかのプロダクト提案・展開例を示す。

ライフログからユーザの「心身の状態を可視化」し、ユーザ自身が心身の状態を認識し、これにより、自己管理を促し、生活に「ゆとり」をもたらすことに着目した展開である。

それぞれの提案は意匠的にユーザ自身に共感をする存在を目指した。

3.1 時計型 UHR-01

時計型 UHR-01 は、日常生活に既に存在する「時計」の形態をとることで時間の意識をユーザに持たせることを狙いとしている(図 2)。「ゆとりある時間を作る」ロボットである。

大きく配した電源アイコンの発光色によって心身の状態を可視化し、時刻を遅くさせたり、早めたりすることでユーザの生活に時間的な「ゆとり」をもたらすことを狙いとしている。本提案の詳細及び動作試作については次の4章で述べる。



図 2: 時計型(UHR-01) イメージ

3.2 鼓動表現型 UHR-02

鼓動表現型 UHR-02 は、ユーザの緊張や安堵といった心身の状態を、心臓をモチーフとした「ハートビートユニット」の収縮・膨張によって可視化し、ユーザに自身の状態を認識させることを狙いとしている(図 3)。「魅せる鼓動」と題した。



図 3: 鼓動表現型(UHR-02) イメージ

3.3 心拍図表示型 UHR-03

心拍図表示型 UHR-03 は、心拍図(心拍音付き)を表示させることで気づいていないストレスを視覚化し、ユーザに受けているストレスを意識させ、自己管理を促す。

「心の声を聴く」ウサギを模した初期イメージ(図1)から展開し、耳のモチーフを残した(図 4)。



図 4: 心拍表示型(UHR-03) イメージ

3.4 感情表現型 UHR-04

感情表現型 UHR-04 は、音楽視聴がユーザの感情に影響することに着目してヘッドセットを装着した頭部をモチーフとした。通常時は表情でのコミュニケーションを行い、音楽視

聴時は楽曲にあわせてイルミネーションが変化し、健康を状態測定時はユーザの心臓部をロボットにあて心電図データを表示することを想定している(図5)。



図5：感情表現型(UHR-04)イメージ

4 時計型 UHR-01 試作

3.1で提案した「時計型ハートフルロボットUHR-01」は、コンセプト策定後、動作試作を制作した。本章では、その詳細について述べる。

4.1 UHR-01 機能

UHR-01は、普段は時計として機能し、ユーザのライフログデータから表示時刻を意図的に変化させてユーザに生活の「ゆとり」をもたらす。例えば、休日のお出かけ前に時計の針を進め、面倒な準備を少し早く出来るように後押しする。

4.2 UHR-01 モード

UHR-01は、現時点で、Over Clock Mode, Under Clock Mode, Normal Clock Modeの3つのモードを想定しており、その詳細を以下に示す。

4.2.1 Over Clock Mode

休日の朝を想定利用シーンとしている。ユーザに出掛ける前の面倒な準備を少し早く出来るように後押しする。これにより出掛けることで得られる体験をより充実させ、よりハートフルな生活が出来るように促す。機能としては時計の針を早く進めることで時間が早く過ぎているように錯覚をさせる。同時に電源アイコンの色を赤で心拍に近い速度で明滅させる。これにはユーザの意識を向けさせること、急かされているようにユーザに感じさせることでユーザに行動を促す2点を意図している。

4.2.2 Under Clock Mode

Over Clock Modeにて出掛けた後の帰宅後を想定利用

シーンとしている。この時ユーザは高い充実感と共に疲労感を持って帰宅していると想定した。そのため、心を落ち着けると共に出掛けた体験の余韻に浸る環境を創出する。機能としては時計の針を遅く進めることでOver Clock Modeで進んだ時間を現実時間に戻していくと共に余韻に浸る時間を伸ばし、ゆっくりと休養を取れるようにする。電源アイコンは色を青で深呼吸に近い速度で明滅させる。このモードではユーザの意識を強く向けさせることは意図していない。深呼吸に近いリズムが自然と視界に入ることでの落ち着きに繋がることを意図している。

4.2.3 Normal Clock Mode

平日の出勤日を利用シーンとして想定している。出勤日は朝の出勤、夜の帰宅時共に正しい時間を見る必要がある。ビジネスをしていく上で正確な時間は必須であり、翌日の出勤時間から就寝時間を決めていく必要もある。これらの条件により、このNormal Clock Modeでは普通の時計として動作する。電源アイコンは緑とし、明滅はせず一定の明るさで光り続ける。この2つの動作によりユーザに対して普通の時計であると無意識下で錯覚をさせることを意図している。ユーザがこのロボットを時計であると認識すればするほどOver Clock Mode, Under Clock Modeの効果はより高いものとなると予測している。

4.3 UHR-01 構成

まず、システムの基本要素としてロボット、センサモジュール、リアルタイムデータベース、ステータス更新PCがある。センサモジュールによりライフログを取得し、その情報をデータベースへと書き込む。その情報はステータス更新PCにてロボットの動作データへと変換されデータベースへと書き込まれる。ロボットはその書き込まれた情報を参照し、動作を実行する。想定しているシステム概念図を図6に示す。今回試作したUHR-01はこの構成内のロボット部分のみである。

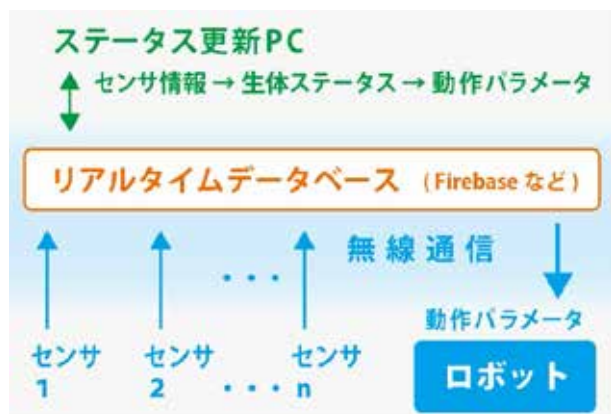


図6：UHR-01システム概念図

また、UHR-01 では起動時にデータベースから情報を取得し、その情報を元にモード変更のタイミングを制御することを想定している。

これらの機能を実際実装するための構成図を図7に、動作試作を図8に示す。



図 7: UHR-01 機構構成図



図 8: UHR-01 動作試作

針の動作には短針、長針それぞれにステッピングモータを割り当てている。そしてそれを同軸上に出力できるように歯車で接続し、ギアボックスを構成している。ステッピングモータを使用するに当たり、針の位置を取得するためにフォトリフレクタを採用した。電源アイコン部分にフルカラーLEDを配置することで光による表現を可能としている。

5 まとめ及び今後に向けて

本稿では著者らの言う「ハートフルロボット」について定義した上で、同コンセプトの幾つかの製品提案と、その一例として「時計型ハートフルロボット:UHR-01」の動作試作開発の経過について述べた。

今後、制作した動作試作 UHR-01 を用いて、コンセプトの検証を行っていく。3章で示した他の提案も動作試作にとり組みつつあるものもあり、相互に影響しながら並行して具体

性を増していくことになろう。各提案について、まだ十分コンセプトが練られているとは言い難いが、相互に影響しながら、「ハートフルロボット」のコンセプトを醸成していく。

本稿における幾つかの製品提案の一例として報告した時計型 UHR-01 は、前章4章で述べたように Google の Firebase などのリアルタイムデータベースの利用を想定している。

また、本学のように多様なスキルを有した異分野横断型学生チームによる開発手法として、デザイン手法を用いた仮説提案型問題解決は、実装段階の敷居を下げ、本質部分の研究がし易くなり、「未来のパートナーロボット開発」のような複雑な問題の解決手法として、有効な手段となり得ると言えよう。

2019年9月6日、第37回日本ロボット学会学術講演会 RSNP コンテスト 2019 において、「ライフログから心身の状態を可視化するロボット—パートナーロボット・コンセプト構築の試み—」として発表し、「ハートフルロボット」のコンセプト提案、および時計型 UHR-01 の製品提案および試作提示を行った[9]。発光しながら、デモとして倍速で指針が進む UHR-01 の様子は発表会場で関心を集め、奨励賞を受賞した。さらに、UHR-01 から 04 を統合・展開して、人の頭部に見立てた環の中に球体の「ハート」を配し、発光と環の回転動作によって、心身の状態を可視化する UHR-05 (図9)を検討しており、プロトタイプを2019国際ロボット展に展示予定である。「ハートフルロボット」コンセプトは、本年度の同展のテーマである「ロボットがつなぐ人に優しい社会」にふさわしいコンセプトであると確信する。



図 9: UHR-05 イメージ

動作試作の開発には、Autodesk 社 Fusion 360, 視覚化には、Luxion 社 KeyShot, Adobe 社 CCI, CS, アクチュエータやデバイスの制御にはオープンソースハードウェアの Arduino を使用している。ラピッドプロトタイプングには、Stratasys 社 Objet350 Connex2, MakerBot Replicator Z18, Universal 社 VLS.3.50 を使用した。

また、上記支援ツール・設備は、本学のカリキュラムやプロ

トタイピング指導にも適宜使用され、本学創造技術専攻における感性と機能を融合したデザインエンジニア育成の実践的課題の取組みに活用される。イノベーティブなコンセプト構築検証の場ともなっており、今年度は直近の活用状況をフィールドバックして最新の設備への更新を行ったことを記しておきたい。

6 おわりに

専門の異なる学生有志が、本学創造技術専攻・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4年目となる。構成要素、機能・情報を絞り込むアプローチから啓発された展開として、表情(顔)、仕草(腕)に着目しコンセプト構築を試み、「足の仕草」に着目したパートナーロボットロボット UCR-02 [7]を開発した。

UCR-02 は、今年度の本学情報アーキテクト専攻・成田 PT・PBL にも活用され「乳幼児の安全確保と保育士の労働負担軽減」として発表、第 37 回日本ロボット学会 RSNP コンテスト 2019 での優秀賞を受賞した[10]。また、「パートナーロボットの開発研究一足の仕草に着目したロボット」[11]では「出力」に特化し小型化した UCR-02s を開発するなど、広がりを見せている。

「足の仕草」に着目したパートナーロボット UCR-02 と同様、本稿で報告した「ハートフルロボット」コンセプトや、同コンセプトに基づく幾つかの提案によって、パートナーロボット開発の新たな切り口を見出すきっかけとなることを期待したい。

研究スタート当初より「人との共生を目指すパートナーロボット」の方向性などについて、本学情報アーキテクト専攻・成田雅彦先生、東京通信大学・土屋陽介先生から多くの励ましや助言をいただいた。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.192, 2015
- [2] 総務省, 平成 27 年版通信情報白書, pp.191-198, 2015
- [3] 経済産業省, ロボット産業市場動向調査結果, 2013
- [4] 角田善彦, 上林昭, 高橋和章, 小野敬士, 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ー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
- [5] 内山純, 角田善彦, 小野敬士, 山田涼馬, 石丸亜矢子, 上林昭, 高橋和章, “Companion Robot”構築における 操作系処理 (ユーザーロボットコミュニケーション)での RSNP 適用, 第 34 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1R2-02, 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」の開発研究ー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」の開発研究ー一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] 菅谷和宏, サラリーマンの生活と生きがいの変化(団塊の世代を追って):第 1 回～第 6 回『サラリーマンの生活と生きがいに関する調査』の調査結果 WEB Journal『年金研究』No. 07, pp. 8-9, 2017
- [9] 小川太輔, 大類桂一, 北浦なつみ, 胡瑤霞, 楊旭, 内山純, ライフログから心身の状態を可視化するロボット, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J2-06, 2019
- [10] 勝間田賀章, 兼光有沙, 指山喜伎, 菅原清, 方進敏, 三好哲也, 内山純, 成田雅彦, 乳幼児の安全確保と保育士の労働負担軽減, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J2-05, 2019
- [11] 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一足の仕草に着目したロボットー, 第 37 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J1-05, 2019

Social Value and Timeliness Aware Splitting Scheme for Multi-copy Routing in Mobile Opportunistic Network

Chaofeng ZHANG*

Recently, opportunistic networks have attracted attention from multi-hop ad hoc networks. Previous studies concentrate on dynamically computing the next hop from candidates to improve the capacity and robustness of the opportunistic networks. However, the constantly changing of message value, communication cost and social benefits are not jointly considered in previous studies. Hence, we propose an optimized scheme for message delivering in opportunistic networks. Firstly, we state our social network-based splitting optimization problem which gives more attention to the social value of messages. Besides, we design a social optimization copy splitting algorithm (SOCS) to guarantee the lower expected delay and higher message delivering ratio. Finally, the extensive simulations show that our SOCS algorithm using an enhanced routing scheme and social network relationship can improve the performance of message delivering in the opportunistic network.

Keywords—Social Network, Opportunistic Network, Mobile Network, Network Forwarding, D2D Communication.

I. Introduction

In the last few years, opportunistic networks have attracted attention from multihop wireless networks by their robustness and flexibility. Initially, by the demand for battlefield communications and disaster communication, the opportunistic networks are suitable for disconnecting situations. Nodes in opportunistic networks need plenty of time to exchange messages in a multihop way. The mobility of nodes creates disconnection, but it brings new opportunities for exchanging messages with others. These nodes in the real environment are mainly human beings who may form as social networks. The mobile opportunistic networks combine benefits from both social networks and mobile networks, which improves the efficiency, robustness, and capability of the traditional mobile networks.

Different from a well-structured path in wireless networks, an end-to-end link in the opportunistic network is not guaranteed. Instead, source or destination nodes are allowed to exchange messages with a cost of additional delay and additional buffer in the path. This cost depends on users' characteristics such as movement patterns, social interactions, transmission capability and so on. Sometimes, these characteristics of the real social network nodes may impact on the widely usage in real applications. Therefore, by dynamically computing the next hop from a set of candidates, previous works find the opportunity to significantly improve capacity, robustness, and QoE expectations. Recently, researchers have studied schemes to provide a better trade-off between the delivery delay and cost [1] [2]. Human-centered or geographical topology schemes are considered to approach a better opportunity for delivery [3] [4]. In the literature, multiple opportunistic mobile social network architectures are proposed [5] [6] [7]. They consider different social aspects of users to build the network and improve the quality of delivery. Community [8], centrality [9], and personality [10] are considered as

important roles in the routing, which truly improves the performance.

However, many limitations prevent the real deployment of mobile opportunistic routing, such as validation of content, energy resource or disconnections [11] [12]. Normally, we consider mobile nodes in opportunistic networks are charged and the storage space is pre-set. Before delivering messages, each node has to consider these limitations. Usually, larger data transfer nodes in the network also have a higher possibility to become energy exhaustion. Like the cluster nodes chosen by social communities, they quickly turn to sleep and lead to a higher rate of package loss. Therefore, we add home spots with unlimited power and storage space to act as these cluster nodes, which could increase the QoE expectation. Traditionally, for simply evaluating the performance, messages have fixed common value. In our research, we consider each message has different values that according to its content and timeliness. Normally, the message's importance and timeliness are roughly set as constraints in works like [13], which could not embody the message's true value in rescue operations or emergency evacuations. Our proposed work takes these limitations into account to improve the QoE in a real usage opportunistic network, where messages present diverse values.

In this paper, we propose an optimized scheme for message delivery in an opportunistic network-facing with the constantly changing of message value, which is focused on the trade-off between the cost of delivering and the social benefit. We put our scheme in a scenario that there are social network-connected mobile nodes with limited energy resources and immovable home spots, where they exchange messages without a direct path. Then, we define the message social value to indicate the importance of each message and state our social network-based splitting optimization problem given more attention to the message's importance of social connections. Also, we design an optimization algorithm to guarantee the lower expected delay and higher message receiving values.

II. System Model

In this section, we discuss the realization of architecture and scenario using the opportunistic network.

Received on September 16, 2019.

* Advanced Institute of Industrial Technology.

* E-mail: zhang-chaofeng@aait.ac.jp

Then, we describe the movement and communication pattern for mobile nodes and home spots.

A. Architecture and Scenario

In the hybrid architecture of our work, several technologies can be adopted here for supporting the message exchange of mobile nodes and home spots. They transfer messages using advanced technologies, such as Wi-Fi links [14], which is a potential and adaptable application embedded in mobile devices to realize point-to-point communications. It provides reliable links for various file transmissions and the capability of various mobile devices within 40 meters. Through Wi-Fi links, the created copies can be either stored in a mobile node or a home spot: The Wi-Fi links have the service of Bundle Cache in mobile nodes for solving the problem of various types of files; The home spots are usually used as an information transfer station which contains large storage and unlimited power. The architecture of hybrid opportunistic networks we proposed here applies with a virtual throw-box in home spot areas [15]. The existing works about the throw-box solution are mainly improving the overall capacity and delay in the network, while these physical devices are set up in home spots to help the flood routing.

In a scenario of mobile network cooperative routing, we consider there is a set $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$ of mobile nodes who participate in this network. They form an ad hoc network through smart devices for sending messages among themselves. Then, we consider a square area, where m home spots are in it. The set of home spots $M = \{1, 2, 3, \dots, m\}$ is used for the storage and distribution of message copies created by user nodes. In this area, we assume n user nodes are walking around while home spots are totally static. When user nodes walk into the communication area of home spots, they will communicate with home spots and exchange messages. The target node can get different message copies from either user nodes or home spots.

In Fig. 1, there is an example of how social network users transmit their messages through the opportunistic network. A user node (n_1) needs to send a message to its friend node (noted as n_2). However, the distance is out of communication range, which makes it hard to find an efficient way of transferring this message immediately. In such an occasion, our proposed scheme is aiming at searching for low delay and low-cost links to help node (n_2) get this message. Firstly, the user node (n_1) sends its message to the nearby nodes who tend to enter a home spot area. Then, this message continues to be copied and distributed among the user nodes and home spots which may forward in the right direction. After several hops, the target node finally gets one copy within an acceptable delay.

B. Movement and Communication Pattern

Under the above architecture, firstly we focus on the description how mobile nodes encounter with other mobile nodes or home spots. Here we define an expected encountering time for arbitrary two nodes as npd , which refers to a probability distribution for a

pair of nodes' encounter [16]. Besides, for describing a mobile node reaching a home spot area, we define another probability distribution for this movement as hpd . Based on the previous studies, we consider these distributions follow the common exponential distribution. Therefore, we have the encountering distribution in t time from now as

$$npd(t) = \nu e^{-\nu t} \quad (1)$$

$$hpd(t) = \mu e^{-\mu t} \quad (2)$$

where the ν and μ refers to the rate parameter of time interval that an encounter happens. Given a trace history of a mobile node when it encounters with another node as $(t_1, t_2, t_3, \dots, t_z)$. Then, we have the maximum likelihood estimation for the ν and μ under the exponential distribution as

$$\hat{\nu} = \frac{z}{\sum_{i=1}^z t_i - t_{i-1}} \quad (3)$$

where z is the number of encountering times. We also can obtain the maximum likelihood of the trace history for a mobile node encountering a home spot as $\hat{\mu}$, which is similar with the Eq. 3. Next, we consider a binary parameter $X_{ij}^t = 1$ to indicate mobile node i encounters with node j within time t . The starting time noted as t_0 and we have the probability for mobile node i encountering node j within time t as

$$\begin{aligned} P\{X_{ij}^t = 1 | X_{ij}^{t_0} = 0\} &= \frac{P\{X_{ij}^t = 1 \cap X_{ij}^{t_0} = 0\}}{P\{X_{ij}^{t_0} = 0\}} \\ &= \int_{t_0}^{t-t_0} npd(t) \\ &= \int_0^{t-t_0} \nu e^{-\nu t} dt \end{aligned} \quad (4)$$

Using the cumulative distribution of exponential function, we have the probability of an encounter either for mobile node or home spot as

$$\begin{aligned} P\{X_{ij}^t = 1 | X_{ij}^{t_0} = 0\} &= \begin{cases} 1 - e^{-\nu(t-t_0)} & \text{if } j \text{ is mobile node} \\ 1 - e^{-\mu(t-t_0)} & \text{if } j \text{ is home spot} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

After formulating the movement pattern, we discuss the forwarding pattern. We focus on how many copies we need to get a well-balanced tradeoff between delivery delay and energy consumption. Conventionally, there are several different distribution methods that discuss the predefined number of copies for each message. One general way [17] is that the message creator generates a fixed number of copies depending on the network characteristic. Then it splits these copies equally during a node handshake. Another flooding scheme sacrifices other nodes' energy for a lower delay, but it creates a large number of useless copies that take up the storage space when safety is not considered either. For simplification, we deal a scenario with a fixed F copies for each message $C_x = \{i, j\}$ which indicates the only message x created by node i and its target is j . Under this assumption, we achieve the optimization goals of this mobile opportunistic network in the next:

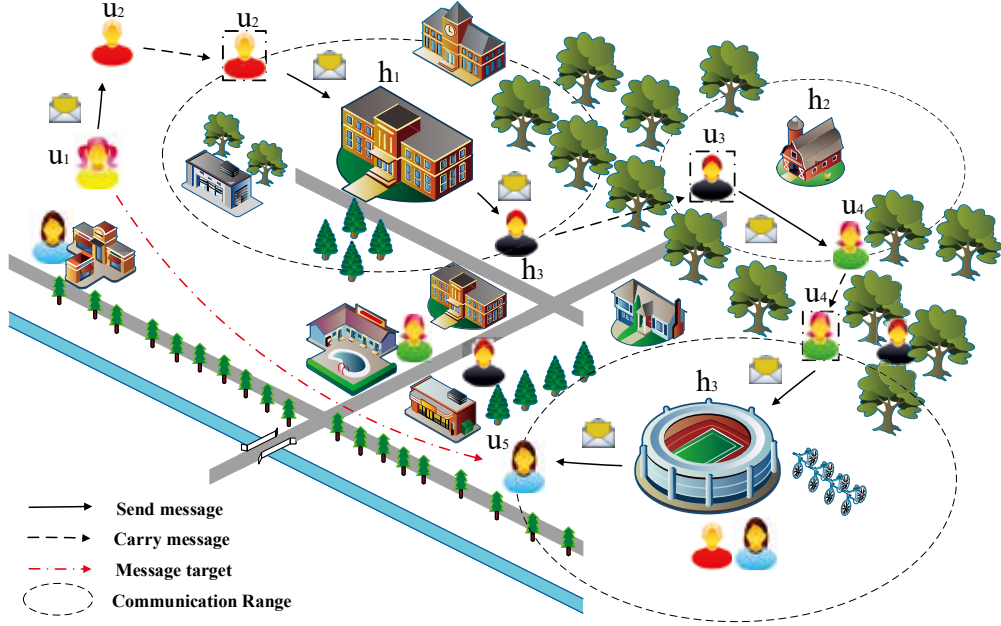


Fig. 1. Social network users transmit messages in mobile opportunistic networks

- 1) Formulate a function that quantizes the constantly changing value and importance of each message.
- 2) Develop a reasonable splitting algorithm for occasions that one node encounters with another, and it can optimize the delay of this network.
- 3) Prove the optimality of the proposed flooding rules and algorithms in this unique scenario.

III. Social Network Based Splitting Scheme

In this section, we describe the basic rules for message splitting. Then, we achieve the above goals step by step.

A. Variable Message Value

In conventional researches, one of the main problems is the block of a smooth relay link. Except for common objective reasons like bad wireless communication conditional or different forward motion, users are not always willing to participate in such a selfless network because of limited energy consumption and storage space. Another problem is finding an efficient way to guide the copies through hybrid networks. Traditional copy splitting methods only consider the mentioned simple ways to improve the delivery probability, while ignoring inherent network demands like message importance (e.g. rescue instruction), trustworthiness (e.g. close relationship) and willingness (e.g. more common friends). Therefore, in this section, we introduce a social utility optimization routing algorithm to calculate an efficient routing scheme which achieves the overall lower delay and higher QoE in this network.

In the proposed scenario, when a copy is being transmitted in the network, it has an inherent value for the target node. We design a value that refers to the personal importance between the creator and target, which indicates the importance of this message. Besides, the importance of a message also depends

on whether it can reach in time, and the designed value should be timeliness aware. Therefore, to emphasize the importance of the message in the opportunistic network, we design social message importance (SMI) metric to indicate the message quality in the process of message forwarding, where we have

$$SMI_x(t) = Q \cdot r_{i,j} \cdot R_{i,j} \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (6)$$

where $r_{i,j}$ indicates the frequency that node i encounters with node j , and $R_{i,j}$ indicates the transmission strength of their friends between the creator and the target, which we introduce it later. α is an adjustable parameter which refers to the value attenuation by the different emergency situations. Q is to indicate the message importance standard defined by the network. For example, in a rescue mission, the commander uses Q_1 , the rescue team uses Q_2 and the local families use Q_3 , and we have $Q_3 > Q_2 > Q_1$.

The frequency $r_{i,j}$ in Eq. 6 is an elastic function which can be formulated under previous works like [18]. It is used to describe how closed this pair of nodes are. Especially in emergency and resource limited situations, the nodes always tend to use limited resource to contact with their closest people, to confirm safety or convey action instructions. Here, we collect a group of users who live in the same area and encounter with each other occasionally. We use the method in Eq. 3 to roughly estimate the frequency. $R_{i,j}$ is to indicate the strength of 'common friends' in this opportunistic network, and more common friends represent stronger information collection ability, which leads to higher message importance. Therefore, we have

$$r_{i,j} = \beta_1 \hat{v}_{i,j} \quad \text{where } i \neq j \quad (7)$$

$$R_{i,j} = \beta_2 \sqrt{\sum_{k \in N} \hat{v}_{i,k} \hat{v}_{j,k}} \quad \text{where } i \neq j \neq k \quad (8)$$

where β_1 and β_2 are adjustable parameters, in order to balance the weight of $r_{i,j}$ and $R_{i,j}$ meeting different

environment demands (e.g. group cooperative action or high forwarding degree of participation).

We define $R_{i,j}$ to indicate the strength of two users' relationships based on the number of mutual friends in their social network [19]. Since mutual friends are the same to both sides of users, we have the inference here,

$$R_{i,j} = R_{j,i} \quad \text{where} \quad i \neq j \quad (9)$$

In the process of message transmission, we need to describe the value of copies after each exchange. Therefore, we use the overall expected message social value (MSV) to indicate the expected value of message from node i to node j in time interval t , which can be calculated as:

$$\overline{MSV}_{ij} = \sum_{k \in N} F_x^k \cdot \int_t^\infty SMI_x \cdot P\{X_{kj}^t = 1 | X_{kj}^{t_0} = 0\} dt \quad (10)$$

where F_x^k indicate whether there are message copies from node i to j held by node k , and $F_x^k = 0$ means no this message's copy in node k . Without loss of generality, we use the message holding proportion $f_x^k \in [0, 1]$ to indicate the proportion number of copies held by node k , therefore, we have $F_x^k = 1$ if $f_x^k > 0$.

The expected message social value is the overall expectation of social message importance for the message from i to j . The different expected values held by node k also show how much numerical value can gain if k meets the target node immediately. This MSV will decrease over time since SMI is a monotone decreasing function without any splitting operation. But finding a node with a higher probability of encountering the target node will increase the MSV since it can achieve higher SMI.

Next, we define the integrated expected message social value MSV_x^{ik} held by node k as the value after exchange. For testing whether it is worth for exchanging, we define the exchanging social network profit ESP here

$$ESP_{k,l} = (\overline{MSV}_x^{ik} + \overline{MSV}_x^{il}) - (\overline{MSV}_x^k + \overline{MSV}_x^l) - Cost \quad (11)$$

where we use $(k,l) \in K$ to record each split as a set K . If $ESP > 0$, the message exchange is permitted, then this pair of nodes finishes the splitting operation of message [20]. If $ESP < 0$, there is no worth for exchanging operation due to the lower MSV , which refers to higher delay and useless energy cost.

B. Problem Statement

This multi-copy routing problem can be described as following: Given several social and timeless aware messages created by n users in different time slots, we design an optimization forwarding scheme that these messages reach their target as soon as possible with limited copies, and the overall message value in this opportunistic network is optimal.

Then, we state the overall social network based splitting optimization problem as

$$\max \quad U = \sum_{i,j \in N} SMI_{ij}(t_i) \quad t \in T_e \quad (12)$$

where T_e the set of time records that messages reach their destination. In order to solve the convex optimization problem, the forwarding scheme should maximize the overall value of U .

Before each individual's final message reaches the target, under the best condition, the copies allocated at the network hold the highest joint probability to approach the target. Therefore, to maximize U , we can transform the optimization problem into creating the transmission environment that has the highest probability to reach the target in each time t , where we have

$$\max \quad \bar{U} = \sum_{t \in T} \bar{U}_t = \sum_{i,j \in N} \overline{MSV}_{ij} \quad (13)$$

Notice that this optimization problem no need to change or stop the forwarding scheme after one copy reaching the target, since each message's value is a monotone decline function and they are deleted if low enough (e.g. set a threshold of 0.5% of the original value.)

Next, we design a social optimization copy splitting algorithm to solve this problem.

C. Social Optimization Copy Splitting Algorithm

When encountering another node, we need a suitable scheme to split copies, which could improve the delivery ratio. Before splitting, the two nodes should identify themselves and share the basic information such as the number and category of different copies. Then they confirm whether copy exchange is needed based on the four rules above. Next, they should make sure the benefit of this exchange when considering the trade-off between SMI and cost. The number of copies transferred from one node to another is described by the scheme, which can maximize the MSV in Eq. 10. Therefore, the splitting method needs to make sure even if a part of nodes moves to wrong areas or directions, the other nodes hold these copies still can reach the target.

Since the total number of copies in an exchange operation is fixed, we only need to distribute these copies by an appropriate proportion. Let ϕ_{ij}^k presents the proportion of total number of copies node k holds, in one exchange operation for a message from i to j we have,

$$\phi_{ij}^k + \phi_{ij}^l = \phi_{ij}^{k'} + \phi_{ij}^{l'} \quad (14)$$

where $\phi_{ij}^{k'}$ presents the proportion of the total number of copies node k_i holds after the exchange.

As mentioned above, the copyholders have more common friends with the target node that are more suitable to help transfer this message. Therefore, it is reasonable that nodes that have a relatively stronger social network relationship will hold more copies. Here we use $R_{k,j}$ to indicate the transmission relationship between a node k and target j . For calculating proportion ϕ' after exchanging, we have

$$\phi_{ij}^{k'} = \frac{r_{k,j}}{r_{k,j} + r_{l,j}} \cdot (\phi_{ij}^k + \phi_{ij}^l) \quad (15)$$

$$\phi_{ij}^{l'} = \frac{r_{l,j}}{r_{k,j} + r_{l,j}} \cdot (\phi_{ij}^k + \phi_{ij}^l) \quad (16)$$

where new proportion has a linear connection with the strength of a social network relationship between these two mobile nodes.

Algorithm 1 Social Optimization Copy Splitting Algorithm

Input: Array of mobile nodes N , home spots array M .

Output: New copy exchanged array of mobile nodes

```

1: function CopySplitting(Array  $N$ ,  $M$ )
2:   for  $N[i] \leftarrow 1; i \leq n; i++$  do
3:     if  $Distance(N[i], TargetNode) \leq Range$ 
4:       then
5:         node  $i$  sends one copy to  $TargetNode$ 
6:         continue
7:       end if
8:       if  $Distance(N[i], TargetNode) \leq Range$ 
9:         and  $ESP(N[i], N[k]) \geq 0$  then
10:         $\phi = Splitting(N[n], N[k])$ 
11:         $N'[n] \leftarrow \phi \cdot (N[n] + N[k])$ 
12:         $N'[k] \leftarrow (1 - \phi) \cdot (N[n] + N[k])$ 
13:      end if
14:      if  $M[j]$  within  $WiFiRange$  exists then
15:         $M'[j] \leftarrow M[j] + N[i]$ 
16:         $N'[i] \leftarrow 0$ 
17:        if  $M'[j] \geq 1$  then
18:           $M'[j] --; N'[i] ++$ 
19:        end if
20:      end if
21:    end for
22:  return  $N'$  and  $M'$ 
23: end function

```

Next, we describe the process of our proposed social optimization copy splitting algorithm. In algorithm 1, the pseudo-code details how the nodes encounter with other and exchange copies in different scenes.

There are two kinds of encounters when a node meets another node. Line 3-6 is the situation that meets a target directly and Step 7-11 is a normal splitting if the ESP is no-negative. Notice that the function $Splitting(N[n], N[k])$ is for calculating the proportion of ϕ of each node based on the social network relationship.

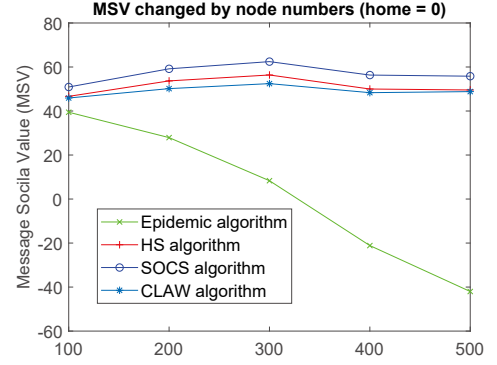
Besides, there are also two kinds of encounters when a mobile node meets a home spot. Step 12-17 describe these two situations. The main idea for a home spot's encounter is that a spot will collect all the copies within the communication range's nodes and distribute one copy to each mobile node but still keep at least one copy in the throwing box for target's entering.

IV. Simulation

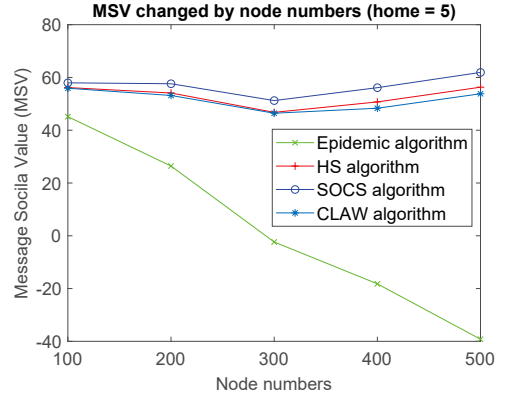
In this part, we present the experiment to evaluate the performance of our proposed SOCS algorithm. First, we introduce two classical algorithms for comparison then discuss the setting of this platform. Next, we discuss the performance of each numerical result.

A. Algorithms for Comparison

In this paper, the setting of this model is based on probabilistic opportunistic routing, and there is no historical data in this opportunistic network. Therefore,



(a) MSV changed by the number of nodes (no home spot)



(b) MSV changed by the number of nodes (5 home spots)

Fig. 2. Performance of three algorithms by different number of homes

we only apply algorithms that need zero-knowledge in this network. Here, the Homing Spread algorithm [17], CLAW algorithm and Epidemic algorithm [21] are introduced here, which all can be applied in this platform.

Similar to SOCS, these three algorithms for comparison all use more than one copy. If a source node decides to send a message, we assume SOCS, CLAW and Homing Spread algorithm will create a fixed number of copies. The difference between the Homing Spread algorithm and the Epidemic algorithm is that the number of copies among the whole network is fixed in Homing Spread but in the Epidemic algorithm the number of copies is unlimited. The Homing Spread uses a binary scheme to split copies when our proposed algorithm splits copies depending on the rate of social network relationship importance. The strategy of CLAW uses the weight of distance instead of encountering probability, which selects the right direction rather than the right node.

B. Platform and Simulation Data

A widely used Time-Variant Community Model (TVCM) is introduced here for our simulations. The number of nodes changes from 100 to 500 in a small grid map. Each node wanders in this map and encounters with other nodes when they are in the same grid, similar to [17]. We organize the probability of

meeting with each other selected using the real trace as the parameter $\nu = [0.0001, 0.005]$. The number of homes is selected from 0 to 20. The probability for one node entering a home spot is leaned as the parameter μ from 0.01 to 0.04. More than 50 messages * 20 copies generate at the first time, where the source nodes and target nodes are randomly selected. All the results are run by more than 20 times and then we take the average.

C. Result Analysis

We evaluate three algorithms in the simulation part and divide the results into three groups using different parameters. In the first set of simulations, we change the number of homes from 0 to 20 to discuss the importance of home spot in our opportunistic network. Both message social value (MSV) and the delivery delay are tested in the examination. In Fig. 2(a), there is a pure opportunistic network only existing mobile nodes. We assume there are 50 messages created by different source nodes. Each of the source nodes holds 20 copies and splits them following the rule of the three algorithms. The parameter α in social message importance (SMI) is set as 0.01. The unit for balancing the cost and the strength of the relationship is tested within an acceptable range, which we discuss later. In Fig. 2(b), it shows an opportunistic network only holds mobile nodes. In this case, the message social value (MSV) of our proposed algorithm and Homing Spread algorithm keep at a balanced level. From the other simulation in Fig. 2, we find that the MSV shows a higher number when the number of nodes goes to 300. If the density of nodes is lower, it will slow down the message transmission speed which refers to a lower of SMI when finding the target; If the density of nodes is higher, we consider the message can reach the target node more quickly but it takes more times for splitting. Our proposed algorithm is better than the Homing Spreading algorithm since our algorithm takes a message's social network importance into consideration. The Epidemic algorithm goes lower significantly since it costs too much to split copies. When the number of homes changes from 5 to 20, the message social value does not change too much by the change of nodes. However, with the increase in home density or node density, we can observe that the delivery delay decreases significantly. The lower delivery delay brings a better performance of SMI, which leads to a higher total MSV.

V. Conclusion

In this paper, we study a social network based routing problem in the opportunistic network which contains several static home spots. We discuss the importance of time and social network relationships for each message to propose a no-history trace-based algorithm called Social Optimization Copy Splitting algorithm (SOCS). This SOCS combines the nodes' movement pattern with homes' spreading when a social importance value is defined to indicate the performance of the network. The analysis shows that the performance of our SOCS algorithm is optimized for relaying and the optimality is no worse than

other copy limited algorithms. It also shows that our SOCS algorithm improves the performance of the opportunistic network significantly when considering time and social values.

References

- [1] N. Kayastha, D. Niyato, P. Wang, and E. Hossain, "Applications, architectures, and protocol design issues for mobile social networks: A survey," in Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 12, pp. 2130–2158, 2011.
- [2] F. Li and J. Wu, "Localcom: a community-based epidemic forwarding scheme in disruption-tolerant networks," in Proceedings of 6th Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks, 2009. SECON'09., pp. 1–9, IEEE, 2009.
- [3] X. Fu, W. Li, and G. Fortino, "A utility-oriented routing algorithm for community based opportunistic networks," in Proceedings of the 2013 IEEE 17th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD), pp. 675–680, June 2013.
- [4] M. A. Alim, X. Li, N. P. Nguyen, M. T. Thai, and A. Helal, "Structural vulnerability assessment of community-based routing in opportunistic networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 15, pp. 3156–3170, Dec 2016.
- [5] B. Guo, D. Zhang, Z. Yu, X. Zhou, and Z. Zhou, "Enhancing spontaneous interaction in opportunistic mobile social networks," Journal of Communications in Mobile Computing, vol. 1, no. 1, p. 6, 2012.
- [6] V. Arnaboldi, M. Conti, and F. Delmastro, "Cameo: A novel context-aware middleware for opportunistic mobile social networks," Journal of Pervasive and Mobile Computing, vol. 11, pp. 148–167, 2014.
- [7] X. Wang, M. Chen, Z. Han, D. O. Wu, and T. T. Kwon, "Toss: Traffic offloading by social network service-based opportunistic sharing in mobile social networks," in Proceedings IEEE INFOCOM 2014, pp. 2346–2354, 2014.
- [8] E. Bulut and B. K. Szymanski, "Exploiting friendship relations for efficient routing in mobile social networks," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 23, pp. 2254–2265, Dec 2012.
- [9] E. M. Daly and M. Haahr, "Social network analysis for information flow in disconnected delay-tolerant manets," IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 8, no. 5, pp. 606–621, 2009.
- [10] M. Xiao, J. Wu, and L. Huang, "Community-aware opportunistic routing in mobile social networks," IEEE Transactions on Computers, vol. 63, no. 7, pp. 1682–1695, 2014.
- [11] H. Zhou, H. Zheng, J. Wu, and J. Chen, "Energy-efficient contact probing in opportunistic mobile networks," in Proceedings of 22nd International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN 2013), pp. 1–7, July 2013.
- [12] C. Chilipirea, A. C. Petre, and C. Dobre, "Energy-aware social-based routing in opportunistic networks," in Proceedings of 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp. 791–796, March 2013.
- [13] N. Chakchouk, "A survey on opportunistic routing in wireless communication networks," IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 17, pp. 2214–2241, Fourthquarter 2015.
- [14] G. D. Ntouni, A. S. Lioumpas, and K. S. Nikita, "Reliable and energy-efficient communications for wireless biomedical implant systems," IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, vol. 18, pp. 1848–1856, Nov 2014.
- [15] M. Ibrahim, P. Nain, and I. Carreras, "Analysis of relay protocols for throwbox-equipped dtms," in Proceedings of 7th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks 2009, pp. 1–9, June 2009.

- [16] S. Xia, Z. J. Cheng, C. Wang, and Y. F. Peng, "A deliver probability routing for delay tolerant networks (dtn)," in Proceedings of 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network, pp. 407–410, Dec 2014.
- [17] J. Wu, M. Xiao, and L. Huang, "Homing spread: Community home-based multi-copy routing in mobile social networks," in 2013 Proceedings IEEE INFOCOM, pp. 2319–2327, April 2013.
- [18] C. Zhang, K. Ota, and M. Dong, "Cooperative positioning optimization in mobile social networks," in Proceedings of 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), pp. 1–5, Sept 2016.
- [19] C. Zhang, M. Dong, K. Ota, and M. Guo, "A social-network-optimized taxi-sharing service," *IT Professional*, vol. 18, pp. 34–40, July 2016.
- [20] L. Gao, G. Iosifidis, J. Huang, and L. Tassiulas, "Hybrid data pricing for network-assisted user-provided connectivity," in Proceedings of IEEE INFOCOM 2014, pp. 682–690, April 2014.
- [21] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks," in Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, pp. 252–259, ACM, 2005.

産業技術大学院大学における屋外用自律移動ロボットの開発

大久保友幸*・怒木弘隆*・兼光有沙*・日下部忠之*・高橋匠*
森本寛之*・劉鑫*・ZHANG ZIYAO*

Development of the autonomous mobile robot for Outdoor Environments in Advanced Institute of Industrial Technology

Tomoyuki Ohkubo*, Hiroyuki Ikarugi*, Arisa Kanemitsu*, Tadayuki Kusakabe*,
Takumi Takahashi*, Hiroyuki Morimoto*, Liu Xin*, Zhang Ziyao*

Abstract

In this paper, we describe the development of autonomous mobile robots for outdoor environments at Advanced Institute of Industrial Technology. In order to develop, we focused on "Tsukuba Challenge 2018", design and implement a new machine in the very short term. For this development task, we used many electrical modules and Open-Source Software. The body has been simplified with a frame designed by 3D-CAD, and plastic cardboard. The encoder-integrated DC motor was controlled easily with a control board. Obstacle detection and map generation use LiDAR and SLAM algorithms to perform waypoint navigation on Ubuntu OS and ROS. The validity of the developed robot was verified in the Tsukuba Challenge 2018 environment.

Keywords: Autonomous Robot, Tsukuba Challenge, ROS (Robot Operating System)

1 はじめに

ロボットが自ら環境を認識し走行する、自律移動ロボット技術の応用は各方面に波及し、今までの研究室での開発が中心であった世界より、我々の生活空間へと現実に入ってきている。自律移動ロボット技術の代表的な応用例として、「ロボット掃除機」や「自動運転自動車」の存在がある。

日本においては、夫婦共働き世帯が 1219 万世帯で専業主婦世帯の 606 万世帯を大きく超える状況[1]においてロボット掃除機は「洗濯乾燥機」・「食器洗い乾燥機」と合わせて、家事に費やせる時間が大幅に減少した共働き世帯に必要な「時短家電」として注目を浴びている。また外界センサと地図情報などによる自動運転自動車は大きな注目を浴びており、自動車の内燃機関を動力源とする従来の自動車から電気によりモーターを回し動力源とする Electronic Vehicle (EV) 化と共に、自動車業界を大きく変えようとしている。その他にも自動警備ロボット[2]や物流ロボット[3]など、自律移動ロボット技術を応用した機器が誕生している。今後の製品開発においても、自律移動ロボット技術は各方面に応用され、従来人手で行っていた各種業務を置き換えていく。

筆者らが所属する産業技術大学院大学は、産業界で活躍できるエンジニアの育成を目的として東京都が設立した専門職大学院であり、次世代産業に直結する技術を開発する

必要がある。しかし産業技術大学院大学に所属する学生は、社会人学生および留学生が多く、仕事と学業の合間を縫い開発をしなければならず、スケジュールの確保が難しい。そのため、いかに短期間かつ効率的に開発を行うかが課題となる。そこで、オープンソースおよびモジュールを多用し、コミュニケーションツールを使用することでこの問題を解決、製作の動機付けとして目標を「つくばチャレンジ 2018」に参加することとし、自律移動ロボットの開発を行い、実験走行・本走行で走行させ、発表[4,5]を行った。

2 つくばチャレンジ

2.1 つくばチャレンジ 2018 の概要

つくばチャレンジとは、2007 年から毎年実施されている、茨城県つくば市内の遊歩道などの市街地で移動ロボットが自律走行する技術チャレンジである[6]。人が普段生活している実環境(リアルワールド)における自律走行技術の進歩を目的として、研究者と地域が協力して行い、先端技術への挑戦と公開実験の場となっている。参加するチームは、大学研究室、研究機関、企業、社会人サークル、学生サークルなどから、毎年 50 前後のチームが参加する。各チームは、車いす程度の大きさの自律移動ロボットを製作し、実環境での自律走行に挑戦している。走行コースは毎年変わり、2018 年の走行コースはつくばエクスプレスの研究学園駅付近に

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

あるつくば市役所をスタート地点として屋外の市街地約 $2[\text{km}] + \alpha$ を走行させる。図1の地図に示すようなコースで、主に、市役所構内、歩道、横断歩道、公園などを通過するコースである。コース風景を図2に示す。

自動運転自動車などで行われている開発は、主に道路の車道部分からのアプローチが主である。しかしながらつくばチャレンジでは、歩道側からのアプローチとなることが、最大の違いである。

2018年のつくばチャレンジでは、説明会、事前にコースを走行し実験環境とロボットの確認を行う実験走行が8回、本走行、ロボットの開発成果の発表と情報共有を行うシンポジウムが開催された。6月30日(土)に説明会、実験走行は6月30日(土)、8月4日(土)、9月15日(土)、10月13日(土)・14日(日)、11月4日(日)・9日(金)・10日(土)に行われ、本走行は11月11日(日)であった。また、シンポジウムは2019年1月4日(月・祝)に行われた。



図 1: つくばチャレンジ 2018 コース地図



(b)コース市役所敷地部



(b) コース道路部

図 2: つくばチャレンジ 2018 コース風景

2.2 チーム概要

2018年度、筆者らは「産業技術大学院大学チーム大久保」という有志での参加チームを結成し、「つくばチャレンジ2018」に参加した。参加メンバーは情報アーキテクチャ専攻に所属する学生と、創造技術専攻に所属する学生の混成チームであり、社会人学生を中心に留学生も参加するチームである。

ロボットの開発において、各自が興味を持つ分野を担当し、自発的に開発する体制を取った。最終的には、機構1名・回路2名・ソフトウェア3名・チームリーダー1名+教員1名と言う構成となった。そのうち6名が社会人学生であり、2名が留学生である。結果として、主に創造技術専攻の学生が電気回路系統と機構系統の設計を担当し、情報アーキテクチャ専攻の学生がソフトウェア系統の設計を担当することとなった。6月の開発開始当初、創造技術専攻の学生を中心としてチームを結成しスタートしたが、社会人大学院生であるため業務多忙に伴いメンバーの入れ替わりが発生した。その後8月になり、情報アーキテクチャ専攻の学生が加入することで、メンバーが定まり開発が大きく前進したが、モジュール

と PC を組み合わせ、ロボットが走行を始めるのが本走行の1ヶ月前である10月中旬となった。

開発にあたり、1) 開発時間の不足 2) 知識の不足 3) 経験の不足 といった課題が予想された。このことは、ロボット開発、特に屋外で自律移動ロボットの技術チャレンジでは、致命的なハンディキャップとなる。最も問題となるのが、開発時間の捻出である、他チームの大学・高専等から参加チームは、そのほとんどが研究室での参加であり、研究の一環としてつくばチャレンジに参加している。また企業からの参加チームは業務として開発を行っており、多くの時間を開発に費やすことができる。その一方、本チームの産業技術大学院大学の学生の多くは社会人学生であり、平日の日中は業務をおこなっており、夜間は大学院の講義を受講しており、加えてレポートなどの課題もあるため、平日はほぼ開発に費やすことが不可能である。加えて土曜日の日中は講義や Project Based Learning (PBL) 型授業などがあり、開発に費やすことができる時間が極端に少なく、主に土曜日講義後の18時以降と平日の夜間の講義の隙間を使用するほかない(表1)。加えて、業務が自律移動ロボット分野のメンバーはおらず、ほぼ経験はない。

通常の開発では、理論学習・技術学習・設計・実装というプロセスを回さなければ完成しないが、そのような開発をイチから自ら取り組むことはそもそも対象とせず、世の中に流通していたり、公開されていたりしているモジュール・オープンソースを多用し、自律移動ロボットに実装することとし、ロボットの特徴とした。これにより、各モジュールの信頼性が高いため、製作結果の信頼性も向上するという利点もある。

つくばチャレンジでは、全長約 $2[\text{km}] + \alpha$ のコースが使用される。しかしながら、本チームは初参加でかつ時間も多く取れないチームであるため、第一のマイルストーンである、確認走行区間でつくば市役所内を走行することを目標とした。

表 1: 週間スケジュールの一例

	月	火	水	木	金	土	日
日中						講義	実験
9時	業務	業務	業務	業務	業務	PBL	走行
18時							
夜間							
18時	講義	講義	講義	開発	講義	開発	
22時		PBL					

3 自律移動ロボット「産技大1号」の開発

3.1 ロボット全体構成

開発した自律移動ロボットの外観を図3に示す。駆動源として DC ブラシレス3相モーター、センサーとしてエンコーダーおよび LiDAR を使用し、PC を用いて制御している。PC の OS は Ubuntu, ミドルウェアは ROS を使用しており、つくばチャレンジに参加するロボットとしては標準的な構成とした。



図 3: 自律移動ロボット「産技大1号」外観

3.1.1 機構部

骨格はアルミフレームを使用した。CAD を用い PC で設計し数値情報を算出、データを部品加工した状態で納品してもらい、加工の工数を削減した(図4)。

また外装はプラスチックダンボールとコーナークッションを用いた。これは、はさみやカッターなどで容易に加工できるためである。その上、プラスチックダンボールは雨などを通さないため、多少の雨でも動作させられる。また、コーナークッションをロボットの角に使用することにより、万が一人や障害物などにぶつかっても被害が出ない。前輪に電動車いす用のタイヤを使用し、後輪はクッション付きキャスターを使用した。

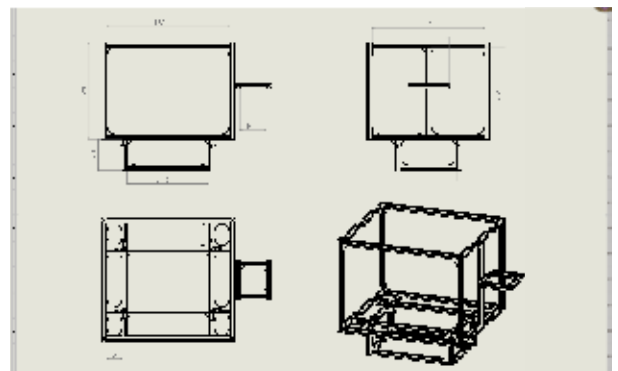


図 4: CAD 設計画面

3.1.2 電気系統部

バッテリーには鉛シールドバッテリーを用いた,これは,通常通信機などで用いられるバッテリーであるが,安価であり,シールドされているため取り扱いが容易である.ただし,全長 $2[\text{km}] + \alpha$ の全コースを走行させるためには,バッテリー容量が足りないが,目標である確認走行区間を走行するだけならば問題がない. DC ブラシレス3相モーターは,エンコーダーが内蔵され,ギアが一体型になっている.そのため移動距離の把握が容易である.モータードライバとモーターコントローラには,TFrog project 製のモジュールを利用した.USB 接続により PC から制御可能で,コマンドの送信でロボットの動作が可能となる. LiDAR は,レーザーを照射し反射光を測定することで,距離を測定できるセンサである. LiDAR は北陽電機製で,ロボット前方下部に取り付け,環境地図の作成と障害物の回避に使用される.

また,各回路と配線を固定して一つのモジュールとするため,回路モジュール固定版(図 5)を3D プリンターで作成した.電気系統のブロック図を図 6 に示す.

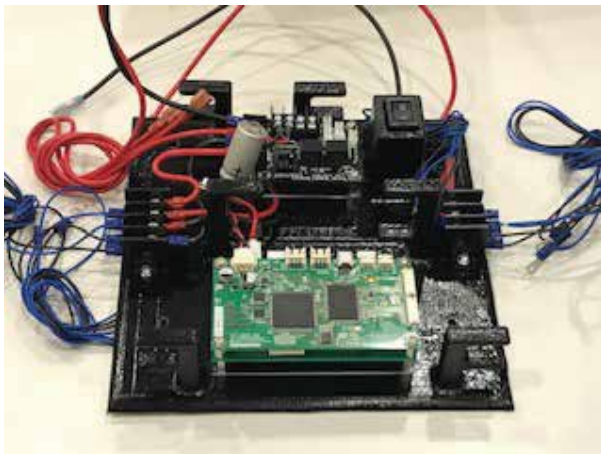


図 5: 回路モジュール固定板

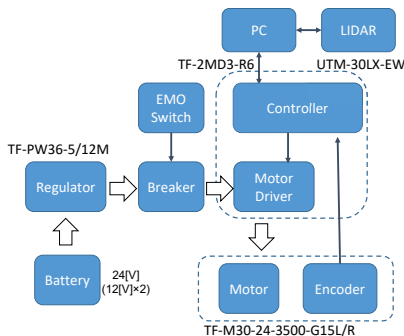


図 6: 電気系統のブロック図

3.1.3 ソフトウェア部

OS は, Ubuntu 16.04LTS, ミドルウェアとして ROS (Robot Operating System) Kinetic を使用した. モーターコントロールには yp-spur, ロボットナビゲーションソフトウェアとして, ORNE Navigation を使用した. 自律走行中の画面を図 7 に示す.

Ubuntu は, Linux の一種で GUI も付属し高機能で簡単な操作ができる. また, ROS は現状 Linux 環境のみサポートするため, ROS を使用する際には最適な環境である. Ubuntu のバージョンのうち LTS は長期のサポートが期待できるものである. ROS は, OS とあるがロボット制御に用いられるミドルウェアであり, 地図生成・自己位置認識に必要な SLAM や, 登録地点を経由して移動するウェイポイントナビゲーションのライブラリなど, 移動ロボットに必要な機能が揃っている. yp-supr は, モーターコントロールを行えるオープンソースのコントローラである. ORNE Navigation は, 千葉工業大学ロボット設計・制御研究室が開発してオープンソースとして公開されているロボット制御プログラム[7]で, ROS 上で動作をする. 当初, ORNE Navigation の動作環境が, ROS indigo, Ubuntu 14 に限定されていたため, この環境で構築していたが, サポート切れによるセキュリティの不安があった. しかしながら ORNE Navigation を Ubuntu16+ Ros Kinetic での動作ができ, 環境を移行した.



図 7: 自律走行中の画面

3.2 勉強会の実施

法政大学理工学部創生科学科小林研究室は, 過去に 10 回以上つくばチャレンジに参加, 課題達成の経験を有する. 研究室のメンバーに勉強会の開催をお願いし, 2018 年 9 月 29 日(土)に技術を教示していただいた. この様子を図 8 に示す. これにより開発スピードを加速することができた. 勉強会の開催時点で, すでに動作環境は整備できていたのであるが, どうしても走り出させることが不可能であった. しかし数点の設定ミス指摘してもらい, 修正を行うことで, ソフトウェア開発用の小型ロボットでは走行を行えるようになった. また, 全体の構成や設定ポイントや座標軸の取り方なども教示いただいた.



図 8: 勉強会の様子

3.3 つくばチャレンジ 2018 参加実績

本チームでは、6月30日(土)・9月15日(土)・10月14日(日)・11月4日(日)の実験走行と、11月11日(日)の本走行、シンポジウムに参加した(表 2)。なお、本チームのメンバーは土曜・祝日は講義受講のため参加出来ないため、夏休みと日曜日の実験走行を中心とした。

表 2: つくばチャレンジ 2018 の日程とチーム参加実績

日程	概要	参加内容
6月30日(土) 午前	説明会	ルール確認
6月30日(土)	実験走行 1回目	不参加
8月4日(土)	実験走行 2回目	不参加
9月15日(土)	実験走行 3回目	コース確認 他チーム状況把握
10月13日(土)	実験走行 4回目	環境地図作成
10月14日(日)	実験走行 5回目	不参加
11月4日(日)	実験走行 6回目	環境地図作成 安全チェック通過
11月9日(金)	実験走行 7回目	不参加
11月10日(土)	実験走行 8回目	不参加
11月11日(日)	本走行	参加 結果:DNS
2019年1月14 (月・祝)	つくばチャレンジ シンポジウム	発表 技術交流会

6月30日(土):説明会のみ参加しルールを確認した。

9月15日(土):会場を下見しコースの確認と、他チームの状況確認

10月14日(日):ロボットを持ち込んだ初の実験走行で、環境地図の作成に挑んだ。しかしながら、ロボットが動作するようになったのが前日13日の深夜である。ロボットを走行させながら、環境地図の作成途中、部品の強度不足により後輪のキャスター部が破損した。急遽補強しながら実験を行った。

11月4日(日):つくばチャレンジでは実環境での走行となるため、一般の通行人や自動車の走行中にロボットを動作させる。そのため、走行させるロボットは、実行委員による安全チェックを受けなければ、自律走行が許可されない。そのため、図9のように、安全チェックを受けロボットが安全に動作する事を確認した。

走行時に環境地図を作成したが、確認走行区間の1週200[m]程度の長方形ルートを行走したとき、地図が閉じない問題が発生した。ロボットの物理モデルの指定のミスによるものである。



図 9: 安全チェックの様子

11月11日(日):本走行 結果:DNS

2018年11月11日(日)に行われたつくばチャレンジ2018本走行で、つくば市街のコースを走行させた。本走行の様子を図10に示す。しかしながら、ロボットを規定時間(1分)以内にスタートさせることが出来ず「DNS (Do Not Start)」と言う結果となった。

検証のため、本走行終了後に同コースで実験走行を行った結果は、最高でもスタート地点から20[m]地点であった。

本走行後の検証走行では以下ようになった。

1回目: スタート直後から経路が大きく傾く、手動停止

2回目: スタート直後から経路が大きく傾く、手動停止

3回目: 地図を再度取得し直し走行。

スタートから約20[m]で経路が大きく傾く
手動停止



図 10: 本走行スタート時様子

3.4 開発過程での課題

移動ロボットの開発とつくばチャレンジ 2018 に参加の結果、製作の過程で次の課題が見えてきた。ハード面では、電気と構造をリンクして作業を進められず、自律移動ロボットのメンテナンス性が悪い。ソフト面では、Ubuntu, ROS, ypsupr, ORNE Navigation とソフトウェア群のインストールと設定に予想外の時間を費やした。オペレーション面では、スタート時、多くの観客が見守る中、ロボットを規定時間 1 分以内にスタートさせなければならず、緊張によりロボットの操作が難しい。そのため、本来スタート時のロボットのオペレーションを練習しておかなければならなかったが、ロボットの調整に手間取り、練習時間を取ることができなかった。今後の改善点として、オペレーションの十分なトレーニングに加え、オペレーション担当ともう一名での声出しによる操作確認を行うなど方法を取る必要がある。

また、地図データの精度向上のために、ロボットモデルに対する知識習得を進めたい。短期間の開発のため、航空写真からの地図作成も試みたが本走行での使用に繋げることが出来なかったため、合わせて今後取り組んでいきたい。

今回の取り組みでは、活動スケジュールの調整が最も難しい課題であった。チームメンバーの交代等の要因により、全体的にスケジュールが後ろ倒しとなった。筆者らの所属する大学院は講義が土曜・祝日にも設定されており、土曜・祝日に行われる実験走行には参加できず、オペレーションを含むロボットの最終的な調整を行うことが出来なかった。

しかしながら、チームとしての活動や、最初のチャレンジで技術や経験のないなか、精度は低いものの極めて短期の開発が行えたのは、チームの多くの学生が社会人であるため、スケジュールの遵守や過去の経験から、自らの能力を発揮する事ができたためであるとする。

4 おわりに

本論では、産業技術大学院大学でのつくばチャレンジ 2018 における屋外用自律移動ロボットの開発の取り組みについて述べた。社会人が多く在学する大学院特有の問題として、仕事と講義の合間で開発を行う必要があるため、非常に短期間の開発スケジュールでの製作に挑んだ。結果、精度は低いものの本走行までに自律移動ロボットを開発するという課題は達成した。その中でオープンソースとモジュールを多用することにより、タイトだったスケジュールの中、自律走行まで漕ぎ着けることができた。これは開発・チーム運営の両面において、社会人学生がこれまでの仕事上の経験等を活かした点が大い。今回、ロボット開発の動機付けとしてつくばチャレンジに参加したが、結果としてメンバーの意欲は非常に高いものとなり、2019 年のチャレンジにむけ改良も進めている。

今後の技術的課題として、スタートから確認走行区間の中盤までは、非常に障害物が少なく LiDAR とエンコーダーのみのセンサでは、ランドマークの非常に少なく環境地図作成と自己位置推定が、非常に困難であった。また RTK-GPS が非常に有効であったチームがいたことから、RTK-GPS を用いた位置認識を行いたい。

参考文献

- [1] 内閣府男女共同参画局, 男女共同参画白書 令和元年版, pp.114-117, 2019
- [2] SEQSENSE 株式会社, SQ-2 SECURITY ROBOT, <https://www.seqsense.com/product> (visit on 2019)
- [3] 株式会社 ZMP, CARRIRO, <https://www.zmp.co.jp/carriro> (visited on 2019)
- [4] つくばチャレンジ実行委員会事務局, つくばチャレンジ 2018, <https://www.tsukubachallenge.jp/2018/>, 2018 (visit on 2019)
- [5] 兼光 有沙, 怒木 弘隆, 日下部 忠之, 高橋 匠, 张子垚, 中森 まどか, 森本 寛之, 劉 鑫, 大久保 友幸, 専門職大学院における自律移動ロボットの開発の取り組み, 第 74 回 知的システム研究会(SIC2018-2), pp.13-14, 2018
- [6] 怒木 弘隆, 兼光 有沙, 日下部 忠之, 高橋 匠, 张子垚, 中森 まどか, 森本 寛之, 劉 鑫, 大久保 友幸, 専門職大学院における自律移動ロボットの開発の取り組み, つくばチャレンジ 2018 参加レポート集, pp.111-112, 2019
- [7] Daiki Maekawa and Chiba Institute of Technology, https://github.com/open-rdc/orne_navigation (visit on 2019)

我が国の観光産業の持続的発展にむけて

松尾徳朗* ・ 岩本英和**

Development of Tourism based on Meeting, Incentive Tour, Convention and Conference, and Event and Exhibition

Tokuro Matsuo* and Hidekazu Iwamoto**

Abstract

In this decade, number of foreign tourists increased as the Japan National Tourism Organization made successful promotions. This paper shares knowledge and strategies to be considered in tourism industry in next 10 years. Former half of this paper introduces the Internet and royalty program in tourism industry. The Internet enables us to compare items with reviews provided by buyers and can remove inferior service providers from the tourism market. Also, it provides easily good environment to create royalty program. Acquired data in customer royalty management can be used in marketing. Latter half of this paper mentions the strategy to develop the MICE industry. Economic ripple effect of MICE industry delivers on 8 times of it in general tourism. We introduce the perception of convention attendees in international conference held in Japan.

Keywords: Tourism Industry, Tourism Informatics, Meeting, Incentive Tour, Convention and Conference, and Event and Exhibition

1 はじめに

訪日外国人旅行者の増加に伴い、観光産業における事業体系の再編や業務プロセス、あるいはロードマップにおける上の段階の数値目標までのフェーズにおける産業戦略が注目を集めている。我が国の国民の国内旅行の回数および宿泊数は過去10年間でおよそ2割の減少であり、今後の観光産業の発展においては、訪日外国人旅行者のさらなる増加が鍵となる^{(1),(2),(3)}。訪日外国人の旅行に対する産業戦略として、(1) 経済効果ベースの観光振興戦略、(2) 世界経済ベースの観光振興戦略、(3) 業態ベースの観光振興戦略などに分類できる。また、それらについて、概して(イ) 興味深いコンテンツの有無や豊富さ、(ロ) 他地域や外国との競争力、(ハ) 対象とする業種でのシェア、(ニ) 費用対効果や利潤の大きさ、(ホ) 対象とする観光産業の成長性、(ヘ) 社会的責任などの観点において、観光産業のカテゴリごとの戦略立案について、上記の観点で慎重に分析し、政策を推し進めることが望ましい。例えば、(1) については、東アジアからの観光客の場合、欧米やその他の地域の観光客よりも日本でのショッピングの支出額が多く、その観点にお

いて経済効果は高い⁽⁴⁾。従って、そこを狙うとすれば、東アジアからの観光客数が伸びている地域においては、旅行者の旅行目的のうち重要とされるショッピング活動をより効率的および効果的にできる環境整備とそれに関するプロモーションが必須となる。ここでの評価ポイントは、(イ) 興味深いコンテンツや(ニ) 費用対効果などが鍵であると考えられる。また、(2) については、例えば現在において台湾からの旅行者が多い地域の今後の観光振興戦略について考えれば、近年の台湾の所得の増加水準をみれば、近い将来において日本ではなく欧米に旅行先がシフトする可能性が考えられる。従って、今後急速な発展が予想される東南アジアを中心としたマレーシアやタイなどをねらった観光振興戦略が考えられる。ここでの評価ポイントは、それらの旅行者にとって(イ) 興味深いコンテンツをそろえられるか、および他地域に比べて(ロ) 競争力や(ハ) シェアを持てるかということが関連する。一方、(3) については、インセンティブツアーやエコツーリズムのような観光産業の業態をしぼったもので、例えば世界を牽引する水準の産業と日本独特の景勝を兼ね備えた地域がそれらを推進できるコンテンツや他地域との競争力などが関連す

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** 城西国際大学, Josai International University

註:本紀要論文は、2015年電気学会全国大会シンポジウムで発表したものを一部改変したものである。

る⁽⁵⁾。これらの観光振興の発展に関連して本稿では、次の4つの点について言及する。まず、2. においては、情報社会における観光産業の戦略を説明する。次に、3. において、我が国の「おもてなし」を強化する観光経営戦略、4. において、カジノを含めたIR 発展戦略、さいごに5. において、MICE 産業の発展戦略について説明する。

2 情報社会における観光産業の戦略

旅行者にとって初めて観光地を訪れたり、あるいは目的とする活動を行うまでは、その価値は未知のものである。書籍や口コミ、あるいはインターネットで得た情報のみが旅行者の知識である。一方で、旅行を提供する者や観光のためのコンテンツを提供する者は、実際に旅行者が体験する観光商品(財)の価値について消費者とのギャップはあるものの概ねその価値を知っている。このように、商品の販売者と消費者、すなわち売り手と買い手にとって商品の情報についての知識量が異なるものを非対称情報という⁽⁶⁾。観光商品は、日常消費する財とは異なり、消費者にとって高価である。すなわち、頻繁に旅行をする機会が得られない旅行者は、より商品の価値の推定が容易ではない。さらに、正しい知識を持ち合わせていない買い手が、価値の高い商品と低い商品の判断は難しく、買い手にとって優良な商品であっても低い価値を推定する傾向がある。その推定した価値に基づき、自らの価値に基づき支出できる最大の価格、すなわち留保価格を設定する。また、その推定した価値に基づき観光のための滞在期間を設定する。その結果、旅行での滞在期間を長く設定しすぎたり、短く設定しすぎたりすることがある。すなわち、そのロスが生じる分だけ金銭的成本またはその他のコストが生じるため、旅行者の効用は減少する。

観光商品(例えばグループツアーなど)を購入しようとする際に、消費者に提示する広告について、販売者はその価値と適正な価格を知っているが、旅行者が正確な価値とそれに基づく適正な価格を知ることは容易ではない。実際に旅行を実施して、旅行者が購入した旅行商品の価値が低く評価した場合、その後の旅行商品の購入においては、(1) 前回よりも予算を押さえて、同レベルの価値の商品を購入する、(2) 旅行商品に関して提示された価格に対する価値が低いことを推定して、予算を押さえて購入する、の2つの行動がレモン市場の消費者の行動の特徴として挙げられる。仮に、旅行会社が粗悪な商品を販売し、旅行者が大きな不満を感じクレームをつけたとしても、それを購入した旅行者以外に多くの潜在的な旅行者がいるため、顧客のリテンションに注力する必要はなく、経営的なダメージは大きくはない。これは、都

心の質の低い飲食店が潰れずに営業していることに類似している。過去においては、旅行者のこのような経験に関して、職場や近所など狭い範囲での口コミが可能であったが、近年のインターネット上の旅行レビューサイトの普及に伴い、その状況が大きく変わりつつある⁽⁷⁾。旅行のレビューサイトに書き込まれた情報は広く伝わり、その結果潜在的な旅行者はその情報をもとに自らの予算や旅行計画をたてる機会を得ている。旅行会社が、魅力的な広告を作成し、その広告に示された内容にふさわしい価格を設定し、企画旅行商品を販売したとしても、旅行者が旅行後にその経験に基づいた評価をインターネット上に書き込むことができるため、永続的な顧客獲得は困難となる。さらに、販売した旅行会社も明らかとなるため、その旅行会社が提供する他の商品に関する消費者の行動にも関連する。従って、レビューサイトが普及している今日では、旅行商品の宣伝においては、商品の価値に対応した価格設定が望ましい。インターネットが出現以前においては、レモン市場においては粗悪な商品がはびこる傾向にあるのに対して、インターネットのレビューサイトが出現してからは、粗悪な商品の提供者が市場からの退場を迫られるように構造が変化した。

3 我が国の「おもてなし」を強化する観光経営戦略

外客誘致を促進させるためには、対象となる外客旅行者の嗜好や行動の傾向を分析し理解した上で、観光振興の計画を立案することが不可欠である⁽⁸⁾。我が国の観光産業でキーワード化している「おもてなし」について、有機的なものとするためには、一方向のサービス提供ではなく、顧客を理解することが肝要である。Hashimoto らは、インターネット上のホテルのレビューサイトにおける大規模なデータの分析において、日本人と中国人のレビューの比較に着目し、日本人にとって評価の高いホテル像と中国人にとって評価の高いホテル像を明らかにしている⁽⁹⁾。すなわち、日本の観光産業で認識され、定義されている「おもてなし」は外国人には通用しないということを示している。

旅行商品を購入する消費者にとって、価格 p_1 で宿泊のサービスを提供するホテル H_1 が存在すると考える。このホテルから受けるサービスに対する効用を U_1 とする。線形効用を仮定した場合、 U_1 はそのサービスに対する消費者の留保価格 r_1 と p_1 の差により表現できる。例えば、ホテル H_1 が価格を上方に変更したとする。そのとき、 $r_1 > p_1$ である限りはその消費者はホテル H_1 に宿泊する動機がある。ここで、ホテル H_2 が存在し、ホテル H_2 のサービスの価格を p_2 、消費者の留保価格 r_2 、および消費者の効用を U_2 とする。このとき同様に、 $r_2 > p_2$ である限り消費者はホテル H_2 に宿泊する動機がある。ただし、この2つのホテルのどちらを消費者が選ぶ

かは、この消費者の効用に基づいている。例えば、 $r_1 \cdot p_1 < r_2 \cdot p_2$ すなわち、 $U_1 < U_2$ であれば、消費者は U_2 に宿泊する動機を持つ。ここで、一般には消費者は多数存在する上に、一般に消費者の嗜好の分布は一樣ではない。さらに消費者は、サービスに関心がある層と、そうではない層が存在する。これにより、消費者から選ばれるホテルとそうでないホテルが現れる。消費者から選ばれないホテルにとっては2つの選択肢が考えられる。一つ目は、ある程度のコストをかけ、サービスの品質を高め、サービスに関心のある消費者から選ばれるホテルになることを目指すこと、二つ目は、サービスの品質を下げても価格を安価にし、サービスに関心のない消費者から選ばれるホテルになることである。容易に、すべてのホテルが「おもてなし」に力をいれても、うまく顧客が取り込めない大多数のホテルが存在することが分かる。さらに、価値基準の法則⁽¹⁰⁾および2. に示したレビューによる上方の拡散にも基づけば、勝ち組と負け組が顕著になり、いったん負け組になった場合、容易にはそこを抜け出すことができない。例えば、負け組のホテルが、成功したホテルの提供するサービスおよび価格設定と同様のサービスおよび価格設定を試みたとしても、効果は薄い。さらに、先述のとおり、日本人が一方的に提供するサービス(おもてなし)について、文化が異なり嗜好が日本人とは異なる外客にとって受け入れられることは困難である。日本人にとって高いサービスと考えている常識は、外国人が知覚する高いサービスとは限らない。顧客のリテンションにおいては、サービスをベースとした、顧客ロイヤルティがある⁽¹¹⁾。しかし、近年においては、顧客のリテンションにとって有効とされる手法の一つにロイヤルティプログラムが強調されている。ロイヤルティプログラムについては、次の4. において説明する。

4 カジノを含めた IR 発展戦略

IR とは、統合型リゾート (integrated resort) の略称であり、ホテル、商業施設、レストラン、アトラクション、カジノ等を含む施設を指す⁽¹²⁾⁽¹³⁾。本稿では、特に IR において重要とされるロイヤルティプログラム、および我が国のカジノ産業の望ましい姿について説明する。

<3・1>ロイヤルティプログラム 米国の3大カジノ企業である Caesars Entertainment、MGM Resorts International、および Las Vegas Sands Corp. では、顧客リテンションを目的としてロイヤルティプログラムを実施している⁽¹⁴⁾。例えば、Caesars Entertainment においては、Total Rewards Program と呼ばれるロイヤルティプログラムを実施している。一般には、ロイヤルティプログラムは航空会社のフリークエントフライヤープログラムが広く知られている。ロイヤルティプログラムとは、上客に対して一般の客とは異なる高いサービスを提供する

ことで、それらの上客を他のライバルに奪われないための目的とされる⁽¹⁵⁾。例えば、Caesars Entertainment の Total Rewards Program においては、レストランの割引や優先予約、ショーチケットの無料提供などを含む20を超える一般客とのサービスの差別化が行われている⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾。航空会社のロイヤルティプログラムによる具体的な説明として、たとえ機内サービスが充実していなくとも顧客が離れないのはロイヤルティプログラムによるものであることが明らかとされている⁽¹⁸⁾。2. で説明したホテルの例においては、ロイヤルティプログラムを導入することにより、一度ホテルを利用した顧客が他のホテルを選びにくくする作用がある。ただし、ロイヤルティプログラムにおいて、いくつかの注意すべき事項がある。そのうちのひとつとして、ロイヤルティプログラムを実施する場合、複数の企業のプログラム内容が酷似するようになることも指摘されている⁽¹⁹⁾。また、ロイヤルティプログラムに付随して提供されるリワードポイントについて、顧客がリワードポイントを保持している場合、事実上将来的に支払わなければならない負債となるので、プログラムの制度設計には注意が必要である。

<3・2>経済効果の向上 我が国におけるカジノビジネスでの成功は、地域への大きな経済効果をもたらし、新たな産業の創出や雇用の拡大に期待が持てる⁽²⁰⁾。しかし、実現においては、そのビジネスに関する知識が少ない。そこで、米国の大手カジノ企業が我が国のカジノビジネスへの参入に関心を示している⁽²¹⁾。ビジネスノウハウを持った企業の参入により、より効果的にカジノ産業の成長が期待できる一方で、その際に得られた収益の多くは、外資の企業に吸い上げられるため、地域が得る潜在的な利益は減少する。米国においては、カジノを含む IR 施設は地域への経済的貢献が課せられている⁽²²⁾。もし、我が国に外資ベースのカジノを作った場合、地域への経済的貢献度は低くなることが予想される。また、カジノ産業のために我が国が投資したインフラを考慮すれば、外資企業がビジネスをしやすいうに助けることになる。このことから、本来の外客誘致による経済効果の向上という目的を考慮すれば、我が国で完結できるカジノビジネスの制度設計が不可欠になる。カジノビジネスの知識を補完するためには、優秀な人材を外国からスカウトし、活用することが経済効果の向上のためには望ましいと考えられる。

5 MICE 産業の発展戦略

MICE とは、Meeting (ミーティング)、Incentive Tour (企業の報奨旅行)、Convention and Conference (コンベンション、国際会議)、および Exhibition (展示会) の略語であり、外客の誘致に有効であるため近年注目を集めている。特に、コンベンションや展示会は、実態が見えやす

く、その開催件数の増加が求められている。コンベンションの実施を決定することにおいては主として2つの形態がある。一つは、(A) 海外発祥のコンベンションを我が国に誘致することである。もう一つは、(B) 我が国発のコンベンションを作り上げることである。前者は、国内のキーパーソン等により外国の学会にコンタクトをとり、学会のキーパーソンを視察に招聘する、あるいはコンベンションの実行委員会での開催地選定のための会議において日本での開催を提案する方法が一般的である。後者は、専門分野の研究者や業界団体が企画し、コンベンションを開催することが多い。しかし、(A) について我が国の現状では、コンベンションとは外国からくるものであるという認識が多くを占め、その認識によりコンベンション開催件数の飛躍的な増加を阻んでいる。一方、(B) については、どのようにしたらコンベンションを作り上げるために必要な知識の不足が実現性を低くしている。そこで本稿では、我が国にコンベンション分野でより多くの外客を誘致するためのコンベンション開催環境整備のための比較研究について紹介する。

海外からのコンベンション参加者が我が国での滞在を有意義なものにできれば、将来プライベートでの訪日を促進できるだけではなく、我が国におけるコンベンション誘致の促進にもつながる。従って、コンベンション参加者に関する比較研究により、外客がどのような視点を持ち、何に期待しているかを知ることが望ましい。Oppermann らは、コンベンション参加の意思決定は、個人的／ビジネス的要素、学協会やイベントの要素、開催地に関する要素、および参加した際に行える他の活動に関する要素を含むモデルを提案した⁽²³⁾。また、Kim らは、国際会議で提供されるソーシャルファンクションの品質に基づく参加者満足度に焦点を当て分析を行っている⁽²⁴⁾。Choi は、価格面（会議室料金、ホテル料金）、ホテル客室の品質（アメニティ等含む）、ホテルスタッフ（親しみ易さやチェックインなどの効率）、地域の総合的な物価、会議場の品質、会議場の広さ、地理的な側面（ショッピング施設が近くにあるなど）、および滞在時のサービスの豊富さ（地域観光施設やビジネスに関するサービスの豊富さ）の8つの側面で分析を実施している⁽²⁵⁾。同様に我が国においても、コンベンションビジネスを成功に導く鍵は、客である外国からの国際会議参加者の感覚を知り、それに基づく環境整備やサービス創造を実施することである。そのためには、調査する対象を明確にし、的確に対象者の属性をとらえることが重要である⁽²⁶⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。文献⁽²⁹⁾においては、米国ラスベガス、中国太原、北九州の3都市で実施された国際会議の参加者およそ500名に、国際会議に参加するにあたって期待する

ものを調査している。(A) 会議での出版物およびソーシャルイベント、(B) 旅行と滞在、(C) 国際会議に参加する目的、(D) 会議開催地域、および (E) 会議開催施設の5つの側面で、41項目について5段階評価（5：非常に重要、4：重要、3：どちらでもない、2：重要ではない、1：全く重要ではない）で質問している。これらをポイントとして集計している。有効回答数は286で、日本人が全体の59.1%、外国人が40.9%である。その他の基本情報について、回答者の内訳として、女性13.3%、男性85.3%、およびその他1.4%である。年代別には、70代以上1%、60代3.1%、50代12.2%、40代23.8%、30代21.7%、および20代37.1%である。さらに大学の教職員や企業研究者等の社会人が57.0%および学生が43.0%である。その調査により、標準偏差をもとに日本人と外国人が期待するものの差が顕著に現れたものとして、会議におけるウェルカムレセプションの品質（日本人の平均値3.297、外国人の平均値3.854）、パンケットで提供されるアルコール飲料（日本人の平均値3.139、外国人の平均値2.437）、ビザ取得の容易性（日本人の平均値3.38、外国人の平均値3.806）、教育的目的による参加（日本人の平均値3.866、外国人の平均値4.269）、人的交流の機会を得るための参加（日本人の平均値3.599、外国人の平均値4.04）、就職活動の一環としての参加（日本人の平均値2.849、外国人の平均値3.087）、国際会議開催地の治安（日本人の平均値3.933、外国人の平均値4.228）、国際会議施設のトイレの清潔さ（日本人の平均値3.594、外国人の平均値3.99）、国際会議施設の快適な休憩スペース（日本人の平均値3.659、外国人の平均値3.881）がある。これらの結果からコンベンションの設計において、交流が促進され易くなるように着席型のソーシャルイベントではなく立食によるほうが望ましい、あるいはコンベンション施設においては、会議でリラックスできる環境を整えることが望ましいことが明らかとなっている。

参考文献

- [1] 観光庁：平成22年版観光白書，p. 23，2010.
- [2] 観光庁：平成26年版観光白書，p. 29，2014.
- [3] 日本観光振興協会：数字でみる観光2011-2012年度版，p. 6，創成社，2012.
- [4] 加藤弘治：観光ビジネス未来白書2014年版，pp. 146-147，同友館，2014.
- [5] 田村正紀：観光地のアメニティ，p. 105，白桃書房，2012.
- [6] 中泉真樹・嶋田忠彦：ミクロ経済学 理論と応用，pp. 247-255，東洋経済新報社，2000.

- [7] トリップアドバイザー (2015/1/1 アクセス):
<http://www.tripadvisor.com>
- [8] 平井貴幸: 外客誘致の経済分析, pp. 34-35、五絃舎, 2012.
- [9] Kiyota Hashimoto, Tokuro Matsuo: Chance Discovery for Future Tourism Resources from the Web, International Conference on Tourism Future, 2011.
- [10] Brafman, Ori・Brafman, Rom: あなたはなぜ値札にダマされるのか?、日本放送出版協会, 2008.
- [11] 小宮路雅博: サービス・マーケティング、創成社, 2012.
- [12] 木曾崇: 日本版カジノのすべて、pp. 23-24、日本実業出版社, 2014.
- [13] 徳江順一郎: サービス&ホスピタリティマネジメント、pp. 134-146、産業能率大学出版部, 2011.
- [14] Natasha Dow Schüll: Addiction by Design, pp. 144-156, Princeton University Press, 2012.
- [15] Lawrence Ang and Francis Buttle: Customer retention management processes, Customer retention management, Vol. 40 No. 1/2, pp. 83-99, 2016.
- [16] The Tiers of Total Rewards (2015/1/1 アクセス):
<https://www.totalrewards.com/content/central/en/overview.html>
- [17] 佐々木一彰: ゲーミング産業の成長と社会的正当性、p. 107、税務経理協会, 2011.
- [18] Yuping Liu: The Long-Term Impact of Loyalty Programs on Consumer Purchase Behavior and Loyalty, Journal of Marketing, Vol. 71, No. 4, pp. 19-35, 2007.
- [19] Byung-Do Kim, Mengze Shi, Kannan Srinivasan: Reward Programs and Tacit Collusion, Marketing Science, Vol. 20, No. 2, pp. 99-120, 2001.
- [20] (社)日本プロジェクト産業協議会・都市型複合観光事業研究会: 日本版カジノ、p. 184、東洋経済新報社, 2003.
- [21] 日本のカジノ第1号は大阪の可能性 (2015/1/1 アクセス):
<http://jp.reuters.com/article/businessNews/idJPKBN0DX0M720140517>
- [22] ロバート.D.フェイス: ネバダ州のゲーミング規制とゲーミング法、p. 271、幻冬舎, 2012.
- [23] Martin Oppermann, Kye-Sung Chon: Convention participation Decision Making Process, Annals of Tourism Research, Vol. 24, No. 1, pp. 178-191, 1997.
- [24] Yen-Soon Kim, Yoon-Young Lee, Curtis Love: A Case Study Examining the Influence of Conference Food Function on Attendee Satisfaction and Return Intention at a Corporate Conference, Journal of Convention & Event Tourism, Vol. 10, No. 3, pp. 211-230, 2009.
- [25] Jeong-Ja Choi: Factors Influencing State Association Planners' Overall Satisfaction with a Convention Experience, Journal of Convention & Event Tourism, Vol. 6, No. 4, pp. 65-80, 2004.
- [26] Tadayuki Hara: Quantitative Tourism Industry Analysis, pp. 27-34, Elsevier, 2008.
- [27] 運輸政策研究所: インバウンド観光消費調査の手引き、p. 4, 2004.
- [28] 岩崎邦彦・渡辺厚: コンベンション都市に対する参加者満足度の規定要因 - 開催地マーケティングへの示唆、観光研究、Vol. 22, No. 1, pp. 31-36, 2010.
- [29] Tokuro Matsuo, Hidekazu Iwamoto, Toshikazu Fukushima: Preliminary Comparative Study of Satisfaction of Convention Attendees, 産業技術大学院大学紀要, 2014.

人生ゲームライフシフト編 with AR を活用した カンファレンスの実施

押野 貴志*・鈴木 宏幸*・井上 耀介*・徐 揚*・付 金*
・大久保 友幸*・越水 重臣*

Conducting a Conference that utilizes Jinsei Game Life Shift ver. with AR

Takashi Oshino*, Hiroyuki Suzuki*, Yousuke Inoue*, Xu Yang*, Fu Jin*,
Tomoyuki Ohkubo* and Shigeomi Koshimizu*

Abstract

We are seeing the advent of human lives spanning over 100 years, and faced with various changes. Professor Lynda Gratton advocates the concept of "life shift", as a foothold for a flexible life style. This conference was planned and carried out with the objective of further understanding "life shift", and herein is the project report. At this conference, in addition to lectures with workshops, game learning using the newly developed "Jinsei game life shift ver. with AR" was adopted. In the game, the experience of life shift is simulated to deepen the understanding of the contents of the lecture, and it is designed to introduce a new kind of game experience by introducing AR (Augmented Reality). According to the questionnaire survey of the conference participants, the participants were highly satisfied and answered that their understanding of life shift was improved.

Keywords: Life Shift, Jinsei Game, Game Learning, AR (Augmented Reality), Questionnaire Survey

1 はじめに

近頃「人生 100 年時代」という言葉をよく耳にする。高度医療の進展とヘルスケアの充実がもたらす長寿命化により 100 歳まで生きることが特別なことでは無い時代が目前に迫っている。長生きは素晴らしいこと、しかし一方で老後の不安なども頭をよぎる。SMBC 日興証券の調査では、人生 100 年時代に不安を抱えている人は全体の約 7 割にのぼり、主な不安要素として、お金、健康、仕事が挙げられている[1]。加えて、AI, IoT, ロボット等の新たなコア技術による第四次産業革命がもたらす社会変化への適応に向けた生き方の見直しも問われている。このような背景の中、2017 年に書籍 LIFE SHIFT が大きなブームを呼んだ[2]。LIFE SHIFT では、健康や活力、スキルや知識、人的ネットワーク等に関する無形資産の重要性、並びに生き方や働き方を変えながら人生を歩んでいくマルチステージの人生などが紹介されている。

そこで本研究では、社会変化に適応するための柔軟な生き方のヒントとして、また、それらを実践するための意識となるキャリアオーナーシップを得るための足掛かりとなるよう、「ライフシフト考察カンファレンス」を企画・開催した。カンファレ

ンスのプログラムは、講義&ワークショップと人生ゲームライフシフト編 with AR を活用したゲーム学習を組み合わせた構成とし、参加者からのアンケートの集計により効果の検証を行った。

2 人生 100 年時代への適応

2.1 人生 100 年時代の到来

図 1 は日本生命による日本人の平均寿命の推移と推計である。2015 年における平均寿命は、男性 80.79 年、女性 87.05 年であり、更に将来に目を向ければ、平均寿命は今後も伸び続けることが予測されている[3]。加えて、厚生労働省の統計データより 100 歳以上の高齢者数の推移を図 2 に示す。1982 年では 100 歳以上の高齢者数は 1200 人であったが、30 年後の 2012 年では 100 歳以上の高齢者数は 51376 人と約 43 倍に増加している[4]。このような長寿命化が進む背景には、高度医療の進展とヘルスケアの充実があり、再生医療をはじめとする更なる医療技術の進歩により、今後ますますの長寿命化が期待される。まさに、人生 100 年時代が目前に迫っている状況と言える。

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

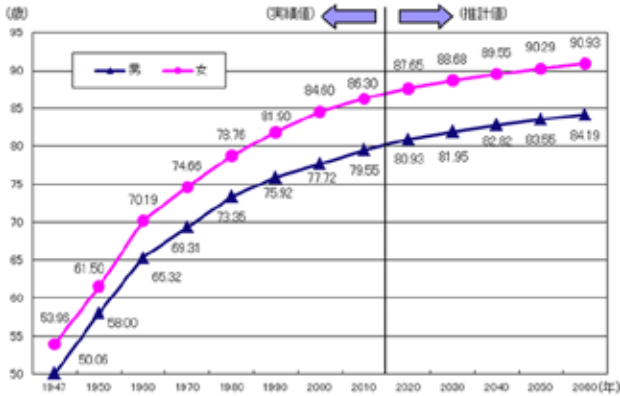


図 1: 日本人の平均寿命の推移と推計[3]

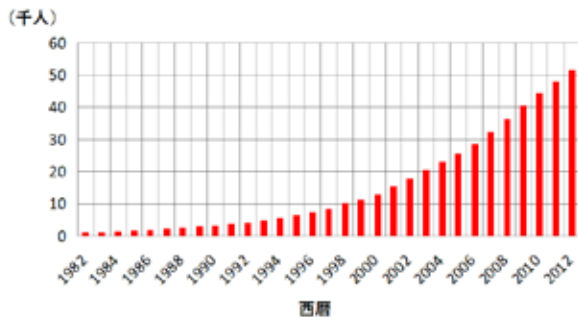


図 2: 100歳以上の高齢者数の推移[4]

2.2 ライフシフトという考え方

2.2.1 人生100年時代に対する不安

2.1 項にて人生100年時代が目前に迫っている状況を概観した。長生きは素晴らしいこと、しかし、一方で人生100年時代に対して不安を抱いている人も少なくない。図3、図4にSMBC日興証券による人生100年時代の到来における不安に関する調査結果を示す。図3より、人生100年時代不安があると答えた人は全体の約70%にのぼり、図4より、主な不安要素として、お金、健康、仕事が挙げられている。

2.2.2 技術革新がもたらす社会変化への対応

産業分野に目を向けてみると、AI、IoT、ロボット、ビッグデータなどの革新技術が生まれている。これらのコア技術を用いた新たなサービスの例を以下に記す。

- ① データ活用によるカスタマイズ
(商品、保守点検、健康管理)
- ② 自動車、住居等のシェアリング
- ③ AIによる自動運転、資産運用
- ④ IT活用による新たな金融サービス(FinTech)

これらの技術革新がもたらす社会変化に対応するため、我々の生き方や考え方についても見直していくことが求められる。



図 3: 人生100年時代の到来に関する不安の調査[1]

Q:「人生100年時代」に不安があると回答された方に伺います。以下の項目に関して当てはまるものをお答えください。【お答えはそれぞれ1つ】 回答者数: 429人

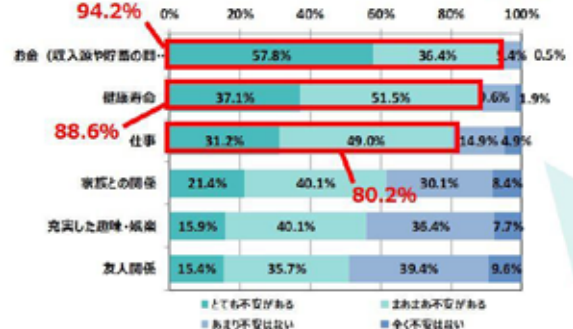


図 4: 人生100年時代の到来に関する主な不安要素[1]

2.2.3 無形資産の重要性とマルチステージの人生

2017年にLIFE SHIFTという書籍が大きなブームとなった。LIFE SHIFTでは生き方の見直しとして、無形資産の重要性とマルチステージの人生が紹介されている。無形資産とは、1)活力資産、2)生産性資産、3)変身資産の3つからなり、1)活力資産とは、バランスの取れた生活、家族との関係など、肉体的、精神的な健康面に関する要素。2)生産性資産とは、スキルや知識、評判など仕事の成功に役立つ要素。3)変身資産とは、人生の過程で変化を促す多様に富んだ人的ネットワークに関する要素となる。無形資産はそれ自体が価値を持つと共に有形資産の形成を助けることもある。そのような意味においても、これらの見えない資産の重要性が書籍では記されている。次いで、マルチステージの人生について説明する。これまでの人生では、約20年の教育期間、約40年の就業期間を経て、60代で引退し残りの人生を過ごすといった3ステージの人生が一般的であった。しかし、これからは、人生の様々な過程で多様なステージへと変化を繰り返す、マルチステージの人生に変わっていくと考えられている。それぞれのステージとしては、社会人の学び直しである「リカレント教育」、長期の海外滞在等を経験する「エクスプローラー」、組織に雇われない働き方である「インディペンデントプロデューサー」、副業やボランティア活動等を行う「ポートフォリオワーカー」が紹介されている。マルチステージの人生では、これらのステージを移行しながら100年の長い人生を歩んでいくことが必要であると考えられる。

2.2.4 変化への抵抗とキャリアオーナーシップ

社会の構造変化に対する適応力を持つための個人の意識として、キャリアオーナーシップが重要であると考えられる。キャリアオーナーシップとは、キャリア展望と自己学習の意識により得られるものである。図 5 にキャリアオーナーシップに関するリクルートワークス研究所の調査結果[5]を示す。本調査では、「自分の意志で、仕事に関わる知識・技術向上のための取り組みを行った」と答えた人は全体の 34.9%。「今後のキャリアの見通しが開けている」と答えた人は、あてはまる・どちらかというにあてはまるを合わせても全体の 15.7%に留まった。これらの調査結果より、人生 100 年時代に対応するためには更なる個人の意識の変化が必要であると考えられる。

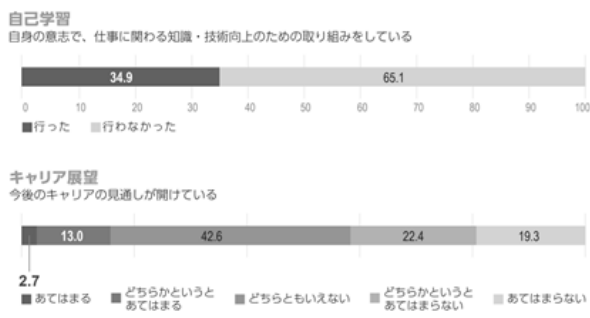


図 5: 自己学習とキャリア展望に関する意識調査[5]

2.3 ライフシフト考察カンファレンスの企画

2.2.4 項で述べたキャリアオーナーシップの意識を一人でも多く方に持ってもらい、様々な社会変化を背景とした人生 100 年時代への適応力を身に付けてほしいと考え、本研究では「ライフシフト考察カンファレンス」を企画・開催した。カンファレンスへの参加を足掛かりに、1st. Step として環境認識、自己の再発見、過去の棚卸などの認知を得る。次いで 2nd. step として、興味・関心の搜索、マインドセットシフト、コミュニティ参加などの行動への足掛かりへと繋げる。更に 3rd. step として、新たな居場所の確立、新たな価値観の形成などの自己変容を実現することを目的とした。

3 ライフシフト考察カンファレンスの実施

3.1 カンファレンス・プログラム

カンファレンスは本学の秋葉原サテライトキャンパスにて、2018 年 11 月 11 日と 11 月 25 日の 2 回に分けて開催した。参加者の募集並びに登録には専用の HP を開設し、総勢 29 名の参加を得た。表 1 にライフシフト考察カンファレンスのプログラムを示す。講義&ワークショップの形式で進められる前半のプログラムを軸に講義の補完的な意味合いとなる人生ゲームライフシフト編 with AR を用いたゲーム学習を実施した。また、会場に設けられた展示室に AR ポスターを掲示し、ポスターに隠されたマーカーを読み込むことで、新たに企画制作した AR 動画を見ることが出来る仕掛けとした。

表 1: ライフシフト考察カンファレンスのプログラム

(1)講義&ワークショップ
・ガイダンス
・外部環境展望
・自己洞察
・ビジョン考察
(2)ゲーム学習
・人生ゲームライフシフト編withAR
(3)ARポスター展示
・AR(Augmented Reality)の体験

また、カンファレンス全体の企画制作における品質チェックとして QFD(品質機能展開)を実施した。品質機能展開とは、顧客の要求把握から始まり、開発・設計の段階から製造までのプロセスにおいて品質を確保し、新製品の品質保証を行うための具体的な方法である[6]。この製品開発で用いられる手法を今回企画するカンファレンスの品質保証に適用することを試みた。

図 6 に QFD により作成された品質表を示す。品質表では縦軸に参加者の要求品質、横軸に品質要素を取り、各要素の対応関係と重要度をチェックした。これらのチェックを行うことで参加者の要求が抜け漏れ無くカンファレンスに組み込まれていることを確認した。

3.2 講義&ワークショップ

講義&ワークショップの構成は、①ガイダンス、②外部環境展望、③自己洞察、④ビジョン考察とした。以下に①～④の概要を記す。加えて、図 7 に講義&ワークショップの開催風景を示す。

① ガイダンス

【位置づけ】

- ・ 当該プログラムの全体像を理解・納得
- ・ 動機付け&アイスブレイク

【目的】

- ・ カンファレンスの方向性、進め方、留意点等の説明
- ・ 人生 100 年時代及びライフシフトの概要の理解

【到達目標】

- ・ 参加者全員の当該プログラムの理解・納得
- ・ 参加者全員に一定の動機付けがなされる
- ・ 参加者全員の人生 100 年時代及びライフシフトに関する一定の理解・認識

【カリキュラム】

- ・ ウェルカムスピーチ
- ・ プログラム全体の説明(方向性、進め方、ゴール等)
- ・ 相互自己紹介
- ・ アイスブレイクゲーム
- ・ 人生 100 年時代及びライフシフト概論(講義)

品質要素			1次	講義・ワークショップ										要求品質重要度				
要求品質			2次	ガイダンス	外部環境展望	自己洞察	ビジョン考察	クエスチョナー・音読										
			3次	相互自己紹介・チームビルディング	人生100年時代及びデジタル革命の概論	デジタル革命とグローバルの進展	ライフシフト・ビジョンに関する要素	自己の価値観と再認識	外部環境変化の予測と自己実現	環境と自己の相互関係による考察	ボクシングな明日に向かって	ポスターセッション	発表		発表	発表	発表	
知識を深めたい	ライフシフトについて知りたい	ライフステージの変化と多様性対応の理解	◎														5	
		エクスプローラーに関する理解	◎															3
		ポートフォリオワーカーに関する理解	◎															3
		インディペンデントプロデューサーに関する理解	◎															3
		無形資産に関する理解	◎															5
	社会変化について知りたい	3ステージの終焉説に関する理解	◎															4
		政治や社会の背景に関する理解		◎						◎								3
		人間寿命の展望に関する理解		◎														3
		グローバル化による影響に関する情報			◎					◎								3
		デジタル革命や第四次産業革命に関する理解			◎					◎								3
人生100年時代について知りたい	人生100年時代のブームの背景に関する理解		◎	◎	◎	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	4	
	自分の価値観の再認識								◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	5	
	今後の行動の足掛かりを得る								◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	5	
	リカレント教育に関する理解								◎	△	△	△	△	△	△	△	3	
人脈を形成したい	業務に役立つ人脈を形成したい	◎															2	
	友人を増やしたい	◎															1	
	趣味や遊びを共有したい	◎															1	
イベントに興味がある	越水PBLに興味がある	△															4	
	AITに興味がある	△															3	
		入学を検討している	△														2	
			品質要素重要度	34	##	42	42	89	66	##	96	68	46	◎:5点 ○:3点 △:1点				

人生ゲーム ライフシフト編 with AR													デザイン重要度	人生ゲーム要素	セールスポイント※
1次	2次	3次													
ゲームデザイン	100年ライフの疑似体験	社会情勢にあったライフイベントが発生する	◎	◎	◎				△	△			997	ルーレット、イベントマス	
		人生の選択ができる	◎	◎									1247	コース選択	
		職業の選択ができる	◎	◎	◎	◎							1585	職業カード、キャリアアップ/チェンジ	
		家族の形成ができる							◎				468	家族ビン、乗り物(駒)	
		有形資産の形成ができる							△				204	お金(\$)、株、手形、保険、家	
		無形資産の形成ができる	◎			◎							1218	無形資産カード	◎
		幸福について考察できる							◎	◎			1005	幸福ポイント、幸福ポイント集計表	◎
	ライフシフトの疑似体験	終活の重要性がわかる											138	終活宣言、寂しい老後エリア	
		エクスプローラーの体験ができる	◎			◎							1080	外ボード(エクスプローラー)	◎
		ポートフォリオワーカーの体験ができる	◎			◎							1080	外ボード(ポートフォリオワーカー)	◎
		インディペンデントプロデューサーの体験ができる	◎			◎							1080	ボード(インディペンデントプロデューサー)	◎
	新しいゲーム体験	リカレント教育の体験ができる	◎			◎							1080	外ボード(リカレント教育)	◎
		従来の人生ゲームにない体験ができる	△										34	? マス、動画視聴	◎
			ボードゲーム以外の楽しみがある	△									34	ARカード、タブレット	◎
														◎:5点 ○:3点 △:1点	
													※:従来の人生ゲームにない要素		

図 6: QFD(品質機能展開)により作成された品質表

② 外部環境展望

【位置づけ】

- 最初のワークとして世の中の洞察を行う
- 外部環境の展望に関する洞察

【目的】

- 人は大きな時代の流れの中で生きていることを踏まえ、大きな環境変化の展望を具体的に俯瞰する
- 自身が身近に感じるテーマを認識・把握する

【到達目標】

- 散在認識している外部環境変化の予測を考察出来る
- デジタル革命, 人生 100 年時代, 日本国, それぞれについての展望を深めることが出来る
- 自身が身近に感じるテーマを見つけることが出来る

【カリキュラム】

- デジタル革命とグローバルの進展
- 日本の課題
- ライフシフトが問かけられる要素
- 個人ワーク
- グループワーク



図 7: 講義&ワークショップの風景

③ 自己洞察

【位置づけ】

- ・ 講義前半の山場として自己を考察する
- ・ ライフシフト・ビジョンにつながる要素の整理

【目的】

- ・ 自己を再認識しマインドセットを図る
- ・ 外部環境を考察し自己を考察する

【到達目標】

- ・ 散在認識している自己認識を考察出来る
- ・ マインドセットあるいは価値規範転換を図ることが出来る
- ・ 自身が身近に感じるテーマを見つけることが出来る

【カリキュラム】

- ・ 自己の再認識(現在・強み・弱み)
- ・ 自己の展望(これからの To Want, To Do)
- ・ 外部環境変化の予測と自己実現
- ・ 個人ワーク
- ・ グループワーク

④ ビジョン考察

【位置づけ】

- ・ カンファレンスの要点として自己ビジョンを考察する
- ・ カリキュラムの中で最も重要な位置づけ

【目的】

- ・ ライフシフトを踏まえてビジョンを描く
- ・ ビジョン実現に向けて要素を整理する

【到達目標】

- ・ 外部環境変化/自己洞察を踏まえてビジョンを描くことが出来る
- ・ ビジョンを実現するために必要な具体的なライフシフトを考察出来る
- ・ ビジョン実現に向けた要素を検討出来る

【カリキュラム】

- ・ 外部環境と自己の相互展望による考察
- ・ ポジティブな明日に向かって
- ・ 5つの幸福
- ・ 個人ワーク
- ・ グループワーク

3.3 人生ゲームライフシフト編 with AR

3.3.1 人生ゲームの企画設計

カンファレンスの目玉企画として、2.2.3 項で記した書籍 LIFE SHIFT で紹介されている、マルチステージの人生を疑似体験出来るツールである「人生ゲームライフシフト編 with AR」を用いたゲーム学習を実施した。本ツールは、人生ゲームの企画販売を行っている株式会社タカラトミー様の協力のもと製作した。以下に企画・設計の概要を記す。

【ターゲット】

都会で仕事に追われるビジネスマン。ライフシフトに興味を持っている。

【狙い・目的】

マルチステージを疑似体験し講義内容をより深く理解する。

【訴求ポイント】

認知度が高いボードゲームをアレンジすることで「懐かしさ」と「新鮮さ」を同時に体験できる。

【差別化ポイント】

AR 技術を用いてライフシフトの場면을刺激的に体験することが可能。

【勝敗】

お金(以下 \$)の増減要素(有形資産)を残しつつ、人との繋がりを基にした「5つの幸福要素(無形資産)」の入手を進め、最終的には全要素を幸福ポイントに変換し勝敗を決める。

3.3.2 人生ゲームのストーリー展開

人生 100 年時代を再現するため 100 歳をゴールとし、それまでの人生を歩む過程においてライフシフトを経験する。具体的なライフシフトイベントとして、社会人の学び直しである「リカレント教育」、長期の海外滞在等を経験する「エクスプローラー」、組織に雇われない働き方である「インディペンデントプロデューサー」、副業やボランティア活動等を行う「ポートフォリオワーカー」を経験し、それらのイベントで手に入れた無形資産によって人生の様々なトラブルを回避していく流れとした。また、これらの過程の中で \$ や幸福ポイントの入手を進めていく。

3.3.3 AR 動画による演出

AR とは Augmented Reality の頭文字であり日本語では拡張現実と訳される。人生ゲームではコース上に配置される「？」のマスに止まることで AR カードを引くことが出来る。カードに記された AR マーカーを専用のアプリで読み取ることによって AR 動画によるイベントを体験出来る設定とした。この様な演出によりゲーム中のイベントをよりインパクトのある体験へと向上させてゲーム学習としての効果を高めることを狙いとした。図 8 に AR 動画による演出の流れを示す。



図 8: AR 動画による演出

3.3.4 ゲームシステムの構築

ゲームのシステム設計には、ゲームデザイン手法の先行研究にある、部分構造交換法[7]を用いた。部分構造交換法はオリジナルのゲーム要素と新たに導入したいゲームの要素を部分的に交換することで効率良く学習ゲームを制作することが可能となる手法である。図 9 に部分構造交換法の概念を示す。今回の人生ゲーム製作においては、既存の人生ゲームを構成する各要素と我々がゲーム学習として追加したい要素とを入れ替えることで効率良くシステムの構築を行った。図 10 に今回の製作における具体例を示す。既存の 4 つの追加エリアを 4 つのライフシフトエリアに交換、既存のお宝カードをライフシフトの無形資産カードに交換、既存のゴール手前にある決算日・開拓地を終活宣言・寂しい老後に交換するなどの変更を行った。このような製作方法を用いることでゲーム全体の構成を大きく崩すことなく、必要な要素を効率よく導入することが出来た。

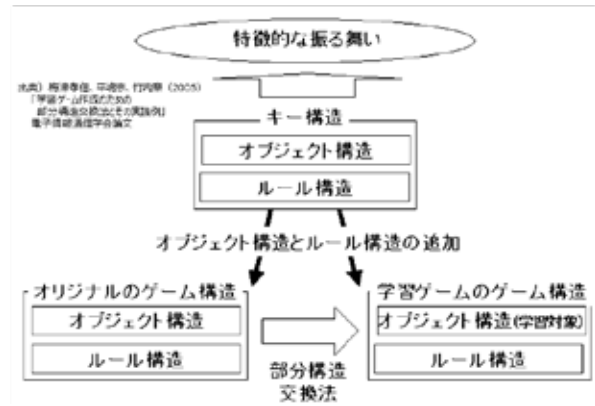


図 9: 部分構造交換法の概念[7]



図 10: 人生ゲームにおける部分構造交換法の適用箇所

3.3.5 人生ゲーム盤面デザイン

以下に人生ゲームの盤面デザインを示す。実際のゲームでは、メインボードと 4 種類のライフシフトボードを行き来しながら無形資産や幸福ポイントを入手していく設計となっている。図 11 に盤面デザインの全体図を示す。



図 11: 盤面デザイン全体図

図 12 にメインボードの盤面デザインを示す。20 代の職業選択からスタートし、結婚(離婚)、出産、退職、終活などの人生のイベントを経験し、その間のライフシフトイベントとして、リカレント教育、エクスプローラー、インディペンデントプロデューサー、ポートフォリオワーカーの 4 つのライフシフトボードへ移動する。



図 12: メインボード

図 13 にリカレント教育ボードの盤面デザインを示す。リカレント教育ボードでは、社会人の学び直しとして大学院への進学を経験する。その過程で得られた知識、経験、人脈などの無形資産を活用しメインボードでのイベントを有利に進めていく。



図 13: リカレント教育ボード

図 14 にエクスプローラーボードの盤面デザインを示す。エクスプローラーボードでは、人生の旅をして自分と世界の再発見をイメージし、海外での経験を中心に無形資産の入手を進めていく。



図 14: エクスプローラーボード

図 15 にインディペンデントプロデューサーボードの盤面デザインを示す。インディペンデントプロデューサーボードでは、組織に雇われず独立した立場で生産的な仕事に携わる期間として、起業にチャレンジする。これらのチャレンジを経て有形資産と無形資産の入手を進めていく。



図 15: インディペンデントプロデューサーボード

図 16 にポートフォリオワーカーボードの盤面デザインを示す。ポートフォリオワーカーボードでは、企業勤務、副業、NPOなど異なる種類の活動を同時に行い、無形資産の入手を進めていく。



図 16: ポートフォリオワーカーボード

3.3.6 人生ゲームを使ったゲーム学習

図 17 にカンファレンスプログラムでの人生ゲームのプレイ風景を示す。参加者は大いに盛り上がり、人生ゲームライフシフト編 with AR はゲーム学習ツールであると同時にコミュニケーションツールとしても有効であることが伺えた。



人生ゲームプレイ風景(1)



人生ゲームプレイ風景(2)



人生ゲームプレイ風景(3)



人生ゲームプレイ風景(4)

図 17: 人生ゲームを使ったゲーム学習

3.4 AR ポスター

カンファレンス会場の展示室に 5 枚のポスターを掲示した。ポスターの内容は、カンファレンスの出口戦略である、リカレント教育、デュアルライブを中心とし、その中の数枚について、AR 機能を付与した AR ポスターの製作を行った。AR ポスターとは、ポスターの中のデザインの一部に AR マーカーの機能を設定しており、AR マーカーを前述の専用のアプリで読み込むことで AR 動画が再生される仕掛けとなっている。ポスターのどの部分が AR マーカーであるか一目では判らないため、来場者はカメラを様々な方向に向けて AR マーカーを探すことになる。再生される動画についてはリカレント教育やデュアルライブを題材としたオリジナル動画を作製した。図 18 に AR ポスターの一例を示す。



図 18: AR ポスターの一例

4 アンケート調査と分析結果

4.1 アンケートの内容

カンファレンスの効果の検証に向けて、アンケートの設計・収集を行った。アンケートは、ライフシフトに関する意識調査を中心に、カンファレンス参加前とカンファレンス当日に参加者に対して行い、カンファレンス前後の各段階における意識の変化についても検証を行った。また、アンケートの収集に際して下記①～③の仮説を構築した。

- ① カンファレンスによってライフシフトの理解が向上する。
- ② ゲーム学習によりライフシフトへの理解度が向上する。
- ③ AR の導入によってゲームイベントを強く体感出来る。

4.2 分析結果

4.2.1 カンファレンスの理解度向上に関する検証

図 19 はカンファレンスの理解度に関するアンケートの集計結果である。各質問事項と 5 段階評価における回答の平均値は以下となる。なお、5 段階評価について、満足が高い場合は5、満足が得られない場合は 1 として回答して頂いた。質問(1): このカンファレンスは満足のものでしたか？

回答平均:4.2

- 質問(2): カンファレンス自体の目的は理解出来ましたか?
回答平均:4.1
- 質問(3): カンファレンスで目的を達成出来ましたか?
回答平均:4.2
- 質問(4): 学習内容は理解出来ましたか?
回答平均:4.0
- 質問(5): このカンファレンスで学習した知識やスキルは、
現在或いは今後のあなたの生活に活かせると思いますか?
回答平均:4.3
- 質問(6): 講義や資料は満足 of いくものでしたか?
回答平均:4.1

結果、これら 6 つの質問の全てにおいて平均 4.0 以上の回答を得られており、カンファレンスの内容がライフシフトの理解度向上に寄与したことが判った。

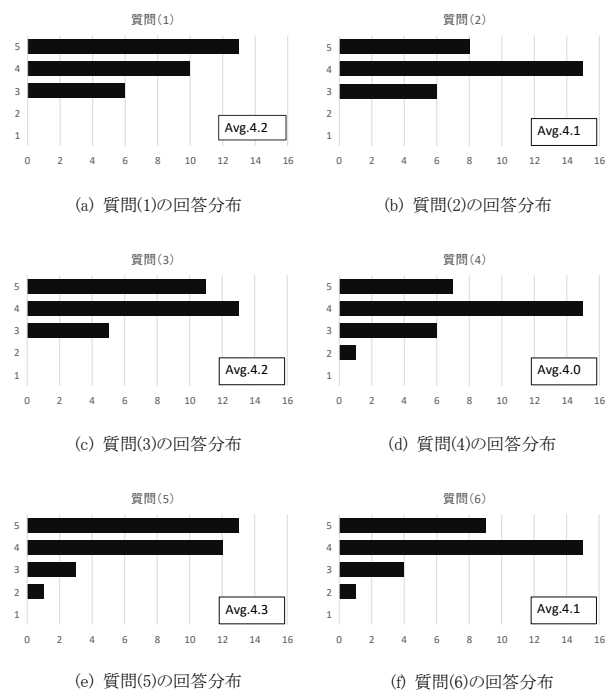


図 19: 理解度向上に関する回答分布

4.2.2 ゲーム学習の効果

ゲーム学習の効果に関するアンケートの集計結果より、「ゲームを通してライフシフトの理解度が深まった」と答えた人は 76%、「ゲームを通してライフシフトに対して能動的になった」と答えた人は 93%に上り、人生ゲームを用いたゲーム学習の効果については、多くの参加者に認めて頂いたと考えられる。一方で AR の導入については、「AR がゲームに効果的であった」と答えた人は 59%に留まり、我々が想定していたほどの効果を得ることは出来なかった。

4.3 考察

ライフシフト考察カンファレンスを開催するにあたり、以下の仮説を構築し、アンケートの集計を行うことで仮説の検証

を行った。

仮説①「カンファレンスによってライフシフトの理解が向上する」については、主に講義&ワークショップを中心とした理解度に関するアンケートの集計を行い、6 つの質問の全てにおいて平均 4.0 以上の回答を得られた。本回答結果を得られたことは、カンファレンスの開催に向けた講義の設計やテキスト類の作成が有効であったことを示しており、カンファレンス開催の効果を裏付けする重要な結果であると捉えている。また、人生ゲームを使ったゲーム学習についても、アンケート結果からその高い効果が認められたと言える

仮説②「ゲーム学習によりライフシフトへの理解度が向上する」については、「ゲームを通してライフシフトの理解度が深まった」と答えた人は 76%、「ゲームを通してライフシフトに対して能動的になった」と答えた人は 93%という前述のアンケート結果から、十分にその効果が確認できたとと言える。

仮説③「AR の導入によってゲームイベントを強く体感出来る」について、回答結果より、ゲーム学習自体の効果は認められるものの、AR の導入については期待していたほどの効果を得ることが出来なかった。原因として、ゲームに導入した AR がゲーム中のイベントを伝える動画に留まってしまい、Augmented Reality (拡張現実)としての機能を十分に果たせず参加者にインパクトを残すことが出来なかったと考えられる。加えて、AR カードを引いてタブレットにてマーカーを読み込み、動画を再生するといった手順に手間が掛かりゲームの流れが悪くしてしまったことが AR の印象を損ねてしまったと考えられる。これらについては、企画段階の設計検討とゲームへの導入時の動作検証が不十分であったことに起因しており、カンファレンスの企画・制作における反省点として捉えている。

5 まとめ

本論文では、人生 100 年時代に向けて一人でも多くの人に適応力を身に付けてもらうことを目的に「ライフシフト考察カンファレンス」を企画・開催した。その背景には、高度医療の進展とヘルスケアの充実がもたらす長寿命化、第 4 次産業革命がもたらす様々な社会変化があり、我々の生き方や考え方を見直す必要性に迫られていることがある。その様な中でブームを呼んだ書籍「LIFE SHIFT」に描かれている、無形資産の重要性とマルチステージの人生がヒントになった。人生 100 年時代に不安を抱いている方への気づきとして、また、キャリアオーナーシップへの意識変化を得るきっかけとなるよう、カンファレンスの主題として LIFE SHIFT を取り上げた。

カンファレンスでは、前半の講義&ワークショップを中心に、ゲーム学習としてライフシフトの人生を疑似体験することが出来る人生ゲームライフシフト編 with AR による実習、カ

ンファレンスの出口戦略の一つであるデュアルライフとリカレント教育の情報を掲示したARポスターの3つの構成とした。特に人生ゲームライフシフト編 with ARの製作では、既存のゲームシステムを崩さずに新たな価値観やストーリーを効率よくゲームに取り入れるため、ゲームデザイン手法の先行研究例である部分構造交換法を用いて開発を行った。加えて、QFD(品質機能展開)による品質確認とリーン改善によるゲームバランスの修正を繰り返すことで高品質なゲーム学習ツールを制作することが出来た。

カンファレンスの効果を検証するためアンケートの集計を実施した。アンケートは、ライフシフトに関する意識調査を中心に集計を行い、アンケートの取得に際して次の①～③の仮説を構築し検証を行った。

- ① カンファレンスによってライフシフトの理解が向上する。
- ② ゲーム学習によりライフシフトへの理解度が向上する。
- ③ ARの導入によってゲームイベントを強く体感出来る。

集計の結果①②については仮説を支持するアンケート結果を得ることが出来た。しかし③については、期待していたほどの効果を得ることが出来なかった。これについてはARの導入に向けた企画設計が不十分であったことが原因と考えられ、課題の残る結果となってしまった。

ARの設計において一部課題は残ったものの、カンファレンス全体を通して参加者からは満足のいく回答を得ることが出来た。カンファレンス開催の目的として掲げた、人生100年時代に向けて一人でも多くの方に適応力を身に付けてもらうことについても微力ながら貢献することが出来たと考えている。

謝辞

本稿で紹介する内容は、平成30年度に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。本プロジェクトを遂行するにあたり、株式会社タカラトミー様、株式会社エムソフト様、デザイナーの溝口夏子氏、本学修了生の金孝貞氏には多大なご支援を頂きました。ここに深くお礼申し上げます。最後に、カンファレンスに参加して頂いた多くの皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] SMBC 日興証券, 投資情報サービス・FROGGY(フロッギー)実施「“人生100年時代”のお金についての意識調査」,
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000002.000024404.html>, 2016. (visited on 2019/7/27)
- [2] リンダ・グラットン, アンドリュー・スコット, LIFE SHIF 人生100年時代の戦略, 東洋経済新報社, 2016

- [3] 日本生命, 第1回人生100年時代の意味,
<https://www.nissay.co.jp/enjoy/nagaiki/column/001.html>, 2016. (visited on 2019/7/27)
- [4] 厚生労働省, 厚生労働省 Press Release 平成24年9月14日 平成24年百歳以上高齢者等について,
<https://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002ju6v-att/2r9852000002juap.pdf>, 2012.
- [5] リクルートワークス研究所, 第1章【問題提起】91%がキャズムを乗り越えられない時代の到来,
<https://www.works-i.com/project/100/lifecareer/detail001.html>, 2018. (visit on 2019/7/27)
- [6] 永井一志ほか2名, 持続可能な成長のための品質機能展開—JIS Q 9025の有効活用法とその事例, 日本規格協会, 2004
- [7] 梅津孝信, 平嶋宗, 竹内章, 学習ゲーム作成のための部分構造交換法とその実践例, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 88-D-1, No.1, pp.36-44, 2005.

再生可能エネルギーとEVを用いた電力地産地消の課題と展望 —マルチエージェントシミュレーションによる効果検証—

城 一 平*・福田 和 彦*・加藤 武 徳*・蔡 詩 傑*
青 井 恵 太*・張 子 焱*・林 久 志*

Towards local energy production for local consumption using renewable energy and EV systems

Ippei Jou*, Kazuhiko Fukuda*, Takenori Kato*, Shijie Cai*,
Keita Aoi*, Ziyao Zhang*, Hisashi Hayashi*

Abstract

From the 2011 earthquake, the Japanese government has proceeded to increase renewable energy instead of nuclear energy. However, the power generation through renewable energy is unstable. In this report, we study two systems for improving the usage of renewable energy. First option is local production for local consumption of renewable energy. In this system, energy suppliers in a local area can provide energy smoothly to consumers in the same area with our new power sharing system. Secondly, we also study a system which can charge the batteries of EVs using surplus power of the grid and discharge the electricity of EVs to the grid. We evaluate the effectiveness of these systems by means of multi-agent simulation.

Keywords: Electric power system, Renewable energy, Local production for local consumption, EV charging system, Electric power stability, Multi-agent simulation

1 はじめに

2011年の東日本大震災における原発事故以降、わが国のエネルギー供給はLNGや石炭などを用いた火力発電が多くの割合を占める様になり、火力への依存度は年々増加の一途を辿っている。火力発電は安定した発電が可能であり、かつ発電量の出力制御も容易で効率的な発電手段であるが、同時に温室効果ガスである二酸化炭素を多く排出し、地球環境に負荷を掛ける要因となっている。そのため、昨今、エネルギー源として環境への負荷が少ない太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーの普及と発電能力の向上が図られている。

しかし、再生可能エネルギーは、自然環境(例えば太陽光や風速の時間変動など)に起因する発電量の時間帯による出力変動が大きく、電力系統を不安定にさせる要因となっているため、発電容量の拡大には制約があり、その結果、電力供給量全体に占める再生可能エネルギーの割合は、未だ発電量全体の10%以下と低い状況にある。

我々は、環境に負荷をかけない再生可能エネルギーの不安定要因を解消させ、今後の社会の主要電力源として重要な位置を占めていくための課題を提示し解決を目指す。

そのために、従来のような中央の電力会社が集中して電力を送電させる仕組みに加えて、電力の地産地消の概念を取り入れることにより、小水力などの地産地消型再生可能エネルギーの効率的発電と電力の効率化配分の手法を研究する。さらに再生可能エネルギーの出力変動を解消するために、近年、急増しているEV(電気自動車)に着目して、電力安定化を試みる手法を研究する。

まず、国内のエネルギー事情を掘り下げ、これから導き出した我が国の現在の電力システムの課題を抽出する。その課題を踏まえて、最も利用しやすい再生可能エネルギーである小水力発電の有効利用として、国内ではまだ十分に活用されていない水の落差を用いた小水力発電方式を研究する。さらに地方都市や山村などでの電力需給の地域自立性を考慮して、電力分配の効率的手法による電力地産地消の実現方法を研究する。

さらに、再生可能エネルギーの安定化に必要とされる蓄電池については、EVに搭載されているリチウムイオンバッテリーに着目した。そしてエネルギー利用最適化の手段として、EVの停止時に充放電を行うことで、電力の安定化に貢献できるといふEVの走行以外の新たな価値創出を研究する。ま

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

た、将来 EV が国内に急増した際、それらの電力需要を平準化するための施策も研究する。

本論文は以下のように構成される。2 章では、日本が抱えているエネルギー問題に関してその概要を、3 章では、エネルギー問題解決のための課題を説明する。さらに 4 章では、P2P 電力シェアリングによる地域内電力需給安定化について、5 章では小水力発電による再生可能エネルギーの安定供給について、6 章では、家庭用 EV 充電器のシェアリングについて、7 章では、EV の計画充電による発電コストの低減について、8 章では、EV のバッテリーを用いた再生可能エネルギーの安定化について、課題と今後の研究の方向性を示す。9 章では、各章で得られた知見をまとめ、総括を行う。

2 国内におけるエネルギー問題

2.1 東日本大震災以降の国内のエネルギー問題

資源に恵まれない我が国にとってエネルギー政策は常に大きな課題である。150 年前の開国以降、日本は近代化の道を歩み幾多の産業を発展させてきた。そして、その発展のために「天然ガス」「石炭」「水力」「石油」「原子力」と扱えるエネルギー量を増大させて、現在に至っている。またそのエネルギーを分配する電力系統の設備においても、日本は世界でも類を見ない大規模かつ安定的に電力を供給できるシステムを作り上げてきた [1]。

しかし、そのエネルギーの安定供給システムも 2011 年 3 月 11 日の東日本大震災により大規模な変革を余儀なくされることとなった。それまでベース電源として用いられてきた原子力発電は、事故を起こさないための信頼性強化から次々と停止に追い込まれた。原子力発電というベース電源を失った結果、安定的に供給されてきた電力は、ピーク時に足りなくなる懸念が発生した。そして東京電力管内では多くの企業が節電に協力して、電力系統の安定化に寄与していたのである。図1にあるように 2011 年以降、原子力発電はほぼ 0% に低下、その不足分を埋めるべく火力発電が増加しているが、エネルギー政策及び温室効果ガス低減の観点からは大きな問題である [1]。

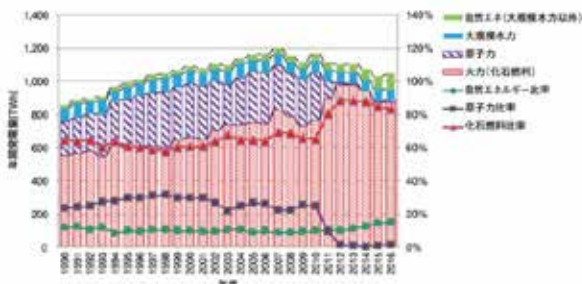


図 1: 日本の電源構成(年間発電量)推移
| 出所: ISEP 調査 [1]

2.2 現状でのエネルギー政策

一方で新たなエネルギー政策として、2009 年から始まった太陽光発電余剰電力買取制度も、2012 年 7 月には再生可能エネルギー固定価格買取制度 (FIT) となり、新たな運用が開始された。この制度により国内の電源構成における水力を含む再生可能エネルギーの割合は、2011 年時点の約 10% から、2016 年時点で約 15% まで向上している。順調に増加している再生可能エネルギーの発電量ではあるが、その一方で、太陽光発電由来の電力や出力の不安定さも指摘されている [1]。

現在、順調に増加している再生可能エネルギーをより有効活用するためには、気候に左右される再生可能エネルギーの安定供給、及び余剰電力発生時の電力の利用方法を確立していく必要があり、また同時にコスト低減、及びより一層の発電量の増加を継続的に行っていくことも重要である。例えば、図 2 は比較的太陽光発電に力を入れている九州電力の一日の発電量推移の結果である [2]。太陽光発電がピークを迎える正午には、実に電力需要の約 7 割を太陽光で賅っている。現時点では、再生可能エネルギーは、国内の電力需要をすべて賅うには、まだ十分な電源とはいえないが、この結果を見る限り、今後より一層の機能と仕組みの改善を行うことで、これまでの原子力・火力・水力を代替する電源としての潜在的な力があるといえる。

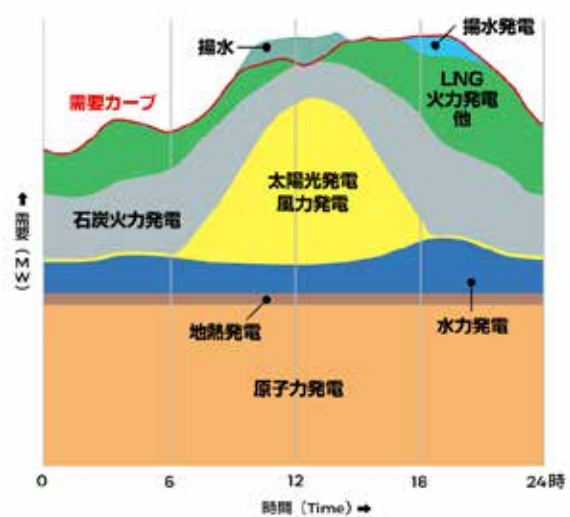


図 2:九州電力の1日の電力需給変化(2017年5月14日)
| 出所:九州電力データ [2]

3 課題抽出

再生可能エネルギー、特に太陽光・風力発電は自然環境の変動に大きく影響される。そのため、安定した電源として産業にそのまま用いるのは非常に難しく、いかに安定した電力量を確保するかが大きな課題の一つである。

また、再生可能エネルギーをそのまま電力系統に導入した場合、その出力・周波数変動が系統の安定性を著しく損

なることも問題である。

本研究では、これらの課題を以下の4章から8章にて5つの観点から詳細に分析し、これを解決するための施策を検討する。

4 再生可能エネルギーと地域電力需給最適化

4.1 背景

電力の有効利用として、スマートグリッド化や電力売買の自由化が進み、また、再生可能エネルギー源による電力売買も盛んになってきている。地域社会単位での電力の地産地消は、将来的に電力を安定供給するための手段として、また、地域振興の手段としても有効な方策である。

しかし、再生可能エネルギー(太陽光、風力、水力)は、時間や場所による出力変動が大きく、電力同時同量の原則や周波数変動の抑制から、再生可能エネルギーだけでは、電力の過不足が生じてしまい、安定した地域電力システムを形成することはできない。過不足を解消させるための手段として、以下の施策が考えられている [3]。

- ① 発電量強化
 - 火力発電等による電力不足時バックアップ電源強化
- ② 蓄電強化
 - 蓄電池による再生可能エネルギーの出力平準化
- ③ 需要調整
 - 地域内での電力需給最適化による電力の有効活用

本研究では、③の地域内での電力需給最適化による電力の有効活用方法を改善することにより、再生可能エネルギーの有効利用と地域単位の地産地消を促進するための展望を示す。

4.2 関連研究と課題

再生可能エネルギーによる電力の需要(消費)と供給(発電)のバランスをとるために、配電を効率化するシステムが提案されており [4] [5] [6]、また、需要家の電力使用量を制御し電力を生み出すデマンドレスポンス(DR)が研究され実証や実用化が進められている [7]。また、ブロックチェーンによる電力売買 [7] [8]や、サーバーを介さない P2P(Peer to Peer) ネットワークによる電力分け合いの研究や実証も進んでいるが [9]、これらは、電力取引所やアグリゲータの仲介が前提となっている。

一方で、シェアリングエコノミーによるビジネスモデルが進み [10] [11]、Uber、Airbnb などによる革新的なモデルが登場しており [12]、モノの取引だけでなく、時間により過不足が生ずる人材取引などへの適用も提案されている [13] [14]。そこで、シェアリングエコノミーのビジネスモデルを地域内での電力取引に適用することにより、地域の電力需給の過不足を地域内で解消でき、再生可能エネルギーの地産地消に貢献できるものと考えられる。

4.3 研究の目的

本研究では、地域における「地区」及び「個人」単位での P2P による電力売買をアグリゲータや電力取引所を介さず実施する仕組みにより、地域内で発電した電力を効率的にシェアリングする方式の展望を示す。

すなわち、電力取引における自由化の流れの下では、従来のような電力会社を基軸とした固定価格での契約による電力売買から、電力をシェアリングの対象として過不足解消を行う方法が考えられる。また、地域の中での電力分け合いを実現するために、アグリゲータを経由しない P2Pでの地域内電力売買を促進し、自立した電力地産地消を実現することを目的とする。アグリゲータを介さずに電力取引を P2Pで行うことができれば、地域における太陽光、風力、水力などの小規模発電者と需要家の間だけで取引を成立させることができ、地域の小規模な町や村の中での地産地消による電力売買を可能にすることができる。

4.4 研究方法

本研究では地域の各地区(町、村)において、太陽光発電や風力、小水力を利用した地域内発電業者と需要家が一体となって、電力エネルギーを地区内で自給自足するために、P2PのLANを通じて、生産者と需要家が一对一で電力売買取引を行うものである。取引では、指定した時刻において、需要家から必要な電力量の購入申請を生産者に送り、取引価格と取引量が成立した場合、当該電力を需要家へ既存の送電網を通じて送電する。

売買取引においては、電力取引の通貨として、地域内電力ポイント制を導入し、電力ポイントの量にて地域内電力量をシェアする方式とする。電力ポイントは、地域内電力取引においてのみ有効となる。現金取引やブロックチェーンでなくポイント取引にすることより、1ポイント当たりの価格を発電量と時期の関係で定義することができる。これにより、需要の優先度と供給の量により、電力の時価相場を調整し、必要な時に必要な電力を使用することができる。また、地域単位での売買であるため、発電した経費以外の流通コストが削減され、電力価格自体を低減させることができる。

取引価格は、生産者が取引最低価格を決めて、需要家の中で最も高い金額(ポイント)を提示した需要家が、その電力量使用を落札することを生産者が決定する。この場合、発電量と時期によっては、取引が成立しにくい場合もあり得るが、ポイントによる電力取引であるため、電力が余っている割合や、電力が不足する割合により、ポイントによる配分を生産者と需要家との間で調整し、優先度に応じた電力取引を行い、取引を平準化することができる。また、緊急医療や地区イベントなどで、特定需要家に電力供給が必要な場合は、需要緊急度をポイントに上乗せして、優先権取引をすることができる。

地域における再生可能エネルギー適用の P2P 電力分け合いのモデルを図 3 に示す。この図において、地域の各地区の中に、電力生産者と需要家が存在し、地区内で P2P による電力シェアリングが行われるのと同時に、地区間でも、P2P による電力シェアリング取引を行うことができる。取引は、電力ポイントを介して行われ、電力事情に応じて、実勢価格が変動し、地域のエネルギー事情に応じて取引が行なわれることで、地域内でのエネルギー地産地消を実現する。ただし、地域内での再生可能エネルギーの P2P 取引で、全ての電力需要をカバーする方式だけではなく、ベース電源として既存の電力会社と併用も可能とする。

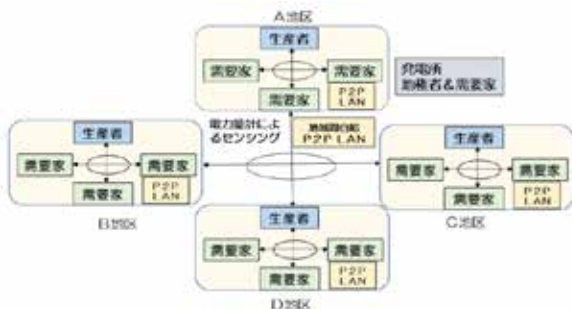


図 3:再生可能エネルギー適用 P2P 電力分け合いモデル

4.5 期待される成果

本研究による再生可能エネルギーを用いた地域内電力の取引において、シェアリングエコノミーを活用した P2P 取引による電力の直取引により、規模の大きい電力会社やアグリゲータを介さずに、地域内の電力取引を有効利用することができ、地産地消を実現することができる。また、電力を必要な時に必要な量を必要な人が利用することが可能になり、さらに、再生可能エネルギーの電力価格を削減することができ、結果として、地域内の CO₂ 排出量削減につなげることができる。

また、地域内で電力エネルギーを地産地消することで、地域の活性化と、災害などの発生時でも、地域単位で独立した社会システムを形成することができる。

5 灌漑用水における小水力発電の最適配置

5.1 背景

地球環境を守るため、我が国でも、環境負荷の低いとされる再生可能エネルギーについて研究が進められている [15]。再生可能エネルギーの代表的な電源については太陽光、水力、風力、バイオマスなど多岐にわたって挙げることができ、これらは火力発電と比較して大気汚染のような悪影響を環境へ生じ難い。しかし、環境変動による発電量の時間的不安定性に課題があり、火力発電に代わって、一定量の安定した電力供給をし続けるためには、この課題解決が必要となる [16]。

本研究では、再生可能エネルギーの中でも、比較的安定した出力が期待できる小水力発電に焦点を当て、多くの低落差を持つ灌漑用水における発電機の最適配置による小水力発電活用の展望を示す。

5.2 関連研究と課題

小水力発電ではビル内の循環水や中流河川、施設内での観賞用の水路などを対象として、実際に専用の発電機を製作した事例がある [17] [18] [19]。また、河川を流れる大量の水に対するダムや堰、用水路といった河川整備など、安定的な水利用を目的とした水資源開発施設の建設が行われた事例も存在しているが、その多くは発電機構の改善や限定的な範囲での実施となっている [20]。また、整備された設備の用途は主に治水や農業用水で使用されており、落差や流速で生じるエネルギーが十分に引き出されずにいる [21]。

その一方で、ダムや取水堰などの大規模な施設の併設が必須となる水力発電と比較して、小水力発電は設備の施工費用が抑えられる特徴を持っており、小規模な発電設備の導入は比較的容易である [16]。また、図 4 に示すように、我が国は年間の降水量も多く、諸外国よりも比較的水量が豊富であり、小水力発電における潜在的発電量については決して無視できるものではない [22]。

5.3 研究の目的

本研究では、農業用水として用いられている灌漑用水内で、限られたコストの中から最適な発電機の配置を行うことで安定した電力供給を行う手法の展望を示す。

灌漑用水には主に「灌漑期」「非灌漑期」と呼ばれる 2 つの時期が存在しており、それぞれ時期ごとに異なった流量の変動が生じるために安定した発電を行うことが難しい。また、発電機の過剰な敷設により水路内の環境が変動し、生態系に悪影響を与えてしまうことも考えられる [18]。これらの要因を受け難く、かつ十分な電力供給が可能な発電機の配置手法を研究することを目的とする。



図 4:世界各国の降水量(mm/年)

出所:国土交通省「日本と世界の河川の比較」 [22]

5.4 研究方法

当該予算を元に設置可能な発電機の台数を決定する。発電機台数分の設置場所の選定を行う。選定にあたっては、目的とする用水内で発電機を設置しようとする地点を一定数選択する。選択した場所の流量と流速のデータを得る。それらのデータを基に各発電機を各場所に設置した場合の発電量を求める。その後、どの発電機をどの場所に設置したらよいかを決める。本研究では、灌漑用水の流量データを用いて発電機の配置場所を決定するための手法を検討する。

5.5 期待される成果

本研究により灌漑用水内で小水力発電を実施する際に、予算に応じて発電量を最大化できる複数の発電機の選定とそれらの設置場所を決定できる。

6 家庭用EV充電器のシェアリング

6.1 背景

現在、世界中でEVの導入が進められている。この背景には地球温暖化とピークオイルという二つの社会問題が存在している [23]。これらの社会問題は、どちらも石油燃料に由来したものであるため、世界中の自動車メーカーはこれまで同様に内燃機関式エンジン車を作り続けることが非常に難しいと考えている。その結果、自動車各社はEVを主流とする車社会を目指して新たな活動を進めている [24]。

一方、社会問題とは別に経済的観点から見た場合、日本にとって自動車産業は重要な基幹産業である。日本政府は社会問題を解決しつつ、かつ産業の活性化を進めるべく、2020年までに、国内PHEV・EV保有台数を最大100万台にすることを新たに目標として設定した [25]。そして現状ではEVの国内普及台数は未だ数10万台のレベルであるが、今後ますます増加していくのは間違いない。さらにEVの普及において重要な充電という側面から考えた場合、現状で日本国内の充電場所に関する統計では、EV購入者の9割が戸建の住宅にて充電を行っていることが報告されている [26]。

現在、日本国内にて戸建と共同住宅の割合は6:4である。共同住宅では、共有の駐車場に充電設備を後から導入するのは難しいため、現在の共同住宅の多さを考えた場合、充電設備の不足がEVの普及に与える影響は無視できない [27]。

6.2 関連研究と課題

これまでの研究によると、公共のEV充電設備についての立地場所や分布など、家庭でのEV利用の視点から、総合的な充電環境の評価へと発展させることが課題である [28]。電欠シミュレーションにより、約30kmごとに充電器を設置すれば電欠が起きないことが分かっている。そして現在、平均

26.4kmごとに一つの充電設備が設置されているが、実際は県別に見ると、30kmを超える地域があり、電欠の不安を感じるEVユーザーもいる [29]。

また、EV充電の利便性を高める上で、所有する住宅だけでの充電環境の確保には限界がある。ベルリンにあるスタートアップ企業 Ubitricity のように、街灯や自動販売機、時間貸し駐車場も充電器に作り替えることができる [30] [31]。しかし、充電器の利用にはパラツキがあるため、新規の設備投資を考えた際、収益率が低く、投資を回収できない恐れもある。

6.3 研究の目的

本研究では、分散した家庭用のEV充電器のシェアリングモデルを作成することで、都市部における充電の待ち時間を減らし、充電器ごとの利益の最大化を目的としている。これにより、日本全体にとっても、今まで不足していた充電需要を補填することができる。またEVをより身近に感じることで購買意欲にもつながる。

6.4 研究方法

本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用い、ここで提案している家庭用EV充電器のシェアリングについてシミュレーションを行う。

複数の家庭用EV充電器エージェントをP2Pシェアリングのネットワーク空間に配置する。そして、既存の戸建や共同住宅にある充電器を一般のEVユーザーにも開放するサービスを提供する。その結果、充電器のオーナーや運営会社もその利益を享受できる仕組みを作る。

カーナビゲーションシステムでルート案内を選択する際に、時間優先、有料道路優先、バランスのとれたおすすめルートの3つの選択肢があるように、本研究でも下記に示す3パターンを用意する。すなわち、充電時間優先、充電価格優先、バランス型の3パターンでシミュレーションを行う。さらにEV充電器ごとの充電価格を変動レートに設定しその効果を検証する。また、充電器側の収益と利用者側の待ち時間を評価指標として数値化する。

6.5 期待される成果

今まで共同住宅に住んでいて充電環境に恵まれなかった潜在的なEVユーザーも充電器のシェアリングによって、EVの所有者になることができる。

また、充電器のシェアリングにより、家庭用EV充電器のオーナーについて、「設置コストシェアリングによる期待利益<0」が成り立つことで、家庭用などのEV充電器がさらに普及すると考えられる。そしてその実現のために、より充電器のオーナーが高収益を上げ、EVユーザーの充電待ち時間を減らすような価格決定システムが望まれる。EV充電器の

拡充が進めば、これまで以上に EV 社会が早く実現すると考えられる。

7 EV の計画充電による発電コストの低減

7.1 背景

自動車は移動手段から、バッテリーの技術革新、IoT や AI に代表される第 4 次産業革命により、自動車を中心としたモビリティの大変革が起きようとしている。この潮流に対応するため、経済産業省が中心となり自動車新時代戦略会議が立ち上げられた [32]。この会議によると、自動車は「ツナガル・自動化・利活用・電動化(いわゆる CASE¹)」の潮流が産業構造を大きく改革するとしている。また、本会議ではパワーtrainの電動化も期待されている。それに必要な電池の技術革新が進めば、電動化は世界的に拡大が加速し、近い将来にはガソリン車を上回るコストパフォーマンスを得ると考えられている。そして、2030 年における国内での普及率は、ハイブリッド車で 30~40%、電気自動車(EV)・プラグインハイブリッド自動車(PHEV)で 20~30%を目標に掲げている。

自動車が電動化することで、温室効果ガス排出量が削減されることから、将来的にはすべての自動車が電動化されると予想されている。そして、EV・PHEV の普及には充電インフラの普及が不可欠である。経済産業省製造産業局は、充電インフラを整備するため、特に整備の加速が期待されるマンション、事業者、駐車場等の事業者に対して工事費を助成するインフラ整備促進事業を発表している [26]。

このように自動車の電動化が進むと、それに伴い電力需要が増加すると考えられる。自動車検査登録情報協会の公開データ [33]によると、2018 年度の我が国における自動車保有台数(二輪車を含む)は約 8 千万台で、そのうち乗用車が約 76%を占める。乗用車は人の活動時間である日中に使用されることから、EV の場合、充電は夜間に行なわれると考えられる。

電力需要カーブにはピークがあり、夏は 15 時頃、冬は 19 時頃がピークとなることが知られている [34]。電力会社はこのピークに対応するため、出力変動が容易なコストの高いピーク電源を使用する [35]。将来多くの自動車が EV になった場合、電力需要のピークが夜間にも現れることが予想される。本稿では、このピーク電力を出力変動可能で比較的成本の安いミドル電源にシフトし、電力需要の平準化及び発電コストを低減する手法の可能性を示す。

¹ CASE : Connectivity (車のツナガル化, IoT 社会との連携深化, Autonomous (自動運転社会の到来), Shared & Service (車の利用シフト, サービスとしての車), Electric (車の動力源の電動化)

7.2 関連研究と課題

将来 EV のバッテリー充電が電力系統の大きな負荷になると考えられることから、到着と出発時刻、EV のバッテリー情報、及び走行距離を元に、毎日の充電スケジュールを生成しようという研究がある [36]。また、自動で効率的な EV 充電管理システムをモノのインターネット(IoT)の利点を活用し分散型にすることで、充電の優先順位について、充電電力だけではなく、ユーザーの利便性の概念を取り入れた研究もある [37]。

しかし、前者の研究は、電力系統からの視点となっており、後者はユーザーの利便性の概念を取り入れているものの、実際に EV が充電計画どおりに充電されるかについて課題を残している。国内における自動車保有台数の約 76%が乗用車であることは前述したとおりである。すなわち、大半の EV のバッテリー充電は家庭で行われることになる。家庭における電力使用は冷蔵庫を始め、エアコン、電子レンジ等、家電製品が中心になるが、そこに EV のバッテリー充電が加わることになる。特に夏季ではエアコンの消費電力が多く、一般家庭の平均契約アンペア数 35A(1 軒あたり平均アンペアは「従量電灯 A・B 年延契約電力」÷「従量電灯 A・B 年延契約口数」) [38]では、エアコンを 2 台使用した場合は、EV のバッテリー充電は現実的ではない。例えば、EV の一例として日産自動車製リーフを挙げる。これは普通充電に 200V 15A を必要とする。エアコンは三菱電機製 14 畳用エアコンを例に挙げると、設定温度によるが 105~1350W を必要とする。これを電流に換算すると 1.05A~13.5A となり、2 台同時に使用することができないことが理解できるであろう。この場合、エアコンの使用を 1 台に制限して充電が開始されるのを待つか、計画充電の実行を断ることになる。契約アンペア数を大きくすれば、同時に使用できるようになるが、それに見合った基本料金を毎月支払うことになる。便利な計画充電スキームに参加しているはずが、実際にはユーザーの利便性は下がっている。

一方で、前述した家庭内エアコンと HEMS (Home Energy Management System)コントローラの相互接続性向上を目指した ECHONET Lite のアプリケーション通信インターフェース(AIF)仕様に関する国際標準化の検討が始まった [39]。このことから、電力需要の負荷平準化には HEMS との連携も重要であることが分かる。

7.3 研究目的

将来、来たる自動車新時代に向けてインフラ整備事業が進む中、計画充電手法を用いてユーザーの利便性を高めつつ、電力需要の負荷平準化を行ない、これにより発電施設への設備投資抑制及び発電コストの低減を目的とする。

7.4 研究方法

本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いて日常的に乗用車として使用されるEVをエージェントとし、その運転履歴(走行距離)と充電残量から、電力需要予測を電力会社に通知する。電力会社は、各エージェントから得た情報に基づいたバッテリー充電における優先度を算出し、それに応じた充電計画を立案する。

電力会社はそれに基づいた発電計画を立てることで、ピーク電源の発電をどの程度低減できるか検証しようとするものである。評価指標として、発電における電源構成の種類であるピーク電源をミドル電源にシフトすることが目的であることから、 $\theta = \text{ピーク電源} \div \text{ミドル電源}$ を最少化することで評価する。また、家庭での電力使用状況から、それに応じた電力需要予測をEVのバッテリー充電電力需要予測と併せて電力会社に通知する。

7.5 期待される成果

自動車新時代が到来しても、本研究による計画充電スキームにより、電力会社の発電設備への投資を抑制し設備投資の電気料金への転嫁を最小限にする。併せてEV使用者の日常生活の利便性を損なうことなく計画充電のスキームを提案することを目指す。

8 EVを用いた再生可能エネルギーの出力安定化

8.1 背景

現在、世界的に懸念されている地球温暖化現象に対して、各国共同で工業・産業・日常生活すべてにおいてエネルギーの効率利用、そしてCO₂を排出しない自然エネルギーの導入に取り組んでいる[15]。自動車産業もその対策が必要な分野であり、エンジンは日々ガソリンエンジン・ディーゼルエンジンの燃費向上に取り組みつづ、さらにCO₂排出量を減らすための施策として自動車のハイブリッド化・EV化を行っている[40]。これらの車両では自動車単体での走行時のCO₂排出量は劇的に低減するか、間違いなくゼロになるため、地球温暖化対策としては有益な施策であることに疑いの余地はない。

また、エネルギー産業でもCO₂削減の動きは加速しており、一例ではCO₂を排出しない火力発電などが検討されているが、概ね世界各国では再生可能エネルギーの導入が最も有効な対策であると認知されている[41][42]。しかしながら再生可能エネルギーのうち、太陽光発電や風力発電においては、環境要因による出力の不安定さが取沙汰され、その安定化のために蓄電池を用いた研究が盛んに行われている[43]。

8.2 関連研究と課題

前述のように関連研究として巨大な固定式の蓄電池で再

生可能エネルギーの安定化に向けた試みが行われている[43][44]。そしてこれらの研究では、蓄電池を用いて充放電を行うことにより、再生可能エネルギーの出力を安定化させる試みに成功している[45]。しかし、これらの固定式蓄電池ではその蓄電容量は数百kWhから数千kWhとなり、非常に巨大な設備となるため、その価格の高さも相まって普及へのハードルは高いと考えられる。それに対して、EVに用いられるリチウムイオンバッテリーはEVのバッテリーとしてはもちろん、さまざまな電化製品のバッテリーとして市場に多く流通しており、その蓄電容量及びサイズに関しては固定式の巨大蓄電池よりもはるかに汎用性がある。

そして、これらのEV用バッテリーを用いて再生可能エネルギーの充放電を行うことで、通常の固定式蓄電池よりもより安価に再生可能エネルギーの安定化ができると考えられる。また再生可能エネルギーの安定化が不要な際には、EVは通常の自動車と同じく移動手段として用いることができるため、これらのEVをタクシーやシェアカーとしても利用できれば、既存の社会システムにそのまま組み込むことが可能と考えられる。

本研究における課題は、実際に再生可能エネルギーの安定化においてEVを用いた場合、必要台数、システムとしての実現性、コスト的な成り立ちに関する検討が重要であると考えられる。特にコストに関しては、再生可能エネルギー安定化・電力系統安定化により生じる利益、及びタクシー・シェアカーとして使用される場合の利益の双方を合わせて収支がプラスとなることが必須であると考えられる。また、他の研究ではEVが増えることにより充電量が増加し、ピーク電力が増加すると懸念されているが[46]、本研究では、数千から数万台のEVを第一に再生可能エネルギーの安定化及び電力系統安定化に用いることでピーク電力の増加を回避することも重要である。

8.3 研究の目的

前出の研究においては[47]、PHV/EVの蓄電残量及び空き容量までも計算し、社会的なリソースとして計上することで充電・放電計画を最適化する手法が研究されている。そしてこの研究では、PHV/EVに蓄電される電力をEMS(Energy Management System)を用いて最適な充放電を行い、PHV/EVの運用コストを低減することに主眼が置かれている。

しかしながら本研究では、EVの充放電機能を用いてエネルギーをマネジメントすること、及びEVをタクシー・シェアカーとして用いる部分は同じであるが、用いるEVが数千台・数万台レベルであること、さらには巨大な都市を賄うための再生可能エネルギーを安定化させることを主眼としている部分で取り組みが異なる。さらにはこれらの膨大なEVの充放電機能を用いることで、都市の電力系統さえも安定化させ得

る巨大なシステムを構築し、電力調整に用いる発電所の負荷を低減することも異なる取り組みである。

また、実際にEVを稼働させるに当たり、EVは電力会社、シェアカー会社、タクシー会社が所有・管理することを想定している。これは通常、運転時のみ価値を生み出すタクシー・シェアカーについて、停止時においても充放電で価値を生み出すように社会システムとして検討を行うものである。

8.4 研究方法

東京都内に広く分布したEVが充放電を行い、かつ移動手段として稼働する様子をマルチエージェントシミュレーションで計算し、このシステムを実際の社会に組み込んだ場合の影響を確認する。

まず、東京都に電力を供給する各発電所、電力需要者(*一般家庭・工場・オフィス、その他)、複数のEV(*64kWhの容量を持つ車両、約46,800台)をエージェントとして設定する。(図5参照)これは東京都内の電力需要の約3分の1をカバーできるだけのEVを想定している。さらに電力需給データは東京都の単位時間当たりの実データを用いてシミュレーションに使用する[48]。これらの電力需給に関する社会システムを模擬することで、実際に再生可能エネルギー安定化、及び電力系統安定化に寄与するために必要なEVの台数が分かると考えられる。

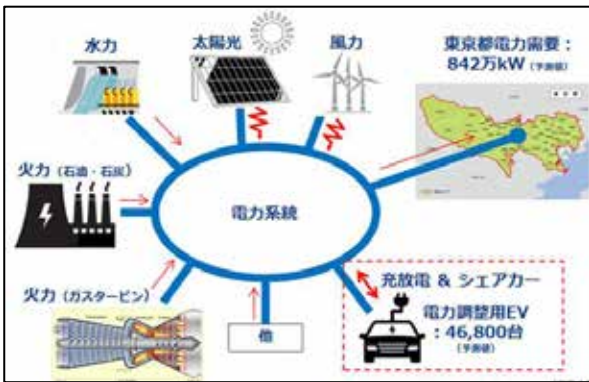


図5: マルチエージェントシミュレーションモデル概要

また、8.2で記載したようにEVが電力系統に接続されていない場合には、タクシーもしくはシェアカーとして稼働している状態を想定している。これはEVエージェントにかかるコストとタクシー事業・シェアカー事業での金銭収入を計算することが目的である。図6はEVを用いたタクシー・シェアカーのピクト図を作成したものであり、実際にEVをタクシー・シェアカーとして活用する場合の関係会社との費用のやり取りを図示している。この図を元にして、実際のシミュレーションでは、各EVが移動手段として稼働している際の金銭収支を計算する。

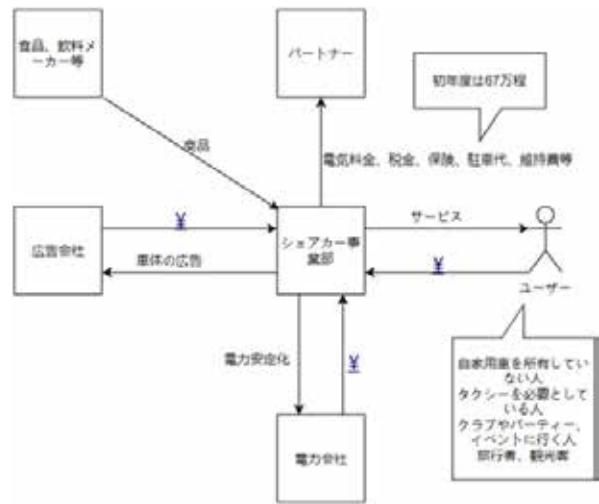


図6: EVを用いたタクシー&シェアカーにかかる費用

8.5 期待される成果

本研究では、再生可能エネルギーを無駄なく使用しつつ電力系統の安定化を維持する際に、大規模な設備投資を用いずにこれらを実施することである。また同時に自動車をCO₂排出のないEVに変更しつつ、EV未使用時にも社会インフラとして稼働するという、無駄のない社会システムを構築することである。

これらのシステムを実現するに当たり、電力調整にEVを用いて再生可能エネルギーの安定化及び電力系統の安定化を実現することはもちろんであるが、EVが電力調整を行っている際に生じた利益と、タクシー・シェアカーとして稼働している際の利益を総合して、安定して利益を生み出せる継続可能な社会システムとして稼働することが求められる。

9 まとめ

本論文では、環境に負荷をかけない再生可能エネルギーの不安定要因を解消させ、今後の社会の主要電力源として重要な位置を占めていくための課題を解決することを目指して、①P2P技術を用いた再生可能エネルギーの地産地消、②灌漑用水における小水力発電の最適配置、③家庭用EV充電器のシェアリング、④EVの計画充電による発電コストの低減、⑤数万台規模のEVの充放電による電力安定化と余剰EVによるカーシェアビジネス、について課題と今後の研究方向性を示した。

①の再生可能エネルギーによる地域内電力安定化では、P2P電力シェアリングによる地域での電力直取引による地域内電力の有効利用と新しい地産地消方式を計画した。

②の地域での小水力発電において、灌漑用水の発電機の最適配置により、コスト効率の良い再生可能エネルギー供給方式の展望を示した。

③の家庭用EV充電器のシェアリングでは、急速に普及しているEVの充電需要を満たすことを目指して、家庭用充電

器シェアリング方式の展望を示した。

④EVの計画充電による発電コストの低減では、EV充電計画の最適化による電力負荷平準化の展望を示した。

⑤の数万台規模のEVバッテリーの充放電による電力安定化では、再生可能エネルギーの電力安定化と余剰EVによるカーシェアビジネスとの融合についての展望を示した。

今後、上記の再生可能エネルギー有効利用の各提案計画を、マルチエージェントシミュレーション等を用いて評価検証を行い、さらに研究をブラッシュアップしていく予定である。

参考文献

- [1] 経済産業省, 資源エネルギー庁, “日本のエネルギー, 150年の歴史①~⑥,” 2018.
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyohistory1meiji.html>.
[アクセス日: 2019年9月14日].
- [2] 九州電力, “電気の使われ方と電源構成,”
http://www.kyuden.co.jp/effort_power_composition.html.
[アクセス日: 2019年9月7日].
- [3] International Energy Agency, “Re-powering markets: market design and regulation during the transition to low-carbon power systems,” OECD iLibrary, 2016.
- [4] 井上淳, 藤井康正, “パケット電力取引に基づく革新的配電システムの提案,” 電気学会論文誌 B, 第131巻, 第2号, pp. 143-150, 2011.
- [5] 谷口忠大, “自律分散型スマートグリッドにおける適応的電力融通手法 - 人工知能によるボトムアップな市場価格形成と電力需要応答の動的分析 -,” 人工知能学会論文誌, 第28巻, 第1号, pp. 77-87, 2013年.
- [6] 渡邊勇, 岡田健司, 栗原郁夫, 永田真幸, “電力市場のシミュレーション -市場シミュレータの開発とエージェントモデルの分析-,” 電力中央研究所, 2003.
- [7] 経済産業省 商務情報政策局 情報経済課, “平成27年度我が国経済社会の情報化・サービス化に係る基盤整備(ブロックチェーン技術を利用したサービスに関する国内外動向調査)報告書概要資料,” 2015.
- [8] S. Yong-liang, W.-j. Zhang, J. Wei, Q.-j. Wu and L. Wang, "Application and Research of Blockchain Technology in Electric Power Industry," International Conference on Computer, Electronic Information and Communications, pp. 304-309, 2018.
- [9] 西村康孝, 志村泰知, 和泉潔, 吉原貴仁, “電力分け合いサービスのMASモデルの基礎設計と評価,” 人工知能学会全国大会, 2019.
- [10] 奥和田久美, 牧野司, “シェアリングエコノミーの本質と社会需要性に関する考察,” 研究・イノベーション学会年次大会講演要旨集, 第30巻, pp. 533-538, 2015.
- [11] H. Guyader and L. Piscicelli, "Business model diversification in the sharing economy: The case of GoMore," Journal of Cleaner Production 215C, pp. 1059-1069, 2019.
- [12] 宮崎康二, シェアリング・エコノミー —Uber, Airbnbが変えた世界, 日本経済新聞出版社, 2015, p. 161.
- [13] M. Saito, K. Komine, A. Nakato, I. Sasaki and H. Hayashi, "Evaluating P2P human resource allocation strategies through multi-agent simulation," International Conference on Smart Computing and Artificial Intelligence, International Congress on Advanced Applied Informatics, pp.505-510, 2019.
- [14] S. S. Fatima and M. Wooldridge, "Adaptive Task and Resource Allocation in Multi-Agent Systems," International conference on autonomous agents, pp. 537-544, 2001.
- [15] 環境エネルギー政策研究所, “自然エネルギー白書2016,” 2016.
https://www.isep.or.jp/wp/wp-content/uploads/2017/03/JSR2016_all.pdf.
[アクセス日: 2019年9月14日].
- [16] 水林義博, 前田隆, “農業用水を利用した小水力発電を取り巻く法律・制度の現状と課題,” 人間社会環境研究, 第21号, pp. 69-82, 3 2011.
- [17] 高城実, 遠藤孝介, 野中智博, “サイフォン式導水路による大学内小水力発電実験,” 技術と社会の関連を巡って:過去から未来を訪ねる, 日本機械学会講演会, 2018.
- [18] T. B. Couto and J. D. Olden, "Global proliferation of small hydropower plants - science and policy," Frontiers in Ecology and Environment, vol. 16, no. 2, pp. 91-100, 2018.
- [19] 国土交通省, “小水力発電を河川区域内に設置する場合のガイドブック(案),” 2013.
- [20] 後藤眞宏, 内田隆志, 加藤信介, 岡本将之, 大木啓司, 長谷川大祐, 高木強治, 波平篤, “緩勾配水路における小水力発電技術の開発,” 農業農村工学会誌, 第78巻, 第8号, pp. 665-668, 2010.

- [21] 王鳳蘭, 乃田啓吾, 伊藤健吾, 大西建夫, 千家正照, “農業水利施設を利用した小水力発電の潜在力評価 — 明治用水地区の事例 —,” 農業農村工学会論文集, 第 86 巻, 第 1 号, pp. 33-40, 2018.
- [22] 国土交通省, “日本と世界の河川の比較,” 河川事業概要, p. 3, 2003.
- [23] 岡本博之, “世界のエネルギー情勢の長期展望 — シェール革命を超えて —,” 名古屋市立大学 22 世紀研究所評論集, pp. 1-18, 2017.
- [24] 奥田修司, “EV-PHV 普及に関する経済産業省の取組,” 2017.
<http://www.chademo.com/wp2016/wp-content/japan-uploads/2017GA/2017GAMETI.pdf>. [アクセス日: 2019 年 9 月 14 日].
- [25] 経済産業省, 国土交通省, “EV/PHV 普及の現状について,” 自動車新時代戦略会議, 2018.
<http://www.mlit.go.jp/common/001283224.pdf>. [アクセス日: 2019 年 9 月 16 日].
- [26] 経済産業省 製造産業局 自動車課, “電気自動車・プラグインハイブリッド自動車の充電インフラ整備事業補助金について,”
https://www.meti.go.jp/information_2/publicoffer/review2017/html/h29_s6.pdf. [アクセス日: 2019 年 9 月 14 日].
- [27] 森川郁子, “日本の EV シフトに立ち塞がる集合住宅の重荷、共同駐車場に充電設備は簡単に入らない,” 東洋経済新報社, 2018.
<https://toyokeizai.net/articles/-/214568>. [アクセス日: 2019 年 9 月 13 日].
- [28] 土屋依子, 田頭直人, 池谷知彦, 馬場健司, 伊藤史子, “電気自動車の自宅での充電環境の確保に関する一考察,” 交通工学論文集, 第 2 巻, 第 3 号, pp. 1-10, 2016.
- [29] 中国自動車技術研究センター 日本自動車研究所, “日中新エネ自動車と充電インフラ協働研究成果報告,” 日中省エネルギー・環境総合フォーラム, 2016.
- [30] アイティメディア株式会社, “自販機と電気自動車用充電器を併設、ホーキングら 10 社がインフラ普及事業,” 2011.
<https://www.itmedia.co.jp/promobile/articles/1103/09/news071.html>. [アクセス日: 2019 年 9 月 13 日].
- [31] T. Alexa and C. Liv, "Driving electric mobility forward: How a German start-up is transforming EV charging infrastructure," Energy News, vol. 35, no. 3, pp. 11-13, 2017.
- [32] 経済産業省, “自動車新時代戦略会議(第 1 回)資料,” 2018.
https://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seizou/jidousha_shinjidai/pdf/001_01_00.pdf. [アクセス日: 2019 年 9 月 14 日].
- [33] 自動車検査登録情報協会, “自動車保有台数遷移表,” 2018.
<https://www.airia.or.jp/publish/file/r5c6pv000000m1zm-att/r5c6pv000000m201.pdf>. [アクセス日: 2019 年 9 月 13 日].
- [34] 東京電力ホールディングス, “でんき予報の解説 > 夏と冬の需要カーブの違い,”
<http://www.tepco.co.jp/forecast/html/chigai-j.html>. [アクセス日: 2019 年 9 月 5 日].
- [35] 電気事業連合会, “電源の特性に応じた組み合わせ,”
<https://www.fepc.or.jp/enterprise/jigyuu/juyou/>. [アクセス日: 2019 年 9 月 13 日].
- [36] M. Ş. Kuran, A. C. Viana, L. Iannone, D. Kofman, G. Mermoud and J.-P. Vasseur, "Smart cities recharged: Improving electrical vehicles recharging by routine-aware scheduling," International Workshop on Smart City and Ubiquitous Computing Applications," International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, pp. 106-113, 2014.
- [37] L. Yao, Y.-Q. Chen and W. H. Lim, "Internet of Things for Electric Vehicle: An Improved Decentralized Charging Scheme," International Conference on Data Science and Data Intensive Systems, pp. 651-658, 2015.
- [38] 東京電力ホールディングス, “家庭 1 軒当たりの使用量と契約電力,”
<http://www.tepco.co.jp/corporateinfo/illustrated/power-demand/residential-customer-j.html>. [アクセス日: 2019 年 9 月 5 日].
- [39] 経済産業省, “ECHONET Lite のアプリケーション通信インターフェース(AIF)仕様に関する国際標準化の検討が始まります,”
<https://www.meti.go.jp/press/2018/02/2019020601/20190206001.html>. [アクセス日: 2019 年 9 月 5 日].
- [40] 日本自動車工業会, 日本自動車車体工業会, “自動車製造業における地球温暖化対策の取り組み,” 2019.
<https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sang>

yo_gijutsu/chikyu_kankyo/jidosha_wg/pdf/2018_001_04_01.pdf.

[アクセス日: 2019年9月14日].

- [41] 木舟辰平, 図解入門 よくわかる 最新発電・送電の基本と仕組み 第3版, 秀和システム, 2016.
- [42] 山藤泰, 図解入門 よくわかる 最新スマートグリッドの基本と仕組み 第3版, 秀和システム, 2014.
- [43] 蒲生秀典, “再生可能エネルギー利用拡大のためのエネルギーストレージの研究開発動向,” 科学技術動向, 第143号, pp. 5-12, 2014.
- [44] 国際再生可能エネルギー機関, “電力貯蔵技術と再生可能エネルギー: 2030年に向けたコストと市場,” 2017.
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Oct/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017_Summary_JP.pdf.
[アクセス日: 2019年9月14日].
- [45] 小島康弘, “再生可能エネルギー導入を支える蓄電池制御技術,” 計測と制御, 第55巻, 第7号, pp. 609-612, 2016.
- [46] A. Perez-Diaz, G. Enrico and F. McGroarty, "Coordination of Electric Vehicle Aggregators, A Coalitional approach," International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, pp. 676-684, 2018.
- [47] 川島明彦, 稲垣伸吉, 鈴木達也, “EV シェアリングが担うエネルギー管理,” 計測と制御, 第57巻, 第3号, pp. 179-184, 2018.
- [48] Electrical Japan, “電力会社・電力使用グラフ,” <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/energy/electrical-japan/usage/>.
[アクセス日: 2019年9月13日].

技術系ベンチャーと投資家のための戦略的ロードマッピング

廣瀬 雄大^{*,**}・ロバート・ファール^{**}・岡田 有希^{***}・木下 裕介^{***}

Strategic Roadmapping for Technology Ventures and Investors

Yuta Hirose^{*,**}, Robert Phaal^{**}, Yuki Okada^{***} and Yusuke Kishita^{***}

Abstract

The aim of this research is to develop a structured visual mapping approach, by applying roadmapping principles, with the goal to support strategic alignment and engagement between sustainability-driven technology ventures and investors. This paper proposes a roadmapping process consisting of 10 steps to provide a communication platform that enables sustainability-driven technology ventures and investors to inclusively navigate a potential business direction and path to value creation and capture.

Keywords: Roadmapping, technology venturing, strategic alignment, stakeholder engagement, sustainability

1 INTRODUCTION

Technological innovation is of vital importance globally for accelerating and sustaining economic growth [1-2], as it leads to a variety of social, economic and environmental benefits in both developing and developed countries [3-4]. These benefits include new business and industrial development, leading to the creation of employment, economic wealth and a higher quality of life through providing new technological and innovative solutions.

One of the fundamental driving forces for accelerating technological innovation is the emergence of technology ventures [5], which includes technology SMEs (small and medium-sized enterprises), such as technology start-up companies, university spin-outs and corporate innovation projects and ventures in and of large technology-intensive firms pursuing technology commercialisation and business development [6].

Technology entrepreneurs and managers aim to navigate emerging technology ventures and innovations towards successful commercialisation and business development, often over long periods of time. However, this is challenging due to high uncertainties

associated with identification of relevant trends and drivers including sustainability goals, planning and navigation of technological resources and capabilities, and prioritisation of solutions. Failure to understand and manage these uncertainties appropriately can lead to undesired consequences and poor outcomes in the realisation of value creation and capture.

There is an emerging trend for technology entrepreneurs and managers to found new technology ventures driven by sustainability, and this trend continues to grow globally. However, these new ventures are considered to require longer time for success and potentially more challenging to achieve expected returns than ‘business as usual’ ventures, in favour of realising social and environmental benefits, such as overcoming health issues, reducing carbon emissions and mitigating climate change [7].

Despite the expectations of longer time for success and potentially more challenging to achieve expected returns, facing disadvantages when seeking funding, there is an increasing number of early stage investors such as venture capitalists positively investing in new ventures that are economically viable, while contributing positively at a societal and environmental

Received on September 13, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

** ケンブリッジ大学, University of Cambridge

*** 東京大学, The University of Tokyo

level [7]. These venture capitalists are ready to invest time and resources, and be patient throughout the technology venturing journey, working together with sustainability-driven technology entrepreneurs and managers. However, currently there is a lack of proven, practical methods to support strategic alignment and engagement between such technology ventures and venture capitalists throughout the sustainability-driven technology venturing journey.

The focus of this research is on application of roadmapping to support strategic alignment and engagement between technology ventures and investors, understanding and navigating technological innovation driven by sustainability. Applying roadmapping is an appropriate method to characterise and improve emerging technology venturing practices, supporting value creation and capture [8]. In the corresponding author’s previous work [8], the emergence of technology ventures has been characterised, by applying roadmapping principles, based on 32 case studies and a focus group conducted in the United Kingdom, The Netherlands, Japan, Australia and the United States. Based on these outputs, a strategic roadmapping process has been developed. However, sustainability aspects have not yet been incorporated into the process. This paper firstly introduces roadmapping principles, and then proposes a roadmapping process consisting of 10 steps to provide a communication platform that enables sustainability-driven technology ventures and investors to inclusively navigate a potential business direction and path to value creation and capture. Then,

preliminary insights as a foundation for developing a prototype approach are discussed for further research.

The remainder of this paper is as follows. Section 2 explains an overview of roadmapping principles. Section 3 introduces a conceptual framework for this research, and proposes a roadmapping process design. Section 4 discusses insights for future work. This paper concludes with Section 5.

2 ROADMAPPING PRINCIPLES

This section explains an overview of roadmapping principles, and discusses how the roadmapping approach could be applied to support sustainability-driven technology ventures and venture capitalists.

2.1 Roadmapping Perspective

Roadmapping is a systems-oriented visual mapping approach to strategy and innovation that often involves a workshop-based method and process, which can be interpreted as a socially facilitated mechanism consisting of the process of cogitation, articulation and communication among the participants producing a ‘roadmap’ as an output [9].

The process and product of roadmapping are supported by the use of roadmap templates, based on an underlying ‘roadmap architecture’, used in the roadmapping workshop for the purpose of structured visual representation of strategy [10]. While many types of roadmap architecture exist in practice and literature, the most frequently used is a multi-layered time-based format, providing a common structured visual language for strategy development [11].

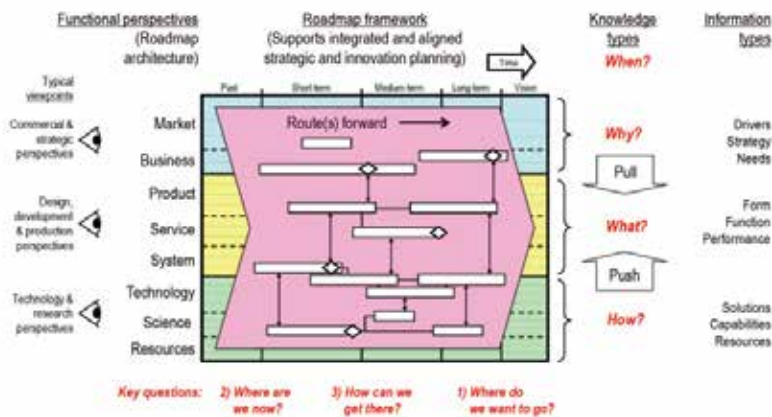


Fig. 1: Basic Roadmap Architecture for Design Purposes [13].

A basic roadmap architecture for design purposes produced by [12] is shown in Fig. 1 with six fundamental questions that underpinning the process of roadmapping (and strategy more broadly) as follows:

- 1) Where do we want to go?,
- 2) Where are we now?,
- 3) How can we get there?,
- 4) Why do we need to act?,
- 5) What should we do?, and
- 6) How should we do it?

In this research, roadmapping users are technology entrepreneurs and managers, and venture capitalists, driven by sustainability. All six fundamental questions are crucial to consider when designing the timeframes for setting sustainability goals, structure of relevant information, process and graphical format for roadmap as an output.

2.2 Structured Discussion Process

Structuring the discussion process for roadmapping is important to produce roadmaps that support strategic alignment and engagement between participants effectively and efficiently. Depending on the scope and aims for roadmapping, the order of the six fundamental questions is discussed and answered differently. For instance, roadmapping for technology-push strategy development starts with 'How' questions for the purpose of forecasting technological resources and capabilities to identify and prioritise solutions to capture value associated with relevant trends and drivers. Roadmapping for market-pull strategy development starts with 'Why' questions for the purpose of identifying relevant trends and drivers firstly, to prioritise solutions and plan to acquire technological resources and capabilities.

In terms of a structured discussion process for roadmapping, two detailed workshop reference approaches have been published and widely adopted (and adapted): 1) 'T-Plan', a "fast-start" process to support the initiation of product-technology roadmapping in organisations, establishing key linkages between technological resources and business

drivers [14], and 2) 'S-Plan', and extension and adaptation of T-Plan, which uses roadmap templates to support general strategic appraisal, and the identification and exploration of strategic and innovation opportunities [15].

As shown in Fig. 2, S-Plan is designed for brainstorming and idea generation purposes, supporting strategic theme prioritisation, typically at the front-end of the innovation process, while T-Plan is designed for implementing product-technology roadmapping based on strategic opportunities identified through S-Plan. T-Plan and S-Plan are not intended to be prescriptive, but rather stable reference points from which to adapt to context. Modular design and the integrative nature of roadmapping provide the basis for a scalable generic toolkit, with the flexibility to be customised to context [16].

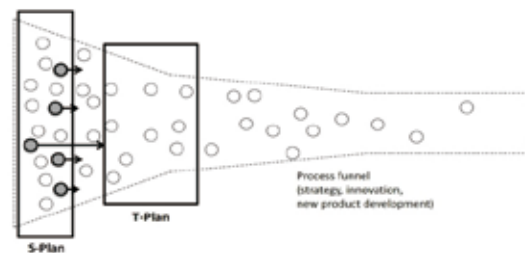


Fig. 2: Positioning of T-Plan and S-Plan Reference Processes¹.

In this research, S-Plan is selected as the reference model for roadmapping process design. This is because technology entrepreneurs and managers aiming to found new ventures driven by sustainability would still be at the stage of exploring strategic options and opportunities to go forward, and the method has been demonstrated to be effective for early stage technological innovation [17], but not for sustainability. S-Plan provides a series of templates and facilitation methods to explore and examine strategic options and innovation opportunities in a participative manner.

2.3 Strategic Alignment and Engagement Support

Successful implementation of a structured discussion process requires an appropriate communication style and mode of interaction to

¹ Adopted from <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/ifmecs/business-tools/roadmapping/fast-start-roadmapping/>

support strategic alignment and engagement between participants. There are a number of communication styles to consider, depending on scope and aim. For example, plenary conference style is appropriate for agreeing scope, vision, policy and setting common visions, while group work style is used when specific topics require deeper analysis and evaluation such as business case development are necessary.

Other examples include war room style where producing high quality outputs in a specific time period is the first priority, and roundtable discussion style is used when a communication platform is needed for open discussion.



Fig. 3: Types of strategic alignment and engagement support².

In this research, a combination of war room and group work styles is selected to create a focused environment for technology entrepreneurs and managers, with roundtable discussion style intended to be used when communicating with venture capitalists for investment evaluation.

2.4 Scalable Toolkit Platform

All management tools and frameworks have strengths and weaknesses, and so a roadmapping process typically involves a number of supplementary relevant management tools and techniques. It has been found that a combination of three tools operate well together as the basis for a scalable toolkit platform for strategic technology and innovation management, illustrated schematically in Fig. 4. How information in such tools is structured and linked with the main roadmap architecture needs to be understood if the toolkit is to operate coherently.

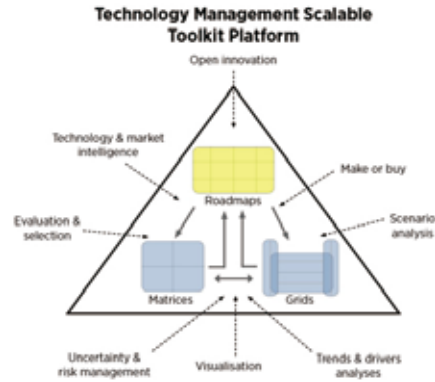


Fig. 4: Scalable Toolkit Platform [18].

In this research, a number of relevant management tools and techniques, which are discussed in Section 3, are identified that can be configured to create a toolkit for facilitating communication between sustainability-driven technology ventures and venture capitalists.

2.5 Integration and Embedding

Roadmapping becomes most effective when roadmapping activities are integrated into business cycle and system, embedded in organisations for continuously used to achieve improved strategy development. However, how to approach integration and embedding differs depending on the scope and aims of organisations implementing roadmapping. Fig. 5 shows stages of roadmapping implementation.

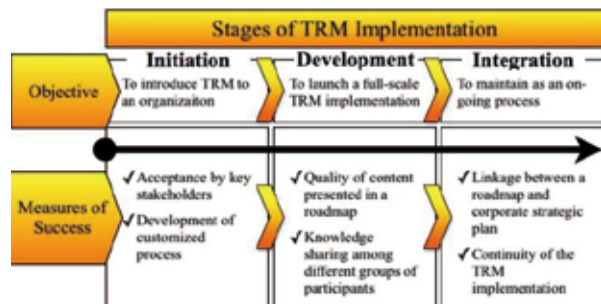


Fig. 5: Roadmapping Implementation Stages [19].

In this research, in terms of integration and embedding, how to integrate and embed a roadmapping process into technology ventures and venture capitalists would be the focus. Actions in the initiation stage would include introduction of a designed roadmapping process and implementation of

² Adopted from <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk>

a pilot workshop with technology ventures and venture capitalists. After reviewing and evaluating the workshop outputs, further development of the roadmapping process should be conducted for improved process development for the development stage. In the integration stage, standardising the roadmapping approach for technology ventures and venture capitalists would be crucial, which should be continuously tested and revised for refinement and improvement of the approach.

3 ROADMAPING PROCESS DESIGN

3.1 Conceptual Framework

As shown in Fig. 6, the system boundary defined for this research is around sustainability-driven technology ventures and venture capitalists. Associated functions in terms of why, what how for technology ventures and venture capitalists are as follows.

Why

- Sustainability-driven technology ventures typically require longer time for success than 'business as usual' ventures, managing financing, technology commercialisation, business development and management.
- Venture capitalists need to invest resources and time, and be patient throughout the technology venturing journey, evaluating investment decisions and performance, with provision of advices.
- There is a lack of proven, practical methods as an efficient and effective common communication

platform throughout sustainability-driven technology venturing journey for technology ventures and venture capitalists.

What

- A structured visual mapping approach is to be designed and developed, based on roadmapping principles, to support strategic alignment and engagement between sustainability-driven technology entrepreneurs and managers, and venture capitalists.

How

- A roadmapping process is suggested, based on S-Plan as a reference model. Future work includes a series of pilot workshops with sustainability-driven technology ventures and venture capitalists. Survey will be conducted for all participants after each pilot workshop to evaluate the utility, applicability and stability of the approach for practical use in industry.

3.2 Suggested Roadmapping Process Design

Fig. 7 shows a suggested roadmapping process design for this research, based on S-Plan as a reference model, consisting of 10 steps suggested for supporting strategic alignment and engagement between sustainability-driven technology ventures and venture capitalists. The suggested roadmapping process design is as follows.

Step 1: Strategic theme prioritisation

Prioritisation of strategic themes by exploring and identifying trends and drivers including sustainability

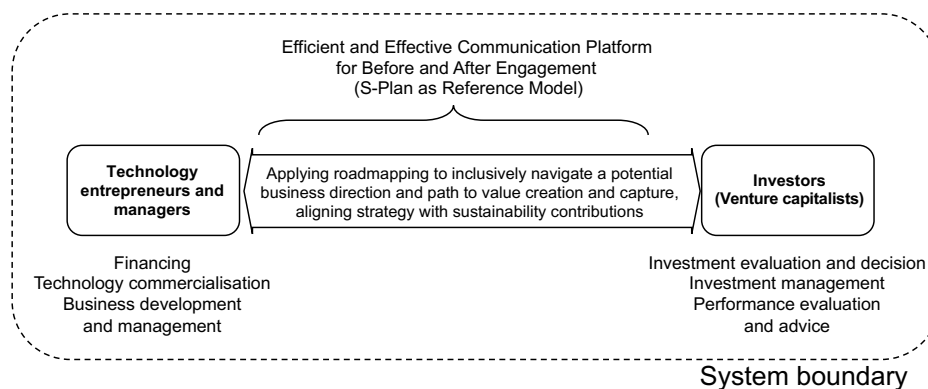


Fig. 6: Conceptual Framework for this Research.

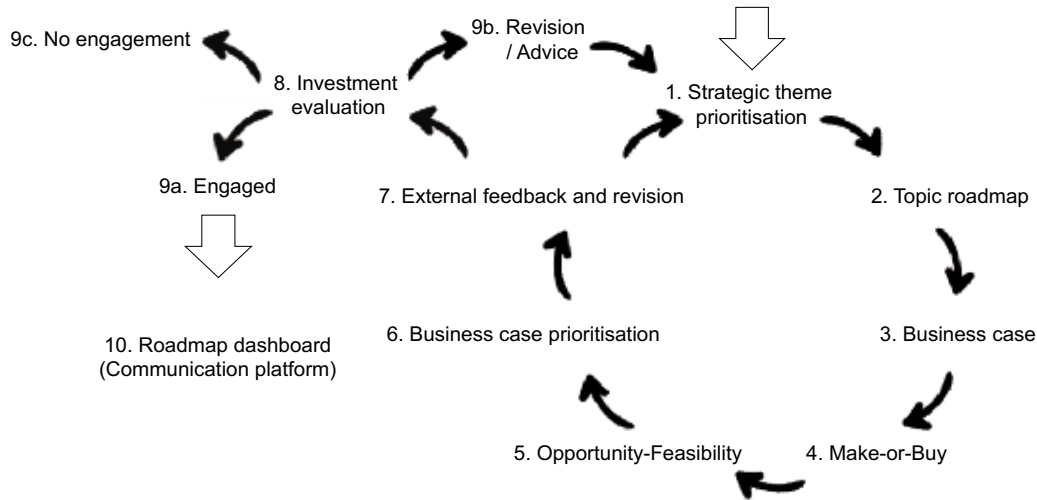


Fig. 7: Suggested Roadmapping Process Design.

goals, technological resources and capabilities, and associated solutions.

Step 2: Topic roadmapping

Roadmapping based on prioritised strategic themes to explore and identify future state and core path to value creation and capture, and examine external and internal risks together with possible scenarios.

Step 3: Business case development

Business case development for prioritised strategic themes, based on outputs from Step 2.

Step 4: Make-or-Buy assessment

Assessment of make or buy for technological resources and capabilities identified in Step 3.

Step 5: Opportunity-Feasibility assessment

Assessment of opportunity such as potential market size and annual revenue, against feasibility such as competitiveness of solution for prioritised strategic themes.

Step 6: Business case prioritisation

Prioritisation of business cases to identify most prioritised strategic theme.

Step 7: External feedback and revision

Feedback from external experts and/or industrial practitioners with an option of revisiting strategic theme prioritisation and business case development and prioritisation.

Step 8: Investment evaluation

Evaluation with venture capitalists by going through all steps from Step 1 to Step 7 to understand the whole picture with evidence for decision-making by technology entrepreneurs and managers, supporting investment decision-making by venture capitalists.

Step 9a. Engaged

Engagement occurs, when technology entrepreneurs and managers, and venture capitalists are satisfied with roadmapping outputs.

Step 9b. Revision and advice

Revision and advice occur, when technology entrepreneurs and managers, and venture capitalists identify revision points with roadmapping outputs.

Step 9c. No engagement

No engagement occurs, if/when technology entrepreneurs and managers, and venture capitalists are not satisfied with roadmapping outputs.

Step 10. Roadmap dashboard

A roadmap 'dashboard' as a communication platform is proposed for technology entrepreneurs, managers and venture capitalists to work together, planning and navigating a potential business direction and path to value creation and capture, with relevance to sustainability.

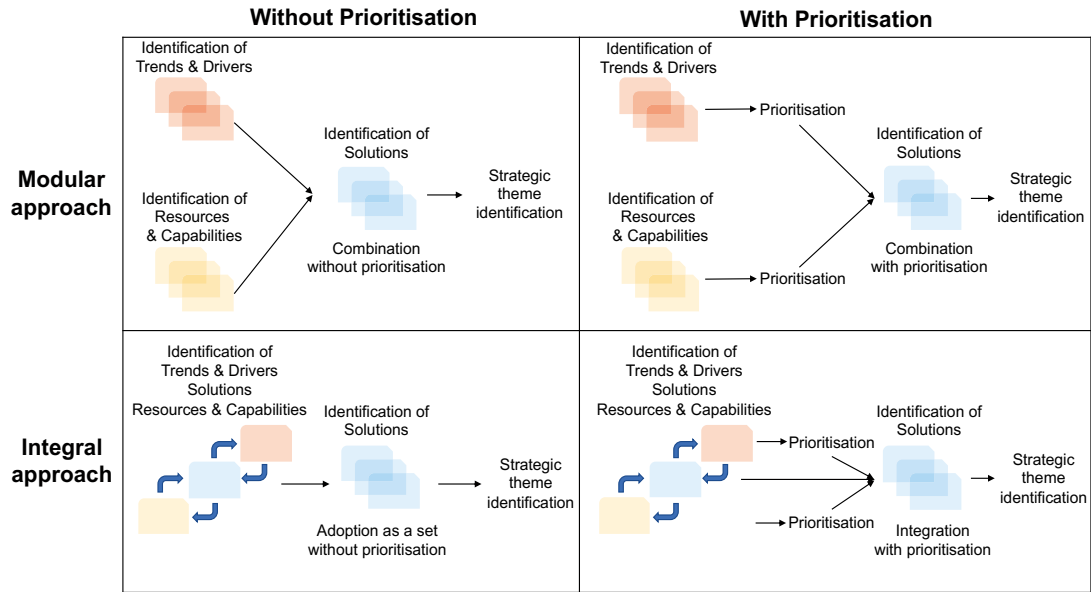


Fig. 8: Suggested idea generation archetypes.

4 INSIGHTS FOR FUTURE WORK

4.1 Technological Innovation driven by Sustainability

There is an increasing trend for characterisation studies on technology venturing and/or venture capitalists driven by sustainability. These include research on innovation process of sustainability-driven technology ventures by Keskin et al. [20], a systematic review of sustainability-oriented SMEs by Klewitz & Hansen [21], and venture capitalists driven by sustainability by Bocken [7]. However, strategy perspective for technology ventures and venture capitalists, with relevance to practice, seems to be lacking in the previous studies. In the corresponding author's previous work [1], characterisation of emerging technology ventures has been researched from the perspective of strategy and innovation, but not for sustainability. As part of future work, technological innovation driven by sustainability would need to be characterised from the strategy perspective for technology ventures and investors.

4.2 Tool and Sub-process Design

After characterisation of technological innovation driven by sustainability from the strategy perspective, tool and sub-process design would be needed for each step of the 10 steps. Below discuss insights for future work in terms of tool and sub-process design.

Idea generation archetypes

The roadmapping approach generally employs a modular approach to idea generation for strategic theme prioritisation. This means identification of trends and drivers, technological resources and capabilities, and solutions are conducted modularly. There is an alternative way to generate ideas, which is an integral approach, where trends and drivers, technological resources and capabilities, and solutions are identified integrally.

Furthermore, in terms of practical relevance, whether to prioritise each item or not is another important dimension for characterising the idea generation approach for strategic theme prioritisation. Fig. 8 shows idea generation archetypes and these four patterns should be examined further by testing each. Such future work would reveal which pattern or a combination of which patterns could be more effective and efficient for in which scope and aim in the context of supporting strategic alignment and engagement between sustainability-driven technology ventures and venture capitalists.

Topic roadmapping

The topic roadmapping enables technology ventures to examine prioritised strategic themes in depth in terms of future state, core path and steps to value creation and capture, together with consideration of

external internal risks potentially impacting the core path. There are a number of topic roadmap templates available, and future work should be conducted to examine which of them should be more suitable for supporting the sustainability-driven technology venturing journey. One example from the corresponding author’s previous work [1], for supporting technology ventures to navigate value creation and capture at the time of emergence is shown in Fig. 9.

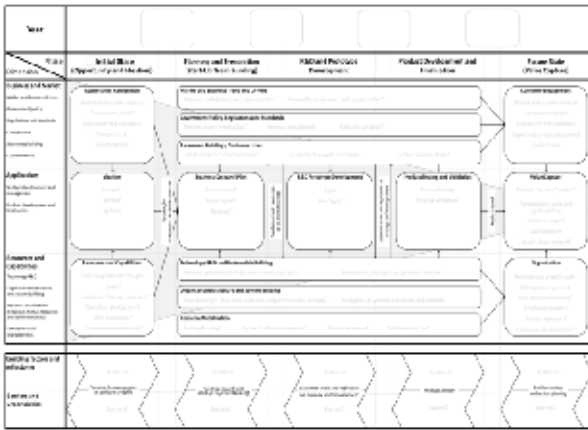


Fig. 9: Suggested topic roadmapping template [1].

Make-or-Buy assessment

The make-or-buy assessment [22] enables technology ventures to visualise which technological resources and capabilities, identified from the topic roadmapping, to make by themselves or procure from outside their ventures. This assessment outputs would be a justification for venture capitalists to understand all the factors relevant to make-or-buy decisions, revealing all costs of buying in from suppliers.

In terms of future work, to assess the make-or-buy decisions, criteria should be developed, for the purpose of supporting sustainability-driven technology ventures, which venture capitalists could understand precisely linking with sustainability goals.

Opportunity-Feasibility assessment

The opportunity-feasibility assessment [23] enables technology ventures to visualise strategic options and innovation opportunities in order to prioritise strategic themes. This assessment also enables venture capitalists to understand all options considered by technology entrepreneurs and managers as evidence

for prioritising a business case. In terms of future work, dimensions for opportunity and dimensions for feasibility should be defined in order to develop a portfolio for business case prioritisation.

Roadmap dashboard

As an efficient and effective communication platform, there should be a roadmap dashboard that shows all relevant information from the roadmapping outputs, enabling technology ventures and venture capitalists to communicate each other throughout the sustainability-driven technology venturing journey. In terms of future work, dimensions of the roadmap dashboard should be explored and identified. This would be done by capturing needs from technology entrepreneurs and managers as well as venture capitalists.

4.3 Collaboration Opportunities: Tool Testing

The authors would like to invite technology entrepreneurs and managers and venture capitalists interested in participating in this research. The first step would be to review the roadmapping process introduced in this paper including insights for future work, and then conduct a pilot workshop to examine the utility, applicability and stability of the approach for practical use in industry.

5 CONCLUDING REMARKS

A roadmapping process design has been suggested, based on S-Plan as a reference model, together with insights for future work, which could be used to support strategic alignment and engagement between sustainability-driven technology ventures and venture capitalists.

As discussed in this paper, potential future research directions include: 1) characterisation of technological innovation driven by sustainability from the strategy perspective for technology ventures and investors, 2) tool and sub-process design for each step of the 10 steps, and 3) testing and refinement to improve the utility, applicability and stability of the approach.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all of the interviewees including technology ventures such as Fermentation Co., Ltd. and venture capitalists such as Navanti Holdings Pty. Ltd. and SX Capital, Inc. for sharing their knowledge and experience.

REFERENCES

- [1] N. Rosenberg, "Innovation and Economic Growth. Innovation and Economic Growth", Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2004.
- [2] P. Aghion, P. A. David & D. Foray, "Science, Technology and Innovation for Economic Growth: Linking Policy Research and Practice in 'STIG Systems'". *Research Policy* Vol. 38, pp. 681-693, 2009.
- [3] OECD, *Innovation for Development*, Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2012.
- [4] UNIDO, *Inclusive and Sustainable Industrial Development: Creating Shared Prosperity /Safeguarding the Environment*, Vienna: United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), 2014.
- [5] J. M. Utterback, *Mastering the Dynamics of Innovation*, Harvard Business Press, 1996.
- [6] M. P. Hekkert, R. A. A. Suurs, S. O. Negro, S. Kuhlmann & R. E. H. M. Smits, "Functions of Innovation Systems: A New Approach for Analysing Technological Change", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 74, pp. 413-432, 2007.
- [7] N. M. P. Bocken, "Sustainable Venture Capital – Catalyst for Sustainable Start-up Success?", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 108, pp. 647-658, 2015.
- [8] Y. Hirose, *Technology Venture Emergence Characterisation*, PhD Thesis, Cambridge: Institute of Manufacturing, University of Cambridge, 2017.
- [9] C. Kerr, R. Phaal & D. R. Probert, "Cogitate, Articulate, Communicate: The Psychosocial Reality of Technology Roadmapping and Roadmaps", *R&D Management*, Vol. 42: pp. 1-13, 2012.
- [10] C. Kerr & R. Phaal, "Visualizing Roadmaps: A Design-Driven Approach", *Research-Technology Management*, Vol. 58, pp. 45-54, 2015.
- [11] R. Phaal, C. J. P. Farrukh & D. R. Probert, *Roadmapping for Strategy and Innovation: Aligning Technology and Markets in a Dynamic World*, Cambridge: Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2010.
- [12] R. Phaal, C. J. P. Farrukh, J. F. Mills & D. R. Probert, "Customizing the Technology Roadmapping Approach", *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, Technology Management for Reshaping the World*, 24 July, 2003.
- [13] R. Phaal & G. Muller, "An Architectural Framework for Roadmapping: Towards Visual Strategy", *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 76, pp. 39-49, 2009.
- [14] R. Phaal, C. J. P. Farrukh & D. R. Probert, *T-Plan –The Fast Start to Technology Roadmapping. Planning Your Route to Success*, Cambridge: Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2001.
- [15] R. Phaal, C. J. P. Farrukh & D. R. Probert, "Strategic Roadmapping: A Workshop-based Approach for Identifying and Exploring Strategic Issues and Opportunities", *Engineering Management Journal*, Vol. 19, No. 1, pp. 3-12, 2007.
- [16] C. Kerr, C. J. P. Farrukh, R. Phaal & D. R. Probert, "Key Principles for Developing Industrially Relevant Strategic Technology Management Toolkits", *Technology Forecasting & Social Change*, Vol. 80, No. 6, pp. 1050-1070, 2013.
- [17] R. Phaal, M. Routley, N. Athanassopoulou & D. R. Probert, "Charting Exploitation Strategies for Early Stage Technology", *Research-Technology Management*, Vol. 55, No. 2, pp. 34-42, 2012.
- [18] C. Kerr & R. Phaal, "A Scalable Toolkit Platform: Configurations for Deployment in Technology and Innovation Strategy Workshops" *R&D Management Conference, Pisa*, 23-26 June, 2015.

- [19] N. Gerdtsri, P. Assakul & R. S. Vatananan, “An Activity Guideline for Technology Roadmapping Implementation”, *Technology Analysis & Strategic Management*, Vol. 22, No. 2, pp. 229-242, 2010.
- [20] J. Klewitz & E. G. Hansen, “Sustainability-oriented Innovation of SMEs: A Systematic Review”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 65, pp. 57-75, 2014.
- [21] D. Keskin, J. C. Diehl & N. Molenaar, “Innovation Process of New Ventures driven by Sustainability”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 45, pp. 50-60, 2013.
- [22] L. Canez, K. Platts & D. R. Probert, *Make-or-Buy: A Practical Guide to Industrial Sourcing Decisions*, Cambridge: Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2001.
- [23] R. Mitchell, R. Phaal & N. Athanassopoulou, “Scoring Methods for Evaluating and Selecting Early Stage Technology and Innovation Projects”, *Centre for Technology Management Working Paper Series*. Cambridge: Institute for Manufacturing, University of Cambridge, 2018.

生体情報を基にした時間管理システムに関する研究 – 2018 年度イノベーションデザイン特別演習 村越 PT –

佐藤 里恵*・村越 英樹**

A Study of the Time Management System Based on the Biological Rhythm

- Murakoshi-PT 2018 (Advanced Exercises: Innovation for Design and Engineering) –

Rie Sato* and Hideki Murakoshi**

Abstract

Each human has a unique rhythm which is called biological rhythm. The rhythm is adjusted to 24-hour cycle by environments and living behavior. When this function of synchronization is reduced by aging, the risk of getting sleep disorders and depression increases, which in turn increases the risk of developing Alzheimer-type dementia. Therefore, we developed a prototype system which informs the time of optimal living behavior based on his/her biological rhythm and adjusts the biological rhythm to a 24-hour cycle.

Keywords: circadian rhythm, life rhythm, life behavior, time management system

1 はじめに

2018 年度村越 PT では、IoT を利用した高齢者の自立支援のためのシステムの開発に取り組み、生体情報を基にした時間管理システム、生体情報を基にした分析レポートシステム、高齢者向け脱水警報システム、および高齢者の心理状態推測システムの提案を行った。本稿は生体情報を基にした時間管理システムにフォーカスし、2019 年 3 月に電気学会全国大会で口頭発表した原稿[1]をベースにして、加筆したものである。以下、本稿第 2 節では本研究の背景と目的について述べる。第 3 節では、ここで提案する時間管理システムの概要について記載する。第 4 章では、システムを用いた実験とその結果、および考察を行う。第 5 節は本稿のまとめである。

2 背景と目的

2.1 背景

平成 29 年国勢調査[2]の結果より、総人口に占める 65 歳以上の割合(高齢化率)は 28.0%に達し、日本は超高齢社会を迎えている。高齢化率だけでなく平均寿命の年齢も上がっており、女性は 90 歳を超えると見込まれている[2]。長寿命

化に伴い認知症を患う患者も年々増加し、今後も増加傾向にある[3]。認知症の約 7 割を占めるアルツハイマー型認知症では、アミロイド β による脳神経細胞の破壊が原因であることが有力とされている[4]。アミロイド β は日常的に生成され、睡眠時に減少する[5]。従って、睡眠障害を患うことはアミロイド β 蓄積の要因となる。高齢者が睡眠障害を患う場合、加齢による生体リズムの崩れが原因の 1 つである。そこで、本研究は生体リズムを計測し、その固有のリズムを考慮した時間管理システムに関する実証実験を行い、認知症の発症や進行を抑制することで、対象者の QOL(Quality Of Life)の維持に貢献するものである。

2.2 目的

人は固有の生体リズムを持っており、起床してから太陽光を見ること、食事を食すこと、運動することなどの生活行動(以下生活リズム)により地球の自転である 24 時間周期に同調している。しかしながら、加齢や老化により同調機能の低下や生体リズムのサイクルに変化が生じることから、生体リズムと生活リズムの関係に乱れが生じ、睡眠障害や鬱を患い、認知機能が低下する[6-8]。若年者は、生活リズムに生体リズムを同調させることが容易なため、規則正しい生活リズムを

Received on September 16, 2019

* 首都大学東京, システムデザイン研究科, 博士後期課程, Graduated School of System Design, Tokyo Metropolitan University

** 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

維持することや光量を調整した治療によって生体リズムを 24 時間周期に整えることが可能である。一方、高齢者は同調機能が衰えているため、生活リズムに生体リズムを同調させることが困難である。そこで、生体リズムを基準として生活リズムへの同調すり合わせを行うような時間管理を実施することで、睡眠障害や鬱を予防し、認知症発症のリスク低減ができるのではないかと仮定した。この仮定を実証するために、高齢者の生体リズムを計測して、理想的な生活リズムへ導くシステムを構築し、実証実験を行う。

3 時間管理システム

3.1 システム構成

提案する時間管理システムは、図 1 に示すようにネットワークに接続されたウェアラブルデバイス、出力装置(時計やロボットなど)および制御用コンピュータ(クラウド上のサーバー)から構成される。ウェアラブルデバイスから収集された情報は、制御用コンピュータで処理され、適切な行動時刻が計算されて、出力装置を用いて高齢者に伝達する。伝達された生体リズムを基に適切な時刻に行動することで、生体リズムと生活リズムの同調すり合わせを行う。

今回、ウェアラブルデバイスとして利用したのは、TDK(株)製のリストバンド型活動量計 SilmeeW20 とテクノネクスト(株)製の連続測定型耳式深部温度計 BL100 である。SilmeeW20 では、睡眠時間や脈拍数などの計測が可能である。出力装置としては、タブレット PC を用いて、表示と音で時刻を知らせる。



図 1: システム構成図

3.2 概日リズム計測方法

生体リズムは、秒単位から年単位まで、その周期毎に分類される。特に約 24 時間の周期を示す概日リズムは、地球の自転によって生じる環境の周期的な変化に適応する過程で進化したもので、生体機能の時間的恒常性を維持するため

に必須のリズムである。

概日リズムの計測は、体温が起床約 2 時間前に最低になることを利用し、最低体温から次の最低体温の周期で判断する。計測するデバイスは、対象者の負担を軽減するため携帯型とする。体温については気温の影響を受けない深部体温を採用した。深部体温については、人の体温変化が 1℃程度であることから、最低でも 0.1℃刻みの計測が求められるため、精度が±0.01℃程度のものを必要とするが、現在、一般に販売されている携帯型の深部体温計では精度が低く、生体リズムの計測には適していない。そこで、医療用の深部体温計を使用することと、脈拍等の生体情報を複合して判断することで生体リズムの計測に要する精度を担保する。

図 2 は、睡眠中の深部体温を計測したものである。横軸は時間を縦軸は深部体温を表している。起床時刻は 7 時、青い点線箇所が最低体温時刻となっており、起床時刻の約 1~2 時間前に 1 日の最低体温になることを確認した。加えて、この最低体温時刻と翌日の最低体温時刻を 1 日の周期と定義し、睡眠時の深部体温を連続して 3 日以上計測することで 1 日周期の生体リズムが計測出来ることを確認した。

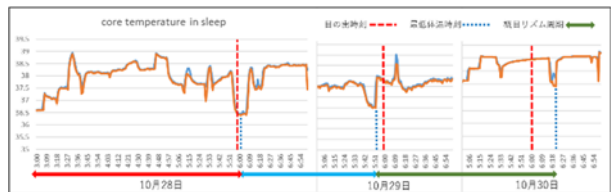


図 2: 睡眠中の深部温度 (1)

3.3 時間管理方法

生活行動と深部体温は密接に関わっている。体温が上昇することにより覚醒し、活発になる。また、逆に体温が降下することにより眠気が起こり就床する。この体温と生活行動の関係を利用することで、概日リズムを 24 時間周期に整える。

時間管理の例として、概日リズムが 24 時間よりも長い周期の高齢者には、夕食や入浴など体温を上げる生活行動を早めにとるよう時間管理システムの出力により促し、体温が低下する時間を早める。逆に概日リズムが 24 時間未満の高齢者には、体温の低下を遅らせることで概日リズムを 24 時間周期に導く。このように、本システムは生活行動と深部体温の関係を利用して生活行動時刻を設定し、伝達することで最適な時刻での生活行動を促すものである。

以下に生活行動の設定方法について述べる。概日リズムの周期計測で取得した睡眠時間と最低体温時刻から起床時刻までの時間を基軸とし、日の出時刻に最低体温となるように起床時刻を設定する。その起床時刻から前日の睡眠時間を逆算し就床時刻を設定する。前日の睡眠時間を利用することにより、季節(日照時間や気温)による睡眠時間の変化を考慮した時刻設定となる。起床、就床時刻を決めた後、朝食、

昼食、間食、夕食、運動、入浴の6項目の生活行動を文献[9]等に基づき設定する。これらの6項目の決定では、高齢者のQOLを維持しつつ24時間周期に整えることが理想であり、高齢者が希望とする生活行動時刻も考慮した上で時刻を設定し、この時刻にアラームを起動する。

図2の10月28日の概日リズムを基に、翌29日の日の出時刻:5時58分、最低体温:6時6分、起床:7時、睡眠時間:7時間の条件下で上述の生活行動時刻設定規則を適用すると、表1に示すような生活行動時刻を設定できる。

表1: 生活行動時刻設定例

	生活行動	設定時刻	設定方法
1	起床	06時53分	日の出時刻+(起床時刻-最低体温時刻)
2	朝食	07時30分	起床時刻+60分以内
3	昼食	11時00分	起床時刻+240分程度
4	運動	13時00分	起床時刻+360分程度
5	間食	17時30分	就床時刻-390分程度
6	夕食	20時30分	就床時刻-210分程度
7	入浴	22時00分	就床時刻-120分程度
8	就床	23時53分	起床時刻-前日の睡眠時間

3.4 時間管理アプリケーションソフトウェア

時間管理アプリケーションソフトウェアのインターフェースを図3~5に示す。図3赤線枠で示した「最低体温」ボタンをクリックすると、ウェアラブルデバイスから生体リズムの周期が読み込まれる。その後、居住地および希望する昼食時刻等の入力を行う。図4赤線枠内の「設定」ボタンを押すと各生活行動時刻を計算し、左下部に表示される。最後に図5赤線枠内の「開始」ボタンを押すことによってソフトウェア内部の時計が起動し、設定した時刻になるとアラームが鳴り対象者に生活行動を知らせる。



図3: インターフェース (1)



図4: インターフェース (2)



図5: インターフェース (3)

4 実験と考察

4.1 実験方法

実験は、事前計測、実証実験、事後計測の3項目で構成している。事前計測では、連続測定型耳式深部温度計BL100を用いて睡眠時の深部温度を連続して3日以上計測することで日常生活時の生体リズム周期を判断する。実証実験は被験者の時差呆けが治まる迄に要した期間を参考に2週間を1サイクルと定義し、事前計測で取得した生体リズム周期を基に時間管理システムが算出した生活行動時刻を参考に生活する。事後計測は、実験直後の深部温度を事前計測と同様に計測することで生体リズム周期を判断する。以上の実験方法を表2にまとめて示す。

実験機器については、3.1システム構成にて示した通り、生体リズムの計測は連続測定型耳式深部温度計BL100、生活行動の把握はSilmeW20を用いる。

被験者は認知機能の低下が見受けられない70歳以上の高齢者とし、実験期間は実験前の事前計測を連続して3日以上、1サイクル2週間の実証実験、実験後の事後計測を連続して3日以上と見積り4週間程度とした。

表 2: 実験方法

項目	内容
被験者	認知機能の低下が見受けられない 70 歳以上の高齢者 1 名
実験機器	生体リズムの計測: BL100 (連続測定型耳式深部温度計) 生活行動の把握: SilmeeW20
実験期間	約 4 週間
実験	1) 生体リズム周期計測実験: 利用前 日常生活時の生体リズム周期を計測 周期は睡眠時の深部温度を連続 3 日以上 計測することで判断
	2) 実証実験: 2 週間を 1 サイクルと定義 周期計測実験で取得した生体リズムを基 に, 時間管理システムが算出した生活行動 時刻を参考に生活
	3) 生体リズム周期計測実験: 利用後 実証実験 2 週間後から連続して 3 日以上, 睡眠時の深部温度を計測することで判断

4.2 実験結果と考察

システム利用前の深部温度の変化を図 6 に示す。1 日の深部温度の変化が 0.5℃程度と振幅が小さいことが実験から確認できる。深部温度の変化は小さいものの、最低体温となる時刻は測定できていると考える。この結果からは、12 月 22 日の最低体温が 1 時 55 分となっており、その前後日の 3 時 50 分前後とは異なることが読み取れる。しかしながら、図 2 に示す若者の概日リズム周期と比較して、被験者の概日リズム周期は振幅が小さいことから、最低温度となる時刻の判断が難しく、概日リズム周期を推定するまでとなった。

図 7 に実験後の深部温度の変化を示す。1 月 23~25 日の 3 日間の最低体温となる時刻は、4 時 45 分前後で安定している。図 6 のシステム利用前と比較すると、深部温度の振幅が大きく変化していること、最低体温時刻が徐々に日の出時刻に近づいていることから、システムを利用することで生体リズムが変化することを確認出来た。

このように生活行動を調整すると 1 日の生体リズムの周期や体温などの波形が変化するので、24 時間周期に整えるようなことも可能ではないかと考える。加えて今回の実証実験の結果から、同調機能が低下した高齢者の生体リズムを調整するためには、最低でも 1 ヶ月程度の期間を要するのではないかと推察することができる。

今回の実験では、被験者が 1 人とデータが少ない状況のため、結論には至らないが、今後実験を重ねていくことで、認知機能を維持し、高齢者の自立を支援することが可能で

はないかと考える。



図 6: 睡眠中の深部温度 (2)

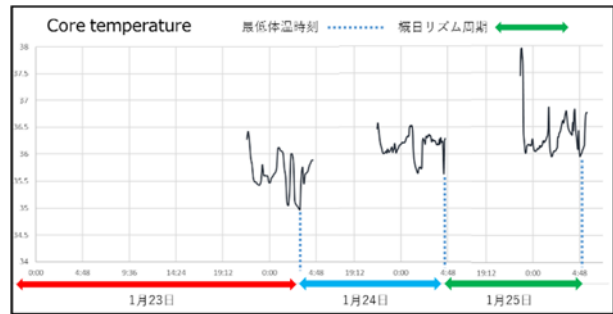


図 7: 睡眠中の深部温度 (3)

5 おわりに

本研究では、高齢者の生体リズムを計測し、理想的な生活リズムへ導く時間管理システムを提案、試作し、実証実験を行った。その結果、次に示す項目を確認した。

- ① ウェアラブルデバイスを用いることで、医療知識の無い高齢者でも生体リズムの周期を計測できることを確認した。
- ② 実証実験では、システムを利用することで、1 日の生体リズムの周期や体温などの波形に変化が見られた。
- ③ 同調機能が低下した高齢者の生体リズムを調整するためには、最低でも 1 ヶ月程度の期間を要するのではないかと知見を得た。

本研究は、加齢により同調機能が低下している高齢者を対象としているが、生体リズムの乱れにより困難を抱える弱者は高齢者に限らず、若年者の中にも生体リズムの機能異常により規則正しい生活リズムを維持出来ず、社会生活の営みに困難を抱える者がいる。近年、発達障がい者に見られる生体リズムの機能障害についての研究が進められており、発達障がい者は生体リズムに異常がみられることが確認されている[10]。生活リズムに生体リズムを同調させることが難しい点は、高齢者と類似しており、高齢者向けの時間管理システムを応用することで徐々に生体リズムと生活リズムを整え、規則正しい生活の維持を支援することが出来ると考え、本研究の適用を拡げていきたい。

参考文献

- [1] 佐藤里恵, Gong Rui, 大畑豊和, 佐藤洋平, 田部井賢一, 村越英樹, “生体リズムを基にした時間管理システムの提案,”平成 31 年電気学会全国大会, 3-126, pp.187-188, Mar. 2019. (日本語予稿集)
- [2] 厚生労働省, 平成 30 年版高齢社会白書,
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2018/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf, 2018. (visited on 2019)(ウェブ参照)
- [3] 内閣府, 平成 28 年度版高齢社会白書(概要版),
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/gaiyou/s1_2_3.html, 2015. (visited on 2019)(ウェブ参照)
- [4] Hardy JA and Higgins GA, “Alzheimer’s disease : the amyloid cascade hypothesis,”*Science*, 256(5054), pp.184-185, Apr. 1992. (Journal or magazine citation)
- [5] Ooms S, Overeem S, Besse K, Rikkert MO, Verbeek M and Claassen JA, “Effect of 1 night of total sleep deprivation on cerebrospinal fluid β -amyloid 42 in healthy middle-aged men,”*JAMA Neurol*, 71(8), pp.971-977, Aug. 2014. (Journal or magazine citation)
- [6] 井上雄一, “高齢者における睡眠障害,”*日老医誌*, 49, pp.541-546, May 2012. (日本語論文誌)
- [7] 白川修一郎, “老年者の体温リズム,”*老年精神 医学雑誌* 5 (9), pp.1058-1066, Sep. 1994. (日本語論文誌)
- [8] 内山真, 大川匡子, 尾崎茂, 他, “睡眠・覚醒リズム障害,”*神経進歩*, 39, pp.92-103, 1995. (日本語論文誌)
- [9] 西野精治, “スタンフォード式最高の睡眠,”サンマーク出版, 2017. (日本語著書)
- [10] 小西行郎, “生体機能リズムの発達と自閉症,”*小児耳鼻咽喉科*, 37, 3, pp.231-235, Mar. 2016. (日本語論文誌)

水辺地域におけるマルチモーダルモビリティのデザイン提案

安藤和美*・応舜天*・田中謙司*・村林覚*・楊再峰*
村越英樹*・海老澤伸樹*

Design proposal of Multi-modal mobility in the waterfront area

Kazumi Ando *・Ying Shun Tian*・Kenzi Tanaka*・Satoru Murabayashi*
Yang Zaiteng*・Hideki Murakoshi*・Nobuki Ebisawa*

Abstract

This study is conducted as a hypothesis design proposal of 2019 AIIT PBL (Project Based Learning) that assumes the near future. This is a proposal for design of a new multimodal mobility system for the purpose of revitalizing a waterfront area, which once prospered by water transportation but is now declining due to the development of land transportation. We set the design target area in Kasumigaura, Ibaraki Prefecture of Japan, and aim to make it possible to move on land and on water seamlessly, assuming bicycles and ULV (Ultra Lightweight Vehicle) smaller than ordinary cars. We also pay attention to environmental awareness such as SDGs in this proposal.

Keywords: mobility design, multi-modal, waterfront, Kasumigaura, AIIT PBL

1 はじめに

本プロジェクトは近い将来を想定し、水辺地域におけるマルチモーダルモビリティの、一つの可能性を提案し、「移動」による豊かな地域社会の実現を目指すデザイン仮説提案研究プロジェクトである。

現在、かつて水運を中心とした交通網により、人、物が集まり、経済が発展してきた水辺地域は、モータリゼーションの発展に伴い大きな変化をしている。陸上交通の手段を遮る水が障害となり、しだいに地域コミュニティのあり方に変化が生じ衰退していった地域もある。このような水辺地域の移動の問題に対し、本プロジェクトでは、水辺地域のフィールドワークを通し具体的に茨城県霞ヶ浦をデザイン対象地域として設定し、地域特性を生かした、新たな水上交通のデザイン提案を行った。これを「水の上を自由に移動する道」という意味から「WATER ROAD」とネーミングし、コンセプトのマルチモーダルモビリティとオンデマンド水上交通システムのデザイン提案を行った。

現在の自動車は、「MaaS」や「CASE」など 100 年に 1 度とも称される移動に関する大きな変革期を迎えている。しかし、現在の自動車をベースとした技術革新や利用方法の変革のみでは、水辺地域の衰退を補いきれないと考える。従来型の自動車に代表される高速、長距離の移動を前提とし、個人所有とその操作で自由な移動を担保するモビリティだけでなく、

交通弱者すなわち老人、子供、など免許を持たない者にたいしても有用な、人により近いレベルでの低速、近距離の自由な移動に重心をうつした移動手段がないと、地域の再活性化は望めないと考える。また、陸上交通の障害となる水上の移動もこれまでのレジャーやスポーツ中心の水上モビリティでは日常の自由な移動に十分対応できない。

上記を踏まえて、本デザインプロジェクトの狙いは以下のとおりである。

- ① 人にやさしい陸上交通と新しい水上交通を組み合わせ、陸上交通にとって障害となっていた水上を、自由な移動空間として組み換える。
- ② 今後増えていくことが予想される、航続距離の短い超小型モビリティなどの、移動の自由度を広げることで、その価値を高める。
- ③ 上記の①②により、陸上交通の発展に伴い衰退したと考えられる水辺地域を、再活性化させる。

実際に日本第 2 の広さを誇る霞ヶ浦を対象に、既存施設の有効利用などのその地域特性、地理的条件を踏まえ、新しい価値すなわち人間中心の水上モビリティと交通システムを「CASE」「MaaS」の概念と技術に基づいてこのデザインプロジェクトを推進した。水辺地域再活性化、マルチモーダルモビリティシステム、SDGs の目標に基づいた環境意識という基軸の中で、デザイン仮説提案を行った。

なお本プロジェクトは 2018 年度の産業技術大学院大学に

における2年次のPBL(Project Based Learning)として推進した。

2 問題の背景とプロジェクトの狙い

2.1 なぜ水辺地域か

先行研究によれば、「わが国における水上交通は、都市間における人・物を輸送する交通手段として発達し、都市の発展に大きく寄与してきた。しかし20世紀初頭から中盤にかけて、鉄道網の整備やモータリゼーションの進展に伴い水運の利用が減少し、交通手段としての水上交通は衰退していった」と考えられる [1]。鉄道および車での移動は広大な水辺地域においては、橋がないと水運時代の様に自由に水上を移動できない。その結果として、船着き場や河岸を中心に栄えた地域コミュニティに、変化が生じたと考えられる。また公共交通の不整備がマイカー依存を増長し、老人や子供の移動を阻害する要因にもなっている。利便性の高い水上交通の導入が、渋滞緩和や都市環境の改善、地震など災害時の緊急輸送手段の確保を促し、また地域の観光資源の魅力を高め、地域の人々の交流を活発にさせる。水による疎外感を緩和するには、陸上と水上をシームレスにつなぐ、マルチモーダルな新交通システムの導入が必要であると考えられる。換言すれば、水上交通が衰退した結果できた隙間を埋めるべきものが求められると予測した。

モータリゼーションの進展による自動車交通の増加が、交通渋滞や環境問題など、大きな課題を引き起こし、その水上交通への期待としての見直しを進めた事例を紹介する。福岡が平成17,18年度の2年間にわたり実施されたNPO法人タウン・コンパスによる「川と海をつなぐ都市水上交通社会実験」である。福岡のまちも古くから博多湾を中心に人々の暮らしが水上交通によって発展してきた。博多湾には、市内中心部とその対岸に位置する志賀島・西戸崎や海の中道とを結ぶ航路があるが、都心側の発着地点となる博多区博多埠頭は、天神や博多駅といった都心とはさらに2km以上離れている。このため、埠頭との行き来にはバスやタクシーに乗り継ぐ必要があり、利便性が非常に悪い。そこで都心部の天神から那珂河経由で直接対岸に行ける航路を設置し河川や海をシームレスにつないだ。対岸への移動が楽となり都心部の人の流動化が促進され、活性化に寄与できる結果となった [2]。

2.2 水辺地域の調査

水辺とは、水面に近接した岸の周辺をさし、河川、湖沼、湿原、海浜の水辺などがある。なお、海浜は水辺と呼ぶよりも海辺か海岸と呼ぶ場合が多い。また河川の中には運河も

含まれる。ここでは港湾については海の一部がとりこまれたものとする。水上交通あるいは周辺の陸上交通、および周辺環境の現状を調べるために、パラメーターを都会の運河、地方の河川、都会の港、地方の湖の4つに分類して調査を行うことにした。また、実際の水辺地域を取り上げてフィールド調査を行った。具体的な調査地とは、京浜運河、野田市内の河川、横浜港、霞ヶ浦の4つの地域に設定した。以下それぞれの調査結果を述べる。

- ① 京浜運河(都会の運河)は周辺に臨海公園が多く、護岸は整備されている。橋は少なく、対岸へ渡るには、一度幹線道路に戻らなければならない。周囲には約5800所帯の八潮団地が隣接している。
- ② 野田市の河川(地方の河川)は護岸が整備されておらず、橋は少なく、近づくことすら困難である。市内全体の交通量は少ないが、野田橋周辺は渋滞している。鉄道は一部地域しか通っておらず、まめバス(巡回バス)が市内全域を走っている。
- ③ 横浜港(都会の港)は河岸の高さが高い。川幅が狭い山下公園付近には、社会実験運航の水陸両用バス「SKY DUCK」が観光用として運行されている。橋は少ない。
- ④ 霞ヶ浦(地方の湖)は湖の面積は広く、周囲はおおむね平坦である。波が意外と高い。湖周囲にはサイクリングロードが整備されており、小型のモビリティであればすれ違うことも可能である。2014年には水辺観光活性化を目的に「SKY DUCK」の社会実験が行われた(図1)。

フィールド調査の結果、4地域とも対岸に渡るための橋が少なく、大きく迂回しないと対岸に行けないことが確認できた。また公共交通の不整備により車、バス、あるいは自転車移動しなければならず、古くからある渡し船の様な水上交通は完備していない。ここで特筆すべきは、横浜港と霞ヶ浦については、国交省により水陸両用バスの実験走行が実施されており、国も水上交通の必要性を模索していると考えられる。



図1: 調査対象水辺地域

2.3 デザイン提案対象地としての霞ヶ浦

デザイン提案内容の精度をあげるためには、対象地を特定する必要がある。水辺地域の再活性化を考える場合、水辺の状況が重要である。河川、運河、港湾は水域が海と連続している。水による隔たりを考えるならば、広大で閉じた、いわば陸地をきりとった様な水辺地域がよいのではないかと考えた。陸地が遮断された状況を想像すると分かりやすい。水により陸路が完全に遮断された状況である。霞ヶ浦を例にとると、湖を横断する橋が1本しかない。さらに周囲には公共交通もほとんどなく、周辺の人々はマイカーに依存せざるを得ない状況である。調査では、対岸に渡るための水上交通はなく、あるのは観光用の遊覧船のみであることが分かった。このように、水辺地域においては、陸上と同じ交通状況を水上に再現することが困難であり、こういった状況が水辺地域の人、物の流動化の障害につながっているのではないかと推察される。

上記から、我々は隔たり度の高い広大な湖として霞ヶ浦を取り上げ、水辺地域の再活性化と水上交通との関わりについての問題抽出とその解決を交通システムの観点から、一つの方向性をさぐるために、霞ヶ浦を本プロジェクトの対象地として選定した。

2.4 霞ヶ浦について

霞ヶ浦は茨城県南東部にある国内第2位の湖面積を持つ淡水湖である。その流域面積は茨城県全体の35%を占めており2156.7km²である。湖面積67.6km²、周囲120km、最大水深7m、透明度は0.6m、平均水深3.4mの浅い富栄養湖である。東方にある北浦に対して西浦ともいわれ、また利根川流域まで含めると総湖岸線は約250kmに達しわが国最長である。湖の周りは、台地と低地が入り組んだ場所が多く、田園地帯が広がり、西方には筑波山がそびえ、冬に「筑波おろし」と呼ばれる、強い北西の季節風が吹く[3]。流域は豊かな水と温暖な気候に恵まれ、農業、漁業が盛んに行われている。霞ヶ浦流域の人口は平成17年時点で茨城県全体の1/3の約97万人で、人口密度は平均約500人/m²と、首都圏では比較的低密度である。流域は茨城県内22市町村、栃木県1町、千葉県1市に及んでいるが、主な隣接市町村は土浦市、かすみがうら市、行方市である。中核は人口14万人の土浦市で、商業、経済が集中している。霞ヶ浦は江戸時代には水運が盛んで、湖岸の土浦、高浜、玉造、麻生、牛堀、江戸崎などは港町として繁栄していた。鉄道幹線が接続されているのは土浦市だけである。あとはバス路線があるが土浦市とかすみうら市に集中しており、他の地域はまばらである。マイカー中心の区域が大部分を占める。ここで少し霞ヶ浦特有の自然環境について追記しておきたい。

湖岸にはアサザなどの浮葉植物の群落が多く存在している。近年の霞ヶ浦の環境が悪化したことで絶滅に瀕していた水草アサザを救うために、1995年に地域の人々が立ちあがり、自然の保全や再生の取り組みと地域活性化の共存する持続可能な循環型社会づくりを目指したアサザプロジェクトが立ちあがった。人為的な環境変化により沈水植物が大幅に減ったことで、沖からの波が減衰せず直接コンクリート護岸に当たり、残っていた植物も打ち返しの波で侵食されて、次々と消滅していった、自然の植生を再現するプロジェクトである。アサザが生えているところでは波が穏やかになるため、波に運ばれてきた土砂が堆積し、やがて浅瀬を形成し、生物多様性により環境破壊を免れ、自然環境を維持していくことができるようになる[4]。

2.5 霞ヶ浦の水運の歴史

橋がないことが起因して、引き起こされる問題とはなにかについて考察するために、我々は霞ヶ浦周辺の現在の交通システムと過去の交通システムを比較する調査を行った。

霞ヶ浦一帯は古来より水上交通が盛んであった。江戸の発展と共に東北地方からの物資輸送が盛んになり、その舟運ルートとして利用されるようになった。明治28年に友部・土浦間に鉄道が開通し、翌明治29年12月に東京田端まで現在の常磐線が開通した。

鉄道開通までは、高浜から東京までの汽船が使われ、物資の輸送もほとんどがこの水上交通であった[5]。明治の初めに蒸気船が東京・銚子間に就航した。これは内外通運会社の「通運丸」や「利根川丸」で、1日2往復で18時間(1泊2日)かかった。内外通運会社は後の日本通運であり、民営化されたのは昭和25年であった。鉄道が開通すると、18時間→2時間となったため、船は急速にその役割を減らしてしまった。水上交通は幹線輸送の手段としては鉄道・自動車に主役を譲ったが、ローカルな交通手段として、昭和40年代まで、湖岸航路が、湖岸各地を結ぶ地域の足として活躍していた。通学や通院、買い物のほか、新聞や日用雑貨を含む物資輸送を船に頼る集落が沿岸各地にあった。土浦駅の貨物ヤードの横に堀(ドックと呼んだ)があり、水上輸送と鉄道輸送が連結していた。定期船のほか、霞ヶ浦沿岸の低地帯では小舟(サツパ)が自転車や牛車(今のマイカー、軽トラックにあたる)の役割を務めていた。

1950年代以降になると陸路の整備が進んでバス路線が発達し、やがてマイカー時代を迎えて定期航路は廃止され、1976年を最後に霞ヶ浦の定期航路はなくなった[6]。水運中心の時代においては、図2のように現在の行方市の湖岸側に井上、五町田、今宿、麻生といった河岸があった。人と物がこれらの河岸を拠点に内陸部に流動し、船を通して水

辺地域の交流が活発であった。しかし、定期航路が廃止されて輸送手段がモータリゼーションに置き換わった現在は、循環バスも走っておらず、水運中心の時代は人と物が現在とは違うかたちで流動していたこれらの地域は衰退した。スピードと航続距離の優位性を持った車にとって、これらの河岸は通過するだけの存在となってしまった。これは車の持つ利便性の裏返しとも考えられる。

これらの河岸跡には、図 3 のように「水新宮」の石碑と鳥居が立てられ、史跡として残されているものいくつかある。また往時の河岸跡もしくは近辺は、現在船溜まりとして利用されているものが約 80 箇所存在しており、水運時代の名残となっている。陸上交通が不整備の時代に水上交通が地域コミュニティ形成に重要な役割を果たしていた。つまり、水上交通が地域活性化に帰依していたと考えられる。



図 4: 霞ヶ浦周辺の鉄道路線図 [8]

一方、定期循環バスについても土浦市周辺の区域に集中しており、東側の行方市は一部の長距離バスを除くと鉄道もバスも運行していない区域である。移動はほぼマイカー、自転車、オートバイやスクーターなどに依存している状態である。平成 28 年 3 月作成の「行方市地域公共交通網形成計画」によると「行方市内の公共交通網は、民間路線バスとデマンド型乗合タクシーにより構成されているが、民間路線バスによるサービスは一部の地域に限定されており、乗合タクシーのサービスは平日の日中に限定されている。そのため、市民の公共交通による市外拠点への移動は制限され、乗合タクシーでの市内移動も平日の日中に限定される。また来訪者については、路線バスでアクセスできる場所は限定的であるとともに、乗合タクシーを利用できるのは市民のみであることから、平日、休日とも市内移動は制限されている。今後予想される人口減少や高齢化に対しては、市の拠点形成を推進し、人口減少の緩和、来訪者の増大などを図ることが必要であり、そのために市民および来訪者にとって利便性の高い公共交通ネットワークの構築が必要である。また、湖を活用した観光は、地域の活性化にとって重要な視点であり、観光に資する公共交通とすることも必要である。行政でも対応を検討しており、その公共交通軸が有効に機能するよう乗り継ぎターミナルの整備および運賃体系の見直しを行うことで、公共交通の利便性向上を図る。これらのことにより、生活しやすさの向上による定住者の増加、アクセスしやすさの向上による来訪者(通勤者、通学者、観光客等)の増加を図り、まちの活性化を目指す。」とある [9]。

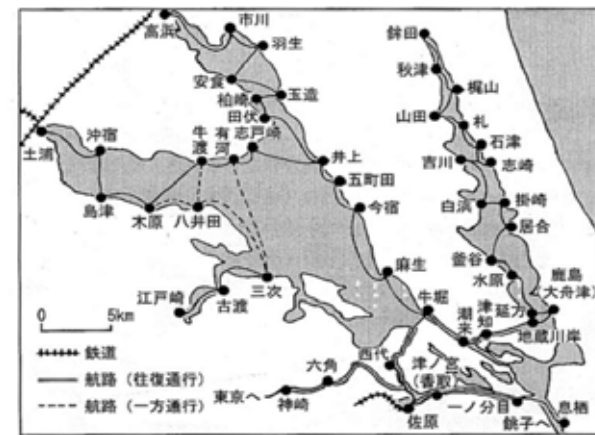


図 2: 明治時代の主な河岸 [7]



図 3: 麻生地区の河岸跡

2.6 霞ヶ浦周辺の現状交通

霞ヶ浦周辺は、図 4 のように鉄道路線はほとんどなく、幹線としての鉄道は土浦駅を經由する JR 常磐線のみである。またローカル線は石岡～鉾田まで鹿島鉄道が走っているのみである。

霞ヶ浦の水上交通としては観光遊覧船が季節運航ではあるが、土浦港から「ホワイトアイリス号」と「ジェットホイルつくば号」が運行されている。その他観光用として土浦市、かすみがうら市、行方市の 3 市合同操業により帆引き網船が運航されている。帆引き網船は風力を利用して網を引っ張る帆引き漁法で、昭和 40 年代にはいったん廃れたものの、観光帆引き船として復活した。霞ヶ浦沿岸の 3 市から遊覧船が出航し、湖上で眺めることができる。

2.7 既存サイクリングロードと船溜まり

霞ヶ浦の周囲には総延長 131km のサイクリングロードがある。サイクリング沿線にはさまざまな施設が点在し、観光資源として整備されている。霞ヶ浦は 11 市町村に隣接しているため、サイクリングロードの管理運営は茨城県が行っている。霞ヶ浦大橋を挟んで南側だけで 94.17km あり、所要時間にして 7 時間を要する。湖岸の堤の上を舗装して 2013 年春に全線が完成。オートバイやスクーターでの利用者も多く霞ヶ浦の雄大な眺めが楽しめる。土浦駅周辺の数か所を除いて信号はまったくない。ほとんどの区間が車道との兼用だが車はほとんど通らない。さらに土浦からつくばりんりんロードと接続しているので、連携すれば長大なサイクリングコースとなる。土浦を過ぎると、公衆トイレは結構整備されているものの、飲食店や自動販売機がほとんどなく、飲食拠点の整備が不十分であるといった利用者の声もあがっているようである。

また、霞ヶ浦には、周辺の漁業組合が管理専有する既存の船溜まりが存在している。主に霞ヶ浦で漁業を行う漁船のためのポートである。大半の船溜まりはサイクリングロードからアクセスできる状態になっており、配置上もほぼ湖全周をカバーしている。この船溜まりとサイクリングロードとの連携による有効利用については後の章で詳述する(図 5)。



図 5: 霞ヶ浦サイクリングロードと船溜まり

3 コンセプトの構築

3.1 マルチモーダル, CASE, MaaS について

霞ヶ浦周辺は、水運時代には船を利用した水上交通が、湖を横断あるいは地域をつなぐ手段として、地域の発展に大きな役割を果たしていた。しかし、水上交通が衰退して自動車による陸上交通(モータリゼーション)が中心となった現在の霞ヶ浦には、日常の移動手段としての水上交通はなく、湖を横断して地域をつなぐ手段は、1987 年(昭和 62 年)に霞ヶ浦大橋有料道路として開通した長さ 1.3km の「霞ヶ浦大橋」(図 6)が 1 本あるのみである。



図 6: 霞ヶ浦大橋

陸上交通、水上交通は、それぞれの枠組みの中で発展してきたため、その接点に隙間が生じ、陸上交通においては水辺が地域のつながりにおいて大きなコストとなっている。つまり、霞ヶ浦のような広大な湖を有する水辺地域においては、「水上交通の衰退」が周辺地域の人々の移動および物流による地域のつながりを疎外する要因の一つとなっているのではないかと考えられる。

そこで我々は、このような水辺地域において地域のつながりを活性化させるために、異なる交通手段をシームレスにつなぐことで移動の効率化を図る交通施策の「マルチモーダル」を応用できないかと考えた。

一般的にマルチモーダルとは「多様なモード」の意であり、国土交通省の定義では「複数の交通機関の連携を通じて、利用者のニーズに対応した効率的で良好な交通環境が提供される交通体系」、「道路、鉄道、空港、港湾の連携を強化し物流および交流の円滑化を目指すマルチモーダル施策を推進するべく、総合的な取り組み」とあり、いずれも複数の交通機関の連携ということが基本となっている [10]。

また、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」と「MaaS」とである。「CASE」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。「MaaS」は Mobility as a Service の略であり、ICT を活用して交通をクラウド化し、公共交通か否か、またその運営主体にかかわらず、マイカー以外のすべての交通手段によるモビリティ(移動)を一つのサービスとしてとらえ、シームレスにつながる新たな「移動」の概念であり、利用者はスマートフォンのアプリを用いて、交通手段やルートを検索、利用し運賃等の決済を行う [11]。

CASE や MaaS は主に陸上のモビリティを対象とした技術や概念ではあるが、水上交通に応用することで、陸上と水上

をシームレスにつなぐ新しいマルチモーダルが実現できるのではないかと考える。

3.2 超小型モビリティについて

本プロジェクトにおいて対象とする陸上の移動手段には、超小型モビリティと呼ばれるモビリティを想定している。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はしておらず、パーソナルな短距離移動を目的としており、人間中心なモビリティといえる。

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するとともに、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 [12]。

超小型モビリティは、日本では2012年頃から話題になり始めた。欧州、中国、インドなどにおいては、高齢者、自動車を所有しない若者、市街地での小規模配送業務などに利用できる貴重なモビリティという位置付けとして多くの需要があり、生産台数も急速に増大している。日本においても、自動車会社各社が実証実験などを各地で展開している。小回りが利き、近距離移動時に手軽に活用できる超小型モビリティは、徒歩では負担が大きい区域、自動車以外の移動手段がない区域、そして公共交通の利便性が悪い区域を中心に、今後普及していくと考えられる。

しかし、主に短距離の移動を想定している超小型モビリティは、前述の霞ヶ浦周辺のような地方の水辺地域においては、水が隔たりとなり長距離移動を余儀なくされ、その効果が十分に発揮されず、有用性に欠けることも考えられる。

3.3 基本コンセプト

水上交通の衰退が、水辺地域における地域社会衰退の一因であるとすれば、水上交通の見直しは、水辺地域の活性化に有効であると考えられる。

そこで我々は、水辺地域における、現在の陸上交通の不便さを、水上交通とシームレスに組み合わせるマルチモーダルなモビリティにより解消することを検討した。

さらに、水上と陸上をシームレスにつなぐ手段として、以下の3つの方向性を検討した。

- ① 水陸両用車やホバークラフトなどの水陸両用のモビリティ
- ② 陸上のモビリティに装着する水上移動用アタッチメント
- ③ 陸上のモビリティを搭載して水上を移動するモビリティ

検討する中で、我々は、古くから存在する渡し船に発想の源をもとめた。渡し船は、乗客が来れば必要に応じて乗客を乗せ運転するオンデマンドな水上交通システムである。さらに、今後の普及が期待される超小型モビリティと水上を移動する新たなモビリティを組み合わせると、超小型モビリティが不得手とする長距離移動を実現することで、超小型モビリティの普及促進にもつながると考え、「3. 陸上のモビリティを搭載して水上を移動するオンデマンドなモビリティ」を基本コンセプトとして採用した。

陸上のモビリティを搭載して水上を移動するモビリティとしては、現在もフェリーが存在する。しかし、現在のフェリーは、決められた点と点をつなぐルートを決められた時間のみ移動するという意味では、陸上と水上をシームレスにつなぐとはいいにくい。我々のコンセプトは、先述の次世代モビリティの要素技術である「CASE」を導入した水上モビリティと超小型モビリティとのICT連携により、超小型モビリティの移動範囲を拡大する、マルチモーダルな交通システムの創出である。

新たにデザイン・設計する水上モビリティは、個人所有するのではなく、必要なときのみ利用するオンデマンドのシェアモビリティであり、スマートフォンなどから利用時間、運行ルートをパーソナルに設定し、水上を無人で自律運転するコネクテッドなモビリティである。また、超小型モビリティ普及の目的の一つである「電動化」、「小型化」によるCO₂排出量の削減を、水上モビリティにも引き継ぐ。

陸上交通と水上交通をシームレスにつなぐには、水上モビリティ発着のための護岸へのポート設置、および陸上モビリティの、ポートへのアクセスルートの確保が必須となる。2-7の項で述べたように、霞ヶ浦周囲には、水運時代に河岸として存在していた船溜まりが多数あり、調査の結果、図7のように約80箇所存在していることが判明した。また、漁港を中心に現在も継続して使われているものもいくつか存在している。そこで、既存の船溜まりを水上モビリティのポートとして利用できると考えた。



図 7: 霞ヶ浦サイクリングロードと船溜まりプロット図 [13]

また、霞ヶ浦には、護岸に隣接する 131km のサイクリングロードが設置されており、サイクリングロードからは船溜まりを利用したポートへ容易にアクセスが可能である。サイクリングロードを利用することで、生活利用の超小型モビリティだけでなく、レジャー目的のサイクリングにも水上モビリティを活用することができ、サイクリングに新たな付加価値を創出できると考える。

さらに、約 80 箇所ほぼすべての船溜まりには、日照や風力といった霞ヶ浦の地理的条件を生かした、再生可能エネルギーの発電設備の設置を検討している。環境にやさしい自然エネルギーの全面採用によって、近年問題となっている「地球温暖化」、「環境破壊」、「化石燃料の枯渇」に配慮し、低炭素社会を実現すべく SDGs の開発目標に沿ってデザイン・設計を行い、持続可能な交通システムの構築を目指すこととした。

我々は、このコンセプトを、広大な水上を自由に移動できる道という意から「WATER ROAD」とネーミングした。

WATER ROAD により、水上を自由に移動できる道ができ、陸上と水上がシームレスにつながることで、水辺により分断されていた人や物の流動が促進され、モータリゼーションの発展により失われた地域コミュニティが新たに生まれ、水辺地域の活性化につながると考える。

4 WATER ROAD のデザイン展開

4.1 基本サイズの決定要因

我々は環境とコストを意識し、既存施設の有効利用をする観点から、水上モビリティのための港湾設備（以下：ポート）の新設は行わず、既存の船溜まりを利用する計画でプロジェ

クトを進めることにした。WATER ROAD の幅員は、既存船溜まり入り口の幅が狭い箇所では 4m しかないため、両舷に 50cm の余裕を持って 3m とした（図 8）。タクシーに乗った家族が全員乗ることを想定して最大定員を 4 人とし、自転車 3 台と超小型モビリティ 1 台（約 600kg）を同時に載せた状態をシミュレートして、ゆったり感が残ることを実寸で確認して決めている（図 9）。

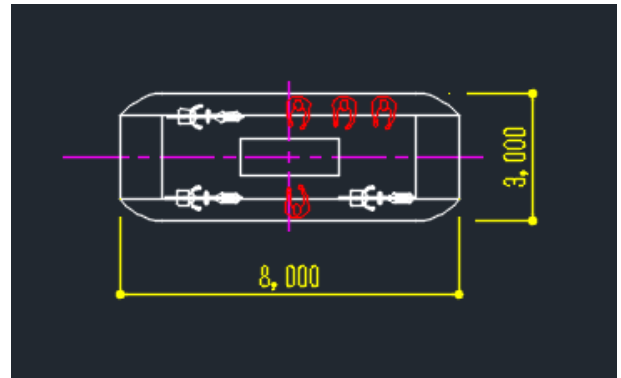


図 8: WATER ROAD の甲板の広さ検討図

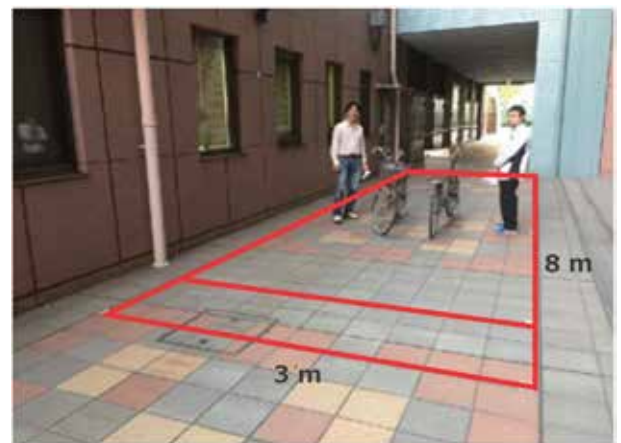


図 9: WATER ROAD のサイズを実寸で体感

超小型モビリティの積載数を 1 台に設定したのは、大量輸送用ではなく準パーソナル用途を想定しているためである。もし 2 台を移動させたいならば、WATER ROAD を 2 隻呼べばよいという割り切りである。船体が大きくなればより多くのエネルギーが必要となるため、船体をできるだけコンパクトにすることで SDGs の観点からも燃料消費の効率化を図っている。モビリティや人の搭載部分である甲板部は、前後方向に 6m あればモビリティを載せられるが、接岸に可動式のスロープが必要なため、前後に 1m 延長し 8m の長さで設定した。最終のデザインでは船体を浮き沈みさせることによって甲板と護岸の高低差を吸収する仕様としたため、スロープ部分は固定式となった。これにより、筐体デザインにおいて長さ方向が強調されたことで、WATER ROAD という名前のとおり「道」

らしさが表現できたのではないかと思われる。甲板を横切る方向にはあえて手すりなどは設けず、水面上に新しい道ができたことを想起させ、水上に道が伸びていくイメージを持たせている。

4.2 デザインの参考となった事例

用と美が融合したバイキング船（図 10）は、竜骨を採用したことで横波に対し安定した帆走が可能となっている。主に遠距離の航海に用いられ、海岸や内陸の集落を襲うことにも使われるなど、数世紀を経て改良され続けられた船である。特徴は速度を優先した優美で、長く、細い形状と、喫水が浅く、水深が 1m の浅瀬でも航行ができ、前後が対称となっていることである。対称の船首と船尾を持っているため、旋回することなく即座に進行方向を逆転することができた。この特徴は、冰山や海氷のために危険な航海となる北方地域で特に有益であった [14]。霞ヶ浦の船溜まりは、場所によるが、面積が狭いところが多い。停泊密度も高いために旋回用のスペースを確保しづらい状況である。自律走行する WATER ROAD を旋回しなくても即座に方向転換させるには、前後双方向に航行可能な機能が必要となるため、前後対称のデザインを採用した。また、一般的には RORO 船 (roll-on/roll-off ship) と呼ばれるこの形態は、搭載車両が進行方向の向きを変えることなくそのまま下船することができるため、乗降時間を短縮できるという利点もある。

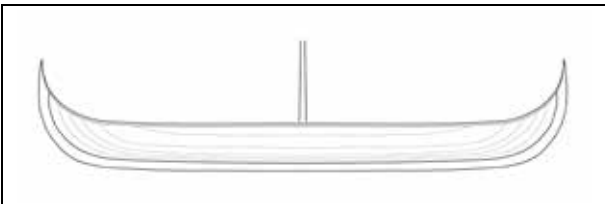


図 10: バイキング船のシルエット

4.3 基本形態のデザイン展開

我々は WATER ROAD の初期デザイン提案を作成するにあたりさまざまな観点から多くのデザインスケッチを行った。

霞ヶ浦の自然環境に最適化するには、筑波おろしによる風の影響をやわらげ横風による横転を防止するために、風や水などに対し抵抗をするのではなく、受け流すことで直進性を高めるデザインを検討した。また、湖の環境保全の観点から再生の進む水生植物にできる限り影響を及ぼさない配慮も必要であった。一方では、乗員の快適性の観点からは、雨と日射に対する乗員への配慮も必要である。このようにさまざまに要求される機能の充足バランスの結果がデザインである。そこで我々はデザインを考えやすくするために、次の 3 つの機能に形態の要素を分解して考えることにした。①浮力と推進力を担うフロート部分、②人やモビリティを搭載する甲

板、③快適性と補助発電を担保するルーフ部分の 3 つの形態要素である。3 つを 1 つのフォルムの中に還元してしまうのではなく、それぞれの機能が視覚的に独立していながら、それらをつなげるデザインを模索した。結果として余分なものがなく、総重量が減少し、エネルギー消費量を抑えるデザインができた。また構造的には、力学上必要な部分にのみフレームを入れて、開放面をできる限り確保することで、風に対する抵抗を最小限度に抑えている。スタイリング的にはシンプルなシルエットとなり、いわゆる船らしさからは脱却したデザインとなっている。推進部にその特徴がよく表れている。次項で詳しく述べるが、採用した SWATH 船型は水面と接する面積が最も少なく波の発生や水中の攪拌率も小さいので環境への影響が少ない [15]。

さらに、甲板部と推進部をつなぐ支柱のつなぎ材をなくす構造としたため浮葉植物への影響が極めて少なく、水草の多い霞ヶ浦にはなじみのよい構造である。前項でレイアウトをした甲板部の最大搭載重量を算出、その数値を元に総重量を 3 トンに設定し、浮力計算の結果を元に推進部のフロートの最終形状を決定した。

4.4 SWATH(スワツス)について

WATER ROAD の船型は SWATH (Small Waterplane-Area Twin Hull: 小水線面積双胴船)、あるいは SSC (Semi-Submersible Catamaran: 半没水型双胴船) と呼ばれる特殊な船型である。葉巻型の船体を完全に水中に沈めて、細い支柱で船体上部を支える構造で、船体の上部と下部をつなぐ細い支柱部分のみのため、造波抵抗が少なく高速性能に優れるため、波浪中でも速力低下が少なく復元性に富み、安定性能が優れている。一般的な船(単胴船)や在来型双胴船に比べ、横揺れ、縦揺れ、上下揺れの加速度が小さいために酔いしづらく、構造上小さな船でも十分広い甲板が確保できる。さらに WATER ROAD は、船体前後に推進器を備えている両頭型双胴船であり、甲板に自走して乗り込めるという特長を有している。

図 11 のように、SWATH は単胴船や一般的な双胴船に比べ水線面積が少なく、ほとんど水面に接していないという特長があり、そのため造波抵抗が少なく船体が安定して速度が出る。

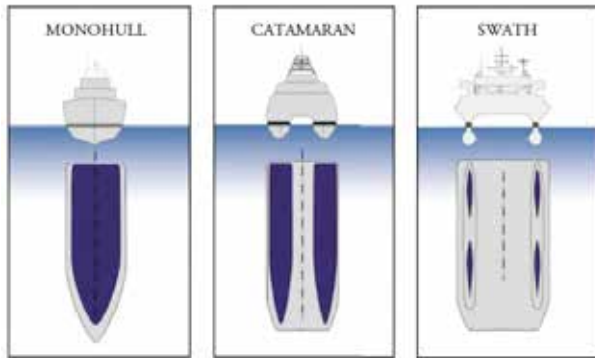


図 11: SWATH の水線面積の違い [16]

5 WATER ROAD の最終デザインと詳細

5.1 基本形態と機能

WATER ROAD の最終デザインは、太陽光パネルを搭載したルーフ部とそれを支えるフレームとフラットな甲板、両方向航行可能な葉巻型フロート(推進)部の3層構造になっている(図 12)。デザイン的には各機能を分節し、それぞれに最適な形態を与えて、最大公約数的に一つの固まりに還元せず、連結する手法でデザインされている。このために従来の船としてのイメージの呪縛からのがれ開放的で「道」を想起する形態となっている。



図 12: WATER ROAD の最終デザイン

想定した基本仕様を、図 13 に示す。

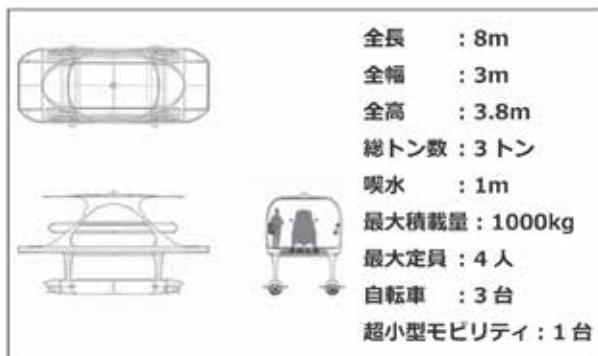


図 13: WATER ROAD の基本仕様

さらに、最終の3Dデザインのプレゼンテーション確認用に、1/10スケールの3Dモデルを制作した(図 14)。

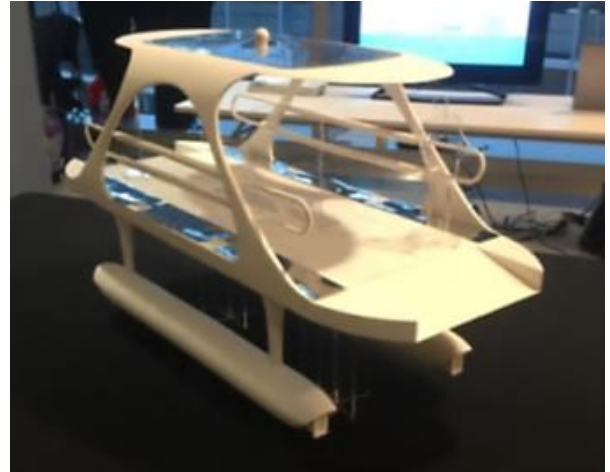


図 14: WATER ROAD の 1/10 スケールモデル

5.2 WATER ROAD の詳細構造

WATER ROAD は SWATH の船型を生かし、推進機関として前後に 2 基ずつ電動ウォータージェットを配置し、前後どちらにも進むことができる。葉巻型の船体下部は、水上に浮かべるのではなく、水中に完全に沈めて細い支柱で船体上部を支える構造となっている。モビリティや乗員が船体の後ろから乗り、そのまま前から降りられるように、WATER ROAD は前後どちらにも進むことができる仕様である。また狭いポート内では旋回が困難なため、前後どちらにも進むことで旋回が不要となり合理的である。WATER ROAD は自

類の電源として利用している（図 15）。

5.3 WATER ROAD の給電システム

給電ステーションは既存の船溜まりを利用した 80 箇所の各ポートに設置するフロート型発電システムである。WATER ROAD で使用する電力は、昼間の太陽光発電だけではまかないきれず、24 時間蓄電するためには夜間でも充電する必要がある。そのため風力発電を併用するシステムを採用している。昼間は太陽光と風力により発電し、夜間は



図 15: WATER ROAD の構造

動運転で接岸しなければならないため、一般船舶のような惰性による着岸が困難である。そこでスクリュー船では困難なブレーキを、ウォータージェットの逆噴射によりかけることができ、接岸時などにおける細かな操船を実現している。さらに、船体下部には浮力調整用のバラストタンクを内蔵し、デッキ面の高さをコントロールしながら着岸することができる。

WATER ROAD は、航行用動力の電源として、100KWh の容量を持つリチウムイオン電池を 4 個搭載することを想定している。航行に必要な電力は、ルーフのソーラーパネルによる太陽光発電だけではまかないきれないため、護岸のポート周辺に設置をする給電ステーションで充電を行う。遮るものがない水上の移動においては、日差しや雨をしのぐことが必要なため必要最小限のルーフを設けている。日差しを遮るシェルタールーフにはソーラーパネルを内蔵し、ライトや補機

風力のみでの発電として、24 時間蓄電を行う。WATER ROAD で使用するすべての電力は再生可能エネルギーである。余剰電力は、ダリウス型風力発電設備の支柱を利用した LED 照明によりポート周辺やサイクリングロードを照らす（図 16）。

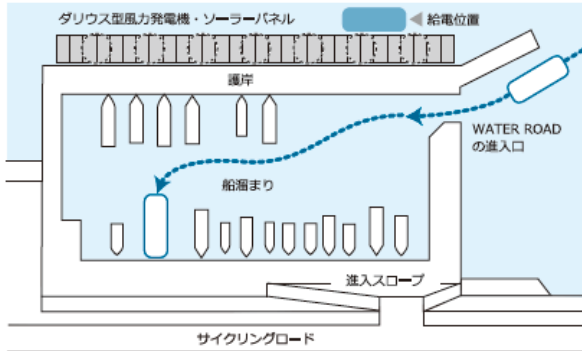


図 16: 船溜まりを利用したポートと給電ステーション

WATER ROAD1台には、合計 400KWh の容量を持つリチウムイオン電池が搭載されており航行用電源となっている。この電池は、船溜まりの護岸に設置された給電ステーションにより充電される。風力発電機と組み合わせられた複合型の給電ステーションと霞ヶ浦周辺に数多く設置された太陽光発電所(メガソーラー)が、グリッドを構成することでより安定した出力を確保する計画である(図 17)。ダリウス型の風車(揚力型)は、建設コストが低く、風向を選ばず、強風時でも騒音が少ない優れた特性を持っている。構造的にはプロペラ型の風車の羽根を弓型に曲げて垂直軸に取り付けた形となっている(図 18)。一定の強さの風を受けると、揚力によって安定した回転をする。強い季節風の多い霞ヶ浦に適したシステムである。給電ステーションのデザインについては、霞ヶ浦の様に広大であり、平坦な水辺に対して、環境との共生という視点に立ったデザインである。各ポートに立つ7本のダリウス型風車は、船溜まりから見れば霞ヶ浦が背景となり、湖側から見れば、ポートのランドマークとなる。そして霞ヶ浦の景観を崩さないように、景観を意識し、風景を大切に自然環境との共生のシンボルとなっている(図 18)。

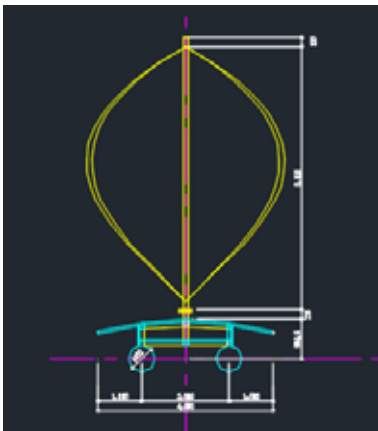


図 17: フロート型発電機の断面図



図 18: ダリウス型風車設置予想図

5.4 WATER ROAD の運行システム

図 19 は、WATER ROAD の運行システムのイメージである。WATER ROAD は決められた時刻に発着する定期運航ではなく、利用者が利用したいときに呼び出して利用するオンデマンドな交通システムで、呼び出しやルートの設定、乗船時の認証などに関わる操作は、スマートフォンやタブレットから行う。WATER ROAD の運用を想定している 2025～2030 年には、十分な安全性の元に自動航行できる技術が成熟していることを前提としており、WATER ROAD は、操縦士や船員不在の自律航行を想定している。そのため速度については、自動航行時の安全性を考慮して、自転車よりはやや早く、小型漁船よりは遅い 10 ノット(約 18km/h)前後を想定している。

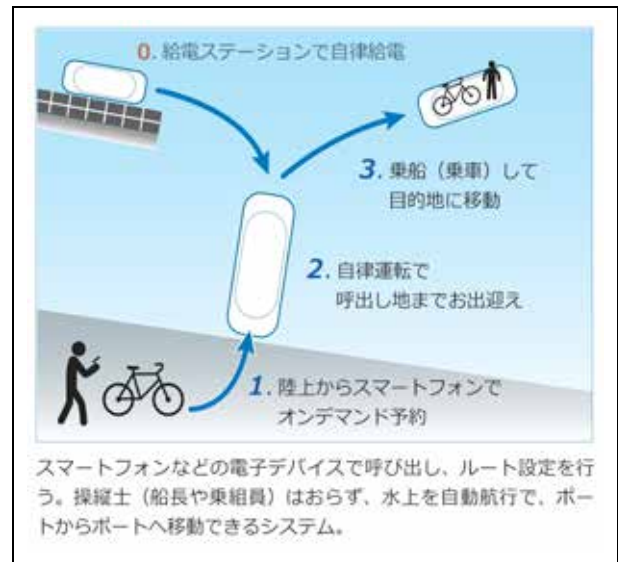


図 19: WATER ROAD の運行システム

6 デザイン提案に対する検証

本プロジェクトにおいて我々がデザイン提案する WATER ROAD について検証するために、実際に霞ヶ浦に隣接している、かずみがうら市と土浦市においてプロジェクト内容を説明し、関係自治体としての意見をお聞きした。また、本プロジ

エクトは産業技術大学院大学のPBLとして推進されたので、2019年2月に有楽町の東京国際フォーラムにおける発表会において一般へのプレゼンテーションと提案パネルとモデルの展示を行った。そのご意見や質問等を踏まえて WATER ROAD の新しい価値について、述べてみたい。

我々は、WATER ROAD のデザイン・設計の活動と並行して、2019年1月22日に土浦市役所、2019年2月4日にかすみがうら市役所を訪問し、職員の方から WATER ROAD のコンセプトについてご意見を聴く機会をいただき、以下のようにいくつかのご意見を聞くことができた。

- ① マイカー依存が地域の抱える問題となっている
霞ヶ浦周辺には鉄道が通っておらず、路線バスも利用者の減少に伴う廃線により運行されている場所が限られているため、マイカー依存が高くなり、交通渋滞や高齢者の交通事故を招く要因となっている。主に高齢者を対象とした乗合タクシーの運行を行っているが、思ったほどの効果は出ておらず、移動に関する課題は解決されていないとのことである。
- ② 地域間でのコミュニティの交流は、あまり必要ではない
霞ヶ浦周辺においては、それぞれの市町村内で生活が完結しており、地域間でのコミュニティの交流の必要性はあまり感じていないとのことであった。
- ③ 災害時の緊急移動には有効ではないか
一方で、霞ヶ浦の周辺には大きな病院が少なく、急病や事故の際に最短距離で病院へ移動できる WATER ROAD は有効であるとのことであった。過去には緊急時の移動手段としてボートなどの水上モビリティを導入する議論もあったとのことである。
- ④ 新しい観光アイテムとして有効ではないか
先述のとおり、霞ヶ浦の周囲には茨城県を主体とした「つくば霞ヶ浦りんりんロード」と呼ばれるサイクリングロードが整備されている。霞ヶ浦ではすでに、遊覧船に自転車を載せて霞ヶ浦をクルージングできる「霞ヶ浦広域サイクルーズ」も運行されており、WATER ROAD はスワンボートを想起させ、新しい観光資源として期待できるのではないかとのことであった [17]。
- ⑤ 地方都市よりも都心部の方に需要があるのではないか
現在の霞ヶ浦周辺では、(1)のようなマイカー依存の問題を抱えているものの、そもそもの移動者の人口が少なく、利用者数に対する採算性を考えると WATER

ROAD の採用は難しそうとのことであった。むしろ、交通過密な都心部における、交通の分散手段として有効なのではないかとの助言をいただいた。

霞ヶ浦を1周する既存のサイクリングロードは、大変よく整備されているものの現地実地調査時も利用者が少ない印象であった。おそらくその原因の一つにはその周回距離が非常に長く、コース設定の柔軟性が乏しいことと周辺の交通環境の不便さにあるのではないかと考えられる。例えば WATER ROAD と組み合わせることで、循環性や自由なルート設定の可能性が増し、より移動の多様性が増幅され、観光資源など水辺地域文化発展に寄与できる可能性が高い。水上交通とサイクリングロードとの連携が新たなスポーツ観光という価値を生み、また漁港でしかなかった船溜まりが人の集まる拠点となる可能性も大きく、これがさらに水上交通による地域コミュニティの形成を促し、地域再活性化につながっていく可能性があると考ええる。

左記の②でいただいたご意見のように、地方都市に限らず地域コミュニティは衰退の傾向にある。WATER ROAD により地域交流が生まれることで、新たな価値の創出に期待したい。

東京国際フォーラムでのプロジェクト発表会では、WATER ROAD のコンセプトを伝えるべく、1/10スケールモデルや1/50のボートのジオラマを展示とプレゼンテーションを実施した。展示ブースへの来場者からのご意見やプレゼンテーション後の質問として、安全性に関する質問が多く投げかけられた。WATER ROAD のデザイン・設計にあたっては、安全性には配慮を行ったが、技術的な安全性もさることながら、超小型モビリティに搭乗したまま、無人運転で水上を移動する未知の乗り物に搭乗するという状況は、設計者である我々の想像以上に恐怖感を抱くのかもしれない。WATER ROAD 本体のデザインはオープンエアを優先したものであるが、搭乗者に心理的な安心感を与えるデザイン的な配慮も必要かもしれない。

プレゼンテーションの後半で、現在も水上交通を利活用している、ASEANの水辺地域への WATER ROAD の可能性を言及したところ、強く興味をいただくことができた。我々の意図するマルチモーダルな利用とは異なるが、WATER ROAD の可能性の一つである。

7 おわりに

本 PBL プロジェクトはデザイン仮説提案として、デザインコンセプトを明確化し、その提案精度を高めるために、霞ヶ浦を対象と定めて提案を進めてきた。しかし本提案の骨子である人に近いレベルでの陸上交通と水上交通の自由な移動

を可能とするマルチモーダルモビリティシステムは、多くの衰退する水辺地域にそのコンセプトが、適用可能であるのではないだろうか。現在の自動車を中心とした、陸上交通手段の利便性拡大のために、その障害となる水上を横断するための橋などに大きなコストをかけて整備をしても、水辺地域は単なる通過点となり活性化を損ねる可能性もある。むしろ高齢化などの大きな社会構造の変化を踏まえ、より低速で人に親和性が高くコミュニティ内を気軽に移動できるモビリティと、水辺地域において移動の障害となる水上を、新たに自由な移動空間に転換する WATER ROAD のようなコンセプトのモビリティを組み合わせることに可能性があるのではないだろうか。水辺地域のコミュニティとそこを訪れる人たちの、気軽な移動の自由を賦活することで、地域の再活性化の一手段となるのではないかと考えてこのデザイン提案プロジェクトを推進した。また、アジアなど広大な水辺地域を有しながらインフラ整備そのものが完備していない地域においては、自然エネルギーを利用して運用でき、橋梁の整備などよりも低コストで導入が可能な WATER ROAD のコンセプトは適用性が高く、地域の発展や活性につながる可能性があると考えられる。

謝辞

本プロジェクトの推進にあたり多くの方々のご支援をいただいた。特に土浦市とかすみがうら市の関係部署の方々には貴重なお時間をさいいただき、数多くのご意見を賜った。この場を借りてお礼申し上げたい。

参考文献

- [1] 平成 24 年度 日本大学理工学部 学術講演会論文集
[水上交通を活用した地域間交流による水辺まちづくりに関する研究]
- [2] 福岡県福岡市ホームページ
「川と海をつなぐ都市水上交通社会実験」~NPO 法人
タウンコンパスの取り組み~
- [3] おろし風 ネオマグ株式会社
風力発電の基礎シリーズの(3) 1. 日本列島の風力エネルギー分布より
<https://www.neomag.jp/mailmagazines/topics/letter201202.html>
- [4] NPO 法人「アサザプロジェクト」
<http://www.asaza.jp/about/>
- [5] 霞ヶ浦の水運について「まほらにふく風に乗って」より
<http://mahoranokaze.com/blog-category-32.html>
- [6] 茨城県霞ヶ浦環境科学センター 霞ヶ浦への招待 霞ヶ浦の舟運 pdf
https://www.pref.ibaraki.jp/soshiki/seikatsukankyo/kasumigauraesc/04_kenkyu/introduction/kahology_top.html
- [7] 松浦茂樹著『湖辺の風土と人間・霞ヶ浦』アイノア出版
「そしえて」より 1992 年 4 月発行
- [8] 鹿島鉄道路線図
<http://www.ne.jp/asahi/tetsudo/miyata/local/repokashima/map.html>
- [9] 行方市「行方市地域公共交通網形成計画」より
平成 28 年 3 月作成
- [10] 国土交通省「マルチモーダルモビリティの構築」
<http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h15/hakusho/h16/html/F2064100.html>
- [11] MaaS (モビリティ・アズ・ア・サービス) について
国土交通政策研究所長 露木 伸宏
国土交通政策研究所報第 69 号 2018 年夏季
- [12] 超小型モビリティについて 国土交通省
https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr1_000043.html
- [13] 国土交通省国土地理院平成 30 年 3 月 30 日発行霞ヶ浦湖沼図 pdf データ使用
<http://www1.gsi.go.jp/geowww/lake/download/catalog/Lake-catalog3.pdf>
- [14] バイキング船 (ロングシップ)
フリー百科事典「ウィキペディア Wikipedia」
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%AD%E3%83%B3%E3%82%B0%E3%82%B7%E3%83%83%E3%83%97>
- [15] SWATH technology – the calm revolution
30. July 2018
<https://www.abeking.com/en/swath-technology/>
- [16] SHIP Scientific and Technology
SWATH- A new concept for the Safety and Security at Sea
<https://www.shipjournal.co/index.php/sst/article/view/120/370>
- [17] つくば霞ヶ浦りんりんロード
<https://www.ringringroad.com/>

QOL 向上へ向けて広義のヘルスケア視点に立った、 健康価値を創出するサービスデザイン

飯渕 弘成*・張 叢*・柳田 識歩*
國澤 好衛*・池本 浩幸*・インネッラ ジョバンニ*

Service design to create health value toward improving QOL

Kosei Iibuchi*, Cong Zhang*, Shikiho Yanagida*
Yoshie Kunisawa*, Hiroyuki Ikemoto*, Giovanni Innella*

Abstract

In the present age, the way people are connected has changed. As SNS became popular, there were fewer people interacting in the real world, and many people only worried about how it looked on SNS. It can be said that the feeling is increasing. Therefore, we defined that the real exchange of emotions is a gift for others and an exchange of happiness and tried to design services and products that support it.

Key words: Real Emotion, Core Function, Social Pressure, Endurance, Loneliness

1 はじめに

現代では、人同士の繋がりや在り方が変わってきている。都市化・国際化・情報化の進展共に、血縁関係や生活地域、所属機関など、リアルな共同体に基づく結び付きは薄まっており、SNSでのコミュニケーションが図られる機会が増えていると言える。SNSをはじめとしたテクノロジーは、近い意見や共通の考えを持つ者を繋げ、バーチャルな共同体を形成することに威力を発揮している一方、意見、考え、好み、立場、世代、文化などが異なる者同士の交流の減少することにもつながり、社会のあらゆる場面で「断絶」が先鋭化していく傾向にある [1]。それがもたらす人への幸福度は必ずしも高くなく、見栄えを気にしなくてはならない強迫観念により、人とのコミュニケーションの中に孤独を感じる [2] という現象が起き得る。その強迫観念を、本プロジェクトではソーシャルプレッシャーと呼ぶ。

そこで、我々は本当の感情の交換こそが他人へのギフトであり、幸せの交換になると定義づけ、それをサポートするサービスやプロダクトのデザインを試みた。

2 サービスデザインの手法

2.1 カルチャラル・プローブ

カルチャラル・プローブとは、設計プロセスでアイデアを創出するために使用される手法である。これは、人々の生活、価値観、思考についての感覚的な情報を収集する手段として活用されるものである。これは、通常マップ、ポストカード、カメラ、日記などを使用し、使用者は特定のできごとや感情にアプローチすることができる。これを行う目的は、人々の文化、思考、価値をよりよく理解し、デザイナーの想像力を刺激するために、人々からインスピレーションを与える反応を引き出すことである。この手法は、共同デザインの実践における、卓越したアプローチの一つであると言える。また、デザインの研究と実践の状況から導き出すことのできる、設計主導型のアプローチである。

カルチャラル・プローブは通常、デザインの初期段階で活用される。データの分析など、数的根拠をもつものとは異なり、あくまでもこれまでの生活環境によって植え付けられてきたバイアスから放たれた感覚による気づき、ひらめきなどによって行われる。

Received on September 16, 2019

* 産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

2.1.1 協力者

カルチュラル・プローブにおける協力者我々の行うカルチュラル・プローブの被験者に選ばれた者は、プロジェクトメンバーの知人、数人である。その対象者の選定基準については、我々が注目した現代の‘孤独’との関わり方に、我々が興味を持った人物である。年代は 20 ～ 60 代と幅広く、孤独の感じ方、在り方、付き合い方はそれぞれ異なることが予想された。

2.1.2 注目対象

カルチュラル・プローブにおける注目対象は、日常的に触れることのできる環境から、日常とは異なる体感で、モノや状況を感じることはじまる。決して非日常に注目したわけではなく、その対象には空港内を歩く人 (図 1)、誰もいないオフィス、横断歩道、空港など (図 2)、喫煙所など (図 3)、統一性もない。



図 1: 空港内を歩く人

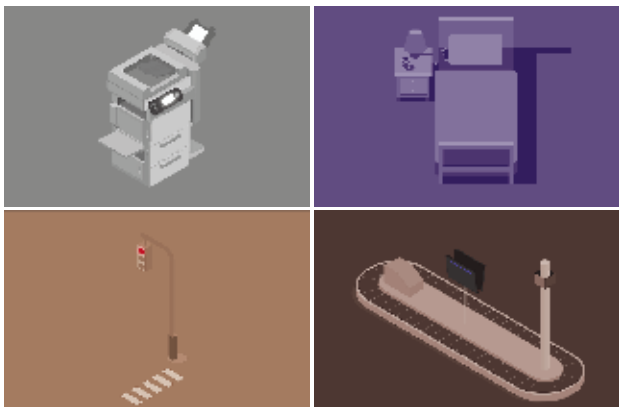


図 2: 誰もいないオフィス、横断歩道、空港など



図 3: 喫煙所など

しかし、そこからは共通し、‘孤独’のキーワードから何かしら連想されることに関して、感覚を研ぎ澄ませる条件を付与している。

2.1.3 プロジェクトメンバーから創出された感覚

次に、カルチュラル・プローブの結果では、プロジェクトメンバーがその‘感性’を使い、被験者の孤独に関する洞察を行う。その中の一例として、独身かつ一人暮らしの高齢被験者は、日常的に自然言語で表現することの難しい‘愛’に対するこだわりを、音楽に載せて発信し続けている事実が顕著であったに加え、多くの観察が愛に起因するようなものであることも感じ取れるものであったことから、これは自らの生きる環境が孤独であり、人生においての愛の重要性を認識し、愛に思いを馳せ続けて生きている様子であると見通した。その様子を改めてプロジェクトメンバーで感覚的に絵画化した (図 4)。

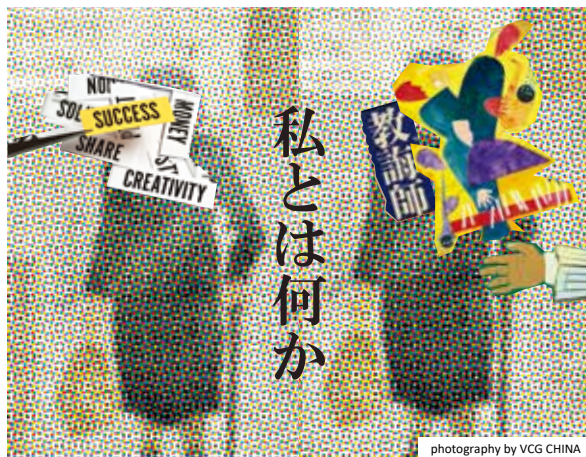


図 4: プロジェクトメンバーから創出された感覚の対象

2.2 カルチュラル・プローブから見て取ったインサイト

カルチュラル・プローブを通して絵画化を行い、そこから改めて被験者のインサイトを読み取ることを試みた。下記の項目が、被験者の潜在意識の共通にあると判断した項目である。

- (1) 人は、人から愛されるために、自分をつくらうとしている。
- (2) 理想的だと周囲が感じる姿を想像し、それに近づこうとする。

つまり、これこそが人々を SNS において見栄えを求めてしまう社会現象を生んでいる根幹であると考察した。

3 サービスデザイン

3.1 サービスデザインの概要

サービスデザインの手法として活用したカルチュラル・プローブの結果（読み取ったインサイト）から、自身本来の感情を他人と相互に交換することが、双方向的な心のつながりに結び付いていくと考えた。「与え、与えられる行為それ自身が、双方向的なつながりを作り出す」という贈与論の考え方に基づき、人が簡単に自覚し語れる趣味趣向などの言語化可能なものばかりでなく、言語化できるほど自覚しきれていない、素の自分におけるこだわりやクセですら、相手へ交換するものの原材料とすることとした。これは、偏愛 MAP と呼ばれる言語化可能な内容を相互交換することにより、相互理解が増すという既存の手法に似たものではありながら、本人による言語化不可能な点までを情報交換対象とし、純粋な趣味趣向のみを示すわけではない複雑性にこそ、新規性や存在意義を持ちうるものとしているところに特徴をもつ（図 5）。

その言語化可能、不可能なそれぞれの要素を吸い上げる具体的な手法について、自らが言語化されるものはシステムによるインタビューなどから行い、自らが言語化できないような自分らしさを示すものは、システムによるユーザー SNS 投稿の継続的分析などから、その人の傾向などを読み取る手段をとることとした。なお、製品からアウトプットされる要素は、抽象的な絵、そして明確な単語である（図 6）

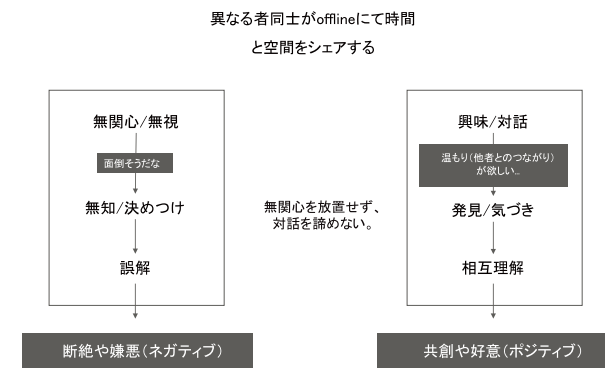


図 5: ネガティブとポジティブに至る仮定

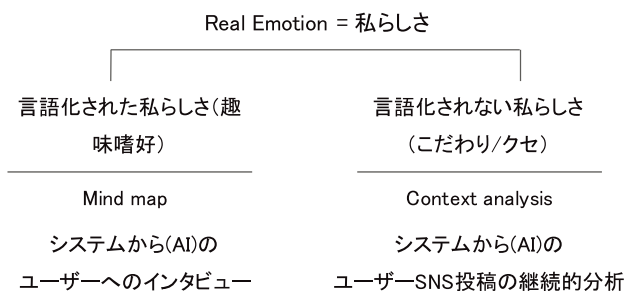


図 6: 私らしさとはなにか

3.2 ブランドデザイン

サービスデザインの概要が固まったところで、本プロジェクトにおいて上に示すブランドデザインを加えた。

ブランドロゴマークは漢字の「心」の形をモチーフにし、「心の扉をノックする音 (con3=コンコンコン)」を表す（図 7）。また、それぞれの円形に、異なる明るい配色を与えることにより、人の多様性を肯定的に捉えられるデザインとした。これは冒頭に問題提起で取り上げた通り、SNS では、「見栄え」の発信が顕著に目立つ世の中において、孤独や寂しさ、悲しさなどの負の感情を表現できずに孤独を抱え込む人口が増えていることを解決したい思いに加え、そもそも負の感情は、人と人が関わる中で相互の誤解や無知からくる決めつけ、或いは無関心などがその背景になっていると考えられる [3] ことから、相互理解や興味、相手の新しい一面の発見を行うことができれば相手へのネガティブな感情すらポジティブに変えることができると考えたことが背景である。

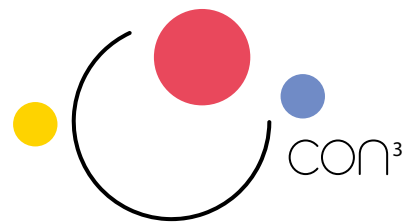


図 7: ブランドロゴマーク

3.3 プロダクトデザイン

サービスデザインを行う中で、それを提供する際には直接的に使用する物体の活用は不可欠であると判断した。ブランドデザインコンセプトで示した通り、「本当の感情」を自らが気づき、明確化することができる物の象徴として、鏡、或いは反射体を採用することとした（図 8）。

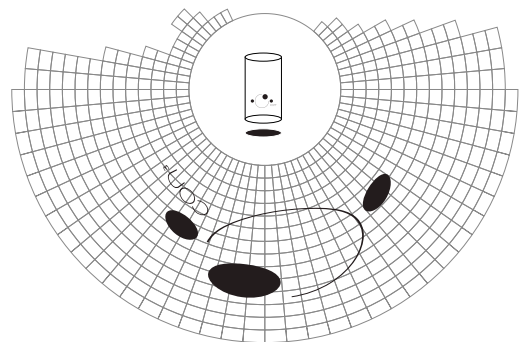


図 8: 鏡、或いは反射体のイメージ

3.4 サービスデザインのネーミング

孤独に焦点を当ててきた性質から考察し、孤独は本質的に一人で心の状態を処理している点を指摘可能である。一方で、本プロジェクトで目指そうとする双方向性を求める上では、二人が状況的に存在することが条件となる（解離性同一性障害等の特殊心理状態を除く）。このことから、本サービスのネーミングを「ふたりごと」とした。

3.5 サービスデザインの使用シーンの策定

これまで3章で述べた流れを前提とし、トータルでのサービスデザインの具体化を行うため、より活用が効果的だと考えられる利用シーンを定めた。以下にその内容を記述する。

(1) 1対1で、既に出来上がったコミュニティの空間に新しく入って来た人がある状況例（図9）。

→転校生が入ったばかりのクラス。朝の始業前、放課後の教室など。

<前提条件>

二人の通う中学校は、休憩時間中や放課後の「ふたりごと」利用を奨励している。

登場人物A：親の転勤に伴い北海道から大阪の中学校へ、中3の2学期に転校して来た女子。

登場人物B：生まれ育った大阪を出たことがなく、地元の中学校に通う中3女子。

使用状況：AさんとBさんはクラスメイトになった。Bさんは高校受験を控えた時期なので部活を親から禁止されているが、まっすぐ帰宅するのもつまらないので放課後の教室で時間潰したい。Aさんは中学生生活残り少ない時期の転校で積極的に友人を作るつもりは無いが、ホントは一人くらい仲良くなれたらいいなと思いながら教室で本を読んでいる。



図9: 1対1で、既に出来上がったコミュニティの空間

(2) 1対1で、プライベート空間がオープンで隣接している状況例（図10）。

→飛行機や新幹線などによる長時間移動。

<前提条件>

二人とも空港のチェックインカウンターで「ふたりごと」利用OK席を指定した。

登場人物A：海外出張の働き盛りビジネスマン30代男性。

登場人物B：料理人を定年退職してできた時間で、海外修行時代の恩師に数十年ぶりに会いに行く初老男性。

使用状況：エコノミークラスで隣同士になった見ず知らずのAさんとBさん。最近トイレが近くなって来たことを自覚しているBさんは通路側、出張先の上空からの景色を楽しみにしているAさんは窓側の席をそれぞれ確保。国際線なので到着まで7～8時間はある。食事の合間に機内で提供されるアルコールでも飲みながら、隣の人とお互いに話をしていても良いとお互いに思っている。

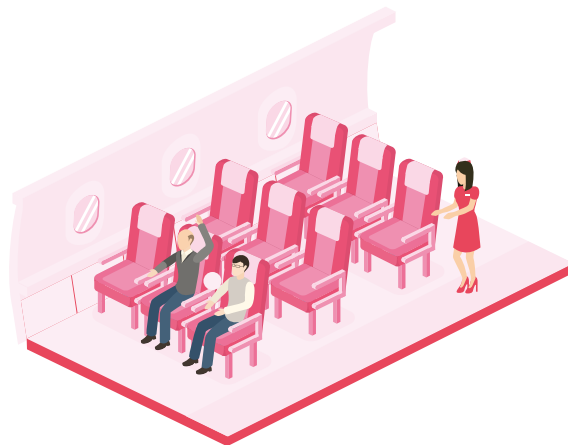


図10: 1対1で、プライベート空間がオープンで隣接している状況例

(3) 1対1で、プライベート空間が区切られて隣接している状況例（図11）。

→入院病棟の大部屋や間仕切りで区切られたオフィスなど。

<前提条件>

二人とも入院時に「ふたりごと」利用OKの大部屋を指定した。

登場人物A：フットサルサークルの夏合宿中に足を骨折し、病院に三日間だけ入院することになった大学生男子。普段は東京在住のシティボーイ。

登場人物B：慢性的な気管支喘息で長期入院中の小学生男子。病院のある地元で生まれ育った田舎っ子。

使用状況：ベッド 6 床の大部屋で隣同士になった見ず知らずの A さんと B さん。各ベッドの間はカーテンで仕切られ、隣の人の顔もよく分からない。看護師さんやお見舞いの人が訪れた際に声が聞こえるくらいだ。熱を計ったり食事をする時以外では、特にすることもなく手持ち無沙汰。隣の人はどんな人なのかなどお互いに気になっている。

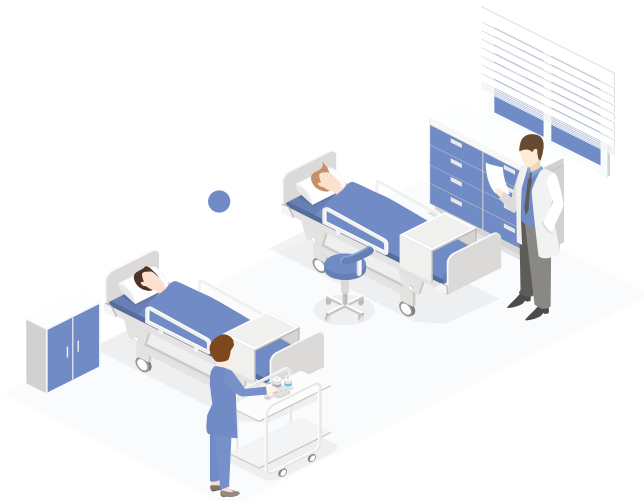


図 11: 1 対 1 で、プライベート空間が区切られて隣接している状況例

4 まとめ

現代の社会においては、3.5 で具体化したような仕掛けが、自分以外の人と接する際の、心の扉をノックすることにつながると考えた。そうするときとしないときの差は、図 5 を参照すればおよそ想像に難くないことと思う。

ただし、本プロジェクトは、サービスデザイン全体の完成を報告したものではないことも付言しておくはならない。世の中の在り方は技術や環境によって変化を続ける [4] ため、人が存在し続ける限り、人も環境要因から異なる影響を受け続ける。したがって、本サービスデザインには決して完成があるとは考えておらず、むしろ変わり続ける典型的な社会現象に対し、人の心の在り方と照らし合わせ、そのままが良いのか、その時に何を变えていかなくてはならないのか、こうしたところに問いを立て続ける役割を担いたいと願うものである。今回デザインしたプロダクトが象徴するように、これからも社会現象・状況を事実のままに反射させ、その時々によって柔軟な方法によって人々に気づきを与え、そこに変化が必要なのかもしれない、といった疑問を人が自発的に感じる仕掛けの存在こそが、結果として QOL 向上につなげられるものであると考えている (図 12,13)。



図 12: ブース全体



図 13: プロトタイプ

謝辞

本研究は、産業技術大学院大学 Project Based Learning として、チームメンバーの協力のもと実施した。メンバー各位に対し、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- [1]Forbes Japan, 歪んだテック社会の救世主、異色の経歴を持つ日本人女性
<https://forbesjapan.com/articles/detail/19651>
- [2]Business Insider Japan, 早期死亡リスクは 2 倍? 「孤独」をあなどってはいけない
<https://www.businessinsider.jp/post-100761>
- [3]the electome the laboratory for social machines at the MIT media lab
<https://www.media.mit.edu/articles/parallel-narratives-clinton-and-trump-supporters-really-don-t-listen-to-each-other-on-twitter/>
- [4] 山田斗志希, 上山輝, “メディア表現における「孤独」と「孤独感」に関する考察”, 人間発達科学部紀要第 11 巻第 2 号 :89-101(2017)

紀要編集委員会

編集委員長	越水重臣	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	瀬戸洋一	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 教授
	三好祐輔	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 教授
	細田貴明	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 准教授
	大崎理乃	産業技術大学院大学産業技術研究科 情報アーキテクチャ専攻 助教
	大久保友幸	産業技術大学院大学産業技術研究科 創造技術専攻 助教

2019年度 産業技術大学院大学紀要

2020年1月 発行

編集・発行 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/>
