

東京都立産業技術大学院大学

紀 要

Bulletin of
Advanced Institute of Industrial Technology

第 16 号

2023 年 1 月

東京都立産業技術大学院大学

目 次

論文

東京都区市町村の施策と東京都民の寄附金額との

関連性についての実証研究…………… 川原田 雪彦
三好 祐輔 1

Internet of Documents…………… 木下 修司 13

Lossless Compression based Audio Watermarking…………… Xuping Huang 17

PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス

～2022 年度の事例～…………… 中 鉢 欣 秀
天 野 暢 幸
網 干 悠 吾
斎 藤 光 太
澤 村 奈々子 23

Task Processing Scheduling in Federated Learning Systems…………… 張 晁 逢
Wuyunzhaola Borjigin 27

米の消費行動を例とした資源循環型生活様式の提案…………… 土 井 利 次
谷 口 秀 人
河 西 大 介
伊 藤 潤
越 水 重 臣 33

BlueSkype : a shared virtual 3D world for off-site

meetings in nature…………… Ryota Nakashima
Yuta Kanmuri
Hua Hong
Tatsuro Tomiyama
Atsuko Sasaki
Masahiro Tomisugi
Hiroaki Tobita 41

東川町におけるデザインワークショップの可能性…………… 中 島 修 47

サービスロボット向け伝統芸能の振りの体系化検討

ー連想モデルによる体系化手法の拡張の試みー…………… 成 田 雅 彦 53

アフリカにおける DX の潜在的ニーズと可能性 –ウガンダ共和国での女性支援事業の事例を元に……………		早坂麗子 伊藤潤	59
大学院教育におけるデジタルトランスフォーメーション に向けた新しい教育方法の試み……………		細田貴明 丸山博之 松尾徳朗	67
グローバル内生的近代化試論 –SDGs “No One Left Behind” の文明論的根拠……………		前田充浩	73
ポケモンカードゲームの非ランダムな設計過程……………		松井実	91
遠隔環境での PBL におけるチームワークの促進ための レゴ®シリアスプレイ®の活用事例……………		三好きよみ	103
事業特性とテレワーク移行との関係性に関する一考察……………		吉田敏 志度成子 Ying-Chang Yu	111
「ひみつ道具」の社会実装における課題の検討 –「タケコプター」を題材として……………		吉田多津雄 吉岡慎一 宮坂尚吾 水野二郎 槇岡浩二 河上芳朗 太田敬太 伊藤潤	117
総 説 Rust を用いたオペレーティングシステムの研究開発動向……………		追川修一	127
測位衛星放送災害避難情報の受信システム設計 ～防災行政無線子局の利用～……………		嶋津恵子	135
日本における創造性教育の必要性和今後の方向性……………		高嶋晋治	141
認知症予防のための楽器演奏……………		田部井賢一	149
医薬品研究開発で確立された薬物送達技術……………		牧野千里	155

研究速報

知的生産性およびチームワークを向上させる新しい働き方 ……………	浅 賀 潤 一 阿 部 健 太 岩 田 健太郎 宇田川 杜 和 越 知 淳 司 松 井 実 樹 村 越 英 樹 林 久 志	163
公共交通機関における子供の泣き声の不快感を 軽減させる不快音緩和システム……………	阿 部 晶 子 岩 瀬 一 彦 武 村 知 昭 張 桀 碩 大久保 友 幸 林 久 志	175
過疎地域住民の移動手段としての貨客混載デマンド交通システム ーグラフ理論と線形計画問題の活用ー……………	岩 瀬 一 彦 張 桀 碩 武 村 知 昭 阿 部 晶 子 大久保 友 幸 林 久 志	179
「パートナーロボット」のデザイン開発研究 ー動作に着目した形態構築の試みー……………	内 山 純 三 隅 義 範 石 田 大 樹 Xian Jiaqi 橋 本 智 行 近 藤 嘉 男	189
地域における起業の人的ネットワーク構築に関する考察 ーNEXT産業創造プログラム実施事例を通じてー……………	亀 井 省 吾 城 裕 昭 鈴木 宏 幸 板 倉 宏 昭	195
動画教材作成のためのスクリプト言語の試み ……………	小 山 裕 司	201
「脳検」と一般的な神経心理検査との相関と 認知症診療における既知と未知 ……………	佐 藤 正 之 阿 部 真貴子	207

情報セキュリティに関する要求と遵守意識の乖離について……………	角 田 和 樹 奥 原 雅 之	211
歩行姿勢を「見える化」するウェアラブル型デバイスの開発提案……………	堀 岡 勝 加 藤 明 彦 杉 本 拓 海 張 万 強 大久保 友 幸 村 越 英 樹	219

CONTENTS

Regular Papers

Empirical study on the relationship between the policies of the Tokyo Metropolitan Government and the amount of donations by Tokyo residents	Yukihiko Kawaharada Yusuke Miyoshi	1
Internet of Documents	Shuji Kinoshita	13
Lossless Compression based Audio Watermarking	Xuping Huang	17
Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2022	Yoshihide Chubachi Nobuyuki Amano Yugo Aboshi Kota Saito Nanako Sawamura	23
Task Processing Scheduling in Federated Learning Systems	Chaofeng Zhang Wuyunzhaola Borjigin	27
Proposals with the objective of transformation to a Circular Economic Lifestyle using rice consumption behavior as an example	Toshitsugu Doi Hideto Taniguchi Daisuke Kasai Jun Ito Shigeomi Koshimizu	33
BlueSkype : a shared virtual 3D world for off-site meetings in nature	Ryota Nakashima Yuta Kanmuri Hua Hong Tatsuro Tomiyama Atsuko Sasaki Masahiro Tomisugi Hiroaki Tobita	41
Possibility of Design Workshop in Higashikawa town	Osamu Nakajima	47
Systematization study of Japanese traditional performing arts choreography for service robots An Attempt to Extend the Systematization Method with Associative Models	Masahiko Narita	53

Latent Needs and Possibilities for DX in Africa -Based on a case study of a women's support project in the Republic of Uganda ······	Reiko Hayasaka Jun Ito	59
New Educational Methods for Digital Transformation in Graduate Education ······	Takaaki Hosoda Hiroyuki Maruyama Tokuro Matsuo	67
Towards a Global Endogenous Modernization Model ······	Mitsuhiro Maeda	73
Non-random design process of Pokémon TCG ······	Matsui Minoru	91
A Case Study of Using the LEGO® Serious Play® to Promote Teamwork in PBL in Interactive Distance Environment ····	Kiyomi Miyoshi	103
A Study on the Affinity between Business Characteristics and Telework ······	Satoshi Yoshida Shigeko Shido Ying-Chang Yu	111
Consideration of Issues in Social Implementation of Secret Gadgets - Case Study for the Hopter Gadget ······	Tatsuo Yoshida Shinichi Yoshioka Shogo Miyasaka Jiro Mizuno Koji Makioka Yoshiro Kawakami Keita Ota Jun Ito	117
Review Papers		
Trend of Operating System Development by the Rust Programming Language ······	Shuichi Oikawa	127
System design of receiver module for Emerging Warning Signal from Navigation Satellite system ······	Keiko Shimazu	135
The necessity and the direction of education of creativity in Japan ····	Shinji Takashima	141
Playing musical instruments for dementia prevention ······	Ken-ichi Tabei	149
Drug delivery technologies established in pharmaceutical research and development ······	Chisato Makino	155

Short Notes

New ways of working that improve intellectual productivity

and teamwork	Jun-ichi Asaka	
	Kenta Abe	
	Kentaro Iwata	
	Morikazu Udagawa	
	Junji Ochi	
	Minoru Matsui	
	Hideki Murakoshi	
	Hisashi Hayashi	163

A noise reduction system that mitigates the sound of crying children ..

Shoko Abe	
Kazuhiko Iwase	
Tomoaki Takemura	
Jieshuo Zhang	
Tomoyuki Ohkubo	
Hisashi Hayashi	175

An on-demand transportation system for cargo
and passengers for residents in depopulated areas

- Utilization of graph theory and linear programming	Kazuhiko Iwase	
	Jieshuo Zhang	
	Tomoaki Takemura	
	Shoko Abe	
	Tomoyuki Ohkubo	
	Hisashi Hayashi	179

Design Development of “Partner Robot”

—An attempt to construct a shape focusing on motion—.....	Jun Uchiyama	
	Yoshinori Misumi	
	Daiki Ishida	
	Xian Jiaqi	
	Tomoyuki Hashimoto	
	Yoshio Kondo	189

Consideration of building human networks for entrepreneurship in the region

- Through the Practical Case

of the NEXT Industry Creation Program	Shogo Kamei	
	Hiroaki Jou	
	Hiroyuki Suzuki	
	Hiroaki Itakura	195

An Approach to a Scripting Language

for Video Educational Materials	Hiroshi Koyama	201
---------------------------------------	----------------	-----

Correlation between the Brain Assessment [®] and general neuropsychological tests • and known and unknown things in music therapy to dementia ······	Masayuki Satoh Makiko Abe	207
Discrepancy between Information Security Requirements and Compliance Awareness·····	Kazuki Tsunoda Masayuki Okuhara	211
Proposal for development of wearable devices that visualize walking posture·····	Masaru Horioka Akihiko Kato Takumi Sugimoto Wanqiang Zhang Tomoyuki Ohkubo Hideki Murakoshi	219

東京都区市町村の施策と 東京都民の寄附金額との関連性についての実証研究

川原田雪彦*・三好祐輔*

Empirical study on the relationship between the policies of the Tokyo Metropolitan Government's wards, cities, towns, and villages and the amount of donations from Tokyo residents

Yukihiko Kawaharada* and Yusuke Miyoshi*

Abstract

Based on publicly available data on donations to the Tokyo Metropolitan Government's Furusato taxation system for fiscal years 2017-2021, we show that it is statistically possible to halt a certain amount of revenue decline in Tokyo's municipalities by making their policies more attractive to residents. Tokyo Metropolitan residents are more likely to promote donation behavior as they get older and/or to areas that provide administrative services with clear objectives. In particular, we show that Tokyo residents in the Musashino Plateau area tend to donate to areas that provide administrative services for urban disaster prevention.

Keywords: Tokyo's municipalities, Tokyo residents, Donation

1 はじめに

東京都は、関東南西部にあって東西に細長い都域を有し、区部(特別区23区)、多摩地域(26市と西多摩郡3町1村)および島嶼部(2町7村)からなり、人口は約1400万人(注1)という巨大都市である。日本で唯一人口が増加している巨大都市であり、また本社を東京に置く企業が多いため、法人税としての税収は十分期待できる。そのため、他の自治体に比べ財政状況は厳しくないと思われるかもしれない。しかし、地方税に地方交付税等を合わせた人口一人当たりの収入を比較すると、東京はほぼ全国平均であり、他の道府県と比較して東京の収入が突出している訳ではない[5]。寄附行為の一種である「ふるさと納税」(特例控除)は、都道府県、市区町村への「寄附」であり、原則として自己負担額の2,000円を除いた全額が所得税及び住民税から控除される制度である[1]。

自らが居住する自治体へのふるさと納税は元々可能であり、返礼品は受け取れないものの、税控除は他の自治体への寄附と同様である。つまり、「ふるさと納税」とは、自分が負

担する一部の所得税および住民税の一部の納付先を、居住する自治体ではなく、任意の自治体に変更できる制度である[12]。しかし、寄附先は、日本全国のいずれの自治体でも可能であり、寄附を受けた自治体は地元の特産物を返礼品に贈ることが多い。このため、この返礼品目当てに寄附をする都民が増加し、今後東京都市区町村は税収減に悩まされる可能性も十分考えられる(注2)。特に、東京都などの地方交付税の不交付団体[13]においては、減収となっても地方交付税による補填はないため、行政サービスの低下が懸念される[3]。

一方、返礼品などの見返りを期待しなくても「新型コロナウイルス禍で苦しむ地元の支援に使う」との地元自治体の方針に賛同した住民からの寄附増加により、減収に一定の歯止めがかかるケースが報告されている。東京都三鷹市の「三鷹の森ジブリ美術館」は新型コロナウイルスによる入館者急減で大幅赤字となったが、寄附の募集を始めたところ、わずか1日で目標の1千万円を突破したことは記憶に新しい[14]。また、世田谷区の「新型コロナウイルスをともに乗り越える寄

Received on October 2, 2022

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

付金」のような「コロナ対策」が共感を呼んでいる[15]. 一方、オリンピック会場の後の施設をどのように有効活用すればいいか、運営・維持の問題を東京都は抱えている[16].

したがって、自治体のどのような政策が都民に支持され、都民の寄附行動に繋がるのかを分析することができれば、都民の意に沿うよう政策をするにはどのような行政サービスを実施すればよいのか、都の政策方針を予想することができる. たとえば、防災・減災のための施策に必要な財源を確保するため、平成26年度から10年間にわたり市民税・都民税の均等割税率の引き上げが実施されたが、こうした政策が住民から支持が得られているかについてもわかる. しかしこれまで、東京都民の寄附行動について研究をしている先行研

究は見当たらない[19-43].

そこで、本研究では、東京都区市町村が住民にとって魅力的な施策を打ち出すことにより、東京都市区町村の減収に一定の歯止めをかけることが本当に可能なのかを検証を試みた. 具体的には、東京都の気象特性、災害特性及び地理的特性を鑑み(図1参照)、東京都を23区西部と多摩北部からなる武蔵野台地に存する地域(以下、「武蔵野台地地区」と表記)とこれ以外の地域に二分して(注3)、過去5年間(2017年度~2021年度)における東京都市区町村の施策と東京都民の寄附金額との関連性について定量的な検討を行うことにした.



図1: 東京都の二次細分区域([18]より引用)

2 仮説及び分析結果と考察

本研究では、総務省ふるさと納税ポータルサイト等で公表しているデータを(注4)、分析用ソフトとしてはSTATA Ver.17(STATA Corp.)をそれぞれ用いた. 本研究で用いる変数を表1に、記述統計量を表2(東京都全体)および表3(武蔵野台地地区)に、分析結果を表4(東京都全体)~表6(武蔵野台地地区)に示した. 表2および表3に示したように、分析に用いた非ダミー変数の vif (Variance Inflation

Factor) は、いずれも7未満であり、多重共線性の疑いは少ないといえる.

表1: STATA変数一覧

STATA 変数名	STATA 変数ラベル
log_con_ded(従属変数)	ふるさと納税に係る寄附金税額控除額 ¹⁾ の常用対数
f_power	財政力指数[10]
ord_bal_r	経常収支比率[10]
real_debt	実質公債費比率[10]
pop_density	人口密度(単位:千人/km ²)
POP_yield_rate	人口歩留まり率(%)=(人口 - 転入人口 - 転出人口)÷人口
PBC_weighted_ave	加重平均年齢 = \sum (年齢階級代表値 ²⁾ × 階級人口) / 人口
dum_PR_1	ダミー変数<受入額実績の公表(有/無=1/0)>
dum_PR_2	ダミー変数<活用状況(事業内容等)の公表(有/無=1/0)>
dum_PR_3	ダミー変数<寄附者に対する状況報告(有/無=1/0)>
dum_sel_purpose	ダミー変数<寄附金使用目的の選択可否(可/否=1/0)>
dum_purpose_01	ダミー変数<寄附金使用目的①まちづくり・市民活動(該/否=1/0)>
dum_purpose_02	ダミー変数<寄附金使用目的②スポーツ・文化振興(該/否=1/0)>
dum_purpose_03	ダミー変数<寄附金使用目的③健康・医療・福祉(該/否=1/0)>
dum_purpose_04	ダミー変数<寄附金使用目的④環境・衛生(該/否=1/0)>
dum_purpose_05	ダミー変数<寄附金使用目的⑤教育・人づくり(該/否=1/0)>
dum_purpose_06	ダミー変数<寄附金使用目的⑥子ども・子育て(該/否=1/0)>
dum_purpose_07	ダミー変数<寄附金使用目的⑦地域・産業振興(該/否=1/0)>
dum_purpose_08	ダミー変数<寄附金使用目的⑧観光・交流・定住促進(該/否=1/0)>
dum_purpose_09	ダミー変数<寄附金使用目的⑨安心・安全・防災(該/否=1/0)>
dum_purpose_10	ダミー変数<寄附金使用目的⑩災害支援・復興(該/否=1/0)>
dum_purpose_11	ダミー変数<寄附金使用目的⑪その他(該/否=1/0)>
dum_M_P_01	dum_purpose_01 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_02	dum_purpose_02 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_03	dum_purpose_03 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_04	dum_purpose_04 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_05	dum_purpose_05 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_06	dum_purpose_06 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_07	dum_purpose_07 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_08	dum_purpose_08 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_09	dum_purpose_09 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_10	dum_purpose_10 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>
dum_M_P_11	dum_purpose_11 × ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>

1) ふるさと納税に係る寄附金税額控除額=市町村民税の控除額+都道府県民税の控除額(単位:円)

2) 階級年齢代表値は0~4歳→2歳, ..., 95~99 歳→97歳, 100歳以上→102歳.

表2: 記述統計量(東京都全体 N=315)

	平均値	標準 偏差	最大値	最小値	歪度	尖度	VIF
log_con_ded	19.414	2.690	23.038	8.905	-1.242	3.870	2.06
f_power	0.677	0.495	2	0	-0.435	1.963	2.13
ord_bal_r	86.223	8.462	112	55	-0.050	3.168	2.65
real_debt	0.487	4.030	13	-6	0.807	3.607	3.06
pop_density	9.352	6.793	22.327	0.0148	0.103	1.847	2.05
POP_Yield_rate	83.823	5.729	91.375	60.606	-1.300	4.935	2.12
PBC_weighted_ave	45.531	3.484	60.136	39.447	2.093	8.371	2.06
dum_PR_1	0.743	0.438	1	0	-1.111	2.235	
dum_PR_2	0.511	0.501	1	0	-0.044	1.002	
dum_PR_3	0.244	0.430	1	0	1.189	2.414	
dum_sel_purpose	0.889	0.315	1	0	-2.475	7.125	
dum_purpose_01	0.746	0.436	1	0	-1.130	2.278	
dum_purpose_02	0.765	0.425	1	0	-1.251	2.564	
dum_purpose_03	0.854	0.354	1	0	-2.005	5.019	
dum_purpose_04	0.787	0.410	1	0	-1.404	2.972	
dum_purpose_05	0.784	0.412	1	0	-1.381	2.908	
dum_purpose_06	0.829	0.377	1	0	-1.744	4.040	
dum_purpose_07	0.746	0.436	1	0	-1.130	2.278	
dum_purpose_08	0.695	0.461	1	0	-0.848	1.720	
dum_purpose_09	0.692	0.462	1	0	-0.832	1.692	
dum_purpose_10	0.657	0.475	1	0	-0.662	1.438	
dum_purpose_11	0.784	0.412	1	0	-1.381	2.908	
dum_M_P_01	0.406	0.492	1	0	0.381	1.145	
dum_M_P_02	0.419	0.494	1	0	0.328	1.108	
dum_M_P_03	0.467	0.500	1	0	0.134	1.018	
dum_M_P_04	0.435	0.497	1	0	0.263	1.069	
dum_M_P_05	0.419	0.494	1	0	0.328	1.108	
dum_M_P_06	0.457	0.499	1	0	0.172	1.030	
dum_M_P_07	0.394	0.489	1	0	0.435	1.190	
dum_M_P_08	0.365	0.482	1	0	0.560	1.314	
dum_M_P_09	0.368	0.483	1	0	0.546	1.298	
dum_M_P_10	0.356	0.479	1	0	0.604	1.364	
dum_M_P_11	0.457	0.499	1	0	0.172	1.030	

被説明変数について地域別にみると、武蔵野台地地区とそれ以外では、武蔵野台地地区の住民は寄附金額が大きく、それが寄附金控除の額に有意な差として現れている。このことは、武蔵野台地地区の住民とそれ以外では、寄附行動が異なっていることを伺わせる結果である。ただし、居所の違い（武蔵野台地地区に住む人か否か）によって寄附行動が変わるといふ仮定を置くのは制約条件として厳しい、むしろ、世代間に異なる社会的背景があるとか、地域の首長の取る政策に対し、住民の賛同があるかどうかによって、住民の寄附行動を説明するほうがより自然であろう。

そこで、以下では都民というひとくくりで説明できるものと地域の特性から説明できるものの両方の側面から考察してゆく。この基本統計量を元に我々は、以下の仮説を検証することにした。

仮説 1: 都民は、年齢が高くなるほど、居所の地域に寄附行動をする。

仮説 2: ヨソモノが入り、愛着を持たない人が増加する地域には、都民は寄附行動をしない。

仮説 3: 都民は、明確な目的をもって行政サービスを行う地域に寄附行動をする。

仮説 3-1: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、スポーツに対する行政サービスを行う地域に寄附行動をしない。

仮説 3-2: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の防災に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をする。

仮説 3-3: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の健康・医療に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をしない。

仮説 3-4: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の観光・交流・定住促進に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をする。

表3: 記述統計量(武蔵野台地区 N=170)

	平均値	標準 偏差	最大値	最小値	歪度	尖度	VIF
log_con_ded	20.784	1.160	23.038	17.840	-0.335	2.289	1.43
f_power	0.906	0.365	2	0	-1.162	6.455	3.08
ord_bal_r	85.735	7.682	100	68	-0.316	2.101	2.33
real_debt	-1.065	2.814	5	-6	0.194	1.944	2.7
pop_density	12.781	4.635	22.327	4.707	0.181	2.099	4.39
POP_Yield_rate	83.068	4.947	90.396	70.196	-0.746	2.747	3.32
PBC_weighted_ave	44.266	1.287	47.459	41.312	0.052	3.029	1.43
dum_PR_1	0.794	0.406	1	0	-1.455	3.116	
dum_PR_2	0.612	0.489	1	0	-0.459	1.210	
dum_PR_3	0.329	0.471	1	0	0.726	1.527	
dum_sel_purpose	0.918	0.276	1	0	-3.039	10.233	
dum_purpose_01	0.753	0.433	1	0	-1.173	2.376	
dum_purpose_02	0.776	0.418	1	0	-1.327	2.762	
dum_purpose_03	0.865	0.343	1	0	-2.133	5.548	
dum_purpose_04	0.806	0.397	1	0	-1.547	3.392	
dum_purpose_05	0.776	0.418	1	0	-1.327	2.762	
dum_purpose_06	0.847	0.361	1	0	-1.928	4.719	
dum_purpose_07	0.729	0.446	1	0	-1.033	2.067	
dum_purpose_08	0.676	0.469	1	0	-0.754	1.569	
dum_purpose_09	0.682	0.467	1	0	-0.783	1.614	
dum_purpose_10	0.659	0.476	1	0	-0.670	1.449	
dum_purpose_11	0.847	0.361	1	0	-1.928	4.719	

以下、分析結果について見ていく。「ふるさと納税に係る寄附金税額控除額」(変数名: log_con_ded)にかかる定量分析結果を表3～表5に示した。表3および表4は「東京都全体」、表5は「武蔵野台地地区」を分析対象とした。固定効果は、a)年次とb)個体(地方自治体)の最大2次元まで検討した。表3および表4の(1)および(5)がプーリングモデル、(2)および(6)が年次固定効果の一次元モデル、(3)および(7)が個体固定効果の一次元モデル、(4)および(8)が年次&個体固定効果の二次元モデルである。

表4(東京都全体)における非ダミー変数において、プーリングモデル(表4・(1))で統計的有意な正の係数、すなわち減収促進を示したのは、「財政力指数」(変数名: f_power)、「人口密度」(変数名: pop_density)、および「人口歩留まり率(%)」(変数名: POP_yield_rate)であり、統計的有意な負の係数、すなわち減収抑制を示したのは「経常収支比率」(変数名: ord_bal_r)および「加重平均年齢」(変数名: PBC_weighted_average)である。「経常収支比率」の係数は-0.048と小さいことから、影響は軽微と解される。全体の

推定結果から、年齢層が高くなるに従い、現在の居住地に対する寄附行動を取る都民が多いことがわかる。よって、都民の住居環境に対する整備を積極的に行う自治体であれば、進んで寄附する(納税を拒まない)傾向にあると推測できる(仮説1採択)。

表4: 定量分析結果(1: 東京都全体)

Model	(1)	(2)	(3)	(4)
year_fe	NO	YES	No	YES
id_fe	NO	NO	Yes	Yes
R-squared	0.843	-	0.671	0.83
R-squared for overall model	-	0.713	0.486	0.397
Number of observations	307	307	307	307
f_power	1.492***	0.378	-0.047	-0.097
ord_bal_r	-0.048**	0.008	0.018	0.008
real_debt	-0.013	0.028	0.031	0.036
pop_density	0.274***	0.293***	0.809***	-0.132
POP_Yield_rate	0.150***	0.017	-0.035	-0.021
PBC_weighted_average	-0.143**	-0.047	0.549***	-0.076
dum_PR_1	-0.111	-0.046	0.099	-0.068
dum_PR_2	0.482**	0.02	0.017	0.029
dum_PR_3	-0.17	0.003	0.023	-0.021
dum_sel_purpose	0.817	-0.009	0.008	0.045
dum_purpose_01	-0.003	0.239	0.182	0.129
dum_purpose_02	1.180**	-0.157	-0.438***	-0.186
dum_purpose_03	0.455	-0.299**	-0.242	-0.222*
dum_purpose_04	0.28	0.055	-0.081	-0.012
dum_purpose_05	-0.301	-0.012	0.049	0.004
dum_purpose_06	-0.47	-0.049	-0.132	-0.09
dum_purpose_07	-0.226	0.033	0.117	0.026
dum_purpose_08	-0.105	-0.297***	-0.293*	-0.210**
dum_purpose_09	-0.954	-0.225	0.136	0.084
dum_purpose_10	0.115	0.259	0.041	0.096
dum_purpose_11	-0.648*	0.118	0.121	0.166
dum_T_P_01	-0.112	-0.317	-0.282	-0.147
dum_T_P_02	-0.553	0.15	0.381**	0.183
dum_T_P_03	-0.683	0.378***	0.350**	0.274**
dum_T_P_04	-0.810*	-0.014	0.068	0.041
dum_T_P_05	0.676	0.07	-0.091	0.002
dum_T_P_06	0.008	0.013	0.116	0.039
dum_T_P_07	0.196	-0.059	-0.167	-0.08
dum_T_P_08	-0.403	0.295***	0.246	0.221***
dum_T_P_09	1.142	0.286	0.031	-0.006
dum_T_P_10	-0.023	-0.206	-0.049	-0.044
dum_T_P_11	0.695*	-0.059	-0.083	-0.109

Robust t-statistics in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.03, * p<0.05

表5: 寄附金使用目的にかかる施策の影響

Model	(1)	(2)	(3)	(4)
year_fe	NO	YES	No	YES
id_fe	NO	NO	Yes	Yes
dum_purpose_01 + dum_T_P_01	0	0	0	0
dum_purpose_02 + dum_T_P_02	-1.180	0	-0.057	0
dum_purpose_03 + dum_T_P_03	0	0.079	0.350	-0.222
dum_purpose_04 + dum_T_P_04	-0.810	0	0	0
dum_purpose_05 + dum_T_P_05	0	0	0	0
dum_purpose_06 + dum_T_P_06	0	0	0	0
dum_purpose_07 + dum_T_P_07	0	0	0	0
dum_purpose_08 + dum_T_P_08	0	-0.002	-0.293	0.011
dum_purpose_09 + dum_T_P_09	0	0	0	0
dum_purpose_10 + dum_T_P_10	0	0	0	0
dum_purpose_11 + dum_T_P_11	0.047	0	0	0

表6: 定量分析結果(2:武蔵野台地地区のみ)

Model	(5)	(6)	(7)	(8)
year_fe	NO	YES	No	YES
id_fe	NO	NO	Yes	Yes
R-squared	0.814	-	0.873	0.977
R-squared for overall model	-	0.583	0.372	0.172
Number of observations	170	170	170	170
f_power	0.024	-0.015	0.132***	-0.012
ord_bal_r	-0.065***	-0.002	0.021***	-0.000
real_debt	-0.091**	-0.008	-0.032	-0.003
pop_density	0.083***	0.116***	0.808***	0.010
POP_Yield_rate	0.040	-0.054***	-0.092**	-0.027
PBC_weighted_average	-0.286***	0.071	0.806***	0.071
dum_PR_1	-0.050	-0.030	-0.012	-0.025
dum_PR_2	0.018	0.044*	0.089**	0.048***
dum_PR_3	-0.172	-0.060	-0.082	-0.054
dum_sel_purpose	0.283	0.026	0.064	0.049**
dum_purpose_01	-0.266	-0.017	-0.072	-0.003
dum_purpose_02	0.328*	-0.004	0.003	-0.011
dum_purpose_03	-0.092	0.037	0.074	0.042
dum_purpose_04	-0.290**	-0.011	-0.057	-0.005
dum_purpose_05	0.186	0.001	-0.106***	-0.011
dum_purpose_06	0.044	-0.023	-0.035	-0.034*
dum_purpose_07	0.070	-0.010	0.003	-0.025
dum_purpose_08	-0.395***	-0.037	-0.082	-0.034
dum_purpose_09	-0.233	0.035	0.251***	0.040
dum_purpose_10	-0.036	-0.059**	0.002	-0.042
dum_purpose_11	-0.046	0.006	0.048	0.013

Robust t-statistics in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.03, * p<0.05

一方、人口歩留まり率が減収を促進していることは我々の予想に反する意外な結果であった(仮説 2 非採択)。人口歩留まり率が高いということは、その土地からよそ者とジモティという対立軸を考えた場合、ジモティの割合が多いと歩留まり率が高く、よそ者が多いと歩留まり率が低いはずである。これまでの経営学的アプローチによると、住み慣れた土地に愛着がある場合、他の自治体にふるさと納税をしないと予想できる。しかし、推定結果をみると、ジモティの割合が多いと(今いる環境が当たり前だと思い)寄附をしないのだが、よそ者が入ることにより今の居住地の良さを再確認できることで、寄附するようになっているのかもしれない。

次にパネル分析による、2次元で捉えた分析結果について考察してゆく。パネル分析では、検定の結果、固定効果が採択されたので、以下固定効果の結果について述べてゆく。先ほどの一次元で捉えたクロスセクションの分析にさらに固定効果という次元を加味すると様相が異なる。年次固定効果モデル(表 4-2)では「人口密度」が、個体固定効果モデル(表 4-3)では「人口密度」および「加重平均年齢」が減

収促進を示すものの、減収抑制を示す非ダミー変数はなかった。年次&個体固定効果モデル(表 4-(4))では、減収促進あるいは減収抑制を示す非ダミー変数はなかった。

更に、表 4(東京都全体)におけるダミー変数を見てみると、「活用状況(事業内容等)の公表」(変数名:dum_PR_2)がプーリングモデル(表 4-(1))のみ減収促進を示している。全体傾向としては「活用状況(事業内容等)の公表」は、都民が他の自治体への寄附を促進していることを示すものの、個体(地方自治体)あるいは年次の影響を除外すると、統計的に有意な効果は確認できないという予想外の結果になった。後述の表6(武蔵野台地地区)では、プーリングモデル(表 6-(1))以外の固定効果モデル(表 6-(2)~(4))において軽微ながらも、統計的に有意な減収促進効果を示していることは対照的である。また、寄附金使用目的①~⑩にかかるダミー変数については、寄附金使用目的①~⑩それぞれ統計的に有意な係数のみの和を基準として検討した。例えば、「寄附金使用目的①まちづくり・市民活動」の影響を検討する場合、「ダミー変数<寄附金使用目的①まちづくり・市民活動

(該/否=1/0)>」および「ダミー変数<寄附金使用目的①(該/否=1/0)>×ダミー変数<武蔵野台地地区(該/否=1/0)>」にかかる統計的有意な係数値の和を判断基準とした(表5参照)。

さらに、表5-モデル(1)から、「武蔵野台地地区」においては、寄附金使用目的「②スポーツ・文化振興」および「④環境・衛生」を掲げている地方自治体は他の地域よりも減収抑制され、「⑩その他」を掲げている地方自治体では逆に減収促進になっている(仮説3採択)。1次元固定効果モデル(年次固定効果モデル(表5-モデル(2))あるいは個体固定効果モデル(表5-モデル(3))では「③健康・医療・福祉」が減収促進、「⑧観光・交流・定住促進」が減収抑制を示している。ところが、年次&個体の2次元固定効果モデル(表5-モデル(4))では「③健康・医療・福祉」が減収抑制、「⑧観光・交流・定住促進」ではわずかながら減収促進となり、変数係数の符号が逆転している。

1次元配置ランダム効果推定法や1次元配置固定効果推定法のそれぞれに、年毎に生じた共通のショックの効果を排除するために時間ダミーを導入することが、2次元配置固定効果推定法と2次元配置ランダム効果推定法と呼ばれるものである。このことから、1次元固定効果モデルよりは、年次&個体の2次元固定効果モデルのほうが、年次による効果を排除したものであり、時代を通して普遍的な性質を抽出したものであるといえるかもしれない。

よって、対象期間中に生じた経済全体に影響を与えた景気循環や構造変化などの年次影響を除くと、特に「武蔵野台地地区」においては、「③健康・医療・福祉」にかかる施策を打ち出すことは減収になると解される(仮説3-3採択)。つまり、昨今のコロナ対策に対する都知事の積極的な行政サービスを都民は望んでいるものと解釈することができる。また、「⑧観光・交流・定住促進」にかかる施策推進は弱いながら減収促進につながると解される(仮説3-4採択)。これは、よそ者とジモティとの交流等が深まるにつれてお互いの存在が内在化されて、よそ者とジモティそれぞれが「⑧観光・交流・定住促進」の主役となって地域への愛着が強化されたため、寄附が増加したと解釈できる。

一方、表6(武蔵野台地地区)では、プーリングモデル(表6-5))において、「人口密度」と寄附金使用目的「②スポーツ・文化振興」が減収促進、「経常収支比率」、「実質公債費

比率」(変数名:real_debt)、「加重平均年齢」、寄附金使用目的「④環境・衛生」および「⑧観光・交流・定住促進」が減収抑制を示した。武蔵野台地地区は、スポーツに力を注ぐような政策をする自治体には、寄附をしない傾向にある(仮説3-1採択)。たとえば、「②スポーツ・文化振興」が減収促進になっているのは、東京五輪競技会場の恒久施設として建設した施設の維持費が将来東京都の財政負担になることを、東京都民が好んでいないことを示し、都民の見解が寄附行動に繋がっているとみることができる。

年次固定効果モデル(表6-6))では「人口密度」および「活用状況(事業内容等)の公表」が減収促進を示したものの、後者の影響は軽微である。「人口歩留まり率(%)」および寄附金使用目的「⑩災害支援・復興」(変数名:dum_purpose_10)が減収抑制を示した(仮説3-2採択)。個体固定効果モデル(表6-7))では、減収促進を示したのは「人口密度」、「財政力指数」、「経常収支比率」、「加重平均年齢」「活用状況(事業内容等)の公表」および寄附金使用目的「⑨安心・安全・防災」であるが、「経常収支比率」の影響は軽微であり、寄附金使用目的「⑤教育・人づくり」は明確な減収抑制を示した。年次&個体の2次元固定効果を考慮した表6-モデル(8)では、「活用状況(事業内容等)の公表」が減収促進を、「寄附金使用目的の選択可否」(変数名:dum_sel_purpose)が減収抑制を、寄附金使用目的「⑥子ども・子育て」が減収抑制を示しているが、いずれも影響は軽微と解される。

このように、マクロ視点では、「財政力指数」、「人口密度」および「人口歩留まり率(%)」が高いほど地元自治体の減収は促進され、「経常収支比率」や「加重平均年齢」が高いほど地元自治体の減収が抑制される傾向が示されるものの、東京都下の各地方自治体別に観察すると、「財政力指数」「人口歩留まり率(%)」の影響は軽微であり、「人口密度」や「高い平均年齢」が減収促進の主要因子であることがわかる。

都市化・核家族化の象徴化された街でもある「武蔵野台地地区」に限定すると、この傾向はより強調されている。すなわち、マクロ視点では「高い平均年齢」が明らかな減収抑制を示すものの、各地方自治体別に考えるならば、「財政力指数」「人口密度」が減収促進の主要因子であり、「人口歩留まり率(%)」がやや弱いながらも減収抑制につながっていると解される。

以上から、地域住民の人生経験が豊富になるにつれて、自身の経験に照らして各地方自治体の寄附金の使施を吟味した上で、住民自身がその使途に賛同できた地方自治体を選択して寄附を行ったと解される。よって、東京都区市町村が住民にとって魅力的な施策を打ち出すことにより、東京都市区町村の減収に一定の歯止めをかけることは可能と結論する。

3 まとめ

本研究では、東京都の 2017～2021 年度のふるさと納税にかかる寄附金に関する公開データに基づいて、東京都区市町村が住民にとって魅力的な施策を打ち出すことにより、東京都市区町村の減収に一定の歯止めをかけることの可否を検討した。具体的には、東京都を 23 区西部と多摩北部からなる武蔵野台地に存する地域(以下、「武蔵野台地地区」と表記)とこれ以外の地域に二分してから、以下の仮説を検討し、一定の結論を得た。

仮説 1: 都民は、年齢が高くなるほど、居所の地域に寄附行動をする。(採択)

仮説 2: ヨソモノが入り、愛着を持たない人が増加する地域には、都民は寄附行動をしない。(非採択)

仮説 3: 都民は、明確な目的をもって行政サービスを行う地域に寄附行動をする(採択)。

仮説 3-1: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、スポーツに対する行政サービスを行う地域に寄附行動をしない(採択)。

仮説 3-2: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の防災に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をする(採択)。

仮説 3-3: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の健康・医療に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をしない(採択)。

仮説 3-4: 武蔵野台地地区の都民は、それ以外の地区の住民よりも、都市の観光・交流・定住促進に対する行政サービスを行う地域に寄附行動をする(採択)。

このように、東京都民の人生経験が豊富になるにつれて、自身の経験に照らして各地方自治体の寄附金の使施を吟味した上で、都民自身がその使途に賛同できた地方自治体を選択して寄附を行ったことを示しており、上述の課題への

回答は「可能」と結論した。

今後の課題としては、第1に、東京都のみではなく全国規模での分析を行うことにより、「西日本と東日本の違い」「都道府県による違い」「都市階級」などの「地域特性」の影響を明確化すること、第2に、既に品川区等でスタートしている「使い道に共感しふるさと納税を利用して行うクラウドファンディング」(別名:ガバメントクラウドファンディング(登録商標))の影響を明確化すること、を挙げることができる。これらの明確化が地方創生の推進を加速するに貢献すると考えるからである。

[注]

注 1: 2022 年 5 月 1 日現在推計値[16]

注 2: 2018 年度税制改正により地方消費税の清算基準が見直され、1,000 億円を地方に移譲したことから東京都の歳入は減少した。また、2018 年の東京都の一般会計は、2,709 億円の黒字であったものの、ふるさと納税の金額は 2018 年度と比べ 645 億円減少している。

注 3: 「武蔵野台地地区」を抽出したのは、東京都下において地震や津波などによる自然被害に対するリスクが比較的低い「高台」に相当し、高度経済成長期における都市化・核家族化が急速に進んだ時勢を睨んで進行した私鉄の沿線開発と利潤追求による街づくりがなされた地区であるからである[17,18]。

注 4: 本研究で用いたデータの入手先は以下の通りである。

a) 総務省ふるさと納税 ポータルサイト[5]

- ・各自治体のふるさと納税受入額及び受入件数
- ・年度別「課税における住民税控除額の実績等」

b) 地方公共団体の主要財政指標一覧[6]

c) 住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調[7]

- ・【総計】市区町村別人口、人口動態及び世帯数
- ・【総計】市区町村別年齢階級別人口

d) 地方税に関する統計等[8]

e) 東京都市区町村の面積[9]

参考文献

- [1] 総務省 ふるさと納税ポータルサイト よくわかる！ふるさと納税
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/furusato/about/, (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [2] 総務省 ふるさと納税ポータルサイト ふるさと納税の理念
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/furusato/policy/, (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [3] 特別区長会「不合理な税制改正等に対する特別区の主張(令和3年度版)」
http://www.tokyo23city-kuchokai.jp/katsudo/pdf/shucho/r03_shucho.pdf?_rev=2, 2021. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [4] 総務省統計局 用語の説明
<https://www.stat.go.jp/data/zensho/1999/6.html>, 1999. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [5] 地方公共団体の主要財政指標一覧
https://www.soumu.go.jp/iken/shihyo_ichiran.html, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [6] 総務省 ふるさと納税ポータルサイト 関連資料
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/furusato/archive/, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [7] e-STAT 住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数調
<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00200241&tstat=00001039591>, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [8] 総務省 地方税に関する統計等
https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/czei_shiryo_ichiran.html, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [9] 令和4年全国都道府県市区町村別面積調(4月1日時点)
<http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/ba cknumber/GSI-menseki20220401.pdf>, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [10] 総務省 指標の説明
https://www.soumu.go.jp/main_content/000264701.pdf, 2013. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [11] ふるさと納税の返礼品に関する有識者の意見の概要 平成29年4月1日別添2
http://www.soumu.go.jp/main_content/000476920.pdf, 2017. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [12] 自治体への不満表明行動としての「ふるさと納税」の可能性
https://kurihara-office.com/181030furusato-tax-payment_2018. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [13] 令和3年度普通交付税の算定結果等
https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01zaisei04_02000115.html, 2021. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [14] 【ご支援ありがとうございました！】三鷹の森ジブリ美術館を応援してください！
<https://www.furusato-tax.jp/gcf/1287>, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [15] ふるさと納税に変化の兆し 都民「返礼品目当て」より「コロナ対策に」 世田谷区は寄附額最高に
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/121332>, 2022. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [16] 中村 祐司, “2020年東京五輪の新規競技施設の後利用をめぐる課題——市場性と社会性——”, 地域デザイン科学: 宇都宮大学地域デザイン科学部研究紀要, no.7, 21-34, 2020.
- [17] 都市域の地質地盤図「東京都区部」(説明書)
https://gbank.gsj.jp/urbangeol/data/explanatory/Tokyo/GSJ_DBS_URG_Explanatory_Tokyo_20210521.pdf, 2021. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [18] 東京都の二次細分区域,
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/saibun/tokyo.pdf>, 2016. (visited on 2022)(ウェブ参照)

- [19] 橋本恭之, 鈴木善充, “ふるさと納税制度の見直しの影響について”, 関西大学経済論集, vol.70, no.4, pp.557 - 571, 2021.
- [20] 高橋勇介, 要藤正任, 小嶋大造, “ふるさと納税は寄附か・ソーシャル・キャピタルの視点からの実証分析”, KIER Discussion Paper Series, no.1707, 2018.
- [21] 木村高宏, “ふるさと納税の計量的検討: 2019 年を例に”, 金沢法学, vol.64, no.1, pp.15-36, 2021.
- [22] 橋本恭之, “ふるさと納税制度と国・地方の財政”, 関西大学経済論集, vol.69, no.1, pp.1-23, 2019.
- [23] 末松智之, “ふるさと納税の返礼率競争の分析”, 財政経済理論論文集, pp.197-221, 2019.
- [24] 鈴木善充, “ふるさと納税返礼品規制の影響”, 生駒経済論叢, vol.17, no.1, pp.1-19, 2019.
- [25] 梶原晶, “ふるさと納税の受け入れに関わる自治体の対応”, 自助・共助・公助の政治学, pp. 97-111, 2019.
- [26] 段野聡子, “ふるさと納税制度の課題-寄附金控除制度からの一考察”, 安田女子大学紀要, vol.48, pp.257-266, 2020.
- [27] 岩永洋平, “顧客との持続的な関係を形成するリテンション施策の検討-ふるさと納税による地域商品の需要創造と「ふるさと意識」換気-”, 日本ダイレクトマーケティング学会学会誌『Direct Marketing Review』, vol.18, pp.17-42, 2019.
- [28] 石井至, “ふるさと納税に関する寄附金極大化とリスク”, 危険と管理, vol. 53, pp.129-147, 2022.
- [29] 伊藤敏安, “市町村のふるさと納税寄附金はどう使われたか?”, 修道法学, vol.43, no.1, pp.19-49, 2021.
- [30] 土屋仁美, “ふるさと納税における返礼品競争の要因と問題点”, 金沢星稜大学論集, vol.53, no.2, pp.29-39, 2020.
- [31] 橋本恭之, “所得再分配とふるさと納税”, 関西大学経済論集, vol.71, no.4, pp.385-401, 2022.
- [32] 江端杏奈, 吉田崇紘, 爲季和樹, 瀬谷創, 堤盛人, “ふるさと納税の探索的空間データ分析”, GIS-理論と応用, vol.29, no.1, pp.1-10, 2021.
- [33] 西村慶友, “ふるさと納税に関する実証分析”, 博士論文, <https://doi.org/10.18910/76616>, 2020. (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [34] 嶋田暁文, “「ふるさと納税」再考—その問題点と制度見直しを踏まえて—”, 地方自治ふくおか, vol.69, pp.95-111, 2019.
- [35] 武者加苗, “北海道内市町村におけるふるさと納税受入額の決定要因分析”, 札幌大学総合研究, vol.11, pp.49-57, 2019.
- [36] 藤井秀幸, 傅靖, 小林里佳子, “データ包絡分析法を用いたふるさと納税の戦略提案—K 市のふるさと納税への適用事例—”, 日本経営工学会論文誌, vol.71, no.4, pp.149-172, 2021.
- [37] 大平修司, 日高優一郎, 水越康介, “クラウドファンディングとしてのふるさと納税—寄附と寄附つき商品による理解—”, マーケティングジャーナル, vol.40, no.3, pp.19-30, 2021.
- [38] 伊藤敏安, “ふるさと納税寄附金の返礼割合は妥当か?”, 修道法学, vol.44, no.1, pp.19-49, 2022.
- [39] 岩永洋平, “ふるさと納税にふるさとへの思いはあるか: 利用者の意識調査による検証”, 地域活性研究, vol.10, pp.1-10, 2019.
- [40] 大井敏史, 山口健二, 大槻明, “ふるさと納税関係データ分析による地域間格差問題に係る考察”, 研究報告情報基礎とアクセス技術(IFAT), vol. 2019-IFAT-136, no.9, pp.1-4, 2019.
- [41] 須山聡, “ふるさと納税にみる所得再配分機能と地域振興”, 駒澤地理, no.56, pp.1-21, 2020.
- [42] 矢部拓也, 笠井明日香, 木下斉, “「ふるさと納税」は東京一極集中を是正し, 地方を活性化しているのか—都道府県・市町村収支データと財政力との関係から考える—”, 徳島大学社会科学研究所, vol.31, pp.17-70, 2017.
- [43] 三角政勝, “自己負担なき「寄附」の在り方が問われる「ふるさと納税」—寄附金税制を利用した自治体支援の現状と課題—”, 立法と調査, no.371, 59-73, 2015.

Internet of Documents

木下修司*

Internet of Documents

Shuji Kinoshita*

Abstract

The new concept "Internet of Documents (IoD)" and related issues are explained, and the future works are proposed.

Keywords: systems assurance, open systems dependability, frame of reference, agile development, type theory

1 はじめに

東京都の「令和3年度 大学研究者による事業提案制度」に、筆者の提案テーマ「東京都地域防災計画のIoD化による防災力向上」が採択され、今年4月から事業を推進している([1]および図1)。IoDとは筆者が提案する新しい概念「Internet of Documents」の略称である。この概念は、筆者が2018年度総務省異能vationプログラム「ジェネレーションアワード部門」に提案し、最終選考にノミネートされたものである[2]が、一般に公開された説明文書はない。本稿では、この概念およびそれに関する課題について説明し、今後を展望する。

2 文書作成にまつわる課題

2.1 文書だけでは何も動かない。しかし、文書がなければ細かい議論はできない

例えば、システム及びソフトウェア開発において現在主流となっている「アジャイル開発」(agile development)においては、その嚆矢となった「アジャイルソフトウェア開発宣言」[3]において、「包括的なドキュメントよりも動くソフトウェアを」と述べられている。この文には補足があり、「左記のことがらに価値があることを認めながらも、私たちは右記のことがらにより価値をおく」となっている。

この宣言文は、とすれば基本設計書、詳細設計書といった文書のみでソフトウェア開発プロジェクトが進行する方式に懸念を表し、最小限動くソフトウェアを早めにリリースすることの重要性を説いている。私の実感からも、それは事実であると思う一方、「ドキュメントは一切必要ない」といった誤った解釈をし、コミュニケーションに問題が発生するアジャイル開発プロジェクトも存在する。

すなわち、よりよいシステムを構築する議論のために、最

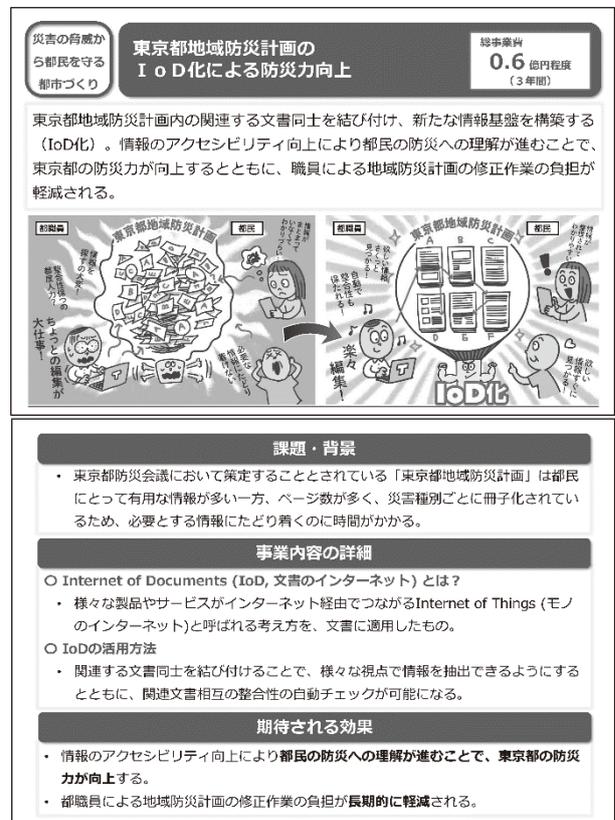


図1 東京都地域防災計画のIoD化による防災力向上
事業提案書類

(<https://www.zaimu.metro.tokyo.lg.jp/zaisei/teian/4daigaku/daigaku04.pdf> より)

低限のドキュメンテーションは必要だが、それがどのようなものかは明らかでないし、人間によるドキュメンテーションを支える要素技術も十分ではないと考えられる。

2.2 大規模な文書を長期間維持管理することの困難さ

筆者は以前より、大規模文書の管理に情報科学やソフトウェア工学の技術を応用する研究に取り組んでおり、特に自治

Received on October 2, 2022

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

体の防災業務を定めた「地域防災計画」と呼ばれる文書を事例として、神奈川県平塚市と共同研究を進めている。

地域防災計画は、災害対策基本法[4]によって日本の各自治体に策定が義務付けられている文書であり、各種災害（地震・台風・原子力災害など）に対応するための計画を記述するものである。このような文書はどの自治体でもかなりの分量になり、例えば平塚市地域防災計画[5]においては地震対策の本編だけでも250ページ以上、風水害対策や資料編まで含めると800ページ近くなる。東京都地域防災計画[6]であれば、地震対策（震災編）だけでも700ページ以上とその分量は膨大である。これらの文書の維持管理には以下のような問題が内在している。

- 修正の影響範囲の特定の困難。ある部分を修正する際に、その他どこを修正すればよいのかは目視（単純なキーワード検索による人間作業）で行うしかない。
- 必要な情報がどこにあるのかを探すのが困難。度重なる修正により、似たような情報でも別の章・節に散在していることがあるが、その全貌把握は難しい。
- 修正時の手作業の膨大さ。実際に編集する各部局に Microsoft Word 等のファイルを送付し、それを回収、マージ、競合発生時の解消など、すべて手作業

一方、一般のシステム及びソフトウェア開発に慣れている人間にとっては、「GitHub のようなバージョン管理システムがあればよいのでは？」「ソースコードのように型検査やユニットテストができればよいのでは？」といった発想も容易にできる。これらを含めドキュメントの維持管理を効率化する仕組みの総称が、次章で述べる Internet of Documents である。

3 Internet of Documents

3.1 ドキュメント≠データ

いわゆる IoT (Internet of Things) では、各種デバイスが通信し、相互にデータをやりとりする。これに着想を得たのが “Internet of Documents” (以下 IoD) である。2018 年の[2]における提案文書では以下のような提案をした。

1. ドキュメントそのものと、
2. ドキュメントの整合性(内部的整合性、他のドキュメントとの整合性)を自動検査するプログラム

を常にペアにして、ドキュメントの不整合は自動的に通知する仕組みを構築する。(ドキュメントがインターネット・イントラネット上で IoT センサーのように通信、相互にやりとりし、変なところは自動修正したり、不整合を指摘してくれたりする仕組みを作る)

現在、ドキュメントというものは基本的には「データ」と捉えられている。例えば IEEE SEVOCAB[7]の定義では、デー

タとは” representation of facts, concepts, or instructions in a manner suitable for communication, interpretation, or processing by humans or by automatic means” であり、何かしら人間や自動的な手段に「よって」処理されるものとされている。そうではなく、ドキュメント自体に “automatic means” を内在させることで、ドキュメント(の部分どうし)が自発的に相互の関連性や整合性をチェックするというのが、IoD の骨子である。

3.2 現実の実装方針

ドキュメントとプログラムを常にペアにする、という提案ではあるが、IoT のように「現実世界で離れた場所にある機器どうしが通信する」イメージを適用すると、以下のようなアーキテクチャになると考えている。

1. クラウド上に存在するサーバ上に、ある組織が所管するデータがデータベースとして一元管理されており、そのうえで各種チェック用の共通的なプログラムが動作する。
2. 外部の文書との整合性をチェックする場合は、別のサーバが用意する API を利用する

例えば日本国内の法律のデータであれば[4]のようにデジタル庁所管の e-Gov 法令検索があるため、これの提供する API を利用することで「法令改正時に、変更の必要があるかどうかを通知」といったことは技術的に可能である。

4 関連研究

4.1 Agda による形式アシュアランスケース

アシュアランスケースとは、システム開発におけるステークホルダの議論を記録し、セキュリティや安全性といった望ましい性質を確かに持つことを議論するための手法である。ISO/IEC/IEEE 15026-2[8]として国際標準化もされている。このアシュアランスケースも、当然論理的整合性が求められるものであり、依存型付き関数型言語であり定理証明支援系である Agda[9]を用いてアシュアランスケースを記述し、整合性検査を自動化する研究がなされている[10]。

Agda 言語の習熟は必ずしも容易ではなく、これを直接 IoD の整合性検査システムとして導入するのは難しいと考えているが、プログラミング言語に用意された仕組みを用いて整合性検査を実施することは、各種整合性検査プログラムを個別に実装する必要がないという優位性がある。

4.2 オープンシステムディペンダビリティと準拠枠

IoD 化された大規模文書は、IEC 62853[11]として国際標準化されたオープンシステムディペンダビリティ(開放系総合信頼性)達成に求められる準拠枠 (frame of reference) となる。

IEC62853 は、常に変化し、その全貌を完全に把握するこ

とはできないようなシステムの総合信頼性を達成するためのガイドラインである。達成の要件を「合意形成」「説明責任遂行」「変化対応」「障害対応」の4つに分けて定め、特に、合意形成には、全ての利害関係者が理解する「準拠枠」を求める。準拠枠は、「システム、その目的、目標、環境、実際のパフォーマンス、ライフサイクル並びにそれらの変化に関する共通理解及び明示的合意を記述した文書の構築、解釈及び利用のための規約の集まり」であり、語彙及び基本的仮定なども含む。

例えば IoD 化された地域防災計画は、防災業務の利害関係者の相互理解を促進する準拠枠の一部となるだろう。IoD 化による整合性の向上が関係者間の認識相違を減らすとともに、検索性の向上により素早い知識獲得が可能となるためである。

5 おわりに ～超議論社会の基盤としての IoD～

これまで紹介してきた IoD の概念は、世界が今後向かうべきである社会「超議論社会」の基盤となるものだと考えている。超議論社会(Hyper Argumentation Society)とは、筆者の造語で、「社会を維持・発展させるための様々な事柄に対して、利害関係者が、印象論や感情論に左右されることのない、厳密で精緻な議論(超議論)を行う社会」を指す。

「社会を維持・発展させるための様々な事柄」とは、飛行機、自動車、発電所といった、機械とソフトウェア・ハードウェアによって構成される大規模なシステムが主対象であるが、食品流通システムや政策決定など、ヒューマンファクターが大きいシステムも対象である。

さまざまなシステム・サービスがインターネット等で「つながる」ことによって発生する思わぬ不具合が世間でも常態化しており、常に説明責任遂行が求められるなか、厳密で精緻な議論「超議論」が行われること、それを支援する環境が整うべきことは、自明だろう。

IoD という概念が、文書の整合性だけにとどまらず、広く「安心・安全なシステムやサービスの構築」「それらについての利害関係者の議論、合意形成」に役立つものとなるよう、社会実装を進めていきたい。

参考文献

- [1] 東京都, 令和3年度 大学研究者による事業提案制度,
<https://www.zaimu.metro.tokyo.lg.jp/zaisei/teian/4daigaku.html> (visited on 2022-10)
- [2] 総務省, 2018年度「異能ジェネレーションアワード」ノミネート発表
<https://www.inno.go.jp/result/h30/nominate.php> (visited on 2022-10)
- [3] K. Beck et al., Manifesto for Agile Software Development (日本語版「アジャイルソフトウェア開発宣言」平鍋健児訳),
<https://agilemanifesto.org/iso/ja/manifesto.html> (visited on 2022-10)
- [4] 内閣府, 災害対策基本法, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=336AC0000000223> (visited on 2022-10)
- [5] 平塚市, 平塚市地域防災計画,
https://www.city.hiratsuka.kanagawa.jp/bosai/page-c_01661.html (visited on 2022-10)
- [6] 東京都, 東京都地域防災計画,
<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/taisaku/torikumi/1000061/1000903/index.html> (visited on 2022-10)
- [7] IEEE, Software and Systems Engineering Vocabulary (SEVOCAB),
https://pascal.computer.org/sev_display/index.action (visited on 2022-10)
- [8] ISO/IEC JTC 1/SC 7, ISO/IEC/IEEE 15026-2 Systems and software engineering — Systems and software assurance — Part 2: Assurance case, 2016.
- [9] Agda Team, The Agda wiki,
<https://wiki.portal.chalmers.se/agda/pmwiki.php> (visited on 2022-10)
- [10] Y. Kinoshita and M. Takeyama, Assurance Case as a Proof in a Theory — towards Formulation of Rebuttals, Proceedings of the Twenty-first Safety-Critical Systems Symposium, Bristol, UK., pp. 205–230, SCSC (2013)
- [11] IEC TC56, IEC 62853:2018 Open systems dependability, International Electrotechnical Commission, 2018.

Lossless Compression based Audio Watermarking

Xuping Huang*

Abstract

This work proposes a lossless compression-based acoustic watermarking that is robust and reversible. Each sample point in stereo voice data is represented with 16 bits, which are subsequently separated into frames. Then, to reserve hidden capacity, the Huffman lossless compression method is used to the insignificant 4 bits in each sample point partiality. Depending on the frame length, an average compression ratio of 0.7035 and the best compression ratio of 0.686 are obtained, which guarantees a payload concealing of 1.188 bits at each sampling point. The Huffman method is partially applied to each sample point, resulting in complete stego data after embedding and a promising complexity towards attack. The suggested approach achieved imperceptibility, according to the results of the Perceptual Evaluation of Speech Quality based on ITU-T standard P.862 and signal-to-noise ratio (SNR).

Keywords: Acoustic watermarking, Lossless compression, Reversibility, Imperceptibility

1 Introduction

Recently, reversible watermarking has been presented as an alternate authentication approach to secure the integrity of data with probative value or personal data with privacy risk. It is suitable to a wide range of circumstances, including military photos, medical procedure footage, and inquiry records with legal difficulties.

1.1 Reversible Watermarking

In these scenarios, the reversibility of original data is essential due to the probative importance of the data. If algorithm is loss, original data cannot be reconstructed from stego data. Any data loss is not allowed, even though the loss might be slight for few samples. Since for applications where availability of original data is important, which may be used as the evidence materials in the court, according to the law, the data is not reliable and cannot be used any more even though the loss of samples did not affect to comprehensiveness of the content of itself. Examples include military materials, medical recordings and so on. Besides, in some cases, it is difficult to reproduce the content again, which is with great value as the documentary in some certain environment and should be protected without any distortion or data loss. In military and medical cases, the recorded data

subjected to certain situation and cannot be re-provided but are important for strategy and medical treatment. The importance of reversibility means that the algorithms to hide payload, including information for verification and positional data, extract payload, and reconstruct original data should be lossless.

1.2 Conventional hiding method and proposed method

For hiding algorithm, two main algorithms are used to hide audio information, mainly into frequency domain and time domain: (1) histogram-based watermarking [1][2], payload is embedded into expanded components in frequency domain; (2) linear predictive coding based watermarking [3][4]: payload is embedded into expanded residual between predicted value and the real value; and (3) compression-based watermarking [5], in which the payload is hidden in the capacity reserved by the compression algorithm. The challenge of information hiding by compression is that the compression rate of an audio file is quite limited with the existing algorithms: MP3, Huffman, MonkeyAudio, TTA, LPAC, TAK, WavPack, etc. Some algorithms use a proprietary format (MonkeyAudio), making them unsuitable for public usage. Furthermore, stego data are not audible without proper decoding because of the proprietary format in many information hiding methods that combine compression and package loss makes it irreversible.

Received on October 2, 2022

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

Thus, in this paper, being different from the conventional compression method, we represent each sampling data into 16 bit and apply lossless compression algorithm Huffman to less significant bits to reserve capacity to hide payload. Data is divided into frames before processes. For the target application, authenticate use is one of the applications, since integrity of an audio signal is determined by detecting changes in its feature value. Reversible information hiding for authentication use on image and video has been proposed [5-9]. In these works, fingerprint information [6], time sequence information [7], hash values [5, 8], and binary numbers [9] are widely used to verify the integrity of original data. In this paper, a content-based RSA digital signature digest value of each frame is calculated and then is embedded into the frame as payload. As experimental evaluation, objective testing based on Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ), ITU-T recommendations showed the implementation of the proposed method is imperceptible that the distortion is tolerated and acceptable. In this paper, the details of proposed algorithm are described in Section 2. The experimental results and evaluation on audio quality are described in Section 3, and the conclusion and future work are described in Section 4.

2 Proposed audio watermarking based-on Huffman

Compression

The proposed reversible method for acoustic data is achieved by applying Huffman algorithm partially into less significant bits of original data. The illustration of frame division, compression, and embedding processes are shown in Fig.1. The $S'_{fk} = \text{Huffman}(\text{cover}[\text{index}])$, $\text{index} \in [1,4]$ means the data after compression has applied to data from the least significant bit (lsb) to the 4-th bit. α means the digital signature of the previous frame, which is to be embedded in the space reserved by compression. Since the acoustic data should be usable as probative data, the challenge is to generate audible stego data without additional conversion after partial compression has been applied to the sampling points and payload embedded. Furthermore, the acoustic distortion should be kept imperceptible in accordance with the compression ratio, the embedding

algorithm, and the capacity reserved by compression. The stream of cover data is first divided into small fixed-sized frames. The tampering detection rate

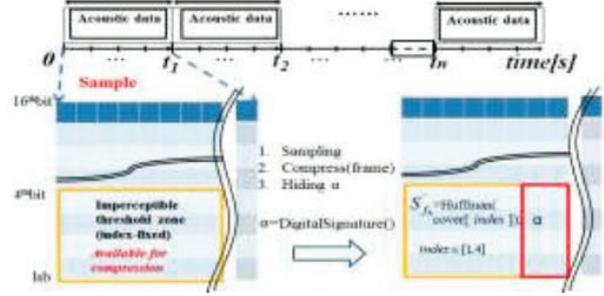


Fig.1 Illustration of proposed method with partially adaptive compression

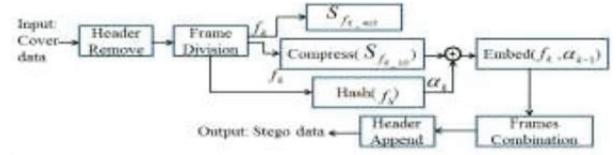


Fig.2 Embedding process flow

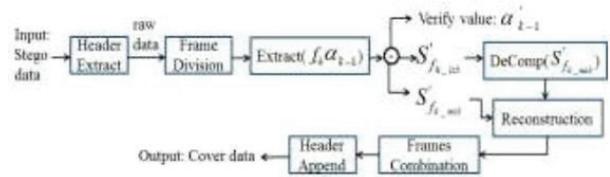


Fig.3 Extraction process flow

depends on the frame length. The frame length N can be 65,536, 32,768, 16,384, ..., 2,048, 1024, etc. The shorter the frame is, the more precise the detection of modification positions. Frame f_k , $k \in [1, N]$ is represented by sampling points in time domain represented by 32kHz-16bit-stereo, which means each sampling is represented by 16 bits. The compression rate applied to acoustic data is lower than that applied to images if the algorithm is applied to the file because of data correlation. We thus partially apply the compression algorithm to the [1st, index-th] bit of each sampling point after frame division and sample computing for $\text{index} \in [2, 4]$. The 1st bit means the least significant bit at each sampling point.

2.1 Data structure after embedding

Data after embedding consists of three types of data by taking the k -th frame as an example: (1) data in significant bits: $S_{fk_msb} = \text{cover_data}[\text{index}]$, $\text{index} \in [5, 16]$; (2) data after partially applied compression: object data for compression is $S_{fk_lsb} = \text{cover_data}[\text{index}]$, $\text{index} \in [1, 4]$, which is collected in a data pool and then compressed, and $S_{fk_lsb} =$

Huffman(cover[LSB, 4-th]); and (3) payload: signal α_k is the digital signature for the k-th frame and $\alpha_k = (\text{hash}_k \parallel \text{private_key}(d,n))$, which is the signal for verification to be embedded in the capacity reserved by the compression algorithm. Here, $\text{sign}()$ is a modulo calculation with private key pair (d, n) .

2.2 Implementation

(1) Process flow for embedding

There are four steps for embedding phase:

Step 1 Remove header information from input audio signal, divide signal into fixed-size frames, and pulse code modulation sampling.

Step 2 Calculate verification value using hash function and digital signature algorithm

Step 3 Select cover data from LSB to 4-th bits for each sampling point in data pool for each frame.

Step 4 Compress data pool generated by step 3 using Huffman algorithm and write verification value α_k in reserved capacity after compression to generate stego data. The embedding process flow is shown in Fig.2.

Since the header information of cover WAVE data is not the target for compression or embedding capacity, the header information is extracted before processing. After compression and embedding, the header information is appended to frames after frame combination to enable audible stego data to be generated. The capacity reserved by compression is estimated using $t/b \cdot \text{compR} \cdot f \cdot \text{time}$, where (a) the compression ratio is: compR , which is calculated and plotted in Fig.4 and Fig.5. (b) threshold index for compression is t ; (c) sampling frequency is f ; (d) the number of sampling bits is b , and (e) the time length of the sampled frame is time . Since Huffman algorithm needs to append a table to indicate the tree, with which decompression is achievable, it occurs that the output data is larger than input data if the compression ratio is too inefficient to reserve any space in a frame. In this case, the frame is skipped without any embedding.

(2) Process flow for extraction and reconstruction of cover data

The input of the extraction phase is stego data, and the output is reconstructed cover data. In this phase, the extraction algorithm is used to extract the embedded verification data α'_k , and the partially compressed data S'_{fk_lsb} and S'_{fk_msb} . S'_{fk_lsb} is then decompressed and combined with S'_{fk_msb} to

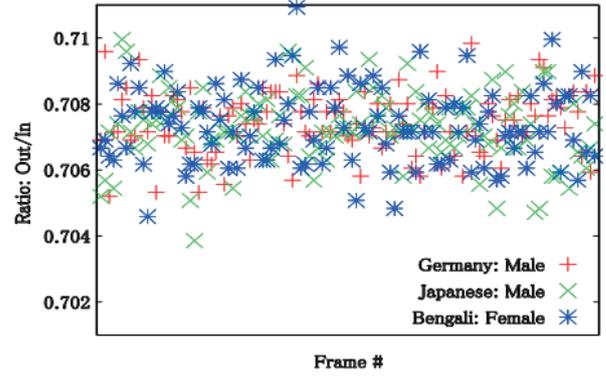


Fig.4 Compression ratio with different language and gender when frame length is 32768

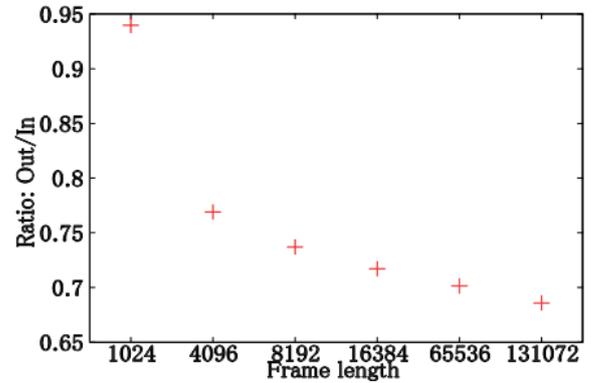


Fig. 5 Compression ratio with different frame lengths

reconstruct the cover data. The extraction process flow is shown in Fig. 3.

(3) Process Flow for Verification The input data for verification are the (a): reconstructed cover data, and (b): α'_k . Since payload is content-based, verification can be finished only with stego data, which makes this method a cover-blind verifiable method. The verification phase is based on the digital signatures and includes the signing and verification procedures:

Step 1 Since the compression, embedding and extraction are lossless, in theory, the cover data is reversible; the reconstructed data is $\text{DeComp}(S'_{fk_lsb}) + S'_{fk_msb}$. Function $\text{Decomp}()$ means decoding of compression. If there has been without modification, the result should match the original cover data, thereby proving that this method is a reversible solution.

Step 2 After applying decompression algorithm to data S'_{fk_lsb} and computing the hash function of the reconstructed data, the result $\text{Hash}(\text{DeComp}(S'_{fk_lsb}) + S'_{fk_msb})$ is used to compare with the digital signature value extracted from the frame and thereby verify the content integrity.

Step 3 From the extracted a'_k , we can extract the hash value h_k by using the decoding calculation $a'^{e_k} \pmod d$ with the public key pair (e, n) . The last step for verifying the integrity of the stego data is to compare the result from step 2 with $a'^{e_k} \pmod d$. To verify the integrity of the target acoustic data with signature, the signing and verification transformations must satisfy if and only if $\text{Hash}(\text{DeComp}(S'_{fk_lsb}) + S'_{fk_msb}) = a'^{e_k} \pmod d$.

3 Evaluation

3.1 Dataset for test

Since the target application can be used to authenticate the integrity of speech data, we record speech data with cooperators who speak in Germany (male), Japanese (male) and Bengali (female) to analyze whether language and gender effect on compression ratio. Samples are recorded by stereo microphone audio-technica AT9941 by 32kHz-16bit-stereo.

3.2 Compression Ratio

Compression ratio is calculated by compare size of output data (after compression) and input data (original data) by out/in to estimate the capacity for payload. The data is represented by 32 kHz-16bit-stereo. The compression ratios are plotted in Fig.4 and Fig.5. According to Fig.4, gender and linguistic difference seldom effect on compression ratio and the average ratio is around 0.703 when frame length is 32768 (a middle length is selected to check the average value), which means $4\text{bits} \times (1 - 0.703) = 1.188$ bits are available for hiding capacity in each sampling point. According to Fig. 5, it is obvious that longer frame size may have better compression ratio, while when frame length 1024, the compression ratio is the worst, since a table with about 100 bits takes up a high rate in each frame.

3.3 Audio quality

Fig. 6 plots the amplitude of original data and stego data, and Fig.7 plots the difference between stego data and original data in both of DCT domain and time domain with the sample of Germany male speaker in 958464 samples (32kHz-16bit-stereo, frame

size=32768).

The difference in time domain is between $[-240, 15]$ in both of channels in this sample. The difference is small out of 32768 as maximum amplitude. According to Figures 6 and 7, it is obvious that the difference between stego data and original data is small to be distinguished by human hearing system. Bengali (Female) has the similar distribution of difference data.

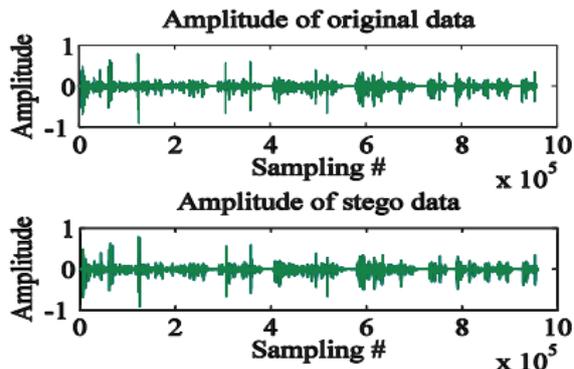


Fig.6 Amplitude of original data and stego data (Germany Male)

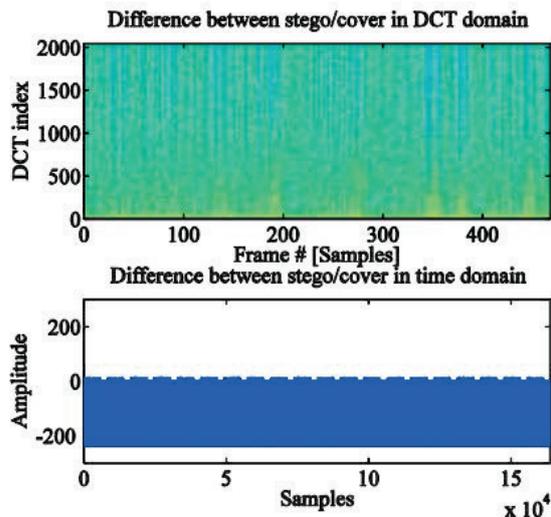


Fig.7 Difference between stego data and original data (Germany Male) in DCT domain (log of absolute DCT value) and in time domain

TABLE I. MEAN OPINION SCORES AND SNR

Language	MOS	SNR(dB)	Instruction
Bengali	2.918	21.558	Female, 32kHz-16bit-stereo
Germany	2.690	20.455	Male, 32kHz-16bit-stereo
Japanese	2.924	23.705	Male, 32kHz-16bit-stereo

To evaluate audio quality objectively, we calculated Perceptual Evaluation of Speech Quality based on ITU-T recommendation P.862 with raw mean opinion scores (MOS) in the range -0.5 to 4.5 (best). Signal-noise ratio (SNR) is used to calculate the difference in

time domain. AFsp packages version 9.0 is used for calculation. MOS and SNR listed in Table 1.

4 Conclusion

In this paper, we propose a reversible speech watermarking with partially applied Huffman compression algorithm as an alternative method. About 1.188 bits in each sampling point is available for hiding that high capacity for embedding is achievable by the proposed method. Since the compression ratio in each frame is complexity is achievable. By analyzing amplitude of stego data and original data and their difference with audio quality evaluation by MOS, we got the result that the stego data generated by the proposed method is imperceptible. As the future work, we are going to evaluate audio quality with more samples objectively and subjectively, and to calculate the robustness towards StirMark Benchmark.

References

- [1] S. Zmudzinski, and M. Steinebach, "Perception-Based Audio Authentication Watermarking in the Time-Frequency Domain, Information Hiding Workshop LNCS vol.5806, pp.146–160, (2009)
- [2] X.P. Huang, I.Echizen., and A. Nishimura, "A Reversible Acoustic Steganography Scheme to Authenticate Use, H.-J. Kim, Y. Shi, and M. Barni (Eds.): digital watermarking", Lecture Notes in Computer Science LNCS 6526 (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, vol (2011), pp: 305-316, (2011)
- [3] D. Q. Yan, and R. D. Wang, "Reversible Data Hiding for Audio Based on Prediction Error Expansion", Proc. of Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp. 249–252, (2008)
- [4] A. Nishimura, "Reversible Audio Data Hiding Using Linear Prediction and Error Expansion", Proc. of Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp: 318–321, (2011)
- [5] M. Kaur, R. Kaur, "Reversible watermarking of medical images: authentication and recovery-A survey", Journal of Information and Operations Management, vol (3)-1, pp.241- 244, (2012)
- [6] E. Gomez, P. Cano, L.D. Gomes, "Batlle, and E., Bonnet, M.: Mixed watermarking fingerprinting approach for integrity verification of audio recordings", International Telecommunications Symposium ITS 2002, Brazil (2002)
- [7] I. Echizen, T. Yamada, S. Tezuka, S. Singh, and H. Yoshiura, "Improved video verification method using digital watermarking", Proc. Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, pp.445-448, (2006)
- [8] R. Caldelli, F. Filippini, R. Becarelli, "Reversible watermarking techniques: an overview and a classification", EURASIP Journal on Information Security, vol.2010, pp: 1-19, (2010)
- [9] X. Zeng, Z. Y. Chen, M. Chen, Z. Xiong, "Reversible video watermarking using motion estimation and prediction error expansion", Journal of Information science and engineering, vol. (27), pp: 465-479, (2011)

PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス ～2022 年度の事例～

中鉢 欣秀* 天野 暢幸* 網干 悠吾* 斎藤 光太* 澤村 奈々子*

Practice of agile development engineers in PBL: A case in 2022

Yoshihide Chubachi*, Nobuyuki Amano*, Yugo Aboshi*,

Kota Saito*, Nanako Sawamura *

Abstract

Agile development methods are rapidly spreading in the information processing industry. The authors, who are working students, belong to this group. In companies, exposure to the word "agile" has increased dramatically since around 2020. There is an urgent need to develop human resources who are familiar with agile development methods. In the Project-Based Learning (PBL) program conducted at the Advanced Institute of Industrial Technology (AIIT), students can experience Agile development methods in a form similar to practical work and acquire Agile development competencies. This paper describes the learning practices in this project in the first semester of FY2022.

Keywords:

Agile Development, Agile Development Engineer, IT Engineer Education, PBL

1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学(以下,AIIT)では,2006年の開学よりPBL型教育を中核とした高度専門職業人を育成するためのカリキュラムを実施している。2022年度に研究科再編を行い,従来設置していた情報アーキテクチャ専攻を廃止し,新たに設置した産業技術専攻におかれた3つの学位プログラムのうちの一つとして情報アーキテクチャコースを設けている。

2012年度に始まったenPiT[1]では,本学はビジネスアプリケーション分野に参加した[2]。ここではWebアプリケーションやスマートフォンアプリ等最先端技術に対応したモダンな技術者を育成するための教授法を開発して実施した[3]。

これらの成果をうけ,本学が従来から実施している修士課程のPBLにおいてもスクラムに基づくアジャイル型の技術者教育を本格的に導入した[4]。本発表では,2022年度前期に実施している著者(中鉢)が担当しているPBL型教育の実践例を述べる。これは昨年度発表した文献[5]に続くものである。

以下,2.では,2022年度前期のPBLにおけるプロジェクトの活動について述べる。3.では開発中のプロダクトについて紹介する。4.で考察を行い,5.でまとめを行う。

なお,本稿は文献[6]の内容を再編集したものである。

2 プロジェクトの活動

2.1 設定した目標

2022年度は,プロジェクトとして2つの学習目標を設定した。

1. チーム活動によるソフトウェアプロダクト開発を修得
2. 個人が設定した学習目標の達成

これらの目標に基づいた活動を行い,結果を相互にフィードバックすることで,より深い学習効果を得ることを狙う。

チーム活動の目標は,ソフトウェアプロダクト開発を通してアジャイル開発技法を修得することである。その上で,開発に必要なプログラミングやマネジメントスキルの実践力を高める。また,プレゼンテーション力といったコミュニケーションスキルについても開発全体を通して向上させていく。

また,個人の学習目標をチーム全体の目標とは別途,設定しているのは,多様な職業経験を有する社会人学生が参加するチームでは個々人の具体的なスキル獲得意欲が異なっているためである。チーム全体としての目標に加えて,個人の学習目標も併せて設定することで,チームでの学習活動と個人の学習活動とを整合させる。

Received on October 2, 2022

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

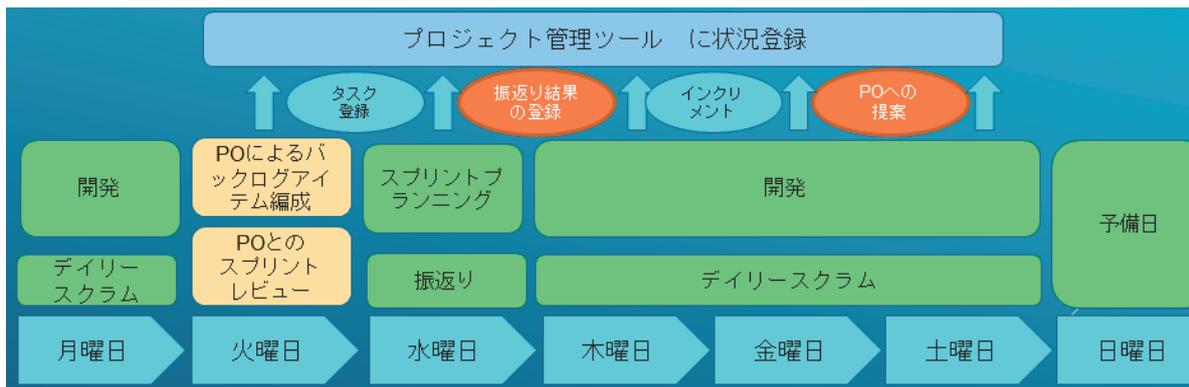


図1 一週間スプリントの流れ

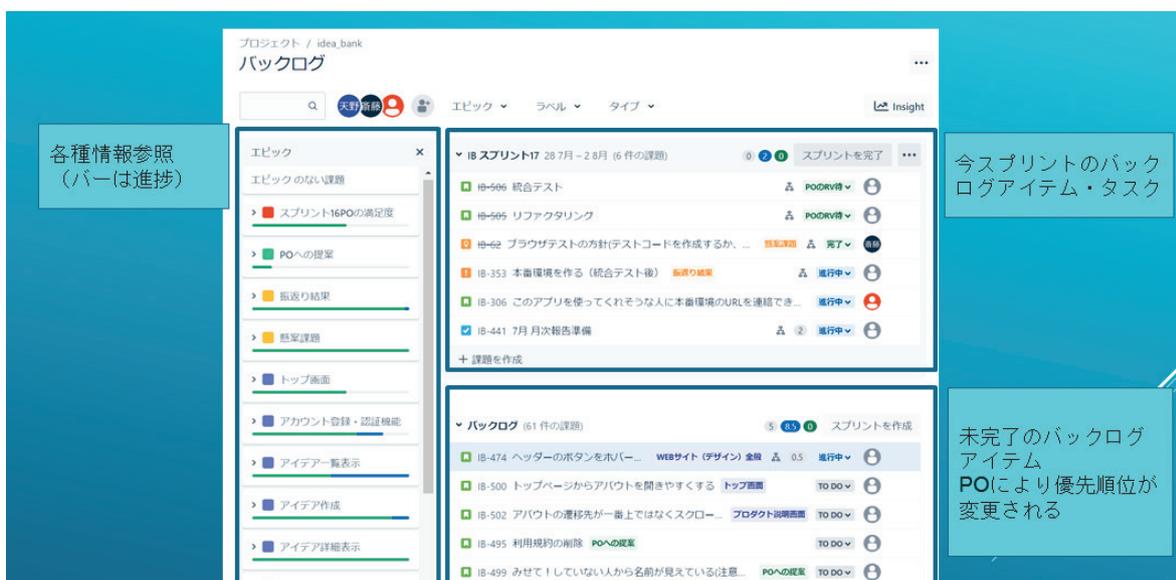


図2 プロジェクト管理ツール Jira の使用例

2.2 プロジェクトの進め方

このプロジェクトではスクラムにおける1スプリントを一週間として設定している。スプリントの起点は毎週、教員と参加者で行うコア・ミーティングであり、スクラムにおけるスプリントレビューや、プロダクトバックログ・リファインメントといったスクラムイベントもここで実施する。

一週間のスプリントの流れを図1に示す。

2.3 プロジェクトの体制

プロジェクトの体制として、昨年度までの事例と大きく異なるのはスクラムにおけるプロダクトオーナー(PO)役を教員が担当したことである。従来、本PBLにおいては学生がPO役を努めていた。これは、学生自身が作成したいプロダクトを開発することが学生の意欲向上につながると判断したためである。

しかしながら、アジャイル開発の実務においてはPOは開発チームの外にいることが一般的である。そこで、より実践に

近いスタイルとして、PO役を教員が行うこととした。

また、このような体制にしたことに伴い、次の2つを新たな取組として実施した。

1. POへの機能提案
2. POからの評価点

1.は機能の追加や改善等の提案を開発チームからPOに行うことである。すなわち、単にPOから言われたものを実装するだけでなく、よりよいプロダクトになるようチームからも積極的にPOに働きかけるというものである。これはPOも含めて開発プロジェクト一丸となってスクラムを組むという、あるべきチームの体制が構築されることにつながる。

2.は毎回のスプリントにおいて、POがメンバーの活動や成果を5段階で評価する仕組みである。POがスプリントの内容に満足したかどうかを主観的に点数化する。

なお、スクラムマスターは学生のうち1名が担当し、残りは

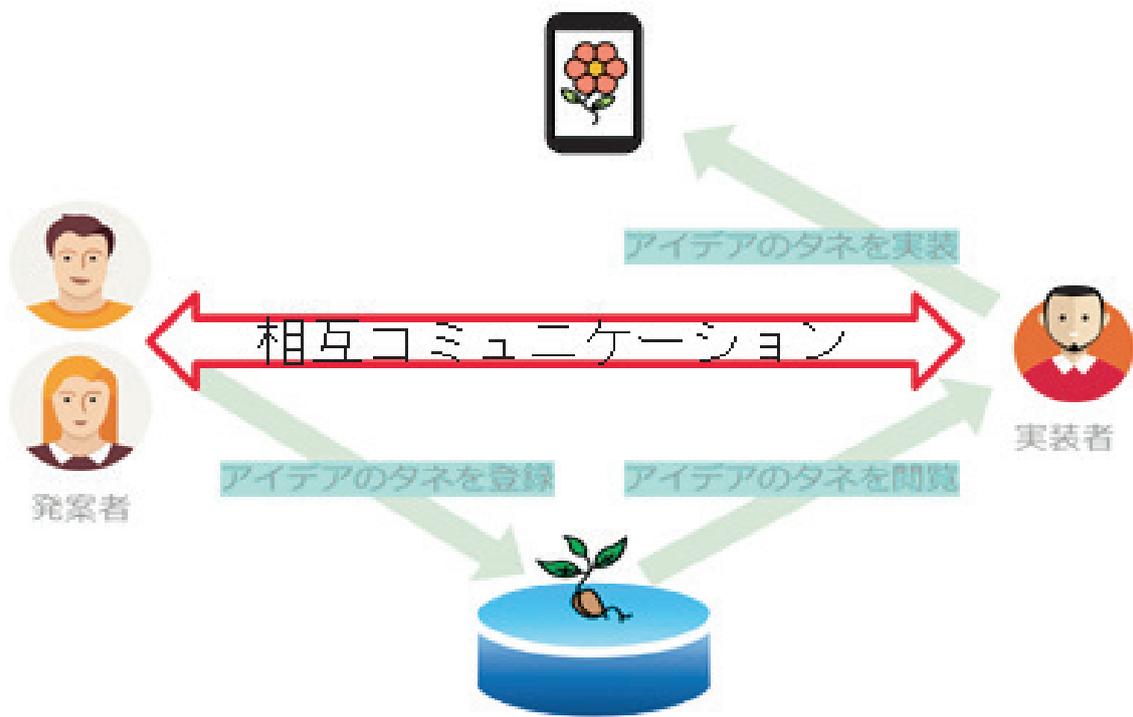


図3 プロダクトの全体概要

開発メンバーとなっている。チーム内の詳細なロールは固定せず、プロジェクトの状況に応じて随時変更できるものとしている。これによりスクラムチームが備えるべきチーム内組織の柔軟性を得られるようにする。

2.4 プロジェクト管理ツール

本年度はプロジェクト管理ツールとして Jira Software (以下、単に Jira) を採用した。スクラムにおけるプロジェクト管理にはプロダクトバックログとスプリントバックログという 2 つのバックログを用いる。バックログとはチームとして取り組むべき課題に優先順位をつけたリストであり、開発に関わる全てのステークホルダーで共有する。Jira はこれらの管理を行うことができるクラウド型のツールである。

Jira は汎用性に優れており、主要な 2 つのバックログ以外の管理や情報共有にも利用することができる。そのため、スクラムで定義されるバックログの管理の他にも、ある種の共有データベースとして機能する。そこで、チームの振り返りや、様々な懸念事項の管理にもこのツールを用いることとした。Jira を利用してプロジェクト管理を実施している例を図 2 に示す。

3 開発するプロダクト

3.1 プロダクト:「アイデアファーム」

開発中のプロダクトのエレベーターピッチは以下の通りである。

「アイデアファーム」とは埋もれてしまうアプリのアイデアをカタチにする仕組みです。

例えば、プログラミングスキル不足でアイデアをカタチにできない、プログラミングスキルはあるがアイデアが浮かばない。そういった経緯から埋もれてしまうアプリのアイデアを実現するコミュニティサイトです。

アイデアを出す人(発案者)とアイデアをカタチにする人(実装者)の役割のどちらの立場でも利用することができ、お互いの想いを話し合いながらアイデアを実現していきます。

3.2 プロダクトの概要図

プロダクトの全体概要を図 3 に示す。このプロダクトの利用者は「発案者」と「実装者」である。このプロダクトを利用することにより、

1. 発案者はアイデアを投稿する
2. 実装者は気になるアイデアに「みせて！」をする
3. 投稿したアイデアにコメントをつけることができるように

なる

4. 実装者はアイデアに基づき、コメント機能でコミュニケーションをしながらアプリを開発する

5. 発案者と実装者のコラボレーションによりアイデアが実現する

もともとこのプロダクトは、筆者(中鉢)が enPiT のプログラムにおいて、よいアイデアがあっても実装に至らず、埋もれてしまっていることが多いと感じた経験に基づいて考案した。ソフトウェア開発の PBL やアイデアソンなどで学生がアイデアを出す場面は多くあるものの、スケジュールやリソース、技術力等の問題で実装されずにいることが多い。

一方、主に技術習得のためにソフトウェア開発を学びたい学生にとっては、他の学生が発案したアイデアがデータベース化されて参照できるようになっていれば、そこから開発するプロダクトのテーマを選択できるようになる。

このように、両者のマッチングを図ることを可能とするシステムを用意することで、ソフトウェア開発をテーマとした PBL をより円滑に、かつ、良い成果物が生まれることが期待できる。

4 考察

本年度の新しい試みとしては、教員が PO 役を担当することであった。このことは、学生が PO をするよりもチームに緊張感が生まれ、より実業務に近い状況となったと考えている。

例えば、メンバーとしては開発が完了していたと考えていたものを、PO にデモをする際にバグが出たという事例が発生したことがあった。これをふまえ、PO とのレビューの前日には必ずデモのリハーサルをするようになった。

また、開発チームとしては機能追加を優先するあまり、発生していた技術的な問題に目を瞑ることがあった。後になって PO とのレビューにおいて問題が顕在化し、PO がそのことを指摘することによりメンバーは潜在的な問題点について意識し、リスク管理を行うことの必要性に気づいた。

開発メンバーから PO へ機能等を提案する仕組みは良好に機能した。PO の立場では気づきにくい課題や、有用なアイデアが数多く出てきた。これらを踏まえ、メンバーとともにプロダクトバックログをリファインメントすることでプロダクトの完

成度は向上したと感じている。

5 おわりに

本発表では、2022 年度前期に実施している AIIT の修士課程におけるプロジェクトの事例について述べた。

我が国においても、PBL は情報技術者育成の教育手法として数多く採用されている。そこで生まれたプロジェクト成果物の発表はなされているのに対し、教育の実践例そのものを報告していることは少ない。今後とも、PBL 型教育の実践例を広く公表することで、高度専門職業人を育成するための PBL 型教育の発展に貢献していきたい。

参考文献

- [1] 井上克郎, 楠本真二, 後藤厚宏, 鶴林尚靖, 北川博之: ペタ語義: 実践的情報教育協働ネットワーク enPiT, 情報処理, Vol. 55, No. 2(2014), pp. 194-197.
- [2] 嵯峨智, 渡辺知恵美, 木塚あゆみ, 中鉢欣秀, 河辺徹: ビジネスアプリケーション分野, コンピュータソフトウェア, Vol. 34, No. 1(2017), pp. 1 24-1 28.
- [3] 中鉢欣秀: モダンなソフトウェア開発者育成のための技術教育, 日本ソフトウェア科学会大会論文集, Vol. 31, 日本ソフトウェア科学会, 9 2014, pp. 121-125.
- [4] 中鉢欣秀: AIIT における実践的 Scrum 技術者教育の取り組み, 日本ソフトウェア科学会第 33 回大会(2016 年度) 講演論文集, 9 2016, pp. 1-6.
- [5] 中鉢欣秀, 閻莉玲, 嵩下奈都美, 星野圭亮, 森浩貴, 保田義則: アジャイル開発人材育成のための PBL 型教育におけるプラクティス: 2021 年度プロジェクトの事例, 日本ソフトウェア科学会第 38 回大会(2021 年度) 講演論文集, (2021).
- [6] 中鉢欣秀, 天野暢幸, 網干悠吾, 斎藤光太, 澤村奈々子: PBL 型教育におけるアジャイル人材育成のプラクティス~2022 年度の事例~, 日本ソフトウェア科学会第 39 回大会(2022 年度) 講演論文集 pp.1-4 (2022)

Task Processing Scheduling in Federated Learning Systems

Chaofeng Zhang*, Wuyunzhaola Borjigin**

(Abstract) Nowadays, the effective use of computation and communication resources is one of the main challenges for cloud manufacturing. The complexity of the environment and the diversity of interference in industrial manufacturing make it challenging to complete multiple tasks fast and flawlessly. In this paper, we integrate communication capacity, computation capacity, task convergence, and other factors into a single utility metric as the optimization goal. We design a federated learning oriented Policy Calculation Algorithm to cope with the allocation policy in a time-varying environment.

Keywords: Communication efficiency, federated learning, edge intelligence, mobile wireless communication, artificial intelligence.

1. Introduction

With the rapid development of the Internet of Things (IoT), smart services have encountered many new challenges in performing decentralized learning tasks. As an advanced solution for distributed computing [1], federated learning ensures the global validity of the process through distributed computing and collaborative updating of parameters by smaller devices or vehicles [2]. The security-sensitive data does not have to be uploaded to the cloud for parallel processing, but the devices involved in the calculation upload the trained results to the cloud. The cloud performs a weighted average on the uploaded data and finally outputs a standardized neural network model [3]. This framework distributes the computational pressure of a single device and protects user privacy. In particular, intelligent services using federated learning usually aim to fix privacy leaks and insufficient computing power in distributed computing systems by completing the service process through distributed computing and collaborative updating of parameters. The sensitive raw data does not have to be uploaded to the cloud for parallel processing, but the devices involved in the calculation upload the trained weights to the cloud.

Improvement of the computing capacity of intelligent services is based on the use of higher physical resource consumption. In parallel federated learning, due to objective physical limitations, the mapping policy cannot ensure all local data can be properly updated according to the texture. Therefore, many studies focus on how to optimize the available resources. A potential solution [4] using Q-Learning is proposed to understand the current state of resource allocation in the system and then calculate the allocation policy to track a higher utilization rate. Another study [5] considers the selfish attributes of the local devices and adds an incentive mechanism based on the Starkolberg model in game theory to encourage local device participation. In this way, the service capacity of individuals is promoted, and then the overall utilization efficiency of the remaining capacity is improved. In general, the cloud-based system needs

communication coordination between the edges to optimize the learning process in each device, which acts as a buffer for devices in different workstations, and then achieve better multitasking processing efficiency.

The potential problems in the above studies are that they assume that the available bandwidth is constant over a long period of time. In the practical wireless communication network, the current optimization schemes cause the following problems: First, the synchronous federated learning [6] only performs an update within a limited time, and the remaining nodes with excess resources are waiting for other nodes to do their jobs before you continue with the next sync update. The idle wastes computation and communication throughput; Second, federated learning has the coordination problem under resource constraints [7], and striving for the rate of convergence of a single task may conflict with the overall convergence of the tasks [8]. Third, the optimization algorithm of federated multitasking learning [9] outputs the assignment policy according to the current network state. However, actual grid capacity will change over time. The current optimization scheme over-achieves the instantaneous optimum and not the full-time optimum.

The proposed research examines the real-time multitasking assignment policies to optimize the learning efficiency of federated learning in time-varying computing and communication environments. By modeling the dual influence of the Lyapunov drift of the virtual queue, we investigate the balance between the utilization of the task processing capacity of local devices and the convergence efficiency of the cloud. Accordingly, we design an LSTM-based solution called FL Service-Oriented Policy Calculation Algorithm to calculate the optimized allocation policies based on time-series network states and maximize the overall utility gain of tasks. Finally, we run the simulation in a time-varying scenario to compare the convergence efficiency of multiple federated tasks using the proposed algorithm. The results show that the proposed solution achieves more efficient use of resources than other benchmarks.

Submitted on Oct 19, 2022.

* Advanced Institute of Industrial Technology.

** Inner Mongolia University of Finance and Economics.

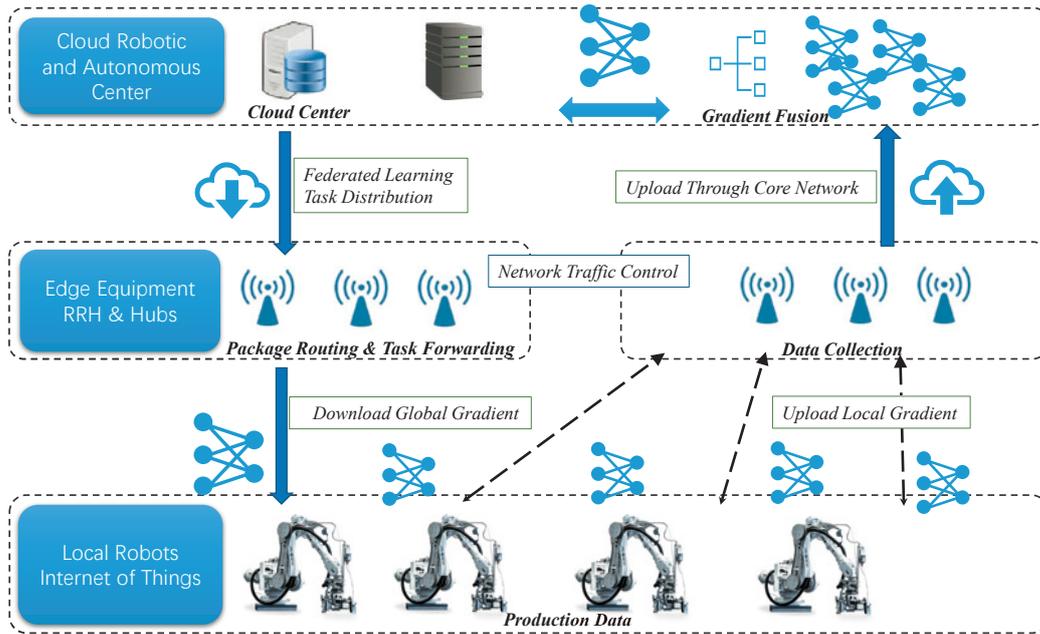


Fig. 1. Federated learning framework for cloud manufacturing.

2. Previous Works and Related Study

The update of federated learning shows the network model synchronously over the local wireless network, and multiple channels can be used once. However, the unstable network environment may bring other challenges. Current research is developing novel solutions to optimize various aspects of federated learning processing performance.

Combine reinforcement learning and federated learning. The two mechanisms fit well. In the paper [4], the authors propose a mobile edge optimization system that combines reinforcement learning and federated learning. Suitable for scenarios in mobile communication systems at all times, the system focuses on the resource allocation policies for data processing, storage and communication. The in-edge AI framework describes the exchange of parameters between end devices and edge nodes to achieve more efficient training and inference. In addition, they optimize the dynamic system computing power and communication load. In the end, the optimization scheme effectively reduces the load level of each device while preserving the approximate optimal solution for overall efficiency.

Incentive mechanism for individuals. For autonomous federated learning scenarios, appropriate incentive mechanisms need to be introduced to improve training efficiency. In the paper [5] the authors solve the core challenge of federated learning that users involuntarily participate in training and share resources. By observation, they find that the heterogeneous equipment is limited by its conditions, and choose the task that corresponds to the expected income for training. After summarizing the scenario as the Stackelberg leadership model, the server establishes the functional relationship between the training benefit and the reward according to its

own needs. The end device selects a suitable task for the training based on the bonus list. When the Nash equilibrium is reached, the server guarantees the entire training effect through a suitable reward mechanism.

Multiple resource optimization. The multi-resource optimization problem of federated learning usually needs to be broken down into several sub-problems for optimization. In general, optimizing multiple resources in federated learning is usually a non-convex problem. However, the authors [10] summarize the conflict of objectives between model and energy consumption convergence as a non-convex problem with three sub-problems. This paper examines the impact of local training rounds on global parameter updates and transforms it into a trade-off problem of energy consumption and rate of convergence. By optimizing the three sub-problems of communication energy consumption and computation energy consumption, the overall system is better than the convergence rate and accuracy benchmark.

Data compression. Federated learning network optimization sacrifices accuracy to achieve model compression, thereby meeting communication throughput constraints. However, the limitations of the network environment are usually the biggest challenges for mobile devices in federated learning. Some research is inventing model compression and data compression methods to reduce communication costs. Typically, this compression comes at the expense of accuracy. For example, a study [9] compares more than three compression methods and proposes a universal compression framework, Spare Ternary Compression (STC). The framework adopts the top k update parameter selection strategy and optimizes the update weight of the corresponding parameters. The pressure of communication is greatly relieved by the small-scale but

precise selection strategy while sacrificing relatively little convergence rate.

3. Federated Learning and Resource utilization

In this section we outline the local and global update procedure of a typical federated learning system and describe the entire processing framework as a mathematical model.

A. System Structure

As shown in Fig. 1, the framework is mainly constructed in four parts: cloud center for model aggregation; edge devices for network congestion and data forwarding [11]; IoT devices for data collecting and local training.

- Cloud: the server is used to aggregate the collected model data. The data to be processed are weights and gradients derived from the remote IoT devices.
- Edge: devices located on the edge layer are responsible for monitoring and managing available network resources. By observing and predicting channel conditions, computing resources, and power consumption, the edge devices forward tasks and collect processed results.
- Local: local devices are used for local updating. The local update process consists of three steps: downloading global weights, training locally, and uploading newly trained weights.

1) Cloud and Devices

We assume that there is a cloud center for data collection and fusion in the top layer. Then, in the edge layer, M base stations (BS), including RRH and small hubs, connect with the center, which is considered as edge nodes for forwarding tasks and collecting data [12]. Correspondingly, $|N|$ local devices managed by these edge nodes, denoted as $N = \{1, 2, \dots, n, \dots\}$. Considering a limited time frame T , and in the local area there are $|\Phi|$ applications asking for federated learning service, denoted as $\Phi = \{1, 2, \dots, k, \dots\}$.

2) Task Processing

In a typical setting, the collected data by local devices is different, which is considered non-iid data in the overall learning procedure. To ensure the fairness and convergence rate, the system needs at least Φ_k devices for local training, corresponding to a specific training model $k \in \Phi$. The arbitrary k -th training model contains three universal characteristics: calculation difficulty q , model size φ , and importance z .

3) Download and Upload

To describe the output capacity of device n , we denote its computation capacity as c_n . For any time $t \in T$, the download bandwidth of the device is recorded as $\mu_{1,n}$, and the upload bandwidth is recorded as $\mu_{2,n}$.

When a task is scheduled to the end device n , we calculate the time cost after finishing the following three phases [13]: downloading phase $t_{1,n}$, local training phase $t_{c,n}$, and uploading phase $t_{2,n}$. The download time $t_{1,n}$ is denoted as,

Before uploading data for a global update, the end device is asked to perform P_{l_k} local rounds. For any end device i , the total time required to complete one global training is

$$t_n = P_{l_k} t_{c,n} + t_{1,n} + t_{2,n}. \quad (1)$$

B. Local Computation and Data Fusion

The primary purpose of the allocation policy is to coordinate the order of tasks Φ and the responding devices i to achieve the optimal task completion performance, including utility gain. One of the difficulties is in quantifying the benefits of allocation action. In this subsection, we define the utility function $U_{r,k}$ as a common evaluation standard to describe the received utility reward after completing r -th global round update. Accordingly, we analyze the association between the convergence rate and the utility gain for each training model.

1) Convergence and Learning Efficiency

There is a trade-off model between the number of global rounds and local rounds. To reach the final convergence threshold ϵ , each task needs to be processed through $P_l \cdot P_g$ local iterations, where P_g is the number of global updating rounds. A global update is denoted that the cloud completes one round of data collection from the local and fuses the weight uploaded by the locals.

2) Calculation Round and Utility Definition

Correspondingly, the necessary global ground is mainly related to the efficiency of model learning Γ , the degree of dispersion of initial weights w^0 , and the convergence threshold ϵ . P_l is the training round completed locally before each global update, denoted as P_l is the training round completed locally before each global update.

Correspondingly, we use $U_{r,k}$ to represent the utility gain, where considering the inner the inherent importance for task z . For instance, in a disaster monitoring scenario, the importance level is defined as the discrete safety level; in an autonomous driving system, the importance level is the importance of object recognition, including signal lights, pedestrians, and railings. It is adjusted according to the initial state of the model itself.

For example, the difficulty of convergence for migration learning is obviously easier to converge than a completely random initial state. It is possible to reasonably set the convergence difficulty based on the statistical results of previous similar tasks, or a more difficult convergence threshold ϵ . We consider that the utility function here is an elastic formula. When the application scenario changes, it can be reset according to the actual situation.

C. System Optimization Goal

The system goal is to ensure that the tasks' neural network weights is converged quickly enough by reasonably distributing the order of multi-task federated learning, which improves the application accuracy of the these tasks. We design the utility function U_k

in which the convergence of federated learning is positively correlated with the income.

During time frame T , there are a total of $|N|$ devices located in $|M|$ edges and jointly serve for $|\Phi|$ of federated learning tasks to realize weight convergence. Considering a time-varying wireless scenario, containing unexpected conditions such as mobility of devices, energy consumption problems, and unstable fading channels, it is not easy to calculate an optimal allocation policy within polynomial time. By applying an optimization algorithm to output the allocation policy, the system achieves the maximized utility value, as well as the convergence constraint, is satisfied, and we have

$$\max \quad U = \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} U_{n,k} \quad (2)$$

where $X_{n,t}$ is a binary indicator whether task k is globally completed at the time slot t .

4. Federated Learning Allocation Algorithm

This section examines how to apply a neural network to output an optimized assignment policy. First, we use an LSTM-based model to process input of network states in multiple dimensions. Then we design the recommended value for each allocation policy, which is the result of our proposed LSTM-based network framework. Finally, to make it practical and apply the system online, we design an online algorithm to calculate the allocation policy to handle the potential network capacity changes.

A. Multidimensional LSTM Model Development

To examine the allocation policies that maximize the optimization goal to optimally preserve both queuing stability and utility, a fully connected neural network can be used to input the current network states and output scores for each allocation plan. Computational complexity is generally reduced and good at processing data together in various aspects, including spatial and temporal data. Although the optimization goal is simplified, the algorithm to solve the NP-hard problem still faces a relatively high complexity. Therefore, we need an overall plan for the optimal resource allocation based on the cloud framework. Even for Q-learning solutions based on artificial intelligence, most assume a momentary global perspective, provided that all computational and communication conditions of all nodes are known. Finally, calculate the optimization plan based on the current and future network status information. Although a general neural network avoids the problem of computational complexity when issuing an assignment policy, it is still limited to the data dimension problems that sacrifice detailed analysis to explore the optimal solution.

The proposed system faces two problems when it returns a near-optimal solution: First, one-dimensional data (channels, storage or computational power) is inefficient for predicting the entire network states. Although a hierarchical network model can be used to coordinate all the outputs of a one-dimensional prediction network, it introduces new challenges in

how to intelligently finalize all types of data to work out an allocation policy. The spatial and temporal properties of the devices should be taken into account as input in order to increase accuracy. Second, the relevance of the allocation policy influences the actual performance. Due to network congestion, device anomalies, and device mobility, the current optimal solution may not match future trends. Therefore, the policies calculated based on the current state may not apply to the next several slots. Therefore, based on multidimensional historical data of the past, we speculate about the allocation policy in force for the current period. Therefore, in this article, we introduce a multidimensional LSTM neural network to overcome the above problems and output an optimized assignment policy to maximize the overall utility of Eq. 2.

Multidimensional LSTM is an effective neural network model for processing multidimensional time series [15]. It is popular in speech recognition, video content, traffic prediction, etc. Based on multidimensional inputs, the model computes a combined prediction or score with time series. For example, the multidimensional LSTM predicts hotel room reservations in the next period, thereby helping the hotel to allocate enough service resources. In this study, the states of the entire network devices are transformed into a time-series sequence and used as the input vector after the time frame t , and the system outputs the candidate assignment policy with scores.

As shown in Fig. 2, the time sequences are considered as input data and the system outputs the detailed scores for each allocation plan. The input vector is processed through the sequence convolution layer, convolution layer and sequence expansion layer under investigation the potential spatial correlation between devices [16] [17]. Then it is fed back into the vector sequence through the flat layer and fed to the classical LSTM layer for analysis in the time dimension. Finally, as shown in Fig. 4, the corresponding estimate for each occupancy plan through the final fully connected layer is calculated. Normally, the system chooses the allocation policy with the highest value to complete resource management in the next period. We also design an online learning mechanism to store and update neural network weights to make the assessment more precise.

B. Input of Time Series Variables

In this study we use an airplane with coordinators in which the federated learning system works. Multiple base stations cover the entire aircraft and mobile devices move on predefined tracks. When the server publishes a specific FL task, the mobile device downloads the model data and completes the local neural network training. In addition, the devices send the trained weights to the nearest base station immediately after completion.

The fusion process of network weights usually occurs in two ways: synchronous and asynchronous. We assume that the fusion process will be completed synchronously in this scenario. The merging process

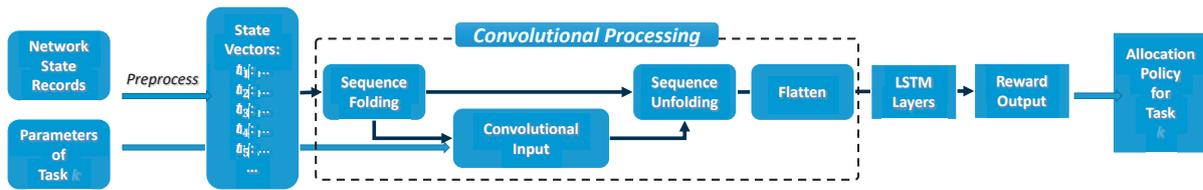


Fig. 2. Utilize LSTM model with convolutional layers to calculate the data relevance of time and space through the pre-defined process of sequence expansion and convolution.

begins after multiple devices update their training results. In addition to the unstable computing power and power limitations of the mobile devices themselves, the effects of signal-to-noise ratio, interference, multipath propagation and Doppler effect cause the delay in task completion or failure. Therefore, our proposed system should take these factors into account when assigning tasks. When designing the input sequence of the training example, we empirically consider the following factors as input.

- Computation ability. These factors are directly related to the efficiency of processing tasks. For example, considering the performance and frequency of use of mobile devices, we plan the available computing power of mobile devices like the computing power index $C_{n,t}$ changing over time.
- Communication ability. The two most important indicators are upload bandwidth and download bandwidth. In the proposed scenario, we consider the impact of device movement on communication skills. The transmission of the general neural network model is completed within 1 - 10 seconds. Therefore we assume that the motion vector of the device remains unchanged. By considering the effect of distance on the signal-to-noise ratio, all factors are converted into actual bandwidth fluctuations.
- Global serviceability. The influencing factors of user participation are considered. Constant access to network time, signal strength, remaining power, etc. helps determine the possibility of mobile device participation in training as a reputation value.

C. Algorithm Performance Analysis

In addition to the proposed algorithm, we proposed another algorithm based on the deep Q-learning framework [20], and a traditional dynamic greedy algorithm [21] are also introduced. The former one analyzes the correlation of queue vectors through multi-dimensional data input to achieve the optimized solution. The traditional greedy algorithm emphasizes that each decision step is an optimal solution in the current state.

Fig. 3 shows the performance of the system throughput. Due to the prediction mechanism of LSTM, the system infers the potential location of mobile devices some time in the future based on current locations. Thus, the actual system capacity is predicted according to the coverage of the local base stations.

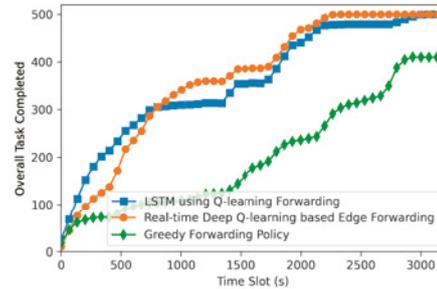


Fig. 3. Performance comparison using the different benchmarks.

Obviously, our proposed algorithm has higher communication throughput. The blue line without real-time learning cannot handle more random changes, and then the throughput is often less than the upper limit. The greedy algorithm only achieves local optimality and cannot guarantee performance in the future. As such, it is unable to handle a long-term global ship update.

5. Conclusion

The application of AI technologies to coordinate remote intelligent task processes is one of the greatest challenges of the present. This paper models the communication resource, computational capability, task convergence and other factors in the edge cloud FL system and integrates them into a single utility as an optimization target of allocation policy computation in a time-varying environment. Finally, we prove through simulation that our proposed algorithm achieves a noticeable improvement over other benchmarks.

References

- [1] Z. Yan, J. Wu, G. Li, S. Li, and M. Guizani, "Deep neural backdoor in semi-supervised learning: Threats and countermeasures," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 16, pp. 4827–4842, 2021.
- [2] C. Zhang, M. Dong, and K. Ota, "Enabling computational intelligence for green internet of things: Data-driven adaptation in lpwa networking," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 15, pp. 32–43, Feb 2020.
- [3] H. Li, K. Ota, and M. Dong, "Learning iot in edge: Deep learning for the internet of things with edge computing," *IEEE Network*, vol. 32, pp. 96–101, Jan 2018.
- [4] X. Wang, Y. Han, C. Wang, Q. Zhao, X. Chen, and M. Chen, "In-edge ai: Intelligentizing mobile edge computing, caching and communication by federated learning," *IEEE Network*, vol. 33, no. 5, pp. 156–165, 2019.

- [5] L. U. Khan, S. R. Pandey, N. H. Tran, W. Saad, Z. Han, M. N. H. Nguyen, and C. S. Hong, "Federated learning for edge networks: Resource optimization and incentive mechanism," *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 10, pp. 88–93, 2020.
- [6] W. Y. B. Lim, N. C. Luong, D. T. Hoang, Y. Jiao, Y.-C. Liang, Q. Yang, D. Niyato, and C. Miao, "Federated learning in mobile edge networks: A comprehensive survey," *IEEE Communications Surveys Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 2031–2063, 2020.
- [7] T. Zhao, S. Zhou, X. Guo, and Z. Niu, "Tasks scheduling and resource allocation in heterogeneous cloud for delay-bounded mobile edge computing," in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 1–7, 2017.
- [8] S. Huang, K. Ota, M. Dong, and F. Li, "Multispectralnet: Spectral clustering using deep neural network for multi-view data," *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, vol. 6, no. 4, pp. 749–760, 2019.
- [9] F. Sattler, S. Wiedemann, K.-R. Müller, and W. Samek, "Robust and communication-efficient federated learning from non-iid data," *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, vol. 31, no. 9, pp. 3400–3413, 2019.
- [10] C. T. Dinh, N. H. Tran, M. N. Nguyen, C. S. Hong, W. Bao, A. Y. Zomaya, and V. Gramoli, "Federated learning over wireless networks: Convergence analysis and resource allocation," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 29, no. 1, pp. 398–409, 2020.
- [11] D. Verma, S. Adhikari, and S. Ray, "Forwarding strategy in sdn-based content centric network," in *Proceedings of the International Conference on Paradigms of Communication, Computing and Data Sciences (M. Dua, A. K. Jain, A. Yadav, N. Kumar, and P. Siarry, eds.)*, (Singapore), pp. 49–62, Springer Singapore, 2022.
- [12] X. Lin, J. Wu, J. Li, X. Zheng, and G. Li, "Friend-as-learner: Socially-driven trustworthy and efficient wireless federated edge learning," *IEEE Transactions on Mobile Computing*, pp. 1–1, 2021.
- [13] B. Dab, N. Aitsaadi, and R. Langar, "Joint optimization of offloading and resource allocation scheme for mobile edge computing," in *2019 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1–7, 2019.
- [14] Q. Zhang, L. Gui, F. Hou, J. Chen, S. Zhu, and F. Tian, "Dynamic task offloading and resource allocation for mobile-edge computing in dense cloud ran," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 3282–3299, 2020.
- [15] U. Yoshimura, T. Inoue, A. Tsuchiya, and K. Kishine, "Implementation of low-energy lstm with parallel and pipelined algorithm in small-scale fpga," in *2021 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, pp. 1–4, 2021.
- [16] A. Azari, M. Ozger, and C. Cavdar, "Risk-aware resource allocation for urllc: Challenges and strategies with machine learning," *IEEE Communications Magazine*, vol. 57, no. 3, pp. 42–48, 2019.
- [17] H. Shi and C. Wang, "Lstm-based traffic prediction in support of periodically light path reconfiguration in hybrid data center network," in *2018 IEEE 4th International Conference on Computer and Communications (ICCC)*, pp. 1124–1128, 2018.
- [18] Y. Wang, Z. Su, T. Luan, R. Li, and K. Zhang, "Federated learning with fair incentives and robust aggregation for uav-aided crowdsensing," *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, pp. 1–1, 2021.
- [19] D. Wang, B. Song, D. Chen, and X. Du, "Intelligent cognitive radio in 5g: Ai-based hierarchical cognitive cellular networks," *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 3, pp. 54–61, 2019.
- [20] C. Zhang, M. Dong, and K. Ota, "Fine-grained management in 5g: Dql based intelligent resource allocation for network function virtualization in c-ran," *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*, pp. 1–1, 2020.
- [21] Q. Kang, H. He, and J. Wei, "An effective iterated greedy algorithm for reliability-oriented task allocation in distributed computing systems," *Journal of parallel and distributed computing*, vol. 73, no. 8, pp. 1106–1115, 2013.

米の消費行動を例とした資源循環型生活様式の提案

土井利次*・谷口秀人*・河西大介*・伊藤潤*・越水重臣*

Proposals with the objective of transformation to a Circular Economic Lifestyle using rice consumption behavior as an example

Toshitsugu Doi*, Hideto Taniguchi *, Daisuke Kasai*, Jun Ito* and Shigeomi Koshimizu*

Abstract

We propose Shopping Transformation (SX), in the hope that this will instigate changes in consumer behavior, in order to transform to a Circular Economy with higher consumer satisfaction, which is becoming the global trend. Using rice as an example, we propose a new system of selling by weight measured at the time of purchase, using a bag made from paper cloth, and a food wrapping material substitute. We will show that it is important to devise ways to incorporate SX (Shopping Transformation) without impacting peoples' existing lifestyle.

Keywords: circular economy, Shopping Transformation, rice, paper cloth, LCA

1 はじめに

英国グラスゴーで2021年10月に国連気候変動枠組条約第26回締約国会議(COP26)が開催され、異常気象など気候変動による悪影響を最小限に抑えるために、産業革命前からの気温上昇幅を1.5℃以内に抑える努力をすべきと公文書に明記された。その実現のためには、2030年までに2010年比で世界の二酸化炭素排出量を約45%削減し、2050年までに実質ゼロにすることが必要となる。産業革命以降、石炭や石油を燃焼させて動力源とし、工業製品を大量かつ安価に生産し流通させることで、世界経済は飛躍的に発展してきた。その一方で、大量生産された製品は大量に廃棄処分され地球環境へ悪影響が生じ、生態系の破壊や気象変動などにより、自然災害や食料不足など直接的な人類への危機を生じさせている。

従来の大量生産・大量消費で経済を發展させる経済モデルは直線型経済(リニアエコノミー)と呼ばれ、企業活動の基本原理であった。しかし、二酸化炭素排出を抑え、サステイナブルに社会活動を継続するためには、資源を循環させ極力CO₂の排出を抑制し、地球環境に負荷をかけない新たな経済モデルが必要となる。そのモデルは資源循環型経済(サーキュラーエコノミー)と呼ばれ、ヨーロッパを中心に世界的に普及しつつあり、各国で資源循環型経済を推進するための制度が導入されつつある。例えば、フランスでは2021年10月に「新鮮な果物や野菜へのプラスチックの包装を禁止

する法令」が施行され店舗、露店、市場での果物や野菜の販売時のプラスチック包装が禁止された。また、ドイツでは2021年9月に「容器包装廃棄物法」が施行され、持ち帰り用の食事や飲料を提供する際に、再利用可能な容器で提供する選択肢を設けることが義務付けられた。中国においても2021年9月に「プラスチック汚染改善行動計画」が発表され、使い捨てプラスチックの使用減少が求められている。

我が国の約14%の人口を占めるZ世代(1990年半ばから2010年代初頭に生まれた世代)は、この資源循環型経済に対して好意的な意見をもつ傾向にある。例えば、価格が高くなったり、不自由になったりしても、自らの消費行動を通じて社会の課題解決に貢献したいかとの問いに対して34.9%が貢献したいと回答し、貢献したくないとの回答に比べて11.7%も上回るなどZ世代以前の世代と比べて意識の変化がみられる[1]。

このように資源循環型経済は重要であるとの認識は消費者に徐々に共有されつつあるが、その活動は国や自治体、生産を行う企業等が取り組むべき課題として認識され、消費者自身が生活様式として積極的に取り込むに至っていない。そこで、資源循環型経済様式を具体的な消費行動として消費者自身が主体的に取り込む方法を提案し、その課題について検討を行った。

2 購買活動における資源循環型生活様式

企業は利潤がなくては企業として存続できず、生産規模を

Received on October 2, 2022

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

拡大し効率的に生産するという経済原理に従うため、企業における資源循環型経済への取り組みは社会貢献の一部としてとらえられ、その活動は通常の企業活動である直線型経済の部分的改善に留まる傾向にある。さらに、Z世代を中心に循環型経済による社会貢献を支持する消費者意識の変化が起こりつつあるものの、国や自治体による法規制や企業の取り組みは、2020年より施行された店舗におけるレジ袋の有料化のように半ば強制的に実施され、消費者が自主的に行動様式を変革するという意識をもつまでには至っていない。

そこで、消費者が商品を購入し消費する際に資源循環型経済を意識した生活様式とする活動を **Shopping Transformation** (以降、**SX**)と呼ぶことにし、その概念を提案する。**SX** は消費者が購入から廃棄までのモノの循環に関するストーリーやコンセプトに共感し、自発的に環境負荷の低い生活様式を選択する変革である。購買活動の従来の概念と**SX**の概念の相違を表1に示す。

表 1: 従来の購買活動と提案する購買活動の相違

	従来の購買活動	SXによる購買活動
製品の素材や生産手法	消費者には公開されない(ブラックボックス的)	素材から流通まですべてオープン
製品の形態	画一化した量産品	多種・少量で個性的な商品
消費者の判断情報	製品の各種仕様情報	製品のストーリー情報
消費者の判断基準	コストパフォーマンス	商品のストーリーやコンセプトへの共感
購買活動	便利で効率的だが機械的	不便で非効率だが人間らしい

SX では消費者は自分の生活様式に適合した商品を体験し(見る, 触れる, 嗅ぐ, 聞く, 操作するなど), 生産者, 販売者, 流通業者, 消費者間などで商品に関する情報共有を行い, 商品の価値を確かめ商品を購入し使用する。具体的な購買活動の変化の例として以下のような変化を予測する。

(1)消費者が循環型経済を意識した尺度で商品を選択し, 環境負荷の低いリサイクル品や廃棄材から新たな価値を付加して製造されたアップサイクル品を積極的に選択して購入するようになる。さらには自らリサイクル・アップサイクルを実践するようになる。

(2)生産者, 販売者, 消費者間でリアルとバーチャルが融合した情報コミュニケーションが可能な新しい販売形態が生まれ, 例えば新たな“量り売り”スタイルが普及する。

(3)大量に購入しストックしたものを消費するというライフスタイルから, 無駄なく, 必要に応じて少量・多頻度に購入し都度消費するという生活様式が定着する。

3 米の消費行動に関する事例検討

2021年は新型コロナウイルスが猛威を振るい, 国内において長期に緊急事態宣言が発令され家庭で食事をとる機会が増えた。**SX**の具体的な事例として日本人の主食である米の消費行動に焦点をあて検討を進める。

東京都墨田区産業観光部経営支援課では産業コーディネータを置き, 区内の中小企業が連携しあい新規ビジネスを創生する活動を支援している。墨田区から区内で精力的に米の小売業を営む合資会社亀太商店(図1)の紹介をうけ, 米の小売に関するヒアリングを行い, 実店舗で販売状況を観察することができた。墨田区ならびに亀太商店からのヒアリングの結果, 新たな米の消費行動に関する行動変容を起こす可能性のある表2に示すような特徴的な消費者が存在することがわかった。



図 1: 亀太商店の外観と店内(文献[2]より引用)

表 2: ヒアリングから抽出された特徴的なユーザの例

属性	既婚の小さい子供をもつ女性	郊外に居住する独身男性
生活意識	子供の健康を意識し妊娠時から無農薬米を購入。価格が高くても安心・安全な食品にこだわりを持つ。	美味しいお米に対するこだわりがある。通販ではなく、時間と交通費がかかっても特定の店に通い米を購入する。

このように比較的若い年齢層で, 米にこだわりをもち価格より米の安全性や味を重視するユーザが存在し, 購入時にはスーパーマーケット等で一般的な 5kg や 10kg の袋単位で購入するのではなく, 少量だが多頻度に購入を繰り返す。このような特徴的なユーザは, 購入時だけでなく**SX**による新たな生活様式に対しても関心が高いことが想定される。

すなわち米の購入, 運搬, 貯蔵, 計量, 洗米, 炊飯, 保温, 冷凍, 解凍, 摂食という一連のプロセスの中でプラスチックの消費削減が可能な(1)購入時における新しい量り売りスタイル, (2)運搬時の紙布という素材を用いたマイバッグの利用, (3)冷凍, 解凍時の紙布を用いた代替ラップの利用の3つのプロセスについて**SX**による新たな生活様式が特徴的なユーザに受容可能であると考えた。

3.1 量り売りのための情報提供システム

顧客が米屋に買いに行くことを考え、その際のカスタマージャーニーマップを図2に示す。

図2において、商品を選択するタスクで最も感情曲線が低くなる。その理由として、入店すると図1のように多くの銘柄があり銘柄を選択する方法がわからず困惑してしまうこと、さらに、店員と対面することが特に初回訪問時には心理的障害となるためである。銘柄選択時に消費者が購入しやすくする方策として、情報システムにより銘柄情報を提供し、選択を支援する方法がある。

米の購入を支援するシステムは作る料理が決まっている場合や米の銘柄の選択方法により、図3のフロー図のように決定され、その選択方法により2つの支援システムが考えられる。

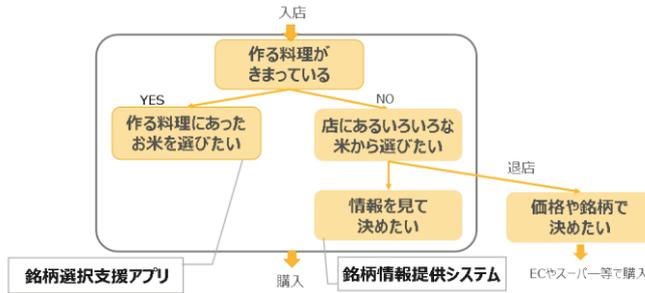


図3: 米の商品購入時のフローと支援システム

作る料理があらかじめ決まっている場合には作る料理にマッチした食味の銘柄を選択したいというニーズがある。そこで、米の粘り感や粒度の特徴により銘柄を分類したデータベースを作成し、料理にあう銘柄を選択できる銘柄選択支援アプ

リを作成した(図4)。このアプリにより、料理ごとに米の特徴に基づき、おすすめの銘柄が複数提案可能となり、提案された米の銘柄の中から好みの米が選択できるようになった。

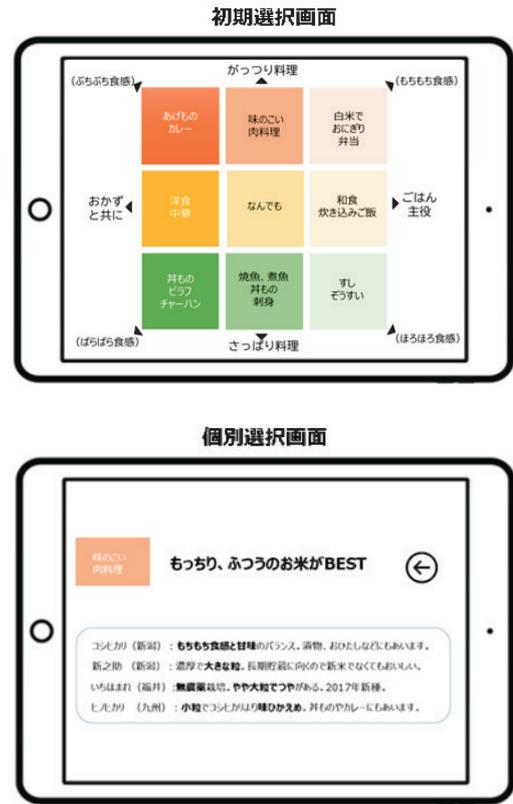


図4: 銘柄選択支援アプリの画面例

一方で作る料理が決まっていない場合、店に陳列してある銘柄の中から好みの銘柄を選びたいというニーズがある。

タスク	事前調査	訪問・入店	商品選択	購入	リピート
行動	・米屋の情報を集める	・店に行く ・店する	・商品を選ぶ	・商品を買う ・商品を受け取る ・ポイントをもらう	・購入計画を立てる ・ポイントを調べる
状況・思考	・どこで買える？ ・どんな種類がある？ ・いくらくらい？ <わくわく>	・遠いと面倒 ・混んでいると待たされる？ ・客が少ないと入りにくい <どうしよう>	・どうやって選べばよいのかわからない ・高くても買わないといけない？ ・ゆっくり選びたい ・店員に話すのがきがひける <困った>	・良い商品が買えてうれしい ・思ったより高い。 ・はやく食べてみたい ・他の商品はどうかだろうか？ <わーい>	・同じ商品がほしい ・どんな商品を買おうか？ ・店の定休日？ <わくわく>
手段	Web	対面	対面	対面	Web
感情曲線					
対策	・店の情報を中心に表示 ・店の差別化	・安心感のある店 ・店の口コミ	・商品の情報提供	・他の商品をすすめる仕組み ・商品をおいしく食べる ときの工夫	・店舗や商品の情報

図2: 米購入行動におけるカスタマージャーニーマップ

店には多種多様の銘柄があり、その中から顧客が自ら銘柄の情報をゆっくりと調べて、好みの銘柄を選択できるように、銘柄情報提供システムを試作した(図5)。このシステムでは商品のポップに情報を書き込んだ近距離無線通信(以下、NFC)タグを張り、それを顧客のスマートフォンで読み取るとクラウド上の情報が顧客のスマートフォンに銘柄情報として提示される。提示させたい情報は簡単に店員が作成することができ、生産に関する情報など銘柄のストーリー情報を店舗ならではの視点で提供可能となっている。



図 5: 銘柄情報提供システムの試作例

3.2 紙布を用いたマイバッグ

紙布とは文字通り紙で作られた布であり、江戸時代には女性の夏の衣料用などに用いられていたが、明治以降に廃れ現在では一般には流通していない織物である。その製法は和紙を細いスリット状に裁断し撚りをかけて糸にし、それを紡織するという工程により作られ手間がかかる。一方で、紙布は表3に示すように和紙本来のもつ吸湿や防臭、抗菌作用がその製法により強化され、耐久性も十分にあり木綿の布と差異はない。また、廃棄する場合には素材が天然由来のため、屋外で土に埋めておくことにより数か月で分解され、焼却したとしても有害物質は発生しないという特徴をもつ。そこで、米を量り売りにより購入し持ち帰る際のマイバッグの素材として紙布を用いることを考える。

表 3: 紙布の性状特性

	紙布	木綿
抗菌活性値	3.4	0.4
ガス減少率(アンモニア)	75 %	35 %
放湿性	6 %	3 %

紙布を用いたシャツなどの衣服を製造、販売している会社は国内に多くないが、その1つに東京都墨田区に本社を置き岩手に工場をもつ株式会社和興がある[3]。和興で用いている紙布は、フィリピンに自生するマニラ麻を原料にしている。

マニラ麻は収穫後 2, 3 年程度で再生し、肥料や灌水は不要であり、木綿や化学繊維と比べて自然環境への負荷が小さい。一方、工場で製品を裁断するときに生じる端材は利用されずに廃棄されているため、この廃棄素材である端材を有効活用することにした。図6に端材の外観を示す。



図 6: 縫製の課程で発生する端材の例 (寸法: 260mm(縦)×520mm(横))

マイバッグを紙、ポリプロピレン(新材/再生材)、紙布(新材/端材)で作成する場合のCO₂排出量をライフサイクルアセスメント(Life Cycle Assessment, 以降 LCA)で比較する。計算は米購入 100kg あたりの LCA とし、各素材の計算条件は以下とした。紙製の袋は市販の1kg 入りのクラフト製の袋(自重 26g)を用い、耐久性を考え 10 回で交換するものとした。ポリプロピレン製の袋はスーパーマーケット等で米を販売するときに使用されている 5kg 入りの袋(重さ 18g)を使用後は焼却処分するものとした。紙布製の袋は重さを 50g として、100 回の繰り返し使用が可能であるものとした。紙布(端材)では廃棄物を利用することから製造に関する LCA は端材の加工処理分のみとし、250W のミシンで 10 分縫製する電力分のみを計上した。排出原単位は文献[4]の数値を用いた。電力の原単位は文献[5]の東京電力エナジーパートナー株式会社の値を採用した。紙袋の製袋の排出原単位は文献[6]の段ボール緩衝材の製函時の平均値を採用した。なお、紙布の原単位は不明であったので木綿布の値を採用した。表4にマイバッグの LCA の計算例を示す。

表 4: マイバッグの LCA (米購入 100kg あたり)

素材	紙	PP (新材)	PP (再生材)	紙布 (新材)	紙布 (端材)
資源採掘から製造まで (g-CO ₂ /g) (A)	2.02	2.60	1.20	2.56	-
廃棄(g-CO ₂ /g) (B)	0.02	2.55	2.55	-	-
排出原単位 (A+B=C)	2.04	5.15	3.75	2.56	-
重量 (g) (D)	260	360	360	50	-
素材の袋への加工(E)	31	-	-	19	19
排出するCO ₂ (g) (C×D)+(E)	291	1,872	1,368	147	19

表4から、紙布は耐久性に優れることから紙製の袋よりも排出するCO₂を低減可能であり、特に端材を利用することで大幅に排出CO₂を削減できることがわかった。その効果はポリプロピレン製(新材)の袋に対して99%と非常に大きく削減できる。

次に、外観形状のデザインについて検討した。米用のマイバッグと同様の機能を有する菓子の包装は種類も多く様々なパッケージのデザインがある。そこで、菓子のパッケージデザインを「機能的」と「象徴的」、「自家需要」と「贈答用」の2軸で整理した。(図7)



図 7: 菓子のパッケージデザインの分類

その結果、「象徴的」かつ「自家需要」の領域では共通性として動物や包装している食品自体と関係している物をモチーフとしたデザインが採用されており、使う楽しさが演出されていることが看取された。この「使って楽しい形状」を米の場合にあてはめ、米の調理法の1つであるおにぎりをモチーフとして採用することとした。

寸法は、3~4名の家族の1回の炊飯量(3合 = 540ml)の米が入る大きさとし、米を持ち帰るときに内容物がこぼれないように口を紐で閉じることが可能な巾着型を採用した。図8に試作品の写真と寸法を示す。

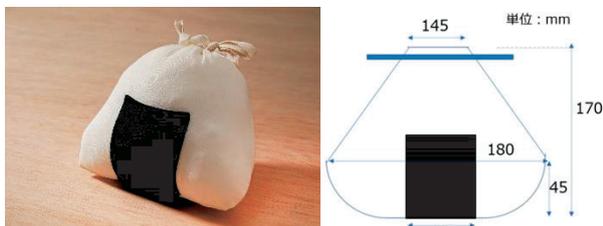


図 8: 試作したおにぎり形状のマイバッグ

3.3 紙布を用いた代替ラップ

家庭で飯を食べる場合に、まとまった量を炊飯し、食べ切れない飯を冷凍し、後日に解凍して使用することが多く、

米飯の保存には、食品用ラップが多く使用されている。

著者の家庭(4人世帯)で、ある1週間に排出されるプラスチックごみを調査したところ、図9に示すように1,784gがプラスチックごみとして排出され、そのうち食品用ラップは154gを占めている。重量比で9%という相当量が含まれている。

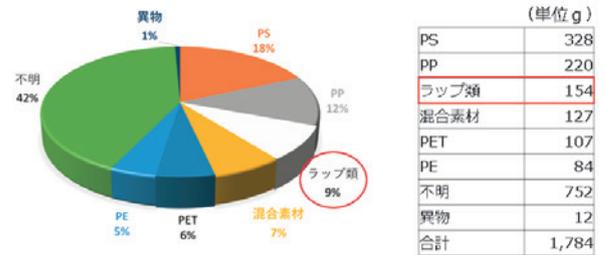


図 9: 4人家庭における排出プラスチック量の調査例

食品用ラップはポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリプロピレン、ポリエチレン、その複合材など様々な素材で製造されており、見た目では素材を分別し難い。また、一部の素材は塩素を含んでいるため廃棄にあたっては高温で焼却する必要があるが、店舗で購入した商品を包む食品用ラップは容器包装リサイクル法上、資源ごみに分類されるという矛盾を生じている。そこで、プラスチック製のラップを用いずに紙布を代替ラップとして使用することを考える。紙布は防湿性や抗菌性を有しているだけでなく、木綿の布にくらべて表面が滑らかで、紙布に水を十分に含ませると米飯が表面につきにくいという性質がある。また紙布は水を含むが通気性がよいため通常のラップに比べ電子レンジでの解凍時に米飯がふっくらとして食味がよいという利点もある。

米飯の保存時に、食品用ラップ、紙布の代替ラップ、ポリプロピレン製密閉容器を用いた場合のCO₂排出量を比較する。計算は200回冷凍と解凍を行う場合のLCAとし、以下の条件とした。食品用ラップはポリ塩化ビニリデン製の幅30cm、長さ50m、重量386gのロールを50cmずつ使用し、使用後は焼却処分する。製造に関する原単位は文献[4]のデータを使用し、焼却については文献[7]のポリエチレンのデータを援用した。紙布の代替ラップは端材を250Wのミシンで10分縫製することで完成するものとし、使用後は都度、食器用洗剤で洗うものとした。電力の原単位は文献[5]の東京電力エナジーパートナー株式会社の値を採用した。また、洗浄のLCAは文献[8]の食器洗い洗剤の使用1回あたりの値を参照し、1回の使用あたり12枚の皿を手洗いできるものとしてその1/12を値として用いた。ポリプロピレン製の容器については250mlで重量が168gの市販容器の仕様を想定し、製造は文献[4]、洗浄は文献[8]の1/12の値、焼却は文献[7]の原単位を用いた。LCAの計算結果を表5に示す。

表 5: 米飯の保存に関する LCA の比較
200 回当たりの排出 CO₂(g)

	製造	使用	廃棄	合計
代替ラップ	19	1,250	0	1,269
食品ラップ	3,119	0	1,235	4,354
PP容器	50	1,250	595	1,895

表5に示すように、紙布製の代替ラップを用いれば、一般の食品用ラップと比べ 1/3 程度に CO₂ 発生を低減できることがわかった。また、ポリプロピレン製容器を用いる場合と比較しても 30%程度の CO₂ 削減効果がある。

次に代替ラップのデザインの検討を行った。米飯の1膳分は 150g であり、米飯を1膳分ずつ冷凍時に包みやすく、解凍後に取り出しやすい形状として、中央部に米飯を置き対角に包む方法を採用し、一方の対角にはスナップボタンを配し、いま1つの対角には米飯の量が増減してもしっかり包むことができるようにゴム紐をボタンに引っ掛けてとめる形状とした。また、米の生産過程で廃棄物として発生するもみ殻を用いて染色した。試作をした写真と図面を図 10 に示す。



図 10: 代替ラップの試作品と図面

実際に代替ラップを用いて米飯を保存したところ、長期に冷凍保存を行うと霜がつき風味が劣化する恐れがあることが

わかった。そこで、NFC タグを代替ラップに貼りつけ、冷凍庫へ収納する時刻と取り出し時の時刻をスマートフォンで記録し、履歴が確認できるシステムを試作した。図 11 に NFC による保管履歴管理システムを示す。

この代替ラップを複数作成し、5名に使用してもらい意見を聴取した。代表的な意見として、使用時に濡れた代替ラップを調理台に置く必要があることや使用後に濡れた代替ラップをしまう場所がないことに起因する衛生に関するネガティブな意見が見られた。また代替ラップは毎回洗浄をしなくてはならずメンテナンスが面倒であるという意見も多数あった。

代替ラップは繰り返し使用できるため環境への負荷が小さく、使い捨ての食品用ラップに比べて安価に導入が可能となるが、衛生面や保守性が劣る場合には普及が難しくなる。

4 おわりに

世界的な潮流となりつつある資源循環型経済(サーキュラーエコノミー)を消費者の立場から生活様式に取り入れるために、消費行動を変革するショッピングトランスフォーメーション(SX)について具体的な3つの手法を提案した。

本研究により環境に対して意識の高い Z 世代を中心としたセグメントに対して、SX により環境活動を強く意識しなくとも、自然に環境負荷を低減可能にする行動の選択を促すことが可能であることを示した。一方で、SX を生活に取り入れることにより、作業の手間が増える、作業が煩雑になるなど利便性が低下する弊害もある。

この弊害は SX を適用する事例により様々であるから、資源循環型経済様式の導入のためには、従来と比べて生活者自身に極力不便を強いることがない生活様式の提案が必要となる。今後、様々な事例に対して SX を検討し、生活者が受け入れ可能なベストプラクティスを増やすとともに、CO₂削減量と連動したポイントの導入など、弊害を補う制度の設計も有効な施策となるであろう。



図 11 :NFC による保管履歴管理システム

謝辞

本論文は、令和 3 年度に実施された東京都立産業技術大学院大学における PBL 型授業の成果をまとめたものである。PBL メンバーである松下昇平氏、高健氏、香田健一朗氏より貴重な意見を得た。

また、プロジェクトを遂行するにあたり、東京都墨田区産業観光部経営支援課には事業者の紹介のみならず、米の小売の実態に関して貴重な意見をいただいた。合資会社亀太商店には、米の小売現場の見学を許可いただき調査に協力をいただいた。株式会社和興には、紙布の製造等に関する情報提供をいただくとともに、端材の提供、紙布を用いた商品の試作に協力をいただいた。ショッピングトランスフォーマーセッション(SX)の概念については、大阪工業大学 福岡雅子准教授、デザイナーの栗原由子氏とのディスカッションがアイデアの創出のきっかけとなった。ご協力いただいた関係各位に篤く御礼を申し上げます。

https://www.env.go.jp/earth/ondanka/supply_chain/gvc/files/jp2017/A2017_001_KAO.pdf

参考文献

- [1] 日経新聞電子版 2022 年 1 月 1 日付記事
Z 世代が消費を変える 「買い物で社会貢献」3 割
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUC14A-PU014122021000000/>
- [2] 合資会社 亀太商店 ホームページ
<http://kameta.sunnyday.jp/newpage2.htm>
- [3] 株式会社 和興 ホームページ
<https://www.wakoh.tokyo/>
- [4] 味の素グループ環境報告書 2006 展開資料
味の素グループ版 CO₂ 排出係数データベース
<https://www.ajinomoto.co.jp/company/jp/activity/environment/report/pdf/2006/p069-080.pdf>
- [5] 電気事業者別排出係数(特定排出者の温室効果ガス排出量算定用)－R1 年度実績－
https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r03_coefficient_rev.pdf
- [6] 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会 技術委員会 包装技術小委員会 包装用緩衝材の LCA 研究報告
<https://gijutsu.jbmia.or.jp/report/rep-lca-tanaka-F.pdf>
- [7] 一般社団法人プラスチック循環利用協会
LCA を考える 「ライフサイクルアセスメント」考え方と分析事例 <https://www.pwmi.or.jp/pdf/panf6.pdf>
- [8] 花王株式会社 サプライチェーン排出量の削減推進方策検討会資料

BlueSkype: a shared virtual 3D world for off-site meetings in nature

Ryota Nakashima*, Yuta Kanmuri*, Hua Hong*, Tatsuro Tomiyama*, Atsuko Sasaki*, Masahiro Tomisugi*, and Hiroaki Tobita*

Abstract

On-site meetings in office environments often involve conventional online meeting platforms such as Zoom and Google Meet that are widely used in real meeting rooms and provide functionality and visualization simple enough to support typical business meetings. However, because such meeting platforms usually have the same functions, meeting attendees are compelled to use nearly the same functions and manners even if their purposes differ. By contrast, conventional online meeting systems take off-site meetings less into account. Therefore, to solve those conventional limitations and realize online off-site meetings in nature, we have designed BlueSkype, a natural environment in a shared virtual 3D world. Therein, meeting attendees are represented by 3D avatars that can move around the 3D world freely, communicate with each other, and interact.

Keywords: Shared virtual 3D world, Communication, Online meeting, Avatar

1 Introduction

Widely used for business and academic purposes, online meeting platforms offer a range of possibilities simply by being connected to the Internet. One of the greatest advantages of online meeting platforms is that they allow conducting and attending meetings at a distance and, in turn, using time more effectively. Such advantages have not only proven to be crucial during the COVID-19 pandemic but have also generated new opportunities for using the platforms. For those reasons, it is important to fully understand how online meeting platforms are designed and what functions they provide.

By mode, online meetings can be roughly divided into on-site and off-site meetings. On the one hand, on-site meetings are typical business meetings held in office environments and thus often replicated in conventional online meetings. For that reason, most of the functions of virtual meetings are the same as in physical meetings; participants gather, share content, deliver presentations, and discuss topics face-to-face in virtual meeting rooms. At such meetings, participants also have to use nearly the same functions and graphical user interfaces (GUIs) in virtual meeting platforms even if different meeting platforms are used. Beyond that, each platform regularly presents attendees as images of their faces set in a 2D workspace. Although the simple layout is effective for visualizing many participants' reactions at once, over time the stagnant images can induce boredom, for the

functions and visualizations are limited. Using the same online platforms in the long term can also induce stress and fatigue, which complicates having creative, constructive meetings. Especially during the COVID-19 pandemic, the mental and physical exhaustion of using such platforms has underscored the importance of promoting relaxation and refreshment in online meetings.

On the other hand, off-site meetings are meetings held not in office environments but elsewhere, often in outdoor environments in nature. Off-site meetings reinvigorate participants and alter their perspectives and minds by offering alternative meeting spaces in new locations. Some meeting platforms use virtual reality to support 3D avatars and environments and allow participants to walk around the 3D scene and freely communicate with other participants. However, such spaces are typically designed for entertainment, not educational or business purposes, and thus lack sufficient tools for presentation and discussion.

Therefore, to reduce the limitations of conventional online meeting systems, we have designed a unique online meeting platform integrating a shared virtual 3D world with the outdoor environment (Fig. 1). Our platform, BlueSkype, focuses on facilitating off-site meetings in nature in order to promote relaxation and a sense of freedom; trees and grasses on the ground simulate an extensive plain, the sun is dazzling, the sky is bright blue, and a pleasant breeze is blowing.

Received on October 2, 2022

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



Fig. 1: Overview of BlueSkype and its several functions to realize off-site meetings in nature.

BlueSkype also controls those elements depending on the purpose and style of each meeting and provides items to enhance meetings (e.g., whiteboard, chairs, and wooden tables) and thereby accommodate a variety of purposes, from casual communications to business negotiations. In BlueSkype, each meeting attendee is represented by a 3D avatar with several functions that enable movement around a 3D scene, communicating with other avatars, and manipulating GUIs. Not only can attendees deliver presentations and host discussions in the 3D scene, but they can also take breaks and relax by simply moving around within the 3D world. To realize our platform, we used Unity, one of the most famous game engines, and constructed a data server to share the 3D scene data in the cloud.

In this paper, we describe BlueSkype with particular focus on its design concept and implementation. The next section describes past work related to our platform, after which Section 3 explains our platform’s design, interface, and implementation. Last, Section 4 discusses our platform and articulates the conclusions of our research.

2 Related Work

Online meeting platforms such as Zoom and Google Meet have been widely used for educational and business purposes. Such platforms basically support 2D meeting spaces and some functions that are similar to ones offered in typical office environments. To enhance

meetings, some platforms focus on interactive functionality to share images and slides, for instance, and visualizations to present participants [1, 2]. For example, Koyano et al. have introduced a unique meeting platform based on open-source software that provides unique functions such as voting, using cartoon characters instead of participants’ faces, and allowing the analysis of discussions [3].

Shared 3D virtual spaces also facilitate online communication. In such environments, each participant is represented by a 3D character as an avatar that allows participants to move around in the 3D space and communicate with other participants, also as avatars, in the virtual space. Some platforms support creative activities in shared virtual 3D scenes [4]. Flat3D, for instance, is a shared virtual world that allows participants to create 2.5D objects freely such that their creations directly change and develop the 3D scene [5].

For online communication, telepresence platforms are useful for capturing physical features [6]. Telepresence platforms depict physical bodies and enable remote participants to control the physical platforms remotely. Thus, remote participants can share information and work with other participants via the platforms. Some platforms use robotics to achieve telepresence by offering several sensors to detect information in the local environment, and some platforms are wearable and work together with local participants.

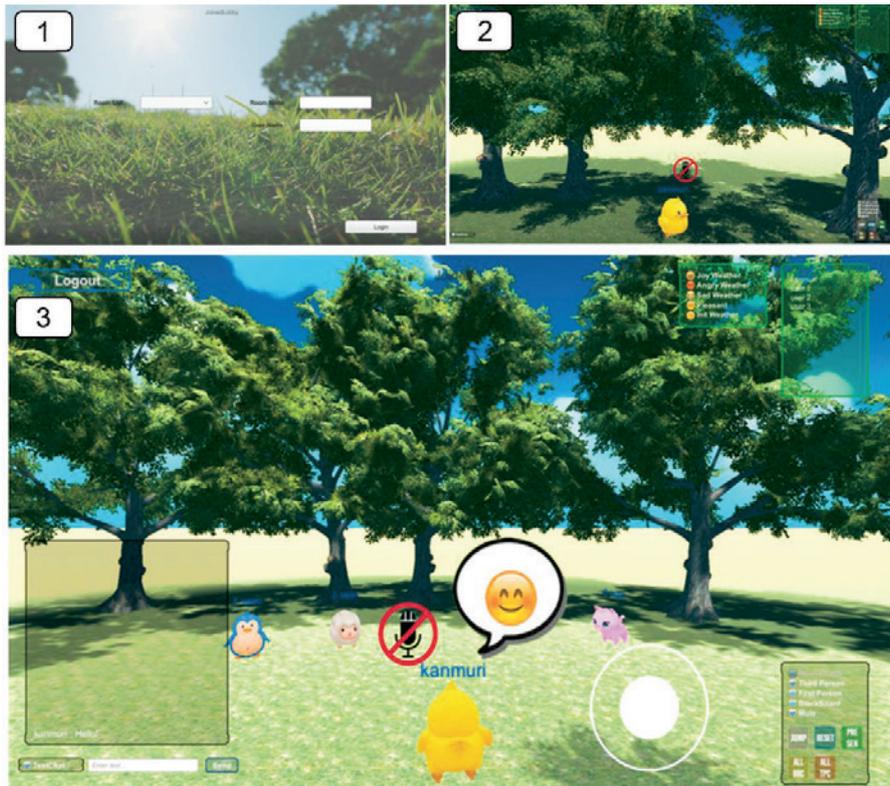


Fig. 2: Entering BlueSkype’s shared virtual world: When a participant logs in to a meeting room, an avatar representing the participant appears. Other participants also log in the same room.

3 System Overview

In this section, we provide a detailed overview of our platform with particular focus on its design, user interface, and implementation.

3.1 System Design

To achieve off-site meetings in nature, we have incorporated many natural elements (e.g., trees, grass, and wooden furniture) in BlueSkype and removed all walls in the scene. The natural elements are designed with low-polygon 3D models; thus, the scene is a simple natural environment that contains some trees and grasses in warm weather. Avatars representing participants can also be changed from formal to casual. For example, cartoon animals are useful for such purposes.

Figure 2 shows how a participant enters a new meeting room. When the platform displays the log-in menu, the participant enters their username and room name (Fig. 2 (1)). The username is an avatar’s name displayed above the avatar, while the room name is used to determine the meeting room. The participant joins a predefined room if the platform contains it or else creates a new room. The

initial scene is shown in Figure 2 (2). Before joining a scene, each participant selects an avatar from some template data (e.g., animal, human, and robot). Once in the 3D scene, the participant may move around the scene and find other participants (Fig. 2 (3)). In the example in the figure, a chick avatar is shown joining a warm natural scene and communicating with three participants respectively represented by a 3D penguin, sheep, and dog. Each participant can show their feelings with facial icons and communicate with other participants using their natural voice.

When an avatar enters the scene, they sense the warm weather, calming sunlight and wind, and birds chirping, all of which induces a sense of being in nature compared with conventional online meeting platforms. The platform also provides different 3D scenes with different natural elements. For example, the platform controls the number of trees, the intensity of sunlight and wind, and the volume of birds chirping. The platform can additionally provide different climates (i.e., sunny, cloudy, and rainy).

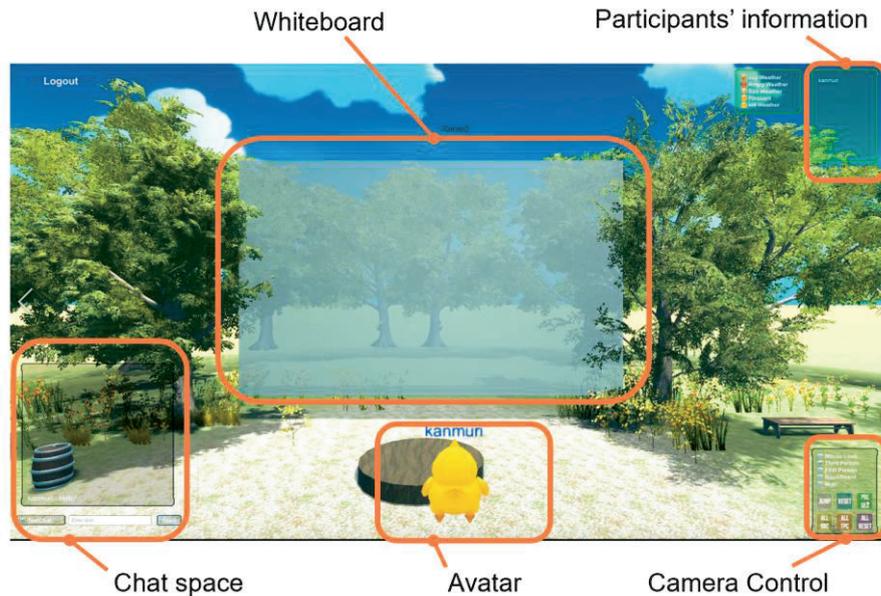


Fig. 3: BlueSkype’s GUIs (e.g., whiteboard and chat space) to support discussions and presentations. By controlling the camera, participants can change their viewpoint.



Fig. 4: Avatar motion: Each participant can interactively control their avatar with a joystick.

3.2 User Interface

BlueSkype’s user interface is divided into two layers: the natural environment and GUIs. The natural environment serves to achieve meetings in nature, whereas the GUIs are used to control avatars, support presentations and discussions, and change participants’ viewpoints. Our platform allows each avatar to communicate with other avatars via voice chat, to show attribute icons, to move around a 3D scene with a joystick, to input messages on a chat board, and share presentation slides on a whiteboard.

To support presentations and discussions, the scene contains GUIs such as the whiteboard, chat board, and action buttons (Fig. 3). Each GUI is translucent so that participants can see the scene behind GUIs and can interactively show and hide each GUI depending on their purposes. On the whiteboard, participants can directly display their local data (e.g., presentation slides and images on their PC) by sharing their desktop

environment. As shown in Figure 3, an avatar prepares their presentation to display a figure on the whiteboard and check its display. The chat board enables participants to input text for chatting via text, while camera control buttons allow them to change their viewpoints (e.g., initial, presentation, and bird’s-eye views). If a participant moves in front of the whiteboard in the presentation view, then they can see the entire scene from the sky from an aerial view.

A participant’s avatar and viewpoint move simultaneously. Participants move around the 3D scene with the joystick displayed as a white circle (Fig. 4) and designed as a white-filled, wired circle. The direction of motion is defined by the position between the filled circle and the center of the wired circle. A participant’s avatar can move left, right, forward, and backward if they move the filled circle to the left, right, forward, and backward, respectively.



Fig. 5: Presentation in BlueSkype: Participants gather at the presentation area where a presenter delivers their presentation.

3.3 Example of Using a Presentation Space

Figure 5 shows how a meeting starts in our platform. In that example, participants have gathered at a meeting space containing a wooden table in front of a whiteboard. There are four participants in the meeting space, and the participant acting as the presenter prepares their presentation by placing slides on the whiteboard. As in typical presentations, presenters can give presentations orally while manipulating the presentation content interactively. Audience members can also issue reactions via icons and by inputting text in the chat during the presentation.

3.4 Implementation

We have used Unity, a game engine, to implement our 3D scenes and avatars [7]. We have also used Photon to achieve a shared virtual 3D world and allow voice chatting. Our current implementation allows 20 participants to attend a meeting at the same time. Although we can create realistic, complex 3D scenes, BlueSkype is a meeting platform, not a gaming platform, and, as such, functions without special units such as GPUs.

4 Discussion

In this section, we discuss BlueSkype with reference to comments and feedback from our laboratory tests, which involved group work and weekly meetings.

The goal of BlueSkype is to realize off-site meetings in nature. Instead of typical meeting platforms that are similar to typical office meetings, participants in BlueSkype can move freely in a virtual 3D world. In our tests, some participants initially moved freely in the virtual 3D world: some moved far from the meeting area, while others manipulated GUIs to check their avatar's activities. However, we observed that all avatars nevertheless assembled once a participant began their presentation using the platform's presentation functions and listened to it in front of the whiteboard. After a simple presentation, participants discussed the topic and exchanged opinions with each other. In the presentation tested, audience members were represented by cute characters, which participants commented minimized any pressure in presenting. Overall, our observations and participants'

comments suggest that BlueSkype can be used for presentations as well as discussions.

BlueSkype also seems able to enhance break times during online meetings. In conventional meetings, each participant is liable to mute their audio and hide their camera image while taking breaks. In our platform, by contrast, some participants took a walk in the 3D world or formed small groups to discuss topics. We received satisfied reactions to the ability to move around the 3D scene freely and communicate via voice chat. Through those activities, participants felt relaxed and had spontaneous chatting about the presentation. Although conventional platforms allow administrators to create breakout rooms for small groups, each breakout room is the same as the primary room. By contrast, our platform enables participants to move around in a space and start chatting without the administrator's involvement. In our tests, we observed that some participants moved to places far from the presentation space and there began chatting.

Our 3D scenes are constructed with simple elements such as low-polygon models. As mentioned in the previous section, we have used low polygons because BlueSkype is not a video game but a meeting platform, so we implemented our platform to operate on laptop PCs. However, we can also use complex polygons and physical simulations simply by changing Unity's functions and parameters.

Navigation techniques to control avatars are necessary to promote communication in 3D scenes. To that end, we provided 3D characters as avatars to represent participants. Some participants commented that it was difficult to control their avatars with our joystick, however. Although we prepared several types of avatars, the navigation techniques remain simple. Thus, by combining other navigation techniques [8], the mobility of avatars can be developed.

5 Conclusion

In this paper, we have described BlueSkype, a platform that supports online meetings in a shared virtual world, especially off-site meetings in nature. We have explained our platform in terms of its design, user interface, and implementation and discussed its practicality in light of comments and reactions from participants. In the future, because we have not finished practical user tests, we plan to evaluate our platform after developing the current prototype.

References

- [1] Gavin Jancke, Jonathan Grudin, and Anoop Gupta, "Presenting to Local and Remote Audiences: Design and Use of the TELEP System," Proc. the Conference on Human Factors (CHI '00), pp. 384–391, 2000. (conference proceedings)
- [2] Milton Chen, "Visualizing the Pulse of a Classroom," Proc. the International Conference on Multimedia (MM '03), pp. 555–561, 2003. (conference proceedings)
- [3] Yuka Koyano, Toshiaki Oguchi, Shingo Akagaki, Hiroyuki Mitani, Takayuki Yasunaga, and Hiroaki Tobita, "Development and Evaluation of Online Meeting System to Promote Effective Communication," Proc. the Future Technologies Conference (FTC '21), pp. 712–725, 2021. (conference proceedings)
- [4] Robert C. Zeleznik, Kenneth P. Herndon, and John F. Hughes, "SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes," Proc. the Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH '96), pp. 163–170, 1996. (conference proceedings)
- [5] Hiroaki Tobita and Jun Rekimoto, "Flat3D: A Shared Virtual 3D World for Creative Activities and Communication," Transactions of Information Processing Society of Japan (IPSJ), Vol.44, No.2, pp. 245–255, 2003. (Journal or magazine citation)
- [6] Hiroaki Tobita, "Gutsy-Avatar: Computational Assimilation for Advanced Communication and Collaboration," Proc. IEEE International Conference on Robotic Computing 2017 (IRC '17), pp. 8–13, 2017 (conference proceedings).
- [7] Unity: <https://unity3d.com>, last accessed November 22, 2021.
- [8] Roberto A. Montano-Murillo and Patricia I. Cornelio-Martinez, "Drift-Correction Techniques for Scale-Adaptive VR Navigation," Proc. the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '19), pp. 1123–1135, 2019. (conference proceedings)

東川町におけるデザインワークショップの可能性

中島 修*

Possibility of Design Workshop in Higashikawa town

Osamu Nakajima*

Abstract

The purpose of this research is to examine the possibility and effectiveness of design workshop for related to vocational education and training projects in Higashikawa town, Kamikawa district, Hokkaido. In this paper, following items are described. 1) Research and review of previous studies on Higashikawa town. 2) The current issue and problems of Higashikawa town and the surrounding areas. 3) Workshop in Higashikawa. 4) "Outsider" as a project promotor.

Keywords: vocational education and training, design, workshop, Higashikawa town, Outsider

1 はじめに

北海道上川郡東川町(以下、東川町)は、北海道のほぼ中央に位置している。大雪山の最高峰旭岳を擁し、その雪解け水を生活用水として使う。立地は、旭川空港から車で10分、旭川市街へは20分程、大自然の恵みと、都市の利便性が存在している地域である。しかし、それだけなら他の農村地域とさほど変わらないであろう。

東川町の最大の特徴は、他の地域から移住者してきた町民が、自分たちの町の地域づくりに積極的に参加し、新しい移住者や往来する訪問者を国籍問わず歓迎する。さらに東川町複合交流施設「せんとびゅあ I」には、日本で唯一の公立日本語学校が共存し併設されている。

他方、東京都市圏の住民は、必ずしも地域づくりに関わってはいない。そもそも人の往来の多い都市では特定の地縁がないと参加そのものが困難であろう。また住民の意思とは関係なく、おのずと集まる大量の人・物・情報の集積と消費が行なわれる。

こうした地域づくりの要件である「住むための環境」を考えたとき、課題はどこにあるか。自然と都市の両面を持つ東川町を東京都市圏に鑑みて考察したい。本稿では、筆者ほか[1]が実践したデザインワークショップを試行事例として、職業教育訓練[2]に関する事業の可能性を考察したが、これらの試行事例を人材育成の具体的な取組みという視点から捉え直し、技能、技術、知識の継承を促すため事業モデルの萌芽として検討した。

(本稿は、The 20th NIO NC International Scientific Conference において、筆者らが発表[3]した内容に大幅に加筆修正をおこない掲載している。)

2 東川町の現状

2.1 先行研究

現状の先行研究事例を、J-STAGE 文献検索で調査すると次のような結果になった。(検索時刻 2022/9/1 23:00)検索ワードは、0)東川町、1)東川町 農業、2)東川町 林業、3)東川町 教育、4)東川町 職業訓練、5)東川町 職業教育訓練の 5 項目である。尚、検索結果の件数は、重複したタイトルも件数に含みカウントした。検索結果は、次のとおりである。

0)東川町 241 件、1)東川町 農業 116 件、2)東川町 林業 37 件、3)東川町 教育 102 件、4)東川町 職業訓練 1 件、5)東川町 職業教育訓練 0 件。

以上をまとめると、農業、林業、インフラ整備に関する論文が 153 件。教育・子育て・小中学校に関する論文は 102 件検索されたが、職業訓練および職業教育訓練に関する論文は 1 件であった。東川町に関する先行研究の中から、本稿の内容に関連すると思われるものから数件とりあげる。

まちづくり、地域づくりの観点から、東郷[4]は、東川町の取組みは、生活の豊かさの実現であるとし、東川町のコミュニティは生活に密着した分野での改革で、市場、行政に並ぶ第 3 の機能を発揮しつつあると評価している。産業振興の観点からは、北島[5]が、木製品・家具装備品製造業の実態を明らかにし、東川町と共に旭川家具という木工家具・クラフトの産地を形成している旭川市の家具製造業の減少について考察している。また、能美[6](2001)は、東川町を擁する上川支庁南部の 14 市町村を対象とした農業の労働者雇用の課題を明らかにしている。教育関連では、村松[7](2006)が小学校就業前の幼保一元施設「ももんがの家」の運営を調査し、幼児・小学校・中学校の連携を効果的な取組

Received on October 2, 2022

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

みと評価している。しかし、後段で述べるように、現状では中学校卒業後の進路として、道立の東川高等学校があるのみで、その他の選択肢が限られている。

このように、人口増加の要因、義務教育終了までの初等・中等教育に関する事例、あるいは、農業、林業、製造業等の産業振興に関する研究はあるが、それらを繋ぐ職業教育訓練の分野での研究は見当たらない。そこで筆者は、就業前の若年者あるいは求職者が定住するには、研究と実践の場を設ける必要があるという問題意識から、この問題に関する調査と研究が必要であると考えた。

2.2 人口推計と産業構成

日本国内の多くの自治体が、人口減少・消滅可能都市化等の問題を抱えるなか、東川町は人口増が続いている。東川町の人口動態は、東川町役場によると、1950年の10,754人をピークに、その後減少傾向が続き、1993年には7,000人を切った。しかし1994年以降は増加傾向となり、2014年に8,000人を超え、その傾向は現在も続き、2022年6月には8500人に到達した。

東川町が手掛ける地域活性化の取組みには、「写真文化首都宣言」をはじめ、「ひがしかわ株主制度」、「クラフトの町」等があり、これらの施策や要因が人口増加をもたらしたと考えられる。その一方で、国立社会保障・人口問題研究所『日本の地域別将来推計人口(平成30(2018)年推計)』を見ると、2020年以降減少傾向になり、65歳以上の人口増加、64歳以下と15歳未満の生産年齢人口の減少を見込むデータが示されている。

2.3 教育機関等の現状と就業の乖離

東川町内の教育機関等を表1に示す。幼児保育教育2件、初等教育4件、中等教育1件、特別支援学校1件、高等学校1件、専修学校1件、日本語学校1件、NPO1件が存在する。しかしながら、初めて特定の地域に住むことや就業を考えた場合、何が必要とされるか。人が定住するための環境の要件として、まず、住む場所と仕事が思い浮かぶであろう。

これらは生活環境を整えるための要因であると同時に、国際交流、福祉、教育、産業、文化、経済、その他の関連分野を発展させる機会にもなり得ると考えた。そこで筆者は、住環境の学びとして、生活の手段でもあるデザインを学ぶ機会を構築することで、学校教育と雇用の乖離を埋める場を作り、職業教育訓練の可能性を探ろうと考えた。

このような学びの場は、地域に生まれ育った者、移住してきた者、誰でも対象になり得る学びの機会として必要である。また、継続的に特定の地域で生活をしていくうえで、衣食住(衣服と食物と住居)のうち、住む環境を整えることは、人間の生活の中で基本的な営みでもある。

表1: 東川町内の教育機関等

種別	名称
幼児保育・教育	東川町幼児センター ももんがの家
	東川こまき保育園
初等教育	東川町立東川小学校
	東川町立東川第一小学校
	東川町立東川第二小学校
	東川町立東川第三小学校
中等教育	東川町立東川中学校
特別支援学校	北海道東川養護学校
高等教育	北海道東川高等学校
日本語学校	東川町立東川日本語学校
専修学校	学校法人北工学園 旭川福祉専門学校
NPO	NPO 法人大雪山自然学校

3 試行的なワークショップ —東川町における実践事例

3.1 デザインワークショップ「写真と建築」

開催期間2018年8月24日(金)から8月29日(水)。東川町において開催した国際交流デザインワークショップ「写真と建築」FAR EAST TRIANGLES [8]は、2013年にウラジオストクのアルセニエフ博物館において開催された第1回の展示イベントから数えて8回目になる。ロシアから10名、日本から3名が参加した(図1)。



図1: ワークショップの様子(撮影:筆者)

東川町は「写真文化首都」としてユニークな活動をしている町として日本だけでなく海外にも広く知られている。そこで「写真と建築(空間)のデザイン」をテーマに、東川町をフィールドにした5日間のワークショップをおこなった。

参加者は町の風景・場所の特徴を写真によるスケッチで表現し、それぞれが見出した場所に、この町に住む写真家のためのスタジオ付き小住宅をデザインした。参加者それぞれが持つ文化的な背景を見つめ直し、お互いに考えを交換し合うことにより、未来に向けた創造的なアイデアを生み出すことが可能であることを体験的に学ぶ機会になったと考えている。

3.2 デザインワークショップ「冬のあかり」

開催期間:2019年2月15日(金)から17日(日)の3日間。来場者は3日間で90名。東川町複合交流施設「せんとぴゅあ I」および東川町立日本語学校を会場に、東川町交流促進課の協力のもとワークショップを開催した。対象者は、東川町在住の町民、留学生、旅行者、国内外で活動している専門家、学生など、誰でも自由に参加可能できるようにした。

デザインワークショップのアイデア発想のきっかけは、北海道の雪景色や氷のある景色への憧れだった。当初、雪や氷の建築あるいは彫刻を作るイベントをイメージしていたが、東川の景色を見ているうちに町の自然そのものの美しさに魅入った。そこで、冬の景色を変化させるよりも、その景色に「あかり」の彩り(ランタン)を添えるという発想に至った。

ランタンの材料は、参加者が自由な発想で家庭にある身近なものを持参した。また材料の見本も初日に紹介し、生活用品の廃材、2mm角のヒノキや紙、タコ糸、針金などを用いた工作の方法を例示した。はじめて会う参加者が一緒につくる、あるいは同じ場所でひとり納得するまで作業する、各々がおもしろおもしろに創作した(図2)。



図2:参加者の作品(撮影:筆者)

そして、最終日は完成したランタンを雪に灯し、共に暖かい時間を過ごした。こうした、人と人の繋がりは“Passive”な講義では、生まれにくい。しかし、“Active”な体験的ワークショップは、コミュニケーションになり得る。筆者は、そこにコミュニティの種があり、地域の交流の媒体になる可能性を持つと考えている。

3.3 デザインワークショップ「茶室をつくる」

開催期間:2019年9月24日(火)から28日(土)。大自然の北海道・東川町を舞台に新しい建築を考えるワークショップを行った。参加者は、首都圏に在住の学生7名。テーマは「茶室(3m×3m×3m)をデザインする」とした。茶室の建設予定地は、北海道上川郡東川町東2号の古民家(改装工事中)の敷地内を想定した。現地で収集した素材のみを使って作成した縮尺1/20の模型を、東川町地域交流センターで展示・発表した。ここには、東川小学校をはじめ、学童保育センターや交流プラザ、スポーツ施設が充実した東川ゆめ公園が併設されている。普段、私たちは都市という環境の中で生活している。しかし、大自然の中で私たちが建築を通して出来ることは何があるだろうか、という問いから、「北海道にふさわしい茶室とは何か。茶室という空間で自分らしさを表現する」ことを模索した(図3)。

仏教(華嚴宗の華嚴経)に「一即多 多即一(いっしょくたすなわちいち)」という言葉がある。筆者の解釈では、「一即多:一つのことは多くの事柄を含む全体であるということ。多即一:多くの事柄に見えても、それは大きな一つのことである。」となる。デザインの創造思考にもこれに似た方法がある。「自己を他者に置く事」と「他者を自己に置く事」の繰り返しにより創造し作品(成果)をつくる。つまり、自己の中に他者の“場のイメージ”を内包すると同時に、他者の中から自己の“場のイメージ”を見出す。そして、これらを一つのビジョンとして捉え、最適解に導く。



図3:参加者の作品(撮影:韓卿浩)

4 職業教育訓練の可能性

筆者は、デザインワークショップが成功にいたる最大の要因とは「あらゆる立場(産・学・官・民、外部からの新規参入者、何にも属さない者、子ども等)を超え、日常で出会うことのない交流から生まれる内発的な創造の場をつくり続けることである重要である。」と考えた。

そして、前述のデザインワークショップの実践から職業教育訓練の可能性を見出し、次の4つの知見を得た。

- ① それぞれが持つ“文化的な背景”を見つめ直し、お互いに考えを交換し合うことにより、未来に向けた創造的なアイデアを生み出すことが可能であること。
- ② **Active**な体験的ワークショップは、コミュニケーションになり、それが“コミュニティの種”になり、地域の交流の媒体になる可能性を持つこと。
- ③ 自己の中に他者の“場のイメージ”を内包すると同時に、他者の中から自己を見出す。これらをひとつとして捉えることで、最適解に導ける可能性があること。
- ④ あらゆる“立場を超えて”日常で出会うことのない交流から生まれる内発的な創造の場をつくり続けることである重要であること。

以上から、文化的な背景、コミュニティの種、場のイメージ、立場を超えて、というキーワードが浮かび上がり、「立場を超えて行なう、個々の文化的な背景を交換し合う体験的ワークショップが、コミュニティの種になり、学びの場を創造する」という考えに至り、新しい事業モデルを展開した。

5 事業モデル

5.1 事業モデルの職業教育訓練的意義

まず、事業モデルの職業教育訓練的意義について述べる。第一にコアとなる技能と技術、第二にビジネス分野、第三に将来のビジョンを検討する。しかしながら、どのように地域のコミュニティに参加することができるのだろうか。そもそも積極的に地域の組織、学校、産業、企業、行政等と繋がることは有益であるかという疑問もある。そこで、人の繋がりは、合理的な契約による連携ではなく、信頼関係を目指すことが有益に働くという仮説を次のように立てた。

第一、コアとなる技能と技術について

事業モデルの前提には、生活環境におけるデザインの職業教育訓練の導入がある。現状の学校教育機関において子どもが手を動かしモノを作ることは、おおよそ小中学校までで、図画工作、技術家庭科、美術などの科目以外は、専門高校(工業・工芸・美術・農林の分野を学ぶ高校)あるいは、工作をおこなうクラブ活動等に入らなければ、体験の機会を得ることは難しい。また、デザインワークショップ実施の際は、ケガ

をしないように細心の注意を払うが、「手を切れば血が出ることは当たり前」という基本的理解を子どもや、むしろ保護者や学校関係者が学ぶことが肝要である。

第二、ビジネスの分野について

学びのためのデザインワークショップとはいえ、運営する以上事業である。営利、非営利、中間的組織など様々事業形態は想定出来るが、組織体系は状況に見合ったものになればよい。そもそもこの事業モデルは地域の寺子屋である。組織を固定しないで、自由度が高い方が、アイデアが広がると考えている、また個々の人脈でつながり、ひとつの事業(ワークショップ)が別の事業につながり、それが個々に持つ既存事業や新規事業の拡大に繋がる。

第三、将来のビジョンについて

生活環境やデザインの職業教育訓練は、刃物の使い方を学ぶことから始まるという側面がある。鉛筆を削り、紙に描く準備が出来なくては、何も始まらない。生活環境、すなわち私たちが生活するために必要な衣食住は、どれも刃物(衣:針・ハサミ等、食:包丁等、住:カンナ・ノミ・ノコ等の道具)の使い方を知ることから学びはスタートする。

この事業の指導方針は、学校教育のなかで少なくなってしまった刃物を使った学びを取り戻すことを展開したい。ものづくりの楽しさや五感を使えるようになるには、まず刃物が危ないということを知る必要がある。子どもは、刃物によりケガをする痛みを理解することで、人を傷つけない人間に育っていく。また大人のDIY(日曜大工)は趣味の延長で易しくみえるが、大人の趣味は本格的な道具を購入する場合もあり、正しい使い方の指導は不可欠である。身近な大人の姿を子どもは見ているのである。そして、この学びは、生活に生きる事業になると期待している。ここで示した仮説は、事業モデルであるが、社会貢献モデルもある。

この事業は持続可能なものになることが最も重要であり、社会貢献をしながら、地域コミュニティへの参加を促すモデルとも考えている。

5.2 持続可能なシステムへ

次に、持続可能なシステムになるために必要なことは何かを検討する。旧来の農山村地域には地域内のしきたり、つまり地元の者でないと知り得ないルールや制約が見受けられるが、この新規事業の連携は、だれもが緩やかな関係性のなかで知識の共有や価値創造を目指している。ここに既存事業と新規事業のクチコミと信頼のループ(図4)が実現する事により、新しい縁、つまり、新たなコミュニティが生まれ、地域外からの移住者や新規参入者でもよそ者扱いされず、動の妨げの無い地域社会の仕組みになる。

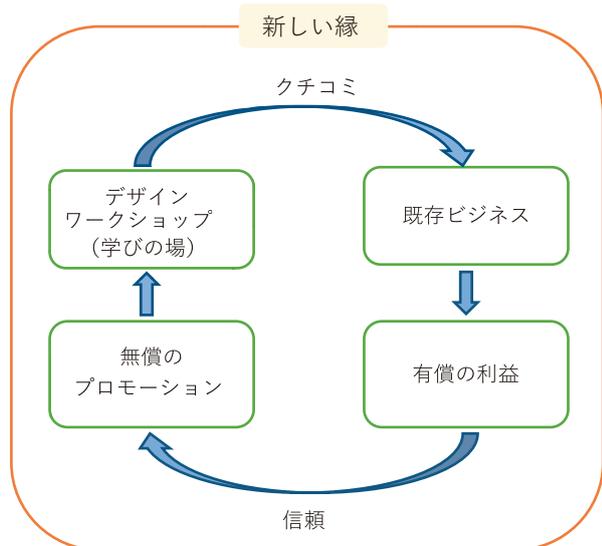


図 4:信頼とクチコミのループ

しかしながら、この事業モデルには「キャッシュフローが見えない」という疑問もあろうかと思う。コストは、デザインワークショップ実施にかかる個人の労力のみ。場所は公共施設を使用することで費用は殆どかからない。その他、実費は地方自治体が協力してくれる。活動をプロモーション費と考えれば実質ゼロである。参加する事業者は、町祭に参加するような気持ちなので、労力を惜しむことはない。本業を優先しながら、一定の自由度を持ち参加することもポイントでもある。

デザインワークショップ(学びの場)と既存ビジネスの2つの関係は、デザインワークショップが駆動エンジンで、既存ビジネスが回収するというモデルになっている。したがって、この事業モデルにキャッシュフローが見えないのは当然である。そもそも、この事業モデル自体が営利を求めているのである。既存ビジネスを活性化させるために付加されるこの事業モデルでは、付加事業を無償で行うため、デザインワークショップから直接利益は享受できない。複数の事業者が連携して、社会貢献に取り組みながら認知を広げ、クチコミによる既存ビジネスの領域拡大から利益を図るモデルなのである。つまり、個々の知的資源を融合する学びの場で、個々の得意とする分野を発揮し、プロモーションやブランディングに活かすというイメージである。また、この事業体は競合という概念が生まれにくいモデルでもある。この事業体は有機的で、唯一無二、権利化はほぼできない。ただし、地域に定着し、社会実装した場合の合意形成をどのようにするかが一番の課題と思われる。

6 結論

本稿では、東川町の職業教育訓練事業の可能性と有効性を明らかにするため、次のことを検討した。

- ① 東川町の教育機関等の現状調査から、中学校卒業後の進路の選択肢が限られていることを指摘し、学校教

育と地域での就業機会の乖離という問題点を明らかにした。

- ② 筆者らが実践した東川町における試行的な3回のデザインワークショップの実践より得た知見から新しい事業モデルの構築を示した。
- ③ 事業モデルの職業教育訓練的意義は、ものづくりに対する基本的理解、地域の人々の生活のための学びの場であり、社会貢献モデルであることを確認した。
- ④ 事業モデルの持続可能性がクチコミと信頼から成り、緩やかなコミュニティの存在が将来の地域形成に寄与すること可能性について言及した。

ところで、この新しい事業モデルの特徴は、たくさんの異なるアイデアが出てきて、それをやってみたら上手くいくという性質のものである。多様な人たちが、それぞれに“Know-How”を持っていて、今までとは違う全く新しいアイデアが出る可能性がある“場”がつけられる。

また、本稿でいう事業モデルの実施者は、そもそも「よそ者」である。従って、各々の立場を超えて、というよりは、地域コミュニティにおいてヒエラルキーの概念が無い。さらに、もとより移動して仕事をする性質もあり、個々の文化的な背景から価値を見出す“目”を持ち合わせているともいえる。逆にそうでなければ、生業は成り立たないと思われる。加えて、同業者同士でこの事業モデルを構築したとしても、上手く行かない可能性はある。なぜなら、多様な異なる知識が融合することで、新しい知識が創造されるからこそ可能性があるのである。

7 おわりに

現在、東川町では、主要産業の次世代育成の学びの場として、木工家具・クラフトの学びの場の開設を検討している。しかしながら、現状では、人材育成をどうするかという課題に対して、町内の家具・クラフト産業は支援できていない状況もある。スキルを持つ人が、他の地域からこの場所を選んで移住することは重要だが、既存の事業者の所得が向上すれば、その地域に生まれ育った人やUターンで後継者が見込める可能性がある。その一方で、もうひとつの主要産業の農業の場合は、新規就農しようと思っても移住者が土地を持つことは難しい。次の世代が暮らしていける事業であれば、自分の子供に農地を継承するためである。こうした地域の課題に対して、本稿で試行したデザインワークショップから生まれる交流やアイデアが地域の次世代を創造するのではなからうか。

2021年1月上旬、新型コロナウイルス感染症が国内で確認されて以後、対面でのワークショップの実施は困難になった。しかしながら、新しい生活様式への移り変わりも進み、徐々に取り組める方法も見えてきている。今後もデザインワークショップの実践から新たな知見を見出す可能性をさらに探っていきたい。

参考文献

- [1] 筆者ほか:本稿におけるデザインワークショップ運営メンバーは筆者の他, 次のとおりである. 関和明(建築史家・建築家), 韓卿浩(建築家・写真家), 小川貴之(建築家), 足立真輝(建築家・アーティスト).
- [2] 職業教育訓練:教育行政と労働行政が一体になり取り組む欧州職業訓練開発センター(CEDEFOP: European Centre for the Development of Vocational Training)では, 職業教育と職業訓練を包括した言葉として用いている. CEDEFOP によると「特定の職業ないしより広範な労働市場で必要とされる知識, ノウハウ, スキル, 能力を人々に身につけさせる目的を持った教育及び訓練」と定義されている.
- [3] Osamu Nakajima and Kazuaki Seki, Possibility of Vocational Education and Training of Architecture and Design in Higashikawa The 20th New Ideas of New Century, Pacific National University, No.2020(2), pp.511-516, 2020.
- [4] 東郷久, 地域づくり論の課題—地域生活および社会経済問題, 大阪経済大学論文集, 第 69 巻 2 号 pp.239-252, 2018.
- [5] 北島滋, 東川町の産業構造と労働市場の動態—木材木製品・家具装備品産業を中心に, 地域研究所年報 9 旭川大学地域研究所編 第 38・39 合併号, pp.1-16, 2017.
- [6] 能美誠, 生産農業所得/戸の推定と変化要因に関する考察, 農業経営研究, 第 39 巻 1 号 pp.99-100, 2001.
- [7] 松村澄絵, 幼保一元化施設運営の取り組み調査—東川町幼児センター「ももんがの家」を通して, 國學院短期大学紀要, 第 23 巻, pp.137-149, 2006.
- [8] FAR EAST TRIANGLES:2013 年日本, 韓国, ロシアの建築家やデザイナー, アーティスト等により結成されたグループ. 多様な分野で活動しているメンバーが各々の領域を越え, 他分野や他地域の人々とアイデアの交換, 文化交流を通して思考の拡張を図り, 人間の未来の環境を構築するための文化的, 教育的, 創造的なプロジェクトを行っている.

サービスロボット向け伝統芸能の振りの体系化検討

－ 連想モデルによる体系化手法の拡張の試み －

成田 雅彦*

Systematization study of Japanese traditional performing arts choreography for service robots

An Attempt to Extend the Systematization Method with Associative Models

Masahiko Narita *

Abstract

Based on Ningyo Joruri, we are researching knowledge on how robots can optimally utilize their physicality, systematization of appropriate gestures for exchanging messages with humans, methods for realizing such gestures, and methods for integrating such gestures into the business field. Although it has been difficult to systematically handle Ningyo Joruri choreography from the viewpoint of its use in robots, our method "Systematizing Ningyo Joruri choreography an associative model" has made it possible to handle it. However, the representation and systematization of the part of Ningyo Joruri that includes dance is complicated and difficult.

In this paper, we attempt to further clarify this issue by proposing a hypothesis and rationale that this problem can be solved by extending the "method of systematizing choreography using the associative model" to include Noh, which is one of the historical origins of Ningyo Joruri.

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

1 はじめに

サービスロボットが人との共存・親和性が求められる業務空間へ展開されつつある。我々は人形浄瑠璃を参考にしたロボット OSONO を開発し[4], 人形浄瑠璃を基調にロボットが身体性を活かし最適に動作するための知見, 人と相互にメッセージのやりとりを行うための適切なしぐさの体系化や, 表現の実現手法, そのしぐさを業務分野へ適応させるインテグレーション手法を研究している。人形浄瑠璃は, 数十種と言われる型を持つが, 台本(床本)には型や振りに関する記載はなく, ロボットでの活用の視点で体系的に振りを取り扱うには困難さがあった。これは, 筆者らの「連想モデルによる振りの体系化手法」により扱うことが可能となった[7][8][9]。しかしながら, 人形浄瑠璃の舞踊を含む部分には複雑で型に相当しない表現が多く, 体系化は困難である[10]。本稿では, 歴史的に人形浄瑠璃の起源の一つである能や, 舞に範囲を広げた分析を加え, 「連想モデルによる振りの体系化手法」を拡張することで, この課題の解決が可能であるとの仮説と根拠を示し, さらなる課題の明確化を試みる。

本稿では 2 章で人形浄瑠璃の体系化について解説し, 3 章にて舞を含む場合の連想モデルによる体系化の課題, 4 章で, 仮説を提示し, 能や舞について必要となる前提知識を説明したのち, 仮説の裏付けについて考察する。

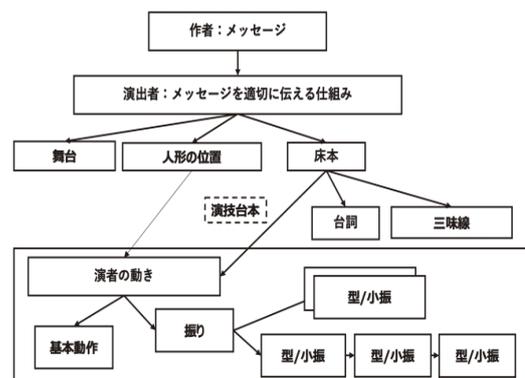


図1: 「しぐさ」生成モデル

Received on October 2, 2022

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

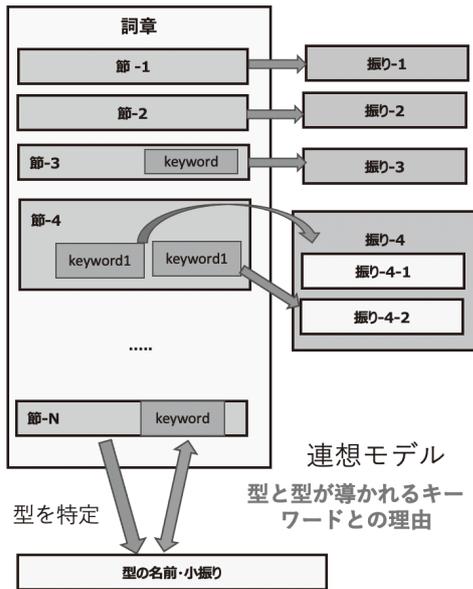


図 2: 連想モデルによる体系化手法

2 人形浄瑠璃の振りの体系化

2.1 振りの生成モデル

人形浄瑠璃の演目において作者の表したいメッセージから演出・振り付けへのブレークダウンする流れを「しぐさ」生成モデルとして既に提案した(図1)[2][3]。振りは、型や、型ほどではない簡単な動き、あるいは、名前のない動き(「小振り」と呼ぶ)、あるいはそれらの組み合わせで構成されている。型は、演技集団によって若干異なるが、男女の型があり、数十ある。例えば、かしらを下向きに回す「くりず」や体をねじって決める「ネジ」、感極まった「後ろ振り」などが著名である。特徴的な動きや型をつなげて区間に相応しい型を新たにつくることもある。「私」、「否々」などが具体的な小振りの例である。多くの場合、一つの区間に含まれる小振りは2個



図 3: 義経千本櫻道行初音旅 中の人こそ知らね西国へに対応する振りをロボット OSONO2 [18]で表現した(左上→右上→左下→右下へ時間が流れる)

以内である。

2.2 連想モデルによる体系化

どのような仕組みで演目の詞章(台本のテキスト部分)から振りが割り付けられているのだろうか。われわれは、その体系化のために連想モデルによる体系化手法を提案している(図2)[7][8][9]。この手法は、(1)詞章は五調や七調で表現されているが、これを単位に「区間」(節)に分割されており、それぞれの区間に「振り」が割り付けられていると考える。(2)各々の区間の振りとその名前を特定し、(3)その型や小振りが区間内のテキストから連想される理由を見出し、対応する区間内のキーワード特定する。このキーワード、連想や理由、振り(型、小振り)の組みを連想モデルと呼ぶ。(4)これにより、連想や理由をキーにすることで振りが体系化できる。結果、この手法により詞章から「しぐさ」を抽出し、演目の中での振りの意味が理解できるようになる。

2.3 連想モデルによる体系化の網羅性

人形浄瑠璃の演目は現在残っているのは150と言われているが、連想モデルによる体系化手法はこれらの中でどの程度有効であろうか。世話物、時代物の概念については3章で触れるが、著名な演目である、世話物の艶容女舞衣-酒屋の段の著名な一シーン「お園のくどき」[7][8][9]、伽羅先代萩御殿の場、時代物の絵本太功記尼崎の段、近松門左衛門作の「姫山姥(こもちやまんば)」をベースとした新作の時代物である「坂田金時 怪童丸物語 足柄山の段」(相模人形芝居下中座 林座長演出)[6]を検証したところ、本連想モデルによる分析が可能であった。頻度の高い型に注目すると、これら4つの演目における型は、型[5]全体の76%になる。演目に含まれる型の数と、人形浄瑠璃の型の数との比率でおよその網羅性がわかるとすれば、これら4つの演目を分析することで、時代物、世話物の演目のほぼ全ての演目の型・小振りの体系化が可能と言える。

3 人形浄瑠璃と舞踊

人形浄瑠璃の分類には、人々の生活や風俗などを背景とした世話物と歴史上の人物や事件を扱った時代物、江戸時代以降に作られた新作、舞踊的な動きを主にした景事の区別がある。2.3で述べた連想モデルによる体系化は世話物、時代物、新作に有効であるが、景事で有効かどうかは本稿の問題意識である。この景事として演目「義経千本櫻の道行初音旅」を選び検討する。これは、現代でも「千本櫻」やCGキャラクター「初音ミク」など影響を与えている。道行初音旅の内容は、都を追われた義経が瀬戸内海を西に逃げたが嵐で妨げられ吉野に入ったという情報を得た静御前が、義経を追って供の佐藤忠信と吉野山に入って行く道中を舞中心に描いたものである。

3.1 道行初音旅の構造と連想モデルによる分析

古典芸能の舞踊は、置・出端・くどき・踊り地・散らしの構成を持ち、道行初音旅もそのままではまる。それぞれの冒頭には名文句が配置されている。道行初音旅は約 35 分の演目であるが、世話物などの演目の分析と比較しやすく、歌舞伎、日本舞踊にも対応箇所があり、また、演目全体の説明となっている「静のくどき」の部分を取り上げ分析する。この部分のテキスト[1]は以下である：

人こそ知らね西国へ、御下向の御海上(かいしよう)、
波風荒く御船を、住吉浦に吹き上げられ
それより、吉野にまします由、やがてぞ参り候はん。

図 3 は、対応する二代目桐竹紋十郎 (1970 年) [12]の演技のポーズ(以降、A と呼ぶ)を、浄瑠璃人形を参考にしたロボット OSONO2 [8][9]で表現したものである。このロボットは高さ 23 cm で片手に 2 個、腕に 3 個のアクチュエータ、腰に回転、胴の前後、膝を設定し合計 15 のアクチュエータを持つ。この部分の連想モデルによる分析を表 1 に示す。表 1 では、

表 1: 「静のくどき」の連想モデルによる分析

区 間	区間の詞章と 連想キーワー ド(太字)	連想を導く解釈・理 由	振り(#は型 を示す)
1	人こそ知らね 西国へ	理由不明* 西国を指す	左手をあげ* 右手をあげ 指す
2	御下向の御海 上	義経への敬意を示す 理由不明* 理由不明の振り* 次の準備	扇を捧げて 一礼 扇を広げ
3	波風荒く御船 を	波風荒い様を模す	扇をひらひらと下げ落とす
4	住吉浦に 吹き上げられ	船を漕ぐ様を模す 難破を模す	扇で漕ぐしぐさ 扇を放り上げキャッチ
5	それより 吉野にまします 由	義経を目指して走る 見上げることで吉野山を表す 理由不明の振り*	下手から上手へ走り、決める(#ネジ) 上手を見上げる
6	やがてぞ参り候 はん	向きを変えることで長い道のりであることを示し、見上げることで吉野山を目指していることを表す 理由不明の振り*	下手に回り込んで、キメ(#後ろ振り)、見上げる

*本文参照は本文参照

分割された詞章(区間、節)、それぞれ割り付けられた振り、割り付けの理由が示されている。表 1 の振りの記載は浄瑠璃名作集(下)[11]を参考にした。区間の意味にほぼ沿った振りが対応している。ただし、それ以外に理由不明(*)の振りが多くの区間に現れている。振りの記載は煩雑になるので区間 1 のみ 3.2 で示し論じる。

3.2 詳細分析と課題

表 1 の区間 1 の詞章 人こそ知らね、西国へ は連想モデルによる分析では「西国へ」がキーワードで、振り付けの理由は西国を指すため、対応する振りは「右手をあげ指す」である。区間 1 に対応する実際の演技(図 3)を見ると、西国を「指す」ポーズは図 3 の右下のみである。ただし、この演技では浄瑠璃名作集(下)では「左で指す」になっているが、違いは 4.3 で述べる。表 1 の「左手をあげ」からの一連の振りは、振りつけられた理由が不明なので、連想モデルの分析では「理由不明」とした。A の演技では、右手を水平にあげて、構えの位置(下)へ戻し、さらに前に回しながら上げてから、下に降ろし、左手を水平に上げ前に出し「指し」ている。扇を用いた華やかな動きではあるが、理由や意味がわからない。別の振りとして、同じ人形浄瑠璃の三代目吉田蓑助(1984 年収録)[12](以降、B と呼ぶ)の振りをみる。右手を水平にあげてから、下へ降ろし、その後、上へ腕を回したのち、構えの位置(下)へ戻し、続いて腕を水平に前に出し「指し」ている。違いは西国へと指す際、右手で行うか、左手で行うかである。同じ演者でも 2009 年収録の演技では [25](以降、C と呼ぶ)、はじめ両手を下ろした構えを続けたのち、右手を水平に上げ、そのまま上げ、腕をやや下へ回したのち、水平に前に出し「指し」ている。これは動きが洗練されたように見える。このように演者や時期によって多少の違いはあるが、この部分は人形浄瑠璃の型には含まれない、扇を用いた一連の特徴的な振りであることには変わりがなく、これらを単純に説明することは困難である。すなわち、ストーリーの骨格部分は連想モデルの分析で十分表現できるが、この小振りの部分は、2.1 で想定していた簡単な動きや意味を表わすものではない。一方、演技の視点では、この部分は舞に特有な飾りのように華やかさを表しているとも考えられる。すなわち、本稿ではこの華やかさの元になる振りを扱う。

4 人形浄瑠璃と能・舞の歴史

本章では、3 章の課題に対し、4.1 で仮説を提示し、4.2 にて前提知識として、能の歴史、能の構造と型について解説し、4.3 以降、仮説を裏付ける例を示し考察する。

4.1 仮説

人こそ知らね西国への特徴的なポーズは能の所作単元(型)に類似しているようにも見える。3.2 の課題は、景事を含

めた人形浄瑠璃の振りの体系化であるが、ここで、以下の仮説を提案する。すなわち、(1) 能や舞いに研究範囲を広げて分析を加えることで振りの理解が進み課題を解決できるのでないか。実際、「義経千本櫻の道行初音旅」の主役の静御前は白拍子であり、静御前の舞が、4.2 で述べる能の白拍子所以の曲舞の要素を含んでいても違和感はない。(2) さらに、「連想モデルによる振りの体系化」を拡張することで、分析対象を能や舞など、人形浄瑠璃以外に拡大することができるのではないか。

4.2 人形浄瑠璃と能の歴史

能は 1400 年代に観阿弥が当時流行していた白拍子の舞を引き継ぐ曲舞(くせまい: 白拍子舞)を取り入れ、人形浄瑠璃は 1570 年代に能あやつりとして三番叟の演目として能を取り込んでいる。世阿弥は、七五調の歌の部分を増やしていった[14]。歌舞伎は人形浄瑠璃の影響と強く受けており、日本舞踊は歌舞伎と強く結びついて歌舞伎舞踊として発達した。日本舞踊では、「標準日本舞踊譜」[13]などにより数百に及ぶ型の標準化が進んでいるが、「羽根の禿」など比較的小規模の演目の他は、コンテンツである型付け(振り付け)は出版・公開されていない。前出の「義経千本櫻の道行初音旅」は歌舞伎でも「道行初音旅」として取り入れられ、日本舞踊でも「吉野山」という演目になっている。能は、戦国時代、武士階級にて奨励され、1500 年代から下間仲孝「少進能集」[18]をはじめ、現代まで大量の文献が存在する。型は数百あり、演目の主要部分の「型付」(演技)も出版されている。日本舞踊、能で型の数が人形浄瑠璃に比べて多いのは、手足の動き、扇の持ち方や使い方など細かい動きを含めて型として扱っているからと考えられる。人形浄瑠璃の人形では、細かい表現が困難なため、詳細な分類が現実的ではなく、結果、比較の意味に近い分類になり数が少なくなったと思われる。

4.3 歌舞伎・日本舞踊での道行初音旅

能では道行初音旅に類似な演目は、吉野静、二人静があるが、同じ設定のものはない。歌舞伎の道行初音旅[23]では、人形浄瑠璃「道行初音旅」とほぼ同じ設定であり、3.1 で述べた人こそ知らね西国への句がそのまま語われている。また日本舞踊は「清元 吉野山」[21](以降、D と呼ぶ)、「吉野山」[22](以降、E と呼ぶ)、歌舞伎は「道行初音旅」(以降、F と呼ぶ)が同様の設定で、分析対象の句が含まれている。D、E の振りでは、浄瑠璃名作集(下)の記載と同じで、左腕を水平に上げてから、右腕を上げ、下へ回しながら右手で指している。これは、浄瑠璃名作集(下)の記載は、A、B、C と異なるこのような振り付けが、1951 年時点では行われていたことを示している。F では、D、E の「左腕を水平に上げてから」が省略され、右腕を上げ、下へ回しながら右手で指している。いずれ

の場合も飾りのような動きで華やかさが表現されている。

4.4 能の構造と所作の解説

夢幻能一曲の典型的な構成は、ワキの登場、シテの登場、ワキとシテの応答、シテの物語または仕事、シテの中入、アイ狂言の説明、ワキの待ち受け、後シテの登場、後シテの詠嘆・舞など、結末、となっている[14]。このうち、ワキとシテの応答、アイ狂言の説明、ワキの待ち受けは会話が中心であり、シテの物語または仕事、後シテの詠嘆・舞などは舞の部分である。

能の所作単元は基本的なものに、「シカケ」、「ヒラキ」、「身ヲ入レ」、「サス」、「打込ミ」、「上ゲ扇」、「サユウ」、「カザシ」などがある。また、所作には演目に依存しない一連の定型的所作とその演目に固有な非定型的所作がある。定型的所作には、「サユウ→打込→下居(座る)」、「サユウ→打込ミ」、「打込ミ→上ゲ扇」などがある。詞章に合わせて意味をつけることもある[24]。

4.5 能の所作単元を用いた振りの解釈

4.3 で述べた人こそ知らね西国へにあらわれる人形浄瑠璃の振りをとりあげ、能の所作単元の言葉[15][39]で解釈できるか、その可能性を検証する。以下はその試案である。

(1) 両手を下げて構えの位置

ヒラキが相当する。

(2) 右腕を肩に水平に上げる

右腕を先立て前に出るシカケが当てはまる。

(3) 左腕を肩に水平に上げる

この振りは日本舞踊 D、E に現れる。左を先立て左に出、右を先立て右に出るという、能のサユウのうち、左の片ザユウに近い。

(4) 右腕を高く上げて降ろす

人形浄瑠璃 A、B では、水平に上げた腕を前に下げ、顔前から上げる。これは扇を横から頭の前を通して、胸先前方へ出すサシテ(オロシザシ)に近い。右手を頭上から前へ降ろす「サス」も近い。日本舞踊ではこの振りと、次の振りとが一体化している。

(5) 右腕を下回りで右を指す

人形浄瑠璃 A では上げた腕を右横から下、下から水平に移動し指す。これは扇を下から前に出して対象をはっきり指す能の「ツキザシ」に近い。人形浄瑠璃 C では(3)はなく、腕を水平から上げ、降ろし、下から水平に移動し指す。これも「ツキザシ」に近い。日本舞踊 D、E では浄瑠璃 C に近く、後ろから下ろし前下を通り、水平に腕を移動しているので「ツキザシ」にあたる。

(6) 左を指す

「西国」を指すときに、A のみに現れる。右を構えに、左を先立てる。「左ノ片ザユウ」か、他との類似性から左手による「ツキザシ」であろう。

表 2：区間 1 (表 1) 詞章の句に対応する演者毎の振りの所作単元 (能の) による表記試案

詞章の句 演者	人こそ	知らね	西国へ
人形浄瑠璃 A	シカケ	サシテ	左のツキザシ
人形浄瑠璃 B	シカケ	サシテ	
人形浄瑠璃 C	ヒラキ		シカケ+サシテ
日本舞踊 D	左の片ザユウ	ツキザシ	
日本舞踊 E	左の片ザユウ	ツキザシ	
歌舞伎 F	ツキザシ		

これらの結果から、表 2 に示すように、対象の人形浄瑠璃の振り A, B は、能の所作単元により、「シカケ→サシテ (→「左の片ザユウ)」と解釈でき、人形浄瑠璃の振り C は、「ヒラキ→シカケ→サシテ」と解釈できる。日本舞踊の振り D, E は、左ノ片ザユウ→ツキザシ、歌舞伎の振り F は、ツキザシ と解釈できた。即ち、表 1 の区間 1 における、詞章に対応する演者毎の振りを能の所作単元で表記できることがわかった。また、詞章の西国へに対する振りが、人形浄瑠璃、歌舞伎、日本舞踊とも共通にツキザシであるのが興味深い。

本稿では僅か一つの句について検証し試案を提示したにすぎない。今後、こうした対応が有効であるか、多くの例を検証していく必要がある。

4.6 連想モデルの手法による能や舞の分析の試み

この節では連想モデルの手法が能の分析がどこまで有効かを一例をあげ検証する。連想モデルの手法では、詞章と適切な区切りを前提にしている。能は 4.4 で述べたように会話部分と舞の部分から構成されており、詞章をベースに、およそ七五調で区切りが可能である。型付けに関しては、型附け本[19][20]などから個々の区間に対して移動を含む所作単元が割り付けられていることがわかる。したがって、2.2 で述べた連想モデルの手法 (1),(2)までは作業をすすめられる。例として、著名な世阿弥作「井筒」の序の舞 (4.4 の後シテの詠嘆・舞に相当) [16][17]の一部を取り上げ、前出の型附け本[20]をベースに、(1),(2)まで作業をすすめたのが、表 3 である。振り情報は人形浄瑠璃と比較しやすいように、移動のみの所作は「移動」と表記した。

「井筒」は、在原寺を訪れた僧の前に現れた在原業平の妻の霊が、業平を懐かしむというストーリーで、伊勢物語のいくつかの歌が使われている。分析の対象は、序の舞で、件の霊が業平の衣装 (冠直衣) をつけて現れ、幼少のころ業平と丈比べをした井戸 (井筒) を覗き業平を見出して懐かしむ舞である。樋口一葉の「たけくらべ」の下敷きになったとされている。

2.2 で述べた連想モデルの手法 (3) における連想や理由は、表 3 の個々の区間の振りに従って、「見る、覗き込む、泣く、を表現するため」となる。

区間 8 のサシテの選択理由は「意味不明」とした。また、3.1 で述べた舞を含む人形浄瑠璃の分析中にも選択理由が「意味不明」となる箇所が出現している。これらの箇所の振りは「飾り」の役割をもっているように見えるので、仮に、選択理由を「飾りのため」とするのも妥当かもしれない。

即ち、このように振りの選択理由として「飾りの振り」などを許容することで、連想モデルの手法を拡張すれば、能や舞についても連想モデルの手法を適用できると期待できる。

4.7 連想モデルの手法による能の分析の課題

4.3 の分析の試みを通して明らかになった以下の課題について述べる。

- (1) 能の特徴的な動きであるシカケ、ヒラキ、身ヲ入レ、サユウ、サス、打込ミ、など、移動、腕の型 (4.6 ではサシテがそれに当たる) は、頻繁に出現するが、もともと強い意味づけをもっていない。これらを演技の中で、どう詞章との意味付けするか。「サス」などは見るときにも対応することがある。の 4.6 で述べた「飾り」という考え方や有効だろう。
- (2) 演技速度について比較すると、人形浄瑠璃のお園のくどきでは、23 節を 6 分で演技し、一つの節あたりは 16 秒である。一方の能では井筒序の舞は 22 節を 8 分で演技し、1 振り当たり 22 秒で、人形浄瑠璃の 7 割程度で遅い。能の動きをロボットの振りに単純に

表 3: 能「井筒」(一部)の連想モデルによる分析試行

区間	区間の詞章と連想キーワード(太字)	連想を導く解釈・理由	振り(#は型を示す)
1	さながら 見みえし	見る	#サシテ
2	昔男の 冠直衣 は	見る	扇下より上げ、頭にかざし(#カザシ扇)
3	女とも 見えず	見る	扇下げ
4	男なりけり	-	(移動)
5	業平の面影	井戸を覗き込む	下を見込む
6	見れば懐かしや	井戸を覗き込む	面直し
7	我ながら 懐かしや	泣く準備	面フセ
8	亡婦魄霊(ぼうふは) くれないの姿 は	理由不明 姿を見て悲しいので泣く	#サシテ, #合掌
9	萎める花の色無うて	-	(移動)

対応させても違和感が生じるので、ロボットへ活用する際は、効果的な手法を用意すべきである。

- (3) 連想モデルの手法による能の型付けの分析が人形浄瑠璃と同程度にできるとすれば、能の演出者の立場で、振りつけする手段が得られたことになる。これを活用し、サービスロボットの振りの生成に効果的な活用法が得られる可能性もある。

5 おわりに

人形浄瑠璃の舞を含む部分を表現し体系化するには、人形浄瑠璃の型に相当しない部分が多く、複雑になり困難であった。本稿では、能や、舞に範囲を広げた分析を加え、「連想モデルによる振りの体系化」を拡張することで、こうした課題の解決と、能や舞そのものの分析ができるとする仮説を提示した。さらに、人形浄瑠璃の演技の振りを能の所作単元で表わすことができることや、「飾り」の振りという考えかたを導入した能の分析例など、わずかながら裏付けも示した。また、関連する課題にも触れた。舞のポーズは世話物とは異なる豊かさがあり、サービスロボットへの適用が期待できる。今後、この仮説をベースにして、能、舞などの調査・検証を進め、これらの振りのエッセンスをロボットに取り込み豊かな振りの実装につなげていきたい。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 20K12011 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 鶴澤八介, 床本集, 1997
<http://hachisuke.my.coocan.jp/yukahon.html>, [online]
- [2] 成田雅彦, 中川幸子, ロボットユーザインタフェースの提案と検討 - 人形浄瑠璃を参考にした身体性と振りについて-, 産業技術大学大学紀要, Vol 3,61-66 pp, 2019
- [3] Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa, "Physical properties of service robots which is referring to Joruri pup-pets", pp. 158-162. IEEE/IIAI AIT 2019, YOGYA-KARTA, 2019
- [4] Masahiko Narita, Sachiko Nakagawa, "Development of OSONO, a service robot with reference to "Joruri puppet", and its Choreography", IJSKM International Journal of Service and Knowledge Management, pp.54-70, 2020
- [5] "相模人形芝居の世界," 昭和女子大学光葉博物館, 2016.
- [6] 大谷津早苗, "人形浄瑠璃の型と振りー相模人形芝居の事例からー", ロボット学会ネットワークを利用したロボットサービス研究専門委員会招待講演, 2021/3.
- [7] 成田雅彦, 中川幸子, サービスロボットの視点から連想モデルを用いた人形浄瑠璃の振りの体系化,日本ロボット学会誌 Vol. 40 No. 3, pp. 263~266, 2022
- [8] 成田雅彦, 連想モデルを用いた人形浄瑠璃の振りの体系化とサービスロボットへの実装の適用, 東京都立産業技術大学院大学研究紀要 No. 15, pp. 43~50(2021)
- [9] Masahiko Narita, "Extraction of Choreography for Service robots from a Ningyo Joruri's Acting script by the Associative model," Proceedings of IIAI AAI 2021-Winter (11th International Congress on Advanced Applied Informatics), 2021/12
- [10] 成田雅彦, サービスロボットの動向とサービスロボット向けの要素技術, 日本ロボット学会学術講演会オープンフォーラム講演, 2022-
- [11] 浄瑠璃名作集(下), 新註国文学叢書, 1951 年
- [12] 人形浄瑠璃文楽名演集 義経千本桜, NHK エンタープライズ, vol.4, DVD, 2010
- [13] 東京国立文化財研究所編, 標準日本舞踊譜, 柏出版, 1966
- [14] 山中玲子, 能の型と記録の歴史, 日本ロボット学会学術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, 2022/3
- [15] 横道万里雄編, 岩波講座 能・狂言 別巻 能楽図説, 岩波書, 1992
- [16] 青木道喜, 観世流仕舞 井筒,
<https://www.youtube.com/watch?v=9NhDgKVxovs>, [online]
- [17] 鑑賞みちしるべ, 能「井筒」, Izutsu Teatro Noh,
<https://www.youtube.com/watch?v=GZ6PB59EKuY>, [online]
- [18] 西野春雄校訂, 小進能伝書, 下間小進集 II わんや書店, 1973
- [19] 観世左近, 観世流仕舞入門型附, 檜書店, 1998
- [20] 観世左近, 観世流仕舞稽古型附三, 檜書店, 1993
- [21] 藤間勘十郎, 「清元 吉野山」藤間流, 2020
https://www.youtube.com/watch?v=Ij_3QIDy5L8, [Online]
- [22] 坂東寛二郎・坂東寛遊兔, 日本舞踊「吉野山」, 2014,
<https://www.youtube.com/watch?v=w7v9jyyfxuc>, [Online]
- [23] 市川猿之助 坂東玉三郎, 歌舞伎「義経千本桜」忠信編 道行初音旅, 歌舞伎座, 1992,
<https://www.youtube.com/watch?v=DKC2KyIfDAs>, [Online]
- [24] 横道万里雄編, 岩波講座 能の構造と技法・狂言 IV , 岩波書, 1993
- [25] 吉田襄助, 道行初音旅, 大阪国立文楽劇場 , 2009,
<https://www.youtube.com/watch?v=dFH-8vA9YiM>, [online]

アフリカにおけるDXの潜在的ニーズと可能性 —ウガンダ共和国での女性支援事業の事例を元に

早坂麗子*・伊藤潤*

Latent Needs and Possibilities for DX in Africa -Based on a case study of a women's support project in the Republic of Uganda

Reiko Hayasaka* and Jun Ito*

Abstract

In Japan, digitalization of business operations has been called for in recent years under the keyword Digital Transformation (DX), and there is a potential need for such digitalization in developing countries as well. The United Nations and African countries have focused on poverty alleviation and the improvement of health and medical care since independence, and the Sustainable Development Goals (SDGs) adopted at the UN Summit in 2015 include a goal such as “Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages” as Goal 3. The collection, integration, and utilization of accurate information is a pressing issue, especially in the healthcare sector, and in recent years there has been an active movement to promote the use of information technology and digitalization. While there is an active movement to promote digital health in Africa as a whole, it is not entirely unrelated to the fact that digitalization has not made much progress in the context of supporting women at this point in time. This paper describes the potential needs and benefits of digitalization for workers of facilities engaged in support services for pregnant women and other women, based on a survey conducted in Uganda.

Keywords: SDGs, Kenya, Uganda, East Africa, EAC, NGO, mHealth, eHealth, DX

1 はじめに

我が国でもDX(Digital Transformation)というキーワードの下、業務のデジタル化が近年叫ばれているが、その潜在的ニーズは途上国であっても存在する筈である。本稿では東アフリカ、ウガンダ共和国を対象とし、業務の実情と課題、およびデジタル化推進のニーズと可能性を明らかにする。

1.1 アフリカを取り巻く情勢

豊富な天然資源を有し、10億人を超える人口を抱えるアフリカは、その潜在性から最後のフロンティアとして世界から注目を集め、日本をはじめ、欧州、米国、中国等から対アフリカ投資や企業進出が進んでいる。日本にとってはODAの拠出先、開発支援の対象として、長く予算を投じている地域でもある。また日本は、対アフリカ諸国援助の一環として1993年からアフリカ開発会議(TICAD)を開催しており、こうした取り組みが功を奏し日本国内の意識もアフリカ諸国に向きつつある。ここ数年はアフリカ発のスタートアップ企業につ

いても日本のメディアが取り上げることもさほど珍しくはなく、アフリカは日本にとって近い存在になってきているようにも思われる。

一方、実際のところは、日本企業の進出は増えておらず、むしろ日本企業による投資額は下降傾向にある[1]。おりしも2022年に実施されたTICAD 8も、前回までと比べその規模が劇的に縮小されての開催となった。これはもちろん、コロナ禍の影響があるとはいえ、より根深い問題として、白戸(2022)は日本企業がアフリカ進出に消極的である点を指摘する[1]。

日本企業がアフリカ進出に対し消極的である背景について、岡田(2022)は、日本企業の経営層を対象としたアンケート調査の結果を踏まえ、他国の経営者と比して日本企業の経営者層はリスク許容度が低く、アフリカに進出しにくい理由を自社内部の問題ではなく、政策の不透明性や情報の不正確さなどアフリカ側の問題に帰結させる傾向があることを指摘している[2]。

情報の不正確さは、もちろん他国とビジネスをする上では

Received on October 2, 2022

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

大きなリスクである。では、どうすればアフリカ諸国のような途上国から正確な情報を得ることができるのだろうか？

1.2 アフリカ地域でのデジタル化推進の動き

アフリカ地域でも情報の正確性に関し議論が進められており、とりわけ医療分野においては多く関連の動きが見られる。国連、ならびにアフリカ諸国が、独立後今日に至るまで重点的に取り組んできたのが貧困対策や保健・医療の充実であるが、2015年に国連サミットで採択された持続可能な開発目標(SDGs)でも目標3で「すべての人に健康と福祉を」といった目標を掲げている。正確な情報の収集と統合、活用は特にこの医療分野において喫緊の課題であり、近年はIT技術の活用とデジタル化推進の動きが活発である。医療領域におけるデジタル化の動きは2000年代はじめにはすでに存在していたが、本格的な動きは2010年代半ばからで、2014年のエボラ出血熱流行がひとつのきっかけとなった。

2014年に西アフリカを中心に発生したエボラ出血熱流行時、問題となったのは複数の医療データシステム間で統一基準やガバナンスを欠き、断絶した状態であるということであった。こうした状況下では、質の高いデータの入手と正確な予測が困難だということが発覚したのである[3]。

システムが断絶した状態では、接触者追跡や人員配置といった、関係者間連携が必須の業務を遂行する上で大きな障壁となる[4]。疫病への対策は国を越えて対応すべき事柄であり、また、そうであるからこそ情報を統合するためのフレームワークが必要とされる。アフリカでは、このエボラ出血熱流行での教訓をもとに地域共同体単位で議論が進められた[3]。

1.3 東アフリカ共同体の動き

アフリカ諸国の中で在留邦人数トップ10ヶ国[4]のうち、ケニア共和国、ウガンダ共和国、タンザニア連合共和国は東アフリカ共同体(EAC)に属す。このEACにおいても医療データを利用するための枠組み、特にデジタル技術について議論が重ねられている。EACはデジタル技術への取り組みを優先事項として掲げ、EAC下部組織である東アフリカ保健研究委員会(EAHRIC)の2016-20年計画において、東アフリカの保健システムを推進するためのデジタル技術のプラットフォームへの取り組みを優先事項として示している[5]。

EAC加盟国国内でも関連の政策立案が進んでいる。域内トップのGDPを誇るケニア共和国[6]では、村落地域で医療サポートを行うコミュニティヘルスボランティアに対し、デジタルツール導入を進めている。これは2021年3月に公表されたコミュニティヘルス戦略の中でも示されている[7]。この戦略は、コミュニティでの保健事業実施においてデジタルツールを用いようとするもので、コミュニティ向けの電子医療情報システム(eCHIS: Electronic Community Health

Information System)の全国規模での開発と実装について青写真を描く。

これに対し、EAC加盟国で、同じく国家戦略としてデジタルヘルスを掲げてはいるが[8]、いまだ黎明期といえるのが本稿が取り上げるウガンダ共和国である。ここからは、ウガンダ共和国を取り上げながらより実務者レベルでの課題について触れていく。

1.4 ウガンダ共和国概観

ウガンダ共和国(以下、ウガンダ)は、東アフリカ地域に位置する内陸国で、ケニア共和国(以下、ケニア)、タンザニア連合共和国と共にアフリカ最大の湖として有名なヴィクトリア湖を囲む。国土面積は日本の本州よりやや広い約24.2万km²で、赤道直下の国ではあるが標高が平均1,200mと高く平均気温は21~23℃と快適な気候に恵まれている。人口は4,712万人、一人当たり国民総所得(GNI)は840ドルで[9]、低所得国に分類される発展途上国である。

主要産業は農業で、高地で栽培されるコーヒーのほか、茶、葉タバコ、綿、マメ、トウモロコシ等が主要作物である。そのほか漁業も盛んで、産業別人口構成は1次産業が7割以上を占める[10]。3次産業の比率は2割程度だが、近年は中小企業の増加[11]や、国際組織の存在などもあり、オフィスワークが増加している。オフィスワーク上特に工数を割く必要があるのが、業務状況の記録と報告、経費精算などの報告作業である。

とりわけNGOなど現地で支援活動を行う組織においては、支援対象の把握や状態の確認、ならびに関連機関への報告は必須の業務と言えるが、地域に根ざした活動を行う組織は基本的には予算や資源が限られ、活動の記録は紙媒体がメインとなる。本稿で報告するNGOはDVシェルターの運営や小口融資などを軸とした女性支援活動を行っているが、支援の対象者や融資の記録はすべて紙媒体で記録され、各地域拠点で保管されている。各拠点での業務の報告はこの紙媒体による記録を共有PCで電子化し、それを元に集計するというプロセスを経て行われる。こうしたプロセスは多大な労力がかかり、また正確性の担保も困難である。当然のことながらNGO側もこうした課題を認識しており、膨大な紙ベースの作業を効率化したい、あるいは経費精算や報告内容の透明性を担保したいというニーズは、当該NGOのみならず国内の教育水準の高いオフィスワーカーの中で広まりを見せている。

先の項で触れたSDGsの目標3「すべての人に健康と福祉を」では、個別ターゲットとして「3-1. 2030年までに、世界の妊産婦の死亡率を出生10万人当たり70人未満に削減する」という課題を掲げている[12]。ターゲット3-1の実現のために、より具体的に目指すべきことは妊婦健診受診率の向上であるが、低い妊婦健診受診率の背景には妊婦側の家族

の問題や経済面での問題、教育の問題、施設側の人材・資源不足、業務オペレーションの問題等、様々な要因が複雑に絡んでいる。妊婦健診が抱える問題はすでに多くの論文が取り上げており[13-14]、ここでは軽く触れるに留める。

Bempong et al.(2019)はエボラ出血熱流行時に用いられた情報伝達ツールについてスコーピングレビューを行い、一つの特徴として女性が男性と比べインターネット活用が少ないとの傾向を見出した。その要因としては、識字率や社会的文化的側面が関連する可能性があるとする[15]。これはアフリカ全体でデジタルヘルス推進の動きが活発な中であって、女性支援の文脈ではデジタル活用が現時点でさほど進んでいないことも無関係ではないと言える。本稿ではそうした中、むしろ妊婦サポートやその他の女性支援事業、支援業務に従事する施設職員にこそデジタル化が有効であり潜在的なニーズがあることを、ウガンダでの調査を元に考察する。

2 2021 年実施事項

ここから、2021 年、2022 年の実施事項について報告する。本節ではまず、ウガンダの協力パートナーを開拓するなどの活動を行った 2021 年の実施事項について記す。

2.1 ウガンダの NGO とのコネクション形成

ウガンダでは現地パートナーを開拓するため、国連の経済社会理事会 (ECOSOC: Economic and Social Council) で公開されている NGO 名簿[16]のうち、アフリカ地域として登録されている団体をリスト化した。このリストは 2021 年 6 月時点で計 6,954 組織が公表されており、これを元にテキスト解析を行った。この解析の結果、ウガンダで活動する NGO、計 83 団体を特定した。この 84 団体にインターネットで独自に調べリスト化した 13 団体を加えた計 97 団体に問い合わせた結果、反応のあった団体と協議を重ね、連携対象として Eliezah Foundation Initiative Uganda (以下、EFIU と表記)を選定した。

2.2 EFIU との新規事業立案

同団体は女性支援のための NGO であり、DV 被害女性のためのシェルター運営および小口融資を主な活動としている。ヒアリングによれば、EFIU は創設者である Eliezah Titus Busonga 氏が約 20 年前に始めた活動が現組織の原型であり、EFIU の Web サイトによれば 2005 年に設立、現在では 12 の地域で活動を行っている。

EFIU とのやり取りは、同団体創設者の Busonga 氏が窓口となり進められた。Busonga 氏は、モバイル端末の活用に関心があり、団体の活動の主軸である女性支援にも IT 技術を取り入れられないかと考えていた。そこで議論の末に、「妊婦に情報を提供するためのシステム」という新規事業に着手

し、妊娠期の栄養知識や妊婦健診情報等を普及・推進するアプリ活用事業を共に構想した。また、企画立案に際しアプリ案の画面設計を行った(図 1)。



図 1 : 構想したアプリ案

2.3 妊婦健診制度調査

EFIU と構想した新規事業に関連して、ウガンダにおける妊婦健診制度についてデスク調査を慣行した。

[調査概要]

妊婦健診制度の調査

- 分析対象:ウガンダ保健省妊婦健診ガイドライン、妊婦健診カード[17-18]
- 手法:保健省のサイト上で公開されている健診時実施事項の一覧化および内容精査、妊婦健診カード入力項目のデータ化

ウガンダ保健省の公開資料を元に、妊婦健診時の実施項目を洗い出し、妊婦健診実務について業務内容を解明した。また妊婦健診時に配られる記入用紙について入力項目をデータ化し、全体ボリュームの把握と項目の分類を行った(図 2)。この調査により、ガイドラインで推奨される妊婦健診業務内容を把握した。

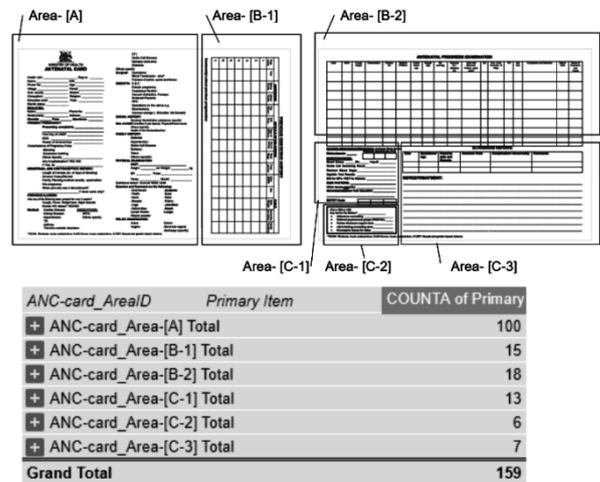


図 2 : 妊婦健診時記入用紙のデータ化と項目分類

3 2022 年実施事項

2022 年はウガンダ現地での活動をメインに取り組みを進めた。

3.1 現地ラジオの試験的活用

2021 年において EFIU と検討を進めた事業はアプリを主軸としたものではあったが、EFIU サイドからの意見を元に現地ラジオの活用も同時に検討を進めた。これは、現地において情報を発信する場合ラジオが非常に有効だと意見を受けて着手したもので、2022 年 3 月に実際にラジオ放送を実現させた。以下に実施概要を示す。

[実施概要]

EFIU と協同でのラジオ放送実施

- 協定:ラジオ放送に関する覚書締結
- ラジオ局:Basoga Baino FM Limited
- 放送地域:ウガンダ共和国ジンジャ県およびその周辺地域
- 実施日:2022 年 3 月 22 日

ラジオはウガンダの各家庭でテレビよりも浸透しており、アメリカの調査機関マクロ・インターナショナル社が 2016 年に行った人口保健調査(DHS:Demographic and Health Survey)によれば、各世帯でのテレビ所有率は 2 割以下なのに対し、ラジオは 6 割近い 58.5%が所有している[19]。調査によって違いはあるものの[20-21]、どの報告においてもラジオは圧倒的な所有率を誇る。また、女性支援の活動の一環としてラジオを活用するケースも複数見られた[22-24]。

以上のメディア特性から、ラジオ放送の活用をアプリ導入に先行して実行した。今回の企画においては地域特性、金額などを鑑みたうえで、ジンジャ県(Jinja District)の 1 ラジオ局(「Basoga Baino FM Limited」)を選定し、2022 年 3 月 22 日に約 1 時間の放送を行った。

3.2 現地での活動を通じ浮かび上がった問題

EFIU の報告によれば、ラジオ放送終了後、当該ラジオの放送エリアの拠点にはラジオ放送を聞きつけた女性たちが多く訪れた。報告によれば 3 月 23 日から 4 月 17 日の 25 日間の間に、3,132 件の女性からの相談を受けたとの報告を受けている。単純計算で 1 日あたり 125 人～126 人が相談にやってきたことになる。しかしこの計測には課題があった。

EFIU で行われた計測は訪れた女性たちを紙名簿に記すというもので、当然のことながらデータ収集には困難が伴った。例えば人数の多さに紙名簿に記載できずに帰られてしまったり、年齢など、より詳細な情報を残すことが出来なかったという。

こうした効果測定の難しさや情報の不正確さは現地で事業を推進する上で必ずネックとなる問題で、特にアフリカでの取り組みを進めるにあたっては発生要因をいかに特定し改善を図るかが肝要である。そこで「現地でいかに正確な情報を収集し、現地および日本間で情報を共有するか」との課題にフォーカスを当て、現地の実体調査を行うものとした。

3.3 現地調査

2022 年 8 月 15 日～2022 年 8 月 23 日にかけてウガンダで調査を行った。以下調査概要である。

[調査概要]

支援現場における業務オペレーションの実体把握

- 期間:2022 年 8 月 15 日～2022 年 8 月 23 日
- 地域:カンバラ市、ワキノ県、ジンジャ県、ルーカ県
- 訪問先:3 団体

2022 年 8 月 15 日～2022 年 8 月 23 日の 9 日間の間に訪れたのは首都カンバラ市のほか EFIU の拠点 3 か所である。訪問した拠点の中には、2022 年 3 月実施のラジオが放送されたエリアも含まれる。

今回の調査では主に EFIU やその他の施設でヒアリングを行い、支援業務において用いられる媒体について情報収集を図った。また EFIU とは別の NGO にも支援事業におけるウガンダでのデジタル技術やモバイル端末活用について最近の取り組みをヒアリングした。

3.3.1 訪問先① EFIU オフィス

先の節で触れた通り、EFIU は女性支援の活動を行っている。メインの事業は DV シェルター運営と、女性の行うビジネスへの小口融資である。この主要事業の運営においては定まったフォーマットの紙名簿を用いている。特に小口融資に関しては、融資する顧客ごとにノートを作り個別に返済記録をつけている(図 3)。



図 3 : EFIU が管理する紙名簿

また、EFIU は支援対象の女性をグルーピングし、メンバーの家で定期的な集会を行うなどの活動をしているが、集会の際にはフリーフォーマットのノートを用いて参加者の名前を記録する。調査期間中に参加した会合では、1 つの会合あたり 10 人～20 人程度の参加があった(図 4, 5)。



図 4 :2022 年 8 月 19 日実施集会, 於ジンジャ県



図 5 :2022 年 8 月 20 日実施集会, 於ルーカ県

3.3.2 訪問先② 支援施設 A

協力関係にある EFIU 以外の施設や支援団体を訪れヒアリングを行った。これら 2 つの訪問先については、研究フィールドの特定を避けるため匿名化した表記を用い、それぞれ支援施設 A、国際 NGO 団体 B とする。

支援施設 A では、記録の取り方と報告方法についてヒアリングした。ヒアリングによれば、この施設では紙の台帳(図 6)に記録を取るほか、当該施設を管理する上位組織に対し月次で報告を行っている。収集時に用いられるのは職員個人のモバイル端末で、そのデータを施設で共有の PC に統合し報告しているとのことであった。



図 6 : 支援施設 A での紙台帳

3.3.3 訪問先③ 国際 NGO 団体 B

協力関係にある EFIU とは別の NGO 団体 B を訪れ、村

落保健チームの業務におけるモバイル端末活用についてヒアリングを行った。この団体は国外にも拠点を持つ国際 NGO で、母子保健支援事業等を行っている。

ヒアリングに応じた NGO 職員は、モバイル端末の効用として、村レベルで医療促進事業を行う際の実務的便益を述べている。ウガンダでは村レベルで村落保健チームが編成され、母子保健活動をサポートする役割を担っているが、その際、①村落保健チームメンバーが各世帯への訪問日を失念することがありそのリマインドとして機能している、②本部が個別の村を物理的に訪問するのは費用と時間がかかりそのコスト削減になる、③たとえ貸与スマートフォンが紛失したとしてもデータをクラウド上にあげておけばデータの紛失が防げるといった利点を述べている。

3.4 支援事業におけるモバイル端末活用のニーズ

当然のことながら、現状の運用課題は実務者が一番理解している。膨大な紙ベースの作業を効率化したいというニーズは、特に高い教育を受けたオフィスワーカーの中で広まりを見せている。また、特に管理職レベルでは、業務負荷だけではなく、経費精算や報告内容の透明性を担保したいというニーズがあり、日本と共通する課題が見えてくる。

EFIU を例にとると、業務上管理しているのは主に、①支援対象者の情報、②予算の管理であるが、担当者に尋ねたところ特に突発的な事態があった時に情報が追いきれないとの課題観を抱いていた。今回のラジオ放送とその後のインパクトが顕著な例だが、そのほかにもコロナ禍で通常とは異なる用途で資金を投入したが実際の利用状況の追跡が通常時よりも困難であったという。

また、支援施設 A では、同施設が属する地域の統合管理部門に対し紙名簿の情報をとりまとめて報告する義務があり、その作業に課題観を抱いていた。2021 年の実施事項において妊婦健診制度について分析したが、実際問題として現場では資源が限られヒューマンエラーも誘発されやすい環境であり、果たして適切に健診結果報告があげられるのかは疑問である。

別の観点から、現地の実体調査を行い見えてきたことは、現地職員自身も正確な情報を扱い、活動に活かしたいという思いを抱いているということである。設備が不十分なウガンダにおいてもある程度の情報が得られるのは、現場の職業意識の存在故であり、現場レベルの工夫と多大な労力が関係者間での情報共有を支えている。

モバイル端末を用いた仕組みの導入で業務効率が図れることは当然のことではあるが、効率性以上に現場職員のモチベーション維持に寄与することが重要で、DX 化の一番の便益はそういった部分にこそ求めるべきである。そうした効能が現場からのよりよいアウトプットへと繋がれば、他国との連携においてもプラスに働くのではないかと。今回得られたこの仮

説は、2023年以降に予定している活動において更に検証を深めていく。

4 おわりに

設備や予算が潤沢ではない中で、DX化の実現は一朝一夕には言えず、特にウガンダにおいては容易ではない。とりわけ端末確保やインターネット接続が一番の障壁と言えるが、そのほか内陸国であるため電気インターネットその他インフラコストが割高で、さらにはこうした背景からデジタル技術に触れることの出来る人材に限られ結果としてデジタル人材が不足するなど、課題が山積している。地域共同体の枠組みや国家レベルでデジタル化推進が示されるのは歓迎すべきことではあるが、足元のこうした状況においては現実的かつ持続的な方法を探る必要がある。

岡田(2022)が行った調査の中で日本の経営者層は「不透明性」や「情報の不正確さ」をアフリカ進出のリスクとして挙げているが[2]、本稿は現場での実体と問題が生じやすい背景を改めて明示したものである。今後の活動では、そうした課題を解決するための仕組みづくりを引き続き進めていく。2023年はウガンダでの女性支援事業におけるデジタル化検討を継続するほか、新たにケニア村落部でのコミュニティヘルス支援員向けのデジタルツールの試験導入や栄養教育サポートツール開発などを予定している。

謝辞

Eliezah Foundation Initiative Uganda および同団体創設者 Eliezah Titus Busonga 氏には最初のコンタクトから今に至るまで全面的にサポート頂いた。彼らの多大なる尽力をここに記し、感謝の意を述べたい。また、途上国でのラジオ放送という前例のない企画の実現に助力いただいた東京都立産業技術大学院大学教務課の皆様、ウガンダ事業立案に際し厳しくも温かく叱咤激励してくださった前田充浩先生、松井実先生に改めて御礼申し上げる。

参考文献

- [1] 白戸圭一, “転機を迎えた TICAD プロセス,” アフリカレポート 60, pp. 32-38, 2022.
- [2] 岡田正大, “日本企業のアフリカ市場への意識と事業機会,” 令和 3 年度ニューノーマル・アフリカとの協働ビジネス構築の調査研究, pp. 32-38, 一般財団法人国際貿易投資研究所, 2022.
- [3] CSIS, “Can digital health help stop the next epidemic?,” 2019.
<https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep23894.pdf> (visited on 2022-09-30)
- [4] 外務省, 海外在留邦人数調査統計令和 4 年 8 月 2 日発表.

- <https://www.mofa.go.jp/mofaj/toko/tokei/hojin/index.html> (visited on 2022-09-30)
- [5] USAID, “East Africa Digital Health Initiative Roadmap: Factsheet,” 2018.
https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/1864/Digital-REACH-Initiative-factsheet_508.pdf (visited on 2022-09-30)
- [6] 世界銀行オープンデータ, 2020.
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=KE-UG-TZ-SS-RW-BI-CD> (visited on 2022-10-01)
- [7] Ministry of Health, Division of Community Health Services, Republic of Kenya, “National Community Health Digitization Strategy 2020-2025,” Nairobi, Kenya, Government of Kenya, 2021.
<https://www.health.go.ke/wp-content/uploads/2021/03/eCHIS-Strategy-2020-2025.pdf> (visited on 2022-09-27)
- [8] Ministry of Health, Republic of Uganda, “Uganda national eHealth strategy 2017-2021,” 2017.
https://health.go.ug/sites/default/files/National%20e-Health%20Strategy_0.pdf (visited on 2022-09-27)
- [9] 世界銀行オープンデータ, 2021.
<https://data.worldbank.org/country/uganda?view=chart> (visited on 2022-10-01)
- [10] 二宮書店, “データブック オブザ ワールドデータブック オブザ ワールド 2022,” 2022.
- [11] 世界銀行オープンデータ,
<https://data.worldbank.org/indicator/IC.BUS.NREG?locations=UG> (visited on 2022-09-04)
- [12] United Nations Department of Economic and Social Affairs Sustainable Development. “Goal 3 Target and Indicators”.
<https://sdgs.un.org/goals/goal3> (visited on 2022-10-02)
- [13] Kawungezi, Peter Chris, et al, “Attendance and utilization of antenatal care (ANC) services: multi-center study in upcountry areas of Uganda,” Open journal of preventive medicine 5. 3:132, 2015.
- [14] Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), “Health Service Provision in Uganda: Assessing Facility Capacity, Costs of Care, and

- Patient Perspectives, ” Seattle, WA: IHME, 2014. https://www.jrc.or.jp/vcms_lf/kokusai140801-03.pdf (visited on 2022-08-01)
- [15] Bempong NE, Ruiz De Castañeda R, Schütte S, Bolon I, Keiser O, Escher G, Flahault A, “Precision Global Health - The case of Ebola: a scoping review, ” J Glob Health. 2019.
- [16] United Nations NGO Branch Integrated Civil Society Organizations System. <https://esango.un.org/civilsociety/withOutLogin.do?method=getOrgsByRegionsCode&orgByRegionCode=1&orgByRegionName=Africa&sessionCheck=false&ngoFlag=> (visited on 2021-07-09)
- [17] Ministry of Health Reproductive Health Division, Republic of Uganda, “Essential Maternal and Newborn Clinical Care Guidelines For Uganda, ” 2016. <http://library.health.go.ug/sites/default/files/resources/Essential%20Maternal%20%26%20Neonatal%20Care%20Clinical%20Guidelines%20-%202016%20fully%20edited.pdf> (visited on 2022-05-09)
- [18] Ministry of Health, Republic of Uganda, “Antenatal Card-Revised, ” 2021. <http://library.health.go.ug/publications/sexual-and-reproductive-health/antenatal-card-revised> (visited on 2022-05-09)
- [19] Uganda Bureau of Statistics (UBOS) and ICF, “Uganda Demographic and Health Survey 2016, ” Kampala, Uganda and Rockville, Maryland, USA: UBOS and ICF, 2018.
- [20] Open Society Initiative for East Africa, “Public Broadcasting in Africa Series Uganda, ” 2010.
- [21] JICA, “ウガンダ共和国 ラジオ放送網整備計画 基本設計調査報告書, ” 2007.
- [22] The Unwanted Witness Uganda, “Re-thinking the workings of community radios: How community is a community radio in Uganda, ” Open Society Initiative for Eastern Africa (OSIEA), 2014.
- [23] ウガンダ赤十字社保健部リプロダクティブヘルスプログラム, “ウガンダ母子保健事業 2010 年活動報告書, ” 2010. <https://www.jrc.or.jp/international/results/pdf/kokusai140602-02.pdf>, (visited on 2022-08-01)
- [24] ウガンダ赤十字社予防保健部. “2013 年次活動報告書 母子保健事業, ” 2013.

大学院教育におけるデジタルトランスフォーメーション に向けた新しい教育方法の試み

細田 貴明*・丸山 博之*・松尾 徳朗*

New Educational Methods for Digital Transformation in Graduate Education

Takaaki Hosoda*, Hiroyuki Maruyama* and Tokuro Matsuo*

Abstract

This paper describes the use of an online lecture environment to motivate learning, as practiced at Advanced Institute of Industrial Technology. Although online lectures have become widespread in the field of coronavirus infection disaster, an environment with further enhanced interactive communication is important to motivate learners and enable autonomous learning. Therefore, we propose a new learning cycle and a learning motivation model in an online environment.

Keywords: learning motivation model, distance lectures, autonomous learning

1 はじめに

日本国内における新型コロナウイルス感染症の蔓延は、2020年にはじまり、現在においても多くの人の生活に影響を与えている。このことは、大学教育においても例外ではなく、学生の修学スタイルおよび教員の指導スタイルにも大きな影響を与えている。

筆者らの在籍する、東京都立産業技術大学院大学(以下、本学)では、従来から学習管理システム(LMS: Learning Management System)や講義動画配信システム、遠隔地で授業の受講が可能なサテライトオフィス等を導入し、学生の遠隔学習環境を整えていたが、新型コロナウイルス感染症禍においては、これまで対面で行っていた講義を、オンライン学習環境に置き換えることを余儀なくされた。今後は、新型コロナウイルス感染症の蔓延が、一定の収束をみることとなったとしても、オンライン学習環境を充実させていくことは急務に迫られていると言えよう。

その一つの取り組みとして、本学は、文部科学省の令和2年度大学改革推進等補助金(デジタル活用教育高度化事業)において、文部科学省補助事業「デジタルを活用した大学・高専教育高度化プラン」に採択され、デジタルを活用した講義環境の整備に積極的に取り組んでいる[1]。筆者らは、その中の一つの取り組みとして、教員と学生が自由に閲覧、質疑を行うことができる環境を構築し、教員と学生間のコミュニケーション機会を増加させるだけではなく、学生間の気づきの共有、学習活動の記録といった、教員と学生がインタラクティブに繋がる講義環境の構築を目指した。

この取り組みを進めていったところ、単にデジタルツールの導入を行うことだけでは、学習効果を見込むことは難しく、一層の学習効果を見込むためには、学生が積極的にデジタルツールを利用する動機づけが必要であり、それが実現可能な講義設計を行うべきではないかとの思いに至った。

そこで、本稿では、このような問題意識をもとに、社会人大学院におけるデジタルトランスフォーメーションを目指した取り組みとして、新しい学習モデルの構築を目指す。

2 学習モデルに関する先行研究

2.1 自己調整学習理論

「自己調整学習」は、1990年代からアメリカの教育心理学者、Zimmermanらが中心となって提案している教育心理学の理論体系である。「自己調整学習」という用語は、Zimmermanらの定義によると、「学習者が、学習過程において、メタ認知、動機的、そして行動的に積極的に参加している度合い」としている[2]。この用語は、多くの研究者により多様な分野で、様々な意味で使われているが、概ね、「人々が自分の資質、すなわち思考(たとえば、有能さに関する概念)や情動(たとえば、興味)、行動(たとえば、学習活動に取り組むこと)、社会的文脈的な環境(たとえば、勉強するために静かで心地よい場所を選ぶこと)を将来の望ましい状態に調節させていく中で、体系的に管理するプロセスである」という定義で含意を得ている[3]。このような自己調整の定義を受けて、自己調整学習とは、「教師や親、その他の指導者に頼るのではなく、知識や技能を習得するための努力を

Received on October 2, 2022

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

註: 本紀要論文は、12th International Congress on Advanced Applied Informatics で発表したものを一部改変したものである。

自ら主導で進める」ような学習を指すとしている[4].

以上から、自己調整学習理論は、学習者のモチベーション管理に基づいた、自律学習を促す方略に関する理論であると言える。この自己調整は、循環的かつ段階的に進展するものであると考えられ、主に、以下の3プロセスに基づくサイクルにより、自律した学習者への成長が図られると考えられている[5]。これを表したのが図1である。

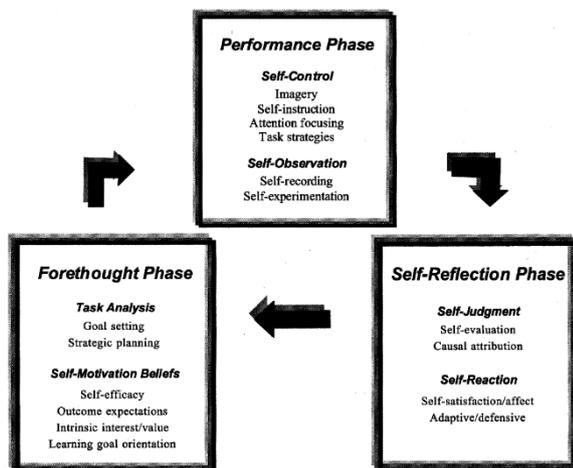


図1 自己調整過程の段階モデル[4]

予測段階は、学習に取り組むための準備過程であり、この段階で、課題分析や自己動機づけを行う。課題分析は、目標設定と、計画立案が含まれている。課題分析を十分に行った学習者は、学業上の成功を収めている実績があるとしている。自己動機づけは、学習者の学習に対する信念や、学習の結果に対する期待感から生じるもので、これらの信念や期待感が、自己調整を行いながら学習するために必要な要素であるとしている。

実行段階は、実際の学習中の過程で、自己統制と自己観察の二つのプロセスが実行される。自己統制とは、予測段階で選択した具体的な目標設定や計画立案を遂行するもので、遂行にあたっては、イメージ化、自学自習、自己への関心、自己への注目、課題戦略化といったことが行われる。また、自己観察では、自己統制の結果を観察、記録することで、その問題の原因を探る。

自己内省段階は、学習過程の終了後に生じ、その過程での経験に対する行動で、自己判断と自己応答の二つのプロセスが実行される。自己判断の一つとして自己評価が行われ、自分の行動のパフォーマンスを、過去の自分のパフォーマンス、または他者のパフォーマンスと比較する。また、自己判断においては、自己の問題の原因を分析し、その因果関係を明らかにすることで、自己の責任の範囲を明らかにし、次に向けた対応が可能となる。「自己判断」は、循環して予測段階に戻った際に、「自己動機づけ」に影響を与える。自

己応答には、適応的反応と防衛的反応がある。適応的反応においては、効果のない学習方法をやめたり修正したりしながら自らの学習効果が高まるように修正する反応を行う。一方で防衛的反応では、うまくいかないときに、学習成果をあげる機会を避けることで、自らの持つ自分のイメージを守ろうとする反応がある。このような自己調整過程をとるために、自覚プロセスを循環しながら調整し、学習が継続されていく。

このような三段階の自己調整を経て学習が継続されることを想定しているが、自己内省段階に基づく、反省及び改善により再度予測段階へと戻る、ということを繰り返すことにより、学習が進んでいく、という考え方になる。特に予測段階では、自己動機づけや課題分析における活動が、自己に対するモチベーション的な信念に影響し、実際の行動としての目的の設定や学習方略の計画策定などと相互作用を持つ、と仮定している。つまり、自己効力感や内発的興味などにより、設定される目的の高さや内容、方略の計画などの具体的な中身が影響を受ける、ということを想定している。一方、自己内省段階においては、実際に行動に起こした結果を自己によって確認するため、自己評価などから、自己効力感などへのフィードバックが与えられ、次のサイクルでの予測段階におけるモチベーションに影響を与えることになると想定されている。

よって、自己内省段階において、予測段階及び実行段階にて計画・実行されてきた学習自体が成功に至った場合、もしくは成功に至らずとも学習者本人が満足できる結果が得られた場合は、モチベーションに関わる要因がプラスの方向に刺激を受け、次のサイクルでの学習目的の設定がより高まっていく、というように、自ら学習成果を向上させていくポジティブなサイクルへと繋がっていく、と考えることができる。

2.2 遠隔教育の独立性と自律性を重視した理論

鄭・久保田によれば、遠隔教育を支えてきた諸理論は、三つの立場に分類することができる。一つ目は、「遠隔教育の独立性と自律性を重視した理論」、次に「遠隔教育の産業化に注目した理論」、最後に「遠隔教育のインタラクションとコミュニケーション理論と呼ばれるものである[6]。

ここでは、遠隔教育の独立性と自律性を重視した理論に着目する。鄭・久保田は、遠隔教育の独立性と自律性を重視した理論では、「教育者と直接対面しないで学習する学習者は、独立的、かつ自律的に学習を進める」という立場による理論であるとしている[6]。遠隔教育では、対面教育と異なり、その場にいる教授者の指示に従って、受動的に学びを進めることはできない。従って、学習者にとっては能動性を要求される点で容易ではない一方で、遠隔教育を受けることによって、独立性や自律性が育つというメリットが享受できる学習環境である、と捉えることが可能である。次に紹介するムーアの交流距離理論も、自律的な学びに基づくものであると考えることができる。

2.3 交流距離理論

交流距離理論は、米国の遠隔教育研究者であるムーアが1970年代に提唱した遠隔教育についての理論で、今でも広く活用されている。ムーアは、遠隔教育の基本概念を、「交流距離」と「自律性」の二つにまとめている[7]。交流距離は、学習者の個人ニーズに応じる度合い、例えば、目標や教授法、評価方法といったことにより、教育プログラムの構造と、学習者と教授者との間で行われるやり取りを対話の程度によっても交流距離が決まるというものである。これらの「構造」と「対話」のバランスによって、交流距離を測ることができるというものである。構造化の程度が低く、対話の程度が高い場合には、交流距離は小さくなり、教授者と学習者とのインタラクションを活発に行うことができるが、学習者の自律性は高くはならない。一方で、構造化の程度が高く、対話の程度が低い場合には、交流距離は大きくなり、学習者の自律性が求められるものとなる。この関係を示したものが図2である。

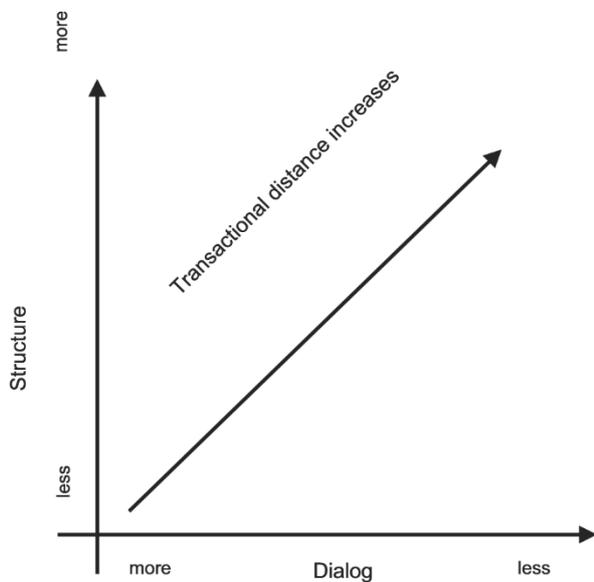


図2 教授者と学習者の間における交流距離の関係[7]

ムーアは、交流距離理論の主張に加え、その一層の実現には、自律性が重要であることを指摘している[8]。この点について、鈴木は、「ムーアは、遠隔教育で学習者に求められる自律性(autonomy)も交流距離理論に組み込んだ。すなわち、交流距離は、学習者に求められる、あるいは学習者が発揮することが可能な自律性の高低に影響を与える」と指摘している[9]。

以上のことから、遠隔教育においては、構造と距離の関係から決まる交流距離、そこに作用する自律性との関係を如何に実現するかが求められると言える。

3 学習動機づけに必要な要素

先行研究から得ることができる示唆として、Zimmermanの自己調整理論の言う、学習者が誰かに頼るわけではなく、主体的に知識や技能を習得する努力を自らで主導することが求められる。しかし、一方で、遠隔教育における独立的で自律的に学習を進めるためには、学習者と教授者との間の構造と対話の関係、つまり交流距離を適切に保ち、その関係の中で学習者の自律性を維持していくことが必要であることが、一つの論点であると筆者らは考える。

そこで、本節では、オンライン学習環境において、学生が自律的に学習するためには、何が必要であるかを検討する。

筆者らは、当初、デジタルツールを導入することで、教員と学生間のコミュニケーション機会を増加させ、教員と学生がインタラクティブに繋がる講義環境の構築が実現可能であると考えていた。しかし、実際に、単にデジタルツールの導入を行うだけでは、学習効果を見込むことは難しいことが伺えた。なぜなら、講義内においてツールを積極的に活用する旨を学生に伝えて講義を実施したが、多くの学生がツールの有効な活用の仕方がわからず、有効活用の方法を模索しているように見えたからである。このことから、学生が積極的にデジタルツールを活用するためのインセンティブが必要であるということが示唆される。

次に、オンライン環境下の教育における教員と学生の関係に着目する。オンライン講義においては、ライブ型やオンデマンド型が存在するものの、いずれの形式においても、教員側から一方向に話をするが多くなり、質疑応答が講義内で活発となることはそう多くない。もちろん、オフライン下でゆっくり考えて理解の上で質問することが可能であることから、質の高い質疑が行える面があることも事実であるが、その場で疑問に思ったことをその場で質問することが容易ではない。これは、ムーアのいう交流距離が開いた状態を作ってしまう一つの原因であると考えられる。

以上から、オンライン環境下において、学生が自律的に学習を行うためには、積極的にデジタルツールを活用するためのインセンティブ、即時的で高頻度な対話が可能となる教育環境、が必要な要素であると筆者らは考える。

4 学習動機づけモデルの提案

4.1 講義形態の類型化

学習動機づけモデルについての検討を行う前に、講義形態について整理を行う。講義形態とその呼び方は、各学校によりさまざまであり、共通化されていない。また、オンライン講義については、遠隔授業は、eラーニングといった呼び方もあることから、位置づけが曖昧であるということが出来る。整理にあたっては、相場[10]の類型化(図3)をもとに議論する。

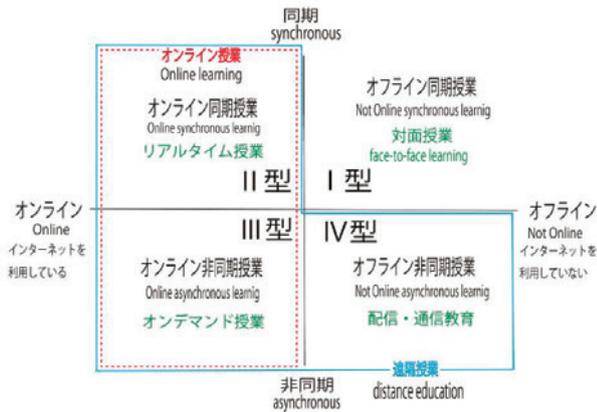


図3 講義形態の類型化[10]

相場の類型化では、横軸にインターネットを利用している／利用していないとし、縦軸に同期／非同期で分類している。同期／非同期は、同時性のあるやり取りができるか、そうでないかを表したものである。例えば、ZoomのようなWeb会議システムを利用して、ある決められた時間に講義を行う形態が、オンライン同期授業に該当する。また、講義内容を録画し、任意のタイミングでインターネット上のサイトから視聴することで講義に参加する形態が、オンライン非同期授業に該当する。オフラインの形態については、オフラインで同期型の形態は、教室で講義を行う対面授業が該当する。オフライン非同期授業は、インターネット上で行っていたコンテンツを、紙や記録媒体として持ち帰ったり、郵送したりする形で利用しながら講義を受ける形態を意味する[10]。

以上の講義形態の整理を踏まえて、まず、現状の講義方式における問題について検討する。

4.2 現状の講義方式の問題

従来までの対面授業の多くの場合において、座学講義であれ演習講義であれ、講義実施から次回の講義実施までの間、つまり講義外の時間において、受講生が積極的に学習に取り組むためのきっかけが乏しい点があった。もちろん、学生から講義の質問を受けて回答することあるし、学生同士で講義後に議論を行っていることも少なからずあった。しかし、オンライン講義においては、そのような場の提供ができず、教員と学生、学生同士の双方向性が失われてしまったと言わざるを得ない。

次に、講義中におけるプレゼンテーションと、その議論の時間的制約の問題である。これまでは、講義中に課題に対するプレゼンテーションを行い、その議論を行ってきた。この場合、各自または各チームの限られた時間の中で、プレゼンテーションと議論を行う必要があり、プレゼンテーションが極めて短い時間となりがちで、質疑応答も1つ2つに限定されていた。これは、講義時間において対応しなければならないという時間的制約が大きな影響を与えているものであると考

えることができる。

これらの問題は、いずれの講義形態であっても起こりうるものであるが、オンライン講義下において顕著に現れた問題であると言える。そこで、オンライン講義において、上記の問題を解決しつつ、履修者が自律的に学習に臨む仕組みを一つの学習動機づけモデルとして提案する。

4.3 学習動機づけモデルの提案

筆者らはモデルの開発に先立ち、前述の問題への取り組みを行った。

まず、講義実施から次回の講義実施までの間、つまり講義外の時間において、受講生が積極的に学習に取り組むためのきっかけとしてオンラインフォーラムを導入した。しかし、一般的に、デジタルツールを提供するだけでは、ツールの有効な活用の仕方を学生自身で模索することとなり、効果が限定的になることが多い。そこで、使いたくなる仕掛けを取り入れた。具体的には、座学講義後に、オンラインフォーラムに演習課題に取り組むためのグループ毎のスレッドと、スレッド内への質疑応答を誘導するような書き込みを可能とする環境を準備した。数日後に行われる演習講義までの間に、演習課題のアイデアと疑問点等をグループ内の受講生同士で、スレッド上で話し合うことができる。講義の理解度の高い受講生は、積極的に自分の意見を発信し、他受講者と情報共有を行うことで、受講者全体のレベルを高めてくれる効果が見込まれる。一方で理解度が不足する受講生は質問を行い、理解を深めるとともに理解が不足した個所について、演習課題に積極的に参加するための理解度を求め、自己学習に取り組むことが期待される。このように、座学講義と演習講義を行うまでの期間において、受講生の学習意欲を高める機会を提供することで、演習講義の予習、座学講義の復習といった、受講生の自発的な学習のきっかけを提供することができる。

次に、講義中におけるプレゼンテーションと、その議論の時間的制約の問題を解決するために、YouTubeのようなオンライン動画共有プラットフォームを導入した。各自または各チームのプレゼンテーションは、オンライン動画共有プラットフォームに掲載することで、履修者は自分の好きなタイミングでプレゼンテーションを視聴し、質問を投げかけることができる。また、理解するまで繰り返しプレゼンテーションを視聴できることから、より深い質問が可能となる。プレゼンターもまた、質問をしっかりと吟味して回答することが可能となり、意思疎通のとれた質疑応答が行われるだろう。さらに、単発の質疑で終わらずに、発展的な議論を誘発することも期待される。

以上のように発見された問題を解決した一つの講義計画を図4で示す。この計画は、一週間のタームで学習サイクルを進めるものである[11]。

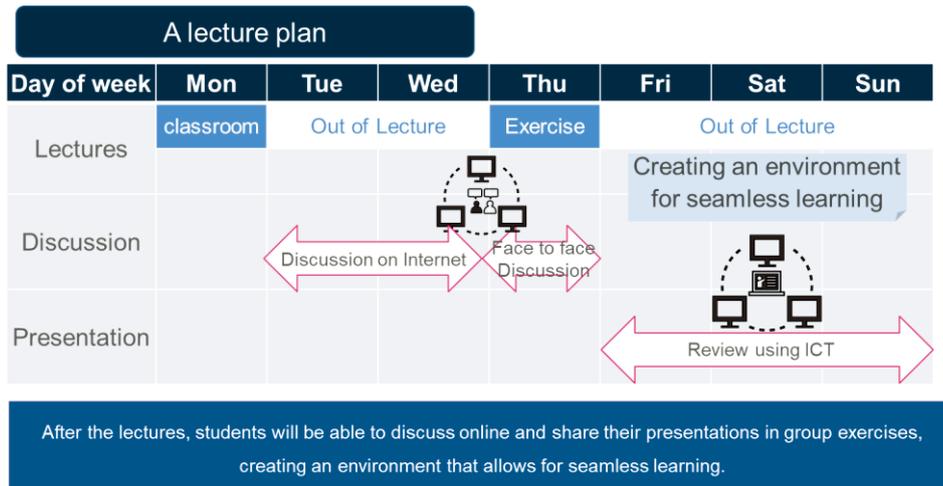


図4 デジタルツールを活用した学習サイクル例[11]

本計画は、一つの例示に過ぎないものであるが、その本質は、絶えず学ぶことができる環境と仕組みを目指したものであり、「講義(入力)→討議→演習(アウトプット)→発表」を行うこととしたものである。

そして、この講義計画をもとに考案した学習動機づけモデルが図5である[11]。

学習者は、講義のような入力作業を経由して「情報」を収集する。その「情報」は、オンラインフォーラムのような討論の場をインセンティブとして活用し、その情報をもとに議論することを通して、知識として定着する。

その後、定着した知識を演習のようなアウトプットの機会を経て、理解となり、その理解をプレゼンテーションのような「表現」することを通して、分析や統合化、その評価を行うインセンティブとなり、知恵に昇華していると考えられる。

5 考察

ここでは、筆者らの経験に基づく学習サイクルと、それをもとに考案した学習動機づけモデルについて検討する。

筆者らが経験から見出した学習プロセスは、「学習(入力)→討議→演習(アウトプット)→発表」を行うことを繰り返すものであった。この学習サイクルにおける学習と討議は、単に学生が参加することに意味があるのではなく、参加にあたって事前にしっかりと予習や復習を求められる。その活動を行うためのインセンティブをオンラインフォーラムやオンライン動画共有プラットフォームが提供することで、学生の学習するための動機づけに繋がるものであると考えることができる。

この活動の背景として、学生が学ぶ情報についての活用プロセスが存在すると考えることができる。情報学においては、膨大な情報の活用プロセスを、Data, Information, Knowledge, Wisdom の4つの観点で捉えることが行われ

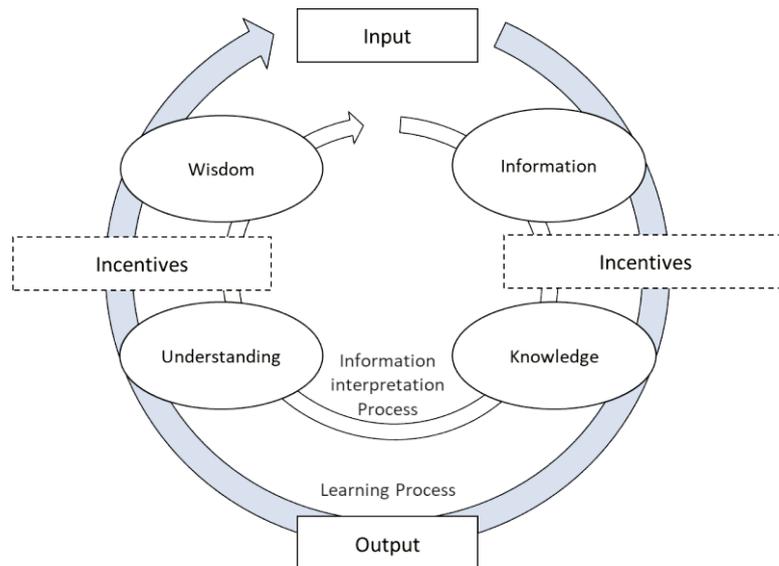


図5 学習動機づけモデル[11]

ており (DIKW モデル), Ackoff は, これらに加え Knowledge, Wisdom の間に, Understanding の過程があると主張している [12]. 筆者らは, Ackoff のいう Understanding の過程を含めて, モデルを構築している. 学習モデルにおいては, データを教員が解釈して情報として提供していると考えられることから, Information, Knowledge, understanding, Wisdom の 4 つの観点で学習モデルは構成されている.

学生は, 講義等において教員からインプットを受けた際に, 単なる情報として受け止めるか, 情報を知識として蓄えるかの二局面に立たされている. ここで, 知識として蓄えていくためには, 何かしらのインセンティブが必要になることは容易に想像がつく. 情報を発信するためには, 学生各自でその情報を咀嚼し, 知識として理解しない限りは難しい. そのために, オンラインフォーラムを設けることで, 自分の理解を発信し, 確認を得ることができることは学習における大きなインセンティブとなると言える. 加えて, 情報を十分に咀嚼できなかった学生に対する, 質問をするための窓口としての機能も期待できる. つまり, インプットからアウトプットする機会の間に, 学習のインセンティブとなる機能を設けることで, 情報を知識として習得する活動することに繋がる可能性があることを示唆している.

演習のようなアウトプットにおいても同様のことが言える. 演習を通して, 知識を活用することで, その知識は深い理解に繋がる. その深い理解は, プレゼンテーションのような情報発信から質疑応答を通して, 状況に応じて適した考え方に導くと考えることができる. そのために, オンライン動画共有プラットフォームを場としてのインセンティブとして活用することで, 理解を知恵に昇華することができるのできよう.

以上から, インプットからアウトプットの過程において, それぞれ適切なタイミングで, 学ぼうと思うためのインセンティブにあたるアクションを提供することで学生の学習に対する動機づけに繋げることができることが明らかとなった. 現時点では, その効果について, 定量的に明らかになっていないが, 実践した際のアンケートデータの取得を行っていることから, その分析を行い, 仮説を明らかにすることが今後の課題である.

6 おわりに

本稿では, オンライン環境下における新しい学習モデルの構築を目指し, 学習動機づけモデルの提案を行った. 学習動機づけモデルは, 実際の学習サイクルをもとに, そのサイクルから学習する意欲を高めるためにするにはどうすればいいのかを分析の上で, 開発されたものである. 本学習動機づけモデルは, DIKW モデルをベースとして, 学生が情報を如何にして知恵に昇華していくかを表したものである. ただし, 現時点では, このモデルは, 理論的な面からの考察であって, 実験的に実証されたものではない.

今後は, 仕組みの改良と, 受講生の講義に対する意識調査をさらに分析し, 受講生の意欲を高める要因を実際に検証することで今回の発見の妥当性を明らかにしたい.

参考文献

- [1] 東京都立産業技術大学院大学. “デジタルを活用した大学・高専教育高度化プランへの取組”. 東京都立産業技術大学院大学.2022-3-7.
https://aiit.ac.jp/education/dx_project/
- [2] Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of educational psychology*, 81(3), 329.
- [3] 自己調整学習研究会 . (2012). 自己調整学習: 理論と実践の新たな展開へ. 北大路書房.
- [4] Zimmerman, B. J. (1989). A social cognitive view of self-regulated academic learning. *Journal of Educational Psychology*, 81(3), 329–339.
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.81.3.329>
- [5] Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70.
https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2
- [6] 鄭仁星, & 久保田賢一. (2006). 遠隔教育とeラーニング. 北大路書房.
- [7] Moore, M. G., & Anderson, W. G. (Eds.). (2007). *Handbook of distance education* (pp. 89-108). Mahwah, NJ, USA: L. Erlbaum Associates.
- [8] マイケルムーア G, & グレググ カースリー. (2004). 遠隔教育とeラーニング (高橋悟, Trans.). 海文堂出版.
- [9] 鈴木克明, 加藤幸路, & 平岡齊士. (2020). 交流距離理論の足場かけ総量からの再解釈提案. *日本教育工学会 2020 年秋季全国大会講演論文集*, 139–140.
- [10] 相場博明. (2021). オンライン授業の類型化と教育効果の予察的考察. *教育実践学研究*, 24, 37–50.
- [11] T. Hosoda, H. Maruyama and Tokuro Matsuo, (2022). Construction of a New Learning Motivation Model in an Online Lecture Environment, *International Conference on Decision Science, Theory and Management (DSTM2022)*, 766-772.
- [12] Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of applied systems analysis*, 16(1), 3-9.

グローバル内生的近代化試論

—SDGs “No One Left Behind”の文明論的根拠

前田充浩*

Towards a Global Endogenous Modernization Model

Mitsuhiro Maeda*

Abstract

The slogan of the SDGs (Sustainable Development Goals) is 'Leave No One Behind'. This slogan advocates the concept that all states, including even lower income developing states, will develop their modernization in the 21st century, and the Status Quo of the world illustrates the appropriateness of this concept. On the contrary, we have few social science models that precisely explain reasons of this fact. This paper tries to establish a new social science model that explains reasons of the fact that all states vigorously develop their modernization, by expanding previous studies of an evolution mechanism of the modern civilization, especially the study of 'augmented household' model first developed in the end of 1970s. The paper tries to establish a new model of 'the Global Endogenous Modernization Model' that explains reasons of the all-inclusive development of modernization in the 21st century.

Keywords : modernization, augmented household, SDGs (Sustainable Development Goals), globalization, infosocionomics, the evolution of civilizations, instrumental activism

1. 本研究の概要

本研究は、SDGs(Sustainable Development Goals)の”No One Left Behind”のスローガンに代表されるような、人種、宗教、政治体制、文化等の区別なく、地球上の全ての社会システムが猛然と近代化を推進することになる、近代化の新しい局面を説明する文明論上のモデルを構築することを目的とする。

近代文明史上、人種、宗教、政治体制、文化等の区別なく、地球上の全ての社会システムが猛然と近代化を推進することになるという状況は 21 世紀に本格的に開始された近代化の新しい局面であり、これを筆者は第3新近代、と呼んでいる。第3新近代論については拙稿(注 1:『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』, 東京都立産業技術大学院大学紀要第 12 号, 2019 年 1 月。)で詳述したところであり、近代文明の出自の地であるヨーロッパ人だけが近代化できると考えられた局面を第1近代, アジア/アフリカ等ヨーロッパ人以外の社会システムにも近代化の可能性は開かれてはいるものの、それを実現できるのは、ヨーロッパ人の教えを正しく守った「優等生」だけであり、それ以外のア

ジア/アフリカ等の社会システムは引き続き近代化を推進することはできない考えられた局面を第2近代と呼ぶのに対して、上記のような局面を第3新近代と呼ぶものである。以下示すように、今日では第3新近代の到来は、一人当たり GDP の伸び等の指標によっても例証されるようになってきていると考えられる。

問題は、第3新近代は 21 世紀に入ってから、特に 2010 年代以降に明らかになってきた動きであるため、それを理論的に説明するモデルが未整備であることである。第1近代及び第2近代を説明する理論的モデルは、過去数世紀間にわたって数多くのもが構築され、世界で普及を見せている。一方それらを援用して第3新近代を説明することは極めて困難であるため、筆者は第3新近代に対応する新しい理論的モデルを構築することが必要であると考えます。

第3新近代に対応する新しい理論的モデルの構築に当たって依拠することのできる先行研究としては、世界システム論のグローバリゼーション論がある。これは、ヨーロッパ起源の近代文明がグローバリゼーションによって次々に他の地域を包摂(inclusion)していくことによってアジア/アフリカ地域等の近代化が進展すると説明するモデルであり、アジア/ア

Received on October 2, 2022

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

フリカ地域における近代化を説明する代表的な理論的モデルと見ることができる。

筆者はかねてより、このグローバリゼーション論に基本的に依拠しつつ、アジア／アフリカ地域における近代化は、ヨーロッパ起源の近代文明に包摂される、という受動的な面もある一方、アジア／アフリカ地域が能動的にこの包摂過程を制御するという積極的な面があると指摘し、後者の面をモデル化し、その果たした役割の重要性を強調する研究を重ねてきたところである。

具体的には、アジア／アフリカ地域による包摂過程の能動的な制御に関して「追い付き創造性 (Catch-up Creativity)」と呼ぶモデルを提示した(注2:『「大収斂」近代世界システム論試論—発展途上国の発展戦略構築における「追い付き創造性」』, 産業技術大学院大学紀要第10号, 2017年1月.)。

「追い付き創造性」モデルは、包摂過程において能動的な制御が行われるにしても、基本的にはアジア／アフリカ地域の近代化の主たる動因は、ヨーロッパによる近代化のグローバリゼーションという外生的要因であるとする立場を採るものである。これに対して本研究は、アジア／アフリカ地域の内生的要因を広く認める可能性を探るものである。

標準的なグローバリゼーション論では、内生的要因が近代化の主たる動因になったのは、唯一、近代文明の出自の地であるヨーロッパだけであるとするのに対して、本研究は、アジア／アフリカ地域多くの社会システムにおいて近代化を推進するための内生的要因を広く認めようとするものである。

もとより近代化は、100%外生的要因だけ、または100%内生的要因だけで推進されるものではなく、実際には両者の混雑である。その前提の上で、外生的要因に対する内生的要因の相対的な大きさを、標準的なグローバリゼーション論に比べて格段に大きく認めようとするのが本研究である。近代化の動因に関する「内生的要因を強調したグローバリゼーション論」ということになる。

このような理論的モデルを構築するに当たって本研究が依拠する先行研究は、1970年末に、いわゆる駒場学派(注3: 1970年代に東京大学教養学部の社会科学系では、相関社会学の制度化等、世界的にも先鋭的な研究を展開しており、その代表的な研究者は、キャンパスの地名を採って、駒場学派と呼ばれた。)が展開したイエ社会モデルである。

イエ社会モデルは、その集大成(注4: 村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎『文明としてイエ社会』, 中央公論社, 1979年。以下、本稿では『イエ社会』。)が出版されたのが1979年のことであり、当時はアフリカの近代化は思いもよらないことであり、東アジアでさえ「優等生」は日本とアジア NIEs(韓国, 台湾, 香港, シンガポール)に限定されていたことから、記述されていることをそのまま第3新近代の理論的支柱として採用することは適切とは言えない。このためそこで示されて

いるモデルを抽象化し、発展させることにより、世界上の全ての社会システムが一斉に近代化を推進する現下の状況を適切に説明するモデルが構築できるのではないかと考える。

本研究では、イエ社会モデルを発展させることによって構築する第3新近代を説明する理論的モデルを、グローバル内生的近代化(Global Endogenous Modernization)モデルと呼び、その構築に取り組むこととする。

2. 問題の所在(内生的モデルと外生的モデル)

(1) 第2近代に関する外生的モデル

本研究の目的は、近代文明の出自の地であるヨーロッパ以外、特にアジア／アフリカ地域における内生的近代化を説明する理論モデルを構築することである。

この理論モデル構築における鍵は、内生的モデルと外生的モデルという対立軸である。なお先述のように、もとより近代化は、100%外生的要因だけ、または100%内生的要因だけで推進されるものではなく、実際には両者の混雑であることとなり、この対立軸はあくまで相対的なものとなる。

内生的モデルとは、外部の主体による教育、指導等による影響よりも、自発的に創造性を発揮した取り組みが近代化の中核的な動因となったと見るモデルである。これに対して外生的モデルは、外部の主体による教育、指導等による影響が近代化の中核的な動因となったと見るモデルである。

この対立軸に則って、第1近代、第2近代及び第3新近代を整理すると、以下のようになる。

第1近代とは、世界の中でヨーロッパだけが近代化できるとする考え方である。この考え方においては、ヨーロッパという近代化を最初に開始した地域(西ヨーロッパ)の近代化は内生的モデルで説明される。西ヨーロッパ以外のヨーロッパの地域については内生的モデルの可能性と外生的モデルの可能性の両方があり得る。

第2近代は、ヨーロッパ及び優等生のアジア／アフリカ地域が近代化するという考え方である。

この考え方においては、論理的には、内生的モデルも外生的モデルもあり得る。外生的モデルは、アジア／アフリカ地域は、ヨーロッパという外部の主体による教育、指導等によって近代化を実現した、と見る。これに対して内生的モデルは、外部の主体による教育、指導等の影響はあったにせよ、それよりも当該社会システムの自発的な創造性の効果の方が大きかったと見るものである。

歴史的経緯を振り返るならば、第2近代を説明する理論モデルについては、圧倒的 majority が外生的モデルであったと言える。一方で、少数ながらも内生的モデルもなくはない。先述の筆者の「追い付き創造性 (Catch-up Creativity)」モデルはそのような例である。

本研究は、そのような第2近代を説明する内生的モデルの先行研究として、駒場学派が展開したイエ社会モデルを採り上げ、それを発展させることにより第3新近代、即ち優等生、劣等生の差なく、全てのアジア／アフリカ地域が近代化を推進するという近代文明の新しい局面を説明する理論モデルを構築しようとするものである。

本節では、その準備作業として、歴史的に展開されてきた第2近代に関する外生的モデルを幾つか採り上げ、検討する。

第1の理論モデルは、開発経済学そのものである。筆者は、開発経済学が依って立つ考え方自体が典型的に第2近代の思想を反映したものであると考える。

(新古典派)開発経済学は、思想上は、第2次世界大戦後に東西冷戦が本格化し、東西両陣営による発展途上国争奪戦、即ち政治的独立を果たした直後のアジア／アフリカ地域の発展途上国を自陣営に取り込むための競争において用いられた、思想というソフト・パワーとしての意味を持つ。東西冷戦における発展途上国争奪戦においては、経済力、軍事力は当然ながら重要な効果を果たしたところ、それらに加えて、思想上の優越性も重要な役割を果たした。

第1近代の考え方は、世界の中でヨーロッパだけが近代化できる、とするものである。この考え方は帝国主義時代の思想上の柱として機能し、世界の中で唯一近代化することのできるヨーロッパの列強が、近代化することが原理的に不可能であるとされるアジア／アフリカ地域を植民地化することを正当化した。

これに対して東西冷戦においては、両陣営とも、この第1近代の考え方から脱却することが求められた。ヨーロッパではないアジア／アフリカ地域でも近代化することは可能であるとしつつも、全部のアジア／アフリカ地域が可能であるわけではなく、あくまで自陣営の主張する思想に基づいて努力した地域のみが近代化できるとして、近代化したければ自陣営に参入しなければならない、という主張を展開したものである。

東西冷戦を近代史の大きな動きの中で捉えたと、両陣営は、アジア／アフリカ地域の発展途上国を自陣営に取り込むことによって東西冷戦を有利に戦い抜くという目的のために、敢えて、第1近代の思想、即ち近代化はヨーロッパだけに可能でありアジア／アフリカ地域には不可能である、とする近代化に関するヨーロッパとアジア／アフリカ地域との間の原理上の違いを崩したものと見ることができる。

東側陣営の主張した思想は、言うまでもなくマルクス=レーニン主義である。この中では「ソビエト連邦の教育、指導に忠実に従って」努力を重ねることによって、アジア／アフリカ地域でも立派に近代化できるとする論理構成が構築されている。

開発経済学は、このような文脈において西側が主張した思想として捉えることが可能であり、「アメリカの教育、指導に忠実に従って」努力を重ねることによって、アジア／アフリカ地

域でも立派に近代化できるとするよう構築された理論モデルとして捉えることができる。即ち、ヨーロッパによる教育、指導に基づいた努力を重ねることによってアジア／アフリカ地域でも立派に近代化できることを、マルクス=レーニン主義以外の方法で、市場メカニズムに依拠した形で示したものであると言える。

開発経済学の原点とされるのは、1960年に発表された、Walt Whitman

Rostow の“The Stages of Economic Growth: A Non-Communist Manifesto”である。副題が“A Non-Communist Manifesto”となっていることが、上記の事情を示している。即ち、ヨーロッパではないアジア／アフリカ地域でもその中の優等生は立派に近代化できるという第2近代の考え方を大々的に示したのはマルクス=レーニン主義が先ではあるものの、それが唯一の思想ではなく、市場メカニズムに基づいても成立する、という意味であると解釈できる。

一方、マルクス=レーニン主義に依拠して第2近代の思想に基づく理論モデルを構築することに比べて、市場メカニズムに依拠して第2近代の思想に基づく理論モデルを構築することは相当の工夫を要することになった。Rostow は、基本的に、ハロッド=ドーマー・モデル(注5: Harrod, Roy F. “An Essay in Dynamic Theory” (1939)及び Domar, Evrey D. “Capital Expansion, Rate of Growth and Employment” (1946))及びソロー=スワン・モデル(注6: Solow, Robert M. “A Contribution to the Theory of Economic Growth” (1956)及び Swan, Trevor W. “Economic Growth and Capital Formation” (1956))に依拠することによってそれを構築した。

このようにして開始された開発経済学の近代文明史上のメッセージは、以下のようにまとめられる。20世紀後半においては、ヨーロッパでなくともアジア／アフリカ地域でも優等生であれば近代化できる。優等生になるためには、開発経済学において示されている各種の政策を忠実に実行すればよい、というものである。

本稿ではこれ以上の立ち入りは避けるものの、筆者は、開発経済学の成立及び発展に関して適切に理解するためには、東西冷戦における激しいイデオロギー競争の背景を考慮しなければならないと考える。

第2の理論モデルは、ワシントン・コンセンサスである。

このような開発経済学の考え方を先鋭化させたものが、東西冷戦終結前夜の1989年に国際経済研究所のジョン・ウィリアムソンが発表したワシントン・コンセンサスである。

これは、第1近代の考え方においては近代化が不可能であるとされていた発展途上国及び東西冷戦終了後に市場経済制度に移行した旧計画経済圏諸国(移行経済圏諸国)に対して、第2近代の考え方にに基づき、優等生になるための条件を具体的に10個の条件にまとめたものである。10個の条

件とは、財政赤字の是正、補助金カット等財政支出の変更、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である。

大方の発展途上国、特に移行経済圏諸国にとって、短期間にこれらの条件を充足することは、事実上不可能に近い。実際には、1990年代には、世界銀行等 MDBs(多国籍開発金融機関:Multilateral Development Banks)のエコノミスト等が大挙して移行経済圏諸国政府の顧問として教育、指導に当たり、所謂ショック療法(Shock Therapy)を実施した。その結果、少なからぬ移行経済圏諸国では深刻な経済的混乱が生じたことは承知の通りである。

ワシントン・コンセンサスの功罪については本研究では立ち入らないこととして、その近代文明史上の意義について確認するのみとしておく。東西冷戦の勝利に伴い、旧西側陣営は、それまで自らが語ってきた思想を証明する必要性に迫られることとなった。特に移行経済圏諸国に対しては、自らの指導に忠実に従えば、優等生になり、近代化を推進できることができることを眼に見える結果(tangible results)として示すことが求められるようになった。このために、極めて具体的な条件を設定することが必要になり、そのような要請に基づいて造り上げられたのが、ワシントン・コンセンサスの10個の条件であると見ることができる。

この結果、世界の発展途上国及び移行経済圏諸国は、ヨーロッパではないにも関わらず、ワシントン・コンセンサスの10個の条件を忠実に充足することによって近代化を推進する優等生と、それができない劣等生に2分されることになる。これがワシントン・コンセンサスの示す世界システムの構造である。

第3の理論モデルは、2000年9月の国際連合総会において採択された MDGs(ミレニアム開発目標: Millennium Development Goals)である。これは、2000年から2015年を対象期間とする達成目標を設定したものである。

最重要の達成目標は、貧困削減、即ち1日1ドル(後に、1.25ドルに修正)未満で暮らす低中所得国の人々の割合を、2015年までに1990年時点の29%から14.5%に削減するであった。なお、この目標は超過達成された(注7:国際連合ウェブサイト、2015年7月6日)。1990年には世界人口の47%(19億2,600万人)であった世界の貧困人口(1日1.25ドル未満で生活する者)は、2015年には14%(8億3,600万人)に激減した。

本稿では MDGs の内容に立ち入ることは避けるとして、その近代文明史上の意義についてのみ指摘しておくこととする。

MDGs では、貧困削減を含めて8つの大目標が設定されている。極度の貧困と飢餓の撲滅、初等教育の完全普及、ジェンダーの平等、子供の死亡率削減、妊産婦の健康の改善、HIV/エイズ・マラリアなどの疾病の蔓延防止、持続可能

な環境作り及びグローバルな開発パートナーシップの構築である。

ここでは、貧困・飢餓、「初等」教育、ジェンダー、子供の死亡率、妊産婦の健康、疫病等に関する目標が掲げられている。その背景は、発展途上国を優等生と劣等生に峻別し、MDGs では特に劣等生の底上げを図ろうとする考え方であると見ることができる。

MDGs が採択された2000年の時点では、既にアジア/アフリカ地域においても、東アジア、東南アジア等を典型として、数多くの発展途上国が順調な近代化を推進しており、流石にヨーロッパだけしか近代化できない、とする第1近代の考え方の維持は不可能になっていた。一方で、発展途上国の中には、東アジア、東南アジアのように順調な近代化を推進している地域がある一方で、サブ・サハラ地域を典型に、近代化に大きく遅れる地域も存在した。MDGs は、世界の関心を特に劣等生に集めることにより、その集中的な底上げを画したものと見ることができる。

以上のことから筆者は、第2近代の考え方が世界の潮流となり、かつその理論モデルの整備も進んだのは、20世紀後半、東西冷戦の中のことであったと考える。またその考え方は、MDGs が2015年までを対象期間としていたように、最近まで、場合によっては現在もなお世界の潮流であり続けていると見ることができる。

(2)第3新近代に関する外生的モデルの可能性と問題点

第2近代とは、アジア/アフリカ地域の中の優等生である発展途上国だけが近代化に成功する一方で、劣等生は引き続き近代化に失敗し続けるという考え方である。これに対し第3新近代とは、アジア/アフリカ地域の発展途上国は、優等生、劣等生の峻別はなく、紛争国、失敗国家等少数の例外を除けば全てが近代化を推進することができるという考え方である。

仮に世界システムの中で第3新近代の考え方を例証する事実が出現したとしても、その根拠を上記のような第2近代の理論モデルによって説明することは可能である。即ち、長年に亘って先進国(ヨーロッパ)は数多くの発展途上国に対して教育、指導等を実施し、数多くの発展途上国がその教育、指導等に基づく努力を忠実に重ねたため、数多くの発展途上国は須らく優等生になり、それゆえに近代化が進んでいる、と見るものである。

例えばワシントン・コンセンサスで示された条件を充足すると優等生になれるとされており、この評価は相対評価ではないため、条件さえ充足すれば、全員が優等生になり、劣等生がゼロになることになる。そのような状況が現在出現しており、それが第3新近代をもたらしている、という説明である。

第2近代において一部の発展途上国が優等生として近代

化に成功したのは、先進国(ヨーロッパ)による教育、指導等を受け、それを忠実に実施したためであった。第3新近代において大半の発展途上国が近代化に成功するとしても、それはそれら発展途上国が先進国(ヨーロッパ)の教育、指導等を受け、それを忠実に実施したためである、と説明される。

このような説明を、第3新近代に関する外生的モデル、と呼ぶことができる。

今日のサブ・サハラ地域の経済成長の成功も、また今後台頭が予想される多くの発展途上国の経済成長も、その要因の大半は、このような外生的モデルによって説明できることが予想される。既に、現下見られているサブ・サハラ地域を含む発展途上国の経済成長の要因については、開発経済学上の説明が多くなされているところである。

今日では第3新近代の思想、即ち地球上の全ての社会システムが近代化を推進することができるとする考え方も広まりつつあり、MDGs の後継目標である SDGs (Sustainable Development Goals) のスローガン、「No One Left Behind」は端的にそのことを意味している。ヨーロッパの立場から見れば、グローバリゼーションの結果、第3新近代において遂にヨーロッパは、余すところなく地球上を須らく思想的に牽引する立場に立つこととなるということになる。

これはこれで整合的な説明となる。

しかしながら筆者は、このような説明のみに服することには納得できず、それと並行して内生的モデルを構築する必要があると考える。その根拠は、アジア／アフリカ地域、特にサブ・サハラ・アフリカにおける現実の動きである。即ち、21世紀に入ってからアフリカ地域が著しい経済成長を遂げつつあることは周知の事実であるところ、それを外生的モデルで説明することには限界があるのではないかと考えるのである。

[表1]で示すのは、アジア／アフリカ地域それぞれ数か国の1人当たり GDP の推移である。

[表1] アジア／アフリカ地域の1人当たり GDP の推移

	1970年	1985年	2000年	2010年	2018年	2021年
中国	160	280	840	4,382	9,608	12,359
韓国	250	2,260	9,010	20,591	31,346	34,801
フィリピン	210	530	1,030	2,007	3,104	3,572
タイ	200	810	2,010	4,992	7,187	7,336
インドネシア	80	530	570	3,015	3,871	4,357
マレーシア	380	1,940	3,390	8,423	10,942	11,399
ベトナム	200	130	380	1,174	2,551	3,725
インド	110	290	450	1,265	2,036	2,185
ガーナ	310	340	330	1,312	2,206	2,441
モザンビーク	240	260	210	458	476	501
ジンバブエ	280*	760	440	594	1,712	2,102
象牙海岸	310	640	690	1,036	1,680	2,522
ルワンダ	60	270	260	562	791	859
タンザニア	100	240**	270	548	1,134	1,177
ケニア	150	300	350	809	1,857	2,205
セネガル	230	370	500	981	1,474	1,607
モロッコ	230	610	1,180	3,249	3,359	3,620
アルジェリア	300	2,460	1,580	4,435	4,238	3,701

*:ローデシア

**：1978年

(出典:World Bank Atlas(2010年、2018年、2021年はWorld Economic Outlook)を基に筆者作成。)

これから読み解くことができる事実は、以下の3点である。

第1点は、20世紀中は、東アジア／東南アジアでは劇的な経済成長が見られた一方、サブ・サハラ地域等アフリカ地域では低迷が続いたことである。第2点は、21世紀に入ると、東アジア／東南アジアにおいては引き続き順調な経済成長が見られ、かつその速度が加速していることである。第3点は、20世紀中は低迷していたアフリカ地域において、21世紀に入ると急激な経済成長が開始されていることである。

これらの事実を前にすると、2000年に劣等生であるサブ・サハラ地域に着目した MDGs が採択されたことは、時宜に適したものであったと見る事ができる。明らかなように、1970年時点では東南アジアとサブ・サハラ地域とでは殆ど差がなく、数か国ではサブ・サハラ地域が上回っていたにも関わらず、その後サブ・サハラ地域は30年間にわたって殆ど成長を見せず、東アジア／東南アジアとの差が著しくなっている。このため、東アジア／東南アジアを優等生、サブ・サハラ地域を劣等生と断じることには根拠があったと言える。

一方で、21世紀のアフリカ地域はどうか。

勿論、東アジア／東南アジア諸国と比べると、経済成長率は下回る諸国は多い。しかしながら、1970年からの30年間の停滞と比べると、明確に格段の経済成長を遂げるようになってきている。

しかも、この21世紀のアフリカ地域の経済成長を、一時的な現象と考えることには合理性が乏しい。少なくとも21世紀前半においてはアフリカ地域の諸国が順調な経済成長を遂げ、また多くの諸国ではその経済成長を加速することを期待することは十分に合理的であると言える。

20世紀後半において世界の発展途上国の中で典型的な劣等生であるとされたサブ・サハラ地域においても21世紀には順調な経済成長が進むとなると、最早経済成長と縁がないのは、紛争国、失敗国家等少数の例外しかなくなると考えられる。「No One Left Behind」が現実のものとなるのである。

本研究が試みる第3新近代のメカニズムに関する理論モデルの構築は、こうして21世紀の半ばの世界システムの状況を予測するための根拠を提供することになる。第3新近代が、何らの理論モデルに裏付けられたものではなく、単なる政治的スローガンに過ぎないとすれば、今日見られているサブ・サハラ地域の順調な経済成長も一時的な偶然に終わる可能性を否定できない。一方で、そのメカニズムが理論的に説明され得るものであれば、それが近代文明史上の第3新近代の時代の嚆矢を示す事実である可能性が高まる。

それでは、仮にこのような21世紀におけるアフリカの急激な成長を外生的モデル「のみ」によって説明しようとすると、ど

うなるか。繰り返すと、[図表1]で明らかなように、一部の、特にサブ・サハラ・アフリカ諸国は20世紀中には殆ど経済成長していない一方で、21世紀に入ると急激な経済成長を開始しているのである。

外生的モデルに立つと、20世紀中にはそれらアフリカ諸国はヨーロッパによる教育、指導等を真面目に聞かないで、それに基づく各種政策も殆ど実施していなかった一方、21世紀に入ると人が変わったように真面目に聞くようになり、それに基づく各種政策を本格的に実施するようになった、ということになる。

この場合の各種政策とは、典型的にはワシントン・コンセンサスで示されている。即ち、それらアフリカ諸国は20世紀中には殆ど実施していなかった財政赤字の是正、補助金カット等財政支出の変更、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等を21世紀に入ると突然、猛然と推進するようになった、ということになる。

勿論、ある程度はそのような政策上の動きは認めることが可能である。確かに21世紀には、多くのアフリカ諸国で、各種の重要な政策が本格的に実施されるようになった。

また、時間差、もある程度認めることができる。

1990年代に移行経済圏諸国でショック療法を指揮したコンサルタントの多くは数年以内に成果を出すと豪語し、結局多くの移行経済圏諸国を大変な経済的混乱に陥れたに終わったところ、実際には、政策の実施とその効果の出現には相当の時間差がある、と考えられる。即ち、移行経済圏諸国に限らずアフリカ諸国は20世紀中から各種の重要な政策を実施してきてはいたものの、20世紀中にはその効果は本格的には出現せず、効果が出るようになるのは21世紀に入ってからのことであった、ということである。

これらの考え方によって相当の事実が説明されることは疑いない。しかしながら筆者はそれでも、20世紀中と21世紀に入ってからでアフリカ諸国の政策上の差がこのような経済成長に関する決定的な差の要因を余すことなく説明し尽くすことには大きな疑問がある。筆者は、アフリカ諸国は、20世紀中も可能な範囲での政策的努力を実施してきており、政策の実施に関して21世紀に入ってから劇的な変化が起きたと説明することには相当の無理があると考えられる。

逆に、多くのアフリカ諸国は21世紀に入ると猛然と経済成長を進めているものの、それら諸国において、21世紀に財政赤字の是正、補助金カット等財政支出の変更、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等が高いレベルで実現するようになったかと言えば、これも相当の無理があると言わざるを得ない。

因みにワシントン・コンセンサスの挙げている条件は相当厳

しいものである。発展途上国ではない日本でさえ、金利の自由化は20世紀末にようやく進んだものであり、国営企業の民営化は郵便事業について見ると21世紀の小泉政権下で実現したものである。また、財政赤字の是正、補助金カット等の財政支出の変更については、コロナ下で特殊な財政運営をしている現下の日本政府にとっては耳の痛い話となる。

以上のような経緯で、筆者は、第3新近代におけるアジア／アフリカ地域の近代化について、ヨーロッパによる教育、指導等という外生的要因だけではなく、アジア／アフリカ地域側の内生的要因についても説明する理論モデルの構築の必要性を痛感する次第である。

内生的モデルが可能であるとすれば、21世紀におけるアフリカ諸国の急激な経済成長を含め、全てのアジア／アフリカ地域が近代化を推進する「No One Left Behind」の動きには、従来通りのヨーロッパによる教育、指導等の効果も相当あるものの、それだけではなくアジア／アフリカ地域側の自発的な創造性の効果も無視できないものであることとなり、両者の相乗効果によって近代化が進んでいくと見るのが適切であることとなる。

3. イエ社会モデル—内生的モデルの先行研究

(1) イエ社会モデルの概要

本研究では、1970年代末に発表されたイエ社会モデルを発展させることにより、第3新近代に関する内生的モデルの構築に取り組む。

イエ社会モデルは、発表されたのが1970年代末であることを反映し、典型的な第2近代に関する理論モデルであると言える。しかも、ヨーロッパ以外で近代化できる優等生として、日本のみを設定している。アジア／アフリカ地域を含むヨーロッパ以外の地域には内生的近代化の途は閉ざされており、それら地域における近代化は、ヨーロッパによる教育、指導等に基づく外生的なものに限られているところ、日本だけは例外的に、外生的な要因も勿論あるものの、基本的には内生的に近代化を推進した、とするものである。その根拠をイエ集団という中世以降の日本の歴史において内生的に構築された特別の集団に求めるものである。日本においてはイエ集団という特別の集団が形成され、それが近代化に適したものであったために、世界の中でヨーロッパ以外では唯一の例外として日本が内生的近代化に成功した、とするものである。因みに、『イエ社会』では、「高度文明の洗礼が不十分で、氏族や部族の単位が強く、血縁原則が依然として働いているアフリカやアジアの諸地域では、国民国家はおろか、かりそめの政治的統一を作り出すことすら容易ではない。したがって、おそらくは先発諸国からの脅威を契機として、産業化を目標とした強権的な政治的統一が先行し、それが辛うじて持続し

て産業化がある程度進んだのちに、国民国家化が起り、そして漸く正統性の大衆化(民主化)が起るといふ形も十分ありうるだろう。」(注8:『イエ社会』, p164-165)として、第3新近代の考え方が否定されている。しかしながら筆者は、これは、1970年代末の世界の事情を反映した偏見であると見る。

筆者は、イエ社会モデルを精査すると、その枠組みは日本以外の多くのアジア/アフリカ地域の社会にも適用の可能性があり、情報社会学近代化モデルという最近の研究成果を付加することにより、多くのアジア/アフリカ地域の社会が内生的近代化を推進することを理論的に示す内生的近代化の理論モデルを構築できるのではないかと考える。

本章では、まずはイエ社会モデルの概要を示し、次いでその一般化の検討を進めることとする。

イエ社会モデルとは、『イエ社会』を、第3新近代に関する内生的近代化モデルの先行研究としての視点から筆者が独自に要約し、構築したものである。『イエ社会』では、以下に筆者が示すような形では内容がまとめられてはいない。あくまで筆者の独断による要約である。従って、イエ社会モデルの理論モデル上の問題に関する責は、全て筆者が負うものであることを予めお断りしておく。

イエ社会モデルは、多系的文明進化史観と呼ばれる独特の文明史観に立脚し、近代文明をその独特の文明史観の中で捉えることにより、近代化のメカニズムを整理する。

多系的文明進化史観と呼ばれる独特の文明史観に立つことから、近代文明は、ヨーロッパで発生して発展した文明、という歴史的な拘束を離れて抽象化され、ヨーロッパ以外の社会においてもある状態に到達した社会システムを近代文明と捉えることができるようになる。近代文明とは、超民族的、超地域的な、人類の文明史上のある状態を指す概念になる。

イエ社会モデルは、このような文明史観に立脚した上で、近代化が内生的に進む条件を整理し、そのような条件を充足した社会システムとして、ヨーロッパと日本を挙げる。他のアジア/アフリカ地域の社会システムではその条件の充足に失敗したために、それら地域における近代化は基本的に外生的、即ちヨーロッパによる教育、指導等に基づくものとなった、とされる。

イエ社会モデルは、日本が近代化を内生的に推進することを可能にした条件として、イエという特別な組織(核主体)が内生的に構築されていたことを挙げる。核主体とは、特別な集団規制原則に基づく組織であり、それぞれの文明(近代文明に限らない)の運営の中核を担う組織のことである。近代文明の核主体は、ヨーロッパでは封建社会における封建領主がそれに相当し、日本ではイエがそれに相当する。イエは、応用情報社会学では augmented household と英訳する。本章ではこのイエ社会モデルについて見ていくこととするものの、その前に混乱を招く概念の整理を示しておかなければならない。それは、近代化及び近代文明という概念である。

イエ社会モデルにおいては「狭義の」近代化、「広義の」近代化、という峻別がなされているところ、同じ内容を本稿では、「狭義の」近代化のことを近代文明、「広義の」近代化のことを近代化、と呼ぶこととする。

近代化(「広義の」近代化)とは、イエ社会モデルによれば、ヨーロッパと日本の地において、10世紀頃以降進展している文明史上の動きである。一方近代文明(「狭義の」近代化)とは、情報社会学近代化モデルの見解によれば、概ね16世紀半ば以降ヨーロッパによって開始された文明の形態である。情報社会学近代化モデルでは近代文明の嚆矢を近代的な主権国家の成立に置くものの、世間一般では蒸気機関に牽引される産業革命に求めることが一般的である。その場合は、嚆矢は2世紀遅れ、18世紀半ばであることになる。

このように、近代化(「広義の」近代化)と近代文明(「狭義の」近代化)とでは、対象となる歴史的範囲が大きく異なる。この違いをイエ社会モデルでは、以下のように整理している。

近代化とは、社会システムの運営に関係する集団(核主体)が近代的な社会思想に基づく集団規制原則によって運営されるようになることである。ヨーロッパでは、概ね10世紀以降の封建社会においてそのような核主体が成立し、近代化が進展していたために、それら核主体が中心的な役割を果たすことによって、16世紀半ば以降、近代的な主権国家、産業革命等によって捉えられる近代文明を構築することに成功した。

このように、近代化は近代文明を内生的に構築するための必要条件である。

一方で、十分条件ではない。ヨーロッパ以外の地域においても、日本は、イエという近代的な社会思想に基づく集団規制原則によって運営される社会システムの核主体を内生的に生み出していた。しかしながら日本は、近代的な主権国家、産業革命等によって捉えられる近代文明を内生的に生み出すことはなかった。但し近代文明の前提条件である近代的な社会思想に基づく集団規制原則によって運営される核主体が生み出されていたことは、19世紀後半以降の日本による近代文明の受容、推進に決定的な影響を及ぼした、とされる。それでは以下、次に列挙する問題に即してイエ社会モデルの概要をまとめる。

第1点は、近代文明を超民族的、超地域的に捉えることを可能にする枠組みである多系的文明史観とはどのようなものか、である。

第2点は、その多系的文明史観によれば、近代文明はどのような文明として整理され、かつそれを内生的に推進することを可能にする条件とはどのようなものか、である。

第3点は、日本のイエ社会は、どのような意味でその条件を充足したのか、である。

(2) 多系的文明進化史観

多系的文明進化史観とは、『イエ社会』に示されている独特の文明史観である。

『イエ社会』で示されている多系的文明進化史観は、以下の3本の柱によって構成されるものである。

① 多系性

第1の柱は、多系性である。多系性、というのは、以下の意味である。

文明の進化の方向性に関する文明進化史観には、単系的(リニア)、即ちある特定の方向に沿ってのみ進化を続けるという文明進化史観と、多系的、即ち複数の方向に向かって進化を続け、それら異なる方向に進化する文明が、場合によっては競合、衝突し、交替を遂げていくことになるという文明進化史観とがある。イエ社会モデルは、多系的文明史観に立脚し、その方向性として2つの方向性を挙げ、それぞれの方向性に進化する文明が交互に登場する、と見る。ある時期にはある方向性(A)に文明が進化していき、その文明が崩壊すると、今度は別の方向性(B)に文明が進化していき、さらにその文明が崩壊すると、今度はまた元の方向性(A)に文明が進化していく、ということである。

この多系的文明進化史観については、『イエ社会』以降も研究が続けられており、『イエ社会』の著者の一人、公文俊平は、自書で展開している(注9:公文俊平『情報文明論』, NTT出版, 1994年, p37-78. 及び公文俊平『文明の進化と情報化』, NTT出版, 2001年, p16-30.)。

公文俊平によるその概要を示すと、以下のようになる。

人類の文明進化史の概要は、未来志向型文明と過去志向型文明の2種類の文明が交互に世界で趨勢となる、というものである。未来志向型文明とは、文明は時間の経過とともに進化を続けて行き、完成度の高い、優れた文明は未来に出現する、という社会思想が人々に共有されることによって成立する文明である。過去志向型文明とは、完成度の高い、優れた文明は過去に存在しており、人類は時間の経過とともに墮落して行きつつあるため、私達はできるだけ過去の栄光に近づくべく努力を重ねなくてはならない、とする社会思想が人々に共有されることによって成立する文明である。

公文俊平の多系的文明進化史観の特徴は、文明の類型を、それぞれが開発する技術パラダイムの内容で捉えることである。

新しく勃興してきた文明が、その時点の世界で趨勢を占めている文明をその座から追いやり、自らが趨勢の地位を占めるためには新たな「技術の突破」が必要となる。その技術パラダイムに、物的技術と心的技術の2つのものがある、とする。物的技術とは、通常私達が考える技術パラダイム上の技術であり、人間にとって外部である環境を制御するための技術

である。

これに加え、外部の環境を制御するための技術である物的技術とは別に、人間の内部の状態、心のあり方を制御するための技術としての心的技術という技術パラダイムを設定し、物的技術と心的技術は内容が根本的に異なるものではあるものの、技術パラダイムとしての完成度としては同格ものであると見做すことがこの多系的文明進化史観の特徴である。

これらの概念を基に、公文俊平は、「文明進化の3公理」を示している(注10:公文俊平『社会システム論参考資料』, 産業技術大学院大学講義資料, 2016年7月.)。

第1公理は、未来指向型の文化を持つ文明は物的技術の突破に成功する、というものである。

第2公理は、過去指向型の文化を持つ文明は心的技術の突破に成功する、というものである。

第3公理は、文明の交代は、発展の限界に達した既存文明の周辺に生ずる「文化革命」が契機となる(文明の限界は新文化で乗り越える)、というものである。

その結果、公文俊平によれば、人類の文明史は、以下のよう記述される。

人類が初めて文明を構築したのは、約20万年前のことであり、それを牽引したのは物的技術の技術的突破である。この技術的突破を人類革命、と呼び、その結果成立した物的技術文明を、始代文明、と呼ぶ。

約5万年前に、この始代文明が発展の限界に達した時に、その文明の周辺において、呪術革命と呼ばれる新しい心的技術の技術的突破が発生した。その結果成立した心的技術文明を、呪術文明、と呼ぶ。

約1万年前に、この呪術文明が発展の限界に達した時に、その文明の周辺において、農耕・牧畜革命という新しい物的技術の技術的突破が発生した。その結果成立した物的技術文明を、古代文明、と呼ぶ。

約3千年前に、この古代文明が発展の限界に達した時に、その文明の周辺において、宗教革命という新しい心的技術の技術的突破が発生した。その結果成立した心的技術文明を、宗教文明、と呼ぶ。

約1千年前に、この宗教文明が発展の限界に達した時に、その文明の周辺において、軍・産・情報革命という新しい物的技術の技術的突破が発生した。その結果成立した物的技術文明が近代文明である。

物的技術文明の系では、始代文明、古代文明及び近代文明という順に世界の趨勢である文明の地位を占め、心的技術文明の系では、呪術文明、宗教文明という順に世界の趨勢である文明の地位を占めてきた。

以上を図示すると、[表2]のようにまとめられる。

[図表2]

多系的文明進化史観

(年前)	20 万年	5 万年	1 万年	3 千年	1 千年	将来①	将来②
未来志向型	始代文明		古代文明		近代文明		(超人文明)?
過去志向型		呪術文明		宗教文明		(智識文明)?	

(出典: 公文俊平『情報文明論』、『文明の進化と情報化』及び『情報社会学序説』を筆者が加工。)

このような多系的文明進化史観で捉えると、近代文明は、以下のように整理される。なお、ここで言う近代文明は約1千年前以降のものを指していることから、本稿における定義においては「広義の」近代文明、即ち近代化を指すこととなる。

近代文明は、未来志向型と過去志向型の2つの文明進化の系のうちで未来志向型の系に乗るものであり、未来志向型の系の中では古代文明の次に登場して来たものであり、直前の過去志向型の系の文明である宗教文明に交替して世界で趨勢となったものである。

なお応用情報社会学の研究においては、このモデルに基づき、近代文明に交替して世界の趨勢を占めるようになる可能性のある過去志向型の系の文明を智識文明 (Epistemic Civilization) と呼び、更にそれに交替する近代文明の次の未来志向型の系の文明を超人文明 (Super-human Civilization) と呼んで検討を進めているところ、本研究ではそれには立ち入らないこととする。

② 文化子型＝文明型モデルと集団競争史観

第2の柱は、集団競争史観である。『イエ社会』では、「歴史とは、社会にとって基本的な重要性をもついくつかの「集団」および集団類型の、進化・競合・淘汰の過程である。(注 11: 『イエ社会』, p254.)」と述べている。

多系的文明進化史観に限らず文明史に関する一般的な見方が示すように、文明は一定の期間の後、崩壊し、別の文明に交替する。その結果、人類史においては数多くの文明が登場し、興亡を繰り返すこととなる。この事実を前提にして適切な文明進化史観を構築するためには、人類史に登場する多種多様な文明を、ニュートラルな立場で適切に相互の比較を行うことができるような文明の定義を設定することが必要になる。一方で、文明の定義は困難なものであり、文明の定義は、文明史の研究者の数だけある、と言っても過言ではない状況にある。

文明の定義が困難な理由は、ある特定の文明を念頭に定義を設定すると、それに似た文明は文明として高い評価を得られることになる一方で、内容が大きく異なる文明は、そもそも文明としての資格すら与えられなくなる可能性があることである。例えば、エジプト、ローマ、近代文明等を念頭に、壮大な建造物の存在を文明の重要な要因として設定すると、そもそも壮大な建造物の構築に興味がない文明は文明として認められなくなる。

このため、文明進化史観等において比較文明論的な研究を行う場合には、様々な形態を採るそれぞれの文明に対してニュートラルで、かつ操作性の高い定義を設定することが必要になる。この意味で、イエ社会モデルの基盤である多系的文明進化史観が集団競争史観を採用することには重要な意味があることになる。集団競争史観とは、文明の類型を、それを運営する役割を担う集団(核主体)の類型で捉える、というものである。

集団競争史観が文明の定義において優れている理由については、駒場学派のその後の文明研究の進展が示している。

公文俊平は、1990年代に、ある種の社会システム論的な方法論に依拠した独自の文明進化史観を構築し、発表している。その内容に詳しく立ち入ることは差し控えることとし、集団競争史観との関係で重要な点のみを指摘しておく。

公文俊平は、生物学における遺伝子型＝表現型モデルを文明に援用し、文化子型＝文明型モデルを提示している(注 12: 公文俊平『情報文明論』第1章「文明と文化」、NTT出版、1994年.)。生物学における遺伝子型＝表現型モデルとは、生物は、遺伝子型によって爾後の成長の可能性の範囲が決定され、その遺伝子型の発現に、自然選択と環境の要因が作用することにより、具体的な形質・行動特性を持つ表現型が決定する、というものである。

このモデルを文明に援用したものが公文俊平の文化子型＝文明型モデルである。文化子型が遺伝子型に、文明型が表現型にそれぞれ対応する。社会システムの中には、文明の形態、進化の可能性の範囲を決定する文化子型が存在し、それに主体選択と環境の要因が作用することにより、具体的な構造・機能特性を持つ文明型が決定する、というものである。

その後の応用情報社会学の研究等では、文化子型は、社会システムにおける最小の主体である個人の行動を規定する社会思想 (social philosophy) として捉えられている。社会思想とは、個人の行動規範を示すものの考え方であり、かつある集団で共有されたもののことである。ある集団においてある特定のものの考え方が共有されることにより、その集団では個人が共通してある特定の行動を採るようになり、その共通した行動に主体選択と環境の要因が作用することによって出現する社会システムの形態が文明である。

この場合、個人の行動が直接文明型を決定すると考えることは現実的ではない。実際には、個人と文明型との間に幾つかの中間的な組織／制度を設定することが合理的である。各個人が特定の社会思想によって規定される行動を採ることにより、何らかの中間的な組織／制度が生み出され、それらの組織／制度が相互補完的に組み合わせることによって出現する大きな組織／制度が文明であると考えるのである。

結果として出現する文明の形態は千差万別であり、それらをそのままの形で比較することは困難であるとしても、文明の

構成要素となる中間的な組織／制度の中には、全ての文明で広く一般的に見られることとなるものを探すことは可能である。そのような中間的な組織／制度として、イエ社会モデルは核主体、という概念を提示する。核主体とは、文明が構築されている社会システムにおいて、当該社会システムにおいて人々に共有されている社会思想に基づく規則（集団規制原則）によってガバナンスされており、かつ文明の枢要な構成要素をなす集団（複数の個人によって構成される組織／制度）である。全ての文明には、必ず核主体が存在することになり、多系の文明進化史観はその核主体の類型によってそれぞれの文明を特徴付けるものである。典型的な核主体は、家族である。

核主体の類型は、集団規制原則によって決定される。曰く、「各発展枝そのものに明瞭に対応させることができるのは、各発展枝固有の社会観であり、ものの見方であり、その意味での広義の「思想」であることを指摘したい。（略）ある発展枝にはそれ固有の思想が対応し、とくにそれ固有の集団規制原則が対応する。重要なのは、各発展枝についてそのような対応を明らかにすることであろう。」（注 13：『イエ社会』、p96.）。

集団規制原則とは、当該社会システムにおいて、個人に共有されている社会思想が核主体のガバナンスに用いられる原則として機能する面を採り上げて指す概念であることになる。社会思想そのものは深淵なものの考え方のシステムであり、集団のガバナンス以外にも様々な面の機能を持つ。そのうちの核主体のガバナンスに関する内容が集団規制原則と呼ばれる。集団規制原則は、必ず社会思想と内容上整合的（coherent）なものになる。

集団競争史観は、このように、結果として出現した文明そのものではなく、中間的な組織／制度（核主体）に着目し、そこでガバナンス機能を果たしている集団規制原則を見ることによって当該社会システムで共有されている社会思想、即ち文化子を明らかにし、それによって文明を類型するというものである。

これは、実務上極めて有効な方法論である。

文明の類型化を、文明が築いた物理的な建造物、法体系等によって行おうとすることは、特定の文明にプラスまたはマイナスのバイアスをかけることになるため、避けるべきである。この点、文化子＝文明型モデルに立脚し、文化子、即ち社会思想の内容に基づく類型化を試みることは合理的である。一方で、様々な形態の文明について、それぞれの社会思想を正確に読み取ることは困難である。文字が整備され、哲学のようなものが発達している文明については書籍を読む、という方法があるものの、これは全ての種類の文明で可能なことではなく、またそもそも書籍に書かれている内容がそのまま反映されて社会システムが構築されたかどうかは判然としない。

これに対して集団競争史観は、核主体の集団規制原則に基づいて当該文明の社会思想を把握しようとするものである。集団である核主体をガバナンスするためには必ず何らかの原則が必要であり、核主体は文明の運営に中核的役割を果たすことから、その原則は当該文明全体を覆う社会思想と整合的（coherent）なものとなっていると見ることができる。

このような、核主体の集団規制原則として捉えられる社会思想の内容によって文明を類型化する集団競争史観の考え方に立脚すると、これまで敢えて正確に定義してこなかった内生的近代化の内容が明らかになる。内生的近代化とは、近代文明核主体が、当該社会システムの中で内生的に構築されることである。近代文明核主体とは、近代文明を支える社会思想と整合的な集団規制原則によってガバナンスされ、かつ近代文明の運営に中核的役割を果たす核主体である。

改めて確認すると、生物学における表現型に相当する文明型としての近代文明の構造・機能特性である産業化の進展、近代的な政治制度の構築等が当該社会システムのイニシアティブによって進められること自体が内生的近代化ではない。近代文明核主体が構築されれば、「結果として」産業化の進展、近代的な政治社会制度の構築等が進むことになる可能性は高いものの、それら自体は内生的近代化の指標とはならない。

ここで、近代化及び近代文明について、今一度整理しておく必要がある。

『情報文明論』で示されている公文俊平の文明進化史観は、生物学における遺伝子型に相当する文化子型と、表現型に相当する文明型の2層構造となっている。一方筆者は、イエ社会モデルにおける核主体は、文化子型と文明型の間中に位置する存在として、文化子型、核主体等中間組織／制度、及び文明型の3層構造の中で捉えることが適切であると考えられる。文化子は、個人の行動様式を決定する社会思想であり、核主体は、そのような個人によって構築され、集団規制原則がその社会思想と整合性を持っている組織／制度であり、文明は、そのような複数の核主体によって構成され、運営される制度である。

このような3層構造モデルに立つと、近代化についても3層それぞれに定義されることとなる。

繰り返しているように、近代文明型核主体の構築は、中間組織／制度層における近代化である。これに対して、近代的な産業化の進展、近代的な政治制度の構築等は、文明型層における近代化である。更に、近代的な社会思想の成立が文化子層における近代化である。

このように内容が異なることから、それぞれの層における近代化の進展については、時間的なずれが生じることになる。

情報社会学近代化モデルでは、近代的な産業化の進展、近代的な政治制度の構築等は、文明型層における近代化の開始を、概ね16世紀半ばに置いている。近代的な社会思

想については多くの研究がなされているところであり、深く立ち入ることは適切ではないものの、例えばデカルトの『方法序説』の公刊は 1637 年であることから、これら2つの層における近代化の開始時期については、決定的な違いは大きくはないと見ることができる。

問題は、核主体層における近代化である。

イエ社会モデルでは近代文明核主体が内生的に構築された例として、人類の文明史上、ヨーロッパにおける封建社会と日本におけるイエ社会の成立の2つを挙げている。両者ともに、その開始は概ね 10 世紀頃と見られ、社会思想層及び文明型層における近代化の開始とは大きなずれを持つ。

このことはイエ社会モデルを提唱する駒場学派自身が自覚しているところであり、先述のように、概ね 10 世紀以降の近代化を「広義の」近代化、16 世紀半ばからの近代化を「狭義の」近代化、と呼んでいる。本稿では、「広義の」近代化を近代化、「狭義の」近代化を近代文明と呼んでいるところ、これらについては、前者を核主体層における近代化、後者を文明型層における近代化、と呼ぶことによっても峻別されることになる。

この 3 層構造モデルに立脚してイエ社会モデルを整理すると、以下のようになる。

核主体層における内生的近代化を実現したのは、人類の文明史上で、ヨーロッパの封建社会及び日本のイエ社会の2つのみである。核主体層における近代化が実現していたために、両者は文明型層における近代化を目覚めしく進めることとなった。ヨーロッパは、文明型層における近代化(近代文明)を完成させ、近代文明に関する中心＝周辺構造で捉えられる世界システム上の中心として、周辺を次々に包摂するグローバリゼーションを推進した。日本は、文明型層における近代化(近代文明)の構築を行なうことはなかったものの、ヨーロッパによる近代文明の包摂過程においては著しい自発的なイニシアティブを発揮し、短期間に近代文明の受容に成功した。

以上を踏まえると、本研究の目的は、以下のように整理されることとなる。

本研究の目的は、第3新近代と称される現下、アジア／アフリカ地域が内生的近代化を推進できる可能性を示す理論モデルを追求することである。

現下が第3新近代と称される根拠は、文明型層における近代化、即ち近代的な産業化の進展、近代的な政治制度の構築等が事実上全てのアジア／アフリカ地域で猛然と進展しているという事実である。一方、上記集団競争史観に則るならば、内生的近代化は、核主体層において求められなければならない。即ち、近代的な産業化の進展、近代的な政治制度の構築等の構造・機能的特性によって捉えられる今日のアジア／アフリカ地域における文明型層の近代化が、それら地域が内生的に構築した近代文明核主体によって推進され

ているのかどうか、である。

近代文明核主体の内生的な構築がヨーロッパの中世封建社会と日本のイエ社会だけに見られる事象であるとするれば、1970 年代後半の世界の状況を見ながら執筆された『イエ社会』の記述の通り、内生的近代化は、ヨーロッパと日本という2つ事例だけに可能であった事象であることになる。一方、それから半世紀を経て、世界の状況は大きく様変わりしている。この時点で、イエ社会モデルの骨格は残しつつも必要な修正を加えつつ、アジア／アフリカ地域の内生的近代化の可能性について検討を進めることは、近代文明の進化の方向性を占う意味で重要な作業であると考ええる。

アジア／アフリカ地域の内生的近代化とは、繰り返しているように、核主体層の近代化、即ち、近代文明型核主体の構築であり、これは、近代的産業化、近代的組織の構築等によって捉えられる文明型層における近代化に先行して行われるものである。周辺、即ちアジア／アフリカ地域にとつての近代文明との邂逅とは、文明型層で生じる。ヨーロッパで文明型としての近代文明が成立し、それに影響を受けることである。具体的には、世界システム論で説明されるように、文明型としての近代文明がアジア／アフリカ地域を次々に包摂していくというグローバリゼーション過程で発生した。

即ち、文明型としての近代文明のグローバリゼーション過程における包摂を受ける前に近代文明型核主体が構築されていることが内生的近代化であることになる。

核主体とは、結果として文明型を構築することに繋がる中間的な組織である。近代文明を支える組織、と言うと、株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等が想起されるものの、それらは既に近代文明の文明型である。それらによって構成される近代文明というものを生む出すことになった組織が核主体であり、その例として『イエ社会』は、ヨーロッパの中世封建制における封建領主及び日本のイエ社会におけるイエを挙げる。封建領主もイエも、外型上は株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等とは大きく異なり、また歴史的にも継続性はない。封建領主またはイエが発展して株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等になったのではない。封建領主またはイエは、その活動によって、結果として株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等を包含する文明型としての近代文明を生む働きをしたということである。また、それには数百年かかった、ということである。

『イエ社会』では、イエという核主体と株式会社等の文明型としての近代文明を示す組織との関係が丁寧に説明されている。日本がヨーロッパによるグローバリゼーションに包摂されて文明型としての近代文明を受容するのは 19 世紀後半のことである。一方、この時点で日本にはイエという近代文明型核主体が存在していたため、社会システム全体を近代文明型社会思想(手段的能動主義)によってガバナンスされる中間的な組織によって運営するという体制は出来ていた。こ

のため、株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等の文明型としての近代文明を表す組織を容易に構築、運営することができ、そのことによって19世紀後半以降の日本は文明型としての近代文明の受容に短期間で成功を収めたとされる。

③ 中心＝周辺邂逅メカニズム

本研究の中心的課題は、イエ社会モデルに基づいて、アジア／アフリカ地域における内生的近代化の可能性を広く認める理論モデルを構築できるかどうか、であり、内生的近代化とは近代文明核主体の内生的な構築である。『イエ社会』では、それが人類の文明史上で発生したのがヨーロッパの中世封建社会と日本のイエ社会だけであったとしている。これに対して、それ以外のアジア／アフリカ地域においてもそれが発生した可能性があるとして、アジア／アフリカ地域の大学／政府関係機関等と連携してその調査を進めることが本研究の進め方となる。

そのような調査に着手するためには、本研究が成立するかどうかを決する重要問題に取り組む必要がある。即ち、近代文明核主体の内生的な構築は、中世封建社会を生み出した当時のヨーロッパ、及びイエ社会を生み出した当時の日本にのみ存在した特殊な事情に基づくもので、他の時代の他の地域においては原理的に不可能なものなのか、それとも一定の条件が満たされれば他の時代の他の地域においても可能なものであり、現在確認されているそのような条件が満たされた例がそれら2つである、ということなのか、である。

当然ながら、前者であれば、イエ社会モデルの帰結は、日本以外のアジア／アフリカ地域における内生的近代化の可能性を閉じることとなる。一方で後者であれば、条件を明確にすることにより、多くのアジア／アフリカ地域においてそれが充足されたかどうかを調査することにより、それら地域の内生的近代化の可能性を考察することが可能になる。

繰り返すと、内生的近代化とは近代文明型核主体が内生的に構築されることである。株式会社等は核主体ではなく、文明型としての近代文明そのものを表すものである。株式会社、近代的金融機関、国民国家政府等文明型としての近代文明そのものを表す組織は、それに類似したものを拾うことは十分に可能であるとしても、そのままの形のもの、必ずヨーロッパによる近代文明のグローバリゼーション過程の包摂によってもたらされる。渋沢栄一が設立した銀行は、渋沢栄一がヨーロッパで学んだ制度をそのまま導入したものであり、日本の社会システムにとっては外生的に発生したものである。ヨーロッパの影響なくして日本に昔から存在していた金融機関が内生的に発展して銀行になったのではない。他の多くの組織／制度も同様に、外生的に出現したと見ることができ

それでも『イエ社会』が日本の近代化を内生的であるとするのは、結果として株式会社等の形態で現れる近代文明を構築することになる近代文明型核主体が内生的に構築されていたためである。近代文明核主体と株式会社等の文明型としての近代文明そのものを表す組織とは、形態上類似している必要も、また歴史的に継続している必要も全くない。

イエ社会モデルで示されている近代文明核主体の内生的な構築のメカニズムを、本稿では、中心＝周辺邂逅メカニズムと呼ぶ。なお、『イエ社会』では、中心＝周辺邂逅メカニズム、という用語は用いられておらず、本研究の命名である。

本研究の主張は、中心＝周辺邂逅メカニズムに基づくならば、近代文明核主体が内生的に構築される可能性は、広くアジア／アフリカ地域にも存在する可能性がある、というものである。逆に、中心＝周辺邂逅メカニズムからはそれが内生的に構築されたのがヨーロッパの封建社会と日本のイエ社会だけであることを証明することは困難であると考え

再度繰り返すと、ここで問題にしているのは近代文明核主体であり、株式会社等の文明型としての近代文明そのものを表す組織ではない。本研究が進めようとしているアジア／アフリカ地域における調査は、アジア／アフリカ地域において、株式会社に相当するような経済組織、近代的金融機関に相当するような金融組織、国民国家政府に相当するような政治組織を探すことではなく、手段的能動主義という近代文明の社会思想(文化子)によってガバナンスされる中間的な組織／制度を探すことである。

中心＝周辺邂逅メカニズムの考え方の特徴は、邂逅(encounter)による文明の進化の機会について、中心が周辺と邂逅することによる進化の機会と、周辺が中心に邂逅することによる進化の機会とを、双方向で、かつ同格に捉えることである。双方向で、かつ同格のメカニズムであると捉えることに大きな特徴がある。

中心における文明の進化は、一般的には中心における内生的な要因によって説明されることのみで完結することが多いと言える。一般的には、内生的に大文明を進化させる条件を備えているからこそ、中心はその外に広がる周辺とは厳然と峻別され、大文明を進化させることができると考えられている。勿論そのような内生的な条件の充足の効果も大きいものの、それに加えて、周辺との邂逅も中心における大文明の進化に重要な効果を持っている、と見るのが中心＝周辺邂逅メカニズムである。曰く、「高度農耕文明の意義は、遊牧社会の持つ異質の優れた原則を吸収し、それまでの農耕社会を超える原則を作り出し、さまざまな種族を包含してかつてない大範囲の生活圏—すなわちいわゆる「帝国」—を作り出したところにあった。中国、インド、古典古代などのどの文明も、農耕型の「王制」社会から直接に生み出されたものではない。」(注14:『イエ社会』p66.)

周辺においては、中心における文明を観て受けた刺激を

契機として、自らがイニシアティブを採って新たな組織／制度を構築することによって新しい文明を支えることになる核主体が構築されるようになる。

周辺による中心との邂逅は、世界システム論に見られるように、周辺が中心のグローバリゼーションに包摂されることではない。また、周辺が中心における文明を模倣しようとして、中心における文明の文明型として捉えられる組織（近代文明で言えば、株式会社等）を導入しようとするでもない。それは、周辺が中心の文明の情報を得ることにより、自らの内部で、従来とは別の集団規制原則に基づく集団を構築することである。

このような経緯で周辺において構築される新しい集団規制原則に基づく組織は、その時点で中心において運営されている文明の核主体とは異なる、独自のものである。この新しい集団規制原則が、手段的能動主義という近代文明を支える社会思想と整合的なものであった場合に、その新しい組織は近代文明の核主体となる。手段的能動主義と整合性を持つ集団規制原則に基づく核主体は、ヨーロッパ及び日本が邂逅した中心（ヨーロッパにとっては古典文明、日本にとっては中華文明）における文明の内部では存在しておらず、邂逅したことに刺激されて、ヨーロッパ及び日本の内部で独自に（内生的に）生み出されたものである。曰く、「中国・インド・古典古代などの一次的な高度農耕文明は、それまでの氏族的原則をとりあえずは否定する役割を果たさざるをえなかった。まさにその否定の作業によって彼らは高度文明を創造しえた。しかし概ね氏族制の段階にあった周辺の後発社会にとって、高度文明への対応は微妙な選択を含んでいた。（略）もはや集団形成原則の正統性は血縁的なものに求めることはできなかった。しかし集団形成の母型となったのは成層クラスン同質的でしかも階層的な自立的集団—のパターンであった。いわばそれは氏族なき氏族社会、血縁なき血縁原則の社会であった。ヨーロッパの封建社会、日本のイエ社会はその例である。」（注 15:『イエ社会』p77-78.）

『イエ社会』が、ヨーロッパの封建社会及び日本のイエ社会だけが人類の文明史において内生的近代化を実現したとしている根拠は、このように、両者とも中心に対する周辺（ヨーロッパは古典文明に対する周辺、日本は中華文明に対する周辺）であり、中心と邂逅することにより、従来の集団規制原則に基づく組織を別の集団規制原則に基づく組織に変更する必要性の下に置かれることとなり、こうして採用された新しい集団規制原則が、後に近代文明の社会思想を成す思想（手段的能動主義）と整合的なものであったため、ということである。

このように説明されるメカニズムにおいては、ヨーロッパまたは日本の特殊性は決定的な影響を持たない。勿論、手段的能動主義と整合性を持つ集団規制原則に基づく核主体が構築されたことには、ヨーロッパまたは日本の歴史的な特殊

事情が大きく影響したことは事実であろう。一方、ヨーロッパまたは日本でなければ絶対に不可能であったという原理的な要因を見出すことはできない。

イエ社会モデルが示している条件は、第1に、中心の大文明の周辺として位置していること、第2に、中心の大文明と邂逅すること、即ち中心の大文明の情報を得ること、第3に、その結果、従来の集団規制原則に基づく組織を別の集団規制原則に基づく組織に変更する必要性の下に置かれることである。この必要性の下に、実際に新しい集団規制原則に基づく組織が構築されることとなり、その集団規制原則が近代文明の社会思想（手段的能動主義）と整合的なものであった場合には、近代文明核主体の内生的構築という意味での内生的近代化が進むこととなる。

この枠組みに則ると、本研究の対象としているアジア／アフリカ地域、即ち（日本を除いて）一般的には内生的近代化は発生しなかったとされている地域においても、上記の条件が充足されるのであれば、近代文明核主体の内生的創出という意味における内生的近代化の発生を確認できる可能性があることになる。以下、順に見ていく。

第1の条件は、中心の大文明の周辺に位置することであり、これについては、大半のアジア／アフリカ地域の社会システムが充足する。アフリカについては別途議論するとしても、少なくともアジアでは、数多くの社会システムが中国とインドという大文明を生んだ中心の周辺に位置していたと見ることができる。

第2の条件は、中心の大文明と邂逅すること、即ち相当量の情報を得ることであり、これについても、少なくともアジアでは数多くの社会システムにおいて確認できる。

問題は第3の条件であり、中心の大文明との邂逅の結果、従来の集団規制原則に基づく組織を別の集団規制原則に基づく組織に変更しなければならないという強い危機感が醸成されることである。そのような危機感の下に実際に新しい集団規制原則に基づく組織が創出され、その集団規制原則が近代文明の社会思想（手段的能動主義）と整合的なものであった場合には、近代文明核主体の内生的構築が果たされる。

これについては、アジア／アフリカ地域のそれぞれの社会システムにおいて詳細な調査をしなければ結論は出ない。一方で、少なくともアジア／アフリカ地域の社会システムにおいて、それが絶対にあり得なかったことを原理的に説明することもまた困難である。このため、その可能性があるという前提で、アジア／アフリカ地域の大学／政府関係機関等との協働研究を推進していくことには十分な理由があると考えられる。

4. グローバル内生的近代化モデル

(1)ヨーロッパと日本における近代化

イエ社会モデルにおける近代化のプロセスを整理すると、以下ようになる。

繰り返すと、イエ社会モデルが立脚する文明モデルは、文明を、文化子型、中間組織／制度(核主体)及び文明型の3層構造で捉える。

近代化については、「近代化とは産業社会の形成過程をさす。すなわち、産業化それ自体の進展、およびそれを支えるに足る価値観と、それを支えるに不可欠な社会システムの成立も当然近代化に含まれる。」(注 16:『イエ社会』, p129.)。

近代文明の文化子型については、手段的能動主義(instrumental activism)を重視する。「人間の行為には、ある目標をめざす手段としての「手段的行為」と、行為それ自体を目標とする「即自的(コンサマトリー)ないし表出的(エクスプレッシヴ)行為」とがある。(注 17:『イエ社会』, p122.)。「産業化の価値観とは「能動主義」と「手段主義」の複合体—手段的能動主義—である。(ヨーロッパの場合には、さらにそれに個人主義が加わって、価値複合体が形成されている。)このような価値複合体の生れた事情はさまざまであり、ヨーロッパの先発例では、広い意味の宗教的背景が大きな役割を果たしたとみられるが、後発の諸社会では、先発諸国からの有形無形の脅威がきっかけになっている。(注 18:『イエ社会』, p167.)。

中間組織／制度(核主体)について、手段的能動主義を集団規制原則とする集団が、世界の中でヨーロッパと日本においてのみ、内生的に成立した、と説明するのがイエ社会モデルである。

ヨーロッパの核主体については、以下のように説明する。

「中世ヨーロッパの農村共同体でも、地縁に基づく同質性と、異質性を前提とする階級制あるいはむしろ階級制とが併存していた。超血縁性と機能性、同質性と異質性、集団指向と個別指向など、これらの対立的特性を併存させつつ存続しえたことの秘密は、ヨーロッパと日本との間で共通なものがあるように思われる。すなわち、いずれの社会も、これらの二重性を共にもつようなシステムであり、「浸透型」のシステムである。しかも二重性への対処にあたって、神話的思考や文明のイデオロギーに依存しないシステムなのである。(注 19:『イエ社会』, p244-245.)。「封建制は、ローマ世界の大規模農業経営体—ヴィラーと、ゲルマン的な首長制とを継承し、それに後発の侵寇者—とくにノルマン人たち—の脅威に対抗するための職業的戦士階層の制度が加わったものとして成立した。この制度の基本的な1つの柱はゲルマン本来の氏族制度であった。(略)本来の意味での封建的な諸紐帯は、出自による紐帯が充分でなかったが故にこそ存在理由をもったのである(Mark Bloch)。」(注 20:『イエ社会』, p79.)。

ヨーロッパにおいて見られた、近代化を担うことになる核主体の出現が、中世日本においても見られ、それゆえに明治

維新以降の日本の近代化が圧倒的に順調に進んだ、とするのがイエ社会モデルの主張である。

イエとは、以下のような基本特性を持った集団である(注 21:『イエ社会』, p244.)。第1は超血縁性であり、第2は系譜性であり、第3は機能的階層性であり、第4は自立性である。

なお、「われわれは、「イエ」という言葉を、生活を共同にする経営体のある種の独特の類型を広くさすために用いる。したがって、「イエ」は家族 family ではなく、それを原型とするものでもない。(略)家族は完結した生活共同体であるとはかぎらないのである。その意味で、イエと家族とは、厳格に区別する必要がある。(略)個々の武士の家や明治民法の家は、イエ集団の特殊な派生体の例にすぎない。」(注 22:『イエ社会』, p212.)とされる。

「イエ社会型の集団は、一時期徳川幕府による「停滞」はあったものの、(狭義の)近代化の有効な核集団として機能し、それが 19 世紀半ば以降の日本の近代化を牽引した。」(注 23:『イエ社会』p429.)とするのがイエ社会モデルによる日本近代化の説明である。「産業化のための社会的条件をここで説明のために再整理して列挙すれば、(1)政治的統一、(2)配分システム(たとえば市場システム)の高度化、(3)生産と消費の分化(労働力の流動化)、(4)教育の制度化、(5)中間的組織と官僚制の存在、であった。これらの条件は産業化を可能にするものではあるが、それら自体が直ちに産業化を創始する力をもつものではなく、その意味でまさしく先行条件にすぎない。そのような社会的先行条件に関するかぎり、徳川期日本社会はむしろヨーロッパ以上に恵まれた状態にあったということである。」(注 24:『イエ社会』, p417.)。

イエと日本の近代文明(情報社会学近代化モデルにおける 16 世紀半ば以降の近代文明)の受容との関係については、次のように説明される。「学歴と年功とを基準とする階層性、終身雇用制、新卒者の採用、企業内教育、企業内福祉制度等を特徴とするこの「日本的経営」は、経営体の系譜性や強固な統合力・分裂増殖力を保持しつつも、メンバー間の結びつきの機構としての血縁性を大幅に払しょくし、イエ原則を機能的に純化したものであり、徳川期の(準)大イエ型経営体を産業化に適合的な方向に組織革新したものとみなすことができる。それは、従業員に強い帰属感を与え、彼らの忠誠心と自発性とを調達することに成功した。とくに稟議制的意思決定方式の採用は、下位者の積極性を開発するとともに、企業内の情報流通を促進し、イエ型企業を活性化する上で、大きな意味を持っていた。イエ型企業は変化する環境への適応能力を豊かに備えた社会的発明であった。」(注 25:『イエ社会』, p458.)。

即ち、イエは、それがそのまま(文明型としての)近代文明を担う核主体になったわけではなく、イエは、手段的能動主義を集団規制原則とするものであったため、そのような集団

の運営に長けていた日本の社会システムは、手段的能動主義を集団規制原則とする近代文明上の様々な核主体を短期間に構築し、機能させることができ、それによって日本の近代文明の受容が急速に進んだ、ということである。更に、日本が長らく手段的能動主義を集団規制原則とするイエという集団を運営してきた経験が反映され、近代文明の受容において、日本は日本の経営システムという独自の方法(筆者の言う、「追い付き創造性」)を確立することができ、これが極めて高い効果を生んだ、ということである。

(2) 情報社会学近代化モデルとグローバル内生的近代化モデル

以上、イエ社会モデルはヨーロッパ中世の封建制と日本のイエ社会だけが内生的近代化、即ち手段的能動主義を集団規制原則とする核主体を構築したことを説明する。一方本研究の問題意識は、第3新近代と筆者が呼ぶ現下の状況、即ち民族、宗教、歴史的経緯等を問わず、世界の全ての人々が猛然と近代化を進める状況において、ヨーロッパと日本以外の地域においても内生的近代化を進める可能性を広く認めることができるのではないかと、その根拠をイエ社会モデルの中に探ることができるのではないだろうか、ということである。

筆者は、イエ社会モデルを、イエ社会モデルの筆者の一人である公文俊平が構築した情報社会学近代化モデルと組み合わせることにより、そのような普遍的な内生的近代化のモデルを構築することができるのではないかと考える。そのような新しいモデルを、筆者はグローバル内生的近代化モデルと呼ぶ。

グローバル内生的近代化モデルの成立条件は、アジア／アフリカ地域を含む世界の多くの地域において、文明の構築、運営を担う独自の核主体が内生的に構築されており、かつ、そのように内生的に構築された核主体が、前節で定義された近代化の推進に適合的なものであることである。端的には、それら核主体が手段的能動主義を集団規制原則とすることである。なお、イエがそうであったように、そのように内生的に構築された核主体がそのまま近代文明を運営する核主体となる必要は全くない。それら近代文明を運営する核主体は、外生的に導入されて構わない。問題は、それらが外生的に導入されるに先立って、手段的能動主義を集団規制原則とする核主体が独自に内生的に構築されているかどうか、である。

ヨーロッパにおける封建領主及び日本のイエ以外にも、世界各地で内生的に独自の文明の核集団が構築されている可能性がある。というよりも、そのような独自の核集団が地域毎に構築されていないと考えることが不自然である。その詳細については、前節で述べたように今後の調査に委ね

ることとするものの、ここでの問題は、それら地域独自の核集団が近代化の推進に適合的なものかどうかである。

近代化については、イエ社会モデルでは先述の通り、「近代化とは産業社会の形成過程をさす。すなわち、産業化それ自体の進展、およびそれを支えるに足る価値観と、それを支えるに不可欠な社会システムの成立も当然近代化に含まれる。」(注 26:『イエ社会』, p129.)と定義されている。『イエ社会』が執筆された 1980 年代後半においては、ヨーロッパ以外でこの意味における近代化の大成功を収めていた国は他ならぬ日本であり、また日本については、先述の通り、長年に亘るイエの運営の経験に起因する日本的経営的経営システムが、1960 年代から 1980 年代にかけて大きな成果を生んでいた。

近代化を、20 世紀第3四半期における製造業の振興として捉えるのであれば、確かに成功したと捉えることができる地域は、日本と少数の東アジア諸国に限定されることになり、その時点における世界の実情は第3新近代と本稿で呼んでいる世界全体のグローバル内生的近代化を説明する根拠とはなり難い。

一方筆者は、近代化の概念を、『イエ社会』で述べられている限定的な捉え方から離れて、情報社会学近代化モデルで述べられている概念を採用することにより、イエ社会モデルを基盤としたグローバル内生的近代化モデルを構想することが可能であると考ええる。

情報社会学近代化モデルについては拙著(公文俊平との共著)(注 27:公文俊平+前田充浩『応用情報社会学—発展途上国における情報社会構築の指南書』, ERISE 出版, 2021 年.)を見ていただくこととして、ここでは詳しく立ち入ることは避けることとする。要点を述べれば、情報社会学近代化モデルにおいては、近代化とは、政治の動き、経済の動き及びソーシャルの動き(情報化)の動きの3つの社会ゲームの重畳(重ね合わせ)であるとされている。その、3つの社会ゲームが、時間の経過とともに局面遷移を起こす、ということがこのモデルの要点である。なお、情報社会学近代化モデルに関して用いる「近代化」の概念は、本稿でこれまで用いてきた、『イエ社会』における「広義の」近代化の概念とは異なるものであることに留意いただきたい。本章における「近代化」の用語は、全て情報社会学近代化モデルにおける概念を表す。

政治の動き(国家化)は、概ね 200 年間を単位として、国家化 I(主権国家化)、国家化 II(国民国家化)、及び国家化 III(統合国家化)の各局面を順に局面遷移する。経済の動き(産業化)は、概ね 200 年間を単位として、産業化 I(労働産業化)及び産業化 II(知能産業化)の各局面を順に局面遷移する。情報化(ソーシャル化)の動き(情報化)は、20 世紀半ばに情報化 I の局面を迎えたところである。

なお情報社会学近代化モデルでは、概ね 200 年間を単位

とする局面遷移を大局面遷移、概ね 100 年間で単位とする局面遷移を中局面遷移、概ね 50 年間で単位とする局面遷移を小局面遷移と呼ぶ。なお、大局面が概ね 200 年間で単位としている一方で、概ね 100 年間で単位とする中局面には 3 つの中局面がある、としているのは、情報社会学近代化モデルが立脚するモデルでは、一般的に、全局面(大, 中, 小)は、出現ステージ、突破ステージ及び成熟ステージの 3 つのステージを辿るとされており、前の局面の成熟ステージと次の局面の出現ステージが時期的に重なる、としているためである。新しい局面の出現ステージは、前の局面の成熟ステージに開始する。

ある時点で捉えたこれら 3 つの動きの重畳がその時点における近代化の態様ということになる。即ち、近代化とは固定的な概念なのではなく、常に動的プロセスの中で捉えられるべきものであることになる。

以上の枠組みを図示したものが、[表3]である。

[表3] 情報社会学近代化モデルの枠組み

	1550~	1650~	1750~	1850~	1950~	2050~	2150~
国家化 =I	主権 (出現)	国家 (突破)	建設 (成熟)				
=II			国民 (出現)	国家 (突破)	建設 (成熟)		
=III					統合 (出現)	国家 (突破)	建設 (成熟)
産業化 =I			労働 (出現)	中心 (突破)	産業化 (成熟)		
=II					知能 (出現)	中心 (突破)	産業化 (成熟)
情報化 =I					(出現)	(突破)	(成熟)

(出典：公文俊平+前田充浩『応用情報社会学—発展途上国における情報社会構築の指南書』、ERISE 出版、2021 年)

『イエ社会』では、近代化について特に産業化に焦点を当てた定義を行なっていることから、産業化について詳細を見ると、情報社会学近代化モデルでは以下のように説明している。

近代文明において産業化の動きが本格化したのは、産業革命が進化した 18 世紀半ば以降のことである。大局面遷移は、18 世紀半ばから 20 世紀半ばにかけての産業化 I = 労働産業化 (labor-centric industrialization : automation) と 20 世紀半ば以降の産業化 II = 知能産業化 (intelligence-centric industrialization : autonomation) の間の局面遷移である。なお、知能産業化は情報社会学近代化モデルの独自の概念であり、産業のイニシアティブを AI (AGI : Artificial General Intelligence), 更には ASI (Artificial Superintelligence) が採るものであり、シンギュラリティ後の産業化の局面である。通常私達が産業化として捉える概念は、情報社会学近代化モデルでは全て産業化 I

に相当する。

大局面である産業化 I の中で、中局面である 3 つの産業革命が順に発生する。第 1 次産業革命は 18 世紀後半以降の中局面であり、石炭と蒸気機関を動力とし、鉄工業と軽工業を中核産業とし、中小企業による自由競争市場をその特徴とする。第 2 次産業革命は 19 世紀後半以降の中局面であり、石油・電力と内燃機関・電動機を動力とし、重化学工業と耐久消費財工業を中核産業とし、大企業による寡占的市場支配をその特徴とする。第 3 次産業革命は 20 世紀後半の中局面であり、情報とコンピューターをそのプラットフォームとし、デジタル情報通信産業とデジタルもの作り産業を中核産業とし、超大企業によるプラットフォーム提供とそのユーザーとして活動する小規模事業者、メーカーズ/セラーズ/サーパーズの活動をその特徴とする。

以上を図示すると、[表4]になる。

[表4] 産業化 I (労働産業化) 内の局面遷移

	1750~ 1800	1800~ 1850	1850~ 1900	1900~ 1950	1950~ 2000	2000~ 2050	2050~ 2100
第1次 産業革命	出現	突破	成熟				
第2次 産業革命			出現	突破	成熟		
第3次 産業革命					出現	突破	成熟

(出典：公文俊平+前田充浩『応用情報社会学—発展途上国における情報社会構築の指南書』、ERISE 出版、2021 年)

この枠組みに基づいて検討すると、『イエ社会』で述べられている日本の経営システムは、大局面産業化 I (労働産業化) の中の中局面第 2 次産業革命の中の、特に成熟小局面においては、イエに起因して新たに構築された集団が極めて有効に機能したことを示しているだけに過ぎないことが分かる。一方、仮に国家化、産業化及び情報化の 3 つの社会ゲームの重畳として近代化を捉える情報社会学近代化モデルの枠組みにおいては、近代化の内容は、それに限定されるものではない。仮に、産業化だけを採り上げるにしても、第 2 次産業革命は、2 つの大局面のうちの 1 つの中の 3 つの中局面の 1 つである。即ち、近代化は、第 2 次産業革命の次の中局面である第 3 次産業革命としても捉えられるであろうし、また次の大局面である産業化 II (知能産業化) としても捉えられることとなる。

従って、近代化を産業化としてだけ見ても、今後、アジア/アフリカ地域等において内生的に構築された核主体を長期間に亘って運営した経験が、第 3 次産業革命において、更には産業化 II (知能産業化) において重要な役割を果たし、それら地域の近代化を牽引することとなることが予想される。

翻って日本を見るならば、確かに『イエ社会』の述べるよう

に、大局面産業化 I(労働産業化)の 2 番目の中局面である第2次産業革命においてはイエの運営に淵源を持つ日本の経営システムは近代文明の担い手として有効に機能したとしても、既に近代化自体が次の状態へと局面遷移を進めている。3 番目の中局面である第3次産業化、更には大局面産業化 II(知能産業化)の推進においては、イエに起因して新たに構築された集団、更にはそれを基盤とする日本の経営システムが近代化を有効に推進する母体となっているとは到底言い難い状況にある。産業化に関して言えば、日本経済は既に「失われた 30 年間」を超え、40 年間に足を踏み入れている。日本的経営システムは近代化の特定の中局面(第2次産業化)のみに適合的なものであり、情報社会学近代化モデルが示す通り、近代化自体が局面遷移を遂げるとその効力を著しく落としていると見ることができる。

この日本の事例は、グローバル内生的近代化モデルに大きな期待をかけることができる例証となる。即ち、イエに起因して構築された新たな集団は、確かに第2次産業革命という近代化の1つの中局面には適合的であり、日本は第2次産業革命を効果的に推進することができた。ヨーロッパの外部で、第2次産業革命を有効に推進する母体となる集団を、内生的に構築した集団(日本の場合にはイエ)に起因して新たに、短期間に構築できたのは、『イエ社会』が述べるように、確かに日本だけかもしれない。

しかしながら、近代化は既に『イエ社会』が執筆された半世紀前からは局面遷移を遂げて来ており、近代化の内容として必ずしも第2次産業革命に固執する必要はない、というよりも、固執してはいけない。

アジア／アフリカ地域において内生的に構築されてきた核主体を長期間運営した経験が、日本が対応することができなかった近代化の新しい局面に適切に対応し、それら地域の近代化を効果的に推進することを期待することができる。

最後に、近代化を産業化の観点からのみ捉えるイエ社会モデルの視座を離れて、3つの社会ゲームの重畳として捉える情報社会学近代化モデルの観点から見ると、以下のようまとめられる。

イエ起源の集団を基盤とする日本的経営システムが有効に機能したことが証明されている近代化とは、19世紀後半から20世紀前半における3つの社会ゲームの重畳のことである。これを近代化の20世紀パラダイム、と呼ぶことができる。国家化については、大局面国家化 II(国民国家化)が突破ステージにあった。産業化については、大局面産業化 I(労働産業化)が突破ステージにあった。情報化は未だ開始していなかった。まとめると、近代化の20世紀パラダイムとは、国家化に関する「国民国家の突破ステージ」+産業化に関する「労働産業化の突破ステージ(第2次産業革命)」であった。この状況においては、近代化に対応しようとする主体に求められる課題は、国民国家の建設、運営と、第2次産業化の推

進、の2つだけであった。これら2つの課題にのみ注力することにより、有効に近代化を推進することができた。それを果たしたのが、ヨーロッパ以外では日本であり、イエ起源の集団を基盤とする日本的経営システムが有効に機能した。

これに対して、半世紀後の私達は、近代化の21世紀パラダイムとも呼ぶべき、新しい状態に突入している。それをまとめると、国家化に関する「国民国家の成熟局面+統合国家の出現局面」+産業化に関する「産業化 I(労働産業化)における第2次産業革命の成熟及び第3次産業革命の出現+産業化 II(知能産業化)の出現」+情報化に関する「情報化 Iの出現」という多様な動きの重畳ということになる。

この状況においては、近代化に対応しようとする主体には、数多くの課題が同時に求められることになる。国家化については、国民国家の建設、運営だけではなく、統合国家への対応も必要であり、課題は2つである。産業化については、産業化 I(労働産業化)における第2次産業革命の推進だけではなく、第3次産業革命への対応と、更には産業化 II(知能産業化)という3つの課題への対応が必要となる。これらに加えて、新たに開始された情報化 I への対応が必要となる。合計、6つの課題に対応することが必要となる。

「失われた40年間」に突入しつつある今日、『イエ社会』が礼賛した、イエの長期間に亘る運営の経験に基づく日本の経営システムは20世紀パラダイムの近代化には有効に対応できた一方で、21世紀パラダイムには殆ど有効に対処できていない、と断じることができる。これに対して、今後、アジア／アフリカ地域等世界の各地で、それぞれ内生的に構築された核主体を長期間運営した経験が、この複雑で新しい近代化の要請に的確に応え、それら地域の近代化を牽引する可能性がある。

第3新近代は、内生的に進むと考えられる。

注

注 1:『第3新近代論—金融オーナーシップ型発展戦略の文明的背景』、東京都立産業技術大学院大学紀要第 12 号、2019 年 1 月。

注2:『「大収斂」近代世界システム論試論—発展途上国の発展戦略構築における「追い付き創造性」』、産業技術大学院大学紀要第 10 号、2017 年 1 月。

注3:1970 年代に東京大学教養学部の社会科学系では、相関社会学の制度化等、世界的にも先鋭的な研究を展開しており、その代表的な研究者は、キャンパスの地名を採って、駒場学派と呼ばれた。

注4:村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎『文明としてイエ社会』、中央公論社、1979 年。以下、本稿では『イエ社会』。

注5:Harrod, Roy F. “An Essay in Dynamic Theory” (1939)及び Domar, Evrey D. “Capital Expansion, Rate of Growth and Employment” (1946)

注6: Solow, Robert M. “A Contribution to the Theory of Economic Growth” (1956) 及び Swan, Trevor W. “Economic Growth and Capital Formation” (1956)

注7: 国際連合ウェブサイト, 2015年7月6日.

注8: 『イエ社会』, p164-165.

注9: 公文俊平『情報文明論』, NTT出版, 1994年, p37-78. 及び公文俊平『文明の進化と情報化』, NTT出版, 2001年, p16-30.

注10: 公文俊平『社会システム論参考資料』, 産業技術大学院大学講義資料, 2016年7月.

注11: 『イエ社会』, p254.

注12: 公文俊平『情報文明論』第1章「文明と文化」, NTT出版, 1994年.

注13: 『イエ社会』, p96.

注14: 『イエ社会』, p66.

注15: 『イエ社会』, p77-78.

注16: 『イエ社会』, p129.

注18: 『イエ社会』, p167.

注19: 『イエ社会』, p244-245.

注20: 『イエ社会』, p79.

注21: 『イエ社会』, p244.

注22: 『イエ社会』, p212.

注23: 『イエ社会』p429.

注24: 『イエ社会』, p417.

注25: 『イエ社会』, p458.

注26: 『イエ社会』, p129.

注27: 公文俊平+前田充浩『応用情報社会学—発展途上国における情報社会構築の指南書』, ERISE出版, 2021年.

[7] 公文俊平『情報文明論』, NTT出版, 1994年.

[8] 公文俊平『文明の進化と情報化』, NTT出版, 2001年.

[9] 公文俊平『社会システム論参考資料』, 産業技術大学院大学講義資料, 2016年7月.

[10] 公文俊平+前田充浩『応用情報社会学—発展途上国における情報社会構築の指南書』, ERISE出版, 2021年.

参考文献

[1] 前田充浩『第3新近代論—金融オーナーシップ型発展戦略の文明的背景』, 東京都立産業技術大学院大学紀要第12号, 2019年1月.

[2] 前田充浩『「大収斂」近代世界システム論試論—発展途上国の発展戦略構築における「追い付き創造性」』, 産業技術大学院大学紀要第10号, 2017年1月.

[3] 村上泰亮・公文俊平・佐藤誠三郎『文明としてイエ社会』, 中央公論社, 1979年.

[4] Harrod, Roy F. “An Essay in Dynamic Theory” (1939) 及び Domar, Evrey D. “Capital Expansion, Rate of Growth and Employment” (1946)

[5] Solow, Robert M. “A Contribution to the Theory of Economic Growth” (1956)

[6] Swan, Trevor W. “Economic Growth and Capital Formation” (1956)

ポケモンカードゲームの非ランダムな設計過程

松井 実*

Non-random design process of Pokémon TCG

Matsui Minoru *

Abstract

The cultural evolution research program is useful for quantitatively explaining complex creative processes such as design. From a design studies perspective, its mutation generation process is particularly intriguing. However, cultural transmission theorists have long modelled the process as a random novelty invention, far from the real-life modern design process. Here we show an instance of such a deviation, examining how the design process and its resulting frequencies of Pokémon TCG variants deviate from a neutral model in which an agent randomly selects and introduces cultural variants to the population from the design pool.

Keywords: cultural evolution; evolution of design; Pokémon TCG; cultural transmission

1 はじめに

こんにちの人工物の設計がなぜこうも多様で、その栄枯盛衰がなぜあるのかについてはさまざまな考察がなされてきた。設計に限らず社会科学分野全般においてイノベーションのメカニズムの説明は全体の合意をみていない[1]が、文化進化学の諸手法によってその統一的な説明ができるようになるのではないかと期待されている[2]。生物学において進化とは、遺伝子の変異の頻度が経時的に変化することをさす。進化のプロセスの適用範囲は生物に限らず、変異・継承・選択のメカニズムがそろっていれば必ず起きる。文化の諸研究に進化学の諸手法を応用するのが文化進化学という研究プログラムである[3]。人工物や設計が進化するという考えは設計学の研究者も独自に探究している。Petroski は人工物の形態が既往の人工物の失敗に従うせいで多様になると説明し[4]、Steadman は建築の多様性の説明を進化に求めた[5]が、いずれも進化学との関連は薄い。Langrish は設計の多様性の根本原因を設計と生物進化の関連にあるとし[6]、イノベーターな設計の探索が Norman & Verganti[7]が前提とするようなラマルク的なものではなくダーウィンの変異生成プロセスであるとした[8]。これらは多くが理念的な議論であり、数理モデルや文化進化学の諸手法を現代的な設計に応用したものはあまり多くない[9]–[11]。

1.1 現代的な文化に文化進化学の諸手法を適用する

非遺伝的な方法で他者に伝達される情報の進化を扱う学際的研究領域である文化進化学においては、伝統的な部族

社会での行動の伝達をしばしば扱ってきた[12]–[16]。文化進化学の適用範囲は現代的な文化にも及ぶ。しかし、現代的な文化の進化に特有の現象に対応するような理論的な拡張は分野の中心の関心事とはいえない。たとえば、遺伝子の水平伝播は有性生殖を行う生物では稀であるが、文化の水平伝播は産業革命以降急速に増加した[17]。また、明確な設計者なしに集団的に形成されていく言語の進化[13]は生物の進化に似ているが、現代の人工物の設計は少数の設計者がトップダウンで新奇の設計を生成することが多く、生物進化のフレームワークをそのまま利用するには乖離が大きい。設計の観点からは変異の生成過程に最も興味があるが、文化進化学は変異生成過程を非常に単純化して扱う。今までに集団に存在したものと区別できるものはすべて独立で新奇の変異であると仮定することが多い。これは、現実世界での複雑な文化の拡散現象を数理的にモデルとして記述する際には、非常に有用な単純化である。しかし、もし現代的な設計のプロセスとその生成物の多様性を文化進化学の観点から説明しようとするならより詳細な区別が必要であり、数理的なモデルも同様に現代的な文化に特有のプロセスがあればそれにあわせて更新すべきである。

本稿ではポケモン社の販売するポケモンカードゲーム(以下ポケモン TCG)を現代的なポップカルチャーの一例としてとりあげる。ポケモンフランチャイズ全体で定期的に追加されるポケモンのみをもとに指定された枚数ぶんだけ全くランダムにポケモンカードの設計を生成するという非常に単純な変異生成過程を中立モデルとして構築し、その頻度分布がポケモン TCG の実際に販売されているカードのデータセットと

どれほど乖離するかを数的に分析する。本稿は探索的データ分析であり、中立モデルとの乖離をもちいてバイアスを検出できるという仮説以外は事前に設定せず、実データと中立モデルによるシミュレーションデータの可視化をもとに仮説を生成することを目的とする。

1.2 非ランダムな文化伝達過程の先行研究

文化進化における伝達バイアスは、生物進化における自然淘汰に比されるプロセスであり、数々の研究でその検出が試みられてきた。Bentley ら[1], [18], [19]は集団遺伝学における Kimura ら[20]の無限長の対立遺伝子のモデルをベースとした中立仮説を応用し、文化的浮動 *cultural drift* によって生じる文化の中立進化を数理的なモデルとし、実世界のデータの頻度分布と中立モデルによって生じる文化的形質の頻度分布を比較する方法を考案した。

文化の中立モデルではある一定の集団サイズ N の集団を仮定し、文化形質がある世代の N 体のエージェントから次の世代の N 体のエージェントへと受け渡されるとする。各エージェントは前世代のエージェントからランダムに 1 個体を選び、その個体が採用している文化形質を採用するか、もしくは、一定の低確率(突然変異率)で社会的なプロセスによらない個体学習によって今まで集団に一度も登場したことのない新奇の文化形質を発見し、それを採用するとする。このようなシンプルなモデルによって経時的に生成された文化形質の頻度分布はべき乗分布に従うことが示されている[18], [21], [22]。

Bentley ら[23]は *independent decisions* というもうひとつのモデルを提案している。Bentley らはこれをランダムな伝達過程というより非伝達過程として扱っている。前述のランダムコピーモデルと異なり、前世代における頻度に比例してコピーする確率が高くなるのではなく、頻度によらず前世代に存在する異なる文化的形質をひとつ選んでコピーする。この場合はすべての文化形質が各タイムステップで絶滅する確率は等しくなる。たとえ前世代で全体の 99%が文化形質 A を、のこり 1%が文化形質 B を保持していたとしても、次のタイムステップで A が絶滅して集団から取り除かれる確率は B と全く等しくなる。Mesoudi ら[21]も Bentley らに倣って *independent decisions* による伝達過程による文化形質の頻度分布が指数分布に従うことをシミュレーションで示している。

筆者らは実験室環境でドローイング[24], ロゴ, 紙飛行機[25]を題材に、伝達連鎖ネットワーク法によって数十世代にわたって複数の設計案を伝達してもらい、その集団に働く伝達バイアスの検出を試みた。多くの実験条件において設計の形質の頻度は中立なランダムコピーモデルと同様のべき乗分布を示した。

1.3 変異生成過程のランダム性

このように文化の伝達とそのバイアスのモデル化・検出法については文化進化の枠組み内で研究されているいっぽう、変異の生成過程については比較的単純な仮定ですまされることが多い。共通祖先を想定できそうな文化形質群について変異ごとの文化的な距離から文化系統樹を推定するようなアプローチは非常に多く実践されている[9], [12], [17], [26]–[30]し、形質を数理的に計測して特徴をとらえることで変異をより量的に記述しようとする幾何学的形態測定学の研究[31]–[33]も設計学の観点から興味深い。伝達連鎖や文化形質の頻度分布の文脈においては変異の差についてはあまり詳細にモデル化されてこなかった。

文化進化の研究領域では、集団に登場する新奇の変異をイノベーション *innovation* とすることが多い[19]。イノベーションは集団にじゅうぶんに拡散することを要件のひとつとすることが多いため、集団に新たに登場してもよりすぐれた既存の競合に押されすぐに消えてしまう可能性がむしろ高い状況では、発明をあてたほうがよい[34]。イノベーションを「今までにあったものの改良」、発明を「完全に新しいものを生み出すこと」[35, p. 53]としたり、変異を *invention* と *borrowing* にわけたりする[34]が、「今までにあったものの改良だとしても、これまでに存在したものととは区別可能な新しい文化形質が生み出されている」[35, p. 53]ことを理由に、モデル上は「全く新しいもの」も「既存のものを改良したもの」も等しく新奇な変異が集団に導入されたと解釈してよいとすることが多い。

また、たとえ既存のなにかを参考に新しいものをつくるよう明確に指示されていても、既存のなにかをどれくらい参考にしていたかを計測するのは困難なうえ、既存のなにかと既存のなにかを組み合わせるよう明確に指示されていても、二者をどれくらいの割合で混ぜ合わせたかは計測が困難である。そのため筆者ら[24]においては既存のものの改良や既存のもの同士のハイブリッドの「新奇度合い」を、全く新奇であるとする(新しく集団に登場したバリエーションの適応度を、そのバリエーションのみのものとする)仮定から、半分くらい新奇であるとする(新しく集団に登場したバリエーションの適応度を、もととなった既存の前世代以前に登場したバリエーションに半分還元する)、そして全く新奇でないとする(適応度をコピー元にまるごと割り振る)仮定の 3 種類でそれぞれ計算した。ほとんどの実験設定でこれらの仮定による頻度分布の差はみられなかった。

ランダムで意思の介在しない単純な精度不足によるコピーミス、文化進化研究では文化的変異とよぶ。文化的変異の蓄積が性能の向上の原動力となったとする Nia ら[36]のような例をデネットに倣ってバブルアップのダーウィンの文化進化とすれば、ラマルクのなトリクルダウンの文化進化として他人との社会的な交流や伝達によって得られた形質を個人的な学習過程によって改変することで生じる誘導された変異がその対抗馬としてあげられる。

1.4 設計の意図と誘導された変異

誘導された変異は文化進化学に特有の変異生成過程現在、いわゆる「デザイン」「イノベーション」として社会に広まる、個人の意図の反映としての文化形質は、誘導された変異の一種とみなすことができる。その生得的な魅力・アドバンテージによって集団内の他人に広く拡散され伝達されていくというのが一般的なイノベーションの理解である。Dennett[37]も我々こそが *intelligent designer* であるとし、Norman & Verganti[38]も自らが(設計に関しては)創造論者であると「有罪を認めて」いる。設計とは意図の反映であるとする Ralph & Wand の定義[39]が広く受容されている。伝統的な文化や技術はともかく、現代的な人工物の製造はたしかに非常に意図的に計画されているように感じられるものが多い。そのため、ランダムコピーモデルのような中立モデルで仮定する、集団の全エージェントが等しく低確率で変異を作り出すという「人類みな設計者」とする仮定は、高度に分業化がすすみ、一部の専門的设计者が毎年いくつもの変異を提供し、その他大多数が特に何も創造することなくそのトリクルダウンの恩恵に与るという現代的な設計をめぐる構図にはあまりよく合致しない。

とはいえもちろん、ダーウィンのバブルアップの文化進化が現代に至って消滅したわけでも重要性が下がったわけでもない。分業による現代のトリクルダウンの変異生成も、生成側が集団内での拡散・受容を意のままにコントロールできるものではないし、真に効果的なイノベーションが(少なくとも現状においては)漸進的な改善の連綿とした積み重ねのすえに生じるバブルアップ的な帰結であり続ける限り、現代の文化の進化を論じる際にも既往の文化進化学研究と同等の視座を基本とすることに何ら変わりはない。本稿では既往の文化進化学に加え、ポケモン TCG のようないくつかの特殊な条件を持ち合わせる現代的な文化形質においては、変異生成時のバイアスについて論じることができることを示していきたい。

1.5 ポケモン TCG とイノベーション

任天堂は現代的なイノベーションを数多く生み出しており、Norman & Verganti[7]や Vergantiも彼らの「意味のイノベーション」の文脈で論じているとおり、現代的なポップカルチャーでのイノベーションの研究にむいた題材をいくつも提供している。日本最古のトレーディングカードゲームであるポケモン TCGもそのひとつであり、当初は任天堂が開発・販売していたポケモンフランチャイズの一角を形成する。1999年の登場以降 13ヶ国語に翻訳され 77国で販売されている。2022年3月に累積枚数が432億枚に達し[40]、世界最大のTCGブランドのひとつとなっている。図1-Aにその販売累積枚数を掲載した。

1.6 ポケモン TCG の現代的な文化進化学研究

製品としてのポケモン TCG には、じつに様々な現代的な文化進化の要素が同居している。ポケモンの選定のようなカードの企画からデータの設計、イラストの制作、販売形態の改変といった上流の工程から、流通させる枚数の意図的な調整、封入のランダム性の制御、レアカードや強いカードのリセールバリューの変化、大会で使用される頻度の変化、プレイヤーの採用する戦略の変遷とそれにとまらぬ禁止カードやルールの変更、さらにそれらが売上や評判というかたちで再帰的にポケモンカード設計におよぼす影響まで、伝統的な文化を主な対象としてきた文化進化ではあまり重視されてこなかったプロセスが多く介在する。

製品の人気だけでなく不人気さまでが製造者のさじ加減次第で制御・計画できる点は、特に興味深い差異であるように思う。既往の文化進化研究では、人工物の機能的な側面、たとえば伝統的な文化における鎌の鋭さや石器の握りやすさのような性能の蓄積的な進化やその情報の拡散が特に興味深い研究対象となっている。

いっぽう、ポケモン TCG ではそれらオープンエンドのイノベーションとは違って変わって、カードの強さやレアリティ、装飾、封入頻度、ルールなどに加え、定期的なレギュレーション変更による自社製品の計画的陳腐化を生じさせるなど非常に広範にわたって販売側が強権的に制御したり、裏面の意匠の変更のような多数のカードに共通の変異を新しく大規模に導入したりできる点が大きく異なる。

とはいえ、ひとたび製品が市場に至れば最終的にはほかのTCGやビデオゲームのような類似の製品と熾烈な競争に巻き込まれる。魅力の低いコモンカードは実際の対戦では使われず、大会で使用できるようなレアな強いカードが活躍したり、逆にカードとしては非常に弱い非常にレアであるために一枚数億円で取引されるようなカードが生まれたりするなど、市場においては変異生成過程とは似ても似つかないダイナミクスに晒されることになる点も、ポケモン TCG を現代的な文化進化研究の魅力的な題材としている。

このように数あるポケモン TCG の文化進化のプロセスから、本稿では変異生成過程にのみ選び出してフォーカスする。ポケモン TCG の変異生成は数量化が非常に容易であるために中立モデルも構築しやすく、上記のように多岐にわたる特異なプロセスのなかでもとりわけ扱いやすいためである。本稿では設計者の思考をランダムな中立モデルでどこまで模倣せるかを検証した。設計者のリアルな思考結果は実際に発売されたポケモンカードに現れる。発売されたポケモンカードの頻度分布(2章)と、その時点で発表されているポケモンのリストから適当にポケモンを選んでポケモンカードを生成する「盲目な設計者」としての中立モデル(3章)によるシミュレーション試行でのデータの差を4章で論じる。なお、本稿では英語版ポケモン TCG のみを対象とする。

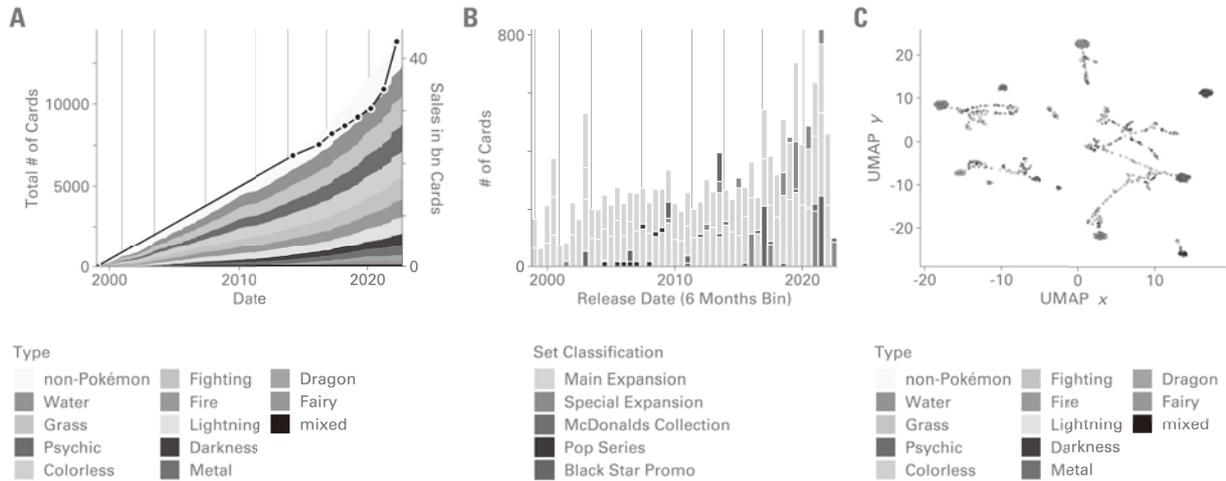


図 1: **A**. データシートに含まれるポケモンカードのタイプ別の累積枚数. 黒線と黒点はポケモン TCG の売上推移, 右の軸 (10 億枚). 縦灰色線は世代の区切り. ポケモン TCG の発売日(1996 年 10 月)の売上を 0 とした. **B**. それぞれのセットの販売時期とそのカードの種類数. 縦灰色線は世代の区切り. **C**. 各ポケモンの全期間をつづいたタイプ別の割合 (例えばきタイプとして 7 枚, はがねタイプとして 3 枚, 他のタイプとしてはすべて 0 枚であればくさとはがねがそれぞれ 0.7, 0.3, それ以外が 0) を入力した UMAP による次元圧縮. R のパッケージ [uwot] v0.1.14 の `umap()` 関数を用い, `min_dist = 0.8`, `n_neighbors = 5`, `fast_sgd = TRUE` で描画した. 2 つのタイプを兼ね備えるポケモンカードに関しては `mixed` タイプで統一した.

2 データセット

2.1 収集

ポケモン TCG のデータは公式ウェブサイト[41]からでも検索できるが, 全件を容易に入手することはできない. そこで有志の作成したスプレッドシート([42], 以下「データシート」)からカードのデータを取得した. データシートに全シリーズの全カードがリストされているわけではないが, 1999 年 1 月から 2022 年 9 月までにリリースされた英語版の 125 セットに含まれる 14565 種のカード (12325 種類のポケモンのカードと 2240 種類の非ポケモンのカード) のデータを収集した. 表記ゆれや誤表記, 誤分類も修正した. これとは別に, Bulbapedia というコミュニティが編集する Wiki からシリーズの発売日[43]および Pokédex 番号と世代[44]のデータを取得した.

2.2 概略

図 1-A に収集したデータの累積枚数をタイプ別に示す. ポケモンのカード以外の, トレーナーやグッズなどは `non-Pokémon` として集計した. `Black Star Promo` に関しては発売時期がまちまちのため, 一律でシリーズの終わりの時期に設定した (他のプロットに関しても同様). カードの番号, シリーズ名, 発売日 (シリーズ名を根拠に[43]より取得, 図 1-B), タイプ (図 1-C) に加え, ポケモンのカードについてはそれぞれのカードの特徴 (ポケモンの名前前後につく “V”, “S” のような属性や, “ガラル” や “Team” のような属性や 「すがた」)

についてそれぞれあてはまるかどうかを真偽値でラベリングした. ポケモンのカード名のうち, ポケモン自体の名前以外は本稿では「修飾」として扱い, 修飾付きのポケモンカードをそのポケモンのマイナーバリエーションと, また修飾の有無にかかわらずそのポケモンのあらゆるバリエーション (抽象的な変異) をバリエーション (具体的な変異体) とよぶことにする. データセットはオンライン上で公開[45]し, データ分析や可視化の R コードも公開[46]した.

3 変異生成の中立モデル

ポケモンフランチャイズにおいては通例, メジャーなゲームの発売とともに百数十程度の全く新奇の Pokédex 番号と名前と見た目をもつポケモンが登場する. 新奇のポケモンの登場にあわせて, ポケモン TCG でもそれらをモチーフとしたカードが発売されはじめる (図 1-A, B; 図 3-D). 「ポケモン科学は系統学者にとって実り多き分野でありつづけてきた」が「ポケモンの形質の伝達は非メンデル遺伝学的方法で行われていると考えざるを得ない」とするユーモアあふれる「生物」系統樹推定[47]もあるが, 本稿でもたとえ設定上は「しんか」の関係で結ばれていてもポケモンどうしは互いに無関係な文化形質として扱う.

3.1 中立な設計者のプログラム

中立な, 全くバイアスのない架空の設計者は次のように新しいポケモンカードを設計する. まず, あるポケモン世代 g に

において、第 g 世代に新たに登場したポケモン数を A_g とすると、設計者が採用可能なポケモンの Pokédex ID は 1 から $D_g = \sum_1^g A_g$ となる。今回のシミュレーションでは執筆時の最新世代である $g = 8$ までのポケモン、すなわち Pokédex ID が 1 から $D_8 = 905$ までのポケモンを取り扱う。データセットから海外版ポケモン TCG の 125 セットに含まれるポケモンのカードの数 N_i を各セット (i はセットの通し番号, $1 \leq i \leq 125$ の整数) について取得する。図 1-B にあるようにセットによってポケモンカードの数はまちまちであるため、多くの既往の中立モデルと異なり集団サイズは一定でない。特に 2011 年から 2022 年現在まで毎年発行されている McDonalds Collection は N_i が 12 と非常に少なく、逆に Black Star Promo はその世代のプロモーションカードをひとつの発売日付に集約して一気に生成することとする。

架空の中立設計者は各ポケモンを分け隔てなくバイアスなしに扱うので、全ポケモンが等しく採用される確率を持つ復元抽出を行うことを変異生成過程と見立てる。実際のシミュレーションは、一様分布からランダムに 1 から D_g までの Pokédex ID を N_i 個生成することを $i_{max} = 125$ 回繰り返すだけの非常にシンプルなアルゴリズムである。

3.2 世代更新の処理

世代 g の増加タイミングは実情からかけ離れないよう調整をした。ここで、最新の世代が g である期間を g 期と呼ぶことにする。まず、新世代のポケモン TCG シリーズの発売は新世代のゲームの発売からすこし遅れて開始するのが通例である。たとえば第 II 世代のゲーム『ポケットモンスター 金・銀』英語版発売日 2000 年 10 月 15 日の翌日に発売された第 I 世代の拡張パック “Gym Challenge” には第 I 世代ポケモンのみが登場する。このタイムラグを中立モデルにおいても勘案し、本格的に新世代が登場しはじめたセットの発売日を基準に g の増加するタイミングを調整した。「本格的に」というのは、第 VII 世代 (Sun & Moon) に関しては以下のような理由から例外的に手で調整する必要があったためである。2016 年 8 月 3 日に英語版が発売された第 VI 世代の XY シリーズの拡張パックのひとつ “Steam Siege” には第 VII 世代のポケモン、マギアナのカード Magearna-EX が封入されている。これは、第 VII 世代のポケモンゲーム『ポケットモンスター サン&ムーン』海外版発売 (2016 年 11 月 18 日) にさきだって公開された映画 Pokémon the Movie: Volcanion and the Mechanical Marvel (邦題: ポケモン・ザ・ムービー XY&Z ボルケニオンと機巧のマギアナ、日本での公開日 2016 年 7 月 16 日) にマギアナが登場したためであると考えられる。そのため、VII 期に関しては例外的に 11 月 18 日を境とした。これらエッジケースの変更はわずかに数セットにしか影響しないが、それらで中立な設計者が採用できる D_g が異なるため、中

立モデルでの新奇変異の登場時期の分布に大きな影響を及ぼすだけでなく、世代で区切った実データの集計にも差が出るため、特に注意が必要である。

4 結果と考察

図 2, 図 3, 図 4 に中立モデルによるシミュレーション試行と実データを図示した。

図 2-A にデータセット [45] に含まれる 12325 種類のポケモンのカードの名称から修飾を除いてポケモン名のみにしてカウントした相補累積分布 (CCDF) を示す。y 軸は各期での頻度が x の値を上回るポケモンの全体に対する割合である。たとえば $x = 10$ で $y = 0.01$ であれば、10 以上のバリエーションをもつポケモンの種数が全体の 1% であることを意味する。各期で一度でも最も多くの頻度に達したポケモンは画像を配置した (image credit: [48], 以下同様)。累積のバリエーション数が最大 (135 バリエーション, 図 2-C 参照) のピカチュウは、常に首位であるわけではないがどの期でも人気が高い。これは期をまたいだ人気の継承が起きていることを示唆する。つまり変異生成において、ランダムかどうかは別として、伝達とは無縁ではいられず、independent decisions [23] のような全く設計者の好みによるランダムなものではないかもしれない可能性を示唆している。

逆に、データだけを見れば independent decisions と同じような指数分布の無記憶性 (今まで起きたことに無関係に次のことが発生する) を表すものとして第 II 世代で登場したアンノーンをあげられるかもしれない。II 期で 2 位以下に大幅な差をつけて首位となったが III 期では 1 つもバリエーションが発行されず、次の IV 期ではまたしても 2 位以下に大幅に差をつけて 1 位となり、その後は数コピーにとどまっている (図 2-B の第 II 世代上のパネルも参照。II 期開始直後から他を引き離して頻度を伸ばしているものの、次の III 期では頻度向上がみられず、また IV 期で累積頻度を伸ばし、そのあとはほぼ全く登場しておらず、他の上位ポケモンと比較しても顕著に異なる)。これを設計者の恣意性の現れとみるか、無記憶性による (一時的な) 絶滅 (と一時的な隆盛) とみるかはより綿密なデータ分析やモデルの構築が必要になるが、アンノーンにはほかのポケモンには見られない多彩なすがたがあるという生得的な設定もまた勘案する必要がある。

図 2-B をみると I 期では中立モデルによる分布を下回るほど上位層が貧弱で、2-3 程度の頻度のポケモンが中立モデルを上回るほどであったのが、II 期では I 位のアンノーンを除けばほぼ中立モデルどおりの頻度分布となり、III 期以降は特におよそ 5-10 程度の頻度を境に、低頻度ポケモンが中立モデルよりも少なく、高頻度ポケモンが中立モデルよりも多い、よりロングテールな分布となっている。特に最新の VIII 期においてこの傾向は顕著に観察でき、ピカチュウが独走状態にあることがわかる。これが「富めるものがますます富む」よ

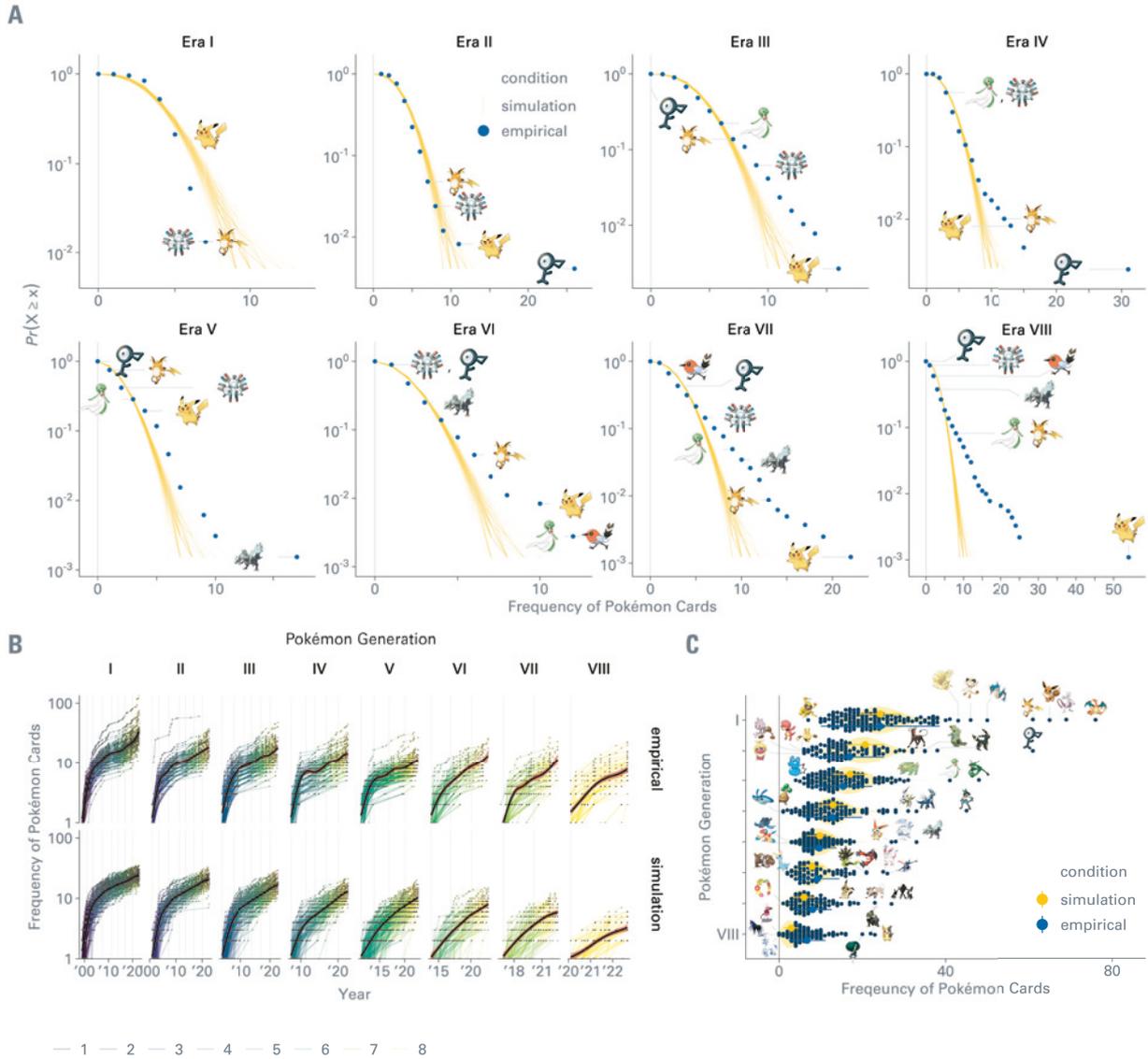


図 2: **A.** セットを各 I - VIII 期にわけ、それぞれの期間について集計して計算した相補累積分布 (青点). 背面の黄色線は中立モデルの 1000 回試行による相補累積分布. y 軸は対数変換. **B.** I - VIII 世代の各ポケモンの、ポケモン名をのみの累積カウントの推移. y 軸は対数変換. x 軸は西暦. 上: 実データ, 下: 中立モデルの 1000 回試行から 1 回ぶんをとりだしてプロットした. 黒線は局所的に推定された散布図平滑線 (LOESS), 赤のバンドはその標準誤差, 縦灰色線は世代の区切り. **C.** 各世代のポケモンを全期間にわたって集計したときの分布. 頻度が 40 以上 (つまり同じポケモンの名前でも全期間にわたって 40 以上のカードが発行されている), もしくはその世代の頻度上位 3 ポケモン, もしくは頻度が最下位のポケモンについては画像を配置した. 可視性を優先し, 頻度が全ポケモン中最大である第 I 世代のピカチュウ ($x = 135$) に関してはプロットの範囲から除いた.

うな伝達プロセスの影響によるものかどうかは今回の分析だけではわからないが, 中立モデルからの乖離が最新世代で最大になっていることは確実といえる.

図 2-B には各ポケモンの累積頻度を時系列でプロットし, 累積頻度を全期間にわたって集計したものを図 2-C に掲載した. 前述したとおり, 古い世代に関しては低頻度のポケモンが多いが, 中立モデルに比して高頻度のポケモンが少数存在するロングテールで大分散となっている. 最近の世代の

ポケモンに関しては平均の頻度が中立モデルのそれを上回っているため, ここからも正の新奇性バイアスの存在が示唆される. 図 2-C の実データの第 I - III 世代のポケモンの V 期にみられる, ほとんどリリースされていないギャップは, V 期ではほとんどすべてのカードが最新の第 V 世代のポケモンで生成されたために生じたものである.

図 3-A に各世代におけるポケモンの平均的なランクを示す. ランクは最上位から最下位まで 0-1 に標準化した (低い

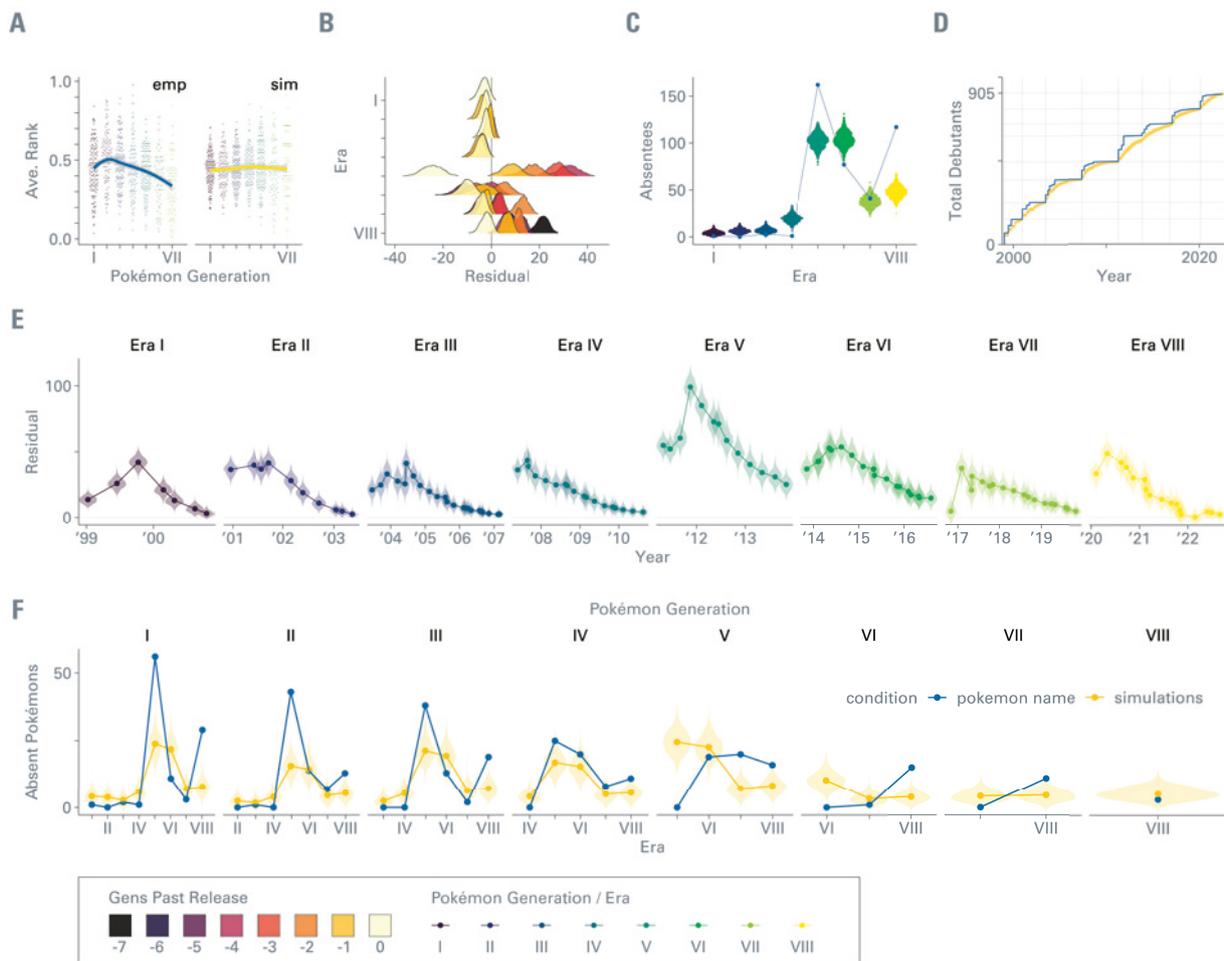


図 3: A. 全期間における、各世代のポケモンの平均的なランク。太線は LOESS, 灰色は標準誤差。第VIII世代に関してはリリースから日が浅いため除いた。 B. 残差のリッジラインプロット。 C. ベンチ数の期間ごとの集計。青点が実データ、背面のビースウォーム図がシミュレーション 1000 回試行の値。 D. 登場したポケモン数の経験的累積分布。青色が実データ, 黄色がシミュレーション 1000 回試行を不透明度を下げて描画。縦灰色線は世代の区切り, 横灰色線は各世代の累計の発表されたポケモン数。 E. 各世代において実データからシミュレーションの数値を引いた残差。分布をヴァイオリンプロットで、その平均値を点で表す。 F. ポケモンの世代ごとのベンチ数集計の遷移。シミュレーション試行の分布をヴァイオリンプロットで、その平均値を点で表す。

ほど上位)。ここでもまた実データのほうが中立モデルよりもばらつきが大きく、低位のポケモンは低位にとどまりがちで、高位のポケモンは高位にとどまりがちであるため、無記憶性からの乖離が示唆される。第 I 世代と最近の世代が平均すると順位が高めであるいっぽう、中立モデルの平均順位は世代によらず一定となる。

4.1 ベンチバイアス

ある時点において有限個の明確に区別できる文化形質が変異プールに存在し、設計者はそのプールに存在する文化形質を、1.そのままバリエーションとして、もしくは 2.軽微な修飾を施して新奇のマイナーバリエーションとして集団に導入する状況を想定する。このとき、あるタイムステップもしくは期間に一度

も集団に導入されずに変異プールにとどまった形質をベンチと呼称することにする。少なくとも一度その文化形質をプールから採用しようとするバイアスを、野球のベンチやポケモン TCG における「ベンチポケモン」に倣って、正のベンチバイアス **pro-bench bias** と仮によぶこととする(この名称は、そもそも導入の有無に関わらず変異プールに存在することじたいが「選ばれる可能性のある立場にある」という意味でベンチ入りしているともいえるし、ベンチに控えている・まだ登場していない文化形質を好んで採用して集団に登場させるのではなく、ベンチ **bench** を増やすことを好む **pro** と逆に解釈される恐れもあり、あまり適切ではないかもしれない)。

ベンチバイアスは伝達における正の新奇性バイアス **pro-novelty bias** と混同されるべきではない。伝達における正の

(もしくは負の)新奇性バイアスは新奇の発明が生得的に有利(もしくは不利)である場合などに生じる, 集団に最近登場したバリエーションを好んで(もしくは嫌って, 昔から存在するバリエーションを好んで)コピーするバイアスである[22]. 変異生成過程においても正の新奇性バイアスはある。ベンチバイアスとも伝達における正の新奇性バイアスともちがって, 最近変異プールに追加されたポケモンを好んでプールから採用する傾向のことをさすものとする。正の新奇性バイアスがポケモンTCGのカード設計過程で生じる場合, 新世代の形質は優先的に採用されるため, 正のベンチバイアスと同様の効果を受ける。

執筆時点は第IX世代のゲーム発売を目前に控えたVIII期の終盤であり, 今回のシミュレーションや実データの探索は第VIII世代までの累計 905 種のポケモンを取り扱うが, そのうちポケモンTCGでは903種のみが登場している。図3-Dをみると, 最終的な登場したポケモン数じたいはシミュレーションと大差ないが, その増加の傾向に差があることがわかる。

図3-Bに各世代の期間ごとに集計した, その期間に一度も新奇の変異が生成されていないポケモンの数の実データとシミュレーションの実データからシミュレーションの値を引いた残差を示す。残差が大きければ大きいほど中立モデルよりも多くのポケモンが欠席しており(負のベンチバイアス), 残差が0に近いほど中立モデルと同程度の種類のポケモンが現れておらず, 負の方向に大きければ大きいほど中立モデルよりも欠席が少なく(正のベンチバイアス), なるべくその世代のポケモンを余すことなく登場させようとするバイアスを示唆する。各期間から相対的に着色した。たとえばV期においては第V世代のポケモンが中立モデルの示唆するよりも30体程度多く登場した。しかしそのあおりをうけてか, 残りの1-4世代前のポケモンに関しては古ければ古いほどベンチが多い(負のベンチバイアスのかかった)期であった。

図3-Bにおいてはベンチを期間ごと・かつ世代ごとに集計したが, ベンチを図3-Cのように期間ごとに集計すると, I-IV期においてはもともとランダムモデルでも低く抑えられていた(変異プールのサイズが比較的小さいわりに, リリース枚数が多かったため)ベンチ数にも輪をかけてベンチにとどまるポケモンが少なかった(古い世代のポケモンも最新世代のポケモンも分け隔てなく, すべてのポケモンを少なくとも一度は登場させるようなバイアスがかかった)が, V期以降は最新世代以外のポケモンを多くベンチにとどまらせる方針となったことを示唆する。

図3-Fにポケモンの各世代についてベンチにとどまった数の推移を図示した。いずれの世代のポケモンについても登場直後の実データのベンチはほぼ0付近だが, 世代が下るにつれて優先的に登場させることはなくなる傾向がある。つまり, 登場直後は非常に強い正のベンチバイアスおよび正の新奇性バイアスが働くが, その後はI世代ポケモンの一部

を除いてほぼ中立モデルと類似の頻度分布を示す。

4.2 変異生成における正の新奇性バイアス

少なくとも一度バリエーションがポケモンカードとして登場したポケモン数を累積分布(図3-D)にすると, ほとんどの期間において実データのほうが中立モデルを上回っている。ゲームが, そしてポケモンカードのシリーズが新しい世代に移行するのに伴い少なくとも一度バリエーションが登場したことのあるポケモン数が跳ね上がるのはシミュレーションでも実データでも同様だが, 実データのほうが新世代登場直後の跳ね上がり著しい。このことは, 新しく発表された最新世代のポケモンを登場後なるべく早くに登場させる正の新奇性バイアス *pro-novelty bias* が存在することを示唆する。図3-Eにおいてはそれを各世代ごとに取り出し, 実データの数値からシミュレーションの数値を差し引いた。いずれの期間においても, 新世代の登場直後は実データにおける少なくとも一度登場したことのあるポケモン数が大きく中立モデルのそれらからかけ離れる。VII期の最初のリリースにおいては例外的に残差が少ないが, これはVIII期に分類した最初のリリース *Evolutions* (日本語版:コンセプトパック ポケットモンスターカードゲーム 拡張パック 20th Anniversary)が第I世代のポケモンのみが採用されているせいであり, むしろ中立モデルから大きくかけ離れている(中立モデルではVII世代までの809種のポケモンからランダム抽出している)。また, 期間の終盤にさしかかると残差はなだらかに0に近づき, シミュレーションの値と実データの差は小さくなる。

図3-Fをみればわかるとおり, ベンチバイアスはそのポケモンが最新であったときに最も強く働くという傾向があるため, ベンチバイアスもまた正の新奇性バイアスによって生じた結果にすぎないと考えることもできる。特にV期以降に関しては最新でなくなった途端に中立モデルが示唆するよりも多くのベンチポケモンが発生する傾向があるため, 新奇性バイアスのほうがよりよい説明といえるかもしれないが, それ以前のI-IV期までに関してはポケモンの新奇性によらずどのポケモンにも正のベンチバイアスが働いているため, 新奇性バイアスというよりもベンチバイアスによる説明がふさわしいのではないかと考えられる。いずれにせよ, 厳密にどちらのバイアスによる説明がよりよいかは各々についてモデルを構築したうえでそれらのデータとの整合性やモデル選択などによって判断されるべき議論であり, 本稿ではこれ以上の吟味をしない。

図2-Aをさらに各ポケモンの世代ごとに集計したものを図4に図示した。それぞれの期での最新の世代(斜めの対角線パネル)はいずれもベンチにとどまるポケモンが少なく, 特にIII期以降は全頻度にわたって中立モデルの分布を大きく上

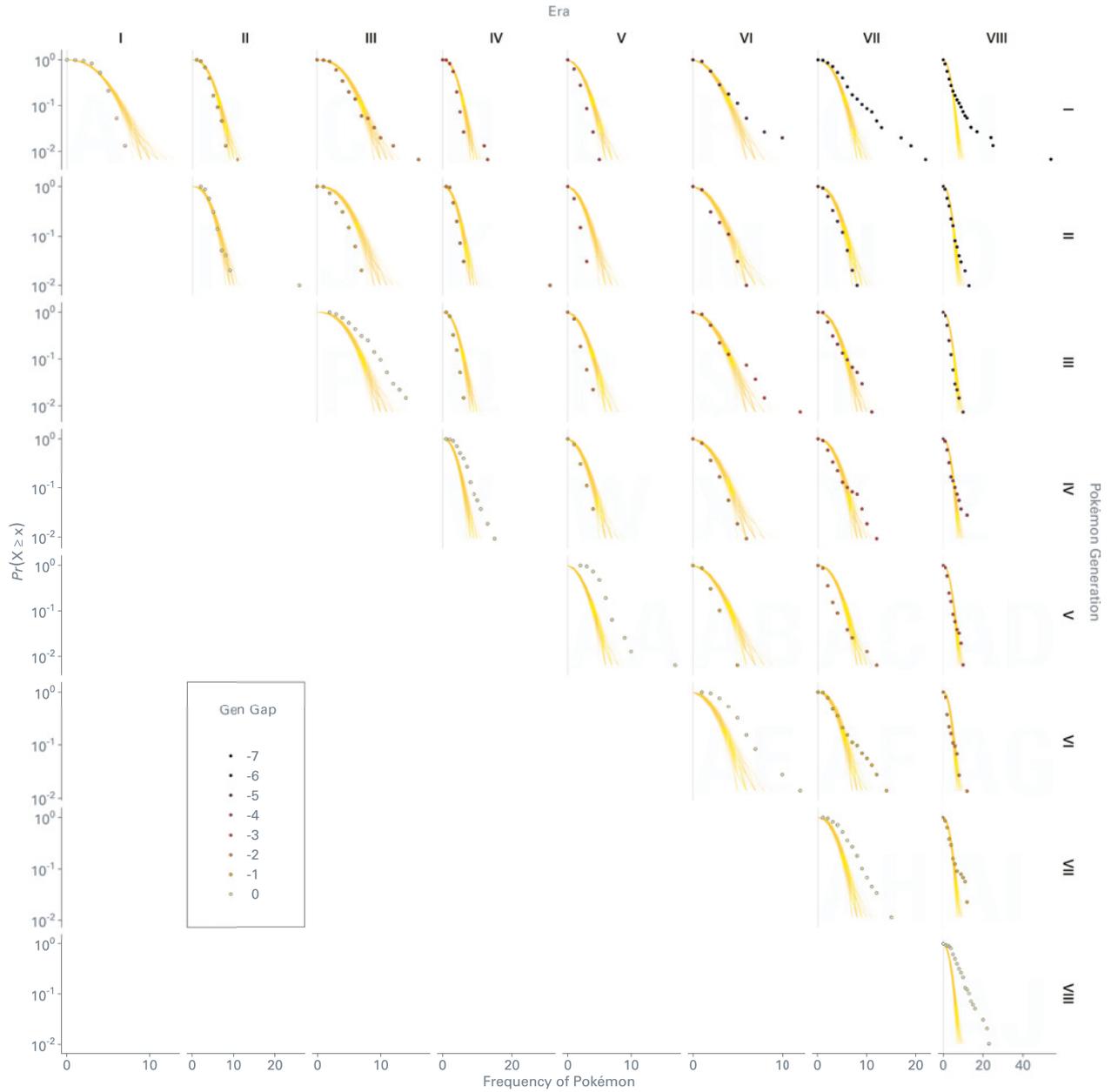


図 4 ポケモンカードの相補累積分布. 発売時期で各 I - VIII期にわけた図 2-A をさらに各世代のポケモンにわけ集計した. 期と世代の間のギャップを点の色で分けた. 薄い黄色の点が最新世代の累積分布 (斜め右下にむかう対角線のパネル, すなわち A, I, P, V, AA, AE, AH, AJ). 横のパネルが同世代に属するポケモン (例えば A-H が第 I 世代のポケモン), 縦のパネルが同期に発売されたポケモンカード (例えば E, L, P, W, AA が V 期に発売されたポケモンカード). 詳細は図 2-A を参照.

回る. また最新世代は全体的に頻度が高く, ここでも正の新奇性バイアスの存在が示唆される. 対角線の A, I, P, V, AA, AE, AH, AJ と他を比較すると, 正の新奇性バイアスの「効力」はほぼその最新世代限りであるようだが, VIII 期での第 VII 世代 (AI), VII 期での第 VI 世代 (AF) などはテール部のポケモンのみ中立モデルよりも高頻度となっているのが特徴的である. そのいっぽう, 第 I 世代をはじめとした一部人気の高いポケモンを除き, 2 世代以上世代ギャップが生じた古めのポケモンについて全体的に頻度が中立モデルと大差ないか下回り,

ベンチ数も大差ないか上回っていることが多いことがわかる.

4.3 変異生成過程の一般化

本稿では探索的データ分析の手法を採用し, 仮説検証ではなく仮説生成を主目的としている. 現代的な文化という大カテゴリに属する例としてポケモン TCG を研究対象とし, データ収集と中立モデルの構築をもとに変異生成過程におけるバイアスの候補をいくつかあげてきたが, 今回探索した傾向・バイアスの候補を, ポケモン TCG で検出・検証するだけ

では、ポケモン TCG にのみ特有のバイアスである可能性が除けず、一般化できない。今後はポケモン TCG データセットに対するより仮説検証的なアプローチはもとより、本稿で私が存在を示唆したバイアスが、ほかの現代的な文化やさらには伝統的な文化においてもポケモン TCG と同じような「一定数の変異プールから選び出して、変異プールのサイズよりもずっと多い新奇変異を生成し続ける」ようなプロセスを含む文化であれば同様の傾向を示すのかを検証する必要がある。

5 おわりに

変異バイアスについては文化進化研究プログラムにおいても十分に探究されているとはいいがたく、変異プールからのピックアップ・コピーが変異生成のプロセスであるのか、それとも前世代からの伝達プロセスの一種として扱うべきかの議論はいまだに残る。本稿では全世界で親しまれてきた「しんか」するポケモンを題材に、エンドユーザーレイヤーでの伝達ではなく、変異生成の設計レイヤーにおけるバイアスについて論じた。

本稿ではポケモン TCG データセットの整備とその可視化を通じた探索的分析、およびそうして整備した実データと非常に単純なランダムサンプリングによる中立モデルの実装とそのシミュレーション試行との乖離を中心に論じた。このモデルを足がかりに、ベンチバイアスや変異における正の新奇性バイアス、一部上位常連ポケモンに作用していることが示唆される正の頻度依存バイアスなどについてシミュレーションとして実装し、実データとの頻度分布やターンオーバー率[19], [49]の乖離として測定する展開が考えられる。また、上流過程としての変異生成過程にとどまらず、その販売数や競技上使用可能なレギュレーションを可変のウィンドウとして集団を動的に分析したり、エンドユーザーがバリエーションにどのような評価を加えているかを数年おきに実施される「総選挙」やポケモン投票、HP や攻撃力などのスペック、リセールバリューの分布や変遷、さらには公式大会でのカードの採用率と実際の販売数の乖離から量的に内容バイアスや人気の栄枯盛衰を検出し、それが設計過程と交互に与え合う作用についても考えられる。

現代的な文化進化に特有なトップダウンの変異生成プロセスが伝統的な文化進化研究の枠組み内で十分に扱える程度の些細な区別に関するものなのか、それとも明確に区別する必要があるほどに異なるプロセスであるかについては本稿で論じられる範囲を大幅に超過する。それでも、現代的な文化進化と伝統的な文化進化の関連と差分の探究は少なくとも設計学の領域からは極めて重要であるように思うし、ポケモン TCG のデータセットは卑近で具体的な入り口として、その判断の一助となるのではないかと私は思う。

参考文献

- [1] M. W. Hahn and R. A. Bentley, “Drift as a mechanism for cultural change: an example from baby names,” *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 270, pp. S120–S123, 2003.
- [2] A. Mesoudi, A. Whiten, and K. N. N. Laland, “Towards a unified science of cultural evolution,” *Behav. Brain Sci.*, vol. 29, no. 4, pp. 329–347, 2006.
- [3] R. Boyd and P. J. Richerson, *Culture and the Evolutionary Process*. University of Chicago Press, 1985.
- [4] H. Petroski, *The Evolution Of Useful Things: How Everyday Artifacts-From Forks and Pins to Paper Clips and Zippers-Came to be as They are*. Knopf Doubleday Publishing Group, 1992.
- [5] P. Steadman, *The Evolution of Designs*, Revised. London/New York: Routledge, 2008, p. 302.
- [6] J. Z. Langrish, “Darwinian Design: The Memetic Evolution of Design Ideas,” *Design Issues*, vol. 20, no. 4, pp. 4–19, 2004.
- [7] D. A. Norman and R. Verganti, “Incremental and radical innovation: Design research vs. Technology and meaning change,” *Design Issues*, vol. 30, no. 1, pp. 78–96, Jan. 2014.
- [8] J. Z. Langrish, “Correspondence: Incremental Radical Innovation,” *Design Issues*, vol. 30, no. 3, pp. 104–106, 2014.
- [9] 前田実里, 鈴木麗壘, and 有田隆也, “自動車のデザインの系統樹からみるミームの系統進化,” in *人工知能と認知科学 第 71 回*, 2009, pp. 357–358.
- [10] 土松隆志, 石山智明, 伊藤則人, 柴田裕介, and 池上高志, “系統樹から迫る非生命進化: 鳥居・雑煮・デジタルカメラ.” 2005.
- [11] M. J. Salganik, P. S. Dodds, and D. J. Watts, “Experimental study of inequality and unpredictability in an artificial cultural market,” *Science*, vol. 311, no. 5762, pp. 854–856, 2006.
- [12] C. D. Buckley, “Investigating Cultural Evolution Using Phylogenetic Analysis: The Origins and Descent of the Southeast Asian Tradition of Warp Ikat Weaving,” *PLoS One*, vol. 7, no. 12, 2012, doi: 10.1371/journal.pone.0052064.
- [13] M. G. Newberry, C. A. Ahern, R. Clark, and J. B. Plotkin, “Detecting evolutionary forces in

- language change,” *Nature*, vol. 551, no. 7679, pp. 223–226, 2017.
- [14] M. G. Newberry and J. B. Plotkin, “Measuring frequency-dependent selection in culture,” *Nat Hum Behav*, vol. 6, no. 8, pp. 1048–1055, Aug. 2022.
- [15] M. V. Simkin and V. P. Roychowdhury, “Copied citations create renowned papers?,” *Annals of Improbable Research*, vol. 11, no. 1, pp. 24–27, 2003.
- [16] A. Acerbi, “A cultural evolution approach to digital media,” *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 10, no. December, p. 636, 2016.
- [17] I. Tëmkin and N. Eldredge, “Phylogenetics and Material Cultural Evolution,” *Curr. Anthropol.*, vol. 48, no. 1, pp. 146–154, 2007.
- [18] H. A. Herzog, R. A. Bentley, and M. W. Hahn, “Random drift and large shifts in popularity of dog breeds,” *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, vol. 271, pp. S353–S356, 2004.
- [19] R. A. Bentley, C. P. Lipo, H. A. Herzog, and M. W. Hahn, “Regular rates of popular culture change reflect random copying,” *Evol. Hum. Behav.*, vol. 28, no. 3, pp. 151–158, 2007.
- [20] M. Kimura and J. F. Crow, “The number of alleles that can be maintained in a finite population,” *Genetics*, vol. 49, no. 4, pp. 725–738, 1964.
- [21] A. Mesoudi and S. J. Lycett, “Random copying, frequency-dependent copying and culture change,” *Evol. Hum. Behav.*, vol. 30, no. 1, pp. 41–48, 2009.
- [22] J. P. O’Dwyer and A. Kandler, “Inferring processes of cultural transmission: the critical role of rare variants in distinguishing neutrality from novelty biases,” *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, vol. 372, no. 1735, Dec. 2017, doi: 10.1098/rstb.2016.0426.
- [23] R. A. Bentley and S. J. Shennan, “Cultural transmission and stochastic network growth,” *Am. Antiq.*, vol. 68, no. 3, pp. 459–485, 2003.
- [24] M. Matsui, K. Ono, and M. Watanabe, “Random Drift and Design Creativity : Evolution of Drawings in the Laboratory,” *Letters on Evolutionary Behavioral Science*, vol. 8, no. 2, pp. 24–27, 2017.
- [25] M. Matsui, “Design as a non-random evolutionary process: detecting transmission biases in the laboratory,” Ph. D. (Engineering), Chiba University, 2018.
- [26] J. J. Tehrani, “The phylogeny of little red riding hood,” *PLoS One*, vol. 8, no. 11, 2013, doi: 10.1371/journal.pone.0078871.
- [27] A. C. Barbrook, C. J. Howe, N. Blake, and P. Robinson, “The phylogeny of The Canterbury Tales,” *Nature*, vol. 394, pp. 839–840, 1998.
- [28] R. D. Gray, D. Bryant, and S. J. Greenhill, “On the shape and fabric of human history,” *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences: Biological Sciences*, vol. 365, no. 1559, pp. 3923–3933, 2010.
- [29] 松井実, “スイスアーミーナイフの文化系統学的分析,” 東京都立産業技術大学院大学紀要, vol. 15, pp. 85–90, 2021.
- [30] M. J. O’Brien, M. T. Boulanger, B. Buchanan, M. Collard, R. Lee Lyman, and J. Darwent, “Innovation and cultural transmission in the American Paleolithic: Phylogenetic analysis of eastern Paleoindian projectile-point classes,” *Journal of Anthropological Archaeology*, vol. 34, no. 1, pp. 100–119, 2014.
- [31] D. H. Chitwood, “Imitation, genetic lineages, and time influenced the morphological evolution of the violin,” *PLoS One*, vol. 9, no. 10, p. e109229, Oct. 2014.
- [32] 小森政嗣, 川村智, 横山卓未, and 森下佳昌, “楕円フーリエ記述子を用いたボディソープボトル形状の分析と評価,” 日本包装学会誌, vol. 21, no. 6, pp. 479–492, 2012.
- [33] 田村光平, 有松唯, 山口雄治, and 松本直子, “遠賀川式土器の楕円フーリエ解析,” in 文化進化の考古学, 中尾央, 松木武彦, and 三中信宏, Eds. 勁草書房, 2017.
- [34] M. J. O’Brien and R. A. Bentley, “Stimulated Variation and Cascades: Two Processes in the Evolution of Complex Technological Systems,” *Journal of Archaeological Method and Theory*, vol. 18, no. 4, pp. 309–335, 2011.
- [35] 田村光平, 文化進化の数理. 森北出版, 2020.
- [36] H. T. Nia, A. D. Jain, Y. Liu, M.-R. Alam, R. Barnas, and N. C. Makris, “The Evolution of Air Resonance Power Efficiency in the Violin and its

- Ancestors,” *Proc.R.Soc.A*, vol. 471, p. 20140905, 2015.
- [37] D. C. Dennett, *Darwin’s Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Simon & Schuster, 1995, p. 586.
- [38] Norman and Verganti, “Hill climbing and Darwinian evolution: A response to John Langrish,” *Design Issues*, 2014, [Online]. Available: <https://escholarship.org/content/qt4240b4hs/qt4240b4hs.pdf>
- [39] P. Ralph and Y. Wand, “A Proposal for a Formal Definition of the Design Concept,” in *Design Requirements Engineering: A Ten-Year Perspective*, vol. 14, 2009, pp. 103–136.
- [40] “Pokémon in Figures,” *The Pokémon Company*, 2022. <https://corporate.pokemon.co.jp/en/aboutus/figures/> (accessed Sep. 22, 2022).
- [41] The Pokémon Company, “Pokémon TCG Card Database,” 2022. <https://www.pokemon.com/us/pokemon-tcg/pokemon-cards/> (accessed Sep. 21, 2022).
- [42] Lightzeaka, “Pokemon TCG Spreadsheet V3.25,” *Google Docs*, 2022. <https://docs.google.com/spreadsheets/d/10G8wEY70qJ7rEnGbDzJp13vdOB4ikIjz4E3SQVRglRc/> (accessed Sep. 21, 2022).
- [43] Bulbagarden, “List of Pokémon Trading Card Game expansions,” *Bulbapedia*, 2022. https://bulbapedia.bulbagarden.net/wiki/List_of_Pok%C3%A9mon_Trading_Card_Game_expansions (accessed Sep. 21, 2022).
- [44] Bulbapedia, “List of Pokémon by National Pokédex number,” Aug. 21, 2022. https://bulbapedia.bulbagarden.net/wiki/List_of_Pok%C3%A9mon_by_National_Pok%C3%A9dex_number (accessed Sep. 21, 2022).
- [45] M. Matsui, “Pokémon TCG Dataset,” *Google Docs*, Sep. 2022. https://docs.google.com/spreadsheets/d/1VcVuCtDyKI5oqGsWJPKJGO7y-vIVZge6JrRqrE_kAQY/edit (accessed Sep. 21, 2022).
- [46] M. Matsui, *Data analysis and visualization code for “Non-random design process of Pokémon TCG.”* Github, 2022. Accessed: Oct. 02, 2022. [R Programming Language]. Available: <https://github.com/xerroxcopy/pokemon-tcg>
- [47] M. Shelomi, A. Richards, I. Li, and Y. Okido, “A Phylogeny and Evolutionary History of the Pokémon,” *Annals of Improbable Research*, vol. 18, no. 4, pp. 15–17, 2012.
- [48] Pokémon Company, “Pokédex,” 2022. <https://www.pokemon.com/us/pokedex/> (accessed Oct. 01, 2022).
- [49] A. Acerbi and R. A. Bentley, “Biases in cultural transmission shape the turnover of popular traits,” *Evol. Hum. Behav.*, vol. 35, no. 3, pp. 228–236, 2014.

遠隔環境での PBL におけるチームワーク促進のための レゴ®シリアスプレイ®の活用事例

三 好 き よ み*

A Case Study of Using the LEGO® Serious Play® to Promote Teamwork in PBL in Interactive Distance Environment

Kiyomi Miyoshi*

Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of workshops using the Lego Serious Play on the promotion of teamwork in PBL (Project Based Learning) activities with diverse members in interactive distance environment. Regarding the promotion of teamwork, we focused on the team mental model, which is a psychological component, and the transactive memory system. This paper reports on a workshop using LSP at the end of the first semester. Analysis of the comments made during the workshop and feedback at the end of the workshop revealed that teamwork is expected to be promoted in PBL activities in the second semester.

Keywords: Project Based Learning, Teamwork, Interactive Distance Environments, Team Mental Models, Transactive Memory Systems, LEGO Serious Play

1 はじめに

東京都立産業技術大学院大学は、主に社会人を対象とした専門職大学院であり、専門職学位取得のための必修科目として PBL(Project Based Learning)型の教育を行っている[1]。2年間を通して、コミュニケーション力、継続的学修と研究の能力、チーム活動の3つのメタコンピテンシー、及びコースごとのコアコンピテンシーを向上させることを目指し、1年次に基礎的な知識スキルを修得した上で、2年次に PBL を実施している。2020年度以降は、新型コロナウイルスによる感染症(COVID-19)の拡大を受けて、従来通りの対面での授業が実施できなくなっており、PBLもまた遠隔で実施することを余儀なくされている。COVID-19の拡大により、日本の働き方は変わり、テレワーク、オンライン会議が定着しつつある。よって、PBLに限らず、チームメンバーが、同じ時間、同じ場所で対面して働くことが必須ではなくなってきた。テレワークには、移動時間の削減などのメリットもあるが、デメリットもある。一般的に、異なるロケーションでのチームワークは、チームパフォーマンスが低下すること、発揮されるリーダーシップの効果が低下することが知られている[2]。よって、遠隔環境での PBL においてもチームワークをいかに促進するかが課題の1つとして挙げられる。

日本企業では、かつて組織力やチームワークを強みとしていた。協調性が重視され、そこでのチームワークは同質的なメンバーが基本となっていた。ところが、技術の急速な変化、社会的な環境の変化により、価値観の異なる多様な人たちとともに協働するようになってきた。それぞれの専門的な知見を活かしながら、新たな問題に対して課題解決し、新たな価値を創出することを求められる。そこでは、一人一人が自分の専門分野ではリーダーシップをとってチームに貢献していくことが必要である。

本学の PBL は、まさしくこのような状況を実際に体験する場である。2021年度に著者が担当した PBL は、多様な背景をもつ社会人学生6名であった。それぞれの得意な領域は異なり、向上させたいコンピテンシーも同じではない。そして、入学時から1度も対面することなく2年次の PBL を開始し修了を迎えた。彼らは、遠隔のメリットを活かし、デメリットを様々な工夫によって乗り越えながらチームワークを遂行した[3]。2022年度においても同様に、多様な背景をもつ社会人学生7名で遠隔環境での PBL を実施している。

本研究は、多様な背景のメンバーによって遂行される遠隔環境での PBL において、レゴシリアスプレイ(以下、LSP)によるワークショップが、チームワーク促進に及ぼす影響について明らかにすることが目的である。チームワーク促進につ

Received on October 2, 2022

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

いては、心理的要素であるチーム・メンタルモデル、及びトランザクティブ・メモリー・システムについて着目した。本稿では、2022年度のPBLチームで実施した後期開始前までのLSPによるワークショップの結果について報告する。

2 関連研究

チームでなんらかの職務を遂行する際、メンバーは個人に割り当てられた課題へ取り組むとともに、他のメンバーと協働するための相互作用を行う[4]。個人の取組みはタスクワークであり、個々人の担当する課題を個別に完結させる。他のメンバーとの協働は、チームワークであり、メンバー間での情報交換や支援などの対人活動である。山口[5]は、チームワークを次のように定義している「チーム全体の目標達成に必要な協働作業を支え、促進するためにメンバー間に交わされる対人的相互作用であり、その行動の基礎となる心理的変数を含む概念である」。つまり、チームワークは、目に見える行動的要素と、可視化の難しい心理的要素から成り立っている。チームワークの行動的要素について、Rousseau & Savoie[6]は、チームパフォーマンスの統制と対人関係の維持に大別している。対人関係の維持の下位には、心理的サポートとコンフリクトマネジメントを置いてい

る態度やチームメンバー間での知識の共有といった認知のあり方が含まれる[7]。そして、効果的なチームワークを発揮するには、このような行動、態度、認知の3つの要素をバランスよく備えることが必要であるといわれている[7]。

チームワークの心理的要素の概念として、チーム・メンタルモデルがある。チーム・メンタルモデルは、Klimoski & Mohammed[8]が提示した概念である。チーム・メンタルモデルとは、チームが取り組む課題の内容や遂行の仕方、チームの特性やメンバーの特性に関する知識や心的表象がメンバー間で共有されていることを意味する[5]。チーム・メンタルモデルの形成によって、チームパフォーマンスが促進されることが明らかにされている[9]。チーム・メンタルモデルとほぼ同じ意味で共有メンタルモデルという概念も使われている。共有メンタルモデルは、Cannon-Bowers, et al.[10]が提示した概念である。チームの課題、遂行手順、役割や責任について共有された知識をいう。共有メンタルモデルが形成されていると、他のメンバーの行動を予期し、タスクを効率的に遂行するために行動を調整できるとされている[11]。

チームパフォーマンスへ影響を及ぼす心理的要素の概念としては、トランザクティブ・メモリー・システムがある。トランザクティブ・メモリー・システムは、チームメンバー間の誰が何を知っているかの共通認識と定義されている[12][13]。Lewis & Herndon [14]は、トランザクティブ・メモリー・システムは、メンバー間の専門性の理解、メンバー間の情報共有・提供、相手の知識や情報への信頼で構成されているという。つまり、誰が何を知っているだけでなく、メンバー間で情報のやり取り

が効率よく起こり、チーム全体で様々な情報を記憶している状態である。この状態においては、チーム内の情報交換と相互協力が促進され、チームパフォーマンスが向上するといわれている[15][16]。Nawata et al.[17]は、日本企業を対象に調査を行い、日常的コミュニケーションをよくとっているチームは、トランザクティブ・メモリー・システムが構築され、暗黙の協力がとれる結果、高いチーム成果があげられていることを明らかにしている。

以上により、チームワークにおいては、チーム・メンタルモデルの形成、及びトランザクティブ・メモリー・システムを構築することが、重要であることがわかる。そして、そのためには、対面で日常的なコミュニケーションを取ることが有効であるとされる。しかしながら、本学は、多くが社会人学生であり、日常的コミュニケーションを取るといことは現実ではない。また、授業やPBLは、遠隔環境で行われており、対面コミュニケーションを取る機会も限られる。よって、チームワーク促進のためにチーム・メンタルモデルの形成、及びトランザクティブ・メモリー・システムの構築に、LSPを活用することとした。

3 レゴシリアスプレイ(LSP)の概要

LSPは、ロバート・ラスムセンが中心となって、MIT Media Lab.のシーモア・パパート教授が提唱する「コンストラクションイズム」などを基にした手法である。コンストラクションイズムとは、手と頭が連携を取りながら、新しい知識を構築、再構築していくという理論である[18]。LSPでは、専用のレゴブロックセットを用いて、トレーニングを受けたファシリテーターがワークショップを行う。そして、個人の価値観やビジョンなど、頭のなかでなんとなく意識しているモヤモヤとした部分を可視化することで、コミュニケーション能力や問題解決能力のアップを目指す。加えて、言語だけでは表現できない本当の考えや気持ちの表出を参加者に促し、引き出していく[19]。

子供がレゴブロックで組み立てるのは、物理的で具体的なモノがほとんどであり、現実に存在する対象をリアルに表現する。LSPでは、レゴブロックを使って、「ゴール」、「ビジョン」、「リーダーシップ」といった抽象的なイメージやアイデンティティを組み立てていく。このような、捉えどころのない概念をレゴブロックで作品によって可視化し、共有できる。よって、企業の戦略策定、組織活性化、チームビルディング、自己啓発などに活用されている[20]。レゴブロックは、基本的なブロックの他に、人形、動物、樹木、お金、柵、歯車、透明部品など、様々な部品が数多くそろっている。また、積み上げること、連結することが容易である。よって、アイデアのイメージを作品として容易に表現することが可能であり、誰が作っても見栄えのする作品ができることが、レゴブロックを使う利点といわれている。なお、LSPには、専用のレゴブロックキットが用意されている。

LSPのファシリテーションの基本プロセスは、(1)問いを立

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

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

以上のような特徴を持つ LSP は、第一に、PBL におけるチームワーク促進に有効であると考えられる。特に遠隔環境においては、相互理解と共通の目標意識の醸成に効果が期待できる。第二に、PBL による成長や内面を可視化することに有効であると考えられる。

4 ワークショップの設計

多様な背景のメンバーによって遂行される遠隔環境での PBL において、チームワーク促進を目的として、以下のようにワークショップを設計した。PBL 開始時(第1回・第2回)はチームメンバーの相互理解、PBL 前期終了時(第3回)は、後期に向けて方向性の共有、PBL 終了時(第4回)は、振り返りと今後の展望が狙いである。各ワークショップ開始時には、ワークショップの目的について説明し、ワークショップ終了時には、振り返りの時間を設けている。ファシリテーターは著者が担当する。

第1回 (PBL 開始時 2022年3月)

目的 : チームメンバーがそれぞれのパーソナリティを認識する。

参加者: チームメンバー 7 名, 外部評価者 2 名

問い: ①タワー, ②悪魔のようなプロジェクトマネージャ(上司, 先輩, 顧客), ③こんなプロマネは嫌だ!

時間: ワークショップ全体で 90 分

使用ブロック: ウィンドウエクスペローションキット(約 50 個のパーツ)

その他: 対面と遠隔のハイブリッド開催とし、遠隔参加者には、事前にキットを郵送。

第2回 (PBL 開始時 2022年3月~4月)

目的 : チームメンバーの現在の状況を認識し、共有する。

参加者: チームメンバー 7 名

問い: ①現在の自分

時間: 1 人 10-15 分程度

使用ブロック: アイデンティティ&ランドスケープキット

その他: 都合のつく時間に、個別に作品を作成し、写真を共有。

第3回 (PBL 前期終了時 2022年8月)

目的 : 個人目標とチームとしての成果物完成までのプロセスを擦り合わせる。

参加者: チームメンバー 7 名

問い: ①PBL 終了時のチーム, ②チームのために私ができること

時間: 3 時間程度

使用ブロック: アイデンティティ&ランドスケープキット, コネクシオンキット

その他: 対面と遠隔のハイブリッド開催とし、遠隔参加者は既存のレゴブロックを使用

第4回 (PBL 終了時 2023年2月) 予定

目的 : PBL を終えて、PBL での学び、各自の課題、課題解決と今後について認識する。

参加者: チームメンバー 7 名

使用ブロック: アイデンティティ&ランドスケープキット

5 PBL 開始時のワークショップ(第1回・第2回)の結果

PBL 開始時に実施したワークショップの目的は、1 年間にわたって実施される PBL のチームワーク促進のために、まずは、チームメンバーが、それぞれのパーソナリティを認識すること、そして、それぞれの現在の状況を認識し、共有することである。

第1回ワークショップは、チームメンバー 7 名、外部評価者 2 名の計 9 名が参加した。チームメンバーのうち 5 名は遠隔での参加であった。ワークショップ中の発言、及びワークショップ終了時の感想について分析した。その結果、チームメンバーそれぞれによって、様々な視点、発想があることということを認識したことがわかった。また、ワークショップの問いとして、「私の職場プチ自慢」「悪魔のようなプロジェクトマネージャ」という職場のポジティブ面とネガティブ面を対象としたことで、問いに対する作品への語りから、職場の状況や日頃の働く姿を垣間見ることができたようである。また、外部評価者 2 名からは、チームメンバーの考え方がわかった、初対面であっても作品を介することでコミュニケーションのハードルが下がった、遠隔であっても臨場感があった、といった感想が得られた[21]。

第2回ワークショップは、各メンバーが都合の良い日時に、教室にきて個別に作品を作成し、順次展示しておくこととし

た。また、作品の写真を共有した。「現在の自分」という問いへの作品は、多くのパーツのレゴブロックセットを使ったことで、より表現豊かに可視化することができている(図1)。一同に会したワークショップの中で、作品を目の前にして語ることはなかったが、その後の PBL の中で、作品を話題として状況を共有することができた。

以上のように、PBL 開始時に実施した第1回、第2回のワークショップによって、チームメンバーそれぞれのパーソナリティ、及び状況をメンバー間で認識し、共有することができた。第1回は90分、第2回は個別に各15分程度という、短時間でありながら目的を達成することができたのは、LSP、及びレゴブロックを使用したことによると考えられる。



図1：第2回作品「現在の自分」

6 前期終了時のワークショップ(第3回)

6.1 ワークショップの概要

第3回ワークショップは、PBL 前期終了時の2022年8月に実施した。「これからのPBL活動」をテーマとして、PBL 後期に向けて、個人の目標とチームとしての成果物完成までのプロセスをすりあわせることが目的であった。チームメンバー7名は、年代、職種、経験も多様である。それぞれ得意分野は異なり、それぞれの向上させたいコンピテンシーも異なる。PBLにおける個々の目標とチームとしての成果物の完成に向けて、どのように役割分担しすすめていくか、どうすることで目標を達成できるのかをワークショップを通してメンバー全員で考え、作品にして共有する。

参加者は、PBL のチームメンバー7名、うち2名は遠隔での参加であった。教室で使用するブロックとして、LSP 用

のアイデンティティ&ランドスケープキット、及びコネクションキットを準備した。遠隔参加者2名は、各自の自宅にある既存のレゴブロックを使用した。

第3回ワークショップの内容について、表1に示す。前回のワークショップから半年ほど経過しているため、まず、スキルビルディングを行い、レゴブロックの組み立て、及びストーリーを語ることに慣れてもらった。スキルビルディングでは、「鳥」「現在の自分」「修了したときの状態」を問いとして、作品をつくり共有した。つづいて、テーマ「これからのPBL活動」に対して、2つの問いに対して作品をつくっていき、共有モデルを完成させた。

テーマ「これからのPBL活動」では、最初に、「PBL 終了時のチーム」を問いとして、PBL 終了時にチームとしてどうなっていたいかについて、①個人モデルを作成、②個人モデルから一部を抽出し、それを使って、③共有モデルを作成、全員で、④共有モデルのストーリーを作成した。これは、LSP のアプリケーションテクニック(AT)のAT1、AT2に相当する。次に、「チームのミッションのために私ができること」の問いに対して、①個人モデルを作成、②共有モデルの周りに個人モデルを配置し、③各自が、配置した意味を語った。その後、④配置した個人モデルを共有モデルとつなぎ、⑤各自が、つないだ箇所について意味を語った。これは、LSP のアプリ

表1：第3回ワークショップの内容

テーマ・問い	内容
スキルビルディング(作品を通して語ることに慣れる)	
「鳥」	自分の作品を通して、「自分の強み・長所」を語る。 ※作品について語るのではない。
「現在の自分」	現在の状況を作品を通して語る
「修了したときの状態」	大学院を修了したときにどうなっていたいかを作品を通して語る
これからのPBL活動	
「PBL 終了時のチーム」	<AT1> 個人モデルの作成 ① PBL 終了時にチームとして、どうなっていたいかを作品を通して語る <AT2> 共有モデルの作成 ② 自分の作品から一番大事なところを抽出し、抽出した作品を通して語る ③ 抽出した作品で共有モデルを作成する ④ 全員で共有モデルのストーリーを作成し、共有する
「チームのために私ができること」	<AT1> 個人モデルの作成 ① PBL 後期に各自がやろうとしていることを作品を通して語る <AT3> ランドスケープ ② <AT2>で作成した共有モデルの周りに個人モデルを配置する ③ 各自が、配置した意味を語る <AT4> コネクション ④ <AT3>で配置した個人モデルを共有モデルとつなぎ ⑤ 各自が、つないだし意味を語る
振り返り	一人ずつ感想を語る

ケーションテクニック(AT)の AT1, AT2, AT4 に相当する。なお、共有モデルの作成では、遠隔での参加者の作品については、まずは写真で共有し、休憩時間に教室での参加者が同じ作品を作成した。

6.2 ワークショップの結果と考察

スキルビルディングでの問い「現在の自分」では、作品を通した語りにおいて、第 2 回の「現在の自分」と比較しての質問や語りもあり、互いの状況についての認識が、深まってくることが見受けられた。問い「修了したときの状態」では、修了後に何を目標しているのかについて、互いに認識し共有することができた。

これからの PBL 活動については、「PBL 終了時のチーム」の問いで、各メンバーが作成した自分の個人モデルから、重要だと思う一部を抽出し、それらを時間軸の上に並べて共有モデルとした。そして、全員で成果物完成までのプロセスを話し合い、ストーリーを作った。その後、メモをとることはせず、互いに確認しながらストーリーを記憶した。最後に、そのストーリーを一人ずつ暗唱した。その結果、チームとしての成果物完成までのプロセスが共有モデルとして可視化され、そのストーリーをチームメンバーで共有することができた。「チーム

のミッションのために私ができること」の問いでは、各メンバーが作成した個人モデルを 1 つ目の問いで作成した共有モデルの“チームとしての成果物完成までのプロセス”に、コネクションキットを使って接続した。そして、接続した意味について語った。その結果、チームのために、自分がやりたいこと、貢献できることが、どのプロセスで発揮できるかが可視化され、各自の思いをチームメンバーで共有することができた。完成した PBL 後期開始から終了までの共有モデルを図 2 に、ワークショップの様子を図 3 に示す。

ワークショップ終了時の参加者の感想を表 2 に示す。これらの感想からは、PBL 後期のチーム活動について、最初は、ぼんやりしていたことが、問いに対して、手を動かして作品を作っていくことで、形として表れ、具体化されていったことがわかる。また、個人モデルの作品を共有モデルとして、統合する過程で、チームとしての方向性が時間軸とともに定まっていたことがわかる。さらに、最後に自分のやりたいこと、できることを個人モデルとして作品にし、共有モデルにつないだことで、チームへの貢献と、役割分担が可視化されたことがわかる。

以上の結果から、PBL 後期に向けて、個人の目標とチームとしての成果物完成までのプロセスをすりあわせるという、ワークショップの目的が達成できたと考える。

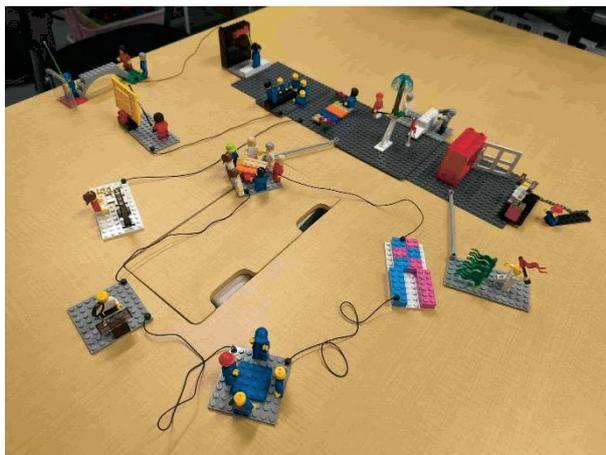


図 2：共有モデル PBL 後期開始から終了まで



図 3：第 3 回ワークショップの様子

表 2：第 3 回ワークショップ終了時の参加者の感想(一部)

ワークショップについて
<ul style="list-style-type: none"> ・最初はどうかやったらいいのかと思ったが、手を動かしていたら形になった。 ・問いについて、頭の中ではなかなか浮かばなくても、実際に手を動かしていると、色々アイデアが浮かんできた。 ・それぞれの作品が 1 本の時間軸に並び、ストーリーができるのは、すごく面白い。
チーム活動について
<ul style="list-style-type: none"> ・時間軸があると、どこで何をやるべきかっていうイメージがついてくる。 ・これから先のことは、まだ漠然としていたが、具体的に形にしていくことを通じて、明確になってきた。 ・やっていくうちに、この先のイメージが形になり、みんなで共有できた。 ・みんなが考えていることが、視覚的に分かるようになったので、今後チームで活動していく上での参考になった。
自分のできること・役割について
<ul style="list-style-type: none"> ・手を動かしながら作っていくことで、うまく役割分担ができた。 ・チームの中で自分のできることは漠然としていたが、手を動かしながら、ここは得意だな、自分も貢献できるかなと思った。 ・各自のそれぞれの役割のところうまく分散された。 ・一連の流れの中で各自が役割を発揮して、いいもののができあがっていくと思った。
その他
<ul style="list-style-type: none"> ・今までの PBL の振り返りができて、未来を展望できるようになったのが印象的だった。 ・自分の道も将来の道も明らかになった。 ・言葉だけではわからないことも、作品を通じてわかった。 ・後期の最後に、またワークショップをやると、その後、みんながやろうとしていることが分かるのかなと感じた。

6.3 まとめ

ワークショップでは、問いに対して作品をつくり、ストーリーを語ることで、チームメンバーのそれぞれの状況や目指していることなどの認識を新たにし、メンバー間で共有することができた。目的であった、チームが取り組む課題の内容や遂行の仕方が共有されている状態であるとともに、チームの特性やメンバーの特性に関する知識や心的表象がメンバー間で共有されている状態でもある。よって、チーム・メンタルモデルが形成されている状態であるといえる。また、各メンバーがチームへ貢献できるプロセス、及び役割分担が可視化されたことから、トランザクティブ・メモリー・システムが構築されて、チーム内でメンバーの知識スキルを効率的に活用することができる状態であるといえる。これらのことから、今後の PBL において、チームワークの促進が期待できる。

7 おわりに

本研究の目的は、多様な背景のメンバーによって遂行される遠隔環境での PBL において、チームレゴシリアスプレイ (LSP) を用いたワークショップが、チームワークの促進に及ぼす影響について明らかにすることである。本稿では、2022 年度の後期開始前までの LSP によるワークショップにおいて、ワークショップ中の発言、及びワークショップ終了時の感想から、今後の PBL におけるチームワーク促進が期待できることを報告した。ひきつづき、調査分析を行い、チーム・メンタルモデル、及びトランザクティブ・メモリー・システムの測定尺度について検討し、LSP によるワークショップのチームワーク促進への影響について、明らかにしていきたい。

注

- 1) 外部評価者：正式名称は、PBL 認定登録外部評価者。年に数回 PBL の活動や成果物等に対してレビューを実施する。

参考文献

- [1] 東京都立産業技術大学院大学 PBL (Project Based Learning) 型教育, <https://aiit.ac.jp/education/pbl/> (2022/9/25 参照)
- [2] Hoch, E. J. and Kozlowski, J., Leading Virtual Teams: Hierarchical Leadership, Structural Supports, and Shared Team Leadership, *Journal of Applied Psychology*, 99 (3), 390-403, 2014.
- [3] 増田 貴志, 永根 亜由, 塩谷 正治, 白井 貴子, 戸澤 健太, 藤田 恵司, 三好 きよみ, 専門職大学院におけるオンライン環境での PBL 活動の事例. プロジェクトマネジメント学会 2022 年春季研究発表会予稿集, 488-493, 2022.
- [4] Morgan, B. B., Sales, E., & Glickman, A. S., An Analysis of

Team Evolution and Maturation, *The Journal of General Psychology*, 120, 277-291, 1993.

- [5] 山口 裕幸, 『チームワークの心理学—よりよい集団づくりをめざして』, サイエンス社, 2008.
- [6] Rousseau, V., Aub'è, C. & Savoie, A., Teamwork Behaviors: A Review and an Integration of Frameworks, *Small Group Research*, 37 (5), 540-570, 2006.
- [7] 三沢 良, 「チームワーク力」とは, *教育と医学*, 60, 4-11, 2012.
- [8] Klimoski, R. & Mohammed, S., Team mental model: construct or metaphor? *Journal of Management*, 20(2), 1994, 403-437, 1994.
- [9] DeChuch, A. L. & McIntyre, M., Measuring Shared Team Mental Models: A Meta-Analysis. *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*. 14 (1), 1-14, 2010.
- [10] Cannon-Bowers, A. J., Salas, E. & Converse, S., Shared mental models in expert team decision making. In N. J. Castellan, Jr. (Ed.), *Individual and Group Decision Making: Current Issues*. Lawrence Erlbaum Associates. 221-246, 1993.
- [11] Mathieu, E. J., Heffner, S. T., Goodwin, F. G., & Cannon-Bowers, A. J., The Influence of Shared Mental, *Journal of Applied Psychology*, 85(2), 273-283, 2000.
- [12] Wegner, D. M., Transactive Memory: A Contemporary Analysis of the Group Mind. In: Mullen, B. and Goethals, G. R., (Eds.), "Theories of Group Behavior", Springer-Verlag, New York, 185-208, 1987.
- [13] Lewis, K., Measuring transactive memory systems in the field: scale development and validation, *Journal of Applied Psychology*, 88(4), 587, 2003.
- [14] Lewis, K., & Herndon, B., Transactive memory systems: Current issues and future research directions, *Organization Science*, 22(5), 1254-1265, 2011.
- [15] Lewis, K., Knowledge and Performance in Knowledge-Worker Teams: A Longitudinal Study of Transactive Memory Systems, *Management Science*, 50(11), 1519-1533, 2004.
- [16] Zhang, Z. X., Hempel, P. S., Han, Y. L., & Tjosvold, D., Transactive memory system links work team characteristics and performance, *Journal of Applied Psychology*, 92(6), 1722-1730, 2007.
- [17] Nawata, K., Yamaguchi, H., & Aoshima, M., Team Implicit Coordination Based on Transactive Memory Systems, *Team Performance Management: An International Journal*, 26, 375-390, 2020.

- [18] Kristiansen P. & Rasmussen R., *Building a Better Business Using the Lego Serious Play Method*, Wiley, 1989.
- [19] ロバート ラスムセン, 『戦略を形にする思考術』, 徳間書店, 2016.
- [20] 蛭谷 敏, 『レゴ 競争にも模倣にも負けない世界一ブランドの育て方』, ダイヤモンド社, 2021.
- [21] 三好 きよみ, PBL 活動開始時におけるレゴ®シリアスプレイ®メソッドの活用事例— 遠隔環境でのチーム・メンタルモデル形成に向けて — プロジェクトマネジメント学会 2022 年度春季研究発表大会予稿集, 25-30, 2022.

事業特性とテレワーク移行との関係性に関する一考察

吉田 敏*・志度 成子*・Ying-Chang Yu

A Study on the Affinity between Business Characteristics and Telework

Satoshi Yoshida*, Shigeko Shido* and Ying-Chang Yu**

Abstract

In this paper, we would like to consider new business styles such as telework from the perspective of the Architecture concept, a concept that focuses on interdependence among components of artifacts. This Architecture concept reveals the design concept of the creator. The purpose here is to clarify what kind of causal relationship exists between the promotion of telework and the activity characteristics of business entities, and what kind of factors may be influential.

Keywords:

telework, Architecture concept, business model, interdependence among components, business process

1 はじめに

現在、人間が生活する空間は、殆ど人工物で埋められているということが出来る。例えば、通常の住宅や事務所のビルの居室で、周囲を見回してみても、殆ど全てが人工物であることに気づくであろう。天井、壁、床、そしてそれらに点在する照明器具、エアコン、扉、窓、机、椅子、カーペット、畳など、全て人工的につくられたものである。そして、それらを活用するためのソフト面も人工的なものばかりであり、取り扱い方法、制御システム、メンテナンスプロセスなどの人工的なもので構成されている。また、これらを開発して供給する、開発モデル、設計プロセス、生産管理システム、供給メカニズムなども、人工的につくられたものである。これは、屋外の街路や公共交通などの空間でも同じであろう。このように人工的につくられたものは、有形なものや無形なものが混在しているが、少なくとも「設計されたもの」という共通項を持っていると考えられる[1]。

一方、アーキテクチャ概念と呼ばれる、構成要素間相互依存性に着目した設計思想[2]から、人工物を議論する考え方がある。この考え方をを使うと、つくり手のつくり方の傾向から、実際につくられた製品やサービスなどの生産物の特性などを、客観的に記述できる面がある[3]。

ここでは、一つの事例として、パンデミックの中で注目された、Web 会議システムやインターネットを活用したテレワークの推進という新しいビジネスモデルの展開を取り上げたい。人工的につくられつつある新しい事業スタイルについて議論を展開し、どのような理由からこのような新規性のある展開に

合理性が見出されているのか、理解していくものである。現在、このテレワークという新規性があるシステムは、導入する組織が増加しているように考えられる。しかし、逆に、対面による業務の重要性を指摘する面が存在することも否定しきれないと考えられる。このテレワーク導入に関する要因が明確になれば、このシステムが特定の領域に優位性があるのか、または、全ての領域で行うべきであり、推進しない企業は単に時代遅れということとなるのか、論理的に解くことが出来る可能性が生じる。

本稿の目的は、このようなテレワーク導入を左右する要因を論理的に整理し、今後のテレワーク導入に関する方向性を理解するための考え方を示すことである。これは、社会の大きな動きに伴う変化に対し、どのような点をどのように理解すべきか、明確な考え方を持つことが出来る術を示すことが重要であると考えていることに起因した試みである。このような考え方が示されれば、自らの判断で、様々な状況下において的確な方向性を見出すことができる可能性を得ることになる。これによって、現在のような情報が氾濫している中で、企業活動やモノづくり活動において、慣行的な意思決定だけに頼るのではなく、論理性と客観性を含んだ意思決定の機会も得ることが出来ることになると考えられる。

2 活動の理解に関する理論的背景

2.1 人工物と構成要素

一般的に、複数の構成要素によって人工物がつくられている[4]。そして、分野、企業、プロジェクトなどによってつくら

Received on October 2, 2022

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

** Tamkang University

れる生産物は、これらの構成要素によって構築されていくものであり、その構成についてはそれぞれ独自の傾向を形成する[1](図 1)。ただし、このような構成要素の数は、通常の製品やサービスでは、極めて多いものとなる場合も少なくなく、また、これらの構成要素間の相互依存性は様々な強さがあり、一様に理解することは困難である[5]。つまり、構成要素の数の多さと、その関係性の多様さによって、複雑性が高まっていくことになる。

このような視点をヒントにしながら、複雑性を持つ人工物である、企業のビジネスモデルやビジネスプロセスについて、どのような理論が支配的に働くのかという点の理解を深めていく。そのためには、事業システム全体を分析していくことが必要だという側面も生じることになるが、まず考えられるのが人工物である生産物において、部分間の相互関係性は、何に影響を受け、どのような傾向を持つことになるかを理解していくことである[6]。このように製品やサービスなどの生産物の構成に注目していくのは、事業システムのある側面を捉えることができると考えられるためである。その理由は、実際につくられる生産物は、それをつくる背景に様々な要素が含まれており、それが具体化したものの一つが生産物の構成と考えることができるためである。

また、そのような考え方は、生産物をつくるプロセスについても当てはまることになる可能性がある[7]。どのような製品やサービスでも、前述のように多くの構成要素によってつくられていることになるが、それぞれの構成要素を組み合わせるのに、必ず組み合わせるプロセスが必要なはずである。そのプロセスも人工物であり、同様の考え方で特性を理解していくことが出来ることになるはずである。

このような分析を進めていく上で重要になるのが、どのような理由で生産物構成や生産プロセスなどが部分ごとに塊りとなって分かれているのかという点である[8]。対象が人によって設計されるものである以上、何らかの理由や傾向があることが予想され、それを分析していくことで、そこに込められた恣意を読み解いていくことが出来る可能性がある[9]。そのための手法の一つにアーキテクチャ概念があると考えられる。この概念の基本となる視点は、システムを要素ごとに分け、その要素間の相互依存性の強さに着目することである。

2.2 創られる設計思想と組織特性の関係性

この一般的に人工物である製品やサービスをつくるには、目標とする望ましいシステムの「機能」を達成するために、複数の部位を連結させてシステムの「構成」をつくり上げることになる[3,10]。これは、まずシステムに要求される基本機能を達成するために、複数のサブ機能の束へ展開し、それらの機能群を生産物の構成要素に対応させていくことになる。生産物である建築を対象とした場合も、基本的には「機能」と「構成」の対応関係を調整していくことになる。

つまり、生産物を設計する行為は、生産行為全般に関して最適化した情報をつくり出そうとするものであると考えられる。言い換えれば、つくり出される設計情報は、「構法」にあたる「生産物機能」や「生産物構成」を生み出すだけでなく、「工法」に該当する、どのように生産していくかという「生産プロセス」や、どのような組織で生産していくかという「生産組織」についての情報も含まれることになる。つまり、設計段階において、既にどのような組織がどのような能力を持ち、どのような部品をどのように組み合わせることができるか、という内容を含んだ設計情報がつくられることになる。

ここで注目すべき点は、つくり出される設計情報が、どのように生み出され、どのように発展させられ、どのように生産物を完成させるのか、その経緯を観察していくことによって、つくり手の持っている設計思想の傾向を知り得ると考えられる点である[11]。これは、設計情報が、つくり手の組織やシステムの持つ独自の知識・慣行・規範を含める経営的資源に基づいたものであるためである。そのために、この独自性を変更することは難しい可能性が高く、逆に、他者の独自性を単純にコピーすることも困難であると考えられる。

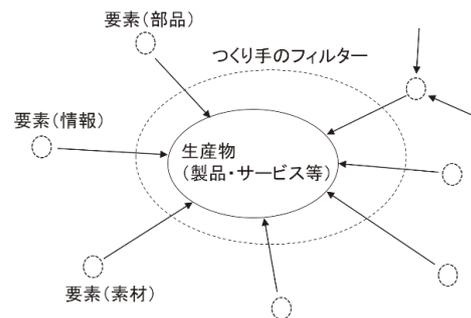


図 1 インターフェイスの形成とモジュラー化

2.3 アーキテクチャにおける類型化

このような、対象の構成要素相互依存性に着目するアーキテクチャ概念は、類型化をしながら議論が進んできた面がある。主な類型化として、モジュラー型(組合せ型)とインテグラル型(擦り合せ型)の二つのパターンへの分類と、オープン型とクローズ型への分類があげられる[2]。

モジュラー型は、構成要素間の相互依存性が低く、インターフェイスの約束事さえ決めておけば、様々なことを要素単位で検討することができるパターンである。一方、インテグラル型は、要素間の相互依存性が高いパターンであり、投入するエネルギーや経済的資源に応じて、高いパフォーマンスを実現できる可能性を持っているものである。この二つのパターンは表裏一体であり、メリットとデメリットは常に背中合わせになっているような状態である[3,12]。

オープン型はこのインターフェイスのルールが共通に用いられる範囲が比較的広いものをよび、クローズ型は狭いもの

をさす。このような観点から、この二つの型は、システムそのものに対する概念というより、そのシステムについての社会的コンセンサスに係わる概念であると考えられる[2]。

「アーキテクチャ」は所与のものでも、自然に決まるものでもなく、基本的にはシステムをつくる人間が構想し、選択するものである[1]。しかし、システムがつけられる時に、それをつくる組織や分野によって独自の傾向が存在し、システムの特性に大きな影響を及ぼすことが考えられる。ここから、システムの特性に潜在する恣意性を読解することが「アーキテクチャ」の立場であるといえる。

「アーキテクチャ」の視点は、主に二つのことを導き出すことができる。一つが、図2に示す、ある産業や分野の共通特性の分析であり、もう一つが、図3に示す、特定の生産物における特性の変化、つまり経時的比較による分析である[2]。

2.4 モジュラー型によるメリットとデメリット

モジュラー型のメリットを整理すると、以下のように主に四つの点にまとめることができる[8,13,14]。

一つ目が、各モジュールにおける発展や開発を独立して行うことができ、専門化した特定の対象を他と切り離れたかたちで作業していくことが可能となる。そのため、対象となるモジュールを担当する組織は、他のモジュールとの関係性を考慮する必要が小さくなり、対象に関する専門化した範囲に特化して開発することができる。二つ目は、ある機能に対して変化が求められた場合に、その対応をモジュールごとに検討していくことが可能となり、システム全体を変更していく必要がなくなることである。システムがインテグラル化したシステムはこの点のメリットがきわめて少ないと考えられる。三つ目は、システム全体を変更、進化させた場合でも、モジュールごとに維持や再利用ができる可能性を持つ点である。システムの向上のためにある部分が変化しても、変化に関連しないモジュールはそのままの状態で使用し続けることができる。四つ目は、基本となる点であるが、要素間のインターフェイスの数を削減し、相互依存性を低減させることにより、構成要素間の摺り合せにかかるエネルギーを抑えることが可能な点である。

しかし、現状の生産物としての建築には、デメリットを含むモジュラー部分が存在していると考えられる。これらのデメリットを整理すると主に以下の二点になる[2,3]。

一つ目が、インターフェイスのルール化、集約化によって、構成要素間において関心が払われない部分を潜在化させることである。特に、既にルール化されたインターフェイス部分には、注意が払われない可能性が考えられる。しかし、各モジュールが変化、発展していく中で、インターフェイスがその変化に追従していかない場合、重要な問題を引き起こす可能性がある。さらに対象部位のモジュール化に伴う生産組織のモジュール化が、深刻な問題を引き起こすことになる。これ

らの問題は、モジュラー型の「アーキテクチャ」では、モジュールの内部だけで吸収できる変化に対しては柔軟に適用していくことができるが、他のモジュールとの関係性を含む変化に対しては脆弱さを露呈することに原因がある。

二つ目が、インターフェイスのルール化、集約化が、インターフェイスを相対的に標準化させていくことになる点である。標準化されたインターフェイスは、それに関係する構成要素に対して必ずしも最適化されている状態ではなくなる。この点により、全体のシステムの中の各構成要素は無駄を含み、要素間の関係性に余剰的な含みをもつことになる。汎用化されたインターフェイスが固定化されることは、インターフェイス自身の進化をあきらめるだけでなく、一つ一つの構成要素間におけるインターフェイスの最適化をもあきらめることになる。

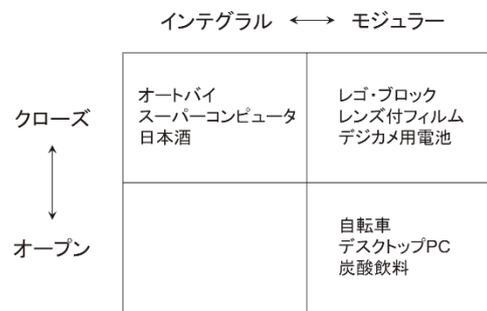


図2 「アーキテクチャ」の各産業の共通特性による分類

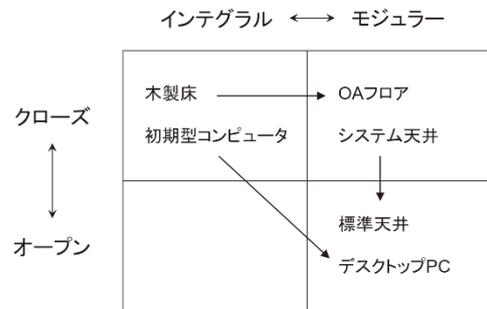


図3 「アーキテクチャ」の経時的変化

2.5 活動特性に関する考察の可能性

ここまで議論で、いくつかの論点が見出される。まず、人工的につくられる生産物を、「設計されたもの」として定義することが可能であると考えられること。その場合、設計行為の内容が生産されたものの特性に反映する可能性があること。設計行為は、作り手組織の特性が影響する可能性があること。このような影響因子は、最終的に生産物の構成や、生産プロセスに、表出する傾向があること。これらの、点を整理しながら、対象となる組織活動の強みや弱みなどを理解し、求めら

れる方向性を見出すことが可能となる可能性を見出すことが出来そうである。

特に、ある組織の活動を考える時、外部環境に当たる、景気、価値観、政策、基盤の技術、社会の動向などの、変化の影響を見抜いて判断することが難しい局面も考えられる。例えば、現在のパンデミックについても、どのように状況を理解し、どのように対処するのか、継続的な状況の変化の中で、判断することが困難な面があることは周知の事実であろう。このような中で、内部環境に属する、その組織が扱う要素をコントロールすることになるが、慣行化された考え方や業務プロセスでは、的確な方向性を常に追うことが出来るとは言い切れないことになる。

次章において、具体的にテレワークという新しい事業システムの導入に関し考察する。組織の活動も人工物であり、設計されたものである。その設計の方向性は、事業スタイルの選択に親和性があると仮説を立てることが出来る可能性があるが、その仮説を理論的に検証していく。

3 活動とシステムの関係性分析の可能性

3.1 アーキテクチャからみる活動特性

前章で記述した通り、事業の活動も人工物であり、設計されたものである以上、構成要素間相互依存性に着目するアーキテクチャで分析することが出来ることになる。事業の活動の設計思想を分析するとしたら、事業課程における一つ一つのプロセスの構成や、つくり上げる生産物の機能と構成との関係性や、生産物の構成要素の相互依存性などに着目していくことになる。既往研究でも、プロセスに着目した議論[7,15,16]や、生産物の機能と構成の関係性に着目したものの[3,8,17]や、生産物の構成要素の構造に着目したものの[4,18]などが、少なからず見受けられる。ただし、テレワークなどの新しい事業の傾向や、事業システムの根本的な変更についての議論は殆ど見受けられない。

テレワークについては、ここ数年、中央官庁などを含み、様々な形で議論が進んでおり、徐々に注目される傾向があったと考えられる(中央官庁)。そのため、パンデミック以前からテレワークは少しずつ浸透しつつあったが、パンデミックの中で、かなりの人数をテレワークに切り替える企業が散見されるようになった。徐々に進んできたテレワークに関する理解と、パンデミックに抛る急激な実践が混在し、今後の向かうべき方向性については、明確な示唆が成されていない面を否定できないと考えられる。本章では、組織の活動である事業を対象として、新しいシステムへの移行という状況に対する適応性に関して議論していきたい。

3.2 プロセスのモジュラー化の認識

組織が事業を展開するためには、何らかの事業プロセス

が基本となる。どのような内容を、どのような順番で、どのような部署が行うのか、その事業の流れが組織活動の拠り所となる面があると考えられる。そのプロセスも、当然設計されたものである[7]。その設計情報を理解することにより、組織特性の一部が理解できる面があるといえる。ここでは、事業プロセスの構成に着目し、設計情報によってどのようなプロセスがつけられているのかを読み解いていくことを考えたい。

このようなプロセスを読み解く場合、アーキテクチャの考え方では、構成要素のモジュール化と、インターフェイスのルール化に着目していくことが基本となる[3]。この場合、構成要素のモジュール化に当たる内容は、一つの考え方として、あるプロセスが他のプロセスの関与が必要ないことなどを見ていくことになる。つまり、ある業務プロセスをある担当者が行う場合などを取り上げると、その担当者が他のプロセスの担当者と擦り合わせしないで大丈夫かどうか、ということになる。このような擦り合わせが必要ない場合、そのプロセスがモジュール化しているか可能性を示唆していることになる。また、プロセス間の約束事が明確化され標準化されている場合、インターフェイスのルール化が進んでいると考えられ、関係するプロセスのモジュラー化が考えられることになる。つまり、業務範囲が明確に固定されており、責任に関してもどの部署がどの範囲を負うのかははっきりと示されている場合、業務のプロセスが塊りごとに独立性が高いことになる。

3.3 生産物構成のモジュラー化の認識

各事業は、何らかの人工物である生産物をつくっていると考えられる。具体的には、製品、サービス、システム、情報など、様々な生産物をあげることが出来る。アーキテクチャで議論される対象の一つが、生産物のストラクチャーである。

事業的な活動が成されるとき、当然設計情報がつくれ、その構成が最終的な生産物のストラクチャーに影響することになる[2]。このとき、つくられた情報の構成がモジュラー型であった場合、前項のプロセスと同様に、その構成要素がモジュールごとの塊の様相を描いている傾向があったり、インターフェイスのルール化が確立していたりすることが認められるはずである。

このような視点から対象となる業務特性を考えると、業務が生産物の構築のために行われているため、生産物の構成の特性を読み解けば、事業特性を理解できる面があると考えられる。もちろん、つくられる生産物のストラクチャーには、事業特性以外の生産物特性や関係技術特性など、様々な特性の影響が及んでいるはずであるため、慎重に考えていく必要がある。ただし、生産物のストラクチャーは、構成要素のモジュラー化や、インターフェイスのルール化などについて、視認を含み観察しやすい状況である場合が多いと考えられる。そのために、外部からの観察に加え、組織内の当事者たちも理解できている場合も少なくないと考えられそうである。

3.4 調査と解析の可能性

ここまでの考察を踏まえ、新しい事業システムであるテレワークの導入に関する仮説と、検証の可能性を論じていきたい。

このテレワークというシステムは、通常のコミュニケーションが減ることが一番目立つ特徴である面があると考えられそうである。通常時には、簡単に断片的な相談や打合せが行われ、業務の進捗に関して詳細な擦り合わせによる関与者同士の意思疎通が容易な面があったと考えられる。しかし、オンライン会議システムやメールなどを中心としたコミュニケーションでは、情報伝達に関して限定的になる側面があることは否定できないと考えられる。要するに、細かい情報や意見の擦り合わせが成されない方向に向かう可能性が否定できないと言えそうである。このとき、インテグラル型の設計思想で事業プロセスや生産物構成が考えられている場合、テレワークというシステムは、相反する方向性を内包していることになる。逆に、モジュラー型の設計思想で事業がデザインされていたとすると、プロセスや生産物構成に関し、テレワークの事業システムが、様々な様相で親和性が高いことになるはずである。

これらは、論理的にはある面で解ききっているわけであるが、もちろん仮説となるわけである。なぜなら、設計思想と業務システム間には、論理的な要因だけでなく、商慣行、法律や規制、他製品領域の影響、使い手の要望など、様々な因子の影響を受けることになるはずだからである。

ただし、これらの仮説に関し、先行研究で断片的に調査と分析がなされている[19]。この先行研究の内容では、ネット調査を使いながら、ビジネスプロセスの標準化と、組織内でテレワーク導入している部署の割合を対象に、調査したものととなっている。この内容を見ると、この二つのパラメーター間で、比例の関係性が成り立っていることが認識できる。この先行研究では、調査結果について、テレワーク導入の状況に関する指標と、各事業体の業務内容のモジュラー化に関する指標とを、クロス集計し、そこから導き出された相関関係として、共分散が 0.94、相関係数が 0.60 と算出されている。これは、強い相関関係を示唆したものであり、仮説の検証に対して、かなり有効性が高い数値となっていると考えられる。

少なくとも、検証が可能であり、仮説に肯定的な調査結果が存在することについては、ここで確認できていると言えよう。

4 まとめ

本稿は、テレワーク導入を左右する要因を論理的に整理し、今後のテレワーク導入に関する方向性を理解するための考え方を理解することを目指したものである。特に、アーキテクチャ概念と呼ばれる、構成要素間相互依存性に着目した設計思想を学術的なツールとして使用し、事業特性を理解しながら、テレワークとの親和性について議論を進めたものである。議論の重心は、論理的な考え方の展開においたものであり、調査や分析は他稿に譲る内容となっている。引き続き、調査を行い、検証していく必要があると考えている。ただし、先行研究での調査結果と矛盾は無く、基本的に論理が成立していると考えられる。

本稿の貢献は、人工物として事業を取り上げ、製品やサービスと同じように構成要素に着目した分析を施し、特性を記述することが出来る可能性を見出したことである。アーキテクチャ概念は、すでに製品の構成、製品の機能と構成の関係性、生産プロセスの構成などを対象に、多くの製品やサービス、多くの産業について分析がなされてきた[20-23]。しかし、人間の活動に基づいて生産されたものとして、事業そのものを取り上げる可能性を探り、多くの局面の理解や分析ができる面を見出したことは、意義があると考えている。特に、パンデミックのような社会全体が変化を求められつつ、方向性が示されていないような状況に際し、大きな貢献が見込まれる可能性があると考えられるものである。

また、事業の設計者に対してだけでなく、事業環境の設計者に対しても、重要な知見となる可能性を含んでいる。建築や不動産に関する設計者は、基本的には事業主体が要請する内容に即して設計条件を定め、その内容の実現に集中することを進めていくことになる。しかし、多くの同様の物件を設計し、専門領域の知見も集約することが出来る立場である以上、事業者に適した事業環境がどのような内容であるかを指し示すことが望まれるはずである。これまでは、施主要求仕様を拠り所とする設計プロセスが慣行化されており、空間や施設の利用者がどのような特徴がある活動をし、どのような

表 1: 事業プロセスの標準化とテレワーク導入部署の割合の関係性 (出典:[19])

		What percentage of departments do work in remote work in your company?					
		N	90%-100%	70%-90%	30%-70%	10%-30%	0%-10%
What percentage of processes that are standerdized in your business?	N	100	15	9	23	6	47
	100%-75%	12	6	3	2	0	1
	75%-50%	26	3	5	11	0	7
	50%-25%	25	6	1	6	3	9
	25%-0%	37	0	0	4	3	30

考え方でその活動をつくり上げているかを理解し、そのために最善の環境とはどのようなものかを考えることをしてこなかったのではないだろうか。本稿は、このような点について、一石を投じたものである。今後は、このような単一の視点に限らず、より多くの種類の使い手の活動の特性を認識する可能性を導き出し、建築計画側が使い手側に計画の内容を的確に提案していくことができることを目標として、議論を展開していくことが必要であると考えられる。

参考文献

- [1] H. Simon, *The Science of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996.
- [2] 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.
- [3] Ulrich K.: *The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm*, *Research Policy*, 24, pp.419-440,1995.
- [4] C. Alexander, *Notes on the Synthesis of Form*, Harvard University Press, Harvard University Press, 1964.
- [5] 藤本隆宏: 日本のもの造り哲学, 日本経済新聞社, 2004.
- [6] 藤本隆宏: 能力構築競争, pp85-110, 中公新書, 2003
- [7] 藤本隆宏, 桑嶋健一, 日本型プロセス産業, 有斐閣, 2009.
- [8] Baldwin C. Y. and Kim B. C.: *Design Rules*, vol. 1: *The power of modularity*, Cambridge: MIT Press, 2000.
- [9] K. B. Clark, “The interaction of design hierarchies and market concepts in the technological evolution”, *Res. Policy*, vol. 14, pp. 235–251, 1985.
- [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] T. Fujimoto, “Architecture-based comparative advantage—a design information view of manufacturing”, *Evol. Inst. Econ. Rev.*, vol. 4, pp. 55–112, 2007.
- [12] F. K. Pil and S. K. Cohen, “Modularity: implications for imitation, innovation, and sustained advantage”, *Acad. Manage. Rev.*, vol. 31, no. 4, pp. 995–1011, 2006.
- [13] E. F. Colombo, N. Shougarian, K. Sinha, G. Cascini, and O. L. de Weck, “Analysis for customizable modular product platforms: theory and case study”, *Res. Eng. Des.*, vol. 31, pp. 123–140, 2020.
- [14] R. Sanchez and J. Mahoney, “Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design”, *Strategic Manag. J.*, vol. 17, pp. 63–76, 1996.
- [15] J. P. MacDuffie, “Modularity-as-property, modularization-as-process, and 'modularity'-as-frame: Lessons from product architecture initiatives in the global automotive industry”, *Glob. Strategy J.*, vol. 3, pp. 8–40, 2013.
- [16] S. K. Fixson, “Product architecture assessment: A tool to link product, process, and supply chain design decisions”, *J. Oper. Manag.*, vol. 23, pp. 345–369, 2005.
- [17] M. A. Schilling, “Toward a general modular systems theory and its application to interfirm product modularity”, *Acad. Manage. Rev.*, vol. 25, pp. 312–334, 2000.
- [18] T. Habib, J. N. Kristiansen, M. B. Rana and P. Ritala, “Revisiting the role of modular innovation in technological radicalness and architectural change of products: The case of Tesla X and Roomba”, *Technovation*, vol. 98, p. 102163, 2020.
- [19] 吉田敏, 藤田大樹, 建築に対するユーザーの活動の設計思想から見た要求の把握手法の開発 — COVID-19 の影響に拠るテレワークの傾向と業務構成要素相互依存性についての考察 —, 日本建築学会計画系論文集, 86 巻 785 号 1960-1968, 2021.
- [20] 廣田章光, 製品アーキテクチャーのダイナミクス - ミズノ株式会社の陸上スパイクシューズ開発を事例として -, 流通研究, 3 巻 2 号 17-38, 2000.
- [21] 佐藤秀典, 福澤光啓, 藤本隆宏, 自動車部品における製品アーキテクチャーと取引方式, コンプレッサの事例, 赤門マネジメント・レビュー, 3 巻 4 号 145-166, 2014.
- [22] 佐藤治, 藤村修三, 製品アーキテクチャーが内包する原理的な可能性や制約が競争戦略に及ぼす影響, -薄型テレビ市場における LCD・PDP の競争事例をもとに-, 組織科学, 50 巻 1 号 70-85, 2016.
- [23] 向井悠一郎, 設計組織による製品アーキテクチャーの改変 -非高付加価値・非先端技術分野における日本企業の製品開発組織-, 日本経営学会誌, 37 巻 29-39, 2016.

「ひみつ道具」の社会実装における課題の検討

—「タケコプター」を題材として

吉田 多津 雄*・吉岡 慎 一*・宮坂 尚 吾*・水野 二 朗*
榎岡 浩 二*・河上 芳 朗*・太田 敬 太*・伊藤 潤*

Consideration of Issues in Social Implementation of Secret Gadgets

-Case Study for the Hopter Gadget-

Tatsuo Yoshida*, Shinichi Yoshioka*, Shogo Miyasaka*, Jiro Mizuno*
Koji Makioka*, Yoshiro Kawakami*, Keita Ota* and Jun Ito*

Abstract

For any invention, gadget or other artefact to take root in society and cause innovation, it must not only be technically feasible, but must also be implemented in society. This paper examines the issues that may arise in social implementation, using the famous 'hoper' or 'bamboo-copter', one of the 'secret gadgets', as a subject. Technically, it was considered necessary to add functions, replace some functions with virtual reality to ensure the safety of children as users, and legally, it was considered necessary for manufacturers to self-regulate to keep within the current law.

Keywords: product design, user experience, user interface, innovation, secret gadget

1 はじめに

1.1 「ひみつ道具」

「ひみつ道具」とは、藤子・F・不二雄(藤本弘, *1933-†1996)の『ドラえもん』(1970～)および『大長編ドラえもん』(1980～)等の作品に登場する未来(22世紀)の道具(gadget)を指す総称である。以下のように、「ひみつ道具」には本学の創造技術コースの養成目標である「ものづくりアーキテクト」としてデザインを考える上で重要な要素が詰まっている。

- ・ 『ドラえもん』の通常回は小学生・野比のび太の問題解決のため「ひみつ道具」が提供され、その使用シーン(User eXperience)を中心に話が展開し、読者はその道具がいかなるものかを理解するという構成になっており、見事な user-centred のデザイン提案の storytelling が行われている
- ・ 「未来(22世紀)の技術」という表現によって、現在の技術の延長線を見据える forecasting 型の発想から逃れ、vision-driven 型の発想が促されることが期待される
- ・ 「未来の当たり前」を創造することを innovation と定義

するならば、「ひみつ道具」を考えることはすなわち innovation について考えることである

- ・ 「ひみつ道具」は連載当時の 20・21 世紀の小学生に抵抗なく受容される外観(styling)と容易に理解される UI(User Interface)が設計されている

こういった観点から、国際ドラえもん学会による『ドラえもんの鉄がく』(1993年)や、NHKによる番組『ドラえもん 50周年 みんなみんなかなえてくれる♪ ～ひみつ道具と科学～』(2019年12月28日放送)などにおいて、「ひみつ道具」はしばしば取り上げられており、創造的教育の格好の教材といえる。

1.2 人工物の社会実装に向けて

一方で、「ひみつ道具」に限らず、あらゆる発明や道具などの人工物が社会に定着し、イノベーションを起こすためには、技術的に実現可能であることだけではなく、社会実装が課題となる。

「電動キックボード」を例に挙げると、「原動機付き自転車」(いわゆる「原付」)に区分され運転免許が必要だったが、道路交通法改正案が2022年4月20日に衆議院で可決され、新区分である「特定小型原動機付き自転車」扱いとなり、普

及を促進する方向に舵が切られたといえる。

本稿では、新たな道具が開発・量産され、現在の日本で広く普及可能な価格帯まで下がった場合に、起こりうる事象及び法整備等を含めた必要となる対応案について考察する。前提条件は以下の通りとする。

- ・ 「法律」とは法令，施行令，施行規則のことを指すものとする(条例は対象としない)
- ・ 2022年4月1日現在の既存法律の一部に条項を追加する形であっても新法を制定することができる。

2 「タケコプター」を題材として

2.1 「タケコプター」とは

本稿では「ひみつ道具」のひとつ「タケコプター」を対象として想定する。「タケコプター」[1]とは、装着することで空中を移動することを可能にする「ひみつ道具」である。

まず、タケコプターの基本性能を整理した(表1)。タケコプターとは、竹トンボの軸の下方に半球を取り付けた形状(図1)をしており、製品は、推定直径約 20cm の大きさにバッテリー起動、充電式である。80km/h で連続 8 時間利用可能。また、4 時間駆動・20 時間停止のサイクルを繰り返すことで、バッテリーを長持ちさせることが可能である。使用方法は、主に頭頂部に装着して使用するが、体のどの部分につけても使用することができる[2][3]。飛行原理は、強力な揚力を発生させて飛ぶ、及び反重力を発生させて飛ぶと考えられているが、強力な揚力を発生した場合、人体が揚力に耐えきれないことから、反重力を発生させて飛ぶと考えるのが自然である[4]。製品の種類としては、体につけた状態でボタンスイッチを押すと始動する機種と、「飛びたい」という思念を受けると始動するタイプの機種、そしてそれらのハイブリットのタイプが存在すると考えられる。使用上の注意点は、極度の低温下では使用に適さないこと(宇宙空間では利用できない[5])ことが判明している。

2.2 法規的な位置づけ

タケコプターは、現制度上の「特定航空用機器」に該当するものと考えられる。「特定航空用機器」とは、航空法(昭和 27 年法律第 231 号)第 2 条第 1 項に規定する航空機以外の航空の用に供することができる機器であって、当該機器を用いて人が飛行することができるもの(高度又は進路を容易に変更できるものとして国家公安委員会規則で定めるものに限る。)とされている。

現在実用化されている、特定航空用機器に該当するものとして、

- ・ 操縦装置を有する気球
- ・ ハングライダー・パラライダー(原動機を有するもの*を含む。)

*モーターパラライダーあるいはパラモーターと呼

ばれる。

- ・ 人が飛行することができるドローン等の機器で、航空機に該当するものを除く
- が例示されている。

表 1: タケコプターの概要

形状	竹トンボの軸の下方に半球を取り付けた形. 推定直径約 20cm
製品仕様	バッテリー起動. 充電式. 80km/h で連続 8 時間利用可能 4 時間駆動・20 時間停止のサイクルを繰り返すことで、バッテリーを長持ちさせることが可能
使用方法	操縦者は 1 名 主に頭頂部に装着して使用 操作に熟練は必要とせず僅かな経験で自由に飛べるようになる
飛行原理	強力な揚力を発生させて飛ぶ, 反重力を発生させて飛ぶ
機種	体につけた状態でボタンスイッチを押すと始動する機種と、「飛びたい」という思念を受けると始動するタイプの機種の 2 種類(もしくはハイブリット)が存在する
使用上の注意点	極度の低温下では起動しないことがある 宇宙空間では利用できない



図 1: タケコプターの外観(3D プリンタにて作成)

航空法(含トラフィックルール), 飛行禁止区域(空港周辺や重要施設の上空など)の規制を遵守する必要があるが、「現時点では航空法(通達)による管理を受けず比較的自由に飛ぶことができる」のが実態であり、業界ごとの自主規制によりルールやマナー遵守が求められている[6].

3 社会実装における技術的考察

3.1 解決すべき課題

現行法では、最低限の規制をクリアすれば自由に飛んで構わない状態であるといえるが、その場合、何が起こりうるかについて考察する。まず以下の条件を想定した。

・どこでも離着陸可能

地表面だけでなく、ベランダや窓からも助走無しで離陸が可能であり、訪問先を含めどこでも着陸可能である。

・行きたい場所へ向け自動的に飛行可能

目的地として思念した場所や飛行したいと考える方角へ向け、自動的に飛行することが可能である。

・飛行速度は 10~40km/h 程度

機体から体を露出して飛行する場合の快適性という観点から、自転車並の 10~40km/h が快適速度と考えられる。なお、モーターパラグライダーの飛行速度は、時速約 35km とされる[7]。

・多くの利用者が市街地上空を飛び交う

誰もがタケコプターを入手して使用できることから、多くの利用者が縦横無尽に市街地などの上空を飛び交うことになることが充分想定される(図 2, 図 3)。



図 2: 市街地上空のイメージ

タケコプターが広く普及する前のマンションからの眺め



図 3: 市街地上空のイメージ

タケコプターが広く普及した後のマンションからの眺め

3.2 起こりうる事象例

3.2.1 衝突・接触事故

多くの利用者が縦横無尽に市街地などの上空を飛び交うことで、利用者同士の衝突事故、あるいは建物や電線等を含む各種構築物に接触・衝突する事故の発生が予想される。

3.2.2 プライバシーの侵害

私有地の近くや上空を飛ぶ場合のプライバシー侵害が懸念される。庭先が見えることはもちろん、窓から屋内が見えること、また、屋内から見て窓のすぐ外を人が行き交うこと自体も受容し難いものと考えられる。

3.2.3 飛行禁止区域への侵入

航空法の範囲外であることから、空港や公共の重要施設など、飛行禁止区域への侵入の可能性がある。

3.3 解決すべき課題

以上を踏まえると、解決すべき課題は概ね以下5点に集約できると考えられる。

- ・利用者の安全確保
- ・利用者間の衝突防止
- ・落下物事故の防止
- ・私有地側のプライバシー確保
- ・飛行禁止区域への侵入抑止

3.4 追加機能による解決案

課題は広範にわたるが、追加機能を付加することでの解決を以下で検討する。

①自動操縦機能

デフォルトとして自動操縦機能を有し、その利用を必須とすることで複数の問題の解決が可能となる。まず、カーナビ同様、行き先や希望速度等の設定を登録すると自動的に目的地に向かうことができるものとする。次に、飛行禁止区域や私有地・建物等の近接不可ゾーンなどの地図情報をもとに飛行可能な空間が事前に設定されている必要がある。そして、行先を設定したら瞬時に AI が航路を選択、飛行計画を作成して飛行することができる仕様とする。こうすることで、飛行可能なゾーンが特定され、飛行禁止区域への侵入抑止だけでなく、安全面やプライバシー面の課題解決を図ることができる。さらに航空機の航路と同様、必要最小限の飛行可能コースを設定する方法も考えられるかもしれない。「自由に飛べる」という側面が限定的になる一方で、より統制的な運用が可能となる。

②見えないヴェール機能

全身が人工的な磁場による反重力機能により見えないヴェールに包まれる機能(図 4)を追加することで、タケコプター実用化に伴う課題は大幅に改善するものと考えられる。

見えないヴェールは、クルマの衝突防止機能同様のセンサーを兼ね、利用者同士、あるいはバードストライク等の不測の障害物との衝突や、落下物の事故等を防止する仕様を想定する。また、見えないヴェールには、スマートグラス同様、視界に高度計・速度計や到着予定時間等が表示される。更に私有地上空やビル等の近接エリアでは量子ステルスによる半透明なヴェール機能(図5)が作動し、タケコプター利用者と住民やビル入居人の双方のプライバシーが確保される。

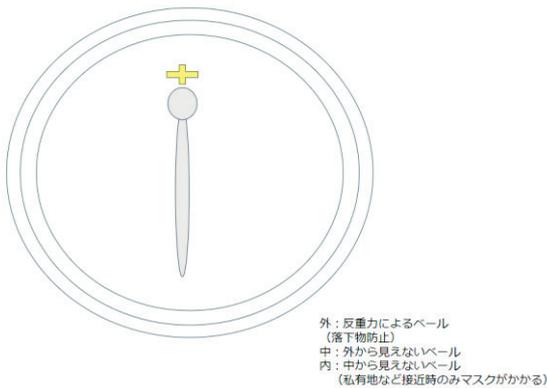


図4 見えないヴェール機能のイメージ



図5 量子ステルス機能のイメージ

事前に他のタケコプターの動きを察知して衝突を回避することを目指すのだが、万が一他人や飛行体などの物体と接触しても、反重力により反発するので全面的な衝突が回避される。身につけたものが落下した場合も、反重力の中で物が落下するので、タケコプターの機能が及ぶ範囲で落下がとどまる設計になっている。万が一、タケコプターが外れたり、充電が切れたりした場合も、急速に落下することなく、安全に着地できる場所へ落下する機能まで付加できれば、例えば小学生でも安心して利用できる道具になり得ると言えるだろう。

3.5 子供使用時の安全性に対する課題

タケコプターなる空飛ぶ道具を子供も使用するとして、どのようなことを実現すればユーザー、すなわち利用する子供

ならびにそれを買って与える大人の期待に応え得るのか。

物理的に空を飛ぶという観点で、まず、飛行に関する法規制で大きく立ち塞がるのは以下の2つである。

航空法[8]

航空の危険を生じさせる行為等の処罰に関する法律[9]

航空機や個人所有セスナなどのパイロットが遵守する必要があり法規制で航空機もかなり自動化されているとはいえ、免許を取る難易度が高く、日々の訓練が必要である。大人でさえ難易度の高い免許・操縦規制が多いのが現状であり小学生に法律、倫理を理解、操作させるのは難しいと考えられる。さらにタケコプターが飛ぶ様な地上近くでは建物や自動車、各種交通機関、危険物を扱っている施設など多く、衝突の危険性もあり。前述した見えないヴェールのような安全装置を備えたとしても、子供の安全性を担保できると言えるだろうか。そして子供に「空を自由に飛ぶ」道具を提供して良いのだろうか。

まず子供の心理面から1m以上の高さを飛行する事は怖くて楽しめない可能性がある。普段地に足をつけて歩いている人間にとって、地上から足を離す事は結構怖い事である。遊園地で足のつかない絶叫系のローラーコースターがあるが、それにいつまでも乗っている様なものであり、大人でも耐えられないかもしれない。

次に天候の問題がある。強風が急に吹く、雨が突然降ってくる、炎天下の夏は暑く、気象に左右され、子供達の健康状態やその時の心理状態をどの様に取り除くかという課題がある。

さらにタケコプターの飛行方法は、子供自身が行きたいと思った場所を頭に浮かべれば自動的に飛んで連れて行ってくれると解説されているが、子供が10分程度で飽きてしまう可能性もある。目的地に着く前に飽きてしまい、それでも自動的に飛行が続くと困惑してパニックになり、墜落あるいは帰宅困難となるおそれがある。

この様なリスクがある中で親が子供に与えるだろうか。親の立場である筆者らは否と考える。実質的な購入者である親の最大の関心事は子供の安全である。すなわち、メーカーはUX(User Experience)におけるユーザーの期待値コントロールを考える必要があり、技術的な提供可能性とユーザーの期待値とは異なる事を考える必要がある。

3.6 仮想現実による解決案

そこで、物理的に空を飛ぶ事によるリスクが大幅に減少し、親が安心して子供に提供でき、UX(User Experience)における期待値コントロールに沿うかもしれない解決案として、物理的に子供を空に浮かすのでは無く、VR(Virtual Reality: 仮想現実)技術を使い、仮想的に空を飛んでいる体験を与えることが考えられる。すなわちタケコプターによる子供の飛行体験の実態は、全周VRディスプレイに囲まれた乳母車で

の親子の散歩, というわけである。

親の心情として子守に安心安全を求める要求は今後百年経っても変わらないと考える。この範囲であれば、実際に空を飛ばない為、現在の航空法等の法規制にも抵触しない。

しかし、仮想的な空間は子供に対する悪影響が懸念されている。事実、発売されている VR 製品は 13 歳以下の子供には使わせないでほしいとの注意がされている[10]。また医学的にも斜視など子供の体に対する悪影響があるとする研究発表[11]があり、その点は検討の余地がある。

3.7 新技術の社会実装への課題

新しい技術は、後にデメリットが判明するリスクが常に付きまとう。筆者の一人は十余年前まだ日本では「ガラ携」と呼ばれる携帯電話が主流だった頃、海外出張先ロンドンのヒースロー空港の待合室において、どの子供達もスマホに齧り付き家族との会話もなく静まった空間に背筋がゾットした経験がある。しかし今日ではそれが当たり前の世界になっている。子供達のコミュニケーションもネットを介しての会話が当たり前になっている。現在、進められている技術の 1 つにロボットの開発・活用がある。おもちゃ、コミュニケーションロボット、産業用ロボット、救援支援用ロボットなど多岐にわたる。しかし、今後 100 年後を見据えた場合、メーカー側はどのような目的で機能を組み込むのか？ ロボットが危険な事や法律に抵触する事は望んでいないのである。その製造ガイドラインなり法律は必要になるはずで、アイザック・アシモフの「ロボット工学三原則」[12]がよく知られている。第 1 条は、ロボットは人間に危害を加えてはいけない。また、その危険を看過することによって、人間に危害を及ぼしてはならない。第 2 条は、ロボットは人間に与えられた命令に服従しなければならない。ただし、与えられた命令が、第 1 条に反する場合は、この限りではない。第 3 条ではロボットは前掲第 1 条及び第 2 条に反する恐れのない限り、自己を守らなければいけない、とある。まさに、人とロボットの付き合い方を世に問いており、さらにはこの小説では子供と子守ロボットの付き合い方と親としてのジレンマが描かれており、今回の我々の議論と同様に技術的な側面だけを見ては駄目であるという警告をしている。今回はタケコプターという 1 つのひみつ道具での検証を行ったが、他のひみつ道具やロボットの様な新しい技術も同様の議論が必要で、我々ものづくりアーキテクトとして新しいものを提供する立場の人間として、多面的な視点を持って取り組む事が重要であると結論づける。

4 自主規制による法的規制の回避

4.1 メーカーの自主規制

本章では法整備と関係性が深い、自主規制に関して検討する。

タケコプターが開発・量産され、現在の日本で広く普及可能な価格帯まで下がった場合に、起こりうる事象及び法整備等について他モビリティの事例と比較する。

我が国では 1980 年代以降、様々な規制改革が行われた。そこでは、国の関与を必要最小限の範囲・内容としていくべきとの精神が謳われている[13]。法規制化の際に、業界自主規制が法案に取り込まれるなど、業界自主規制と法整備は密接な関係を持つ[14]。

本章ではどのような業界自主規制が行なわれるかを、過去のモビリティの事例を通して考察する。自主規制に失敗し、法整備につながった例として、ドローン、電動キックボードを挙げる。自主規制に成功し、法整備に繋がらなかった例として電動アシスト自転車、ローラーシューズを挙げる。

合わせて安全管理の立場に立った時、空を自由に飛べる道具のメーカーがどのような自主規制を行うかを考察する。

4.2 ドローンの事例

空を飛ぶという観点から、ドローンと空を自由に飛べる道具の関連性は高い。

ドローンとは無人航空機の事である。これまでも、ラジコンヘリコプターなどが存在したが、一部の趣味や農業などの産業用のものであった。2010 年に Parrot 社が AR. Drone を販売し、一般の人間でもドローンを購入するようになった。AR. Drone の登場以降、操作の容易さの向上、低価格化により、一般の人間が購入しやすくなった為である。AR. Drone 以降の無人航空機は各種センサーにより自律性が高まり、操作が容易になった。加えて、価格が数十万円以内に収まり手が届く物となっている。

ドローンの特性として小型かつ、立体的な機動が可能であることが挙げられる。この特性が悪用され、2015 年 4 月 22 日に首相官邸にドローンが墜落する事件[15]が発生した。この事件により、ドローンがテロ攻撃に利用されることの危険性が注目され、重要施設に対する警備の強化が求められた[16]。その結果、この事件を契機に「重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律」が制定された[17]。

この事例から、新しい道具による事件事故が発生した場合、運用を規制するような法律が制定されることが分かる。

4.3 電動キックボードの事例

「キックボード (kickboard)」はスイスのスクーターメーカー・Micro Mobility Systems がアメリカのスポーツメーカー・K2 Inc. ドイツ支部と共同開発し、1999 年に発表した製品である。当初、法的には原付自転車と同様とされたが、これに反して保安装置なし、免許なし、保険なし、などで走行し、事故を起こして問題が起こるようになった。(2021 年 5 月 22 日、大阪市中央区で電動キックボードのひき逃げ事故発生、

被害女性は首の骨を骨折する重傷、加害男性は逮捕され、道交法違反で 50 万円の略式命令) 原因の一つとして安価な中国製品が、アマゾンやアリババで容易に購入可能であり、急速に普及し始めた点が挙げられる。

その結果、本年度には、道路交通法が改正され、電動キックボード類の新しい車両区分として「特定小型原動機付自転車」が創設されることとなった。その詳細は表 2 の通りである[18-24]。

表 2: 特定小型原動機付き自転車の制限

	自転車	特定小型原動機付自転車	原動機付自転車
免許	不要	不要	必要 (原付免許)
年齢制限	なし	16 歳以上	原付免許に 準ず
最高速度	規定なし	20km/h	30km/h
ヘルメット	努力義務	努力義務	必須
長さ×幅 制限 cm	190×60	190×60	250×130

また、原動機付自転車に準じた規定もあり、特定小型原付でも信号無視などの違反行為が想定され、この場合は交通反則通告制度が、また放置駐車にも放置違反金制度が適用される。

法による規制で海外での導入事例のような簡便な運用、つまり自由な走行ができなくなった。これは事故が多発したことにより、自主規制に先行して法規制が行われた事例と考えられる。

4.4 電動アシスト自転車の事例

1993 年よりヤマハ発動機が販売する電動アシスト自転車は、世界で初めてシリーズ販売化され、電動アシスト自転車が世界的に普及するきっかけとなった。

電動アシスト自転車は、電動機(モーター)により人力を補助する自転車であり、搭乗者がペダルをこがなければ走行しない乗り物であり、通常の自転車と原動機付自転車との中間的な車両で、ペダルを踏む力や回転数などをセンサーで検出し、搭載しているモーターによりペダルを踏む力を低減させる動力機構を持っている。

電動アシスト自転車の法規上の定義は、道路交通法では「人の力を補うため原動機を用いる自転車」あるいは「駆動補

助機付自転車」と呼称される

道路交通法で定められた基準を満たせば「自転車」として扱われ、原動機付自転車では必須の運転免許やヘルメットの着用および自賠責保険への加入が不要となる。

また、普通自転車としての基準も満たすものであれば、車道や路側帯のほか、「歩道通行の要件」に従い、歩道を徐行または通行できる。

電動アシスト自転車の出力基準は道路交通法施行規則第一条の三での規定は、人力と電力補助の最大比率は、10km/h 以下で 1 対 2. 10km/h から 24km/h までは 1 対 2 から 0 までの線形通減、24km/h 以上は 1 対 0 である。なお補助比率が規定されている一方で、最大出力制限は規定されていない[25]。

なお電動アシスト自転車は「駆動補助付自転車」として普通自転車同様に型式認定の対象となっており、認定を受けた車両は日本における車両基準を満たしていることになる。

上記の内容により、メーカーの自主規制が先行し、新たな法規が課せられる事なく、通常の自転車同様に軽車両として、16 歳未満の中学生、13 歳未満の小学生でも運転する事が可能となった例であり、本装置は世界的に広く普及していることから既存の規制に対応する自主規制が成功していると考えられる。

4.5 ローラーシューズの事例

ローラーシューズは Heely 社が 1999 年に考案した靴底にローラーを装着した靴である。このローラーにより、ローラースケートのような移動が可能になる。ローラーシューズは 2000 年代に児童の間で流行した。

ローラーシューズは日常的に使用可能な靴としての特性を備えているため、ローラースケートとは異なり歩行者とローラーシューズ使用者がゾーニングされずにいた。その結果、小売店内や遊園地等の十分なスペースが無い場所や、人が密集している場所においても使用され、歩行者とローラーシューズ使用者が衝突する事故や自損事故が発生した[26]。

これに対し、小売店や遊園地側で注意喚起、場所によっては施設内での走行禁止といった自主規制が行われた。また、学校が児童への指導を行う事も行われた[27]。

一方で、ローラーシューズを扱っている事業者によっては、独立行政法人国民生活センターからのアンケートに対し、「衝突事故の苦情はない」と回答し、積極的な自主規制を行う姿勢は見られなかった。

ローラーシューズに関連する法律は道路交通法の「道路における禁止行為等」が挙げられる。ローラーシューズの使用を規制するために新法が制定されていない。このため、ローラーシューズは既存の法律の範囲内で運用され、問題には施設管理者側の自主規制で対応した例と言える。

この事例から自主規制の実施者はメーカー、販売者以外

にも存在することが分かる。空を自由に飛べる道具のメーカー、販売者が後述の安全管理上必要になる自主規制を行なわなかった場合でも、施設管理者が自主規制を行う可能性がある。

4.6 安全管理の立場からの自主規制

安全管理もメーカーの自主規制として行なわれる。例えば日本玩具協会の ST マークはこの一例である。

安全管理には本質安全と機能安全という考え方がある。本質安全は、危険性そのものを排除するという考え方である。一方、機能安全は製品に何らかの安全装置を備えるなどし、危険性を下げるといった考え方である。空を自由に飛べる道具は、空を飛ぶという性質上、本質安全化する事が出来ない。このため、機能安全により、安全管理を行う必要がある。

空を自由に飛べる道具に必要な機能安全を考察する。

4.7 本装置は消費者保護をしているか

ここでは本装置の操縦者を消費者と考える。墜落、及び衝突を回避できれば消費者保護をしているとする。

墜落しないこと

墜落の原因として、本装置が脱落する、あるいは停止(機能低下を含む)する場合が考えられる。脱落に関しては現在の技術では劇中の性能を実現することは不可能である。停止に関しては安全に下降するシステムを構築する必要がある。この二つの技術が実現することが本装置の実現の必須条件といえる。

衝突しないこと

空中で衝突事故を起こした場合、墜落事故に繋がる。このため、空中での衝突を回避する機能が必要となる。これはドローンなどで実用化されている技術である。

以上の観点から本装置は、自動運転による安全確保、着脱自由の固定技術、エネルギー切れの際のソフトランディング、といった技術が完成されていることで規制につながらないと考えられる。

4.8 本装置は社会秩序を乱さないか

本装置の機能は、操縦者自身が空間を移動する装置であることから移動空間が空中であること以外は歩行と同じと考えられる。現行法では、道路交通法第2条第1項第1号で道路が定義されており、「不特定人の自由な通行が認められている私道、空地、広場、公開時間中の公園内の道路等」も道路となることから、空中にあって歩行であると考えられることで空中を道路として扱うことができる。

社会秩序を乱す行為としては、集合する、たむろする、といったことが挙げられる。現行法では、道路を通行以外で使用する際には道路交通法第 77 条に基づく許可が必要である。空中を移動することが普通であればその空間も道路と解

釈されるので、この法が適用されると考えられる。

つまり本装置は空中を歩くと解することで現行法が適用され、社会秩序を乱すものではないと考えられる。

4.9 空を自由に飛べる道具は誰かの権利を侵害しないか

飛行する経路に何らかの悪影響を与えることが権利の侵害になる。次の事項がそれに該当すると想定され、それぞれについて考察する。

4.10 私有地上空の通過

現行法では私有地の上空の所有権はその土地の上下に及ぶ(民法 207 条)というだけで明確な規定はないが、航空法81条、航空法施行規則174条1号イによれば 300m の高度では所有者の許可を必要としないとしている。また条件によっては高度 150m の場所もある。つまり現行法では道路や河川、海の上空以外では最低でも 150m まで上昇しないと通行できないとされている。一方でドローンの高度規制は 150m 未満が飛行高度とされている。これは土地所有者への現実的な不利益が想定しにくく、土地所有権が及ばないと解されているからである[28]。

今後何かの問題が発生するとこうした矛盾点は整理される可能性はあるが、現状でも航空機やドローンが飛行できていることから現時点では法規制が進められる動機はないといえる。

4.11 のぞき

本装置は夢の道具であるが、実際に子供のおもちゃのレベルにまで技術レベルが上がっているとすれば、そのような世界では空飛ぶタクシーのようなものはそら中を飛び回っており、それに伴って価値観も変容していると考えられる。現時点では 2 階の窓の前を人が通過することはないが、本装置が流通可能となるまでには、何階であっても窓の外には人の目があるというのが当たり前になっていると考えられる。そうであれば 1 階と同じ家のつくり、生活様式を取るだけで対策となる。これには特に新しい技術や規制は必要ないことはいうまでもない。

4.12 自主規制検討のまとめ

本章では新しいモビリティが登場した際にどのような自主規制、及び法整備が行われたかを調査した。合わせて、空を自由に飛べる道具に対してどのような自主規制が行なわれれば法規制につながるような問題が発生しないかを検討した。

ドローンの事例から法律が制定される要因として、事件事故の発生があると分かる。ローラーシューズでは骨折程度の対人事故は発生していたが、規制には至らなかった。このことから、法律制定に必要な事件事故はテロなどの国家に対する事件、死亡事故などの重大さが必要であることが分かる。

行政は誤った政治決定を行う事を避け、かつ不作為による事故の発生を防ぐため、自主規制に頼る事がある。このため、重大な事件事故が発生しない限り、法整備は行われないと考えた。

空を自由に飛べる道具の安全管理に必要な事は次の通りである。

- ・ 機能安全の観点から自動運転による安全確保、着脱自由の固定技術、停止時のソフトランディングの各技術の確立が必要である。
- ・ 景観、社会秩序の観点から、空中を移動するパーソナルな交通手段の発達、空中を人が移動する光景への適応が必要である。

これらをメーカー、業界団体、施設管理者の自主規制により達成すれば、空を自由に飛べる道具を混乱なく使用できる。

結果として、重大事故を防ぐことになり、空を自由に飛べる道具を自主規制の範囲で運用する事が可能になる。

5 おわりに

本稿では、「ひみつ道具」のひとつである「タケコプター」を題材に、その社会実装の際に課題となるであろう事項を検討した。技術的には機能の追加や、子供をユーザーとしたときの安全性確保のための仮想現実による機能の一部代替、法的には現行法内に収まるようメーカーによる自主規制が必要であると考えられた。本稿では未検討の課題として、使用上の UI や、サステイナビリティを考慮した DfX (X: Maintenance, Disassembly, Environment) などが挙げられるため、今後取り組んでいきたい。

参考文献

- [1] 藤子・F・不二雄, “ドラえもん”, てんとう虫コミックス, 小学館, 1974.
- [2] Wikipedia, “タケコプター,” <https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%BF%E3%82%B1%E3%82%B3%E3%83%97%E3%82%BF%E3%83%BC>, 2022. (visited on 2022)
- [3] ドラニュー, “タケコプター,” <https://doranew.net/takekoputa/2022>. (visited on 2022)
- [4] こども電話相談室, “ドラえもんは重いのに、なんでタケコプターで飛べるんですか?,” TBS, http://www.tbs.co.jp/kodomotel/etc/20070318_1.html, 2007. (visited on 2022)
- [5] 藤子・F・不二雄, “のび太と銀河超特急”, 小学館, 1996.
- [6] パラモーター遠州, <http://pmepara.com/> (visited on 2022)
- [7] 国土交通省, “超軽量動力機等の安全確保について”, https://www.mlit.go.jp/koku/15_bf_000115.html (visited on 2022)
- [8] 航空法施行規則, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=327M50000800056> (visited on 2022)
- [9] 航空の危険を生じさせる行為等の処罰に関する法律, https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=349AC0000000087_20150801_0000000000000000 (visited on 2022)
- [10] 一般社団法人エンターテインメント XR 協会, “VRコンテンツの利用年齢に関するガイドラインをリリース,” https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000001_000030844.html (visited on 2022)
- [11] 大阪大学大学院 不二門 尚 氏, HMD ガイドライン, VR コンソーシアム, <https://www.youtube.com/watch?v=8wtgCiJ2nKk> (visited on 2022)
- [12] アイザック・アシモフ, “我はロボット” (原題: I, Robot), 早川書房, 1983.
- [13] 村上裕一, “官民協働の手段選択の条件等についての分析: 電気用品の安全・障害に関する2つの規制の比較を通して,” 社会技術研究論文集, vol.8, pp.124-137, 2011.
- [14] 村上 裕一, “「法規制化」と業界自主規制の遷移,” 計画行政, 2012, vol.35, no.3, pp.44-51, 2012.
- [15] 日本経済新聞, “首相官邸にドローン落下 けが人はなし,” https://www.nikkei.com/article/DGXLASDG22H5G_S5A420C1CC0000/, 2015. (visited on 2022)
- [16] 小型無人機に関する関係府省庁連絡会議, “小型無人機の安全な飛行の確保と「空の産業革命」の実現に向けた環境整備について,” <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/shiryoku4.pdf>, 2015. (visited on 2022)
- [17] 重要施設の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律, <https://elaws.eov.go.jp/document?lawid=428AC1000000009>, 2016. (visited on 2022)
- [18] ベストカーWeb, “電動キックボードの悪質な事故急増中! 周囲の対応と注意点とは,” <https://bestcarweb.jp/feature/column/318839>, 2021. (visited on 2022)

- [19] ベストカーWeb, “ノーヘル OK の『特例』電動キックボードが 2022 年 7 月まで延長！ 事故・違反多発なのになぜ？,”
<https://bestcarweb.jp/feature/column/333618>,
2021. (visited on 2022)
- [20] ベストカーWeb, “「無免&ノーヘル OK って大丈夫なの？ 原付の新分類「小型低速車」って何？,”
<https://bestcarweb.jp/feature/column/318839>,
2022. (visited on 2022)
- [21] 共同通信, “電動キックボード新分類, 罰則も自動運転レベル 4 許可制に,”
<https://nordot.app/872262024257077248>, 2022.
(visited on 2022)
- [22] 共同通信, “電動キックボード, 免許不要に 道交法改正, 自動運転レベル 4 も,”
<https://nordot.app/889005273033113600>, 2022.
(visited on 2022)
- [23] FRIDAY, “電動キックボード「免許不要」を後押した実験結果の奇妙な中身,”
<https://friday.kodansha.co.jp/article/243550>,
2022. (visited on 2022)
- [24] くるまのニュース, “「ほぼ自転車」電動キックボード規制緩和！ 免許不要の改正道交法が成立！ 既製品はどうなる？,”
<https://kuruma-news.jp/post/500651>, 2022.
(visited on 2022)
- [25] Wikipedia, “電動アシスト自転車,”
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E5%8B%95%E3%82%A2%E3%82%B7%E3%82%B9%E3%83%88%E8%87%AA%E8%BB%A2%E8%BB%8A>, 2022. (visited on 2022)
- [26] 独立行政法人国民生活センター, “子どもに流行の『ローラーシューズ』の事故,”
https://web.archive.org/web/20160927230415/http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20100526_1.pdf,
2010. (visited on 2022)
- [27] iTCOM, “「ローラーシューズ」による事故を防ぐためには,”
<https://www.itscom.co.jp/safety/column/180/>,
2006. (visited on 2022)
- [28] トップコート国際法律事務所, “ドローンが他人の土地上空を飛ぶのは違法？ 4つの視点で弁護士が解説,”
https://topcourt-law.com/drone_law/drone-landownership, 2021. (visited on 2022)

Rust を用いたオペレーティングシステムの研究開発動向

追川 修一*

Trend of Operating System Development by the Rust Programming Language

Shuichi Oikawa *

Abstract

The kernel has been programmed mostly by the C programming language, which has been a major system programming language. Recently, there is a move to introduce the Rust programming language to the development of operating systems for the type and memory safety. This paper describes such work in order to explore the trend towards the future. From literature survey, we found that 1) the development efforts basically target high reliability systems ranging from embedded systems to servers and 2) the goal of the operating system development is the achievement of module isolation and recovery.

Keywords: Systems Software, Operating Systems, Programming Languages, Rust

1 はじめに

オペレーティングシステム(OS: Operating System)は、ハードウェア資源を抽象化し、アプリケーションの実行基盤を提供する重要なソフトウェアである。OS カーネルは OS の中核となるソフトウェアで、ハードウェア資源を直接操作することが可能な CPU の特権モードで実行され、CPU の保護機構を操作することで、各アプリケーションの実行環境を保護し、障害の隔離や情報漏洩の防止を行う。

OS カーネルは、ハードウェアを直接制御する。システムプログラミング言語は、そのような制御に適した言語として開発された言語である。C プログラミング言語は、UNIX と共に開発されたシステムプログラミング言語である。C 言語は、言語とライブラリが明確に分離されており、特別なランタイム等を必要としないため、ハードウェア上で直接実行させることが容易である。言語的にも単純であるため、言語的なオーバーヘッドが少ないことも合わせて、現在でも最も広く用いられているシステムプログラミング言語である。

C 言語はシステムプログラミング言語としての有用性は高いが、近年開発された言語に劣っている点として安全性があげられる。特に、型安全性やメモリ安全性は、プログラムの脆弱性の原因となりやすいため、短所としてあげられることが多い。

近年、多くのプログラミング言語が開発されているが、その 1 つに、安全性の高いシステムプログラミングを可能にする Rust 言語がある[1,2]。Rust は、型安全性、メモリ安全性を

提供する。Rust を実用的なオペレーティングシステムの開発に用いている例として、Linux カーネルのモジュールを Rust で記述可能にする Rust for Linux がある[3]。Rust for Linux がメインラインカーネルに取り込まれるまでにはまだ時間がかかると考えられるが、注目度は高く、継続的に開発が進むと考えられる。

そこで本論文では、Rust for Linux でのカーネルモジュール開発において Rust を有効利用するための技術を把握するため、Rust を用いたオペレーティングシステムの研究開発動向をまとめる。以下、2 章では、Rust プログラミング言語の概要を述べる。3 章では、Rust を用いたオペレーティングシステム開発の特徴についてまとめる。4 章では、特に重要と考えられる開発事例について述べる。5 章で本論文をまとめる。

2 Rust プログラミング言語

本章では、Rust 言語の概要を述べる。Rust は、型安全性およびメモリ安全性を提供するプログラミング言語である。型安全性とは、データや関数に付けられた型を文法的、意味的に検査し、問題が起きないようにする安全性である。また、メモリ安全性とは、プログラムの不正なメモリ操作による問題が起きないようにする安全性である。

C 言語は、型安全性、メモリ安全性は提供しない。コンパイル時に型検査を行うが厳格ではないため、戻り値がある関数に戻り値を指定する return 文がないというような意味的に

は間違ったプログラムであってもコンパイル可能であり、実行した結果は未定義となる。また、型の異なるデータ間での演算や代入がある場合、コンパイル時に暗黙の型変換が行われるため、想定外の結果を引き起こす場合もあり得る。メモリ安全性については検査しないため、例えば、配列について宣言された範囲内でのアクセスかどうかの検査は一切行わないため、範囲外のアクセスも可能であり、セキュリティ脆弱性の温床となりえてしまう。例えば、ローカル変数上の配列に対し、宣言された範囲を超えて値を書き込むことで、任意のプログラムを実行させるスタックスマッシング攻撃を行うことができてしまう。

型安全性およびメモリ安全性を提供する Rust では、上記の C のような問題は起こらない。厳密に型検査を行うため、戻り値の型の指定は省略できず、その型の戻り値を指定する文がなければコンパイルは失敗する。また、暗黙の型変換は行わないため、想定外の結果を引き起こすこともない。メモリ安全性についても、例えば、配列について宣言された範囲内でのアクセスか検査が行われるため、宣言された範囲を超えて値を書き込むことはできない。

Rust の特徴として、ゼロコスト抽象化がある。これは、抽象化のための処理のコストをできる限り小さくする、即ち実行時ではなくコンパイル時に処理することを意味する。メモリ安全性についてゼロコスト抽象化を実現するために導入された概念が、所有権モデルである。既存の言語では、メモリが安全に解放できるかどうかの検査は実行時に行っていた。そのため、仕組みがガベージコレクション (GC: Garbage Collection) である。GC は実行時のコストが大きく、また実行時ランタイムを必要とするため、システムプログラミング言語には適さない。Rust は所有権モデルにより GC を不要としていることも、Rust をシステムプログラミング言語として適しているものとしている。

所有権モデルでは、全ての値は唯一の所有者を持ち、所有者がスコープ外になった際に値は解放される。唯一の所有者だけが存在し得るため、別名は許されない。そのため、値はコピーされるか、移動されるかしなければならない。移動により所有者が移った場合、元の所有者からのアクセスはできなくなる。関数の引数と戻り値は移動となる。値への参照は、借用とみなされる。変更可能な借用は、他の借用が無い場合だけ可能である。また、借用は値が有効な間だけ可能である。所有権モデルは、コンパイラによる確保したメモリの解放、スレッド間のアクセス競合の回避を可能にしており、メモリ安全を実現している。

3 Rust を用いた OS カーネル研究開発

本章では、Rust を用いた OS カーネルの研究開発について、特徴を整理し、まとめる。取り上げる OS カーネルは、

Tock [4, 5, 6], RedLeaf [7, 8, 9], Theseus [10, 11], RomFS の開発 [12], Bento [13, 14], RustyHermit [15, 16] である。

3.1 開発された OS カーネルの特徴

本節では、それぞれの OS カーネルの研究開発の特徴について述べる。

Tock [4, 5, 6] は、マイクロコントローラをターゲットとする組込み OS である。マイクロコントローラはハードウェアによる保護機能を持たず、組込みシステムとしても継続的なログ取得が難しいため、デバッグが困難である。そのような組込みシステムで Rust のようなメモリ安全な言語を利用することは、論理的な欠陥を防止することはできないものの、障害を防ぐうえでは有効である。Rust に限らず、どのような言語を用いたとしても、OS カーネルはハードウェアを直接制御する必要があるため、言語的には安全ではないが信頼しなければならぬコード Trusted Computing Base (TCB) が必要となる。Tock は、そのような TCB を最小化することを目的として開発された組込み OS である。

RedLeaf [7, 8, 9] は、ハードウェアの保護機能を用いず、Rust の型安全性、メモリ安全性によりソフトウェアモジュール隔離を実現することを目的に、スクラッチから開発された POSIX サブセットの OS である。言語による軽量なモジュール隔離ドメインは、情報隠蔽と障害隔離、障害からの復旧を実現している。RedLeaf は、ドメイン間で共有可能なヒープを提供することで、ゼロコピー、即ちデータのコピーを不要とすることで、実行性能を犠牲にすることなく、安全性を提供可能にしている。

Theseus [10, 11] は、state spill の排除を目的として、スクラッチから開発された OS である。X86 システムのハードウェア機能はほぼサポートしているが、POSIX との互換性は無い。State spill とは、あるモジュールの状態が別のモジュールとの相互作用の結果として永続的に変化することと定義され、構成モジュール同士の絡み合った関係の根本的な原因であり、障害隔離や耐故障性の実現の問題を簡潔に説明可能にする。State spill を排除することで、Theseus は実行時のアップデートや障害からの復旧を可能にする。そのため、高信頼性が求められる、高機能組込みシステムやデータセンターの構成要素がターゲットとなり得る。

[12] では、Linux カーネルの拡張モジュールとして、Rust 言語を用いて RomFS ファイルシステムを開発している。Linux カーネルは、多様な環境で単一のソースコード基盤を共有できるように機能拡張可能な構成となっている。しかしながら、C で記述されており安全性は後回しとなっているため、機能拡張のバグは問題を起こし続けている。[12] は、Rust のような安全な言語を用いて機能拡張のみを記述するアプローチを検討し、RomFS の開発を行なった。開発経験から、

1) Linux カーネルのインタフェースにおける型情報の不足,
2) Linux カーネル本体と機能拡張間でのデータのやり取りに伴う Rust のメモリ管理との非整合性を行った問題があることを指摘している。

Bento [13, 14]は, [12]の開発経験を基盤として開発された, Rust を用いたファイルシステム開発のフレームワークであり, 障害隔離および実行中のアプリケーションへの影響無し置き換えを可能にしている。Bento は Linux から見ると 1 つの VFS ファイルシステム BentoFS になる。BentoFS は C で書かれている。LibBentoFS は, BentoFS からの unsafe な呼び出しを safe なファイル操作 API に変換する。また, LibBentoKS は, ファイルシステムからカーネル本体のサービス呼び出す際の safe API を提供する。VFS 上の ext4 と同等の性能を提供している。一方で, FUSE インタフェースを用いたユーザ空間での実行によるデバッグも可能にしている。

RustyHermit [15, 16] は, ライブラリ OS である unikernel の 1 つである。OS をライブラリ化したことで, アプリケーションと共に単一アドレス空間で実行されるようにコンパイルされるため, システムコールは関数呼び出しとなり, 不要な OS カーネルのコードは除去される。そのため, メモリ使用量は減少し, またアプリケーションを最適化する見込みが生じる。Rust で記述した RustyHermit は, C で記述した HermitCore と比較して, ほぼ同等の性能であり, unsafe コードは非常に少ない。

3.2 OS カーネル開発において着目されている Rust の特徴

本章では, 3.1 節で取り上げた OS カーネル開発において着目されている Rust の特徴について述べる。基本的に, どの OS カーネル開発においても, Rust の基本的な特徴となっている所有権モデルおよび safe/unsafe コードの利用について言及されている。その他には, 以下の特徴が着目されている。

[5]では Cell に着目している。Cell は, 変更可能なオブジェクトに対する複数の参照を, データのコピーによってのみアクセスする API により可能にする仕組みである。データのコピーが必要となるため, OS カーネルで用いられる複雑な大きい構造体に対しては, 大きなオーバーヘッドとなる。

一方, [15]では RefCell に着目している。多くの場合で借用を満たすコードを開発可能であるが, RefCell を用いることでコンパイル時の検査を回避し, 実行時に検査することも可能であることを指摘している。

[7]では, 所有権モデルはデータの別名を排除するため, 例えば, 純粋な Rust ではダブルリンクリストを実装できない点に着目している。解決方法として, 参照カウント型 Arc/Rc を読み出しのみ可能な別名で包む方法があるとしている。

[13]では, メモリがスコープ外になる時に呼び出される関

数を drop として定義可能である点に着目している。

[10]では, Theseus はモニタを多用しており, モニタを出た後にモニタ内のデータがアクセス不可能になることが, Rust ではコンパイル時に保証されることは, 実行時のデバッグが困難な OS では非常に有用であることを指摘している。

[15]では, 並列処理のコンパイル時の検査に着目している。スレッド間で共有されるデータは, sync trait を実装するか, それを実装する mutex で囲まなければならない。Rust コンパイラは, スレッドで共有されるデータの生存期間を検査し, 借用されるデータの方が借用するスレッドよりも長く生存することを保証できることを指摘している。

3.3 OS カーネル開発で提案されている Rust の拡張

本章では, 3.1 節で取り上げた OS カーネル開発のうち, いくつかで提案されている Rust の拡張について述べる。

[4]では, 実行コンテキスト (execution contexts) は, 値の所有者となるスレッドを型に反映することを可能にする, 型システムへの拡張が提案されている。この拡張により, 同一スレッド内においては複数の借用を許可することができ, またコンパイラによる安全な操作のチェックを可能にする。

[5]では, インラインのクロージャにより安全に構造体を変更可能とするために, TakeCell が提案されている。これは, データではなくコードをクロージャとして渡すことで, カーネルの複雑な大きい構造体に対しても, オーバヘッドとならない仕組みとなっている。

[17]は, モジュール隔離を実現するために適した拡張の提案をしている。隔離されたモジュール間でのデータ交換は, 共有ヒープを用いるものとして, その上のオブジェクトは, RRef<T> と片付けされる遠隔参照 (remote reference) というアブストラクションにより操作される。共有ヒープ上のオブジェクトはレジストリに記録され, モジュールがクラッシュすると, 共有ヒープ上のオブジェクトは, レジストリの記録から回収される。

3.4 考察

本章では, 本章で述べた OS カーネルについて, 1) OS の種類・ターゲット, 2) Rust の使用目的, 3) OS の開発目的の点からまとめ, その結果を考察する。まとめは, 表 1 に示す。

表 1 から, ターゲットは組込みシステムからデータセンターのサーバまで, 様々であることがわかる。一方, OS としては, 高信頼性が要求されるシステムがターゲットとなっており, それが言語として安全性を提供する Rust を用いる基本的な理由となっている。

Rust の使用目的としては, Tock と Bento は Rust が提供する安全性による障害の防止である。RedLeaf は, 明確にモジュールの隔離を目的として Rust を使用している。Theseus は, さらに Rust の機能を積極的に用いることで,

表 1 Rust を用いた OS カーネル開発事例の比較

OS カーネル	OS の種類・ターゲット	Rust の使用目的	OS の開発目的
Tock [4, 5, 6]	組込みシステム	障害の防止	TCB の最小化
RedLeaf [7, 8, 9]	POSIX サブセット	モジュールの隔離	情報隠蔽と障害隔離, 障害からの復旧
Theseus [10, 11]	高信頼性システム	言語による資源管理	State spill の排除による実行時アップデート, 障害からの復旧
Bento [12, 13, 14]	Linux カーネルの機能拡張	障害の防止	高い開発効率の実現, 障害隔離, 実行時アップデート
RustyHermit [15, 16]	クラウドサービス	Rust API	Rust で記述されたアプリケーションの実行環境

従来 OS が行ってきた資源管理を言語レベルで行うことを提案している。

OS の開発目的としては、障害隔離と障害からの復旧が多く見られる。RedLeaf と Theseus は、特にそれらを目的としてスクラッチから開発された OS であるが、設計方針は大きく異なっている。RedLeaf はモジュールの隔離を基盤としている一方で、Theseus ではモジュール間の関係に分散システムの考え方を取り入れることで依存関係を無くす方法を撮っている。

4 Rust を用いた OS カーネル開発事例

本章では、Rust を用いた OS カーネル開発事例について述べる。前章で述べた Rust を用いた OS カーネル開発事例のうち、特に重要と考えられる開発例として RedLeaf と Bento をとりあげ、これらについて、その概要とポイントを述べる。

4.1 RedLeaf

本節では RedLeaf [7, 8, 9] について述べる。RedLeaf は、言語が提供する安全性が OS の構成に与える影響を探求するために、Rust 言語でスクラッチから開発された POSIX サブセット OS である。

RedLeaf は、言語の安全性を用いることで、従来のようにハードウェアが提供するアドレス空間を用いることなく、モジュールの隔離を実現している。高コストになりがちなハードウェアによる隔離ではなく、言語による隔離を用いることで、マイクロカーネル上に低コストかつ細粒度の隔離ドメインが実現できることを示している。この隔離ドメインを活用して、デバイスドライバにおける、ゼロコピー、障害隔離、透過的な回復を実装している。

以下、RedLeaf におけるドメインの障害隔離およびその実現方法、加えて、ゼロコピーおよび透過的な回復について述べる。

4.1.1 ドメインの障害隔離

RedLeaf におけるドメインは、情報隠蔽、障害隔離、モジュール化の単位である。デバイスドライバやファイルシステムなどのカーネルを構成するサブシステムに加え、ユーザプログラムもドメインとして扱われる。ドメインはマイクロカーネル上に構成され、ドメイン作成時にマイクロカーネルへのインタフェースが渡される。

ドメイン内で実行するスレッドがパニックし終了する必要がある、即ちドメインのクラッシュに際し、ドメイン内から参照するオブジェクトの一貫性がとれていない状態になり、ドメインの他のスレッドも実行を継続できない状態になり得る。この時、次の 4 つの条件全てを満たす時に、障害が隔離されていると定義する。

1. クラッシュしたドメイン内の全てのスレッドの実行をドメインへの呼び出し時まで巻き戻し、呼び出し元にエラーを返す。
2. クラッシュしたドメインへの呼び出しはエラーが返される。
3. クラッシュしたドメインの資源は全て安全に解放、回収され、他のドメインからクラッシュしたドメインのヒープへの参照が無い。
4. 他のドメインは実行を継続することができる。また、クラッシュしたドメインに割り当てられたが、クラッシュ前に他のドメインへ移動されたオブジェクトへ継続してアクセスできる。

4.1.2 非公開ヒープ領域と共有ヒープ領域

ドメインのヒープ領域は非公開であり、隔離されている。非公開領域は他のドメインからの参照はできない。そのため、ドメインが停止した際には、非公開領域全体を安全に回収することができる。

ドメイン間通信の効率化のために、共有ヒープ領域がある。共有ヒープ上に型 `T` のオブジェクトを割り当て参照するため

に、RedLeaf はリモート参照型 `RRef<T>` を提供する。リモート参照型 `RRef<T>` は、メタデータと値から構成される。メタデータは、オブジェクトへの参照を所有するドメイン、借用のカウンタ、値の型を管理する。リモート参照型 `RRef<T>` の型 `T` は、非公開、共有に関わらずヒープ領域へのポインタを持つことはできず、他のオブジェクトを参照する場合はリモート参照型 `RRef<T>` を用いる必要がある。

4.1.3 共有ヒープ領域における所有権の追跡と回収

リモート参照型 `RRef<T>` は、ドメイン間通信で用いるものであるため、他のドメインへの所有権の移動、借用が可能である。リモート参照型 `RRef<T>` は、そのメタデータがオブジェクトへの参照を所有するドメインを管理する。そのため、オブジェクトの所有権を追跡することができる。

所有権を追跡することで、クラッシュしたドメインが所有権を持つオブジェクトを安全に回収することができる。共有ヒープ領域に割り当てられたオブジェクトは、全てレジストリに登録される。ドメインがクラッシュした際には、レジストリに登録されている全てのオブジェクトを確認し、クラッシュしたドメインが所有権を持つオブジェクトを回収する。解放は、借用が無くなった時、即ち借用のカウンタが 0 になった時に、行われる。

4.1.4 ドメイン間呼び出しとスレッドの巻き戻し

ドメイン間の呼び出しをプロキシが仲介することで、障害隔離を実現する。そのため、プロキシは次の 4 つの機能を実装する。

1. 呼び出し先のドメインが実行可能かどうかを確認する。呼び出し可能であれば、スレッドの移動をマイクロカーネルに通知する。この情報は、ドメインに障害が発生した際の実行の巻き戻しに用いる。
2. ドメイン間呼び出しの直前の状態を保存するために、継続 (continuation) を作成する。継続は、実行の巻き戻しを可能にする。
3. 引数として指定され、ドメイン間で渡される全てのリモート参照型 `RRef<T>` の所有権を移動する。または、借用の際は借用のカウンタを更新する。
4. 引数として渡されるトレイトへの参照についてプロキシを作成し、作成されたプロキシのトレイトを実際の引数として渡す。

ドメインに障害が発生した際の実行の巻き戻しを可能にするために作成される継続は、ドメイン間呼び出しの直前の状態として、全ての汎用レジスタの値を保存したスタックポイントで表される。実行の巻き戻しは、このスタックポイントをドメインの障害処理を行う関数に渡すことで、ドメイン間呼び出し前の状態を復旧する。

4.1.5 ゼロコピーと透過的な回復

Rust のオブジェクトの所有権は単一の変数のみが持つという原則により、共有ヒープ上のオブジェクトはゼロコピーでの利用と障害隔離の両立が可能である。ゼロコピーでのドメイン間通信を行うためには、オブジェクトは共有ヒープ上に割り当て、オブジェクトのリモート参照型 `RRef<T>` を引数として渡す。ドメイン間呼び出しに際して、オブジェクトの所有権は呼び出し先に移動される。Rust の通常オブジェクトでは可能である変更可能な借用は、矛盾した状態の一因となるため、禁止される。

ゼロコピーを用いつつ、ドメインに障害が発生した際の透過的な回復を可能にするためには、オブジェクトのリモート参照型 `RRef<T>` を引数として渡す際に、変更不可の借用とする。透過的な回復の典型では、障害が発生したドメインの実行を再開し、ドメインの呼び出しを再実行することで、障害を隠蔽する。この時、引数として渡すオブジェクトも利用可能でなければならない。変更可能なオブジェクトをコピーする方法もあるが、コストがかかる。変更不可の借用とすることで、コストを回避することができ、また Rust により変更されていないことが保証されるため、安全に再実行が可能である。

4.2 Bento

本節では、Bento [12, 13, 14] について述べる。ストレージデバイスは長らく HDD が用いられてきたが、SSD の登場以来、大容量化のためのメモリの多値化、高速化のための NVMe インタフェースといった技術革新が続いており、これらに対応する迅速なファイルシステム開発が求められている。Bento は、現在の Web アプリケーション開発では一般的となった効率的な開発を、Rust 言語によるファイルシステム開発でも可能にするためのフレームワークである。

Bento は、Rust 言語で開発されたファイルシステムを Linux カーネルに導入可能にする。ファイルシステムの障害は隔離することができ、また実行中のアプリケーションに影響を与えることなく、ファイルシステムモジュールを交換することができる。これらの特徴により、毎日や毎週、ファイルシステムモジュールのアップグレードが可能になる。

以下、Bento におけるファイルシステム開発フレームワークの実現方法について述べる。

4.2.1 システムアーキテクチャ

Bento は、Linux カーネル本体からは VFS ファイルシステムの 1 つとして認識される。Linux カーネルの VFS ファイルシステムはモジュール化されており、動的に追加、削除が可能であるため、Bento の追加に Linux カーネル本体の修正は不要である。Bento は Linux カーネルに対しては通常の VFS ファイルシステムのインタフェースを提供する一方で、その内部では Rust でファイルシステムを記述可能にするフ

フレームワークを提供する。

Bento の構成要素は、BentoFS、LibBentoFS、LibBentoKS の 3 つである。BentoFS は、C で記述され、Linux カーネル本体からは VFS ファイルシステムの 1 つとして認識される部分になる。LibBentoFS は、C で記述されているため unsafe である BentoFS を、Rust として safe な API に変換する。LibBentoKS は、Linux カーネル本体が提供する機能を safe な API に変換する。

Bento におけるファイルシステムの実装は、全て Rust として safe なコードとなる。それは、LibBentoFS を用いて VFS インタフェースとして接続し、LibBentoKS を用いて Linux カーネルと接続することで実現される。

4.2.2 VFS との接続とメモリ安全性

メモリ安全性の実現が、VFS との接続の際には問題となる。例えば、inode 構造体には、VFS に関連するデータとファイルシステム固有のデータの両方が含まれる。Linux カーネルが inode 構造体を割り当てる必要がある時、ファイルシステムに対し割り当て要求を出し、ファイルシステム固有のデータを格納した inode を返す。Linux カーネルがある inode が不要であると判断すると、ファイルシステムが解放処理を行う。このように Linux カーネルがメモリ管理を行なっているため、このままでは Rust の長所であるコンパイル時のメモリ安全性の保証が生かされない。

そこで Bento では、メモリ管理を Linux カーネル本体と Bento フレームワークで分離し、それぞれが独立して行う。即ち、Linux カーネル本体がアクセスする inode の割り当ては、Bento の VFS ファイルシステムを実装する BentoFS で行う。Bento のファイルシステムで用いる inode は別途割り当て、BentoFS からは inode 番号を介して指定する。

BentoFS と LibBentoFS にメモリ管理を分離することで、Rust の長所であるコンパイル時のメモリ安全性が保証できるようにする。Linux カーネル本体のメモリへの参照を Bento に渡す際には、呼び出しが完了するまでそのメモリが有効であることを BentoFS が保証する。また、変更可能なメモリの場合は、他のスレッドが変更することが無いようにする。

4.2.3 Linux カーネルとの接続

ファイルシステムは、ブロックストレージにアクセスするために、ブロック I/O 等の Linux カーネル本体が提供する機能と呼び出す必要がある。VFS との接続と同様に、これらのカーネル機能を Bento ファイルシステムから直接呼び出すことはできない。そこで LibBentoKS は、Linux カーネル本体が提供する機能を safe な API に変換する。

例えば、ファイルシステムがブロック I/O を行うには、バツァアキャッシュを介してブロックストレージにアクセスする。そのための Linux カーネルの関数に `__bread_gfp` がある。この

関数は、ブロックデバイス構造体へのポインタ、ブロック番号、ブロックサイズ、ページフレームの割り当てフラグを引数としてとり、読み出したデータを指す `buffer_head` 構造体に戻り値として返す。`buffer_head` 構造体から必要なデータを読み出すことができる。不要になった `buffer_head` 構造体は、`breadse` を呼び出して解放する。これらの構造体はポインタを介してアクセスされる前提となっているが、Rust として safe なコードはポインタを介しその内部のデータをアクセスすることはできない。

Rust として safe なコードでこれらの構造体をアクセス可能にするために、Rust で再定義を行う。ブロック I/O の例では、まずブロックデバイスを Rust で safe な `BlockDevice` として定義する。`BlockDevice` は内部データとして、ブロックデバイス構造体へのポインタとブロックサイズを持つ。また、`bread` メソッドを含む、いくつかのメソッドを提供する。`bread` メソッドは、ブロック番号を引数としてとり、`__bread_gfp` を呼び出す。戻り値として返される `buffer_head` 構造体は、Rust で safe な `BufferHead` として定義する。`BufferHead` が `buffer_head` 構造体の内部データをアクセスするコードは unsafe になってしまうが、`BufferHead` のメソッドの呼び出し自体は safe になる。

4.3 考察

RedLeaf と Bento には、RedLeaf では OS カーネル全てが Rust で記述されているのに対し、Bento は C で記述されている Linux カーネルと接続する Rust でファイルシステムを記述可能にするフレームワークであるという大きな違いがある。

RedLeaf は OS カーネル全てを Rust で記述することで、障害隔離と透過的な復旧の軽量化を可能にしている。障害隔離はドメインの単位で行わる。ドメインはドメイン間呼び出し前の状態を復旧することができるため、ドメインに障害が発生しても、透過的な回復が可能である。また、ドメイン間通信を軽量化するゼロコピー機構を実現するために、共有ヒープ領域を提供し、ドメインに障害が発生しても、安全に共有ヒープ領域上のオブジェクトを回収可能にしている。

Bento では、Rust として safe なコードでファイルシステムを記述することで、ファイルシステムでの障害隔離を実現している。そのためには、C で記述されている Linux カーネルが提供する機能と、Rust として safe なコードで記述されるファイルシステムを接続する必要があり、そのためのインタフェースの変換がフレームワークとして提供されている。フレームワークには C や Rust として unsafe なコードも含まれる。従って、Linux カーネル本体およびフレームワークが TCB となっていることになる。

5 おわりに

本論文では、Rust を用いたオペレーティングシステムの研究開発動向をまとめた。Rust は、型安全性およびメモリ安全性を提供するプログラミング言語である。型安全性およびメモリ安全性は、これまでコスト面で困難であったモジュールの隔離に有効であり、汎用的に提供されることが期待できる。また、GC を不要とする所有権モデルに基づくメモリ管理は、性能面だけでなく、安全性の面でも有効である。そのような言語レベルでの機能を、OS 開発では積極的に採用することで、従来 OS で行ってきた資源管理を言語レベルで行う動きもある。

今後、Rust for Linux でのカーネルモジュール開発についての研究をすすめるにあたり、障害隔離と障害からの復旧の実現は重要な目的となる。カーネルモジュールは、スクラッチからの開発とは異なり、既存のインタフェースの影響を大きく受けるため、サブシステムごとの実現方法を開発し、その上で汎用的な実現方法の確立を目指す。

参考文献

- [1] Nicholas D. Matsakis and Felix S. Klock. The rust language. In Proceedings of the 2014 ACM SIG Ada Annual Conference on High Integrity Language Technology, HILT '14, p. 103–104, New York, NY, USA, 2014. Association for Computing Machinery.
- [2] Ralf Jung, Jacques-Henri Jourdan, Robbert Krebbers, and Derek Dreyer. Safe systems programming in rust. CACM, Vol. 64, No. 4, p. 144–152, mar 2021.
- [3] Rust for Linux. <https://github.com/Rust-for-Linux/>. (visited on 2022)
(ウェブ参照)
- [4] Amit Levy, Michael P. Andersen, Bradford Campbell, David Culler, Prabal Dutta, Branden Ghena, Philip Levis, and Pat Pannuto. Ownership is theft: Experiences building an embedded os in rust. In Proceedings of the 8th Workshop on Programming Languages and Operating Systems, PLOS '15, p. 21–26, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [5] Amit Levy, Bradford Campbell, Branden Ghena, Pat Pannuto, Prabal Dutta, and Philip Levis. The case for writing a kernel in rust. In Proceedings of the 8th Asia-Pacific Workshop on Systems, APSys '17, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [6] Amit Levy, Bradford Campbell, Branden Ghena, Daniel B. Giffin, Pat Pannuto, Prabal Dutta, and Philip Levis. Multiprogramming a 64kb computer safely and efficiently. In Proceedings of the 26th Symposium on Operating Systems Principles, SOSP '17, p. 234–251, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [7] Abhiram Balasubramanian, Marek S. Baranowski, Anton Burtsev, Aurojit Panda, Zvonimir Rakamarić, and Leonid Ryzhyk. System programming in rust: Beyond safety. In Proceedings of the 16th Workshop on Hot Topics in Operating Systems, HotOS '17, p. 156–161, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [8] Vikram Narayanan, Marek S. Baranowski, Leonid Ryzhyk, Zvonimir Rakamarić, and Anton Burtsev. Redleaf: Towards an operating system for safe and verified firmware. In Proceedings of the Workshop on Hot Topics in Operating Systems, HotOS '19, p. 37–44, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [9] Vikram Narayanan, Tianjiao Huang, David Detweiler, Dan Appel, Zhaofeng Li, Gerd Zellweger, and Anton Burtsev. RedLeaf: Isolation and communication in a safe operating system. In 14th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 20), pp. 21–39. USENIX Association, November 2020.
- [10] Kevin Boos and Lin Zhong. Theseus: A state spill-free operating system. PLOS'17, p. 29–35, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [11] Kevin Boos, Namitha Liyanage, Ramla Ijaz, and Lin Zhong. Theseus: an experiment in operating system structure and state management. In 14th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 20), pp. 1–19. USENIX Association, November 2020.
- [12] Samantha Miller, Kaiyuan Zhang, Danyang Zhuo, Shibin Xu, Arvind Krishnamurthy, and Thomas Anderson. Practical safe linux kernel

- extensibility. In Proceedings of the Workshop on Hot Topics in Operating Systems, HotOS '19, p. 170–176, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [13] Samantha Miller, Kaiyuan Zhang, Mengqi Chen, Ryan Jennings, Ang Chen, Danyang Zhuo, and Thomas Anderson. High velocity kernel file systems with bento. In 19th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST 21), pp. 65–79. USENIX Association, February 2021.
- [14] Jialin Li, Samantha Miller, Danyang Zhuo, Ang Chen, Jon Howell, and Thomas Anderson. An incremental path towards a safer os kernel. In Proceedings of the Workshop on Hot Topics in Operating Systems, HotOS '21, p. 183–190, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [15] Stefan Lankes, Jens Breitbart, and Simon Pickartz. Exploring rust for unikernel development. In Proceedings of the 10th Workshop on Programming Languages and Operating Systems, PLOS'19, p. 8–15, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [16] Stefan Lankes, Jonathan Klimt, Jens Breitbart, and Simon Pickartz. Rustyhermit: A scalable, rust-based virtual execution environment. In High Performance Computing: ISC High Performance 2020 International Workshops, Frankfurt, Germany, June 21–25, 2020, Revised Selected Papers, p. 331–342, Berlin, Heidelberg, 2020. Springer-Verlag.
- [17] Anton Burtsev, Dan Appel, David Detweiler, Tianjiao Huang, Zhaofeng Li, Vikram Narayanan, and Gerd Zellweger. Isolation in rust: What is missing? In Proceedings of the 11th Workshop on Programming Languages and Operating Systems, p. 76–83, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.

測位衛星放送災害避難情報の受信システム設計

～防災行政無線子局の利用～

嶋津恵子*

System design of receiver module for Emerging Warning Signal from Navigation Satellite system

～Employing Slave Wireless Stations of emergency broadcast system～

Keiko Shimazu*

This paper reports our systems design of GNSS (Global Navigation Satellite System) application system. That's the first trial of employing GNSS as an emergency report communication service. The system will work for victims abandoned within specific areas where general communication infrastructure is down. This paper consists of 2 parts. The first one presents a structure of the receiving module of the emergency signal from QZSS, which is a Japanese Navigation Satellite System. The other part introduces a message format for this service developed jointly by the EU/Galileo team. The purpose of developing this format was to solve the challenge of how to manage vary and complicated information in a limited area.

Keywords: GNSS, QZSS, disaster mitigation, EWS

1 はじめに

災害時に利用する暫定的通信網の必要性と実現の研究が望まれて久しい[1]。米国が開発した GPS (Global Positioning System) に代表される測位衛星システム (GNSS : Global Navigation Satellite System) は、常時信号を地上で受信できる。この特徴を活かし、災害時用の暫定的通信網への利用が検討されている[2]。

我々は、2015 年にプロジェクトを立ち上げ、これまでに、①日欧共同で GNSS に搭載する専用のメッセージフォーマットと、②日本全土に配備されている防災行政無線を活用する方法を開発した[3]。

前者に関し、GNSS が測位情報のみを放送することを目的として設計されており、放送可能容量が非常に限定的であるという課題がある。これに対し、この限定的なメッセージ領域を最大限有効活用し、災害急性期に特定地点にいる住民に避難指示の放送を可能とするものである。世界標準化を目指し、欧州の測位衛星システムである Galileo の担当官らと共同開発した。

また後者は、測位衛星システムを介した、災害危険通報の受信装置としての候補は、直感的には、スマートフォンに代

表される移動体通信端末が最適であると考えられる。ところが、国民が所有するこれらすべてに装備するには、開発だけでなく(利用中および今後市場にでる)全携帯通信端末を対象としたインストール作業が必要となる。これらの費用と時間の莫大さを考慮すると、日本が整備した測位衛星システムである QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) から災害危険通報の配信可能になる 2024 年末に間に合わせる事が困難となる。そこで、我々は、日本の 90%以上に配備されている防災行政無線に注目し、これを受信側システムとして利用する方法を提案した。

本書は次の構成を採る。2章に測位衛星システムの特徴とこれを災害発生急性期に利用する際の利点と課題を整理する。同様に3章に防災行政無線子局のそれらを示し、第4章に開発したシステムの概要を、①通信量に制限のある GNSS を最大限利用するために、日欧で共同開発した災害避難情報配信用メッセージフォーマットと、②GNSS から放送される避難誘導指示信号を受信するシステムの構成で示す。そして5章に今後の計画を述べる。

Received on October 2, 2022

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

本稿は、電子通信情報学会情報ネットワーク研究会に於いて10月27日に発表したものです。

2 測位衛星システム

現在、米国が開発した GPS に代表される全球測位衛星システム(GNSS)が多数整備され、地球上のどこでもそれらのサービス利用が可能になった。日本が整備した QZSS は、日本と東南アジアそして南太平洋の一部に測位信号(所在位置を特定するための情報とそこでの時刻)を放送する。地球規模での放送ではない一方、測位精度は GPS を上回り、また特に日本国内ではほぼ天頂にいずれかの衛星が確認できるため遮蔽物からの影響が少ない。

測位衛星システムを、巨大災害発生の急性期用避難誘導システムの基盤として検討する場合の利点と課題は次のとおりである。

(1)利点:常時、位置と時刻を放送

測位衛星システムから放送される信号は、GPS に代表されるように、日常的に常時受信可能である。このため災害発生時に起動などの操作を行う必要が無い。また放送される信号が、災害救助や避難指示に必須となる“場所”と“時刻”であることも災害発生時の利用に適している[5]。

(2)課題:限定的な情報量

GNSS は、測位情報のみを放送することを目的として設計されているため、放送可能容量が限定的である。多くは、100 ビット長から 200 ビット長ほどである。この領域に、災害発生直後の避難指示に必要な情報を効率的に搭載する方法の開発が必要となる [6]。

3 防災行政無線

利点:日本全国の網羅性の高さ

防災行政無線は、県及び市町村が「地域防災計画」に基づき、それぞれの地域における防災と応急救助と、そして災害復旧に関する業務に使用することを主な目的として全国に設置されている。特に発災時には、地域住民に避難指示を出すことに用いられている。整備率は、全国で 88.9%であり、ほぼどの地域・地方にも設置されている[7]。365日毎日夕方5時にそれぞれ独自の曲を流すなどの点検を行い、非常時に確実に機能させるための体制が整っている。

課題:中継器の破損による脆弱性

防災行政無線は、区町村の行政機関に設置された防災行政無線親局から音声データを各子局に配信し放送する(図1)。この時、多くが鉄塔型中継器を経由する[8]。これにより、多くの子局が無停電装置を備え、信号を受信さえすれば放送可能であるのにもかかわらず、中継器が損壊すると子局は機能しなくなる。実際、2011年の東日本大震災発災時は、3月15日までの間、岩手、宮城、福島、茨城の4県で、

配信不可となった子局数は27%に上る[9]。



図1 防災行政無線子局例

Ebiebi2の著作物, CC表示-継承3.0,

4 開発したシステム概要

(1)共通EWSメッセージフォーマットの開発

我々は、EC(European Committee)のGalileo衛星担当官らと共同で、災害発生急性期に日常的に利用している情報通信網が断線してしまった場合や、それらが設置されていない場所にいる住民に、測位衛星システムを経由して緊急避難指示を出すことを目的に共通EWS(Emergency Warning System)メッセージフォーマットを開発した。これは将来、世界中の測位衛星システムを災害急性期に避難指示放送装置として利用する際にも利用可能になることを目指している。そこで、フォーマット開発にはCAP(Common Alerting Protocol)を反映する方法を採用し、世界標準化を狙った[10]。

図2は、上段にGalileoの無線送信帯を、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[11]。赤字の部分(左側下から2本目L1下り回線)に注目されたい。右下の地上局(“ground station”)からC帯を使って、GalileoはE1帯で示される1559MHzから1591MHzの帯域を利用して、災害急性期避難指示情報をEWS(Early Warning Service)として、またQZSSでは、L1帯で示される1560MHzから1590MHzの帯域で同様の情報をDC(Disaster and Crisis)reportとしてそれぞれ災害時に地上に向けて緊急信号が放送されるよう用意され

ている。このように地上に向けた放送用の通信帯域がほぼ一致していることが、共同開発のきっかけの一つになっている。なお、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のは、欧州と日本での命名規則によるものである。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[12]。

そして図3は、GalileoとQZSSのそれぞれのメッセージ長の中で、EWSとDCレポートに使用されている部分を示し

ている。Galileoは、122ビット長がEWS送信用に割り当てられ、QZSSでは191ビット長がDCレポートに割り当てられている。そこで、共同開発に際し122ビット長に、避難に必要な最低限の情報を搭載できるよう設計し、それを“共通EWS”用メッセージ領域とした。つまり我々は、GalileoとQZSSのメッセージのメッセージ帯域が等しく所有する122bit長分を共通EWSメッセージに充当することとし、そしてこの領域に発災急性期に被災者に必要な情報をどのように割り当てるかを、設計した[13]。

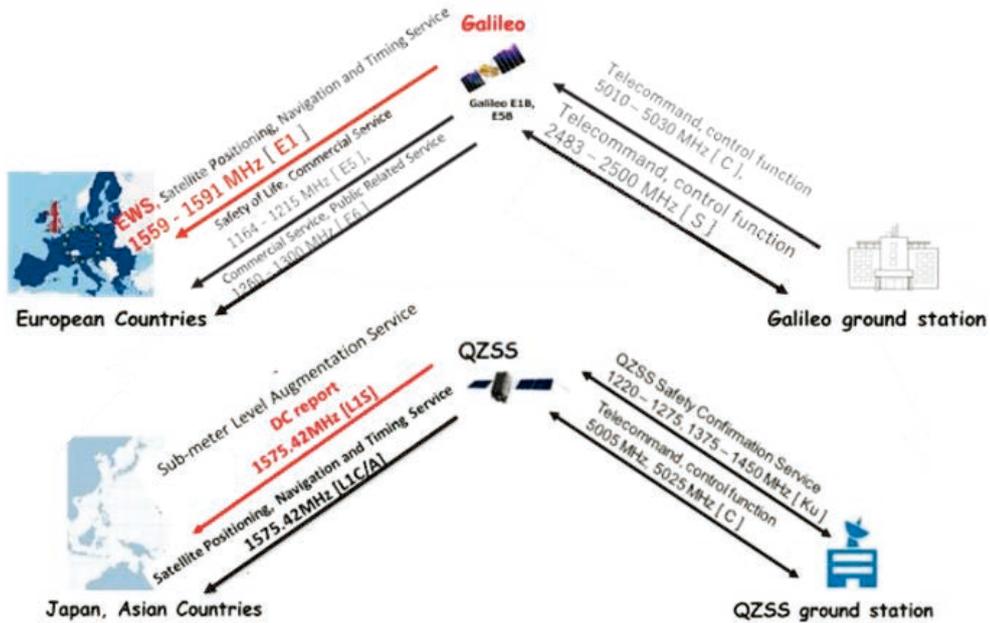
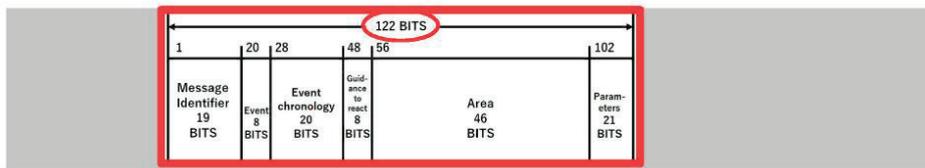


図2 GalileoとQZSSの通信帯域

Galileo



QZSS

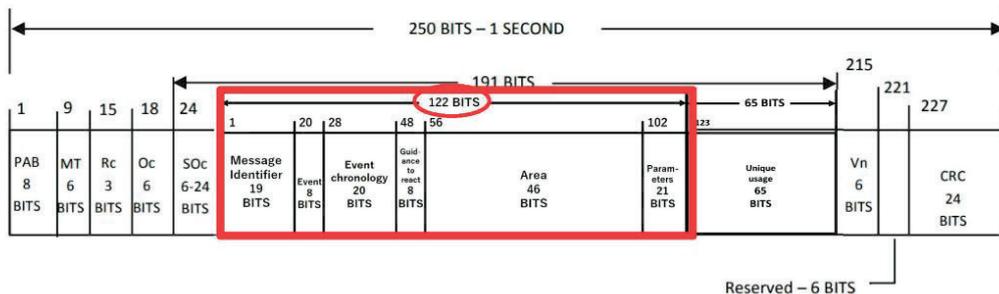


図3 GalileoとQZSSの共通EWSメッセージ領域

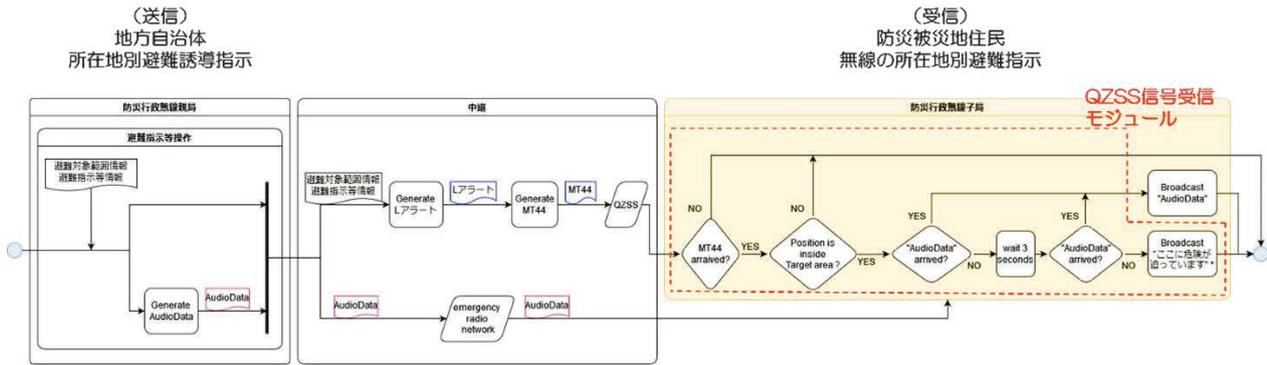


図 4 防災行政無線子局を利用した QZSS 受信システム外観

(2) 防災行政無線子局の測位衛星信号受信器化

防災行政無線子局が、中継局の破損等により親局から送信を受けられない状態に陥ったとしても、測位衛星である QZSS から、特定の地区の住民に避難指示を配信するシステムを考案した(図 4)。

具体的には、次のとおりである。地域住民に避難指示を出す地方自治体は、防災無線親局を使って 2 経路で情報を配信する。一つは従来の防災行政無線子局へ音声信号を渡す音声信号であり、もう一つは QZSS の地上運用局にテキスト信号を渡す方法である。地上局で共通 EWS ファイルフォーマットに変換し、QZSS を経由し全国に放送する。この時、従来の防災行政無線子局へ渡す音声は避難指示内容であり、QZSS の地上運用局に渡す情報は、“対象地区”と“そこにいる住民向け避難指示”の各コードから成る。(現在、国内の災害情報は総務省の外郭団体が運営する組織が L アラートとして集約し、メディア各社などが利用しているため、これを経由する図になっている。)防災行政無線子局の中の赤破線で囲まれた部分が QZSS 信号受信モジュール内の信号の流れを示している。QZSS の信号受信モジュールを介して、信号を受信した全国の防災行政無線子局は、自身の測位情報と“対象地区”を照合し、これに含まれていた場合“そこにいる住民向け避難指示”を放送する。これにより、避難行動が必要な場所や地域別に情報を配信することが可能となる。

5 今後の予定

我々は、前章に示したシステムを試作し、東京都大島町で実証検証を行う予定である。同町は本州と陸地の接続を持たない火山島である。従って複数の災害に見舞われる可能性があり、本州への脱出を最終手段として、緊急避難としては特定の地域にいる住民を島内の他の地域に速やかに移動させることが災害対応の要となっている。大島町には、防災行政無線子局が屋内設置型を含め、79 台設置されている。このうち 27 台を我々が構想した QZSS 経由で配信され

る災害危険通報の受信システム化することで、特定の地域にいる住民を島内の他の地域に速やかに移動させることが可能にあることが机上のシミュレーションで明らかになっている。実施結果は、追って報告する。

6 謝辞

本書で実施した活動の一部は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)によるものです。

参考文献

- [1] 嶋津恵子, 毎田定弘, 玉越大資 他, “準天頂衛星システムを巨大災害発生急性期の救命情報に貢献させるためのダブル・ユース戦略”, 電子情報通信学会, Jan.2018.
- [2] 嶋津恵子, 橘田要一, “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, 第 V 巻, 第 3 号, pp.3-6, Sep.2014
- [3] 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”, pp.5, Jun.2015.
- [4] 嶋津恵子, “GNSS を利用した災害急性期避難情報放送日欧共通メッセージの放送実験”, 測位航法学会ニューズレター, 第 XI 巻, 第 2 号, pp.9-10, Jun.2020.
- [5] 国土交通省国土地理院, GNSS とは, https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html, (visited on 2015)
- [6] 総務省, 実用準天頂衛星システムの L 帯を用いた衛星測位システムの技術的条件(素案)について, https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi_aboutGNSS.html, (visited on 2022.)

- [7] 防災無線の利用平岡 他, QZSS(準天頂衛星システム) を利用した災害急性期用通信システムの開発, 電子情報通信学会, CQ 研究会, Jan.2022.
- [8] 総務省, 報道資料 防災行政無線のイメージ,
https://www.soumu.go.jp/soutsu/chugoku/hodo_2017/01sotsu08_01000837.html,
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/system/trunk/disaster/change/>, (visited on 2022.)
- [9] 財団法人自治体衛星通信機構, 東日本大震災と地域衛星通信ネットワーク利用状況報告書,
<http://www.jasdis.gr.jp/>, 2012. (visited on 2022)
- [10] Common Alerting Protocol Version 1.2,
<http://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2-os.html>, (visited on 2022)
- [11] Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification DC Report Service,
<https://qzss.go.jp/en/technical/download/pdf/ps-is-qzss/is-qzss-dcr-009.pdf?t=1641293678338>, (visited on 2022)
- [12] 嶋津恵子, 原田直樹, 真壁健二 他, 準天頂衛星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, 第 X 巻, 第 1 号, pp.2-4, Mar.2019.
- [13] 平岡 恵里 他, QZSS(準天頂衛星システム) を利用した災害急性期用通信システムの開発ーフィジー共和国の開発ーフィジー共和国向け災害急性期用通信システムの開発と実証検証ー, 電子情報通信学会, Jan.2022.

日本における創造性教育の必要性和今後の方向性

高嶋 晋治*

The necessity and the direction of education of creativity in Japan

Shinji Takashima*

Abstract

This paper shows the necessity and the direction of education of creativity in Japan. Education of creativity should be the basis of “Improvement for industrial competitiveness”. This purpose is advocated for in the Design Management Declaration that is issued by the Ministry of Economy, Trade and Industry of Japan. Additionally, education of creativity should aim to be a foundation for “Development of the qualities and abilities to create a new society”. This purpose is advocated for in the learning guidance for elementary, junior high and high schools that was revised in 2020 by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. Education of creativity should be provided to not only teenagers, but also their parents and teachers.

Keywords: Education of creativity, education for teenager in Japan, Competitiveness in industries, Capability of future development,

1 はじめに

経産省 特許庁が2018年5月に発出した“デザイン経営”宣言は、デザインの力をブランド構築やイノベーション創出に活用する経営手法とすることで、日本のイノベーションの牽引を提唱している。その目的は日本企業の産業競争力の向上であり、その背景には日本の産業界がクリエイティブ人材を渴望している状況にあることが見て取れる。

戦後の高度成長期における「ものづくり」分野において、日本製品は勤勉な国民性にも支えられ、日本独自の小型多機能の技術や商品を生み出し、廉価でありながら信頼性と品質が高いという評価を国内外で確立してきた。しかしバブル崩壊後は、アジアの技術や生産力の台頭で、日本の「ものづくり」領域での優位性を無くなっていった。また、デジタルや情報化社会の新分野でのイノベーションで遅れをとり、従来技術のコモディティ化が進む中、機能や品質や廉価だけでは差別化が困難となっていった。

高度成長期を支えた知識重視や受験制度を前提とした教育システムも、産業競争力を向上させるための“デザイン経営”宣言が期待する「クリエイティブ人材育成」の方向へと大きく転換の時期を迎えていると考える。

2020年の文部科学省の学習指導要領の改訂では、複雑で予測困難な社会にも対応でき、「人間ならではの」感性を活かし、新しい社会を創っていくような資質や能力の育成を提唱している。2020年に小学校、2021年に中学校、

2022年に高校と順次適応が始まり、その中ではSTEAM教育、アクティブラーニング、プロジェクト ベースド ラーニング (PBL) 教育など、思考を重視する教育手法が取り入れられている。また「デザインの活用」も、従来のモノの形や色を整える「狭義のデザイン」という捉え方から、モノを通して提供する体験や経験を含めた「広義のデザイン」へ広がり、さらには事業などの「経営のデザイン」へと世の中では広がりつつある。

そんな時代変化の中、これからの時代に日本の産業競争力の向上だけでなく、日常生活や社会全体が豊かになるためにも創造性が期待されるという前提に立ち、まず本稿では、日本における創造性がどのように捉えられているかの現状を考察し、これからの日本の創造性教育のあり方(方向性)について記す。

2 日本における創造性の捉えられ方

2.1 Z世代の創造性についての意識調査

2022年時点、生産人口の中で若手とされる10代後半から20代後半のZ世代(1995年～2008年生まれ)を対象にして2017年に実施された「創造性に対する意識調査」では、「自分を創造的」と回答したのは、米国が47%、オーストラリアが46%、ドイツが44%、英国が37%であった。欧米の若者は4割から5割近くが「自分を創造的」と捉えているのに対

Received on October 2, 2022

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

し、日本はわずか 8%という結果であった[1]。逆に「自分は創造的でない」と回答したのは上記4カ国が 11~19%と 2 割に満たない人しかいないのに対し、日本は 36%と倍の比率もいたことになる。

また「将来何かを作る仕事をしていると思う」と回答したのは、上記4カ国が 70~83%に対し、日本は 43%と役半分。「創造性が求められる仕事や職業はたくさんある」という問いには、上記4カ国が 73~77%に対して、日本は 31%と半分以下である。日本の Z 世代には、「創造性と仕事や職業との関連性がある」と捉えている人が欧米4カ国と比較して大幅に少ないということがわかる。

つまり、日本の Z 世代は、創造性が求められる仕事は一握りで、「創造的であることは特別な限られた人」の事であると考えている可能性が高いと言える。

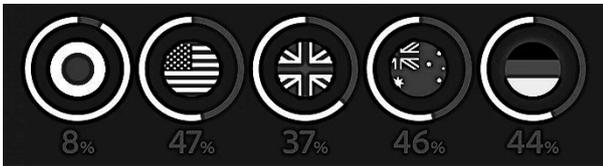


図1: 自分を「創造的」と思う生徒の割合 [1]

2.2 高校生の創造力についての意識調査

日本の高校生 1200 人を対象にした「創造力についての調査」では、「自分は創造力がないと思う」人の 63%が小学校高学年から中学生の間で自信を失っている。逆に「創造力があると思う」人の多くは小学校高学年から中学生の間で自信を得たと回答。創造力に自信をなくした時期は「中学生になってから」が 37%で最も多く、「小学校 4~6 年生頃」の 26%を含めると「自分は創造力がないと思う人」の 63%が小学校高学年から中学生の間に自信を失っていることがわかる。「最初は自信を持っていたのに途中で自信をなくしてしまった人」の中では、小学校高学年から中学生の間で自信を失った人が約 80%である。「創造力に自信を持った時期」は「中学生になってから」が 29%、「小学校 4~6 年生頃」の 28%を含めると、自分は創造力があると思う人の 57%が小学校高学年から中学生の間で自信を得ていることもわかる[2]。

以上のように、「小学校高学年から中学校」のタイミングが創造性を育むためには重要な時期であると言える。

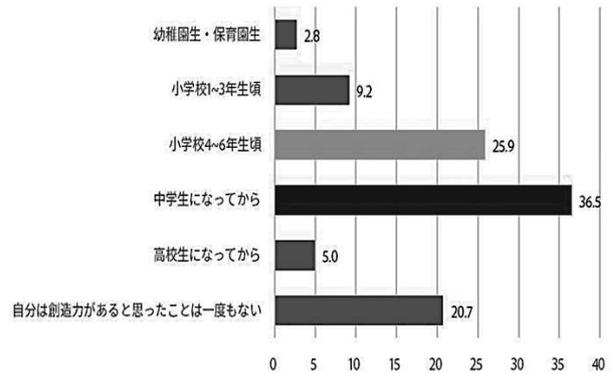


図2: 「創造力」を失った時期 (%) [2]

2.3 小学生、中学生の教科に対する意識調査

2020 年 8 月調査の小学生白書 WEB 版と中学生白書 WEB 版の小学生と中学生の好きな教科と嫌いな教科を見ると、小学生の好きな教科は第1位が算数で 24.6%，第2位が図画工作で 16.1%である。算数は嫌いな生徒も 23.0%いるのに対し、図画工作を嫌いな生徒は 2.8%しかいない[3]。つまり、図画工作は小学生には、かなり好意的に思われている教科であると言え、その要因には受験などに影響するテストの点数が意識されないカリキュラムで自由に創作ができる環境が考えられる。

しかし、中学生になると、好きな教科は数学が 22.7%，英語が 14.5%で上位2位となり、美術は 4.8%で第8位と後退し、嫌いな生徒の方が 5.0%と若干ではあるがポイントを上回る結果となり、魅力のない教科の仲間へと大きく変化していることがわかる[4]。これは受験に重要な5教科以外の教科ではあるが、テストによる点数をつけ易い知識重視の学習や絵の書き方などスキル重視のカリキュラムによる優劣評価になっていることが考えられる。

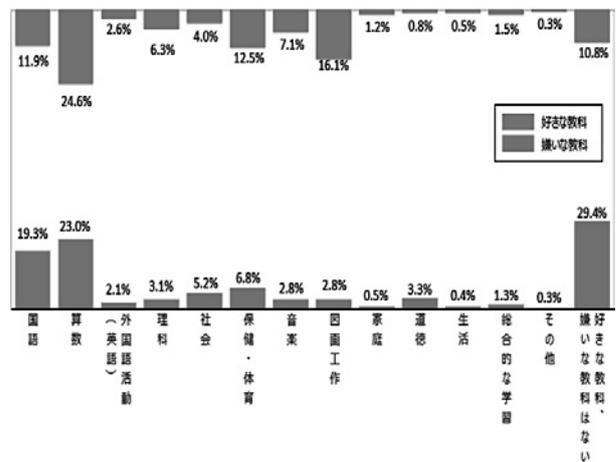


図3: 小学生

好きな教科(グラフ上), 嫌いな教科(グラフ下) [3]

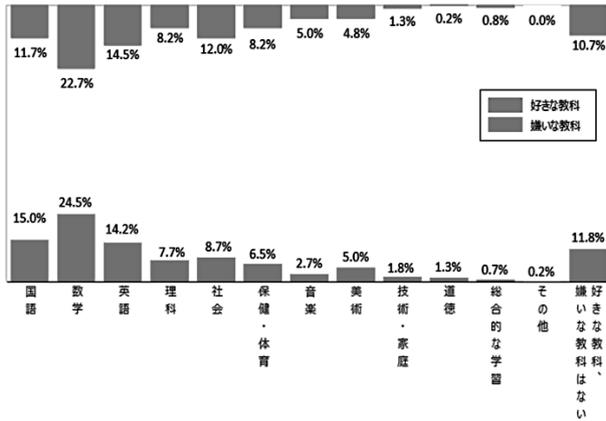


図4: 中学生
好きな教科(グラフ上), 嫌いな教科(グラフ下) [4]

2.4 保護者の教育に対する意識調査

「子どもの生活と学びに関する親子調査」[5]で小学生から高校生を持つ親への調査を見ると、2019年までは「いい大学に入れる成績」を望む親が6割を超えていた。しかし2020年にかけて、どの学年においても低下傾向が見られるようになってきた。また、学歴を重要視する考え方も年々低下傾向が見られる。

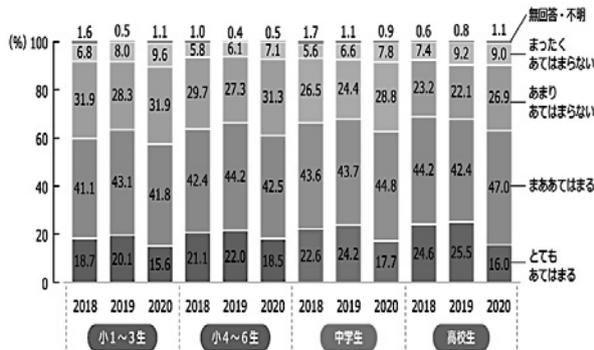


図5: 「いい大学に入れる成績を望む」親の割合 [5]

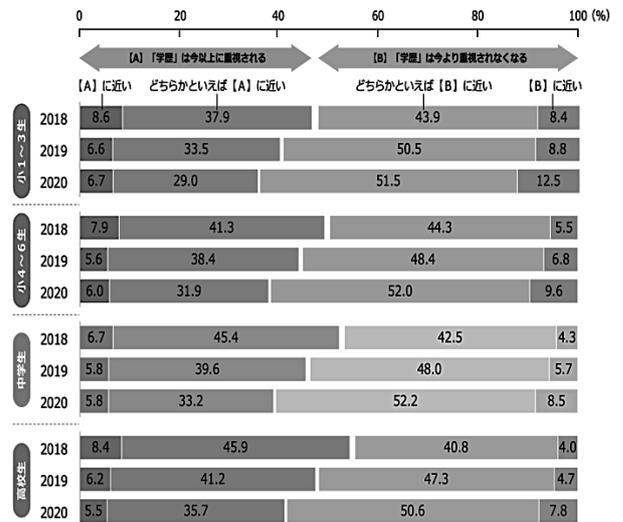


図6: 「学歴を重要視する」親の割合 [5]

社会の変化によって「就職で求められる人材」も変化してくると感じている親が増加している。これは自然災害や環境などの社会問題、そして世界の経済環境などで想定外、未曾有という言葉を目にしてきた人たちが、コロナ感染症に直面し、複雑で予測困難な時代に自らの子どもに本当に必要な学びは何かを考え直そうと始めた表れではないかと考えられる。

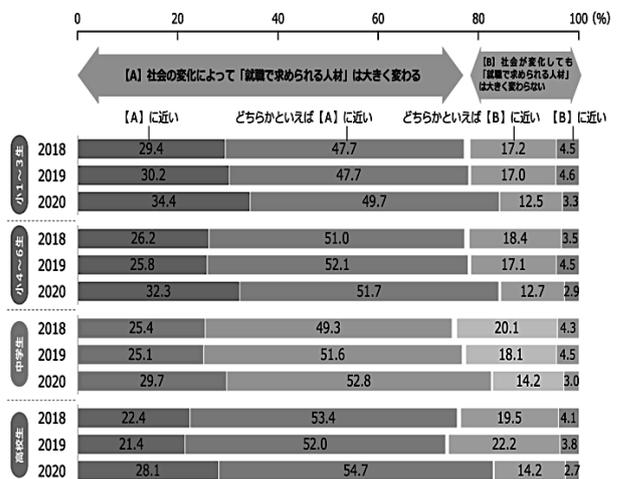


図7: 「就職で求められる人材」が変わると思う親の割合 [5]

また公益社団法人 自動車技術会の「キッズエンジニア」のデザインイベントに参加した子どもの保護者から「自分の子供が絵や工作が好きだが、この先どう学ばせて、どういう進路を薦めればいいのかわからない」「先生も知らないことが多い」という声を多く聞いた。そして創造性の捉え方は、限られた人にしかない才能が必要と考えていたり、アートやデザインなどは数居の高い才能系職業と考えられているのが一般的のよ

うであった。

受験準備を始める段階になると保護者の思い込みであるクリエイティブ関連の進路は選択肢から外されていき、受験科目以外に興味を持ち過ぎると「勉強しなさい」「食べていけないよ」という発言はよく耳にする事象である。

しかし創造性はクリエイティブ職業だけでなく、様々な業種で求められる資質や能力となっている。また近年は就職だけでなく起業を後押しする風潮も拡大していて、その表れが経産省のデザイン経営宣言や文科省の学習指導要領の改訂と言える。つまり産業界と保護者との間では創造性に対する捉え方や重要度にまだまだギャップがある状況だと言える。

そしてそのような創造性を持つ人材を義務教育の早い段階で潰し込んでしまわないためにも、保護者への正しい創造性の理解浸透は不可欠であると考ええる。

2.5 教育関係者の創造性に関する意識調査

2018年に日本の初等、中等、高等教育機関の教員と教育政策関係者を対象とした「学校現場における『創造的問題解決能力』育成に関する調査」で「生徒や学生が創造的問題解決を学校で学ぶことは重要である」と考える教員は93%、教育政策関係者が90%であった[6]。

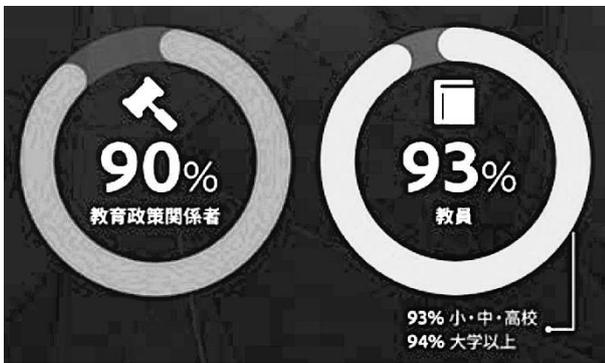


図8:「創造的問題解決」の学びが重要と考える教育関係者の割合[6]

現在の教育課程では「創造的問題解決能力の育成があまり重視されていない」と考える教員が49%、教育政策関係者が53%と約半数おり、その理由としては「時間の無さ」や「数値的評価が難しい」が挙げられている。「創造的問題解決能力の育成は教科横断的に導入すべき」と感じている教育政策関係者が63%、教員が74%と多数を占める。

しかし「創造的問題解決能力の育成が現在の学校のカリキュラムにおいて頻繁に使われている」と感じている教員は8%、教育政策関係者10%に過ぎないのが現実である。

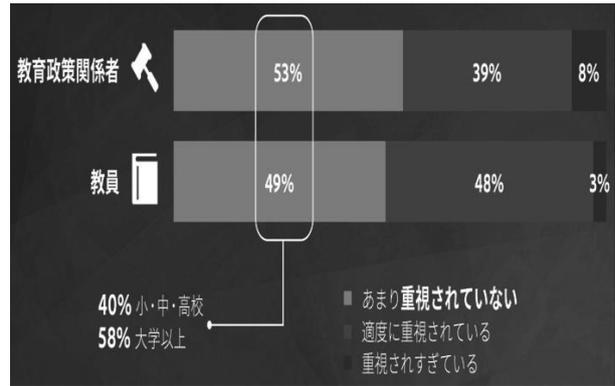


図9:「創造的問題解決能力」育成が現在は重視されていないと捉える教育関係者の割合[6]

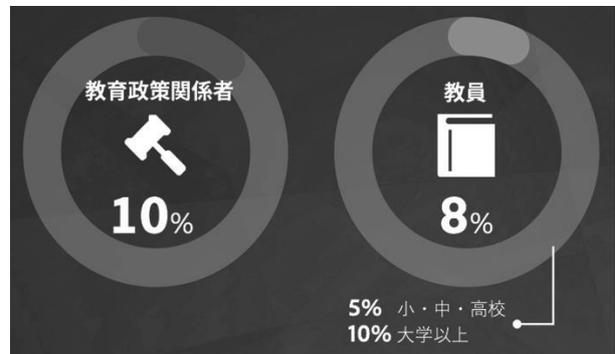


図10:現在の学校現場での「創造的問題解決力」育成の実施度合い[6]

創造的問題解決能力の育成を妨げる要因としては、「創造的に考える、行動する、制作するという時間がない」が72%、「教員に対するソフトウェアに関する研修の機会が不足している」が69%、「授業で使用できるソフトウェアの不足」「授業で使用できるハードウェア/機器類の不足」が67%であり、「時間の不足」「教員に対する研修の不足」「ツールへのアクセス不足」など教員がスキルを習得する環境がないことが浮き彫りとなっている。

「ツールや研修、知識習得の機会が十分でない」と感じている教員は、米国、英国、ドイツでは5割前後であるのに対し日本は7~8割と上回っていて、「授業で使えるソフトウェアやツールが全くない教員」割合は米国が3%、英国が5%、ドイツが15%に比べて日本は40%と圧倒的に高い状況にあり、日本の「教員のスキルアップ環境の悪さ」が明らかである。

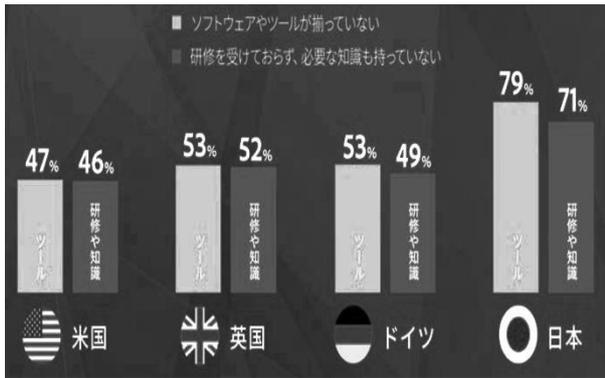


図 11: 「創造的問題解決力」育成の妨げの要因[6]

「創造的問題解決能力の育成を授業に取り入れる方法の検討が必要である」と考えている教員が 84%，教育政策関係者が 87%，「教育課程の改定の検討が必要である」と考える教員が 82%，教育政策関係者が 90%と、殆どの教育関係者が現状に対しての危機感を強く感じていると言える。

場作りのために影響力があると思うものは「学校や教育機関の経営陣」が 66%，「国」が 64%，「大学入試」が 48%，「都道府県」が 43%であり[6]，学校経営陣や国，都道府県による改革，大学入試制度の改革などを期待しており，教員をサポートする仕組みづくりも課題であると言える。

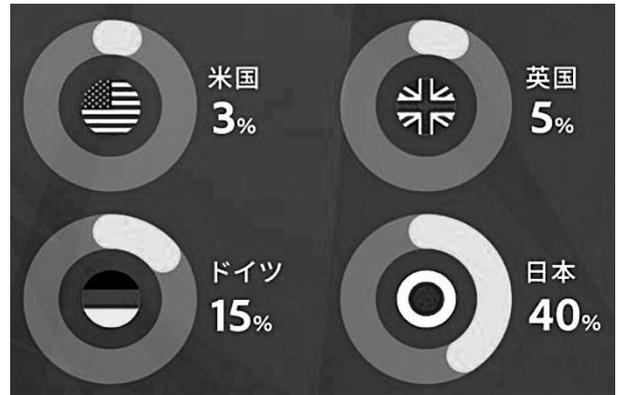


図 12 授業で使えるツールが全くない教員の割合

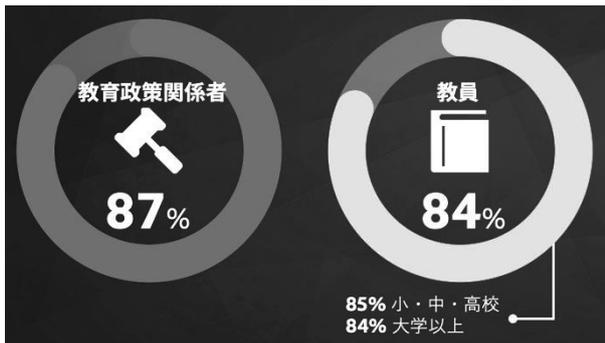


図 12: 「創造的問題解決能力」育成を授業に取り入れる必要があると考える教育関係者の割合[6]

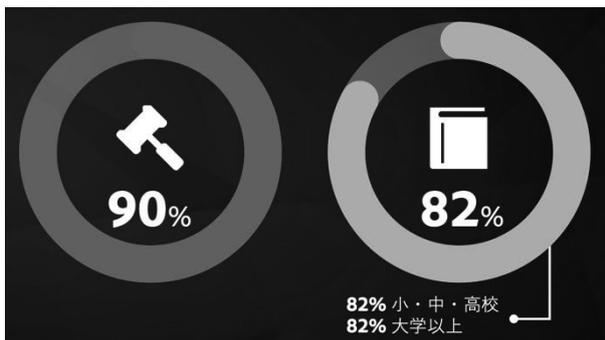


図 13: 教育課程改訂が必要と考える教育関係者の割合[6]

しかし、この背景には教員自身が「創造的問題解決」を経験してきていないことの表れであるとも読み取れる。自分も学んでいないものは教えることができないということではないのか。

現場の教員が創造的問題解決能力を育成できる学校現

3 創造性教育の課題と進め方の方向性(考え方)

課題は下記のように大きく3つに分類できる。それぞれの内容とその進め方の方向性を以下に述べる。

3.1 課題分類

① 育成の課題:「本人の感性と個性の自覚」

小学校高学年から中学生を対象に感性や個性を育むことを重点とした学場の提供の仕方。

② 振興の課題:保護者の創造性への正しい理解と、創造性教育の取り組みと保護者を結びつけ

- ・保護者に向けた創造性の必要性や有用性についての理解を浸透させるやり方。
- ・創造性教育の取り組みを教育対象者，保護者，教育関係者に伝え方。

③ 教育支援の課題:創造性教育指導者の支援

創造性教育の経験が充分でない教育関係者に対する支援のやり方。

3.2 ①育成の課題:本人の感性と個性の自覚

子どもの創造性を育むには小学高学年から中学生の時期が重要と考えられ、その時期にどのような導きやきっかけを提供できるかは創造性教育の根幹として重要である。

創造性の定義は「新しいものを創る」という捉え方が多く、子どもの自由な発想を活かしたプログラミング学習など、何かの制作を通して発想法を学ぶという「アウトプットに焦点」を当てたものが多い。イノベーションには自由な発想が必要で、そのためには多様な視点による考察や研究が大切とされる。そして多様な視点のためには、意志を持った多様な個性の存在が必要である。一人一人が自分なりに感じて自分の感性を自覚し、それが周りの人と違うこと認識して初めて個性の自覚になると考える。つまり自由な発想には、その前段階の感じるための「インプット手法に焦点」を当てることが最重要であり、それがあってこそ様々な発想法学習が活きてくるのではないかと考える。

3. 3 ②振興の課題:保護者の創造性への正しい理解, 課題 3. 2 の取り組みと保護者を結びつけ

学習指導要領の最初の対象となる小学生は、本人の意志により自身が教育進路を決めることは少なく、その保護者の影響を多く受けるのが一般的だと考えられる。そして親の視点としては、(彼らの思い違いである)創造性を身につけるよりも、いい大学から、いい就職先を見つけて、安定した生活をしてもらいたい、という気持ちの方が強い人が、減少傾向はあるものの、まだまだ大半であるのが現実である。

自動車技術会「キッズエンジニア」の催して同会のデザイン部門委員会として対応した際、参加した保護者から「自分の子どもは絵や工作が好きだが今後どのような学習や進路に進めば良いのかわからない」「先生に聞いても、先生もよく知らない」という声が多くあった。

また、自動車会社のデザイン部に採用されたデザイナーに「親や親戚など身近にデザイン系やアート系の仕事をしている人がいるか？」を質問すると、約 6 割の人が「はい」であり、クリエイティブな職業に就く人は、その道筋についての知識がある人が身近にいる可能性が高いことがわかる。これらは今までのデザインやアートなどのクリエイティブ系の進路について、情報が一般的に認知されていないことを表している。

更に最近では、モノの形や色を考えることがデザインだった時代から、サービスや仕組みなど考えるコトのデザインへの変化し、経営のデザインまでデザインの定義が広がっている状況であり、これらの背景にある創造性の必要性の理解はもっと一般的ではないと考えられる。これは保護者に限らず多くの社会一般の人も、それを認識している人は少ないことが推察され、企業などの経営層や経産省など産業界との認識とのズレがあるのが大きな問題だと言える。

デザイン系職業への進路情報は美大系を中心に現在もあるが、それ以外に多くの一般大学がデザインや創造技術と

いう名前の専攻を創設している時代からも、創造性は一部の特別な人の能力ではなく、これからは産業だけでなく社会全般で求められる、という理解を浸透させる必要がある。これにより創造性教育を必要と考える人の裾野を拡げることにもなり、クリエイティブ人材候補者が増えることにも繋がると考える。

3. 3 教育支援の課題:「創造性教育指導者の支援」

教員側も世代的には戦後の教育の中で育ってきて、優秀な大学や優秀な就職先を目指してきた人も多いためと考えられる。創造性教育の必要性を理解はするものの、どう教えるべきかの壁にぶち当たっているのが現状だと調査結果でも浮き彫りとなった。「自分は美術が2だったので、教え方のマニュアルが欲しい」という要求に応え、絵の描き方マニュアルが準備された事例も中学高校の美術教師のシンポジウムで紹介され、みんなに同じように高いレベルの絵を描かせることが果たして美術で学ぶべきことだろうか?という問題提起があった。感性や個性をどのように育めば良いのか、指導者の立場としても大きな課題であると言える。

創造性教育に触れる機会のなかった教員を支えるため大きな体制や制度変更の検討も急務ではあるが、出来上がるまでには十分な議論や検討を要すると推測できる。一方で現在、学習指導要領の改訂に添い美術系カリキュラムに他の教科を横断的に組み合わせた授業を学校内でトライされ始めている事例もある。また NPO 法人がプレイパークという枠組みの中で親が承諾した上で子どもが自己責任で自由な活動をし、それを経験のある大人(若者)が支援する仕組みが全国に広がりつつある。

これらの様に既に取り組まれている様々な創造性育成活動を経験が充分でない指導者側と有効に結びつける方法を考えていくことで社会での展開速度を上げられるのではないかと考える。

そして、これら 3 つの課題へ取り組みは、同時に構築してことが社会で実際に浸透するためには不可欠であると考えられる。

4 おわりに

今後のこのテーマの研究は、今までの演繹的課題解決手法でなく、複雑で先読みが困難な時代における創造的課題解決手法であるデザイン的思考のアプローチで進める考えである。

学校内の教育関係者、学校外で創造性教育的なアプローチをされている方々、小学生から中学生の保護者の方々、そして既にクリエイティブに仕事をされている方々に対し、一般社団法人 日本デザインマネジメント協会の協力を得てヒアリング調査を実施し、視野を広げた観察から本質的な課題

の抽出を行い、そこからありたい姿を構築し、その具現化手法をバックキャストして構築する。

また、研究成果は定期的に報告書としてまとめ、専用WEBサイトなどを積極的に活用し、子育て期世代の保護者や教育現場で苦勞される教員を中心に社会への発信を行い、共感してもらえる教育関係者との幅広い視点での意見交換やネットワーク構築のためシンポジウムの開催も考えていく計画である。

<http://cps-japan.adobeeducate.com/japan-study>

参考文献

- [1] アドビ システムズ 株式会社, 2017 Adobe Education Forum, 「Gen Z in the Classroom: Creating the Future(教室での Z 世代:未来を作る)」, 2017, (visited on 2021)(ウェブ参照)
<https://www.adobe.com/jp/news-room/news/201706/20170629-japan-gen-z.html>
- [2] アドビ システムズ 株式会社, 「日本の高校生に関する意識調査」, 2020, (visited on 2021)(ウェブ参照)
https://www.adobe.com/jp/news-room/news/202011/20201125_adobe-research-for-highschool-students-and-creativity.html
- [3] 学研教育総合研究所, 小学生白書 Web 版, 「好きな教科, 嫌いな教科」, 2020, (visited on 2021)(ウェブ参照)
<https://www.gakken.co.jp/kyouikusouken/whitepaper/202008/chapter8/01.html>
- [4] 学研教育総合研究所, 中学生白書 Web 版, 「好きな教科, 嫌いな教科」, 2020, (visited on 2021)(ウェブ参照)
<https://www.gakken.co.jp/kyouikusouken/whitepaper/j/202008/chapter8/01.html>
- [5] ベネッセ教育総合研究所, 東京大学社会科学研究所, 共同研究「子どもの生活と学びに関する親子調査2020」, 2020, (visited on 2021)(ウェブ参照)
<https://berd.benesse.jp/shotouchutou/research/detail1.php?id=5579>
- [6] アドビ システムズ 株式会社, 「学校現場における『創造的問題解決能力』育成に関する調査」, 2018,

認知症予防のための楽器演奏

田部 井 賢 一 *

Playing musical instruments for dementia prevention

Ken-ichi Tabei *

Abstract

No fundamental treatment has been developed for dementia other than so-called treatable dementia. In addition to pharmacotherapy with anti-dementia drugs that slow the progression of symptoms, non-drug therapies such as music therapy are widely used in the treatment of dementia. In music therapy, playing musical instruments is an important part of the program. However, there is little research on whether performance skills are maintained after the onset of dementia, or whether performance is effective in preventing or inhibiting the progression of dementia. In such a situation, accessible electronic musical instruments that do not depend on cognitive function or musical experience are expected.

Keywords: dementia, accessible digital musical instrument, cyber musical instrument with score, neuropsychological test, behavioral and psychological symptoms of dementia

1 はじめに

いわゆる治療可能な認知症以外の認知症に対して、根本治療の方法は開発されていない [1]. 認知症の治療には、症状の進行を遅らせる抗認知症薬による薬物療法に加え、音楽療法などの非薬物療法が広く用いられている [2-6]. 音楽療法において、楽器演奏は重要なプログラムの一つである。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。

2 楽器演奏と認知症

Cowles, et al. [7]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。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 は直後と 10 分後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, et al. [8]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。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、クラス内において他の生徒よりも優れていた。

Balbag, et al. [9]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, et al. [10]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。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は改善された。

3 電子楽器と認知症

Kondo, et al. [11]は、重度の vascular dementia

Received on October 2, 2022

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

(VaD)患者であっても、認知機能の低下により Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia (BPSD)が進行しても、アクセシブルな電子楽器を演奏し、積極的に音楽療法を継続することが可能であることを示唆した。本稿では、以下に詳細を述べる。

音楽療法における楽器演奏は、運動機能と認知機能を同時に関与させる [12]。このマルチモーダルな介入のため、認知症の音楽療法ではしばしば楽器が使用される [10, 13-19]。

健常高齢者や軽度認知障害者 (MCI)では、ほとんどの介入でピアノが使われるが [20, 21]、認知症では打楽器が主な楽器となる [8, 16]。音楽にはリズムの他にメロディーやハーモニーの要素がある。認知機能の低下により、旋律や和声の要素を演奏できなくなることは非常に不利である。このデメリットを補うのが、アクセシブルな電子楽器である。現在の音楽技術の進歩は、カスタマイズされたアクセシブルな電子楽器の作成を可能にし、近年、音楽療法における音楽技術の利用が注目されている [22]。Han, et al. [23]は、アクセシブルな電子楽器を用いた認知的介入の MCI への効果を評価することを目的とした。この前向き研究では、MCI 患者 24 名 (介入群, 12 名, 対照群, 12 名)が登録された。介入群には、楽器を搭載した電子機器と歌による認知刺激療法プロトコルを開発した。介入群では、10 週間の介入後、Mini-Mental State Examination (MMSE)および Montreal Cognitive Assessment (MoCA)のスコアが有意に改善された。

アクセシブルな電子楽器は対象者の認知機能を考慮できるにもかかわらず、先行研究は MCI 患者を対象としており、中等度から重度の認知症や認知症の BPSD が増悪した認知症患者がこのような方法を使えるかどうかは不明である。そこで、すでに脳性麻痺患者の音楽療法に使用されているアクセシブルな電子楽器 Cymis (cyber musical instrument with score) [24]を重度認知症患者に使用してもらい、認知機能低下時や BPSD 悪化時に演奏可能かどうかを評価した。

重度の血管性認知症 (VaD)患者において、1年半の間に認知機能が低下し BPSD が進行しても、アクセシブルな電子楽器を演奏し、能動的な音楽療法を継続できた事例を報告する。

3.1 患者情報

A は 80 代の右利きの日本人女性である。幼少の頃から書道と琴を習い、アパレルメーカーで OL として働いていた。結婚して一男一女になった。X 年に大腸がんと子宮がんの手術を受け、X+9 年に脳梗塞で倒れた。X+11 年に夫を亡くし、一人暮らしとなった。X+16 年に血管性認知症と診断され、長男が週末に泊まり込んで介護をした。A は、週

5 回のデイケアと週 5 回の朝夕の介護ヘルパーを利用した。X+18 年 10 月、肺炎の疑いで入院し、心不全の診断と合わせて一人暮らしが難しくなり、同年 11 月、B 介護老人保健施設に入所した。入所当時は心臓病を患っており、高血圧の薬物治療を受けていた。長谷川式認知症スケール改訂版で 7 点、点数は時間見当識 0 点、場所見当識 1 点、単語認識 3 点、物体認識 3 点であった。元々温厚な性格であったが、入院時には自宅に帰りたいという気持ちが強く、破壊的な行動が見られ、X+19 年 9 月以降、不安、不穏、不眠、興奮、帰宅願望、介護拒否が強くなっていった。集団音楽療法に数回参加したが、積極的な参加はなかった。日中、A はほとんど眠って過ごし、他者との交流はなかった。午後には不安から泣いたり、手を叩いて注意を引こうとするなど、BPSD が強くなった。本研究は X+20 年 1 月に開始し、X+21 年 7 月まで継続した。入院時、A の MMSE は 8 点、NPI (Neuropsychiatric Inventory)は 20 点であった。介護士は A の BPSD の状態を評価した。検査はすべて B 老人保健施設で行った。

3.2 音楽療法介入

神経心理学的検査 MMSE [25]と NPI [26]を用いて評価を行った。MMSE は知的機能の定量化に用いられ、NPI は認知症患者に生じる 10 の行動障害 (妄想, 幻覚, 興奮, うつ, 不安, 多幸, 無為, 脱抑制, 易刺激性, 異常行動)を評価するために使用された。NPI はスクリーニング戦略により、スクリーニング質問に回答があった行動領域のみを調べ、採点することで時間を最小化した。各行動の頻度と重症度が判定された。NPI に必要な情報は、患者の行動をよく知る介護者から得た。神経心理学的検査は介入前と、介入後 6, 12, 18 ヶ月目に実施し、結果を比較した。

音楽療法の個人セッションは、週 2 回、夕方に 1 回 15 分、18 ヶ月にわたって行われた。楽器演奏には、プログラムされた楽譜を内蔵し、タッチパネルとスイッチで演奏するアクセシブルな電子楽器 Cymis [24]を使用した。Cymis の技術的な新規性は、感覚的な体験を重視したヒューマンインターフェース装置にあり、楽譜情報とプログラムを内蔵していることが特徴である。本システムは、モニターディスプレイ、パソコン、音源、スピーカー、ヒューマンインターフェイス機器 (指の動き検出用イメージセンサー、タッチパネルなど)で構成されるコンピュータ楽器システムである。バリアフリーで楽譜が理解でき、初心者でも簡単にメロディー、リズム、ハーモニーからなる音楽を奏することができる電子楽器である。A は不安な気持ちを抱えていることが多かったため、不安を和らげるために短調の曲である「荒城の月」を使用した。「荒城の月」は A にとって馴染みのあるメロディーで、1 拍ごとに 4 分音符が並び、リズムも一定なので、指の動きを検出するイメージセンサーとタッチパネルを使えば、Cymis で簡単に演

奏することができた。

3.3 フォローアップ期間と結果

認知機能は介入前に比べさらに低下し、1年後のMMSEスコアは4 ($p=0.388$)、BPSDは1年後のNPIスコアが54 ($p<0.001$)でピークに達した。1年半後のAのMMSE得点は0点 ($p<0.001$)、NPI得点は16点 ($p=0.617$)であったが、無為のみ残存していた(表1)。

認知機能・行動障害があるにもかかわらず、1年半にわたり週2回、1回15分のCymisの演奏を継続した。音楽療法中、AはCymisを演奏することができ、落ち着かないときでも演奏に集中することができた。演奏後、Aは達成感と楽器への親しみを示した。音楽療法士からは、正確さ、リズム、テンポの面で高度な技術を持つ優秀な奏者であると評価された。

表1: MMSEスコアとNPIスコア

	介入前	介入 1年後	介入 1年半後
MMSE	8	4	0
NPI	22	54	16

3.4 考察

アクセシブルな電子楽器は対象者の認知機能を考慮できるにもかかわらず、先行研究 [23]はMCIを対象としており、中等度から重度の認知症やBPSDが悪化した認知症の方がこれらの楽器を使用できるかどうかは不明であった。本研究の場合、VaD患者は1年半の音楽療法期間中、Cymisを演奏することが可能であった。その後、参加者の認知機能がさらに低下し、BPSDもピークに達し、無為のみとなった。このような変化にもかかわらず、音楽療法中、患者はアクセシブルな電子楽器を演奏することができ、演奏に集中することができた。これらの結果は、重度VaD患者が認知機能の低下に伴いBPSDが進行しても、アクセシブルな電子楽器を演奏し、能動的な音楽療法を継続できることを示唆している。

認知機能の低下に伴うBPSDの増悪と、能動的音楽療法に重要な役割を果たす楽器演奏能力の関係については、未だ不明な点が多い。本研究では、アクセシブルな電子楽器を用いた長期間の個人音楽療法により、本人が落ち着かないときでも楽器の演奏ができ、演奏に集中できた事例を報告した。プログラムされた楽譜が内蔵されたCymisを、タッチパネルとスイッチで演奏する。音楽療法は、患者さんに達成感と親しみを与えた。

本研究の患者は、VaDの後期に初めてアクセシブルな電子楽器の演奏を習得し、認知機能の低下に伴うBPSDが進

行しても演奏を継続した。これらの結果は、VaDの後期であっても、新たにアクセシブルな電子楽器の演奏を習得することが可能であることを示唆している。これまでの症例報告では、認知症患者が楽器を巧みに演奏し続けた例がいくつか報告されているが、これらの患者は病前がプロの音楽家であり、認知症と診断された後も音楽能力が保たれていた [27-29]。一方、AはVaDと診断されるまで、箏以外の楽器を演奏したことがなかった。このように、専門的な音楽教育を受けていないにもかかわらず、VaDの後期にアクセシブルな電子楽器を新たに演奏することができた。これにはいくつかの理由が考えられた。まず、楽器を演奏するためには、BPSDに不可欠な神経回路とは異なる神経回路が必要である。最大23の脳構造がBPSD発症リスクの上昇と関連しており [30]、その中でも前頭葉である前頭回、前帯状皮質、眼窩回の容積は最も強力に予測する因子であった [30]。前頭葉の障害によりBPSDが悪化しても、後述するように運動機能や視空間機能が比較的保たれていれば、楽器の演奏が可能である場合がある。第二に、アクセシブルな電子楽器の演奏方法を学ぶには、運動技能が必要な場合があるが、これは記憶の手続き的、非宣言的形態に起因すると考えられる [31, 32]。非宣言的記憶には、音楽演奏に関わる知覚や運動能力など、さまざまな形態の学習・記憶能力が含まれる。手続き的記憶には、大脳基底核、小脳、補足運動領域が集団的な役割を担っている [33, 34]。これらの領域は一般にVaDの影響を受けないため、Aは楽器演奏に必要な手続き的記憶能力を獲得・維持していた可能性がある。第三に、楽譜を読むためには視知覚能力が必要である [28]。VaDの場合、後頭葉の障害が少ないため、視覚構成能力が保たれていることが多く [35]、このことがAがCymisで楽譜を読み、演奏することを可能にしている可能性がある。VaDは大脳の患部の位置によって視空間障害や運動障害とともに失語症を伴い、脳血流不足により症状が日々変動する傾向がある [35]。しかし、本研究の患者のように、楽器の演奏が可能である場合もある。そのため、介入前に保存されている機能を評価し、その人に合った介入を行う必要がある [36]。

本研究の結果から、BPSDの悪化が続いても、楽器演奏の機能が比較的保たれていれば、音楽療法でアクセシブルな電子楽器を演奏することが可能であり、認知症後期でも能動的な音楽療法を継続することが可能であることが示された。

4 おわりに

結論として、Kondo, et al. [11]は、後期VaD患者が、認知機能低下に伴うBPSDの進行にもかかわらず、新たにアクセシブルな電子楽器の演奏を習得し、演奏を継続することが可能であることを示した。これは、VaD患者における音楽

療法および音楽を用いた認知リハビリテーションの活用に示唆を与えるものであると考えられる。

本稿は日本音楽心理学音楽療法懇話会 2022 年度講習会のレジュメ、並びに Kondo, et al. [11]に改変を加えたものである。

参考文献

- [1] P. Mecocci and V. Boccardi, "The impact of aging in dementia: It is time to refocus attention on the main risk factor of dementia," *Ageing Res Rev*, vol. 65, p. 101210, Jan 2021.
- [2] Y. Zhang, J. Cai, L. An, F. Hui, T. Ren, H. Ma, and Q. Zhao, "Does music therapy enhance behavioral and cognitive function in elderly dementia patients? A systematic review and meta-analysis," *Ageing Res Rev*, vol. 35, pp. 1-11, May 2017.
- [3] J. L. Dorris, S. Neely, L. Terhorst, H. M. VonVille, and J. Rodakowski, "Effects of music participation for mild cognitive impairment and dementia: A systematic review and meta-analysis," *J Am Geriatr Soc*, May 18 2021.
- [4] C. Moreno-Morales, R. Calero, P. Moreno-Morales, and C. Pintado, "Music Therapy in the Treatment of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Front Med (Lausanne)*, vol. 7, p. 160, 2020.
- [5] J. T. van der Steen, H. J. Smaling, J. C. van der Wouden, M. S. Bruinsma, R. J. Scholten, and A. C. Vink, "Music-based therapeutic interventions for people with dementia," *Cochrane Database Syst Rev*, vol. 7, p. CD003477, Jul 23 2018.
- [6] K. K. F. Tsoi, J. Y. C. Chan, Y. M. Ng, M. M. Y. Lee, T. C. Y. Kwok, and S. Y. S. Wong, "Receptive Music Therapy Is More Effective than Interactive Music Therapy to Relieve Behavioral and Psychological Symptoms of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis," *J Am Med Dir Assoc*, vol. 19, no. 7, pp. 568-576 e563, Jul 2018.
- [7] A. Cowles, W. W. Beatty, S. J. Nixon, L. J. Lutz, J. Paulk, K. Paulk, and E. D. Ross, "Musical skill in dementia: a violinist presumed to have Alzheimer's disease learns to play a new song," *Neurocase*, vol. 9, no. 6, pp. 493-503, Dec 2003.
- [8] H. Cho, J. Chin, M. K. Suh, H. J. Kim, Y. J. Kim, B. S. Ye, N. K. Lee, E. J. Kim, S. W. Seo, and D. L. Na, "Postmorbid learning of saxophone playing in a patient with frontotemporal dementia," *Neurocase*, vol. 21, no. 6, pp. 767-772, 2015.
- [9] M. A. Balbag, N. L. Pedersen, and M. Gatz, "Playing a Musical Instrument as a Protective Factor against Dementia and Cognitive Impairment: A Population-Based Twin Study," *Int J Alzheimers Dis*, vol. 2014, p. 836748, 2014.
- [10] T. Doi, J. Verghese, H. Makizako, K. Tsutsumimoto, R. Hotta, S. Nakakubo, T. Suzuki, and H. Shimada, "Effects of Cognitive Leisure Activity on Cognition in Mild Cognitive Impairment: Results of a Randomized Controlled Trial," *J Am Med Dir Assoc*, vol. 18, no. 8, pp. 686-691, Aug 1 2017.
- [11] E. Kondo, K. I. Tabei, R. Okuno, and K. Akazawa, "Case Report: Accessible Digital Musical Instrument Can Be Used for Active Music Therapy in a Person With Severe Dementia and Worsening Behavioral and Psychological Symptoms: A Case Study Over a Year and a Half," *Front Neurol*, vol. 13, p. 831523, 2022.
- [12] S. J. Kim and G. E. Yoo, "Instrument Playing as a Cognitive Intervention Task for Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis," *Front Psychol*, vol. 10, p. 151, 2019.
- [13] M. N. Liu, Y. J. Liou, W. C. Wang, K. C. Su, H. L. Yeh, C. I. Lau, L. Y. Hu, S. J. Tsai, and H. Y. Chen, "Group Music Intervention Using Percussion Instruments to Reduce Anxiety Among Elderly Male Veterans with Alzheimer Disease," *Med Sci Monit*, vol. 27, p. e928714, Feb 21 2021.
- [14] S. J. Kim, S. R. Cho, and G. E. Yoo, "Age-Related Changes in Bimanual Instrument Playing with Rhythmic Cueing," *Front Psychol*, vol. 8, p. 1569, 2017.
- [15] H. C. Sung, W. L. Lee, T. L. Li, and R. Watson, "A group music intervention using percussion instruments with familiar music to reduce anxiety and agitation of institutionalized older adults with dementia," *Int J Geriatr Psychiatry*, vol. 27, no. 6, pp. 621-627, Jun 2012.
- [16] Y. L. Chen and Y. C. Pei, "Musical dual-task training in patients with mild-to-moderate dementia: a randomized controlled trial," *Neuropsychiatr Dis Treat*, vol. 14, pp. 1381-1393, 2018.
- [17] H. Chu, C. Y. Yang, Y. Lin, K. L. Ou, T. Y. Lee, A.

- P. O'Brien, and K. R. Chou, "The impact of group music therapy on depression and cognition in elderly persons with dementia: a randomized controlled study," *Biol Res Nurs*, vol. 16, no. 2, pp. 209-217, Apr 2014.
- [18] N. Shimizu, T. Umemura, M. Matsunaga, and T. Hirai, "Effects of movement music therapy with a percussion instrument on physical and frontal lobe function in older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial," *Aging Ment Health*, vol. 22, no. 12, pp. 1614-1626, Dec 2018.
- [19] W. L. Magee, I. Clark, J. Tamplin, and J. Bradt, "Music interventions for acquired brain injury," *Cochrane Database Syst Rev*, vol. 1, p. CD006787, Jan 20 2017.
- [20] S. Seinfeld, H. Figueroa, J. Ortiz-Gil, and M. V. Sanchez-Vives, "Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults," *Front Psychol*, vol. 4, p. 810, 2013.
- [21] J. A. Bugos, W. M. Perlstein, C. S. McCrae, T. S. Brophy, and P. H. Bedenbaugh, "Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults," *Aging Ment Health*, vol. 11, no. 4, pp. 464-471, Jul 2007.
- [22] E. Frid, "Accessible Digital Musical Instruments—A Review of Musical Interfaces in Inclusive Music Practice," *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 3, no. 3, 2019.
- [23] E. Han, J. Park, H. Kim, G. Jo, H. K. Do, and B. I. Lee, "Cognitive Intervention with Musical Stimuli Using Digital Devices on Mild Cognitive Impairment: A Pilot Study," *Healthcare (Basel)*, vol. 8, no. 1, Feb 25 2020.
- [24] K. Akazawa, T. Ichinose, K. Matsumoto, M. Ichie, T. Masuko, and R. Okuno, "Novel Electronic Musical Instrument with Pre-Programmed Score for the Disabled to Enjoy Playing Music," *Advanced Biomedical Engineering*, vol. 6, no. 0, pp. 1-7, 2017.
- [25] M. F. Folstein, S. E. Folstein, and P. R. McHugh, "'Mini-mental state'. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician," *J Psychiatr Res*, vol. 12, no. 3, pp. 189-198, Nov 1975.
- [26] J. L. Cummings, M. Mega, K. Gray, S. Rosenberg-Thompson, D. A. Carusi, and J. Gornbein, "The Neuropsychiatric Inventory: comprehensive assessment of psychopathology in dementia," *Neurology*, vol. 44, no. 12, pp. 2308-2314, Dec 1994.
- [27] J. C. Hailstone, R. Omar, and J. D. Warren, "Relatively preserved knowledge of music in semantic dementia," *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, vol. 80, no. 7, pp. 808-809, Jul 2009.
- [28] B. L. Miller, K. Boone, J. L. Cummings, S. L. Read, and F. Mishkin, "Functional correlates of musical and visual ability in frontotemporal dementia," *Br J Psychiatry*, vol. 176, pp. 458-463, May 2000.
- [29] J. Weinstein, P. Koenig, D. Gunawardena, C. McMillan, M. Bonner, and M. Grossman, "Preserved musical semantic memory in semantic dementia," *Arch Neurol*, vol. 68, no. 2, pp. 248-250, Feb 2011.
- [30] N. Boublay, R. Bouet, J. M. Dorey, C. Padovan, Z. Makaroff, D. Federico, I. Gallice, M. O. Barrellon, P. Robert, O. Moreaud, I. Rouch, P. Krolak-Salmon, and I. Alzheimer's Disease Neuroimaging, "Brain Volume Predicts Behavioral and Psychological Symptoms in Alzheimer's Disease," *J Alzheimers Dis*, vol. 73, no. 4, pp. 1343-1353, 2020.
- [31] H. A. Crystal, E. Grober, and D. Masur, "Preservation of musical memory in Alzheimer's disease," *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, vol. 52, no. 12, pp. 1415-1416, Dec 1989.
- [32] M. Polk and A. Kertesz, "Music and language in degenerative disease of the brain," *Brain Cogn*, vol. 22, no. 1, pp. 98-117, May 1993.
- [33] S. M. Daselaar, S. A. Rombouts, D. J. Veltman, J. G. Raaijmakers, and C. Jonker, "Similar network activated by young and old adults during the acquisition of a motor sequence," *Neurobiol Aging*, vol. 24, no. 7, pp. 1013-1019, Nov 2003.
- [34] C. Exner, J. Koschack, and E. Irlle, "The differential role of premotor frontal cortex and basal ganglia in motor sequence learning: evidence from focal basal ganglia lesions," *Learn Mem*, vol. 9, no. 6, pp. 376-386, Nov-Dec 2002.
- [35] J. T. O'Brien and A. Thomas, "Vascular dementia," *Lancet*, vol. 386, no. 10004, pp. 1698-1706, Oct 24 2015.
- [36] K. I. Tabei, M. Satoh, J. I. Ogawa, T. Tokita, N.

Nakaguchi, K. Nakao, H. Kida, and H. Tomimoto, "Cognitive Function and Brain Atrophy Predict Non-pharmacological Efficacy in Dementia: The Mihama-Kiho Scan Project2," *Front Aging Neurosci*, vol. 10, p. 87, 2018.

医薬品研究開発で確立された薬物送達技術

牧野 千里*

Drug delivery technologies established in pharmaceutical research and development

Chisato Makino*

Abstract

Various types of drug delivery technologies are summarized in this article established in pharmaceutical research and development. These technologies/ideas described here have been utilized not only in pharmaceutical drug product development, but also in regenerative medicine research, cosmetics development, and food development. They are expected to be applied to other fields, and to contribute to national/regional industrial promotions in the future.

Keywords: drug delivery technology, pharmaceutical drug product development

1 はじめに

人がある疾患にかかった場合、あるいは怪我をした場合、通常、医薬品を用いて医療者により医療行為が行われる。医薬品の研究開発には10年以上の歳月、数百億円にも及ぶ莫大な研究開発費用が費やされる一方、医薬品上市成功確率は1/20000以下と見積もられている[1]。このようにして研究開発、上市された医薬品により、一部の患者の生活の質が向上したことは紛れもない事実であろう。しかし現時点において、全ての患者に必要な医薬品が存在するわけではない。従って、現在においても多くの産学研究機関によって、絶え間ない努力が行われている。基盤研究、研究開発、臨床開発、生産、販売まで手がける製薬企業では、上述のように研究開発に莫大な研究開発費用が投資され、また、生物、化学、農学、医学/獣医学、薬学、工学研究者の協働で、また大学研究機関も含めて研究開発が進められることが多い。その結果、研究開発活動で創出される学術的研究成果は多分野にわたり、件数も非常に多い。これらの成果を、1製薬企業の中で、あるいは医薬品研究開発の分野だけで留めるのではなく、他の研究分野に共有/分散していくことにより、国あるいは地域の産業振興に貢献できると思われる。

上述の成果の一つとして薬物送達技術もしくはDDS (Drug Delivery System)が挙げられる。薬物送達技術とは医薬品設計技術の一分野であり、薬理効果を持つ成分を必要な部位へ、必要な量を、適切な時間に送達させる技術のことである。治療効果の向上、副作用リスクの低減が目的で研究開発が行われてきた。昨今の新型コロナウイルス感染症 (COVID-19)で度々取り上げられた抗体、核酸を代表するバ

イオ医薬に関する記事[2]、医療ビッグデータを活用した医療機器に関する記事[3]、等に比較すると件数は少ないものの、全国紙においても薬物送達技術に関する記事が取り上げられることがあり[4]、この言葉をご存知の方も多いのではないかと思われる。薬物送達技術は、産学が患者ニーズ、医療現場ニーズを丁寧に汲み取りながら、創出された技術である。後述のようにこれら技術を用いて医薬品が上市されたことにより、様々な持続的イノベーション (Sustaining Innovation) [5]が起きてきたと想像される。

”専門知識と体系化されたノウハウを活用して、新たな価値を創造し、産業の活性化に資する意欲と能力を持つ高度専門技術者の育成”を目的としており、かつ多様なものづくり/ことづくり人材が集まる本学において[6]、薬物送達技術概要を紀要にて解説することは、非常に有意義であるに違いないと考えた。本稿では、薬物送達技術について解説を行うとともに、今後の展望について簡単に触れたい。

2 医薬品

2.1 医薬品とは

医薬品は「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」第2条第1項第一号から第三号に、以下のように定義されている[7]。

- (1) 日本薬局方[8]に収められているもの
- (2) 人又は動物の疾病の診断、治療又は予防に使用されることが目的とされている物であつて、機械器具でないもの(医薬部外品及び再生医療等製品を除く)
- (3) 人又は動物の身体の構造又は機能に影響を及ぼすこ

Received on October 2, 2022

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

とが目的とされている物であって、機械器具等でないもの(医薬部外品、化粧品及び再生医療等製品を除く)より具体的には、原薬、製剤を指す。原薬とは有効成分である。製剤は原薬と薬理活性を持たない副原料から成り、原薬の有効性、安全性を損なわないように、原薬の物理化学的特性を考慮し、使用目的に最適に加工されたものである[8-9]。原薬の効果を最大限に活かせるように工夫が施される場合もある。また製剤に複数種の原薬が含まれる場合がある。

医薬品の表現方法として、薬、薬理成分、薬効成分、薬剤、原薬、原体、原末、製剤、など様々であるが、本稿では、医療の現場で患者に用いられる際の形態を製剤とし、製剤に含まれる有効成分を原薬と称することとする。原薬そのものが薬理効果を持つ場合もあるし、原薬が化学的に分解して生じた化合物に薬理効果を持つ場合もある。なお化合物とは2種以上の元素が化学結合で結びついた分子を指す。

2.2 投与経路、製剤の種類

製剤は投与経路が定められており、経口投与、静脈内注射、経皮、経鼻、経肺、経直腸、経膣等がある[8]。

日本薬局方の分類では、製剤の剤形としては、経口投与の場合、錠剤、カプセル剤、顆粒剤、散剤、液剤、等が、静脈内注射投与の場合、注射剤(溶液、懸濁液、乳濁液、用時溶解の無菌固形製剤、に分類されている)、輸液剤、埋め込み注射剤、持続性注射剤、リポソーム(後述)注射剤、等が、経皮投与の場合、貼付剤、テープ剤、パップ剤、等がある[8]。

2.3 医薬品を服用して効果が出るまで

一般的に、患者が医薬品である製剤を服用(飲む、注射する、貼る、塗る、等)した後、製剤から原薬が放出され、標的の組織(部位)に原薬分子が到達することにより、薬理効果が発現する。

特に工夫を施さない静脈注射剤の場合、注射後、血流にのり全身に原薬分子が拡散する。原薬の性質により、体内の分布は変化する。原薬が標的組織に到達した際、薬理効果を発現する[10]。

経口剤の場合、製剤は口から食道を経て胃、腸へ移行する。消化管内で原薬が放出され溶解し、消化管粘膜より原薬分子は吸収されて血液中に入る。血管を通じて標的組織へ到達、薬理効果を発現する[10]。薬物療法において最も汎用されている方法であり、注射剤に比較し簡便かつ安全な投与方法である。

経皮吸収剤では局所的な治療効果を目的としたもの、全身性の効果を目的としたものがある。後者の場合、溶解した原薬が皮膚を透過し、血管を通じて標的組織へ到達、薬理効果を

発現する[10]。

原薬が体内に吸収される指標として生物学的利用能というパラメータがある。生物学的利用能とは、原薬分子が消化管粘膜や皮膚を透過した後、血流に入り、作用部位に到達する程度および割合のことを示す[10]。医薬品研究開発、特に経口投与製剤開発では、血流に到達する程度を生物学的利用能として定義し、製剤設計評価指標とすることが多い。一方、静脈注射製剤開発の場合は、標的組織に原薬が到達する程度とすることが多い[10]。

2.4 原薬の効果を最大限に活かせるような工夫

2.1における、“原薬の効果を最大限に活かせるような工夫”の例として挙げられるのが薬物送達技術である。原薬あるいは薬理効果を持つ化合物を、必要な部位へ、必要な量を、適切な時間に送達させる技術である。原薬設計技術、製剤設計技術(処方設計(副原料量、種の設計)技術、製剤製造技術)等に分類できる。主に、治療効果を高めたり、生物学的利用能改善による副作用発現リスクの低減が目的である[9]。

3 薬物送達技術

表1に薬物送達技術を機能毎に分類したものを示した。実用化例については、全てを掲載するのは困難であるので、代表例を選択してある。

3.1 標的指向型

本技術は静脈内注射用製剤に対する検討例が多い。前述の様に特に工夫を施さない注射剤を静脈内注射した場合、全身に原薬分子が拡散し、原薬によっては意図しない特定の臓器に集積する場合もある。毒性の高い原薬の場合、疾患部位のみならず正常な組織にも影響を与える場合があり、これによって生じる副作用を回避する必要があった。また、タンパク質性原薬などは血流内ですぐに分解してしまうため、十分な薬効が発現しない場合もあった。これらの課題を解決するために、様々な研究が行われてきた[9, 11]。

3.1.1 能動的

抗体薬物複合体とは、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の治療薬として話題となった“抗体”(COVID-19治療の場合、ロナプリーブ(R)注射液セット300,1332がある[12])を活用した薬物送達技術である。抗体とは、特定の異物にある抗原に特異的に結合して、その異物を体内から除去するタンパク質である。ロナプリーブ(R)注射液セットの場合、カシリビマブ(遺伝子組換え)、イムデビマブ(遺伝子組換え)、2種類の抗体が原薬として含まれている。この製剤を点滴静注することにより、重症急性呼吸器症候群コロナウイルス2型(SARS-CoV-

2)のスパイク糖タンパク質にこれら抗体が特異的に結合する[12].

抗体薬物複合体では標的部位に特異的に結合できる抗体と薬理効果のある化合物を化学的に結合させており、静脈注射時、効率的に標的部位に集積する。表 1 に記載されるカドサイラ(R)は、HER2(Human Epidermal Growth Factor Receptor Type 2:ヒト上皮増殖因子受容体 2 型)を標的とする抗 HER2 ヒトモノクローナル抗体(トランスツマブ(遺伝子組み換え))とチューブリン重合阻害作用を有する DM1(メイトンシン誘導体)を化学的に結合したものである。トランスツマブ(遺伝子組み換え)は腫瘍細胞に結合し、単体で排除効果が確認されている。抗体薬物複合体としてDM1も腫瘍細胞に送達することにより、DM1 のもつ有害反応を最小限に抑えながら抗腫瘍効果を発揮することが可能となった[13]。抗体薬物複合体は抗体と低分子医薬品を化学的に結合させるため、原薬設計技術である。能動的手法例は他にもあるが[11]、本稿では割愛したため、参考文献[11]を参照されたい。

3.1.2 受動的

(1) EPR 効果活用

表 1, 受動的/EPR 効果活用の項に掲載された医薬品あるいは治験薬には、水溶性高分子で表面を被覆された高分子ミセル(両親媒性高分子(ブロック共重合体の例が多い)の集合体:集合体内部に薬物を担持する)に原薬を担持したもの[14]、同じく被覆されたリポソーム(リン脂質二分子膜小胞体:小胞内部の水相に水溶性化合物を、二分子膜部分に脂溶性化合物を内包できる)に原薬を担持したもの[15]、薬理効果を持つ化合物に水溶性高分子を化学的に結合させたもの[11]の3種を挙げた。これらは血中で異物認識されにくく、その結果、静脈注射時、血中濃度が長時間維持されるようになる[9].

正常組織に比較し、腫瘍組織周囲あるいは炎症部位の血管内皮細胞の間は、比較的広がっている。上述の水溶性高分子で被覆された高分子ミセル/リポソーム、あるいは水溶性高分子が結合した薬理効果を持つ化合物、のような大きな粒子(およそ数百 nm)でも透過することができるようになる(Enhanced permeation)。通常、血管壁を通過して漏れ出した液(血漿)はリンパ管で回収される。小さい分子は早く回収されるが、上述の様な大きな粒子は拡散速度が小さいため回収されるまで時間がかかるようになる。その結果、大きな粒子は腫瘍組織周囲あるいは炎症部位に”留まっている”ように観察される(Retention)。この現象は EPR (Enhanced permeation and retention)効果と呼ばれる[11, 16]。表 1 に示したドキシル(R)注、治験薬 NK-105 は腫瘍組織の抗がん剤濃度を向上させる効果、すなわち腫瘍組織における生物学的利用能を向上させ、副作用リスクを軽減する効果を持つ

[14-15]。抗がん剤用製剤設計技術として高く評価された薬物送達技術である。一方、炎症部位を標的部位とした製剤は研究例が多くないようであり、今後の展開が期待される。

(2) 血漿中における分解、代謝回避

薬理効果を持つタンパク質の分解代謝回避のため、当該タンパク質表面にポリエチレングリコール等の水溶性高分子を化学修飾する、血漿中濃度維持させる原薬設計技術である。表 1 にはペガシス(R)皮下注を示した[9, 11, 17].

3.2 放出制御型

製剤からの原薬の放出タイミングを制御し、より望ましい薬理効果発現を制御する技術である。即放性、時間依存的放出、外部環境刺激応答放出、に分類して解説する。

3.2.1 即放性

本技術は、水に溶けにくい特性を持つ原薬(水難溶性原薬。具体的な目安として溶解度が 0.1 mg/mL 未満)の薬理効果を発現させるための技術となる。多くは、経口剤に対する技術が多いが、注射剤に対する技術もある[10-11].

水に溶けやすい原薬を含有する、特別な工夫を施さない経口投与製剤では、服用後、すぐに消化管内にて溶解した薬物を放出しやすい。これを即放性と呼ぶ。一方、水難溶性原薬の場合は製剤から溶解した原薬が放出されにくい傾向にある。原薬が溶解しなければ、消化管粘膜から吸収は行われにくく、その結果、薬理効果も低い、あるいはばらつくようになる。そのため、水難溶性原薬に対して溶解性(見かけの溶解度、溶解速度)を改善のための技術が検討されてきた[10].

溶解性の改善方法について以下に述べる。

1 つ目は、親水性副原料添加による濡れ性改善である。水難溶性原薬の即放性経口製剤処方設計する際に一般的に行われており、親水性副原料による原薬粒子(分子ではない)表面の濡れ性を改善(水と原薬粒子界面における表面張力の低下)する。その結果、即放性が得られる[10]。これは処方設計技術に該当するが、非常に一般的な技術であるため、表 1 では具体例は記載しなかった。

2 つ目は微粉碎である。筆者の経験上、医薬品原薬は平均粒径数十 μm となるように原薬製造条件を組み上げられることが多いようである。この様な平均粒径の水難溶性原薬を経口剤化する場合、吸収が不十分であることが多い。この時、微粉碎処理により原薬平均粒径を 1 μm 以下とすることにより、原薬粒子の表面積が増大し、溶解速度が向上する。製造法として、原薬の湿式/乾式粉碎、原薬晶析方法(原薬結晶を析出させる方法)のコントロールなどが検討されてきた[10]。製剤製造技術、原薬設計技術に該当する。表 1 には、アイルランドの Elan 社が開発した独自の微粉碎技術”Nanocrystal”によ

り処理された原薬を含有する製品、Rapamune(R)を挙げた。本製剤に使用される原薬は、媒体ミルを用い、湿式粉碎で原薬の平均粒径が数百 nm 程度となるように処理されている[18-19]。

3 つ目は可溶化である。溶媒副原料あるいは界面活性剤等を用いて水難溶性原薬を可溶化(結晶格子が壊された状態: 澄明な溶液)する技術である[10]。可溶化されているため、溶解速度向上が期待される。また界面活性剤が処方に含まれている場合は溶解速度だけでなく、見かけの溶解度が上昇する場合もある。これらは処方設計技術に関するものだが、一方で、界面活性剤添加方法を工夫(製造方法の工夫)することにより、見かけの溶解度を大幅に改善する方法も考案されている[20]。表 1 には溶媒副原料を用いたサンディムン(R)内用液 10% の例を示した[21]。

4 つ目は固体分散化である。水溶性高分子等の網目構造内に水難溶性原薬を単分子状態で分散、あるいはそれに近い状態にさせる技術が多く研究されている[10]。処方設計技術としては水溶性高分子種の選定、比率探索がポイントとなる。製剤製造技術として、原薬と水溶性高分子担体を有機溶剤に溶解させ、この溶解液を他の副原料にスプレー/乾燥させて固体分散化させる湿式造粒法[10]、原薬と水溶性高分子を粉体のまま混合し、高いずり応力をかけて固体分散化を行う乾式造粒法[10]、等が報告されている。可溶化と同様、結晶格子が壊された状態となるので、溶解速度の向上が、また水溶性高分子の種類、比率を変動させることにより、見かけの溶解度の向上が観察される場合がある[10]。表 1 にはインテレンス(R)錠 100 mg の例を示した[22-23]。

3.2.2 時間依存的放出

本技術は原薬を製剤から持続的に放出、吸収させ、血液中原薬分子濃度を一定時間維持するための技術に関する。原薬が持つ薬理効果の持続時間を伸ばすことができるため、服薬回数の減少(1日3回→1日1回)、原薬が持つ薬効の最大化、が期待される。

(1) リザーバー型

原薬および副原料からなる顆粒、あるいは錠剤を、細孔を持つ被膜でコーティングした形態である。この被膜は水不溶性高分子、油脂などが用いられることが多い。この被膜が持つ低透過性により、顆粒または錠剤からの原薬放出速度を制御(徐放化)する方法である。原薬の物理化学的性質、コーティング被膜組成、コーティング液性、コーティング量、コーティング被膜厚、コーティング条件により、原薬放出速度が変動する[10]。処方設計技術、製剤製造技術に該当する。錠剤、顆粒共に数百 kg の製造スケールで製造されている場合が多い。表 1 にはペンタサ(R)を示した[24]。

コーティング顆粒のうち腸溶性被膜コーティング顆粒は、原薬および副原料からなる顆粒に腸溶性被膜を施したものであり、消化管内が中性付近になると被膜が溶解して原薬を放出し始める剤形である(後述)。Multiple Unit Dose であるため、当該顆粒を食後/食直前経口投与した場合、食物と顆粒が胃から徐々に排出され、十二指腸以降で原薬を放出し始めるため、時間依存的放出挙動を示す[10, 25, 26]。表 1 にはこの技術を用いた例として L-ケフレックス(R)顆粒を挙げた[27]。

(2) モノリシック型

原薬を副原料から成るマトリックス中に分散させた形態である。この時の副原料としては水溶性高分子、非水溶性高分子、高融点の油脂等が用いられる。前述の固体分散体のように、原薬が単分子状態で分散している必要はない。この製剤を経口投与した際、消化管内にて、マトリックスの緩やかな崩壊/溶解、あるいは、マトリックスの細孔から原薬が徐々に拡散することにより、原薬の放出速度を制御する方法である。この手法もリザーバー型と同様に、“1日1回”服用するだけで済むようにできるような技術である[10, 28]。

表 1 に示したアダラート(R)CR 錠 10mg, 20mg, 40mg は本技術を用いた錠剤の例である[29]。ハルナール(R)OD 錠は本技術を用いて製したマトリックス分散型顆粒を含有する錠剤の一例である。OD 錠(口腔内即崩壊錠)であるため、口腔内の唾液で錠剤が崩壊し、マトリックス分散型顆粒が口腔内に広がり、唾液で飲み込める利点を持つ[30]。

表 1 に示したリュープリン(R)注射用は、皮下注射する製剤である。顆粒よりも細かいマトリックス分散粉末の形態となっており、用時調製(懸濁)して、皮下投与する。本製剤の場合、4週間に1回の投与で薬理効果が観察されるため、頻回注射投与の苦痛を回避することに成功している[31-32]。

3.2.3 外部環境刺激応答放出

(1) pH 依存

腸溶性被膜は物質透過性が非常に低く、酸性環境である胃内では被膜は溶解せず、結果として薬物は放出されない。一方、中性付近となる十二指腸以降で被膜が溶解し原薬が放出される。前述のように腸溶性被膜コーティング顆粒は食後/食直前経口投与した場合、時間依存性放出の挙動を示す。他の剤型として腸溶性被膜コーティング錠剤があるが、Single Unit Dose であるため時限的放出を示す。但し、錠剤の胃排出時間がばらつくことが知られているため[25, 33-35]、それに伴い放出時間もばらつくこととなる。よって腸溶性被膜コーティング錠剤を時限放出型製剤として採用する例はあまり見られず、一方で、胃内酸性による原薬分解の回避のための剤型として採用される場合が多い[10]。表 1 に示したオメプラール(R)錠 10, 20 はその一例となる[36]。

(2) 腸内細菌依存

本技術は製剤を経口で服用し、大腸において初めて原薬を放出させる技術である(表1:CODES(TM)).ラクチュロースと原薬を含む核に、酸溶解性被膜、腸溶性被膜を順に施したものである。服用した際、表面の腸溶性被膜は胃内では溶解せず、十二指腸以降で溶解する。この時点で酸溶解被膜は溶解しない。大腸に到達後、製剤から少量漏れ出したラクチュロースを大腸内の腸内細菌が分解し、大腸内環境は弱酸性になる。その結果、酸溶解性被膜が溶解し、薬物が放出される[37]。腸内細菌がラクチュロースを摂取して有機酸を放出し周辺環境 pH を下げること、酸溶解性被膜、腸溶性被膜、各々の知見は既に知られていたものの、それらを組み合わせで新たな技術を創出しているところは非常に興味深い。大腸に局限した疾患に対して特異的に原薬を送達させるために有用と考えられる技術であり、例えば潰瘍性大腸炎治療用製剤として可能性が考えられたが、まだ実用化はされていない様である。

3.3 吸収制御型

3.3.1 膜透過性改善

2.3 では経口剤、経皮吸収剤の効果が発現するまでのプロセスについて記述したが、原薬が溶解していても、消化管粘膜あるいは皮膚を透過できない場合がある。このような時に活用されるのが、膜透過性改善技術である。

(1) 粘膜、角質のバリア性能低下

消化管粘膜バリア性能低下の例として、表1にヘルペン(R)坐剤/アンピレクト(R)坐剤を示した。これは直腸粘膜の透過性改善に成功し製品化された例となる[38]。注射あるいは経口投与が困難な小児用の医薬品として開発された。アンピシリン(抗生物質)が原薬、カプリン酸ナトリウムが副原料(吸収促進剤)として含まれている。カプリン酸ナトリウムが消化管上被膜の細胞間隙を広げることにより直腸粘膜透過性を向上させている[38]。

次に皮膚角質バリア性能低下に関してである。そもそも経皮吸収製剤には、1)投与が比較的簡便である、2)必要に応じて投薬を中断できる、3)副作用軽減による患者のコンプライアンス改善が期待できる、4)肝臓や消化管での初回通過効果が回避できる、などの種々の利点がある。一方、溶解している原薬が皮膚を透過する上で最も大きい障壁は角質層である。角質は皮膚層の中でも最外層に存在し、皮膚表面を覆っている[9]。経皮投与の場合、この角質層を効率的に原薬分子を透過させることが重要となる。バリア性能低下技術としてはマイクロニードル、イオントフォレシスがある。

マイクロニードルは医薬用経皮吸収剤の製剤設計技術として研究されてきたが、表1に示した”fa:sa”は化粧品である

[39]。マイクロニードルは皮膚貼付用パッチに無数の数百ミクロン長の微細針が並べられたもので、微細針表面に原薬を塗布するか、あるいは微細針内部に薬物を含有させる場合がある。このパッチを皮膚に貼付すると、微細針が角質層に入り、表面塗布または内部に含有された原薬を角質層深部で放出させ、経皮投与における角質層のバリアを克服する[40]。本技術を用いた医薬品の登場が今後期待される。

イオントフォレシスとは、電流により、角質層バリアを克服する手法である。イオン性の原薬を皮膚透過させる際に有効と期待されている[41]。医薬品処方設計技術、製剤製造技術というよりは、医療機器を用いて原薬を透過させるという試みである。

(2) 原薬の膜透過性向上

本技術は原薬自身の消化管粘膜透過性を向上させる手法である。薬理活性がある化合物の状態では粘膜透過性が非常に乏しい場合、粘膜透過性が高くなるように、この化合物を化学的修飾する場合がある。これをプロドラッグ化と呼ぶ。プロドラッグ化することにより、粘膜透過性が向上し、粘膜透過後、代謝され薬理活性化合物に変換され、薬理効果を発現する[10]。表1に示したロキソニン(R)錠 60mg は原薬の消化管粘膜の透過性改善に成功し、製品化された例となる[42]。抗体薬物複合体と同様、薬理活性がある化合物を化学的に修飾するため、製剤製造技術ではなく、原薬設計技術である。

4 今後の展望

本稿で述べてきた技術/発想は医薬品開発のためのみならず、再生医療[43]、化粧品開発[39]、食品開発[44]に活用されてきている。今後更なる異分野への展開も大いに期待されるべきである。技術を直接あるいは発想を活用することにより、精査は必要であるが、(1)マイクロニードル技術とIoT(Internet of Things)技術のハイブリッドによる未病/予防ビジネスへの展開、(2)生分解性素材を用いた時間依存的放出または刺激応答性放出技術を用いた地球環境コントロール技術、(3)可溶化/微粉碎技術を用いた生分解性プラスチックの土壌/水環境における分解促進、等の展開が考えられるであろう。是非、医薬品以外の異業種の研究開発者に本拙稿がお役に立てれば幸いである。

謝辞

本稿は、東京都立産業技術大学院大学が開設した履修証明プログラム”AIIT シニアスタートアッププログラム”の履修科目”医薬品研究開発特論”におけるトピックスをもとに薬物送達技術に特化して解説したものである。

今回、この様な場を設けてくださった東京都立産業技術大学院大学諸先生方、事務局の方々に深謝致します。

表1: 薬物送達技術の分類

タイプ	分類	技術	期待される価値	投与経路	市販品例(技術名)	メーカー	引用文献	
標的指向型	能動的	抗体薬物複合体 (ADC: Antibody-Drug Conjugate)	抗体(部分)により, 標的細胞へ集積する. 標的細胞内に取り込まれた後, ADCから薬理活性化化合物が遊離し, 薬理効果を発揮する.	標的部位への薬物送達効率改善, 副作用リスク軽減	静脈内注射 (点滴)	カドサイラ(R)点滴静注用100mg, 160mg	中外製薬	13
	受動的	EPR(Enhanced permeation and retention)効果活用	水溶性高分子で被覆された高分子ミセル, リポソーム等の担体に原薬を担持させる. 原薬血漿中濃度を維持し, EPR効果により標的部位原薬濃度を向上させる.	標的部位への薬物送達効率改善, 副作用リスク軽減		ドキシル(R)注20mg	ヤンセンファーマ	14
			水溶性高分子と薬理活性がある化合物を化学的に結合させる. 血漿中濃度を維持し, EPR効果により標的部位における薬理活性化化合物濃度を向上させる.			NK-105(治験薬)	日本化薬	15
		血漿中における分解, 代謝回避	ポリエチレングリコール等の水溶性高分子でタンパク質性原薬を化学修飾する.	血中におけるタンパク質の安定性改善による薬理効果の改善, 頻回投与回避	皮下投与	ベガシス(R)皮下注90µg・180µg	中外製薬	17
放出制御型	即放性	原薬の溶解性(見かけの溶解度, 溶解速度)を改善	親水性副原料の添加による濡れ性改善	水への溶解度, 溶解速度向上による, 経口投与時生物学的利用能の改善, 副作用リスク軽減	経口投与	通常活用されている処方設計技術		-
			微粉砕による原薬粒子表面面積の拡大に伴う, 溶解速度の上昇			Rapamune(R) (技術名: Nanocrystal(R))	Wyeth/Elan	18,19
			水難溶性原薬の可溶化			サンディムン(R)内用液10%	ノバルティスファーマ	21
			水難溶性原薬の固体分散化			インテレンス(R)錠100mg	ヤンセンファーマ	22,23
	時間依存的放出	リザーバー型(コーティング)	拡散制御被膜コーティング顆粒	薬理効果の持続による頻回投与回避	経口投与	ベンタサ(R)顆粒	杏林製薬	24
			腸溶性被膜コーティング顆粒			L-ケフレックス(R)顆粒		共和薬品工業
		モノリシック型(マトリクス)	マトリクス分散型錠剤		経口投与	アダラート(R)CR錠10mg, 20mg, 40mg	バイエル	29
			マトリクス分散型顆粒			ハルナール(R)OD錠(マトリクス分散型顆粒が錠剤内に含まれる)	アステラス製薬	30
	外部環境刺激応答放出	pH依存	腸溶性被膜コーティング錠剤. 酸性下である胃内では薬物を放出せず, 中性付近となる十二指腸以降で原薬を放出する.	胃における副作用軽減, 原薬分解回避	経口投与	オメプラール(R)錠10, 20	太陽ファルマ	36
		腸内細菌依存	ラクチュロースと薬物を含む核に, 酸溶解性被膜, 腸溶性被膜を施したものを, 大腸内の腸内細菌がラクチュロースを分解することにより, 酸溶解性被膜が溶解し, 原薬が放出される.	大腸特異的薬物送達による生物学的利用能の向上, 薬理効果の向上		(技術名: CODES(TM))	アステラス製薬	37
吸収制御型	膜透過性改善	吸収促進剤により原薬の直腸粘膜透過性を向上させる	生物学的利用能の改善, 薬理効果発現	経直腸投与	ヘルベン(R)坐剤/アンピレクト(R)坐剤(アンピシリン坐剤)	住友製薬/京都薬品工業	38	
		粘膜, 角質のバリア性能低下		経皮投与	fa'sa(化粧品)	コスメディ製薬	41	
		イオントフォレシス電流により, 経皮投与における角質層バリアを克服する.			(技術名: MicroHyal(TM), gMJET(TM))			
		原薬の膜透過性向上		プロドラッグ化により原薬の消化管粘膜透過性が改善し, 粘膜透過後, 活性代謝物に変換, 薬理効果を発現する.	経口投与	ロキソニン(R)錠60mg	第一三共	42

参考文献

- [1] 松宮和成, 医薬品業界のしくみとビジネスがこれ1冊でしっかりわかる教科書(第2版), 技術評論社, 東京, 2021
- [2] 例えば, 朝日新聞デジタル, 2020年7月11日, 医療従事者や高齢者, 優先へ 政府, 来月にも計画 コロナワクチン,
https://www.asahi.com/articles/DA3S14545261.html?iref=pc_ss_date_article(2022年9月5日現在)
- [3] 例えば, 朝日新聞デジタル, 2019年4月23日, (私の視点)医療のビッグデータ 治療記録の提供, 次代のため 高林克日己,
https://www.asahi.com/articles/DA3S13988697.html?iref=pc_ss_date_article(2022年9月5日現在)
- [4] 例えば, 朝日新聞デジタル, 論座, 2022年7月29日, 1.「ナノDDS」研究のグローバルセンターへ 出島に集まる好学者① 異分野へ「越境」する好奇心,
<https://webronza.asahi.com/science/articles/2022072400001.html>(2022年9月5日現在)
- [5] クレイトン・クリステンセン, 玉田俊平太監修, イノベーションのジレンマ(増補改訂版), 翔泳社, 東京, 2008
- [6] 東京都立産業技術大学院大学, 大学院案内デジタルパンフレット, https://www.dpam.com/ait/229041_D/index.html#target/page_no=1(2022年8月31日現在)
- [7] 医薬品医療機器等法:薬機法, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335AC0000000145>(2022年9月5日現在)
- [8] 日本薬局方(第十八改正),
<https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000066530.html>(2022年9月5日現在)
- [9] 橋田充, ドラッグデリバリーシステム, 化学同人, 東京, 1995
- [10] 橋田充編, 経口投与製剤の設計と評価, じほう, 東京, 1995
- [11] 菊池寛, *Drug Delivery System*, **29** (1), 51-63 (2014)
- [12] 中外製薬, ロナプリーブ(R)注射液セット 医薬品インタビューフォーム(第4版), 2022年7月
- [13] 中外製薬, カドサイラ点滴静注用 100mg, 160mg 医薬品インタビューフォーム(第12版), 2022年7月
- [14] https://www.pmda.go.jp/drugs/2009/P200900018/800155000_21900AMX00001000_B100_1.pdf(2022年9月5日現在)
- [15] 日本化薬、プレスリリース, ”新規抗がん薬内包高分子ミセル NK105 の第II相臨床試験開始について”、平成30年2月21日
- [16] Matsumura Y. and Maeda H., *Cancer Res.*, **46**, 6387-6392 (1986)
- [17] 中外製薬、ベガシス(R)皮下注 医薬品インタビューフォーム(第25版)、2021年4月
- [18] Kunikazu Moribe, Kenjiro Higashi, *Drug Delivery System*, **30** (2), 92-99 (2015)
- [19] Rapamune USPI, revised 8/2022
- [20] 牧野千里, 特願 2003-296396
- [21] ノバルティスファーマ, サンディイムン(R)内用液 10% インタビューフォーム(第17版), 2020年2月
- [22] 厚生労働省, 後発医薬品品質情報, No.14, 令和2年8月
- [23] ヤンセンファーマ, インテレンス(R)錠 100mg インタビューフォーム(第13版), 2021年8月
- [24] 杏林製薬、ペンタサ(R)錠 250mg, 500mg、ペンタサ(R)顆粒 94% インタビューフォーム(第25版)、2021年6月
- [25] Maekawa H, Takagishi Y, Iwamoto K, Doi Y, Ogura T, Ito M, Kitamura K, Fujimoto H., *The Japanese Journal of Antibiotics*, **XXX-8**, 631 (1977)
- [26] Chisato Makino, Nobutaka Ninomiya, Hidetoshi Sakai, Haruo Orita, Akira Okano, Akira Yabuki., *Chem. Pharm. Bull.*, **54** (4), 409-414 (2006).
- [27] 共和薬品工業、L-ケフレックス(R)顆粒 医薬品インタビューフォーム(第14版)、2020年10月
- [28] Chisato Makino, Hidetoshi Sakai, Akira Okano, Akira Yabuki, *Chem. Pharm. Bull.*, **57** (9), 907-913 (2009).
- [29] https://www.info.pmda.go.jp/go/pack/2171014G3022_1_22/ (2022年9月5日現在)
- [30] 真栄田篤、薬剤学、**72** (5), 288-292 (2012)
- [31] 武田薬品工業、リュープリン(R)注射用 医薬品インタビューフォーム(第11版)、2016年10月
- [32] 戸口 始、小川泰亮、岡田弘晃、山本真樹、薬学雑誌、**111** (8)397-409 (1991)
- [33] 高岸 靖, 化学療法の領域, **2**, 1319 (1986)
- [34] 高岸 靖, 日本薬剤師会雑誌, **37**, 113 (1985)
- [35] 小倉敏弘, クリニカルファーマシー, **4**, 41 (1988)
- [36] 太陽ファルマ、オメプラール(R)錠 10, 20 添付文書(第2版)、2021年12月
- [37] 勝真正孝, 薬剤学, **69** (1), 34-39 (2009)
- [38] 掛谷宣治, ファルマシア, **22** (6), 579-582 (1986)

- [39] コスメディ製薬、ファーサ育毛ブック,<https://cosmed-pharm.co.jp/medical/#needle>(2022年9月5日現在)
- [40] 勝見英正, 権 英淑, 神山 文男, 山本 昌, オレオサイエンス, **17** (11), 567-574 (2017)
- [41] 小暮健太郎, 気賀澤 郁, 濱 進, 梶本 和昭, 薬剂学, **71** (2),94-98 (2011)
- [42] 第一三共, ロキシニン(R)錠 60mg インタビューフォーム (第10版), 2018年3月
- [43] 城純一郎, 田畑泰彦, *Drug Delivery System*, **32** (1), 50-58 (2017)
- [44] <https://www.firmenich.com/fragrance/innovation/technology-solutions>(2022年8月31日現在)

知的生産性およびチームワークを向上させる新しい働き方

浅賀 潤一*・阿部 健太*・岩田 健太郎*・宇田川 杜和*
越知 淳司*・松井 実*・村越 英樹*・林 久志*

New ways of working that improve intellectual productivity and teamwork

Jun-ichi Asaka*, Kenta Abe*, Kentaro Iwata*, Morikazu Udagawa*,
Junji Ochi*, Minoru Matsui*, Hideki Murakoshi*, Hisashi Hayashi*

Abstract

The working environment has changed dramatically in recent years. In Japan, declining birthrate and aging populations are reducing the number of workers. In 2019, Japanese Parliament revised labor laws to reduce overtime work and provide for vacation time. After the COVID-19 pandemic, information technology has made remote work more widespread, allowing us to work from anywhere. However, many working problems still remain and improvement of labor productivity is needed. The purpose of this study is to propose solution methods that improves intellectual productivity and increasing teamwork. To verify the effectiveness, we plan to use multi-agent simulation to validate solution methods.

Keywords: Hybrid Work, Recurrent Education, Human Resource Sharing, Relationships, Diversity

1 はじめに

日本の労働生産性は年々低下し、就業者一人当たりでは経済協力開発機構加盟国 38 か国中 28 位[1]と欧米諸国と比較し低水準にある。労働生産人口は年々減少[1]し、人手不足や技能継承の問題がみられる。2019年4月に働き方改革を推進するための関係法律の整備に関する法律 [2]が施行された。時間外労働の上限規制の適用、有給休暇の消化義務等が定められ、仕事の効率化や組織全体の生産性の向上が求められている。

近年、業務に必要な新たな技能を習得するリカレント教育 [3]や、COVID-19 によりリモートワーク、Web 会議が普及した。柔軟な働き方の達成や利便性の向上に寄与した一方、業種や業務内容によっては今までの働き方に合わず、生産性が低下する場合も考えられる。以上より、現在の日本では労働環境に関する状況が激変し、改善された部分はあるが、問題は未だ山積しているといえる。

1.1 本研究全体の目的

本研究全体の目的は、各ワーカーが積極的に職務に励めるよう、現況の労働課題に関する解決手法である、「新しい働き方」を提案することである。本報では検討した手法を研究速報として示す。今後マルチエージェントシミュレーション(MAS)をプロトタイプングし、効果検証を行う予定である。

本課題の解決手法の有効性を検証する方法の一つとして、実証実験がある。しかし、効果検証には一定の時間、規模、予算等が必要であり、必ずしも想定した成果が得られるとは限らない。そのため本研究では、短期間に数種類もの条件を検証できるシミュレータを用いることとした。なお、対象とする各課題に関して、アンケート調査、実証実験の公開データはみられなかったため、仮説の設定および検証は行わない。

1.2 本報の構成

本研究全体では、現労働環境の課題を扱う。課題解決にあたり、各ワーカー自身の能力を引き出す「知的生産性を高める仕組み」、および組織としての効果を引き出す「チームワークを高める仕組み」に着目することが最も有効であると考えた。次に著者個人の問題意識から、各詳細課題を設定した。検討の結果、提案手法は独立関係にあるものの、労働環境全体の中で各課題は互いに関連するといえる。「知的生産性を高める仕組み」では、2章にハイブリッドワークにおけるワークスタイル、および3章にリカレント教育のための時間づくり、「チームワークを高める仕組み」では、4章に人間関係から考える早期離職の検討と対策、5章に会社内の疑似的なタスク型雇用、および6章にダイバーシティを利用した組織編成の有効性検証を取り上げる。7章では、各章のテーマについてまとめたうえで、本研究全体における、今後の検討課題を示す。

Received on October 2, 2022

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

2 ハイブリッドワークにおけるワークスタイル

2.1 背景

COVID-19以降、リモートワークとオフィスワークを併用したハイブリッドワーク[4]が急速に普及した。在席率が低下し、執務空間に余裕ができたため、多様なワークスペースを準備し、業務内容や気分によりナレッジワーカーが主体的に環境選択する働き方である Activity Based Working (ABW) [5]を導入したオフィスが普及してきている。

2.2 関連研究と課題

オフィスでの知的生産性に関する研究は多数行われ、知的生産性研究委員会報告書[5]に成果がまとめられている。ナレッジワーカーの知的生産性は直接的に測定することが困難であり、代替手法としてアンケート調査、生理量測定、暗記テスト等で評価が行われている。また、室内の温熱環境や空気質環境と知的生産性に相関があると示されている。

オフィスにおいてナレッジワーカーの知的生産性を向上させる行動要素としてインフォーマルコミュニケーション、および活動量に着目した研究が多数行われている。具体的には、ワークプレイス内でのインフォーマルコミュニケーションを誘発する空間に関する報告[7-9]や、ナレッジワーカーの属性ごとの環境選好に関する報告[10-12]がある。また、多様なスペースを導入したワークプレイスにおいて、コミュニケーションや集中に寄与する環境因子が報告されている[13-16]。オフィスにおいて ABW を導入しただけでは業務効率化や知的生産性向上に必ずしも寄与するとは言えず、各ワーカーの働き方や業務内容に応じた計画が重要である[16]。また、知的生産性の向上のためには、ワークプレイス内において行動のしやすさを高めることが求められる[17]。また、活動量と知的生産性に相関があると示されている[18]。

MAS を用いた知的生産性について、ナレッジワーカー周辺の環境因子(業務量、物理環境、時間の制約)からストレス度、生産性を定量化した報告[19]や、コミュニケーション量が多いレイアウトがどのようなものか、複数案を用いて感度分析的に求めた報告[20]がある。

また、近年急速に普及したハイブリッドワークにおける働き方に関して、多数の実態調査をまとめた報告[21]がある。リモートワーカーは通勤がなく、1日の大半を同じ場所で滞在するため、運動不足になりやすいと示されている。また、リモートワーカーは孤独感を感じやすいこと、出社しているワーカーでは偶発的なコミュニケーションが起り、リモートワーカーとの差異が生じやすいことが述べられている。働く場所によるコミュニケーション量を解決する手法としてバーチャルオフィス[22]が挙げられる。仮想のオフィス平面上で自身のアイコンを動かすことで、実際のオフィスのようにコミュニケーションをとることができる。

しかしながら、ハイブリッドワークにおける働き方に関する報告[21]において、業務内容に合った出社頻度、同期的なコミュニケーションのための時間の確保について明示されておらず、現時点では最適なハイブリッドワークの運用に関して、各企業で模索段階にあると結論付けられている。

2.3 研究目的

ハイブリッドワークの運用は模索段階にある。実証実験による運用の効果検証には一定の時間、規模、人員、予算が必要であり、必ずしも想定した成果が得られるとは限らない。そのため本研究では、MAS を用いてハイブリッドワークにおける、ナレッジワーカーの知的生産性、および健康性が向上するワークスタイルを提案することを目的とする。

2.4 提案手法

本研究では、出社とリモートを併用したハイブリッドワークを導入したワークプレイスを対象に、ナレッジワーカーの知的生産性を向上させるワークスタイルを検証する予定である。働く場所によるワーカー同士の偶発的なコミュニケーションや活動量等の差異を減らすため、労働時間内において全社員に対し行動変容を促すためのアナウンスを検討する。

長時間同じ姿勢を維持することは健康に悪く、一定の間隔、または業務開始からの経過時刻に応じて休息や歩行を行うことが重要であることが報告されている[23]。上記の報告から本研究では、ケース 1) 業務時間中において一定間隔でのアナウンス、ケース 2) 業務開始からの経過時刻に応じて、集中度合に合わせて間隔を変動させたアナウンス、以上 2 つのケースを検討する。予期せぬアナウンスはワーカーの作業を中断し、ストレスを与える可能性があることから、アナウンスの間隔は事前に各ワーカーに周知するものとする。

対象職種は突発的な対応が少なく、偶発的なコミュニケーションによるアイデア創出、集中作業で構成される知的創造活動が求められる研究開発職とした。

図 1 にハイブリッドワークのシミュレータの概念図を示す。図(a)に 1 週間における出社スケジュールを示す。ワーカーを複数グループに分け、出社のローテーションを行う。図(b)に仮想のオフィス平面を示す。仮想オフィスは実際のオフィスと同じレイアウトとする。オフィスの中で多様な用途ができるよう、作業エリア、コミュニケーションエリア等の場所に分けた。場所毎にワーカーの活動量は一意的に決まるものとする。仮想オフィス平面では、各ワーカーの在席場所を可視化すること、リアル(出社)とバーチャル(リモート)を一つの空間に融合することを意図している。

以下に業務時間内のワーカーの働き方のシナリオを示す。フェーズ 1) 出社するワーカーは、その日の指定の作業場所に滞在する。場所はグループ毎に曜日ごとに決まるものとする。各ワーカーはアナウンスがない限り作業のみ行う。

フェーズ 2) 一定時間経過後, 全ワーカーに対してアナウンスを行う。各ワーカーは指定されたミーティングエリアに移動する。グループが固まらないよう, 組み合わせ最適化により, 場所の振り分けを行う。リモートワーカーはアナウンスがあった際に仮想オフィスに出現し, 仮想オフィス上を移動するために, 自身の働く場において足踏み(疑似的な歩行)を行う。フェーズ 3) 各ミーティングエリアにおいてアイデア拡散, 習得のための同期的コミュニケーションを行う。新たな発想の取得のためには, 各ワーカー同士の偶発的なコミュニケーションが重要である[5]ことから, ボトムアップによるアイデアの創出を意図する。各ワーカーはエリア内を自由に移動するものとする。ここでは, 感染症の拡散を表現する SIR モデルを参考とする。SIR モデルでは, ある感染症について S (susceptible) が感染症への免疫がない者, I (infected) が感染症に現在罹患している者, R (recovered) が感染症から回復して感染症への免疫が生じた者を指す。SIR モデルをもとに知識(アイデア)の取得, 忘却を再現することで, アイデア創出に必要な知識の拡散度合を確認する。

2.5 評価軸

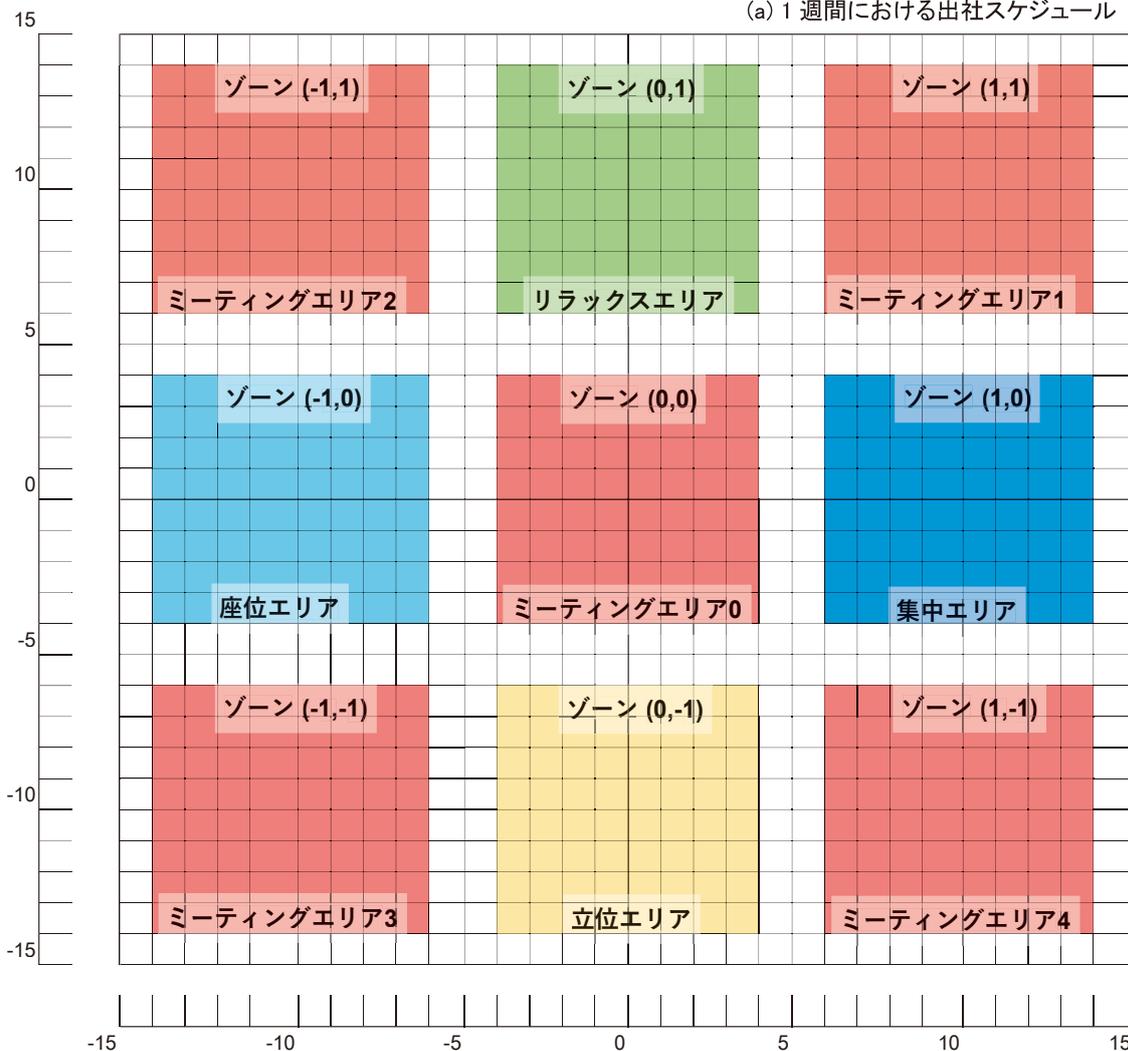
評価軸は, 関連研究をもとに, 他者に邪魔されず集中して作業した時間, 労働時間内における活動別代謝量, 同期的コミュニケーション量, アイディアの拡散度とする。先行研究では, 各評価軸の関係について見解が分かれているため, 本研究では, 各評価軸は独立の関係とする。

2.6 期待される成果

提案手法を用いてアナウンスの頻度による感度分析を行い, ハイブリッドワークにおける知的生産性の向上が期待される適切な休息頻度, 活動頻度を明らかにする予定である。得られた成果により, 各企業が模索する最適な運用方法の提示の一助となることが期待される。



(a) 1週間における出社スケジュール



(b) 仮想のオフィス平面

図 1: ハイブリッドワークのシミュレータ概念図

3 リカレント教育のための時間作り

3.1 背景

近年のいわゆる Artificial Intelligence (AI) や機械などの飛躍的な発展に伴い、これまで人間が行ってきた業務の一部が今後数十年の間に AI や機械によって代替される可能性があることが複数の研究機関によって予測されている[23-24]。また、日本政府の調査[25]によると、2020年代後半からは「職のミスマッチ」時代を迎えるとされ、生産職と事務職で計 210 万人の過剰人員、専門職で 170 万人の不足人員がそれぞれ発生すると予測されている。

これら「職のミスマッチ」を抑えるためには、将来過剰人員となりそうな職種の労働者が学び直しをし、新しい知識や技術を習得することで、より専門性の高い職務に就けるようになることが重要となる。しかし、社会人が働きながら学び直しの時間を確保することは容易ではないため、時間作りの観点から解決策を考える必要がある。

これに関連した行政の施策として日本では、厚生労働省が実施している(1)教育訓練給付制度[26]、(2)教育訓練休暇制度、(3)教育訓練短時間勤務制度[27]がある。しかしながら、(1)は学び直し時間の確保に直接繋がるものではない。また、(2)および(3)の制度を利用する企業は 2 割に満たず[28]、制度を導入しない理由の第 1 位が「代替要員の確保が困難であるため」(47.0%)である[28]。このことから、仮に補助金の額を維持しつつ代替要員を確保できれば、この制度を利用する企業が増加する可能性がある。

以上のことから、社会人の学び直しを後押しするためには、社員と企業双方が利用しやすい補助金付き長期有給休暇制度が必要と考えられる。しかし、日本の現行の行政事業を例にとると、従業員が学校等で学び直しをしている間にその分の労働力が不足することが問題となる。期間限定で新たに人を雇用すると、補助金つまり行政コストの増加に繋がる。

では、ある企業が特に労働力が不足する時期に別の企業から社員を短期間・少人数レンタルしあう仕組みを、行政事業参加企業群全体で構築すれば、新たに発生する行政コストを抑えつつ、企業による従業員の学び直し推進を今までよりも強化できるのではないだろうか。この制度は、参加企業および社員それぞれの都合が付き、さらに参加企業が十分に多いことが前提となるが、それらを想定して効果を予測することは、従業員の移動などに伴う状況の変化も考慮しなければならないため極めて困難である。しかし、MAS であれば、個性を持たせた仮想的な企業および個人を動的にシミュレータ上で設定して観察・検証できる。

本研究では、将来的に職のミスマッチが発生することが予想される特定の職種において、在職しながらいかに勉強時間を確保するかを主眼として、企業間で社員を一時的に交換するための仕組みを検討し、有効性の評価を目的とする。

3.2 関連研究と課題

他社間での従業員交換の仕組みについては、人材シェアリングシステムの研究[29]がある。Peer to Peer (P2P) によって、中央制御システムなどを介さずに、繁忙期の会社が閑散期の他社から従業員を融通してもらう仕組みを提案している。しかし、参加する全社の従業員数は減らないことが前提であり、本研究で扱うテーマ、すなわち特定の期間に少数の従業員がリカレント教育を実施することによって参加企業全体の従業員数が減る事態は想定していない。

行政の施策としては、3.1 で示したとおり、日本の厚生労働省が実施している教育訓練給付制度[26]や教育訓練休暇制度、教育訓練短時間勤務制度[27]がある。このうち、後者の利用者が少ない理由の第一位は「代替要員の確保が困難であるため」である[28]。

その他、関連研究として、異なる生産性を持つ従業員グループのスケジューリング問題を扱った研究[30]、同一の半導体工場内でのスタッフ配置最適化を扱った研究[31]など、従業員の配置やスケジューリングの最適化を扱った研究は数多くある。しかしながら、特定の業種、特に今後数十年の間に AI 等に代替されることによって職のミスマッチが起こりうる業種の従業員に対し、リカレント教育の時間を社会全体で作る観点から研究したものは見つからなかった。

3.3 研究目的

本研究の目的は、今後数十年の間に AI、機械等の発達による職のミスマッチにより、望まない配置転換や退職を余儀なくされる人たちが極力発生しないよう、会社に所属しながらリカレント教育が受講できる仕組みを提案することである。

3.4 提案手法

3.4.1 仕組みの概要

金銭と交換不可能な仮想トークンを用いて、以下の流れでリカレント教育の促進を図る。

- 1) 年度初めに、各企業はリカレント教育のための長期有給休暇を、少数の社員に対して与える。
- 2) 企業は、行政事業主体から、休暇を与えた社員数と同数の仮想トークンを受け取る。
- 3) 業務量が特に多い時期に、企業は貸与して欲しい人数分の仮想トークンを行使し、行政事業主体に申請する。
- 4) 行政事業主体は、特定の時期に各企業から申請を取りまとめ、業務量が少ない時期の企業に従業員の貸与を依頼する。
- 5) 従業員の貸与に応じた企業は、人数分だけ仮想トークンを受け取れる。
- 6) 行政事業参加企業群内で 3) から 5) を繰り返し、10-20 年かけてリカレント教育修了者をなるべく多く輩出しながら、持続的に業務を遂行する。

仕組みにより、ある会社から一年間に数名程度の従業員が学校に行き不在だったとしても、閑散期の会社から一定期間従業員を融通してもらうことで、業務の破綻を防ぐことができる。また、学校でリカレント教育を受ける従業員は長期有給休暇の扱いになるので、収入が極端に減ることなく学び直しに集中でき、積極的な学び直し時間の確保を図ることが期待される。

3.4.2 現金交換不可な人材交換トークンの導入

図2に従業員交換トークンの概念図、表1に各段階の詳細を示す。これは、新たな費用をなるべく抑えながら、期間限定で労働力を確保する方策の一つとして、齋藤らの先行研究 [29]、すなわちワークシェアリングコインの考え方を参考にした制度である。

企業が教育訓練休暇制度を利用しやすくする方策の一つとして、前述のとおり、休暇を取った従業員分の労働力を別の方法で確保することが考えられる。一番簡単なのが新しい従業員を期間限定で雇用することである。しかし、企業は教育訓練休暇を取得している従業員の給与を払いつつ、新たに雇用する従業員の給与も払わなければならない。また、仮にその費用を国が補填したとしても、現行の補助金の少なくとも倍は必要になる。

新たに提案する従業員交換トークンは、学び直しのために毎年少数の従業員が抜ける分の労働力を、別の会社から融通してもらうためのツールである。前提として、それぞれの会社は毎日業務量がある程度増減し、繁忙期や閑散期もあるものとする。新たな行政事業として従業員交換トークンを導入した場合、この行政事業に参加する企業が十分に多いと仮定すると、残った従業員数および許容できる残業務量に対して業務量が多くなる時期が発生する会社とそうでない会社がそれぞれ一定数存在することが予想される。

ここで、前者が後者に対して、抜けた従業員数と同数のトークンを実行し(図(a)および図(b))、一定期間労働力を融通してもらうことで(図(c))、業務消化の安定化を図る。後者の会社はそれによりトークンを得るため、業務量が多くなった頃に同様にトークンを実行することができる。

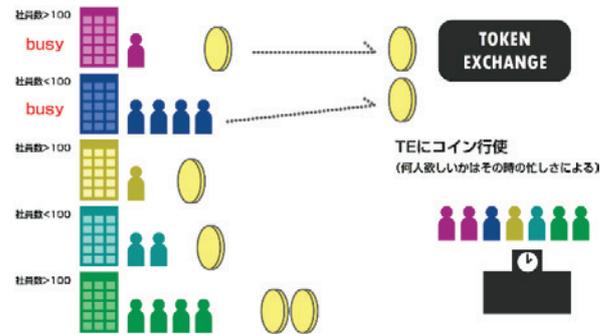
この仕組みを行政事業参加社間で繰り返すことにより、社会全体でリカレント教育の実施と業務の遂行を両立させることができる。

3.5 評価軸

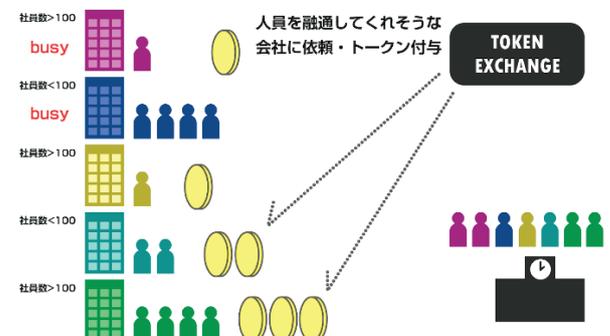
対象となる特定の職種の従業員において、職のミスマッチが多数到来すると予想される10年から20年以内にリカレント教育を修了できた人数を、制度を導入した場合と導入しなかった場合の人数とを比較する。また、社会全体のコストの増減や会社における業務負担の増減についても評価軸にする予定である。

3.6 期待される成果

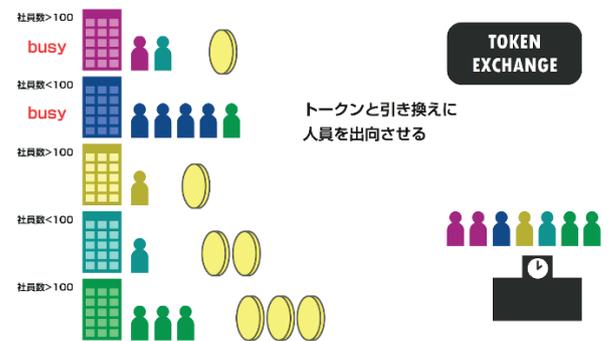
制度の導入により、特定の職種の従業員の多くがリカレント教育を修了させることができる。これにより、制度を導入しなかった場合と比べて、職のミスマッチによる望まない異動や退職を最小限に抑えることが期待される。



(a) 人手が足りない会社によるトークンの行使



(b) 従業員を派遣できそうな会社の選定



(c) 従業員の派遣

図2: 従業員交換トークンの概念図

表1: 各段階の詳細

段階	詳細
(a)	特に忙しい時期になった企業は、その時点で手元にトークンがあれば、貸与して欲しい人数分のトークンを行政事業主体に対して行使する。
(b)	行政事業主体は、各企業から収集した情報を基に、人員を貸与できそうな企業を選定する。貸与に応じた企業は人数分のトークンを受け取る。
(c)	貸与された従業員は派遣先で一定期間業務を行う。行政事業参加企業群内で繰り返す。

4 人間関係から考える早期離職の検討と対策

4.1 背景

新卒3年以内に退職する早期離職は景気の影響があるものの、過去30年間に30%前後で推移している[32]。早期離職の理由が新卒社員の希望と実際の業務のミスマッチや悪質な労働環境以外の場合、早期離職は新卒社員側のスキル獲得の阻害、雇用者側の人材投資の失敗という双方に不利益となる可能性がある。初めて正社員勤務先を離職した理由の上位3位は、肉体的・精神的に健康を損ねたため、労働時間・休日・休暇の条件がよくなかったため、人間関係がよくなかったためであり[33]、早期離職の対策は待遇や労働環境を改善するだけでなく、人間関係の改善も必要であると考えられる。また、労働者の平均年齢は上昇傾向にあり[34]、新卒社員と既存社員の平均年齢の差は開く傾向にあり、会社内の人間関係の構築に影響が出ていると考えられる。

4.2 関連研究と課題

会社組織を考える上で、従業員の帰属意識や関係性を表す組織コミットメントは、組織成員の離職の抑制やパフォーマンスの向上と関係があるとされる。特に組織への愛着を表す情緒的コミットメントは離職に有効とされる[35]。情緒的コミットメントと社内の人間関係を組み合わせ、離職を論じた研究には、フォーマルな関係である会社組織の観点による報告[36, 37]、インフォーマルな関係である会社内の友情の観点による報告[38]がある。また、ソーシャルネットワーク理論において、近い属性を持った人と繋がりやすいというホモフィリー効果が、年齢を属性としたときに見られ、アンケート結果から同年代同士で重要なことを話しあう傾向があると示されている[39]。しかし、フォーマルな関係を表す会社組織の観点か、インフォーマルな関係を表す会社内の友情の観点かのいずれかから情緒的コミットメントを導き、離職を論じるのみであり、両方の観点で考えたものはみられなかった。

4.3 研究目的

本研究の目的は、新卒社員と既存社員の年齢差が早期離職に与える影響を反映したシミュレータの構築、構築したシミュレータに基づく早期離職の解決策の提案である。労働者の平均年齢の上昇に伴い新卒社員と既存社員の平均年齢の差は戦後に比べ開きつつある。新卒社員と既存社員の年齢が離れるにつれ、インフォーマルな関係が乏しくなることが考えられる。人間関係の変化が従来の会社組織構造への情緒的コミットメントの生成にどのような影響を及ぼし、早期離職に影響を与えるかを反映したシミュレータを構築する予定である。シミュレータから早期離職を解決する会社組織構造とインフォーマルな人間関係の構造を導き、これらを作る上で必要な具体的な施策を提案する予定である。

4.4 提案手法

図3に早期離職者導出の概念図を示す。概念図の矢印は、矢印の元が矢印の先に影響を与えることを意味している。ネットワークグラフを用いた各社員の持つ組織への情緒的コミットメントから早期離職者を導出する。フォーマルな人間関係か、インフォーマルな人間関係かのいずれかのみから離職について論じた先行研究よりも精度を向上させるため、既存社員と新卒社員をノードとして、トップダウン型の会社組織構造である、会社内のフォーマルな人間関係を表すネットワークグラフと年齢のホモフィリー効果によって生成されたインフォーマルな人間関係を表すネットワークグラフを用いる。フォーマルな人間関係を表すネットワークグラフでは、ネットワークにおける各ノードの中心性および構造的な穴(Structural Hole)から、新入社員の組織への愛着を表す情緒的コミットメントを算出する。インフォーマルな人間関係を表すネットワークグラフでは友人関係から、新入社員の組織への愛着を表す情緒的コミットメントを算出する。2つのネットワークグラフで算出された新卒社員の持つ情緒的コミットメントが閾値を下回ったときに、その新卒社員を離職者としてネットワークグラフから取り除く。離職者が取り除かれることで、会社組織構造と年齢構成は変化する。上記手法により、既存社員と新卒社員の年齢が近い場合と既存社員と新卒社員の年齢が離れている場合の早期離職者数を比較し、新卒社員と既存社員の年齢差が早期離職に与える影響を確認する。シミュレーションの結果から、より多くのインフォーマルな関係を持つことのできるネットワークの構造を提案する予定である。

4.5 評価軸

新卒社員を模した各ノードに会社組織への愛着を表す情緒的コミットメントを変数として与える。情緒的コミットメントが一定値を下回ることによって離職した新卒社員数を評価軸とする。

4.6 期待される成果

新卒社員と既存社員の年齢の開きが、新卒社員の離職を誘発していると示されることが期待される。早期離職を解決するために有効な会社組織構造および会社内の友人関係が明確になり、それらのネットワークを構築する上で有効な具体的な施策を提案する予定である。

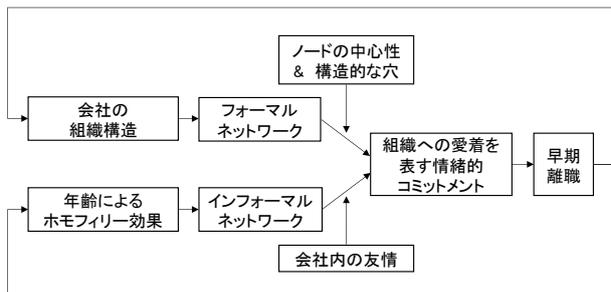


図3: 早期離職者導出の概念図

5 会社内の疑似的なタスク型雇用

5.1 背景

日本企業の多くは、雇用契約時に業務内容等を明確に規定せず、その時々社員に業務を割り当てる、メンバーシップ型雇用を採用する。欧米企業の多くは、業務に適したスキルを持った人材を雇用する、ジョブ型雇用を採用する。両雇用形態は現在各国で採用される[40]が、問題もある。

メンバーシップ型雇用の特徴に終身雇用、年功序列、企業内労働組合が挙げられる[41]。しかし近年、終身雇用の限界が語られており[42]、年功序列は長期雇用を前提としたシステムであるという研究 [43]がある。ジョブ型雇用の特徴として職務給があり、職務が同じ限り生涯通して給料がほぼ変わらないことが挙げられる。また、原則社内での配置転換がなく、別役職に就くために転職が必要となり、メンバーシップ型雇用に比べキャリアアップの難易度が高い。

日本ではメンバーシップ型雇用が一般的だが、2019年以降ジョブ型雇用の導入が普及され始めている[44]。しかし、高度人材をジョブ型雇用で獲得するには雇用流動性が必要だが日本では雇用流動性が低く[45]、移行には課題も多い。

5.2 関連研究と課題

現行の雇用形態に関する研究では、メンバーシップ型雇用からジョブ型雇用への移行として、日本経済団体連合会内部での1960年代の年功賃金から職務給への移行[46]がある。しかし、業務の急速な拡大と技術革新に基づく職務編成の変更の中で、ジョブを固定し人を貼り付ける職務給制度は不適切のため、職能給制度が採用された[47]。また、日本でジョブ型雇用が注目される一方、欧米でも脱職務化(de-jobbing)が議論されていることから[48]、メンバーシップ型雇用からジョブ型雇用への完全移行も疑問が残る。完全移行ではなく、他の雇用形態の要素を部分的に採用した前例に、ハイブリッド型雇用がある。ハイブリッド型雇用システムの研究、導入のための基本設計は三菱総合研究所[49]等で行われている。その一つに、ジョブ型雇用のジョブを更に細分化したタスク型雇用がある。例えば、UberEatsは配達をタスクとし、配達パートナーをタスク型雇用している。経済団体連合会は新しい雇用システムの確立を推奨し、各社毎の自社型雇用システムの検討を呼びかけている[50]。

人材共有に関する研究では、仮想通貨を利用した企業間の人材シェアリング[29]がある。繁忙期に閑散期の別企業から社員を借り、繁忙な企業の社員の労働時間を平準化する手法を提案している。結果、「忙しさと暇さの合計値」の減少が見込めることを示している。しかし、この手法はジョブ型雇用と同様、雇用流動性のため、複数企業が人材シェアリングへの参画が必要な点や、暇な社員の別企業への派遣が暇な社員の自学習機会を奪うという課題が挙げられる。

5.3 研究目的

本研究の目的は、ハイブリッド型雇用の中でも従来のメンバーシップ型雇用、およびタスク型雇用の併用手法により、自社内での人材交換により短期的な部門間の忙しさの平準化、社内コミュニケーションの活性化、および会社が必要としているスキルの長期的獲得の実現可能性の検証を予定する。主に製造業のように、資格が必要な専門性の高い業務、および事務等の資格無しでも行える業務が共存する職種を対象とする。

5.4 提案手法

図4に疑似的なタスク型雇用の概念図を示す。図では別部門社員が暇か否かから開始し、各条件によって自部門での業務遂行や訓練、休憩、別部門への応援を行う等を実行することを示している。各部門に応援要請用の予算を割り当て、必要に応じて応援要請を行う。応援要請が出ている部門に対して他の部門の社員は必要な技能を習得している場合に限り応援に向かうことができ、貢献に応じて報酬を得ることができる。これは通常の給与に加えて得ることができるようにすることで最初は報酬を目的として他部門と交流を持ち、報酬以外の動機を得るきっかけとするというものである。

5.5 評価軸

評価軸として、従来のシステムと比較して短期的な部門間の忙しさの平準化度合、社内コミュニケーションの増加量、会社が必要としているスキルの習得量(スキルは20段階で表し、10段階目を基準としてこれを上回れば業務速度の向上、下回れば業務速度の低下とする)の3点から評価を行う。

5.6 期待される成果

提案手法の検証により、社内コミュニケーションの増加、社員の負荷軽減、スキルの習得といったタスク型雇用の恩恵を受けつつ、欠点であった賃金の不安定さをメンバーシップ型雇用により補う事で安定した会社運営を行うことができるという結果が得られる事が期待される。

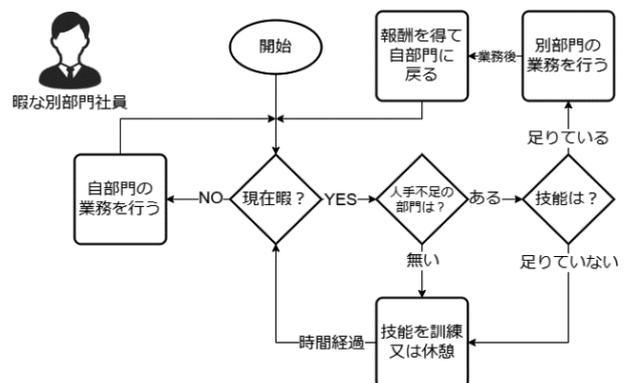


図4: 疑似的なタスク型雇用の概念図

6 ダイバーシティを利用した組織編成の有効性検証

6.1 背景

厚生労働省が説明する「働き方改革」では、「日本が直面する『少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少』、『働く方々のニーズの多様化』などの課題に対応するためには、投資やイノベーションによる生産性向上とともに、就業機会の拡大や意欲・能力を存分に発揮できる環境をつくること」[51]と示されている。

ただ残業を規制し、休日を増やすことを唱えるだけでは、利益を確保しながら育児や介護との両立の実現は困難なものと予測される。したがって、就業機会の拡大や環境の改善だけでは十分ではなく、イノベーションを起こすことが重要であると考えられる。

しかしながら、どのようにしてイノベーションを起こすかが問題となる。多くの文献では「ダイバーシティ」が高いとイノベーションが起りやすいと述べられている[52-54]。

経済産業省では、ダイバーシティを「多様な人材を活かし、その能力が最大限発揮できる機会を提供することで、イノベーションを生み出し、価値創造につなげている経営」と定義している[55]。しかし、ダイバーシティによって逆効果になるケースの事例もあり、その理由は、「文化、人種、性別などの違いから起こるコンフリクト」が原因とされている。

コンフリクトとは、どちらの主張も正しいため、一方のみの意見を正解とすることができないことである。例えば、利益を重視する営業側と、品質を重視する技術・開発側との対立が挙げられる。

このように、多種多様な人材の活用を行うためには、これまでになかった働き方、人材管理の方法を考えなければならず、マネジメント層にはより高度な対応が求められることになるといえる。したがって、ダイバーシティを成功させるためには、対立(コンフリクト)を回避し、マネジメントの負荷を下げることが、持続可能な社会を築くために必要だと考える。

6.2 関連研究と課題

多様性におけるコンフリクトについての先行研究について、Ely[52]は、組織へ利益をもたらす多様性の条件を、「アクセスと正当性」、「差別と公平性」、「統合と学習」という3つの組織文化の視点から考察している。

「アクセスと正当性」とは、世間から人種差別と疑われないために多人種を配置している組織、「差別と公平性」とは、全ての人種に正義と公平な扱いを義務づけている組織、「統合と学習」とは、文化的な違いは組織の中核的な業務に役立つ洞察力とスキルの源となり、ミッションを達成するための最善の方法を互いに学ぶ組織、と説明している。そして、「統合と学習」だけが多様性から持続的な利益を得ていると結論付けている。

一方、ダイバーシティの失敗によって引き起こされる現象として、「いじめ」が考えられる。文部科学省が定義する「いじめ」とは、「児童生徒に対して、当該児童生徒が在籍する学校に在籍している等当該児童生徒と一定の人的関係のある他の児童生徒が行う心理的又は物理的な影響を与える行為(インターネットを通じて行われるものも含む)であって、当該行為の対象となった児童生徒が心身の苦痛を感じているもの」[56]としている。

佐藤らは、MASを用いた実験で、「いじめ」をエージェント間の価値観の共有度の強さを計測し、どのエージェントとも価値を共感できていないエージェントを「いじめ」候補と定義している[57]。

また、斎藤はMASを利用した人間関係を好感度によってモデル化している。同じ考え方を持つエージェント同士では好感度が上がり、その高低差によって人間関係を表した。好感度は、周囲と考え方が異ならないように同調することによっても上がるとしており、好感度がある閾値を下回るエージェントは集団から排斥され、この現象を「いじめ」としている[58]。

いずれの研究においても、少数派に属する個人は組織に負の利益をもたらすことが想定されている。皆が同じ考え方をする集団では、多様性の利点を活用することはできない。

Cox は、多様性は創造的問題解決を促進し、ワークグループに肯定的結果をもたらすと予測している[53]。

宮森らは、確実性の回避傾向が強い文化においては、イノベーションは起こりにくいと、その原因として、過去事例や実績を求める仕組みや慣習がイノベーションにストップをかけると述べている[60]。

6.3 研究目的

本研究の目的は、多様性が生産性に与える良い影響と、多様性による組織のコンフリクトが生産性に与える負の影響をモデリングし、シミュレータ上で仮想社会での創発現象を観察することで、よりよい組織作りのあり方、また、個人が受け取る利益と社会から受け取る利益を最大化する方法を提案することである。

これまで異なる技術や役割を持ったエージェントによる、最適なチームビルディングの研究は多数存在する。それらの多くはユニフォームなエージェントによるナーススケジュール問題を題材とする、組み合わせ問題を遺伝的アルゴリズムで最適化することを目的としている[61-63]。

本研究では、多様性のあるエージェントがコンフリクトを起こす点に新規性がある。

西野らは実験経済学のモデル分析での成果を示し、MASが社会科学への応用も可能であることを示唆している[64]。また、前項「関連研究と課題」に示した先行研究でも、人間の行動モデルにMASを用いて分析を行っていることから、本研究においても分析手法にMASを用いることとした。

6.4 提案手法

西野らは MAS による分析の際に、大きく 2 つのモデルを定義している。一つは非人間的モデル、もう一つは人間的モデルである。非人間的モデルは、知能を持たずランダムに行動する。一方、人間的モデルは状況に合わせて複数の行動ルールを適用し、行動から得た報酬の高い行動を選択するように自らの行動ルールを修正するモデルを使用している。

本研究において、より人間の行動に近い分析を行えるように、各エージェントに知能を持たせる。エージェントの学習には Deep Q-Learning もしくは、Profit Sharing[65]の手法を検討する。Deep Q-Learning は環境を変数として受け取り、次に行う最適な行動を確率に基づいて決定することが可能で、より人間の思考に近い曖昧さを表現できると考える。Profit Sharing は、Step 毎に報酬が得られない環境での学習に有効と考える。

本研究においては、多様性と人間組織が有効に機能するための特徴を観察する必要があるため、MAS の方式には協調マルチエージェント強化学習を用いる。

シミュレーション上では、マルコフ性を有した疑似労働を定義し、エージェントは疑似労働を行うことによって一定の報酬を得ることとする。エージェントは多様性(異なるスキルや、異なる価値基準)をもつ組織の各個人として定義する。異なるスキルは異なるアクションとして、異なる価値基準は個人が個人的に得る報酬の基準として定義し、組織として仕事が成功したときは、組織から各個人へ社会的報酬が得られるようにモデリングする。

労働によって得られる報酬は未知であり、更に他のエージェントと協調することにより、高い報酬が得られることとする。したがって、エージェントはより高い報酬が得られるように学習しなければならない。このマルチエージェント強化学習により、組織の各個人が学習して、協調する様子を観察する。

これらのモデルによりシミュレーションを繰り返すことで、組織の仕事内容に対し、どのような多様性のあるメンバーを組み合わせたらよいのか、チーム編成の最適化を検討する。

6.5 評価軸

提案手法で示した通り、疑似労働による個人への報酬と、社会から得る社会的報酬の変化が、学習が進むにしたがい、どのように遷移するかを調査する。

6.6 期待される成果

働き方改革の解決策として、多様性や、イノベーションという言葉が使われるようになった。しかし、これらの考え方を実際に導入し、実践しようとする場合において多くの疑問が生じる。本研究によって、多様性の有効性を視覚化することで、多様性による誤解を回避し、効果を最大化できることが期待される。

7 まとめと今後の検討課題

本研究では、近年著しく変化している労働環境においてみられる諸問題の中から、各ワーカー自身の能力を引き出す「知的生産性を高める仕組み」、および組織としての効果を引き出す「チームワークを高める仕組み」に着目し、著者らが問題意識を持つ題材を対象に、詳細に課題を設定した。実証実験が困難な題材であるため、シミュレータを用いて課題解決を行うこととし、検討した内容を研究速報として示した。

2, 3 章では、知的生産性を高める仕組みを題材とした。

2 章では、ハイブリッドワークにおけるワークスタイルを取り上げた。出勤率や業務内容に合わせた運用方法が模索段階であることから、ワーカーの知的生産性、健康性、コミュニケーションに着目し、働く場による差異がないようなワークスタイルを提案することを目的として、行動変容を促すアナウンスについて今後検証していく。

3 章では、リカレント教育のための時間づくりを取り上げた。望まない配置転換や退職を余儀なくされないよう、会社に所属しつつ教育を受講できる仕組みを提案することを目的に、現金と交換不可能な人材交換トークンの導入を検討している。

4, 5, 6 章では、チームワークを高める仕組みを題材とした。

4 章では、人間関係から考える早期離職の検討と対策を取り上げた。新卒社員の早期離職の問題を解決することを目的に、既存社員との年齢差や人間関係の影響を考慮したネットワーク構造を構築する予定である。

5 章では、会社内の疑似的なタスク型雇用を取り上げた。自社内での人材交換を行うことで、部門間の忙しさの平準化や社内コミュニケーション、スキルの獲得を目的とした、疑似的なタスク型雇用のシステムの提案を検討している。

6 章では、ダイバーシティを利用した組織編成の有効性検証を取り上げた。仮想社会を構築し、多様性や組織内のコンフリクトによる生産性への影響を検証することで、個人や社会が受け取る利益を最大化させる手法を構築していく。

今後は本報で示した、予定している各解決手法をより詳細化し、MAS により実装することで、その効果を検証する。また、シミュレーションにより得られた結果を分析し、その内容を提案手法に反映することにより、より改善効果の大きい手法を検討していく。各提案手法は独立の関係にあるが、取り上げた課題は互いに関連し合う部分もあるため、検証結果の関係性について考察を行うことも検討している。得られた結果を参照することで、労働環境における諸問題の解決の一助となることが期待される。

謝辞

本研究に際し、東京都立産業技術大学院大学水谷亮氏、中山宜大氏の協力を得た。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 日本生産性本部, 労働生産性の国際比較 2021, https://www.jpc-net.jp/research/assets/pdf/report_2021.pdf, 2021. (visited on 2022)
- [2] 厚生労働省, 働き方改革を推進するための関係法律の整備に関する法律について, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000148322_00001.html, 2019. (visited on 2022)
- [3] 文部科学省, リカレント教育, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_18817.html, 2022. (visited on 2022)
- [4] M. Grzegorzczak, M. Mariniello, L. Nurski, and T. Schraepen, “Blending the physical and virtual: a hybrid model for the future of work”, *Policy Contribution Issue*, pp.14-21, June. 2021.
- [5] 国土交通省, 知的生産性研究委員会報告書, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/torikumi/chiteki/H20houkokusyo1.pdf>, 2011. (visited on 2022)
- [6] 沼中秀一, 高橋祐樹, 天野健太郎, 加藤信介, 高橋幹雄, 菊池卓郎, “知的生産性向上を目指した執務空間におけるコミュニケーションおよび環境要素に関する実態調査”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.80, no.713, pp.609-619, Jul. 2015.
- [7] 佐藤泰, 佐野友紀, “オフィス内カフェコーナーの利用実態からみたマグネットスペースにおける遭遇・会話発生量の考察”, *日本建築学会計画系論文集*, vol.81, no.720, pp.281-291, Feb. 2016.
- [8] 丹羽由佳理, 畠山雄豪, 佐野友紀, “座席選択傾向に基づく店舗内行為と空間要素の関連性”, *日本建築学会計画系論文集*, vol.82, no.731, pp.41-48, Jan. 2017.
- [9] 佐藤泰, 佐野友紀, 小島隆矢, “ナレッジワーカーの個人属性とオフィス内行動毎の環境選好の関係”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.82, no.738, pp.715-725, Aug. 2017.
- [10] 王紫葉, 助田ひなの, 劉子勅, 長澤夏子, 佐藤泰, 小島隆矢, 田辺新一, “ナレッジワーカー属性によるオフィスの知的生産性評価に関する研究”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.85, no.771, pp.311-319, May. 2020.
- [11] 王紫葉, 劉子勅, 助田ひなの, 長澤夏子, 佐藤泰, 小島隆矢, 田辺新一, “オフィスのデザイン選好による知的生産性への影響構造の違い”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.86, no.784, pp.567-577, Jun. 2021.
- [12] 篠山拓真, 篠田純, 中川純, 田辺新一, 高橋幹雄, 和田一樹, 高橋祐樹, 野崎尚子, “ABWを導入したワークプレイスの環境満足度と作業効率”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.84, no.765, pp.975-981, Nov. 2019.
- [13] 徳村朋子, 高橋祐樹, 桑山絹子, 和田一樹, 黒木友裕, 高橋幹雄, 秋山幸穂, 高橋秀介, 篠田純, 中川純, 田辺新一, “新型コロナウイルス感染症による在宅勤務の環境満足度と知的生産性に関する研究”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.86, no.783, pp.441-450, May. 2021.
- [14] 徳村朋子, 秋山幸穂, 高橋祐樹, 桑山絹子, 和田一樹, 黒木友裕, 高橋幹雄, 高橋秀介, 篠田純, 中川純, 田辺新一, “研究施設の改修に伴う Activity-Based Working の導入が環境満足度および知的生産性に与える影響”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.87, no.793, pp.189-198, Mar. 2022.
- [15] 千本雄登, 鶴飼真成, 蟹江梓乃, 大野繁郎, 岡村幸枝, 中村大介, 田辺新一, “Activity-Based Working を採用したメガプレートオフィスにおける執務者満足度と知的生産性に関する研究”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.86, no.788, pp.818-828, Oct. 2021.
- [16] K. Seki, T. Ikaga, K. Tanaka, H. Takai, T. Kikuchi, K. Tanaka, M. Nishida, and M. Nishimura, “Beneficial effects of physical activity in the office on workplace productivity”, *15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality and Climate, INDOOR AIR*, 2018.
- [17] 矢野和男, データの見えざる手, 草思社, 2014.
- [18] S. Muñoz, and C. A. Iglesias, “An agent based simulation system for analyzing stress regulation policies at the workplace”, *J. of Computer Science*, vol.51, pp.1-15, Feb. 2021.
- [19] 沼中秀一, 高橋祐樹, 杉崎奈緒子, 菊池卓郎, 加藤信介, 天野健太郎, 谷英明, 高橋幹雄, “コミュニケーションとタスクの実態調査の分析とインフォーマルコミュニケーションを予測する行動シミュレーションへの応用: 知的生産性向上を目指した執務空間におけるコミュニケーションおよび環境要素に関する実態調査(その2)”, *日本建築学会環境系論文集*, vol.81, no.725, pp. 641-650, Jul. 2016.
- [20] Microsoft, “New Future of Work Report”, <https://www.microsoft.com/en-us/research/uploads/prod/2022/04/Microsoft-New-Future-of-Work-Report-2022.pdf>, 2022. (visited in 2022)
- [21] oVice 株式会社, <https://ovice.in/ja/> (visited on 2022)
- [22] 岡浩一郎, 「座りすぎ」が寿命を縮める, 大修館書店, 2017.
- [23] マッキンゼー, The future of work in Japan, <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/loc>

- ations/asia/japan/our%20insights/future%20of%20work%20in%20japan/future%20of%20work%20in%20japan_v3_jp.pdf, 2020. (visited on 2022)
- [24] 野村総合研究所, 日本の労働人口の49%が人工知能やロボット等で代替可能に,
https://www.nri.com//media/Corporate/jp/Files/PDF/news/newsrelease/cc/2015/151202_1.pdf, 2015. (visited on 2022)
- [25] 厚生労働省, 労働政策審議会労働政策基本部会報告書,
<https://www.mhlw.go.jp/content/12602000/000521811.pdf>, 2019. (visited on 2022)
- [26] 厚生労働省, 教育訓練給付制度のご案内,
<https://www.mhlw.go.jp/content/000800408.pdf>, 2021. (visited on 2022)
- [27] 厚生労働省, 人材開発支援助成金(教育訓練休暇給付コース)のご案内(詳細版),
<https://www.mhlw.go.jp/content/11600000/000615989.pdf>, 2020. (visited on 2022)
- [28] 厚生労働省, 調査結果の概要,
<https://www.mhlw.go.jp/content/11801500/000925359.pdf>, 2022. (visited on 2022)
- [29] M. Saito, and H. Hayashi, “P2P Human-Resource Sharing and Its Redistribution Strategy of Stable Coin”, *International J. of Smart Computer and Artificial Intelligence*, vol.4, no.2, pp.1-18, Dec. 2020.
- [30] G. M. Thompson, and J. C. Goodale, “Variable employee productivity in workforce scheduling”, *European J. of Operational Research*, vol.170, no.2, pp.376-390, Apr. 2006.
- [31] C. F. Chien, W. C. Chen, and S. C. Hsu, “An Indirect Workforce (Re) Allocation Model for Semiconductor Manufacturing”, *Proc. 2008 Winter Simulation Conference IEEE*, pp.2201-2208, Dec. 2008.
- [32] 厚生労働省, 学歴別就職後3年以内離職率の推移,
<https://www.mhlw.go.jp/content/11652000/000845624.pdf>, 2021. (visited on 2022)
- [33] 労働政策研究・研修機構, “若年者の離職状況と離職後のキャリア形成”, pp.90,
https://www.jil.go.jp/institute/siryo/2020/documents/221_03.pdf, 2017. (visited on 2022)
- [34] 総務省統計局, “労働力調査(基本集計)”, pp.3,
<https://www.stat.go.jp/data/roudou/sokuhou/tsuki/pdf/gaiyou.pdf>, 2022.
- [35] M. J. P. Stanley, D., Herscovitch, L., and Topolnytsky, L, “Affective, continuance and normative commitment to the organization: A meta-analysis of antecedents, correlates and consequences,” *J. of Vocational Behavior*, vol.61, no.1, pp.20-52, Aug. 2002.
- [36] J. Lee, and S. Kim, “Exploring the Role of Social Networks in Affective Organizational Commitment: Network Centrality, Strength of Ties, and Structural Holes,” *The American Review of Public Administration*, vol.41, no.2, pp.205-223, 2011.
- [37] Brass, D. J., Galaskiewicz, J., Greve, H. R., and Tsai, W, “Taking stock of networks and organizations: A multilevel perspective,” *Academy of Management J.*, vol.47, no.6, pp.794-817, Nov. 2004.
- [38] L. Guohao, and S. Pervaiz, He. Qi, “Workplace Friendship is a Blessing in the Exploration of Supervisor Behavioral Integrity, Affective Commitment, and Employee Proactive Behavior – An Empirical Research from Service Industries of Pakistan,” *Psychology Research and Behavior Management* 2021:14, pp.1447-1459, Sep. 2021.
- [39] P. V. Marsden, “HOMOGENEITY IN CONFIDING RELATIONS,” *Social Network* 10, pp.57-76, 1998.
- [40] リクルートワークス研究所, 【データ集】5 各国リレーション調査,
https://www.works-i.com/research/works-report/item/multi_5.pdf, 2020. (visited on 2022)
- [41] J. C. Abegglen, *The Japanese factory: Aspects of its social organization*, Free Press, Washington, D.C., 1958.
- [42] 日本経済団体連合会, 定例記者会見における中西会長発言要旨,
<https://www.keidanren.or.jp/speech/kaiken/2019/1223.html>, 2019. (visited on 2022)
- [43] 谷内篤博, “日本的雇用システムの合理性と限界,” *文京女子大学経営論集*, vol.8, no.1, pp.64, Dec. 1998.
- [44] リクルートキャリア, 「ジョブ型雇用」に関する人事担当者対象調査,
<https://www.recruit.co.jp/newsroom/recruitcareer/news/20201203swo5j.pdf>, 2020. (visited on 2022)
- [45] 経済産業省, 労働市場の構造変化と課題,
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/2050_keizai/pdf/004_03_00.pdf, 2019. (visited on 2022)

- [46] 八代充史, 梅崎修, 島西智輝, 南雲智映, 能力主義管理研究会オーラルヒストリー: 日本的人事管理の基盤形成, 牛島利明編, 慶應義塾大学出版会, 東京, 2010.
- [47] 宮本光晴, "日本の人材マネジメント: 過去と未来," 日本労働研究雑誌, no.737, pp.7-12, Dec. 2021.
- [48] W. Bridges, "Job Shift: How to Prosper in a Workplace without Jobs", Da Capo Press, Boston, 1995.
- [49] 三菱総合研究所, ハイブリッド型雇用システムの構築に向けた研究成果を公表, <https://www.mri.co.jp/news/press/20211202.html>, 2021. (visited on 2022)
- [50] 日本経済団体連合会, 春季労使交渉・協議の焦点, https://www.keidanren.or.jp/J./times/2022/0224_10.html, 2022. (visited on 2022)
- [51] 厚生労働省, 働き方改革: 一億総活躍社会の実現に向けて, https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000148322_00001.html, 2019. (visited on 2022)
- [52] R. J. Ely, and D. A. Thomas, "Cultural Diversity at Work: The Effects of Diversity Perspectives on Work Group Processes and Outcomes", *Administrative Science. Quarterly*, vol.46, no.2, pp.229-230, Jun. 2001.
- [53] Cox, T. H., Jr., S. A. Lobel, and P. L. McLeod, "Effects of ethnic group cultural differences on cooperative and competitive behavior on a group task.", *Academy of Management J.*, vol.34, no.4, pp.842-843, Dec. 1991.
- [54] 小室淑恵, 働き方改革: 生産性とモチベーションが上がる事例 20 社, pp.295-296, 毎日新聞出版, 2018.
- [55] 経済産業省, ダイバーシティ経営の定義, <https://www.meti.go.jp/policy/economy/jinzai/diversity/index.html>, 2021. (visited on 2022)
- [56] 文部科学省, いじめの定義, https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/06/26/1400030_003.pdf, 2013. (visited on 2022)
- [57] 佐藤輝空, 伊藤尚, 谷賢太朗, 前田義信, 加藤浩介, "MAS 人工学級モデル評価へのソシオプロフィール法適用の検討", 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, vol.2, no.5, pp.1-2, Nov. 2011.
- [58] 斉藤緑, 大隅俊宏, 大澤博隆, 村川賀彦, 今井倫太, "ソシオン理論に基づきモデル化したエージェントと人との関係性のシミュレーション", *Human-Agent Interaction シンポジウム*, Dec. 2012.
- [59] 宮森千嘉子, 宮林隆吉, 経営戦略としての異文化適応力 ホフステードの 6 次元モデル実践的活用法, 日本能率協会マネジメントセンター, 2019.
- [60] A. Uwe, and K. A. Dowsland. "An indirect genetic algorithm for a nurse-scheduling problem." *Computer & Operations research*, vol.31, no.5, pp.761-778, April. 2004.
- [61] Tsai, C. Chun, and S. H. Li. "A two-stage modeling with genetic algorithms for the nurse scheduling problem." *Expert systems with applications*, vol.36, no.5, pp.9506-9512, July. 2009.
- [62] J. Schrack, R. Ortega, K. Dabu, D. Truong, M. Aibin and A. Aibin, "Combining Tabu Search and Genetic Algorithm to Determine Optimal Nurse Schedules," 2021 IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), pp.1-7, Sep. 2021.
- [63] 西野成昭, 花木伸行, マルチエージェントのための行動科学: 実験経済学からのアプローチ, pp.11-13, コロナ社, 2021.
- [64] S. Arai, and K. Sycara, "Effective Learning Approach for Planning and Scheduling in Multi-Agent Domain", In *Proceedings of the 6th International Conf. on Simulation of Adaptive Behavior*, pp.507-516, June. 2001.

公共交通機関における子供の泣き声の不快感を 軽減させる不快音緩和システム

阿部 晶子*・岩瀬 一彦*・武村 知昭*・張 桀 碩*・大久保 友幸*・
林 久志*

A noise reduction system that mitigates the sound of crying children

Shoko Abe*, Kazuhiko Iwase*, Tomoaki Takemura*, Jieshuo Zhang*,
Tomoyuki Ohkubo* and Hisashi Hayashi*

Abstract

Since public transportation is used by a wide variety of people, it is desirable that it be accessible to everyone. However, in reality, there are many people who find it difficult to use public transportation. Infants often cry, which makes it difficult to use public transportation, and there is a strong demand to be considerate of others when using public transportation, which is a burden on families with children. Therefore, in this paper, we propose a system that reduces the discomfort of children's crying by combining multiple sounds into a chord that is used in music. It was confirmed that the proposed method can alleviate unpleasant sounds more than the existing methods.

Keywords: acoustics, psychoacoustics, electroacoustics, chord, psychology

1 はじめに

公共交通機関は多様な人々が利用する。そのため、多様な人にとって使いやすい環境である事が望ましい。しかし、交通機関を利用しづらい人は多く存在している。例えば障害者、高齢者、子供連れの家族などである。本稿では、その中でも子供連れの家族に着目した。乳幼児を連れた家族は子供が泣く事が多いため、公共交通機関を利用しづらい。また、利用時は周囲への気配りを強く求められ負担となっている。周囲の人は子供の泣き声を不快と感じる、睡眠や作業などを妨害されるなどの問題が生じている。

2 関連研究と課題

騒音を改善する手法として、アクティブノイズコントロール(ANC) [1]があるが、騒音と逆位相の二次音源を必要とする。そのため、効果は騒音の周波数帯域が低域の場合のみに限定される。また、制御出来る空間範囲が極めて狭いため使用用途が限られており、ヘッドフォンやイヤホンに利用されている[2]。他手法として、聴覚マスキングを使用した不快感軽減の手法がある[3]。この手法では、騒音を別の音で覆い隠す事で不快感を軽減させる。しかし騒音の音圧が大き

い場合、それを覆い隠す音圧レベルの制御音が必要となるため、不快感を増大させる恐れがある。そこで本稿では、騒音を音楽の和音で軽減させる過去研究に着目した。

当該研究は、音楽の和音を用いて歯科治療音の快音化を研究したものである。この研究は継続的に行われているもので、複数の論文で研究を発表している[4-9]。研究では歯科治療音から不快なピーク周波数を算出し、その周波数成分に対し和音構造を付与する事で歯科治療音の快音化を行っている。また、多重和音構造や時間・周波数領域和音構造などを付与する事により、更なる快音化を行っている。

本稿では、前述した和音を利用した歯科治療音の快音化の研究を子供の泣き声の快音化に転用し、子供の泣き声への不快感の軽減を目指す。

3 目的と提案手法概要

本稿の目的は、子供の泣き声の不快感を軽減させる事である。この時、提案手法は公共交通機関側が提供する事が望ましいと考える。子供の泣き声の不快感を軽減させる方法として、アクティブノイズコントロールを用いたノイズキャンセリング機能搭載のヘッドフォンなどが考えられる[2]。しかしそ

の場合、周囲の人が機器を購入しヘッドフォンを装着する必要がある。誰もが利用しやすい公共交通機関を目指した時に、特定の利用者に負担となるシステムは望ましくない。同様に、子供連れの家族が所持する必要があるシステムも望ましくないと考える。そのため、本稿では公共交通機関が提供する形で子供の泣き声の不快感を軽減させるシステムを提案する。

前述した和音を利用した歯科治療音の快音化の研究を基に、歯科治療音を対象としたシステムを子供の泣き声を対象としたシステムに転用する。

4 提案手法の詳細

和音には協和音と不協和音がある。今回は、協和音のなかでも協和性の高い和音である長三和音を利用した。長三和音は、根音、第3音、第5音の3音で構成される。純正律に基づく長三和音の周波数比は、式(1)で定式化出来る。

$$f_R : f_T : f_F = 4 : 5 : 6 \dots\dots(1)$$

純正律とは、周波数の比が単純な整数比である純正音程のみを用いて規定される音律の事である。

提案手法では、子供の泣き声に対しフーリエ変換を用いてピーク周波数を検出する。この検出したピーク周波数を第3音 f_T とし、式(1)を用いて根音の周波数 f_R 、第5音の周波数 f_F を算出する。この3音の和音を基本和音とする。また、快音は低周波帯域にスペクトル特徴が存在する[10]。そのため、検出したピーク周波数を根音 f_R とした和音とは別に、低音で基音を設定し和音を生成する。これにより快音化の向上を図る。この時、基音同士の周波数比が協和性の高い周波数比となるようにする必要がある[11]。提案手法では、基本和音の1/4倍と1/8倍の周波数で低音の和音を生成した。基本和音3音と、2つの低音和音の6音を合わせた9音を制御音とした。この時の制御音の音圧比率は式(2)の比率とした。

$$\text{基本和音:1/4倍低音和音:1/8倍低音和音} = 1 : 5 : 5 \dots\dots(2)$$

付与する制御音が純音の場合、制御音自体がピープ音のため、不快感の原因となる事が考えられる。そのため、倍音を付与する事で不快感を軽減させる。付与した倍音成分は、[12]のトロンボーンの倍音成分表を参考に決定した。表1は、付与した倍音の倍音成分の表である。表1の振幅比は、総和が1となる。

表 1: 倍音成分表

倍音	振幅比
第1倍音	0.147
第2倍音	0.176

第3倍音	0.195
第4倍音	0.234
第5倍音	0.108
第6倍音	0.035
第7倍音	0.046
第8倍音	0.034
第9倍音	0.026

5 実験方法

実験では子供の泣き声に対し、何もしていない元の音源、既存手法である音響マスキング、提案手法の3つで比較を行った。評価は、主要評価軸としてシャープネス、参考値としてラウドネスを使用した。

音響マスキングは、多くの商業施設などで雑音や騒音に対する配慮として、BGMによる音響マスキングが活用されている。本実験のマスキング音は、マスキング音としてよく利用されているカフェミュージック、ホワイトノイズ、ピアノ曲を利用した。本実験では、マスキング音と和音による制御音は元の音源に対し、同等の音圧で組み合わせる実験を行った。

本実験では元の音源として、20種類の乳幼児の泣き声の音源を用意した。それぞれの音源に対し、3種類のマスキング音による音響マスキングと、不快音緩和システムによる和音化を行った。元の音源と3種類の音響マスキングを行った音源、和音化を行った音源の計5つの音源に対し、シャープネスとラウドネスを算出した。

主要評価軸であるシャープネスは、DIN45692規格[13]を基に算出した。参考値であるラウドネスは、ISO532-1規格[14]を基に算出した。シャープネス、ラウドネス共に値が低いほど、人が感じる不快感は低くなる[15]。提案手法は元の音源に和音を組み合わせるため、ラウドネスの値は元の音源より高くなる事が予想される。そのため、提案手法ではシャープネスの減少を主要目的とし、次点にラウドネスの値の増加を抑える事を目標としている。

6 実験結果

前述した実験方法に基づき算出した結果を次の通りに整理した。

- 元の音源のシャープネスとラウドネスの値を1とする。
- 音響マスキングを行った音源と和音化を行った音源のシャープネスとラウドネスの値は、元の音源を1とした時の比で表す。
- 元の音源との比で表したラウドネスとシャープネスの値の平均を算出する。

この様に整理した実験結果のシャープネスを図 1 に、ラウドネスを図 2 に示す。カフェミュージック、ホワイトノイズ、ピアノ曲による音響マスキングを行った音源の結果は、それぞれ「カフェミュージック」、「ホワイトノイズ」、「ピアノ曲」の判例で示す。

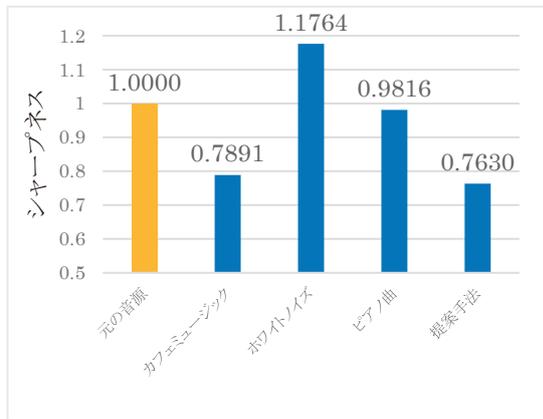


図 1: シャープネスの値の比較

図 1 より、シャープネスの値は元の音源や他手法と比較して、提案手法が 0.7630 と最低値である。次点でシャープネスの値が低いのはカフェミュージックで音響マスキングを行った場合 0.7891 である。他の既存手法であるホワイトノイズやピアノ曲で音響マスキングを行った場合は、大きなシャープネスの値の減少はなかった。

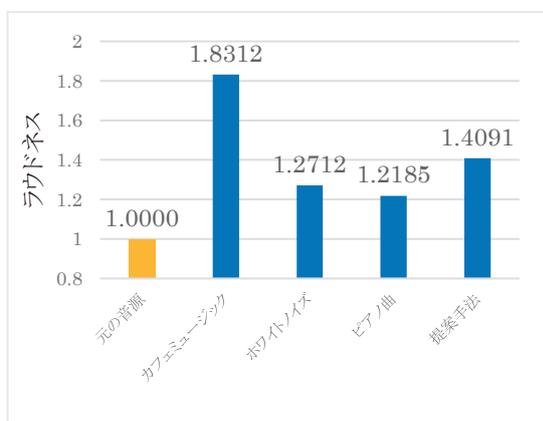


図 2: ラウドネスの値の比較

図 2 より、ラウドネスの値はカフェミュージックで音響マスキングを行った場合が 1.8312 と最大値である。次点でラウドネスの値が高いのは提案手法で 1.4091 だった。ホワイトノイズやピアノ曲で音響マスキングを行った場合のラウドネスの値は、それぞれ 1.2712, 1.2185 であった。

7 考察

実験結果より、提案手法によるシャープネスの値の減少が確認できた。カフェミュージックで音響マスキングを行った場

合にもほぼ同程度のシャープネスの値の減少は見られるが、ラウドネスの値が元の音源と比較して 80%ほど増加している。そのため、快音化効果は高くないと考えられる。これと比較して提案手法は、ラウドネスの値の増加は 40%に抑えられている。また、他既存手法では、シャープネスの値の減少があまり確認できなかった。

これらの事から、提案手法は子供の泣き声に対して、既存手法より高い快音化効果が実現出来たと考えられる。

8 おわりに

本稿では子供の泣き声の快音化のために、音楽の和音を使用した不快音緩和システムを提案した。また、シャープネスとラウドネスを用いた評価実験により、提案手法の有効性を確認した。

今後は、複数名による主観評価実験により、より人の感覚に合わせた評価実験を検討したい。また、公共交通機関での利用を念頭に置いているため、公共交通機関の利用を想定したより詳細なシミュレーションも併せて検討したい。

参考文献

- [1] S. M. Kuo, D. R. Morgan, "Active Noise Control: A Tutorial Review", Proc. IEEE, vol. 87, pp. 943-973, 1999.
- [2] S. M. Kuo, S. Mitra, W. S. Gan, "Active Noise Control System for Headphone Applications", IEEE Trans. Control Syst. Technol., vol. 14, no. 2, pp. 331-335, 2006.
- [3] 中山雅人, 大塩祥剛, 生藤大典, 福森隆寛, 西浦敬信, "聴覚マスキングとメロディ構造付与に基づく歯科治療音の快音化手法の検討", 日本音響学会講演論文集, pp. 429-430, 2015.
- [4] 大塩祥剛, 生藤大典, 中山雅人, 西浦敬信, "和音構造付与に基づく歯科治療音の快音化の基礎的検討", 電気関係学会関西連合大会講演論文集, vol. 2014, pp. 340-341, 2014.
- [5] 大塩祥剛, 生藤大典, 福森隆寛, 中山雅人, 西浦敬信, "コード進行の構造付与に基づく歯科治療音の快音化", 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 169, pp. 47-52, 2015.
- [6] 大塩祥剛, 生藤大典, 須原裕子, 中山雅人, 西浦敬信, "時間・周波数領域和音構造付与に基づく歯科治療音の快音化", 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), vol. 135, no. 12, pp. 1565-1573, 2015.

- [7] 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, 山下洋一, “多重和音構造の付与による歯科治療音の快音化”, 日本音響学会研究発表会講演論文集, vol. 2018, pp. 463-464, 2018.
- [8] 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, 山下洋一, “多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化に向けた快音特徴量の最適化”, 日本音響学会研究発表会講演論文集, vol. 2019, pp. 725-728, 2019.
- [9] 吉岡真呂理, 大塩祥剛, 岩居健太, 西浦敬信, “多重和音構造の付与による歯科治療音の適応快音化～最適な多重和音構造の選択手法の検討～”, 電気関係学会関西連合大会講演論文集, vol. 2019, pp. 248-249, 2019.
- [10] S. Kumar, H. M. Foster, P. Bailey, T. Griffiths, “Mapping un pleasantness of sounds to their auditory representation”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 124, no. 6, pp. 3810-3817, 2008.
- [11] A. Kameoka, M. Kuriyagawa, “Consonance theory part II: Consonance of complex tones and its calculation method”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 45, no. 3, pp. 1460-1469, 1969.
- [12] 遠藤理平, 竹中恭介, 藤原脩, “HTML5+Web Audio API によるオーディオデータプロセッシング: 「音」の理論から生成, 分析, オリジナル電子楽器の開発まで”, *カットシステム*, 2015.
- [13] DIN 45692:2009-08, Measurement technique for the simulation of the auditory sensation of sharpness, 2009.
- [14] ISO 532-1:2017, Acoustics—Method for calculating loudness—Part1:Zwicker method, 2017.
- [15] 章忠, “人に優しい家電製品や自動車などの音響デザインに関する研究”, 財団法人 日比科学技術振興財団平成 17 年度研究報告書, 2005.

過疎地域住民の移動手段としての貨客混載デマンド交通システム

– グラフ理論と線形計画問題の活用 –

岩瀬 一彦*・張 桀 碩*・武村 知 昭*・阿 部 晶 子*・
大久保 友 幸*・林 久 志*

An on-demand transportation system for cargo and passengers for residents
in depopulated areas

- Utilization of graph theory and linear programming -

Kazuhiko Iwase*, Jieshuo Zhang*, Tomoaki Takemura*, Shoko Abe*,
Tomoyuki Ohkubo* and Hisashi Hayashi*

Abstract

In order for everyone to live in a familiar town with peace of mind and comfort, it is necessary to consider both sustainable town development and transportation systems. Residents of depopulated areas without local public transport have difficulty in going to hospitals and shopping for food and daily necessities. The local governments are considering outsourcing bus operations, but it is financially difficult to continue to make up for the large deficit. Therefore, we propose a new efficient operation method of an on-demand transportation system for cargo and passengers. During off-peak time, on-demand vehicles follow the route calculated by VRPTW for cargo and passengers. During peak time, on-demand vehicles follow the route calculated by minimum spanning tree and Steiner tree. In this system, registered drivers residing in the area pick up and drop off passengers at their homes and the nearest points of the on-demand vehicle route by private cars.

Keywords: Demand Responsive Transportation, Traveling Salesman Problem, Vehicle Routing Problem with Time Window, Minimum Spanning Tree Problem, Steiner Tree Problem

1 はじめに

現在, 世界人口の約 50%にあたる 35 億人が都市部に暮らしており, 2030 年にはその割合は 60%に達すると言われており[1]. 爆発的な人口増加とともに, 人々は豊かさを求めて農村部から都市部へ移動し, 先進国や開発途上国の一部ではすでに都市インフラが限界に達している. 日本国内には, 道路上に約 70 万の橋と 1 万のトンネルが存在しているが, 老朽化が進みそれらの維持・修繕費用が大きな負担となっている[2]. さらに運転手不足も顕在化しており, コロナ禍での EC 急増で配送業はより一層繁忙を極めている. 一方, 地方の中山間地域では人口減少が加速した影響で, 空き地や空き家が急増している. その結果, 公共交通が衰退し, 自動車が使えない高齢者などが買い物難民化している[3]. 従って, 誰もが住み慣れたまちで安心して快適に暮らしていくには, 持続可能なまちづくりと持続可能な交通システムを併せ

考えなければならない[4].

持続可能なまちづくりでは, 社会的弱者と呼ばれる女性, 子ども, 障害者, 高齢者などへの特別な配慮や, 公共スペースの確保, 誰もが快適に利用できる緑地の充実などの視点も不可欠である[5].

1.1 背景

高齢者(特に単身高齢世帯)の増加, 小規模小売業の廃業, 公共交通の衰退などにより, 自家用車や送迎無しでは食料品などの購入が困難な買い物弱者(店舗まで 500m 以上の距離に居住し自動車利用が困難な 65 歳以上の高齢者を指す)が増えている[3]. 農林水産政策研究所・研究成果報告会資料(2018 年)によると, 2015 年の買い物弱者比率が 30%以上の県は, 青森県, 秋田県, 愛媛県, 長崎県と鹿児島県であり, 過疎化が進む中山間・離島地域では大きな問題である. 買い物が困難な高齢者は通院も同様に困難で

あり、やがては住み慣れたまちを離れて地域が消滅していく。消滅可能性都市は、2014年当時で全国の自治体の49.8%に上るとの報告もある[6]。その結果、地域公共交通は赤字経営が続いている。地方自治体による補填でなんとか運行してはいるが、その地方自治体も財政的に厳しい状況にある。さらに高齢者ドライバーによる事故が増えており、免許返納により交通弱者が急増する現実もある。従って持続的なまちづくり、そして持続的な交通システムへの取り組みは、住民が主体となって取り組むべき課題であると思われる。

1.2 関連研究

2006年の道路交通法の改正と規制緩和を経て、現在までに全国市町村1700余りの中で1200以上がコミュニティバスを導入し、300以上が乗り合いタクシーを導入している[7]。また高齢化・過疎化等による交通弱者への対応策として、路線バスとタクシーの間に位置するデマンド交通(Demand Responsive Transportation)が導入されてきた。デマンド交通は路線バスと違って決まった停留所やルートを持たず、乗客の要望に応じて配車時刻やルートを決めて運行するのが特徴であり、コミュニティバスや乗り合いタクシーとは趣を異にするものである。以前のデマンド交通は、NTT東日本方式、フジデジタルイメージング東北支社方式、自治体独自方式等から始まり、今日では東京大学/(株)コンビニクル[8]、公立はこだて未来大学/(株)未来シェア[9]、NTTドコモ、モノテクノロジーズ等がIT技術を活用して遅延の発生を無くしたデマンドバスの自動運行システムを提供している。

さらに路線バスによる荷物の貨客混載は、幾つかの地域で実施されており、例えばヤマト運輸の荷物を主管支店から配送センターに運ぶ貨客混載の路線バスがある[10]。2020年には、市町村が運営する公共交通では全国初となる貨客混載デマンド交通が誕生し、佐川急便のトラックから宅配荷物の引渡しを受けデマンドバスに積み替えを行って、旅客の予約のない時間帯を活用して自宅まで荷物を運送するものである[11]。一方で買い物弱者に特化した事業として、買い物支援サービス(買い物ツアーや買い物代行)、タクシーによる買い物代行サービス、店舗独自の配送サービス等がある。このように貨客混載は進んではいるが、旅客輸送と荷物の集荷・配送を同時に行う貨客混載デマンド交通は未だ報告が無いと思われる。また利便性を高めるには車両数を増やす必要があるが、車両数を増やすとコスト高でとても採算が取れないことが報告されている[12]。概してデマンド交通は、乗客を目的地まで乗り換えなしに運ぶよう設計されたものであるが、本稿の提案は途中で乗り換えることで車両数を増やさずにコストを抑える設計思想を取り入れた。

乗り換えのデマンド交通については、既に研究されて報告されている。内村ら[13]は、3つのレベル(1. 近郊都市間、2. 市内コミュニティ間、3. コミュニティ内の Dial-a-Ride)で構

成される階層的なバスサービスを提案している。そしてレベル3にて、複数台の車両を用いた Dial-a-Ride 問題の最適化について報告している。鳥居ら[14]は、固定路線バスとの乗り換えで発生する需要(平均利用要求発生時間)とデマンドバス配車台数のスケジューリング実験と検証を行った。そして平均利用要求発生間隔と配車台数の増加に従って配車率は増加し、サービス時間比と乗車時間比が単調に減少すると報告している。上杉ら[15]は、始点/終点間をデマンドに応じて寄り道して走行する「寄り道型デマンドバス」に着目し、人口過密地域におけるデマンドバスの運行形態を研究した。そして需要多発時には運行回数を増やすのではなく、車両を並列運行することで経路の選択肢を増やす提案を行った。上原ら[16]は、通勤時や退勤時の郊外と都心を結ぶ道路の渋滞を緩和するために、デマンドバスを利用して郊外の乗客を集約し、大型車両によって都心部まで輸送する交通システムを提案した。さらにクラスタリングを用いた効率的なバスルート探索を行った。坂井ら[17]は、複数の固定バス路線をそれより少ないデマンドバス路線で置き換える手法を提案した。例えば、2つの並行する固定バス路線を1つの寄り道型デマンドバス路線で置き換える手法である。

これら既報に対して、本稿提案は住民が主体となってコストを抑えた貨客混載のデマンド型交通である。閑散時は貨客混載の寄り道タイプ、混雑時は寄り道タイプとセミデマンドタイプ(需要の多い個所にバス停を設けてデマンドに応じて巡回するバス停を選択する)を併せた乗り換え方式である。特に混雑時はデマンド交通のバスルートは固定バス路線に近くなり、自宅とバスルートの最寄り地点まではその地域に居住する登録ドライバー(シルバー社員)が自家用車で送迎する方式である。この様にフレキシブルな運行をすることで、少ないデマンド車両数、少ない走行距離、そして乗り換えも含め到着時刻と荷物(買い物代行)受取時刻の正確性を目指したものである。

1.3 課題と提案手法

まずは地域住民がどのような交通システムを望んでいるか検討する為に、図1のペルソナ[18]を作ってシナリオ作りを行った。法人格がないと団体としての契約や助成金、行政などからの委託事業などができないことや、資金調達面で不利になることがあるので、デマンド交通はNPO法人化して運営する必要がある。そして着目したのは、単身高齢者の買い物に近所の方が送迎してくれて大変に感謝していると同時に、気兼ねもあることである。また住み慣れたまちでいつまでも元気で生きがいを感じ、充実した日々を過ごしていきたいシルバー人材がいることである。利便性を重視するがコスト面から車両数は増やせないの、良く知った地域内に限定して自家用車でその地域住民をデマンド交通へと誘うドライバーとしてシルバー人材の雇用が考えられた。さらに商店街ではシ

[22, 23]の時間枠を工夫することで、荷物だけでなく乗客優先の荷物配送ができるのではないかと考えた。本稿ではモデル実験を想定しているので、デマンドバスは1台(定員20名)、道路は格子状、乗降地点と荷物の受取地点は格子点、距離はマンハッタン距離で考えることにした。そして評価軸は、少ないデマンド車両数、少ない走行距離、そして乗り換えも含めた到着時刻と荷物受取時刻の正確性、が達成できたか否かとした。その時間制約は以下の(1)から(3)を満たす必要がある。

$$(on_i - \delta_i) \leq T_i \leq on_i \quad (\forall i \in V) \quad (1)$$

$$(off_i - \delta_i) \leq T_i \leq off_i \quad (\forall i \in V) \quad (2)$$

$$c_i \leq T_i \leq d_i \quad (\forall i \in V) \quad (3)$$

- [on_i, off_i]: i 地点の乗車と降車の希望時刻
- δ_i: i 地点の乗降ゆとり時間
- T_i: i 地点への到着予定時刻
- [c_i, d_i]: i 地点の荷物受取の希望時間範囲
- V: {乗車地点集合}+{降車地点集合}+{車庫}

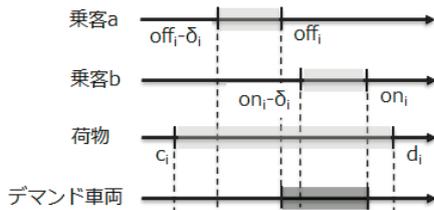


図 4: i 地点の到着予定時刻と出発予定時刻

図 4 は、上記(1)から(3)を満たすデマンド車両の停車地点 i の到着予定時刻 (off_i) と出発予定時刻 (on_i) を濃灰色バーで示した。デマンド車両は、デマンド客の乗車が完了しなければ発車することはできない。従って、乗車と降車の希望時刻に差がある場合には、ゆとり時間 δ_i [24]によってその差を調整することが可能である。そしてこのゆとり時間を工夫することで、荷物受取も可能になると考えた。図 4 で i 地点での荷物受取は、停車時間を利用して行うことが可能である。

次に運行コストと顧客の利便性の折り返いであるが、昼間(閑散時)と朝夕(混雑時)の運行方法を変えることを提案する。図 5 に閑散時の運行(上図)と混雑時の運行(下図)を記した。閑散時は、1 台のデマンド車両が乗客と荷物を VRPTW で計算されたルートを行走する。一方混雑時は、1 台のデマンド車両がセミデマンドタイプのバスルートを行走して、自宅とバスルートの最寄り地点まではその地域に居住する登録ドライバーが自家用車で送迎する。寄り道タイプの運行ルートから最小全域木[25]とシュタイナー木[26, 27]でセミデマンドタイプのバスルートと乗降地点を設定し、その後 VRPTW で時間枠内に乗降が可能かをシミュレートする。一

般に VRPTW やシュタイナー木はデマンド数が大きくなると NP-困難な問題である[28, 29]。一方で、貪欲法で求められた全域木は最小全域木になっていることが知られている[30, 31]。従って、寄り道タイプの運行ルートから最小全域木とシュタイナー木でセミデマンドタイプのバスルートと乗降地点を設定し、その後 VRPTW で時間枠内に乗降が可能かをシミュレートするのが効果的と思われる。

尚、VRPTW、最小全域木やシュタイナー木のプログラムは、東京海洋大学の久保幹雄教授が Github で公開している Python コードを使用した[32-34]。



図 5: 閑散時の運行(上図)と混雑時の運行(下図)

2 結果

2.1 閑散時運行(図 5 上)

図 6 に閑散時デマンド客の乗降や荷物の積み卸し地点を記し、そして表 1 にはその受諾デマンド(ケース 1)を記した。時間は距離で換算することができ、マンハッタン距離 22~23 が 5 分、距離 9 が停車時間の 2 分、そして距離 270 が荷物受取時間枠の 60 分に相当する。図 7 にケース 1 に基づいて VRPTW プログラムを実行して算出されたデマンド車両の運行ルートを記した。車庫を出発して病院で 2 人の女性客

(A, B; 赤色)をピックアップし、商店で2つの荷物(X, Yの買
い物代行; 緑色)を積み込み、駅で2人の男性(C, D; 黒色)を
ピックアップした。その後はA宅(淡い赤色), B宅(淡い赤
色), そしてX宅(淡い緑色), C宅(淡い黒色), Y宅(淡い
緑色)に立ち寄り、最後にD宅(淡い黒色)へのルートである
が、希望時刻通りにデマンドを処理することが可能であった。

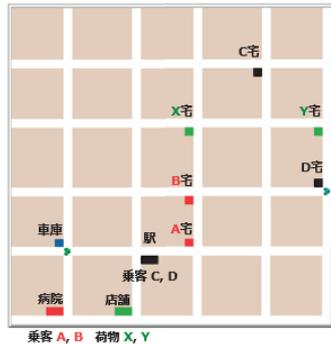


図 6: デマンド客の乗降や荷物の積み卸し地点
(病院; デマンド客 A, B 乗車, 店舗; X, Y 荷物の積み込み,
駅; デマンド客 C, D 乗車 → デマンド客の各宅へ)

表 1: 受諾デマンド(ケース 1)

乗降地点	位置座標 X	位置座標 Y	乗降人数	最早時刻	最遅時刻	停車時間
車庫	5	28	0	0	461	0
病院	5	5	2	23	43	9
商店	28	5	2	55	75	9
笠田駅	28	28	2	87	107	9
Aさん宅	50	28	-1	118	138	9
Bさん宅	50	50	-1	149	169	9
Xさん宅	50	73	-1	100	370	9
Cさん宅	73	95	-1	235	255	9
Yさん宅	95	73	-1	100	370	9
Dさん宅	95	50	-1	320	340	9

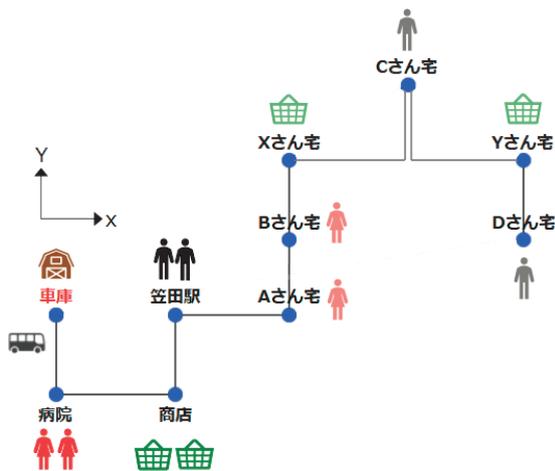


図 7: デマンド車両の運行ルート(ケース 1)

2.2 混雑時運行(図 5 下)

図 8 左にデマンド客の乗降地点を格子状道路に記した。
ここで A~F 地域は集落であり、デマンドが無い格子点は車

両移動が難しい集落の無い地域である(便宜的に右図では、
それらの間の移動時間を 99 分とした)。図 8 右は移動時間
(分)を格子状道路に記した。黄色い太線は A~F 地域の地
点とバスルートの最寄り地点、そして 3 つの目的地を結ん
だ最小全域木を表している。そして図 9 左は、図 8 右の最小
全域木で C, E 地域にデマンド客がない場合の一筆書き
(準オイラーグラフ)を表している。1 台のデマンド車両で全て
のデマンドに応える為には、A, B, D, F 地域と駅は往復運行
しなければならない、その間の走行距離は単純に 2 倍になる。

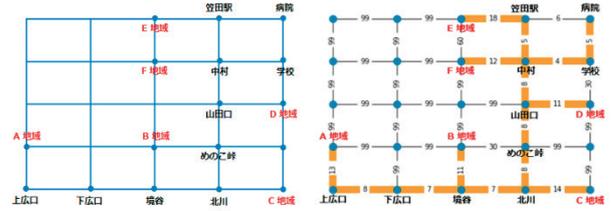


図 8: デマンドの乗降地点(左)と車両移動時間(右)

図 9 右は最初の乗車地点と目的地である駅, 学校と病院(赤
字)をターミナルに選んで算出したシュタイナー木(黄色の線)
である。シュタイナー木を 1 台のデマンド車両が走行するバ
スルートにして、A, B, D, F 地域からバスルートの最寄り地点
まで、その地域に居住する登録ドライバーがデマンド車両の
到着時刻に合わせて自家用車で送迎する。目的地である駅,
学校と病院の希望到着時刻が異なる場合には、1 台のデマ
ンド車両で運行することは可能かもしれないが、希望到着時
刻が重なる場合には、集落からの自家用車はバスルートの
最寄り地点で、乗客を集めて(乗り換えさせて)、そこから近
い目的地へと運行する。図 9 右は 3 つの目的地の希望到着
時刻が重なった場合の運行ルートを記したが、デマンド車両
は病院までの運行となる。

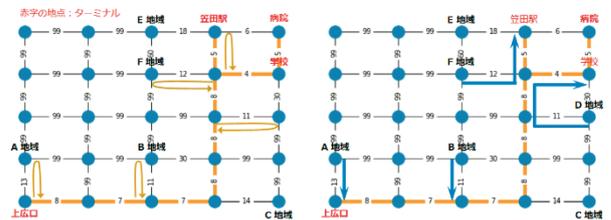


図 9: 準オイラーグラフ(左)とシュタイナー木(右)

表 2 の受諾デマンド(ケース 2)は、目的地である駅, 学校
と病院への希望到着時刻が異なる場合である。図 10 はケー
ス 2 に基づいて、VRPTW プログラムを実行して算出したデ
マンド車両の運行ルートを記した。ケース 2 のデマンド客の
乗車地点は、A 地域に 2 人の男性(黒色), そしてバスルー
トに 1 人の女性(赤色), B 地域に 1 人の女性(赤色), そし
てバスルートに 1 人の男性(黒色), D 地域に 1 人の男性(黒

色),そしてバスルートに1人の女性(赤色),F地域に1人の女性(赤色)である。降車地点は,駅が1人の男性(淡い黒色)と1人の女性(淡い赤色),学校が2人の男性(淡い黒色)と1人の女性(淡い赤色),そして病院が1人の男性(淡い黒色)と2人の女性(淡い赤色)である。結果は,希望時刻通りにデマンド客を目的地まで送り届けることが可能であった。A,B,D,F地域に居住するデマンド客宅からバスルートの最寄り地点までは,その地域に居住する登録ドライバーが予約運行システムの指示に従って,デマンド車両の到着時刻までに自家用車で送迎する。

表 2: 受諾デマンド(ケース 2)

乗降地点	位置座標 X	位置座標 Y	乗降人数	最早時刻	最遅時刻	停車時間
車庫	5	28	0	0	470	0
上広口	5	5	3	23	43	9
下広口	28	5	0	55	75	9
境谷	50	5	2	86	106	9
北川	73	5	0	118	138	9
めのご峠	73	28	0	150	170	9
山田口	73	50	2	181	201	9
中村	73	73	1	213	233	9
学校	95	73	-3	244	264	9
病院	95	95	-3	275	295	9
笠田駅	73	95	-2	306	326	9

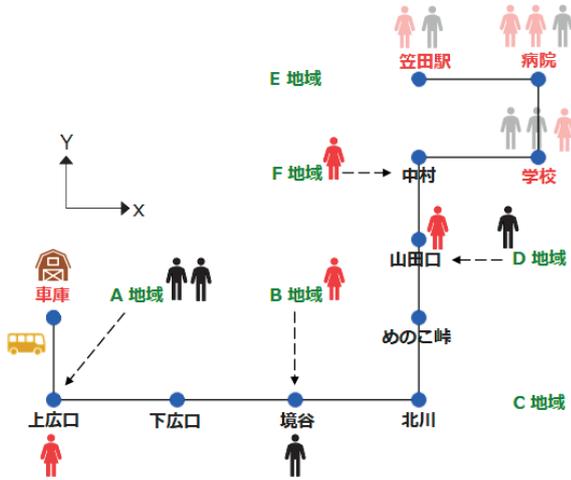


図 10: デマンド車両の運行ルート(ケース 2)

表 3 の受諾デマンド(ケース 3)は,目的地である駅,学校と病院への希望到着時刻が同じ場合である。ケース 3 に基づいて VRPTW プログラムを実行すると,図 11 左上囲み部分で記された車庫から 3 台のデマンド車両を運行しなければならない。これに対して提案する乗り換え方式では,デマンド車両はデマンド数の多い病院に向かい(青色の線),A,B地域からの自家用車はバスルートの最寄り地点まで,D地域からの自家用車はバスルートの最寄り地点で学校に向かう乗客を集めて(乗り換えさせて)学校まで運行する(緑色の矢印)。F地域からのデマンド客の目的地が学校であれば,勿論そのデマンド客も最寄り地点でピックアップする。そして F

表 3: 受諾デマンド(ケース 3)

乗降地点	位置座標 X	位置座標 Y	乗降人数	最早時刻	最遅時刻	停車時間
車庫	5	28	0	0	470	0
上広口	5	5	3	23	43	9
下広口	28	5	0	55	75	9
境谷	50	5	2	86	106	9
北川	73	5	0	118	138	9
めのご峠	73	28	0	150	170	9
山田口	73	50	2	181	201	9
中村	73	73	1	213	233	9
学校	95	73	-3	244	264	9
病院	95	95	-3	244	265	9
笠田駅	73	95	-2	244	265	9

地域からの自家用車は,バスルートの最寄り地点で駅に向かう乗客を集めて(乗り換えさせて)駅まで運行する(黄色の矢印)。この乗り換えによって,デマンド車両は 3 台から 1 台に減らすことが可能であり,走行距離も A,B,D,F 地域への往復分,そして図 11 で重複する緑色の点線部分と黄色の点線部分を省くことが可能となり,52%も削減することができた。そして希望時刻通りにデマンド客を目的地まで送り届けることもできた。

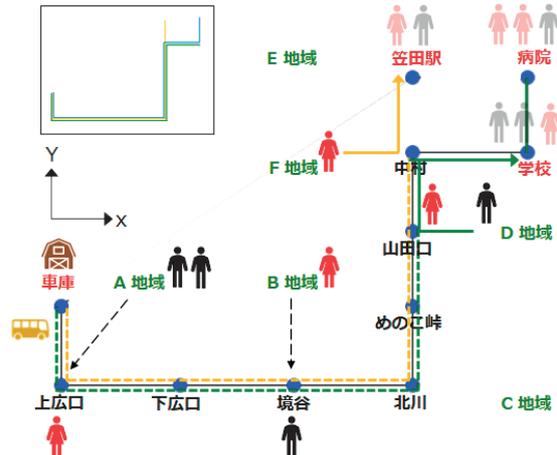


図 11: デマンド車両の運行ルート(ケース 3)

3 考察

地域公共交通のない過疎地域では,住民が難儀なく移動できる公共交通の存続が望まれている。しかし地域公共交通は赤字経営が続いている。地方自治体による補填でなんとか交通事業を営んでいるが,その地方自治体も財政的に厳しい状況である。また高齢者ドライバーによる事故も増えており,免許返納により交通弱者が急増する現実もある。従って持続的なまちづくり,そして持続的な交通システムへの取り組みは,住民が主体となって取り組むべき課題である。本稿提案は住民参加型の新しい交通事業であり,少ないデマンド車両数,少ない走行距離,そして乗り換えも含め到着時刻と荷物(買い物代行)受取時刻の正確性を目指した公

公共交通である。閑散時と混雑時の運行方法を分けて考え、昼間の閑散時は1台のデマンド車両で乗客と荷物をVRPTWで計算されたルートに従って運行するが、時間枠を工夫することで荷物だけでなく乗客優先の輸送を可能にした。また朝夕の混雑時は1台のデマンド車両がセミデマンドタイプのバスルートを行って、自宅とバスルートの最寄り地点まではその地域に居住する登録ドライバー(シルバー社員)がデマンド車両の到着時刻前に自家用車で送迎する方式である。寄り道タイプの運行ルートから最小全域木とシュタイナー木でセミデマンドタイプのバスルートと乗降地点を設定し、その後VRPTWで時間枠内に乗降が可能かをシミュレートする。

実験例として3つの目的地の希望到着時刻が同じ場合には、通常のVRPTWでは車庫から3台のデマンド車両を運行しなければならない。しかし本稿提案は、1台のデマンド車両が車庫を出発して、デマンド客を乗せて病院まで運行する。A地域とB地域からのデマンド客は、その地域を担当する自家用車でバスルートの最寄り地点まで送られ、そこでデマンド車両に乗り換える。D地域からのデマンド客は、その地域を担当する自家用車でバスルートの最寄り地点まで送られ、そこで病院や駅に向かう乗客はデマンド車両に乗り換える。D地域からの自家用車は、学校に向かう乗客を集めて学校まで運行する。またF地域からのデマンド客は、その地域を担当する自家用車でバスルートの最寄り地点まで送られ、学校に向かう自家用車や病院に向かうデマンド車両に乗り換える。F地域からの自家用車は、駅に向かうデマンド客を集めて駅まで運行する。この乗り換えによって、デマンド車両は3台から1台に減り、走行距離も52%短縮し、希望時刻通りにデマンド客を目的地まで送り届けることが可能となった。よって本稿提案の住民参加型の新しいデマンド交通は、過疎地域の住民が快適で活気に満ちた質の高い生活を送ることに貢献し、財政的に厳しい地方自治体に優しい公共交通機関となり得るものと思われた。

まだ実験途中のためデータは記さないが、エレベータ管理システム[35]を応用して、1台のセミデマンドタイプのデマンド車両の運行をBrian YangがGithubで公開しているマルチエージェントシミュレーター[36]で検討したところ、ポアソン分布で発生させたデマンドの受諾率は7割ほどであった。住民の多くが満足すべく利便性を追及してデマンド受諾率を上げると、コストが嵩むことは容易に想像できる。このトレードオフをどうするかは大きな課題である。また本稿ではモデル実験を想定しているため、実用化するには多くの条件をシミュレーション実験して検討を重ねた上で、繰り返しテスト運行を実地する必要があるのは言うまでもない。

4 おわりに

本稿提案は、グラフ理論や数理計画法などの先端技術を

活用して、社会的課題である公共交通のない過疎地域の住民が快適で活気に満ちた質の高い生活を送ることができるように、そして地方自治体の負担が軽減されるように、低コストで運行できるデマンド型交通の実現を目指したものである。今日では、新型コロナウイルス感染症の拡大により、移動や交流が長期にわたり制限され、多くの企業や政府・自治体がテレワークに取り組み、都市部に住むメリットはだんだん少なくなってきている。まさにコロナ禍は、生活スタイルや社会経済構造の変革を加速し、新しい日常を生み出してきている。

本稿提案のシミュレーション結果から、住民参加型のデマンド交通は、少ないデマンド車両数、少ない走行距離、そして乗り換えも含め到着時刻と荷物(買い物代行)受取時刻が正確な地方公共交通となる可能性を示唆するものであり、既存のサービスに新しい付加価値を付与する可能性があると思われた。そして過疎地域に持続可能な交通システムが導入され、やがては持続可能なまちづくりへと繋がることを期待したい。

最後に、本稿のデマンド型交通システムは、和歌山県伊都郡かつらぎ町のデマンドタクシー四郷ルートをモデルにさせて頂き、それを架空に仕上げたものである。実験モデルとして、かつらぎ町の地理情報を加工・修正しているため、実在するかつらぎ町の地理やデマンドタクシー四郷ルートとは全く異なるものである。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21K12144 及び JST AIP ネットワークラボ「日独仏 AI 研究」JPMJCR20G4 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] 国際連合広報センター, 持続可能な開発のための2030アジェンダ採択 -- 持続可能な開発目標ファクトシート,
https://www.unic.or.jp/news_press/features_backrounders/15775/, 2015. (visited on 2021)
- [2] 西山敏樹, “交通サービスの革新と都市生活 行動の意思決定を有効に支援する技術,” 慶應義塾大学出版会, 2017.
- [3] 笈祐介, “持続可能な地域のつくり方 未来を育む「人と経済の生態系」のデザイン,” 英治出版, 2019.
- [4] 国土交通省, 2040年、道路の景色が変わる ～人々の幸せにつながる道路～,
<https://www.mlit.go.jp/road/vision/pdf/01.pdf>, 2020. (visited on 2021)
- [5] SDGs.TV, 住み続けられるまちづくりを,
https://sdgs.tv/tg_mov/goal11, 2016. (visited on 2021)

- [6] 国土交通政策研究所, 「地域消滅時代」を見据えた今後の国土交通戦略のあり方について, https://www.mlit.go.jp/pri/kouenkai/syousai/pdf/b-141105_2.pdf, 2014. (visited on 2021)
- [7] 中島秀之, 松原仁, 田柳恵美子(編著), スマートシティはこだてラボ+未来シェア(著), “スマートモビリティ革命 未来型 AI 公共交通サービス SAVS,” 近代科学社, 2019.
- [8] 大和裕幸, 稗方和夫, 坪内孝太, “オンデマンドバスー公共サービスに於けるイノベーションー,” オペレーションズ・リサーチ, vol. 51, no. 9, pp. 579-586, 2006.
- [9] 野田五十樹, 篠田孝祐, 太田正幸, 中島秀之, “シミュレーションによるデマンドバス利便性の評価,” 情報処理学会論文誌, vol. 49, no. 1, pp. 242-252, 2008.
- [10] 公益財団法人日本自動車教育振興財団, “「貨客混載」は運送事業改革の牽引“車”となるかー長野県飯綱町にみる官民の連携ー,” Traffic-Cation, no. 47, pp. 1-12, 2018.
- [11] 鳥取県県政一般・報道提供資料, 大山町営スマイル大山号による貨客混載輸送の出発式の開催について(全国初! 市町村営バスによる各戸宅への貨物輸送), 2020.
- [12] 日高洋祐, 牧村和彦, 井上岳一, 井上佳三, “MaaSモビリティ革命の先にある全産業のゲームチェンジ,” 日経 BP 社, 2018.
- [13] 内村圭一, 斉藤隆司, Hiro Takahashi, “公共交通サービスにおける Dial-a-Ride 問題,” 電子情報通信学会論文誌 A, vol. J81-A, no. 4, pp. 599-606, 1998.
- [14] 鳥居健太郎, 愛須英之, 田中俊明, “乗り換えを想定した需要に対する Dial-a-Ride スケジューリング,” 電気学会研究会資料. IIC, 産業計測制御研究会, vol. 2002, no. 1, pp. 31-36, 2002.
- [15] 上杉健太郎, 渡邊豊英, 向直人, “K-means 法を用いた寄り道型デマンドバスの並列運行手法,” Proceedings D10-5, Data Engineering Workshop 2008.
- [16] 上原和樹, 赤嶺有平, 當間愛晃, 根路銘もえ子, 遠藤聡志, “デマンドバスと大型車両による協調型交通システムの提案,” 情報処理学会論文誌, vol. 56, no. 1, pp. 46-56, 2015.
- [17] 坂井佑理, 瀧瀬和樹, 浅野泰仁, 吉川正俊, “寄り道型デマンドバス路線のルート設計に関する手法の検討,” 第 10 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, H4-1, 2018.
- [18] J. S.Pruitt and T. Adlin, “ペルソナ戦略ーマーケティング, 製品開発, デザインを顧客志向にする,” ダイヤモンド社, 2007.
- [19] C. Gronroos, “Service Management and Marketing Managing the Service Profit Logic,” WILEY, 2015.
- [20] M. J.Bitner, L. O.Amy and N. M.Felicia, “Service Blueprinting: A Practical Technique for Service Innovation,” California Management Review, vol. 50, no. 3, pp. 66-94, 2008.
- [21] 山本芳嗣, 久保幹雄, “巡回セールスマン問題への招待,” 朝倉書店, 1997.
- [22] J. Desrosiers, Y. Dumas and F. Soumis, “A dynamic programming solution of the large-scale single-vehicle dial-a-ride problem with time windows,” Am. J. Math. Manage. Sci., vol. 6, no. 3-4, pp. 301-325, 1986.
- [23] Y. Dumas, J. Desrosiers and F. Soumis, “The pick-up and delivery problem with time windows,” Eur. J. Oper. Res., vol. 54, no. 1, pp. 7-22, 1991.
- [24] 大和裕幸, 坪内孝太, 稗方和夫, “オンデマンドバスのためのリアルタイムスケジューリングアルゴリズムとシミュレーションによるその評価,” 運輸政策研究, vol. 10, no. 4, pp. 002-010, 2008.
- [25] R. K.Ahuja, T. L.Magnanti and J. B.Orlin, “Applications of Network Optimization,” in Network Models, M. O.Ball, T. L.Magnanti, C. L.Monma and G. L.Nemhauser, eds., North-Holland, 1995.
- [26] A. Agrawal, P. Klein and R. Ravi, “When trees collide: An approximation algorithm for the generalized Steiner problem on networks,” SIAM Journal on Computing, vol. 24, no. 3, pp. 440-456, 1995.
- [27] K. Chour, S. Rathinam and R. Ravi, “S*: A Heuristic Information-Based Approximation Framework for Multi-Goal Path Finding,” 31st International Conference on Automated Planning and Scheduling, pp. 85-93, 2021.
- [28] J.K. Lenstra and A.H.G. Rinnooy Kan, “Complexity of vehicle routing and scheduling problems,” Networks, vol. 11, pp. 221-227, 1981.
- [29] R.M. Karp, “Reducibility among combinatorial problems,” In: R.E. Miller, J.W. Thatcher, J.D. Bohlinger (eds.), Complexity of Computer

Computations, pp. 85–103, Plenum Press, New York, 1972.

- [30] J.B. Kruskal, "On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem," *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol. 7, no. 1, pp. 48–50, 1956.
- [31] R.C. Prim, "Shortest connection networks and some generalisations," *Bell System Technical Journal*, vol. 36, pp. 1389–1401, 1957.
- [32] <https://mikiokubo.github.io/opt100/61vrp.html>
(visited on 2021)
- [33] <https://mikiokubo.github.io/opt100/05mst.html>
(visited on 2021)
- [34] <https://mikiokubo.github.io/opt100/08steiner.html>
(visited on 2021)
- [35] 稲元勉, "エレベータの運行計画に関する近年の研究動向," *システム／制御／情報*, vol. 56, no. 3, pp. 120–127, 2012.
- [36] <https://github.com/brian-yang/elevator>
(visited on 2021)

「パートナーロボット」のデザイン開発研究 —動作に着目した形態構築の試み—

内山 純*・三隅 義範*・石田 大樹*・Xian Jiaqi*・橋本 智行*・近藤 嘉男*

Design Development of “Partner Robot” —An attempt to construct a shape focusing on motion—

Jun Uchiyama*, Yoshinori Misumi*, Daiki Ishida*, Xian Jiaqi*,
Tomoyuki Hashimoto* and Yoshio Kondo*

Abstract

This paper presents an exploration of shape-construction methods focusing on the behavior of partner robots and reports on the progress of this exploration. Although physical constraints on moving parts dominate shape construction, shape constraints need not necessarily be viewed negatively. For a typical model case of a moving portion of robots, we proposed a design method by organizing the process of creating a design proposal that considers the constraints of the moving components. Another important aspect of this research is the attempt by product designers to formalize "shape manipulation".

Keywords: Partner Robot, Design Method, Shape Manipulation, Shape-Construction Methods

1 はじめに

サービス分野でのロボットの発展は著しく、なかでも家事支援や介護支援、店舗での接客サービス等、人々の日常生活の支援を目的とするロボットは「パートナーロボット」[1]と呼ばれ広く関心を集めている。この背景にはロボットに必要なセンサー技術、AI 技術、情報処理技術等の要素技術の技術革新と情報通信ネットワークの整備が進んだことが挙げられる [2, 3]。

著者らは 2016 年度から本学の創造技術コース、イノベーションデザイン特別演習 I・II」における PBL (Project Based Learning) のテーマとして「人との共生を目指すパートナーロボットのデザイン」に継続して取り組み、異分野横断型学生と教員の共創によりバックキャストिंगのアプローチで感性と機能の両面から未来社会のパートナーロボットのあり方を模索している。

初年度の 2016 年度は「人間とロボットの関係性」を改めて見直し[4] (図1)、2017 年度は「表情」と「仕草」に着目した[5] (図 2)、2018 年度は「仕草」のなかでも潜在的に感情を表現する「足の仕草」に着目した[6] (図 3)、2019 年度は日常生活の中で「ハートフル」な体験を促すように働きかける「ハートフルロボット」を提案してきた[7] (図 4)。2020 年度はストレスコーピング(ストレス対処行動)に着目し「気晴らし行動」を促し情緒的な共感を抱かせることを狙った複数のロボットを提

案した[8] (図 5-8)。2021 年度は、2020 年度の中で「会話をする」動作を模したロボット UCR-07[8]に着目し、多様な「情緒的共感」を抱かせる動作とパーソナルなカスタマイズ可能性を探ってきた。

これまで著者らは変化する社会の中で「ロボットが人と共生する未来がどう在るべきか？」という「厄介な問題」[9]を「デザイン思考」[10]を活用し、バックキャストिंग視点で探索的に仮説提案を進めてきた。一方、本学の創造技術コースでは、機能と感性の融合した「ものづくりアーキテクト」の育成を目指している。さらにその中でも、「モノ」の形態を提案する際に中心的な役割を担うプロダクトデザイナー、デザインエンジニアにとって「パートナーロボット」のスタイリングデザインは、多くの矛盾する要件を満たす必要があり、人間中心(ユーザ中心)の視点とデバイスやメカニズムの設計的な制約のバランスをとり上手く両立させる必要がある。



図 1：ロボットを媒体としたユーザコミュニケーション
WCR-01 [4] (イメージ画像)

Received on October 2, 2022

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

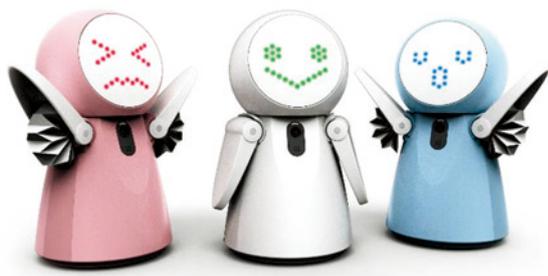


図 2:「表情」と腕の「仕草」に着目
UCR-01[5] イメージ画像

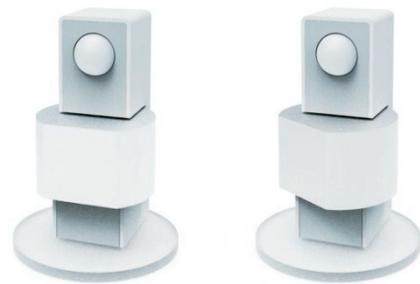


図 6:「体を揺さぶる」動作を模したロボット
UCR-04[8](イメージ画像)



図 3:「表情」と足の「仕草」に着目
UCR-02[6] (イメージ画像)



図 7:「スクワット」動作を模したロボット
UCR-06[8](イメージ画像)



図 4:「ハートフルロボット」
UHR-05 [7] (イメージ画像)



図 8:「会話をする」動作を模したロボット
UCR-07[8](イメージ画像)

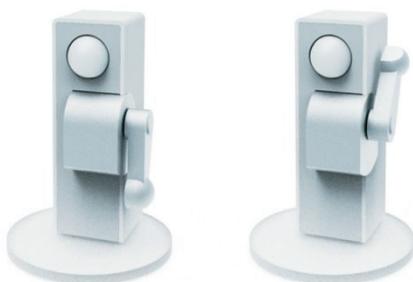


図 5:「ハイタッチ」動作を模したロボット
UCR-03[8] (イメージ画像)



図 9: UCR-70A 試作[8]
幅:40[mm] 高:100[mm] 奥行:52.5[mm], 重量 140[g]

2 概要

これまで提案してきたロボット群(図1-9)からもわかるように、一連のロボットは、いわゆる「キャラクター」を極力持たせずに初期の形態構築を行ってきた。コンセプトが絞りきれいな開発段階のロボットでは、形態的な特徴を極力抑えることで、動作の特徴が際立ち、多様なコンセプトに適用できると考えているためである。

一方、市場においては、対象ユーザの趣向に合わせキャラクターを持たせたパートナーロボットが主流であり、著者らのアプローチとは異なっている。パートナーロボットにキャラクターをもたせることを否定しているわけではない。パートナーロボットのコンセプトが明確になっている場合は、動作特性や知性レベルに応じて適切な形態を与えることで意味を付加すべきであろう。

さらに、ロボットの場合、適切な形態を付与するためには稼働部分の制約だけでなく、センサー位置などの制約条件などが多岐に渡り、条件間で矛盾が起こるケースも少なくない。形態的な問題を解決するには「形の操作」といったプロダクトデザインスキルだけでなく、構造も含めた幅広いメカトロニクスの知識、さらに、安全性も含んだ倫理の問題にも関心を持ち取り組む必要がある。

そこで、本稿では、パートナーロボットの形態構築方法を探るために動作に着目した形態の構築方法の探索を行い、その経過を報告する。

以降の3章では、比較的単純な例として、1自由度のタイプのロボットについて、稼働制約を考慮したデザイン解展開を試み、4章ではその考察を行い、5章でまとめを行う。

3 稼働制約を考慮したデザイン解の作成

2020年度に提案した「会話をする」動作を模したロボットUCR-07[8](図8)を試作UCR-70A[11](図9)を一例として、稼働制約を考慮してデザイン解の作成を試みた。作業は2DCADのツール(Adobe Illustrator)を用いて、短期間で(1時間程度)で行った。一例として既知のロボットを使用した理由は、おおよその条件を把握しているために、平面のデザイン解展開を容易にするためである。

3.1 稼働制約を考慮した「角タイプ」のデザイン解

固定部品を基準として、他の部品を稼働させることで稼働制約からデザイン解の展開を行った。掲載された以外のデザイン解も存在するがA, B, C, D, E, Fに整理して、図10にまとめた。

3.1.1 Skelton

図10の上の図は、UCR-07における1自由度の口開閉を機構学のSkeletonで表現したものである。下の斜線は固定を、棒は節(リンク)、丸は対偶(この場合はまわり対偶)を表

している。

3.1.2 デザイン解 A

稼働部品を基準として固定部品の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.1.3 デザイン解 B

稼働部品、固定部品双方の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.1.4 デザイン解 C

固定部品を基準として稼働部品の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.1.5 デザイン解 D

稼働部品に軸部品を取り込み、固定部品の形状を調整することで稼働を成立させている。

3.1.6 デザイン解 E

固定部品に軸部品を取り込み、稼働部品の形状を調整することで稼働を成立させている。

3.1.7 デザイン解 F

軸部品を視覚的に独立させ、稼働部品、固定部品双方の形状を調整することで稼働を成立させている。

3.2 稼働を考慮した「丸タイプ」のデザイン解

3.2.1 Skelton

図11の上の図は、UCR-07の頭部の円柱形状のバリエーションを想定している。自由度1の口開閉を、機構学のSkeletonで表現したものである。下の斜線は固定を、棒は節(リンク)、丸は対偶(この場合はまわり対偶)を表している。

3.2.2 デザイン解 A

稼働部品を基準として固定部品の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.2.3 デザイン解 B

稼働部品、固定部品双方の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.2.4 デザイン解 C

固定部品を基準として稼働部品の形状を調整することで稼働を成立させている。軸部品は内部に取り込んでいる。

3.2.5 デザイン解 D

稼働部品に軸部品を取り込み、固定部品の形状を調整することで稼働を成立させている。

3.2.6 デザイン解 E

固定部品に軸部品を取り込み、稼働部品の形状を調整することで稼働を成立させている。

3.2.7 デザイン解 F

軸部品を視覚的に独立させ、稼働部品、固定部品双方の形状を調整することで稼働を成立させている。

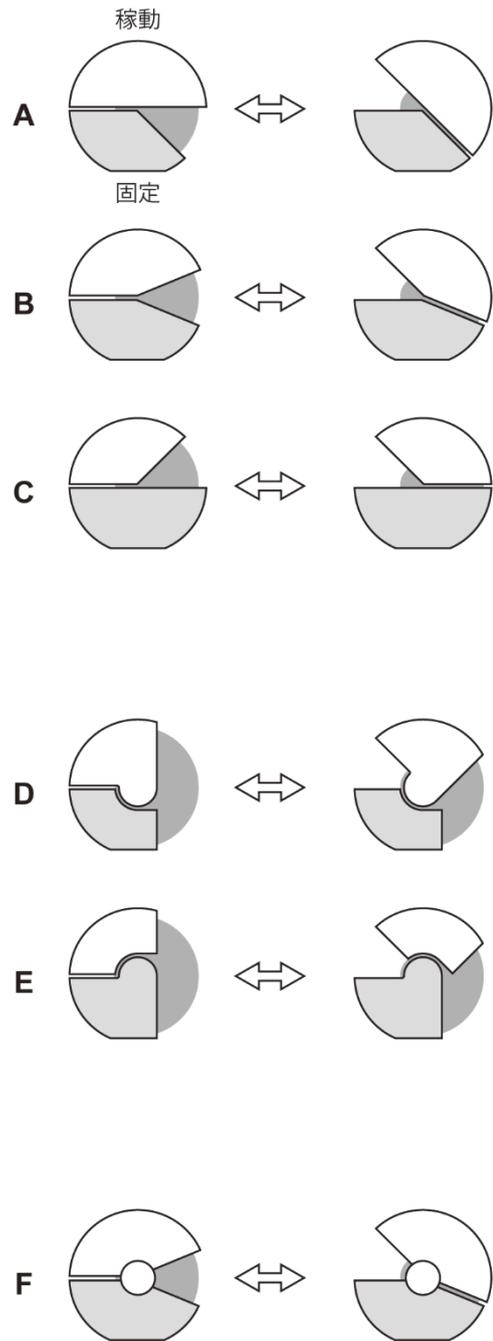
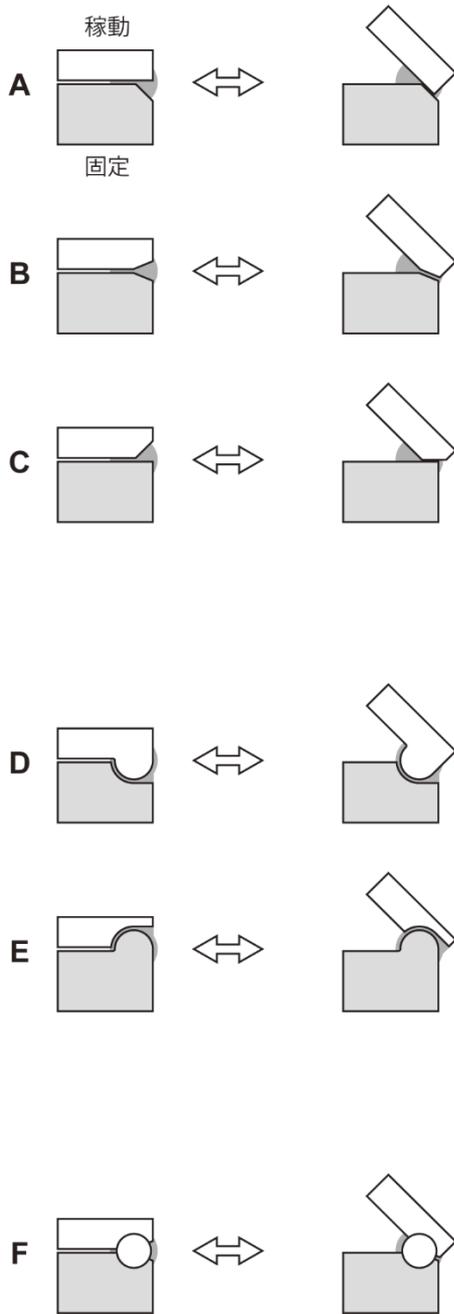
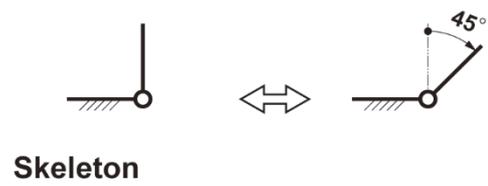
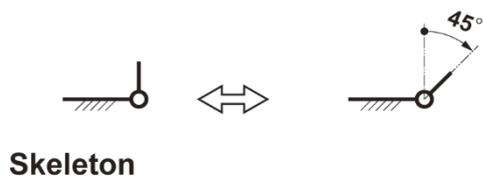


図 10 :稼動を考慮したデザイン解「角タイプ」の例

図 11 :稼動を考慮したデザイン解「丸タイプ」の例

4 結果と考察

図 10, 図 11 に示したように UCR-07[8] (図 8) を基にした「角タイプ」及び丸の中心稼働中心とした「丸タイプ」の2つのケースでデザイン解を複数作成し、稼働制約のために調整する部品の視点で分類した。

「角タイプ」A の稼働部品を基準とするデザイン解では閉じた状態が安定し、C の固定部品を基準としたデザイン解では開いた状態安定する。B はその間となる。D, E はいずれの位置においても複雑であり、F のように軸部品を視覚的に独立させることで、D, E のような複雑さが緩和できる。稼働することをユーザに示したい場合は F に近い構成を検討すべきであろう。また、あまり稼働することを強調したくない場合は基準角度によって A または C または中間的な B を参考にして全体のバランスに配慮しながら形態を整理すると良い場合がある。

「角タイプ」は基本姿勢が閉じた状態を想定しており、静的なデザインを志向したため、当初 C 案で進めたが軸部品の設計制約から図 9 のように F 案を採用することになった。F を採用したとしても配色、質感、凹凸、溝、コーナー処理などのディテール処理によっても印象は大きく変わる。制約のために目指しているコンセプトに合致した意匠を達成できない場合でも、多様なデザインの手法によってコンセプトに近い意匠を達成できる場合も多い。

勿論、プロダクトデザイナー、デザインエンジニアは、まずロボット全体の構成がコンセプトと合致するように、開発初期の検討から関与することが望ましい。

「丸タイプ」についても「角タイプ」と同様なことが言えるが、全体構成から「角タイプ」が静的であること比較して活動的な印象を受ける。コンセプトから大きくどちらの方向性を選択すべきかを議論するには「丸タイプ」や「角タイプ」のように極端なタイプを準備すると整理や説明の際にも有効であろう。形態構築においては可動部の制約が明らかに支配的であるが、形態制約を必ずしも否定的に捉える必要はなく、デザイン意図に合わせて選択できること、また、よりデザイン意図に合致するように再調整する余地が残されていることを示唆するものである。

パートナーロボットに関してコンセプトに注力した提案や、ユーザ視点での開発、デザイン思考を活用した開発例の報告はあるが[12]、本探索のように可動部のデザインの方法論についての探究は見当たらない。これは、設計の問題として認識されておらず、個々のプロダクトデザイナー、デザインエンジニアの「ノウハウ」として暗黙知となっており、形式知として共有化されていないことによる。

今後、人とパートナーロボットとの共生を考える際、ロボットの動きを人が視覚的に理解することは、危険回避だけでなく、ロボットを介した円滑なコミュニケーションに関しても有効であ

る。稼働部のデザイン方法論確立とその結果として表れるデザインの視覚的文法確立がその共生の助けになるだろう。

5 まとめ及び今後に向けて

2020 年度に開発した「会話をする」動作を模したロボット UCR-07[8] の口部開閉を基にして、稼働制約を考慮したデザイン解を展開し考察を行った結果、簡易的な平面での展開であっても、動作の前と後を比較することによってある程度形態の傾向を知ることができることがわかった。3DCAD によるデータ化、ラビッドプロトタイプングをする際も、事前検証として平面的な簡易的な検証は有効と思われる。これは、経験を持つ設計者以外の一般的なロボットの評価者やユーザにとっても有効であろう。

ただし、3DCAD に習熟したプロダクトデザイナー、デザインエンジニアの場合はこの作業を CAD のスケッチ機能で検討をして、裁量により可能性の高い数案に絞り、同時にプロトタイプングや CG により対応できる場合も少なくない。課題の複雑さや重要度によって判断が必要である。

また、設計意図を適切に表現した形態構築の方法について、ユーザにロボットの稼働についての情報を形態で知らせることの可能性も同時に示唆された。制約が多く、「形態は、機能(条件)に従わざるを得ない」ロボットの形態に関しては適切な形態を付加する方法については、多くの可能性の高いデザイン解による試行錯誤と粘り強い検証の積み重ねが必要であるが、本稿で提案した簡易的な平面によるデザイン解の生成が有効なケースも多いに違いない。

6 おわりに

プロダクトデザイナー、デザインエンジニアの役割と扱う領域が広がり、「モノのデザインからコトのデザインへ」と言われて久しいが、「形の操作」は他の専門家に変換することができないデザイナーの基本的で重要なスキルである。特に、安全性への配慮も含めた稼働部の制約が支配的なロボットの関節部のデザインは、全体のロボットのコンセプトとの調和が必要であり、今後、継続して取り組むべき課題と言えよう。

本稿で紹介しているロボットの形態は初期検討段階の無性格な形態のみを提示している。本学の PBL 期間は1年間であり、PBL の後半では、学生の個性を発揮した色々なタイプのオリジナリティに溢れたコンセプトと、それに呼応した様々な形態のパートナーロボットが今年度も多く生み出されている。原型となった UCR-07 をよりシンプルにした「角タイプ」の UCR-70A(図 9)、「丸タイプ」で木材の質感を生かした UCR-70W(図 12)、テーラーメイド生地 of 端材をアップサイクル活用したロボットなど、これらのロボットが「マイ・アバターロボット」として活躍するイメージシーンを図 13 に示す。

2016年6月、専門の異なる学生有志、本学創造技術専攻・内山研究室に集いパートナーロボット研究活動をスタートし、6年が経過した。本稿では、昨年度の本学紀要 No.15 [11]に続き、「人との共生を目指すパートナーロボット」について、研究活動経過を報告した。今後も2022 AIIT PBL(内山PT)と連携し取り組みを継続する。

研究会発足当初から討議への参加など応援いただいた本学学生、卒業生諸君に対して改めて感謝の意を表す。



図 12 : 「丸タイプ」の試作例(UCR-70W)
(作者:石田 大樹, 内山 純)

マイ・アバター・ロボット



図 13 : マイ・アバターロボットのイメージシーン
(作者:Xian Jiaqi, 編集:内山 純)

参考文献

- [1] 総務省, 平成 27 年版通信情報白書, pp. 191-198, 2015.
[2] 経済産業省, ロボット産業市場動向調査結果, 2013.
[3] 日本機械工業連合会, ロボット産業・技術振興に関する調査研究報告書, 2021.

- [4] 角田善彦, 上林昭, 高橋和章, 小野敬士, 岸本悠希, 近藤嘉男, 内山純, 他, 人間とロボットの関係性を再デザインする—21 世紀初頭を超えたその先のコンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, vol. No.10, pp. 161-167, 2016.
[5] 平社和也, 竹島大智, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—表情と仕草に着目したコンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, vol. No.11, pp. 175-180, 2017.
[6] 岡野恵実, 周元, 小川太輔, 神田雅泰, 平社和也, 近藤嘉男, 内山純, 他, 「パートナーロボット」の開発研究—人々のコミュニケーションを媒介するロボット—, 産業技術大学院大学紀要, vol. No.12, pp. 171-176, 2018.
[7] 小川太輔, 大類桂一, 北浦なつみ, 胡瑤霞, 楊旭, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—「ハートフルロボット」コンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要, vol. No.13, pp. 121-126, 2019.
[8] 橋本智行, 秋津翔吾, 川合隆太, 付迪, 古瀬竜太郎, MAO XIN, 土屋陽介, 近藤嘉男, 内山純, 「パートナーロボット」の開発研究—ストレスコーピングに着目したコンセプト構築の試み—, 産業技術大学院大学紀要 No.14, pp. 161-168, 2020.
[9] H. W. Rittel and M. M. Webber, Dilemmas in a general theory of planning, Policy sciences, vol. 4, no. 2, pp. 155-169, 1973.
[10] T. Brown, Design Thinking, Harvard business review, lccn = sf 86091535, vol. 86, no. 6, pp. 84-92, 141, Jun 2008.
[11] 三隅義範, 石田大樹, 金澤大賀, 廣田祐樹, 橋本智行, 内山純, 他, 「パートナーロボット」の開発研究—口開閉動作に着目したコンセプト構築の試み—, 東京都立産業技術大学院大学紀要, vol. No.15, p. 151-159, 2021.
[12] Haru: An Experimental Social Robot From Honda Research The Honda Research Institute gives an in-depth look at the design of its newest social robot prototype.

地域における起業の人的ネットワーク構築に関する考察 — NEXT産業創造プログラム実施事例を通じて —

亀井省吾*・城裕昭**・鈴木宏幸***・板倉宏昭****

Consideration of building human networks for entrepreneurship in the region
- Through the Practical Case of the NEXT Industry Creation Program -

Shogo Kamei* Hiroaki Jou ** Hiroyuki Suzuki*** Hiroaki Itakura ****

Abstract

Diverse corporate activities, the source of innovation have been increasingly concentrated in urban areas, creating disparities and separations from rural areas. In order to bring innovation to a region, it is necessary to have external forces providing "ideas" from the outside. Previous studies suggest that the key is how to build human networks through entrepreneurship and business creation. However, they have not clarified methods to enhance the cohesion of human networks. In the previous study, the first author demonstrated that setting a common objective of solving a social problem promotes network cohesion in both organizations. This study aims to clarify the cohesion process of entrepreneurial networks in urban and rural areas under the common objective of solving social problems.

Keywords: Innovation, Region, Human Network, Entrepreneurship, Social Problem

1 はじめに

イノベーションの源泉となる多様な企業活動は、都市部への集積が進み、地方との格差や隔絶を生んできた。しかし、コロナ禍は、観光、飲食サービス、製造業など従来型産業を中心に据えた地方経済に負のインパクトをもたらす一方で、都市部を中心にテレワークの推進を促し、一部企業の地方への本社移転の動きを後押しした。この動きを、地域に多様な企業活動を呼び込み、イノベーションを起こす地方創生の好機とするためには、如何に都市部とつながり、地方への分散、移転を持続的なものとするかが問われている。地域にイノベーションを起こすためには、地域内の先導的リーダー(内部力)だけではなく、外部から「発想」を提供するヨソモノ(外部力)が必要である[1,2]。

先行研究では、地域にイノベーションを起こすためには、起業や事業創造による人的ネットワークをいかに構築するかが鍵となることが読み取れる。しかし、人的ネットワークの結束を高める方法については明らかにされていない。

第一筆者は、事業創造とネットワークに関する研究を行っており、起業という観点で人的ネットワークの結束を高める方法を模索している。日本各地で起業を志す者はいるものの、

都市部での起業の割合は地方に比べ圧倒的に高い。[3]では、イノベーションを起こす多様な起業活動などは特定都市部への集中が進んでいるとしている。このことが都市部と地方の差をますます拡大させる要因となり、都市と地方間における起業家のネットワークを生まないことにつながっている。そうした中、第一筆者は、複雑な環境下において、社会課題の解決という共通目的の設定が、組織間双方のネットワークの結束を促すことを先行研究で実証している[4]。国内において隔絶された都市と地方間の起業家ネットワークを結束することができれば、地方にイノベーションを起こす原動力となることが期待できる。都市部と衰退する地方をつなぐ起業家ネットワークをどうすれば緊密に構築できるかが本研究の「問い」である。

第一筆者が所属する福知山公立大学では、令和3年度福知山市委託「NEXTふくちやま産業創造事業」「NEXT産業創造プログラム」の一環として、主に社会人を対象に半年間に及ぶ起業家育成教育を実施してきている。本研究では、本プログラムにおけるPBL実施事例から、社会課題の解決という共通目的の設定下において、都市部と地方の起業家ネットワークの結束プロセスを考察する。

Received on October 2, 2022

*福知山公立大学, The University of Fukuchiyama, **高千穂大学, Takachiho University, ***豊橋創造大学, Toyohashi Sozo University, ****東京都立産業技術大学院大学, Advanced Institute of Industrial Technology

2 先行研究レビュー

2.1 スパイキー・グローバリゼーション

[5]では、グローバルなベンチャーキャピタルの投資行動を分析することで、一国の中の地域と他国の中の地域との間の関連性が強化されるスパイキー・グローバリゼーション概念を提示している。[6]では、そこに人的ネットワークが起因していると述べている。

2.2 地域イノベーションにおける外部力

[1,2]では、地域ビジネスが力を発揮した事例分析の結果、その担い手は地域内の先導型リーダーだけとは限らず、外部から「発想」を提供する外部力の存在があることを示し、地域のイノベーションは地域の内部力と外部力の新結合から生まれると提示した。

2.3 社会課題解決目的によるネットワーク結束化

[4]では、[7]で提示された「多様性-帯域幅トレードオフ理論」を活用し、複雑環境下において、社会課題解決という共通目的が結束ネットワーク化を促すことに貢献するとの仮説実証を試みている。

2.4 小括

本研究においては、[5,6]で提示されたスパイキー・グローバリゼーションにおける人的ネットワークを、日本国内の都市部と地理的に隔絶された地方地域のつながり形成に転用し実証する。また、つながりを形成する方法として、[4]で示した社会課題の解決を共通目的とした結束ネットワーク化の仕組みを用いて実証する。本研究は、[1,2]で提示された地域イノベーション源泉である外部力の形成プロセスについて、スパイキー・グローバリゼーションからの人的ネットワーク、ならびに結束ネットワークに関する知見を用いて、その態様を学際的に明らかにするものである。図1では、本研究の仮説として、地方地域と都市部との起業家のつながりが、社会課題解決という共通テーマにより、結束化するプロセスを示している。

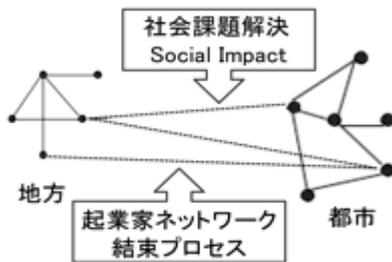


図1: 地方地域と都市部の起業家ネットワーク

3 実証方法

3.1 NEXT 産業創造プログラム概要

福知山公立大学では、2021年度において京都府福知山市委託事業「NEXT 産業創造プログラム」を受託し施行した。本プログラムは、8月開講の地域マネジメント、イノベーション、マーケティング、ファイナンスなどの基礎科目、10月開講の事業開発手法を学ぶ事例研究型科目を経て、11月より業務遂行能力を養うために実際の新規事業を立ち上げ、仮説実証を行うPBL(Project Based Learning)を実施する約6ヶ月間の起業家人材育成プログラムである。(図2参照)



図2: NEXT 産業創造プログラムカリキュラム概要
出所: NEXT 産業創造プログラム 2021 年度募集要項.P.1

3.2 PBL 概要

初年度となる2021年度は、福知山市近郊のほか、東京都、滋賀県、福井県などから、起業家、大企業マネージャー、中小企業経営者、大学生の合計22名が参加し、うち20名がPBLに進んだ。結果として、新商品開発、事業承継モデルの開発、コミュニティ開発など9件の事業を創出し、うち、4件の事業は、PBLにおいてテストマーケティングとしてクラウドファンディング(以下、CF)を実施している。実証事例として、東京都内にて事業を営む受講者が立案した新商品開発のCFについて取り上げる。なお、本プログラムには、第一筆者が全体のコーディネータおよび講師として、第二筆者、第三筆者、第四筆者が講師として参画している。

4 実証事例

4.1 参加企業概要

株式会社 Mind Leaf は、東京都調布市に本社所在、本プログラム受講者である飯淵弘成氏がプログラム受講中の2021年12月に設立したスキンケア製品の開発・販売を行う企業である。取扱商品は、無添加洗顔石鹸をはじめ、乾燥肌用化粧水、ハンドクリーム、無添加ハンドソープ、食器用洗剤などである。飯淵氏は、スキンケア・日用雑貨メーカーの品質管理・営業・商品開発担当を経て、2017年に同社の前身を個人創業し現在に至っている。なお、同氏は東京都立産業技術大学院大学創造技術専攻の2019年修了生である。

4.2 プロジェクト概要

本プログラムのPBLにおいては、同社代表取締役社長の飯淵弘成氏が、福知山公立大学地域経営学部2回生3名とチームとなり、「女性と子供の肌トラブルを解決したい」とのビジョンのもと、商品開発を実施した。同氏は、2021年8月に本プログラムに加入し、同月より開講した基礎科目「企業イノベーション特論」「ベンチャーファイナンス特論」、10月よりの事例研究型科目「実践事業デザイン特論」にてCFの実践事例を学んだ後、11月から2月にかけてのPBLに参加している。なお、PBLにおいては、第二筆者ならびに、本プログラムの公募にて委託しているクラファン総研株式会社(代表者:板越ジョージ, 本社所在:東京)の指導を受けている。以下、2022年3月5日にZoomにて実施された2021年度NEXT産業創造プログラムPBL成果報告会にての同氏発表をもとに、プロジェクト概要を記述する。

同氏は、個人事業を進める中、敏感肌は社会問題として顕在化しつつあるとの認識を深めていた。福知山市開催の同プログラムに参加し、同地と縁の深い明智光秀の家紋であるキキョウの花言葉に、「永遠の愛」「変わらぬ愛」の意味があることを知り、スキンケアの成分として桔梗を使えないかと思いついた。調査結果、桔梗根には漢方薬として使用される有効成分があること、ただし、国産は少なく入手が困難であることが判明した。

そこで、福知山市産業観光課から、実験栽培している同市三和町千束の福知山高校三和分校の紹介を受けたところ、通常廃棄する桔梗根の有効活用について協力を得られた。提供を受けた桔梗根を調査した結果、酸化防止作用や泡立ちを助ける成分があり、同社が得意とする天然系スキンケアとの相性が非常に良いことが分かった。簡単な泡立てで肌に負担の少ない洗顔が実現できるとして、PBLにて商品開発への着手を決定した。



図3: CAMPFIREにてクラウドファンディング実施

出所: NEXT産業創造プログラム2021年度成果報告会資料

PBLでは、丸菱石鹸株式会社(兵庫県三木市)と桔梗配合石鹸の試作開発を進めるのと並行し、パッケージ開発を紙の専門商社である株式会社竹尾(東京都千代田区)と実施している。また、2021年12月には、福知山高校三和分校

に現地視察を行い、生産する農業科の生徒から話を聞くなど交流を深めている。2022年1月17日から2月20日にかけては、CAMPFIREにてCFを実施し、結果として、目標金額10万円を90分で達成し、最終的に72名の支援購入者と514,658円の購入支援金を達成している。なお、同社では、購入支援金の一部を福知山高校三和分校などへの寄付を行うことを公表している。

前掲CFの商品パネルは、福知山市内の道の駅「農匠の郷やくの」に展示された。また、同社の取り組みは、同地域の新聞社(両丹日日新聞, 北近畿経済新聞), Yahoo!ニュースにて報じられたほか、FMラジオ局(京都FM丹波放送)にも同氏が出演している。それらを受け、同地域での販売パートナーとの取り組みも模索されている。

4.3 事業連携の成立

本事業については、プロジェクト推進プロセスにおいて、サプライチェーン、商品開発、プロモーション、営業における各種連携が成立している。

4.3.1 サプライチェーン

- 福知山高校三和分校(福知山市)
- 田中製紙工業所(福知山市)

丹後和紙を製造する田中製紙工業所とは、お礼状に使用する和紙の供給連携が成立している。

4.3.2 商品開発

- 丸菱石鹸株式会社(兵庫県三木市)
- 株式会社竹尾(東京都千代田区)

4.3.3 プロモーション

- 京都FM丹波放送(福知山市)
- 道の駅農匠の郷やくの(福知山市)

4.3.4 営業販売(予定)

- スーパーマーケットS社(福知山市)
- 日用品卸F社(福知山市)

4.4 インタビュー1

同社代表取締役 飯淵社長への半構造化インタビューを2月8日13:00-14:30に珈琲文明(横浜市神奈川区所在)、8月23日9:00-10:30に福知山公立大学にて、当方第一筆者同席のもと実施した。

4.4.1 自身としてのプロジェクト評価

短期間で、商品開発ならびにCFのテストマーケティングを終えられたことに安堵している。今回のプログラム参加の収穫は、第一に、桔梗根を供給してくれた福知山高校三和分校との偶然の出会いである。当社のビジョンへの共感も得られ、廃棄していた桔梗根の活用が見つかったと生徒にも喜

んで頂けたことが、当方のモチベーションとなっている。そんな思いがCF支援者にも伝わっての結果ではないかと思う。

4.4.2 事業展望

当方の天然素材石鹸に、天然系素材である桔梗根を用い、酸化防止、泡立ち成分を付加できたことは有用であり、テストマーケティングからも手応えを感じている。今後の本格商品化において増産が課題となるが、同校においては、年間複数回の栽培も視野に入れての協力体制を検討頂いている。

また、福知山地域における販売パートナーについては、ラジオ出演をきっかけとして、日用品卸F社の経営者に、商品としての独自性や、開発ストーリーに興味を持って頂いた。先日、F社より紹介頂いた地元の大手中スーパーマーケットS社へ高校生とともにプレゼンを実施し、テスト販売につながる目処が立った。

4.5 インタビュー2

福知山市役所産業観光課 築瀬丞主事との半構造化インタビューを3月5日16:30-17:30福知山公立大学にて、当方第一筆者にて実施した。なお、築瀬氏は、産業観光課の主事として、本プログラムを担当している。

4.5.1 福知山高校三和分校の紹介について

本プログラム受講者である飯淵氏より、福知山市において、桔梗の栽培を行なっている業者を紹介して欲しいとの依頼があり、市内の業者を探索したが見つからなかった。市役所内で情報を集めたところ、同分校の教諭が栽培を行なっているとのことでアポイントを入れて、飯淵氏と同行し紹介した。先方も飯淵氏の掲げるビジョンに共感し、廃棄する予定の桔梗根を快く譲ってくれた。また、実際に栽培をしている高校生とも交流したが、自分達の栽培したものが世の中の課題解決に活用されることに、非常に興味を持っていることが感じられた。

4.5.2 事業連携との関わりの中での気づき

PBLのプロジェクトとして受講者支援をしている中で、これまであまり接触のなかった市内の学校や、道の駅、企業とご縁をもつことが出来た。具体的には、三和分校の紹介をはじめ、道の駅農匠の郷やくのへの商品展示の関係者調整、本プログラムの記者会見を通じた新聞社、ラジオ局との調整などを実施してきている。飯淵氏の掲げるビジョンが社会課題解決に通じている点で、市役所としても支援しやすく、関係先にも受け入れられ易いように感じている。

5 考察

同社プロジェクトのサプライチェーン、プロモーション、商品開発、営業に関する連携先所在地を日本地図にプロットし、ネットワーク図として示すと以下図4のとおりとなる。東京2社、兵庫1社、福知山6社の本プロジェクトを通じた起業の

ネットワークとして示すことができる。[5,6]で提示されたスパイキー・グローバリゼーションにおけるネットワークを、東京の都市部と地理的に隔絶された福知山を主とした地方地域のつながり形成に転用し、起業における地域間スパイキーネットワークとして示す。



図4:本プロジェクトの起業スパイキーネットワーク図

また、時系列で観察すると、図5,6のとおりとなる。東京所在の同社が未だプロジェクトを開始する前と開始して連携を進めた後のネットワークの変化を示している。福知山地域のネットワークについて観察すると、同社が連携を進めた後のネットワークにおいては、相互間のつながりが結束化している。これは、前述の築瀬氏のインタビュー2にもあったとおり、東京所在の同社が、福知山地域の連携先を構築するプロセスで、地域内の相互間のつながりが密となり結束化することを示している。

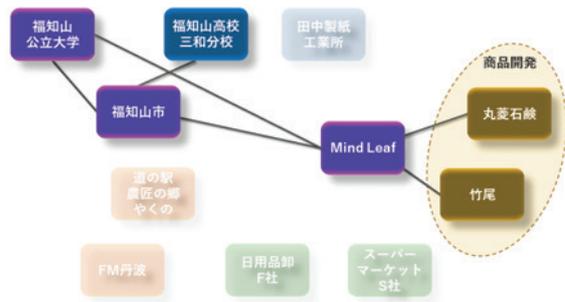


図5 同社連携構築前のネットワーク図

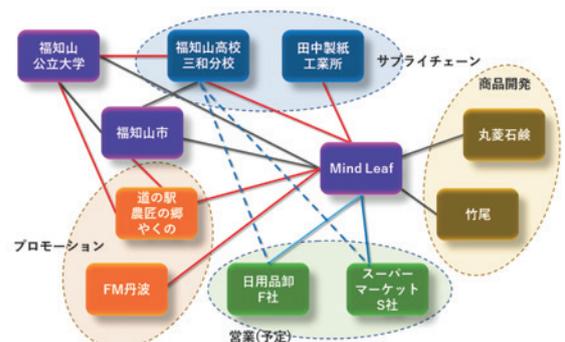


図6 同社連携構築後のネットワーク図

[1,2]では、地域ビジネスが力を発揮するには、外部から「発想」を提供する外部力の存在があることを示し、地域のイノベーションは地域の内部力と外部力の新結合から生まれると提示している。本事例では外部力としてのヨソモノ Mind Leaf の飯渕氏が、福知山のプログラムに参加し、PBL の新規プロジェクトを遂行する中で、多様な地域のプレーヤーとネットワークを築いていく。それと共に、それまでつながりの無かった地域のプレーヤー同士も相互にネットワークを築くことで、結束化していくことが観察された。このことから、地域外の外部力の存在により、地域の内部力が結束化し強化されたことが窺える。

また、[4]では、社会課題解決という共通目的が結束ネットワーク化を促すことに貢献するとの仮説を実証提示した。本事例においても、同社の「敏感肌の悩みを解決する」というビジョンが共感を得て、協力連携先を広げてきたことが分かる。

6 おわりに

本研究では、外部力としてのヨソモノが、社会課題解決という目的への共感を梃子として、多様な地域のプレーヤーとネットワークを築いていく中で、それまでつながりの無かった地域のプレーヤー同士も相互にネットワークを築き結束化し、地域の内部力が強化されるプロセスを明らかにした。一方で、未だ先端事例1件のみの検証であることから、今後の事例の積み上げが課題として残る。また、それがどのように地域に経済的価値をもたらすのかについては未だ解明できていない。今後、事例企業ならびに、本プロジェクトの連携企業を追跡調査することで、そのメカニズムを解明する所存である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K01678 の助成を受けた成果の一部である。また、本論文の作成にあたり協力頂いた株式会社 Mind Leaf 代表取締役 飯渕弘成氏に深謝する。

参考文献

- [1] 板倉宏昭, 新訂 経営学講義, 勁草書房, 2017.
- [2] 板倉宏昭, 「内部力」と「外部力」の新結合—地域産業における横幹連合の役割—, ”横幹, Vol.14, No.1, pp.1-3, 2020.
- [3] Florida, R., *Cities and the Creative Class*, Routledge, 2005.
- [4] 亀井省吾, 竹井成和, 「複雑情報環境下における組織間ネットワーク・ダイナミクスの考察」, ”情報社会学会誌, Vol.14, No.1, pp.15-24, 2019.

- [5] Iriyama, A. and Li, Y., “Spiky globalization of venture capital investments: The influence of prior human networks,” *Strategic Entrepreneurship Journal*, Vol.4, No.2, pp.128-145, 2010.
- [6] Madhavan, R. and Iriyama, A., “Understanding global flows of venture capital: Human networks as the “carrier wave” of globalization,” *Journal of International Business Studies*, Vol.40, No.8, pp.1241-1259, 2009.
- [7] Aral, S., & Van Alstyne, M., “The Diversity-Bandwidth Trade-off,” *American Journal of Sociology*, 117(1), 90-171, 2011.

動画教材作成のためのスクリプト言語の試み

小山裕司*

An Approach to a Scripting Language for Video Educational Materials

Hiroshi Koyama*

Abstract

Recently, video classrooms, flipped classrooms, and video social networking services such as YouTube have become popular drastically. Thus, opportunities for creating video educational materials have increased rapidly. The conventional method requires a lot of effort because it is manual, not reusable, and inefficient. Therefore, it is difficult to improve the quality of materials themselves. We have developed a prototype scripting language for video educational material to solve these problems. This paper reports several features of this scripting language and its effects.

Keywords: Scripting Language, Video Educational Material, Variable, Control Flow, Automation

1 緒言(背景)

社会人の学び直しが限定的である要因には時間的及び場所的制約, 経済的制約があげられる. 本学では, 2006 年の開学当初から平日夜間・週末の授業開講, 長期履修生制度, 科目等履修生制度等の社会人の仕事との両立に配慮した修学環境を整備し, 社会人の学び直しのための環境の改善を行ってきた. 前者の要因に対する本学の取り組みを次に示す.

- (1) 平日夜間・土曜昼間開講, 長期履修, AIIT 単位バンク, 4 学期制, 4 月・10 月入学, 修学支援の IT 環境等, 本学独自の社会人学び直しのための仕組み
- (2) 授業動画のオンライン視聴
- (3) 遠隔型授業(秋葉原サテライトキャンパス)

1.1 ブレンディッドラーニングの概念(2014 年度)

本学は 2014 年度に新たに「ブレンディッドラーニング」の概念を定義した. 先に示した従来の仕組みを広義の「ブレンディッドラーニング」として再構成し, さらに(2)の《授業動画のオンライン視聴》の仕組みを活用し, 新たに《録画視聴型の授業(録画型授業)》を開始した. この新しい仕組みでは, 週 2 回の授業を講義(対面あるいは録画視聴)及び演習(対面)の組から構成し, 講義の回の対面型授業を欠席した場合でも, 次の授業までに録画された授業動画を視聴すれば出席扱いにした(従来の(2)の仕組みでは欠席扱い). これがいわゆる狭義の「ブレンディッドラーニング」であり, 従来に

増して社会人学生の通学負担を軽減することで修学機会を改善すると同時に, (反転教育類似の)録画視聴の繰り返し及び教材の改善によって学生の理解度を高める効果から高度専門職育成の教育の質の改善に寄与することが目的であった. 情報アーキテクチャ専攻では, 時間割を工夫する等の取り組みを行い, 2014 年度の授業科目の約 90%にあたる 45 科目以上がこの仕組みに対応した. また, 録画型授業は, 通常の授業を録画したものが大半を占めるが, あらかじめ事前に録画した専用の動画及び教材を準備する科目もあった [1].

1.2 新型コロナウイルス感染症の影響(2020 年度)

2020 年度は, 新型コロナウイルス感染症の流行によって, 大半の大学に ICT を活用した遠隔型授業, 録画型授業が急速に普及し, この体制が現在まで継続している.

本学は, 前項に示した「ブレンディッドラーニング」の仕組み及び環境を有し, 教室での録画型授業, 遠隔型授業が可能であった. この遠隔型授業は専用機材及び回線によって平日夜の秋葉原サテライトキャンパスに対してのみ行われていた. 2020 年度の専攻改組の際に, 学生の利便性向上のため, インターネット上のどこからでも参加できるように改修する計画があり, 著者らはこれを転用し, ハイブリッド型授業環境を構築した. この環境の特徴は, 映像及び音声に関し, Zoom 環境を既存の対面型授業の教室環境に適切に組み込んだことで, 教員は従来の通りに授業をすることができ, 教員の負担をある程度軽減でき, また新型コロナウイルス感染症の流行が収まり, 学生が教室に戻ってきた場合でも対面型授業

Received on October 2, 2022

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

及び遠隔型授業を比較的に円滑に結び付けることができることにある[2].

本学も、新型コロナウイルス感染症の流行によって、事実上すべての対面型授業を遠隔型授業として開講したが、学生のインターネット環境等を考慮し、原則すべての授業を録画型授業の受講でも可としたため、同様にすべての授業を録画型授業としても開講した。録画型授業は、通常対面型授業を録画したものが大半を占めるが、あらかじめ事前に録画した専用の動画及び教材を準備したり、教材の改善のため録画動画を編集したりする科目もあった。

1.3 動画教材作成の負担

録画型授業は、通常対面型授業を録画するだけであれば、広義の「ブレンディッドラーニング」の(2)《授業動画のオンライン視聴》の授業収録の仕組みによって対面型授業を録画し、公開するだけであるため、教員の負担は視聴確認テストの作成及び評価だけが增加する。

しかし、あらかじめ事前に録画した専用の動画及び教材を準備したり、教材の改善のため録画動画を編集したりする場合、教員の負担増加は以下に列挙する各種の取り組みによって様々である。

- (1) 本学の授業収録の環境を使って、通常通りの授業を録画する。
- (2) 自前の録画装置を使って、通常通りの授業を録画する。
- (3) Zoom 環境の録画機能を使って、通常通りの授業を録画する。
- (4) 事前録画の授業のために専用の動画教材を作成する。

著者は(4)の専用の動画教材を、通常の授業のように、PowerPoint でスライドを作成し、iMovie 等で音声をつけ、余裕があれば、各種のエフェクトを付けることで行った(図 1)。



図 1: PowerPoint を読み込んだ iMovie の画面例

通常の授業でも使う PowerPoint スライド(授業資料)等の教材作成以外に、収録、編集等の作成に要する時間は、

2014 年度の当初(4 月頃)は 90 分の動画を作成するのに、約 1 週間(約 60 時間の試行錯誤)かかったが、2014 年度の終盤(12 月頃)は最短では約 3 時間に短縮できた。内訳は以下の通りである。

- 授業の収録(90-180 分)
90 分の授業であるため、最低でも 90 分を要し、撮り直したり、編集時にトリミングすることを考慮して多めに修得したりすると、3-4 時間かかる。
- 動画編集(90-180 分)
無音部分等を削除したり、文字テロップを付加したり、各種のエフェクトを行ったりする程度に依るが、2-3 時間を要する。
- できあがった授業動画の確認(90 分)
90 分の授業であるため、最低でも 90 分を要する。必要に応じて、再度収録、編集を要することがある。

このほかに、最終動画の生成(動画のエンコーディング)、ファイルストレージへの登録(アップロード)の時間がかかる。しかし、以下の事項は 2022 年現在までにある程度緩和した。

- 当初は動画編集に MacOS 付属の iMovie を使用したが、簡易版であり、修得は容易であったが、機能が単純で幾つかの制約があった。Apple Final Cut Pro, Adobe Premiere Pro, Blackmagic Design DaVinci Resolve [3]等は概ねあらゆる機能が存在するため、何でもできるが、活用するまでには相当の労力が必要であった。著者は現在 DaVinci Resolve を使い、編集の自由度及び効率が上がった。
- 動画教材作成の作業は、試行錯誤の段階から次第に慣れ、無駄を避け、効率的に作業する工夫ができたり、動画の雛型を再利用したりすることができ、作業時間を短縮できた。
- 動画教材作成の処理は PC に負担がかかる。当初は音声収録時に PC の冷却ファンの雑音が気にかかる程度であったが、PC の性能が上がったため、この事項は解決した。特に Apple Silicon 搭載の PC(MacBook Pro)は低発熱であり、最終動画の生成時間を劇的に短縮できた。

1.4 動画教材作成の課題

この段階での動画教材作成に対する課題を以下に列挙する。

- GUI 環境での手作業
動画教材作成、特に編集作業は概ね GUI 環境での手作業である。GUI 環境での作業は直感的ではあるも

のの、作業の繰り返し、再利用、自動処理には不向きであり、また PC の負担が大きい。

- 音声収録
 音声は、原稿を作成し、雑音を避けた環境で収録する。実際の収録時間だけ要する(1 時間の教材であれば、概ね 1 時間は要する)。雑音、間違いがあれば、編集したり、再収録したりする必要がある。
- 字幕
 動画教材に字幕を付加したいことが多い。字幕は原則手動で付加する必要がある。収録した音声に相当する字幕を付ければ動画教材の付加価値があがる。音声から字幕情報を生成してくれるソフトウェアが存在するが、最終的には手作業での調整が必要である。
- 内容の更新
 動画教材は年次ごとに内容の修正、改善を行い、継続的に内容を高める必要があるが、一括で内容を変更する変数、マクロ、置換に相当する機能は弱いため、これを効率的に行うことは難しい。また、一連の動画教材も作成するための雛型に相当する機能も弱い。

本稿の第 2 章では、これらの懸案事項を解決するため動画教材作成のためのスクリプト言語の構想を示す。第 3 章では、実装の概要を示す。最後の第 4 章では、試作版から現状の課題及び今後の改善を列挙し、本稿をまとめる。

2 構想

今回の取り組みでは、現状の動画教材作成の課題をスクリプト言語によって解決することを試みる。動画編集にスクリプト言語を活用した事例としては AviUtl [4] があげられる。AviUtl は、組み込み目的のスクリプト言語 Lua によって動画中のオブジェクトのアニメーション効果等を表現することができる。

今回の動画教材作成のためのスクリプト言語では、設定、画像の指定、台詞を時系列スクリプト上に表現し、時系列 XML に変換することで、再利用可(修正可)、自動処理可を実現し、作業効率を高めることを目指す。音声は時系列スクリプト上の台詞から音声合成によって生成する。字幕も時系列 XML に付加する。また、プログラミング言語の変数、制御構造の機能を付与する。

3 実装

今回の試作版は、動画スクリプトから時系列 XML(具体的には FCPXML, Final Cut Pro XML [5])ファイルを生成する Python [6]スクリプトへ変換する処理系として実装した。動画スクリプトの例を図 2 に示す。

```
#source ./sp1/*
#templete default
$n = 1
{
  image: s000.png
  quote: "皆さん、こんにちは。\\n 第${n}回の授業 (略)"
}
foreach $e (1, 2, 5)
{
  image: se0${e}.png
  quote: "次は演習${e}を行います。\\n スライドの (略)"
  duration: 1m15s
}
```

図 2: 動画スクリプト例

- [1 行目] 動画素材(スライド画像等)を収納する場所の指定
- [2 行目] 設定の指定(default)
- [3-7 行目] 変数\$n, 画像(image)s000.png, 台詞の指定(quote)
- [8-13 行目] 反復構造, 画像の表示時間(duration)の明示的指

動画スクリプト等から FCPXML ファイル等への変換の処理の流れを図 3 に示す。

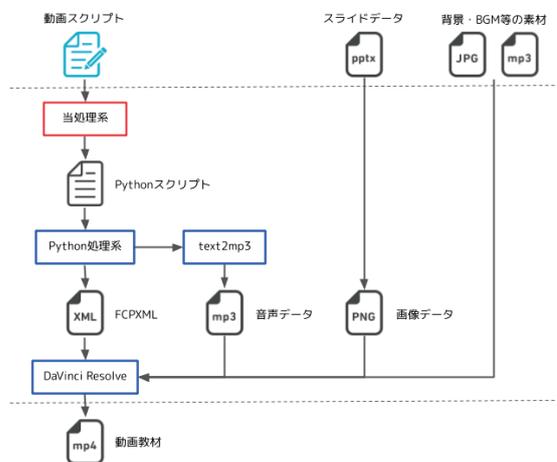


図 3: 変換処理の流れ図

- (1) 動画スクリプトのほかに、スクリプト中で仕様する教材のスライド画像を PowerPoint 等で準備する。必要であれば背景、BGM 等の素材も準備する。
- (2) 今回試作した処理系によって、動画スクリプトを一旦 Python スクリプトに変換し、次に時系列 XML に変換する。この際に、スクリプトに書かれた台詞は時系列 XML 上に字幕とすると同時に text2mp3 等の音声合成によって音声データを生成する。これらの変換処理は make によって自動一括処理する。生成済

みの FCPXML ファイル例からの抜粋を図 4 に示す。

- (3) 最後に DaVinci Resolve で生成済みの FCPXML ファイルを読み込み、動画教材を生成する。生成済みの FCPXML ファイルを読み込んだ DaVinci Resolve の画面を図 5 に示す。字幕の調整等、必要であれば DaVinci Resolve の GUI 環境で修正する。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<!DOCTYPE fcpxml>
<fcpxml>
  <resources>
    <format width="1920" id="f0" height="1080" frameDuration="1/30s"/>
    <effect id="title"/>
    <asset format="f1" start="0s" hasVideo="1" id="s000" duration="0s"/>
    <media-rep src="file:///Users/koyama/footage/sp01/slido/s000.png" kind="original-media"/>
    <asset start="0s" id="a000" hasAudio="1" duration="293/60s"/>
    <media-rep src="file:///Users/koyama/footage/sp01/.audio/a000.mp3" kind="original-media"/>
    </asset>
    (略)
  </resources>
  <library>
    <event>
      <project name="Timeline SP 001">
        <sequence format="f0" tcFormat="NDP" duration="14033/60s" tcStart="216000/60s">
          <spine>
            <video offset="216000/60s" ref="s000" duration="533/60s">
              <title offset="1s" ref="title" lane="1" duration="413/60s">
                <text>
                  <text-style ref="ts">皆さん、こんにちは。</text-style>
                  <text-style ref="ts">システムプログラミング特論 第1回の授業を始めます。</text-style>
                </text>
                <text-style-def id="ts">
                  <text-style font="50" font="Rounded M+ 1c" fontColor="1 1 1"/>
                </text-style-def>
              </title>
              <asset-clip offset="2s" lane="2" ref="a000" duration="293/60s"/>
            </video>
            (略)
          </spine>
        </sequence>
      </project>
    </event>
  </library>
</fcpxml>
```

図 4: 生成済みの FCPXML 例からの抜粋



図 5: DaVinci Resolve の画面例

4 結言

録画型授業では、通常の対面型授業を録画した動画が大半を占めるが、あらかじめ事前に録画した専用の動画及び教材を準備したり、通常の対面型授業を録画した動画であっても教材の改善のため動画を編集したりすることによって、著者の授業科目では次に示すように教材の質及び量は概ね向上している。

- 通常の対面型授業の録画ではあれば生じてしまう無駄の部分を削除でき、速度エディタ(再生速度 50%等)を活用すれば、同じ時間で概ね 1.5 から 2 倍の内容を取

録できる。しかし、あまり内容が多すぎる場合は理解度が下がる。無駄の部分の例:

- 無音、準備、操作ミス等の部分
- 同じ内容の繰り返しの部分(ただし、繰り返しは教育上の効果がある)
- 計画通り授業を進行できる(内容・時間等)。
 - 適切に準備できる。
 - 手抜きが減る。
 - 必要に応じて内容を修正、改善ができる。

教材の質及び量が向上したこと以外でも、録画型授業では、学生の修学コストが下がり(修学時間帯概ね自由、通学時間無し)、今までであれば最悪着席していれば、また遅刻であっても出席扱いであったが、視聴確認テストの関係で、ある程度集中して聞く必要があり(実際、視聴及び確認テストに要する時間は 1.5 時間以上かかる学生が多い)、ある程度理解できている状態で対面型授業での演習を始めることが出来る等、学生の理解度があがっている長所もある。

録画型授業の長所を活かし、対面型授業では学生の授業参加、ディスカッション、演習、質疑等を適切に組み込み、講義・演習の調整を行い、授業内容の改善をしていくことが重要である。

本稿では、動画教材作成のためのスクリプト言語の特徴及び実装を示した。録画型授業、反転型授業、YouTube 等の動画 SNS の普及に従い、録画教材作成の機会が急増している。従来の GUI 環境での手作業では、作業の再利用性が低く、効率が悪いと、作業時間を要してしまい、教材の品質改善に時間を十分に確保することが難しかった。今回試作した動画教材作成のためのスクリプト言語では、スクリプトによって次に列挙する事項を表現できることから作業効率をある程度高めることができた。

- 設定及び時系列の表現(再利用可、自動処理可)
- 台詞文字列から音声及び字幕の生成(再利用可、修正可)
- 変数、制御構造

また、スクリプトから音声合成が行われるため、作業環境を選ばず、鉄道、航空機等での移動時にも作業を行うことができることも長所にあげられる。

今回の取り組みでは中核機能を優先して、設計及び実装を行った。最後に今後の課題等を列挙する。

- 実行環境の整備(クラウド等)
- 音声合成の改良(機械音から自らの声)
- スライドの生成(字幕機能の拡張)
- 装飾(背景素材、音楽素材、トランジション、エフェクト)

- 等)及び雛型(テンプレート)の充実
- スクリプト言語仕様の洗練(XML 等)

参考文献

- [1] 小山 裕司,「録画視聴型の授業の取り組み及び評価」, 産業技術大学院大学 紀要 第 9 号, pp.13-20, 2015.
- [2] 小山 裕司, 大崎 理乃, 木下 修司, 柴田 淳司,「情報系専門職大学院における対面・遠隔ハイブリッド型授業システムの開発」, 産業技術大学院大学紀要 第 14 号, pp.193-200, 2020.
- [3] DaVinci Resolve,
<https://www.blackmagicdesign.com/jp/products/davinciresolve>, 2022. (visited on 2022) (Web 参照)
- [4] AviUtl,
<http://spring-fragrance.mints.ne.jp/aviutl/>, 2019. (visited on 2022) (Web 参照)
- [5] FCPXML Reference,
https://developer.apple.com/documentation/professional_video_applications/fcpxml_reference, 2020. (visited on 2022) (Web 参照)
- [6] Python, <https://www.python.org/>, 2022. (visited on 2022) (Web 参照)

「脳検」と一般的な神経心理検査との相関と 認知症診療における既知と未知

佐藤 正之*・阿部 真貴子*

Correlation between the Brain Assessment[®] and general neuropsychological tests, and known and unknown things in music therapy to dementia

Masayuki Satoh* and Makiko Abe*

Abstract

We developed a new cognitive test (Brain Assessment, BA) and investigated its relationship with the general neuropsychological tests. There were significant correlations between them (ex: BA vs. Mini-Mental State Examination (MMSE); $r=0.433$, $p<0.001$). Using the Dodd's criteria (2018), we clarified that the adverse effects have not been studied in reported literatures about the music therapy to dementia. To know the boundary between known and unknown things is important in setting new researches.

Keywords: Dementia, Brain Assessment (BA), Neuropsychological tests, Music therapy

1 はじめに

認知症診療においては、認知機能検査が必須である。同検査は言語聴覚士や心理士などが担当するが、現場に必要な人員が配置されているとは言い難い。さらに、認知機能検査は一般に対面で行われるが、新型コロナウイルス感染症の蔓延のために対面での施行が不可能となっている。また、研究の立案の際には、これまでにエビデンスとして確立しているのは何か、研究対象として未だ取り上げられていないのは何かについての知識が必要である。

われわれは、オンラインで施行可能な新しい認知機能検査「脳検 (Brain Assessment)」を開発し、40~89歳の5,000名の男女の結果をもとに基準値を設定した [1]。今回、脳検と Mini-Mental State Examination (MMSE) などの既存で頻用される認知機能検査との相関を調べた。さらに、認知症に対する音楽療法の研究でどのような対象が何をもって評価されているかについて検討した [2]。

2 オンラインによる認知機能検査: 脳検

2.1 既存の神経心理検査と脳検の特徴

認知症のスクリーニングで頻用される検査として MMSE や Montreal Cognitive Assessment (MoCA)、本邦では改訂版長谷川式認知症スケール (HDS-R) がある。MoCA は軽度認知障害 (MCI) の検出を目的に開発されたが、い

ずれもその時点の認知機能を調べるのみで、経年的・縦断的な評価は行われない。また施行には心理士などのマンパワーを必要とし、一つの版しかないため繰り返し受験することで練習効果が生じる可能性がある。脳検は、オンラインで施行可能で、マンパワーを要しない。5つの版をもち、難易度は統制されている。経年的に複数回施行することにより、加齢による認知機能の低下スピードが正常範囲内か否かを判定できる。つまり、健康検診で脳検を行うことにより、MCI よりも早期に認知機能の低下傾向を検出でき、生活習慣病の管理や運動不足の解消などにより低下を食い留められる。脳検は、市町の住民健診や会社や役所などの健康健診などで活用が期待される。

2.2 脳検と既存の神経心理検査との相関

われわれは、MMSE やレーブン色彩マトリシス検査 (RCPM) などの臨床場面で頻用される既存の神経心理検査と脳検との相関を調べた [3]。対象は、インターネットで募集した65歳以上の高齢者77名 (平均年齢 71.3 ± 5.1 歳、男45・女32名)。解析には Pearson の相関係数を用い、 $0.0 \leq r < 0.2$ を弱、 $0.2 \leq r < 0.4$ をかなり、 $0.4 \leq r < 0.7$ を中等度、 $0.7 \leq r < 1.0$ を強い相関ありとした。その結果、脳検はこれらの検査と有意な中等度の相関を持つことが確認された (図1)。また、語頭音とカテゴリーそれぞれの語想起とも中等度の相関がみられた (語頭音 $r=0.413$, $p<0.001$; カテゴリー $r=0.460$, $p<0.001$)。リバーミード行動記憶検査

(RBMT) の物語の記憶の即時/遅延再生, 図形模写, Trail-Making Test (TMT)-A/B とはそれぞれかなりの相関を示した (RBMT 即時再生 $r=0.397$, $p=0.001$, 遅延再生 $r=0.287$, $p<0.011$; 図形模写 $r=0.377$, $p=0.001$; TMT-A $r=-0.398$, $p=0.001$, TMT-B $r=-0.368$, $p=0.003$). さらに, 脳検の下位検査とそれぞれの神経心理検査との関係では, 脳検のメンタルローテーションテストと図形模写 ($r=0.404$, $p<0.001$), 類推・判断課題と RCPM の得点 ($r=0.491$, $p<0.001$), 単語の記憶と RBMT の物語の記憶の即時再生 ($r=0.518$, $p<0.001$) との間に中等度の相関がみられた。以上より, 脳検は高齢者の認知機能の計測に有用と思われる。今後はさらに実用性を高めるべく, 改変を行っていく予定である。

3 認知症に対する音楽療法の既知と未知

3.1 認知症に対する音楽療法で明らかなこと

認知症の症状は, 中核症状と behavioral and psychological symptoms of dementia (BPSD) に大別される。中核症状とは, 認知機能障害のことで, アルツハイマー病 (AD) における記憶障害が代表である。BPSD は, 以前は周辺症状と呼ばれていたもので, 中核症状以外の症状を指す。それには徘徊や暴言などの行動症状, 幻覚や妄想などの心理症状などが含まれる。2010 年代の半ば以降, BPSD に対する音楽療法の有効性を示すシステムティック・レビューの報告がなされるようになった。その最初である Ueda (2013) は, それまでの 20 編の論文での計 651 名についてメタアナリシスを行った結果, 音楽療法は認知症患者の不安に対して中等度, うつや行動障害に対して軽度の効果を有するが, 中核症状に対しては効果がみられなかったと報告した [4]。その後, 報告が続く中で, 薬物療法も含む中で BPSD に対しては音楽療法がもっとも効果が高かったとするレビューも存在する [5]。

2020 年に入り, 中核症状や患者の quality of life (QOL) に対する音楽療法の有効性を示すシステムティック・レビューがみられるようになった [6]。個別の報告では, 予め用意したリストから, その日の患者の状態をみて介護者が聞かせる音楽を選択することにより QOL が改善したとの報告もあり [7], 認知症に対する音楽療法はあらたなステージに入ったと言える。

3.2 何がどのように調べられ, 残された課題は何か?

これまでに何が明らかになっており, 何が未解決か。どのようにして効果が計られ, 有効性を検出できた検査は何か。これらは, 新たな研究の基礎となる事柄である。われわれは認知症に対する音楽療法についてこれらについて調べ, 医学国際誌に報告した[2]。

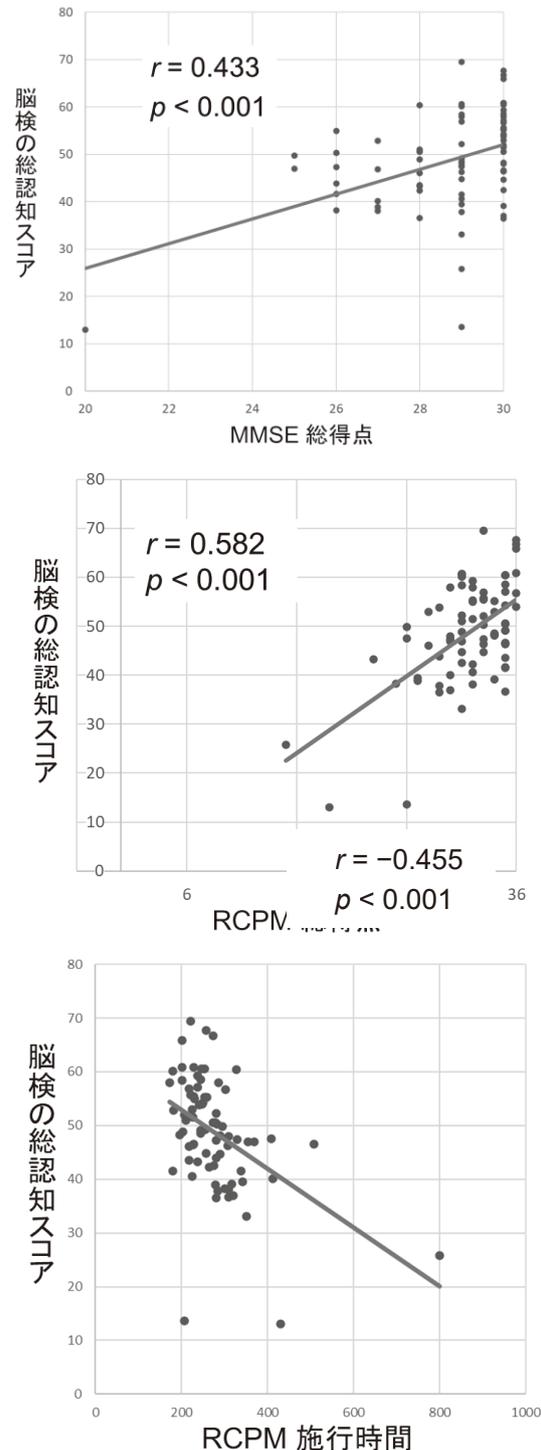


図1: 脳検と MMSE, RCPM の総得点・施行時間との相関

対象は, 認知症に対する音楽療法についてコクラン・ライブラリーで取り上げられた論文に記載されていた報告である。それらについて, Dodd's 分類 [8] に基づいて以下の項目を調べた: 1) これまでに研究対象となった項目, 2) そこで用いられた評価法, 3) 有意な結果が得られた検査。Dodd's 分類とは, 臨床研究と動物実験などの基礎研究の両方において, 疾患特異的あるいは患者中心

の結果についての理解の基礎となる語彙を提供するもので、文献検索や研究の立案、先行研究の結果の統一的解釈に役立つとされる。Dodd's 分類は、5つのコアエリアすなわち死亡率、生理的機能と臨床徴候、生活への影響、社会的資源の利用、副反応と、その下位にある計38項目の分類スケールから構成される。コクラン・ライブラリーで用いられていた7つのシステムティック・レビューには78編の論文が紹介され、そのうち30編が組み入れ基準を満たしていた。それらをDodd's 分類に当てはめたところ、認知症に対する音楽療法のこれまでの研究では死亡率と副反応については調べられていないことが分かった(表1)。また、研究対象としては認知機能と精神症状がもっともよく取り上げられ、有効性が報告された報告においては以下の検査がもっとも頻繁に用いられていた: 全般的認知機能についてはMMSE、認知症の重症度についてはClinical Dementia Rating (CDR)、BPSD全般に対してはNeuropsychiatric Inventory (NPI)、うつに関してはGeriatric Depression Scale (GDS)、そして興奮についてはCohen-Mansfield Agitation Inventory (CMAI)。以上より、認知症に対する音楽療法の研究における今後の課題と、研究の施行に際し不可欠な検査が明らかになった。同様の作業を他の疾患や症候に対しても行うことにより、音楽療法の研究の現時点での基盤を明示できると思われた。

4 おわりに

昨年、世界初のADに対する根本治療薬でアミロイドに

表1. Dodd's 分類中の18項目への該当研究数

	アウトカムの種類	研究数
生理的/臨床的	心臓	4
	内分泌	1
	耳・喉頭	1
	一般的	24
	外傷・有毒物質	1
	神経系	7
	精神的	27
	皮膚・皮下組織	1
	血管系	1
生活面	身体機能	4
	役割機能	2
	情動機能/well-being	5
	認知機能	24
	全般的な生活の質	8
	健康状態	3
	ケアの提供	1
資源利用	個人的環境	8
	社会的/介護負担	6

対する抗体である aducanumab が米国で条件付き承認された。しかし、EU では「有効性が明らかではない」として不承認となり、本邦では継続審議で2022年末に最終的な結果が示される予定である。アミロイドをターゲットとした治療は、病態機序からみてMCIの段階ではいわゆる“焼け石に水”に近い。より早期に投与するほど、得られる効果は大きいと期待される。そのためには、認知機能の落ちかけを検出し、正常加齢による低下と比べて低下スピードがどうかを判定し、介入の対象をすくい上げると良い。脳検はそのための有力なツールとなると期待される。世の中には、確たる裏付けを持たない脳トレや検査が溢れている。脳検と音楽療法とにも一つ一つエビデンスを固め、より確かなものを世の中に提供していきたい。

参考文献

- [1] M. Satoh, K. Tabei, S. Fujita, Y. Ota. “Online Tool (Brain Assessment) for the Detection of Cognitive Function Changes during Aging.” *Dement Geriatr Cogn Disord*. 50: 85-95, 2021. DOI: 10.1159/000516564.
- [2] M. Abe, K. Tabei, M. Satoh. The Assessments of Music Therapy for Dementia Based on the Cochrane Review. *Dement Geriatr Cogn Dis Extra*. 2022 Jan 21;12(1):6-13. doi: 10.1159/000521231. PMID: 35222502; PMCID: PMC8832242.
- [3] M. Satoh, K. Tabei, M. Ab, C. Kamikawa, S. Fujita, Y. Ota. (2021). The correlation between a new online cognitive test (The Brain Assessment) and widely used in-person neuropsychological tests. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 50(5), 473-481.
- [4] T. Ueda, Y. Suzukamo, M. Sato, S. Izumi. (2013). Effects of music therapy on behavioral and psychological symptoms of dementia: a systematic review and meta-analysis. *Ageing research reviews*, 12(2), 628-641.
- [5] S.M. Dyer, S.L. Harrison, K. Laver, C. Whitehead, M. Crotty. (2018). An overview of systematic reviews of pharmacological and non-pharmacological interventions for the treatment of behavioral and psychological symptoms of dementia. *International psychogeriatrics*, 30(3), 295-309.
- [6] C. Moreno-Morales, R. Calero, P. Moreno-Morales, C. Pintado. (2020). Music therapy in the

treatment of dementia: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in medicine*, 7, 160.

- [7] S. Garrido, L. Dunne, C.J. Stevens, E. Chang. (2020). Music playlists for people with dementia: trialing a guide for caregivers. *Journal of Alzheimer's Disease*, 77(1), 219-226.
- [8] S. Dodd, M. Clarke, L. Becker, C. Mavergames, R. Fish, P.R. Williamson. A taxonomy has been developed for outcomes in medical research to help improve knowledge discovery. *J Clin Epidemiol*. 2018 Apr;96:84–92.

情報セキュリティに関する要求と遵守意識の乖離について

角田和樹*・奥原雅之**

Discrepancy between Information Security Requirements and Compliance Awareness

Kazuki Tsunoda * and Masayuki Okuhara **

Abstract

Recently, many information security incidents such as information leaks have occurred, and each organization has implemented measures such as the introduction of an information security management system. However, information security measures are becoming more and more complex every day, and the rules to be followed by organizations continue to grow. This paper examines how the parties concerned perceive the implementation of these information security rules and how their perceptions are related to the status of compliance with these security rules through a questionnaire survey.

Keywords: information security, information leakage, security measures, ISMS, security management

1 はじめに

今日のインターネットの普及に伴い、企業のシステムは相互に接続され、よりリアルタイムに複数の情報を関連づけて活用されることが増えているが、その一方で、情報システムに対するサイバー攻撃や、情報漏洩インシデントの発生など、企業に経済的な損失を与えたり、そのブランドを毀損する事件や事故がたびたび発生している。この事実は大企業のみならず、中小企業にも重要な経営課題として認識されつつある。

独立行政法人 情報処理推進機構(IPA)の調査(2022)によれば、組織の脅威としてテレワーク等を狙った攻撃や、内部不正、不注意に伴う情報漏洩などが 10 大脅威としてランクインしている[1]。

情報漏えいインシデントは、事象の発生により、当該組織だけでなく関連する業界全体へ大きく影響を及ぼす[2]。これらのリスクに対処するため、企業においてはさまざまな対策が取られている。例えば情報セキュリティマネジメントシステム(Information Security Management System, ISMS)の導入は多くの企業において実施されている情報セキュリティリスクマネジメントの手法であり、我が国における ISMS 認証を取得した企業・組織数は 2022 年 9 月の段階で 7000 を超えている[3]。しかしながら、これらの認証を取得している企業においても、セキュリティインシデントの発生を完全に防いでいるわけではない。特にセキュリティ意識の向上など、組

織の構成員に関する情報セキュリティ対策の実施はコストがかかる一方で、その成果が定量化しづらく、また従業員のミスや失敗によるセキュリティインシデント事例も継続的に報告されている。日本ネットワークセキュリティ協会(JNSA)の調査(2018)においても、「紛失」「不正アクセス」「誤操作」を情報漏洩の 3 大原因と位置付けており、情報漏えい全体の約 70%がこれらの原因により引き起こされている[4]。実際に情報漏えいインシデントの経験がない企業においても、セキュリティルールは年々複雑化しており、一般の従業員への周知徹底および、効率的な運用が課題となっている。

そこで、本論文では、企業における従業員の情報セキュリティに関する意識と、情報セキュリティ対策の遵守状況の関連を調べることにより、従業員のセキュリティ意識がどの程度組織のセキュリティ水準の向上に寄与しているかを考察する。2 章では本論文に関する先行研究について記述する。3 章では本論文で用いるアプローチについて述べる。4 章でアンケート結果を提示し、5 章で分析を行う。最後に 6 章で総括と今後の課題を述べる。

2 先行研究

田崎ら[5]は、『セキュリティ対策への意識が高い人はセキュリティ対策に積極的に取り組む』という事実を明らかにした。同調査中では、時間割引率の高さはセキュリティ対策を先延ばしする傾向に繋がるかの調査を行っていたが、調査内

Received on October 2, 2022

* SOMPO ホールディングス株式会社, Sompo Holdings, Inc.

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

では有意な結果得られなかった。

江口[6]は、認証の取得がインシデントの抑制に作用しているかの調査を行っており、研究中では、『一部上場企業という一定水準の内部統制が整備されており、かつ1000人以上の大規模な個人情報を保有している組織においては認証の取得がインシデントの抑制ができているとは言い切れない』とした。要因としては認証の取得が目的となっており、管理策の形骸化が仮説として考えられる、としていた。一方、情報セキュリティに対する組織の成熟度により、組織構成員に持たせるべき認識が異なることを確認しており、方針および不正な情報持ち出し行為による影響を認識させることが、不正な情報持ち出し行為の正当化を抑制するために有効な施策であるとした。

岡嶋ら[7]の研究では、『自組織のセキュリティ対策に関心の低い人の、故意による内部不正』を中心に、組織文化の醸成が内部不正を低減させるという仮説を唱えており、内部不正の経験者の属性についても調査している。これによると、システム管理者が過半数を占めておりシステムの対策では不十分との考えを述べており、情報セキュリティ教育を通じて情報セキュリティの組織文化を醸成していくことが重要とした。また、文化の変化に対してリバウンドしないように継続して組織に変革を進めさせることが必要であるとしている。

浜屋[8]は、画一的なガイドラインの遵守を強制的に職場に押し付けることによって社員の士気を低下させ、組織の活性化を悪化させるのではないかと、という仮説のもとアンケートにより調査を行った。情報セキュリティ対策が職場の組織感情を悪化させるような関係は見られないことが分かった。しかしセキュリティ担当者が利用者の立場に立っていない状態、たとえば、他社の事例などを参考に、自社の職場の実情を無視して一律に運用するような場合においては、セキュリティ対策の実施が職場の感情を悪化させることが分かった。また、情報セキュリティ対策の実施は、社員にとっても効果の実感があるものの、同時に仕事に支障が出るなどの否定的なインパクトを持つことも検証された。これらは、社員のエンゲージメントにより、ネガティブな組織ではよりマイナスに、ポジティブな組織では実感度が高まるとした。

3 アプローチ

3.1 仮説の設定

上述した先行研究と、問題意識より、本調査研究では以下に述べる仮説を設定した。

まず、ISMSを導入している組織では、その構成員である従業員に、ISMSに関する理解と順守意識を持たせることを義務付けられている。これらのプロセスが効率的に実施され

ていれば、従業員は進んで情報セキュリティ対策を守ると考えられていることが背景にある。この点を確認するために、第一の仮説を導入する。

【H1】ISMSの認識率と、情報セキュリティ対策遵守意識には正の相関がある。

次に、ISMSにおいては、現場における情報セキュリティ対策に関する問題点は、組織が適切に把握し、改善する活動を行うことが期待されている。しかし、実際のセキュリティ事故事例などからは、かならずしもそのようなフィードバックが現場から行われているとは限らない様子も伺える。そこで、第二の仮説を導入する。

【H2】情報セキュリティ対策の実施に不満を抱えている従業員は多いが、それを伝えることはない。

最後に、情報セキュリティ対策は、現場の経験年数が長い、いわゆるベテラン社員が精神的に統制することで、保たれている側面が想定できる。これを確認するために、第三の仮説を導入する。

【H3】勤続年数は、セキュリティ対策への準拠度に影響を及ぼす。

これらの仮説の成否を明らかにすることで、現場におけるセキュリティマネジメントの問題点を明らかにすることが本論文の目的である。

3.2 アンケート調査の概要

仮説の検証のために、インターネットを使ったアンケート調査によりデータを収集した。アンケート調査会社として、調査期間および費用などを勘案し、アイブリッジ(以下「IB」とする)およびホワットエバーパートナーズ(以下「WP」とする)の二社を選定した。また、アンケート対象者は日常業務でPCを使用する被雇用者とした。調査は2022年2月に行った。回収数はIBが100、WPが111、合計211である。

調査項目は以下の各項目を調べることを目的として設計した。カッコ内は調査項目に対応する仮説を示す。

① 勤続年数

勤続年数により、セキュリティ対策への準拠度が異なるか調査する。また、自組織の情報セキュリティ対策への不満の募り方を測定する。(【H3】)

② ISMSの認知

ISMS の認知が準拠度や不満の報告につながるかを調査するために測定する。(【H2】【H3】)

- ③ 重要と感じるセキュリティ対策
 浜屋[8]の研究にあるように、一定の効果を実感できているセキュリティ対策の具体的な施策をアンケートにより明らかにする。(【H1】)
- ④ 自組織のセキュリティ対策への準拠
 前述の ISMS 認知との関係に加え、認識していながらセキュリティ対策を怠っている、または違反している数を調査する。(【H1】【H3】)
- ⑤ 自組織のセキュリティ対策での不満
 実務とトレードオフになる関係のセキュリティ対策のうち、実務者が感じる不満の内容や効果の実感を調査する。(【H2】)
- ⑥ 不満の報告実施および改善の有無
 実務環境下において、不満の報告がどの程度なされているか、また、職場感情の悪化を防ぐためにどの程度改善されているかを調査する。(【H1】【H2】【H3】)

4 結果

調査項目①の結果を[図 1], [図 2]に示す。勤続年数の調査では、IB, WPのモニター対象の年齢層が異なることもあり、WPの方がより勤続年数が長い傾向にあることが分かった。続く設問ではこのことを前提に理解する必要がある。

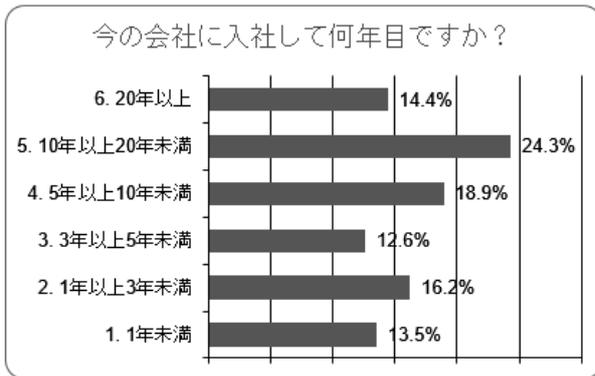


図 1: 勤続年数[IB]

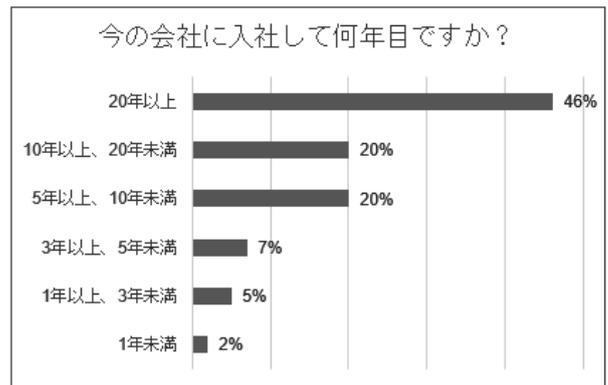


図 2: 勤続年数[WP]

調査項目②の結果を[図 3], [図 4]に示す。ISMS の認知については、いずれのアンケートにおいても、半数近くが知らないという結果となった。

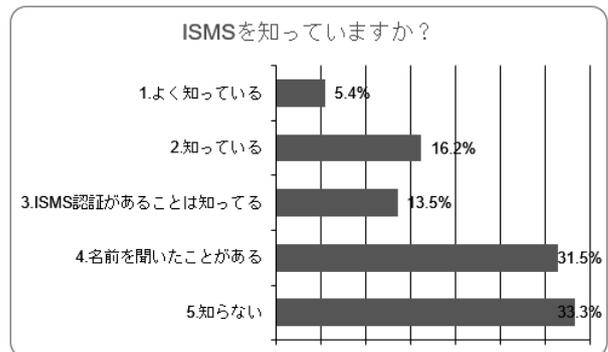


図 3: ISMS 認知[IB]

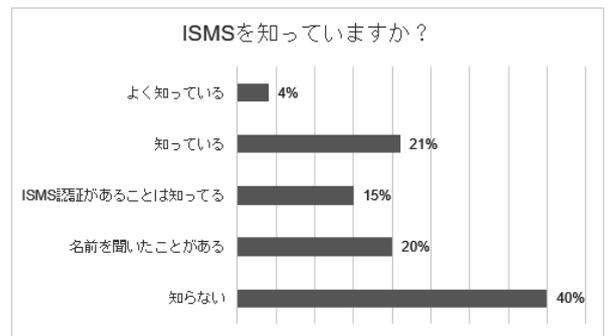


図 4: ISMS 認知[WP]

調査項目⑤の結果を[図 5], [図 6]に示す。この質問では、不満のあるセキュリティ対策を伝えたことがあるかどうかを尋ねた。伝えていない割合が 6 割以上と非常に高く、また、伝えて改善されたのは 1 割未満と非常に少ない割合であった。

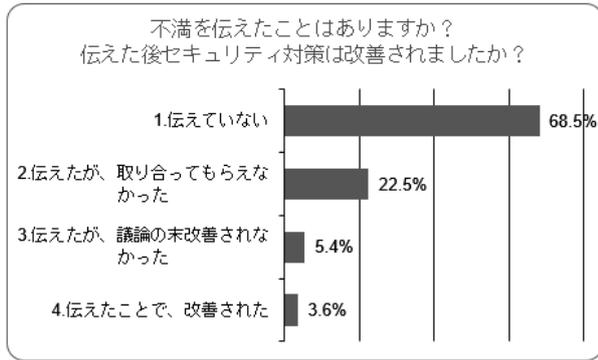


図 5: 不満の報告, 改善[IB]

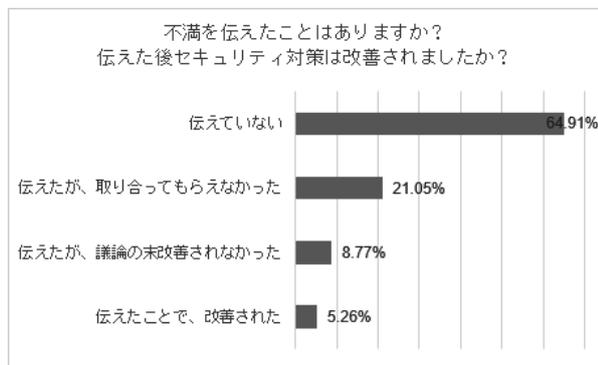


図 6: 不満の報告, 改善[WP]

[図 7], [図 8]は, ISMS の認知とセキュリティ対策の準拠をクロス集計したものである。ISMSを知っているほどセキュリティ対策に準拠する傾向が見られる。これは ISMS 等のセキュリティ認証が一定のセキュリティ準拠意識の醸成に寄与する可能性を示唆するものであると考える。

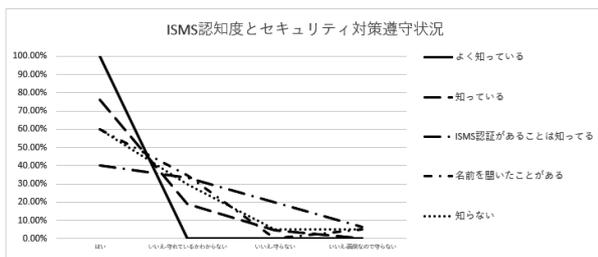


図 7: ISMS 認知度とセキュリティ遵守状況[IB]

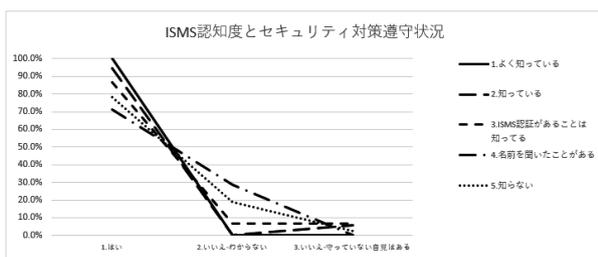


図 8: ISMS 認知度とセキュリティ遵守状況[WP]

[図 9], [図 10]では, 勤続年数とセキュリティ準拠のクロス集計を行ったが, 勤続年数とセキュリティ準拠の間には関連は見られなかった。

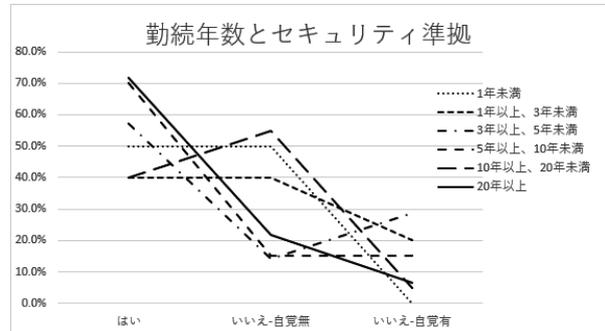


図 9: 勤続年数とセキュリティ準拠[IB]

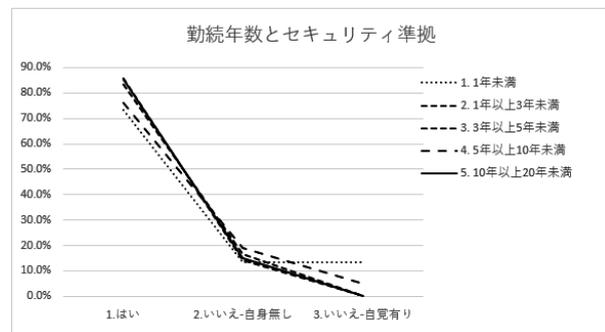


図 10: 勤続年数とセキュリティ準拠[WP]

[図 11], [図 12]では, 勤続年数と不満の報告のクロス集計を行った結果であるが, 勤続年数と不満の報告に傾向は見られなかった。

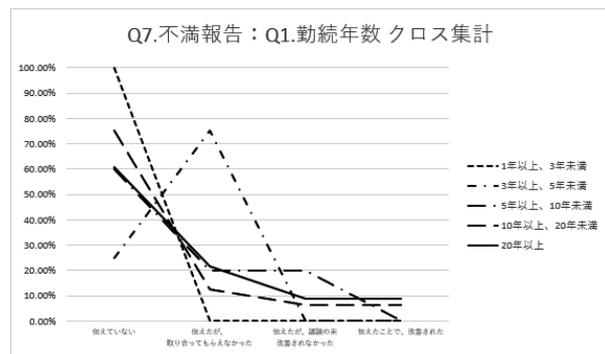


図 11: 不満の報告と勤続年数[IB]

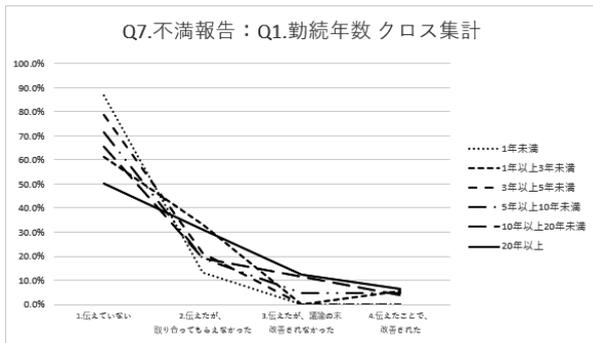


図 12: 不満の報告と勤続年数[WP]

5 分析

5.1 仮説の検証

以上のアンケート結果より、仮説を検証する。

【H1】については、勤続年数とセキュリティ対策準拠度のクロス集計より、仮説通りの傾向が見られた。

【H2】については、不満の報告のアンケートより、約 6 割が不満を抱きつつも、伝えていないという現状が明らかになり、仮説が支持された。また、伝えたことによって改善した割合も非常に低く、これにより報告割合が伸び悩んでいるのではないかと考える。

【H3】については、勤続年数とセキュリティ対策の間には関連がみられず、仮説は支持されなかった。

なお、IB と WP の二社間でのアンケート回答に有意差があるかどうかを確認するため、カイ二乗検定を実施したところ、「なぜ自組織のセキュリティ対策に不満があるのですか？」と「セキュリティ対策を守っていますか？」の2設問で $p < 0.05$ となり有意差が観測された。

5.2 考察

【H1】が支持されたことより、ISMS 等の認証取得がセキュリティ準拠意識に貢献する可能性を見出すことができた。情報セキュリティのマネジメントを通じ、継続的な学習や教育を行うことが、従業員へのセキュリティ対策の意義を伝える有効な手段であると考えられる。

【H2】については、不満の意識があるにも関わらず、実際に伝えていないのは約 6 割と非常に大きく、セキュリティ対策が他社でのインシデントの発生や法律改正により、トップダウンで否応なしに実施されていると従業員が感じている可能性が高い。規定やルールが業務プロセスと整合するように、マネジメントの意識改革を含め、会社全体の文化形成に注力する必要があると考える。

【H3】に関しては、勤続年数によるセキュリティ対策への準拠度に関連は見られなかった。これは、従業員は悪意を持つ

てセキュリティ対策を守らない、または、守りたくないのではなく、そのものが複雑化しており、ルール全体の把握が難しくなっていることが考えられる。一方、システム的な制御やセキュリティ管理機能付きパッケージ製品が増加してきたことにより強制的に守られている可能性も考えられる。

6 おわりに

今回のアンケート調査により、セキュリティ対策への不満があるにも関わらず、報告をしない割合が高いことが明らかになった。情報セキュリティ対策が企業の重要な経営課題となっていく中で、どのようにして業務プロセスと整合し、業務効率の低下を最小限にとどめながら普及させていくかが課題となると考える。

アンケート調査ではIT担当者やセキュリティ業務従事者等の属性を抽出していなかったため、セキュリティに携わる方との認識の差異は調査すべきであると考えられる。

また、セキュリティ対策が従業員の要望により変化していくことで従業員の満足度にどのようなプラスの影響があるか、はたまたリスクを大きくすることでセキュリティの低下を招くことにならないかは考慮すべきである。

参考文献

- [1] 独立行政法人 情報処理推進機構, 情報セキュリティ 10 大脅威 2022
<https://www.ipa.go.jp/security/vuln/10threats2022.html>, 2022. (visited on 2022)
- [2] 独立行政法人 情報処理推進機構, 情報漏えいインシデント対応方策に関する調査報告書
<https://www.ipa.go.jp/files/000002223.pdf>, 2006. (visited on 2022)
- [3] 情報マネジメントシステム認定センター, ISMS 認証取得組織検索 <https://isms.jp/lst/ind/>
<https://www.ipa.go.jp/files/000002223.pdf>, 2022. (visited on 2022)
- [4] NPO 日本ネットワークセキュリティ協会, 2018 年 情報セキュリティインシデントに関する調査報告書
<https://www.jnsa.org/result/incident/2018.html>, 2018. (visited on 2022)
- [5] 田崎 来実, 小松 文子, “個人のリスク認知と情報セキュリティ対策行動,” 情報処理学会研究報告 セキュリティ心理学とトラスト, 2020-SPT-36, No.29, pp.1-8, 2020.

- [6] 江口彰, "情報セキュリティインシデント抑制のための ISO/IEC 27001 規格の活用に関する研究", 筑波大学, 2020.
- [7] 岡嶋 裕希, 原田要之助, "組織のセキュリティ文化形成・手法についての一考察", 情報処理学会研究報告 電子化知的財産・社会基盤, 2019-EIP-83 No.7, pp. 1-6, 2019.
- [8] 浜屋敏, "情報セキュリティと組織感情", Enterprise 2.0", 富士通総研 経済研究所 研究レポート No.345, 2009.

付録 アンケート結果

設問:今の会社に入社して何年目ですか？

選択肢	IB	WP
1年未満	15	2
1年以上3年未満	18	5
3年以上5年未満	14	7
5年以上10年未満	14	20
10年以上20年未満	14	20
20年以上	18	46

設問:ISMSを知っていますか？

選択肢	IB	WP
よく知っている	6	4
知っている	18	21
ISMS 認証があることは知っている	15	15
名前を聞いたことがある	35	20
知らない	37	40
その他	0	0

設問:自組織で決められたセキュリティ対策を守っていますか？(IB)／お勤めの企業のセキュリティ対策を守っていますか？(WP)

選択肢	IB	WP
はい	90	62
いいえ・わからないが守れている自信がない	18	28
いいえ・守っていない自覚はあるが、周囲の人も守っていないので守らない	3	6
いいえ・面倒なので、守っていない	0	4

設問:なぜ、自組織のセキュリティ対策に不満があるのですか？(IB)／なぜ、お勤めの企業でのセキュリティ対策に不満があるのですか？(WP)

選択肢	IB	WP
ルールが周知されていないから	13	13
ルールがコロコロ変わるから	20	18
面倒だったから	46	34
誰もやっていないから	15	3
その他	17	0
不満はない	-	43

設問:不満を伝えたことはありますか？伝えた後セキュリティ対策は改善されましたか？

選択肢	IB	WP
伝えていない	76	37
伝えたが、取り合ってもらえなかった	25	12
伝えたが、議論の末改善されなかった	6	5
伝えたことで、改善された	4	3

属性:年齢

選択肢	IB	WP
10代	0	0
20代	19	3
30代	40	10
40代	38	42
50代	11	32
60代以上	3	13
無回答	1	0

属性:性別 (WPのみ)

選択肢	IB	WP
男性	-	69
女性	-	31

属性:雇用形態

選択肢	IB	WP
正社員	86	87
契約・派遣社員	9	8
パート・アルバイト	16	5
無回答	1	0

歩行姿勢を「見える化」するウェアラブル型デバイスの開発提案

堀岡 勝*・加藤明彦*・杉本拓海*・張万強*・
大久保友幸*・村越英樹*

Proposal for development of wearable devices that visualize walking posture

Masaru Horioka* , Akihiko Kato* , Takumi Sugimoto* , Wanqiang Zhang* ,
Tomoyuki Ohkubo* and Hideki Murakoshi*

Abstract

One of the causes that reduce QOL (Quality Of Life) of elderly people is a fall accident by stumbling. We assume that the elderly can prevent fall accidents by stumbling, if they paid attention to their walking posture and trained their walking before they got old. Then we propose developing the system which visualizes walking posture. The system has sensors on toes and back side of a waist. The toe's sensor detects the distance from the ground. The sensors on the back side of a waist, which include acceleration and gyro, detect body balance. The system visualizes those sensed data on smartphones. We report the development of a prototype for the system and the experimental results.

Keywords: Visualizes Walking Posture, QOL, Fall Accidents by Stumbling, Wearable Device

1 はじめに

高齢化が社会問題となっている現代において、いかに高齢者が健康を維持し、日々の生活に充実感を持って生きられるかに多くの関心が集まっており、内閣府や厚生労働省の他、各種団体等においても高齢者のQOL(Quality Of Life)の向上のための様々な取り組みが進められている[1][2][3]。高齢者のQOLが低下する原因の一つが、転倒事故による骨折や障害である[4]。消費者庁が公表するデータ[5]によれば、高齢者の自宅内での転倒事故の発生原因は、「滑る」、「つまずく」が最も多く、以降「ぐらつく」、「ベッド等から移動時に」、「引っ掛かる」が続く。そこで、我々は「つまずく」に着目し、つまずきを防止するウェアラブル型デバイスの開発を試みた。

本稿では、つまずきを防止するデバイスの開発について報告する。第2節では、つまずきの要因を調査し、つまずきを防止する方策および仮説について述べ、つまずきを防止するシステムの概要について示す。第3節では、つまずきを防止するシステムの実験装置の設計と実装について述べる。第4節では、実験の実施と結果に対する考察をまとめ、第5節で、実験から得た歩行データの「見える化」の方法を示す。第6節は、本稿のまとめと今後の展望である。

2 つまずきの要因と転倒防止システムの概要

つまずきの要因について文献調査を行った[6][7]。文献[6]では、つまずきの要因が次の3種類に分類されると報告さ

れている。

① 歩き方

通常の歩行においては、地面と足のつま先の距離の最小値が1.5cmであり、この値が0cmになるとつまずきの要因となる。

② 身体イメージ

70歳以上の高齢者では、足を上げた感覚と身体イメージのズレ(誤差)が1.5cm以上ある。そのため、足を1.5cm以上上げているとイメージしていても、実際には上がっていないことがある。

③ 認知機能の低下

認知機能が低下した人は歩行のバラツキが大きく、一定していないため2倍以上転倒しやすい。

本研究では、このつまずきの要因を採用する。上述のつまずきの要因から、高齢者のつまずきは、身体や認知の機能の衰えが原因となっていると推察し、身体や認知の機能を維持できれば、つまずきによる転倒事故を防止できるのではないかと仮定した。すなわち、高齢者になる前から、日頃の歩き方をチェックし、地面を蹴って膝を曲げ、足を上げるというつまずきにくい歩き方を意識づけるシステムを開発すれば、つまずきを防止できると考えた。

図1に著者の一人である堀岡の通常歩行時のつま先の軌跡を示す。歩行者が左側から右側に歩行したときの動画を撮影し、コマ送りでつま先位置をプロットした点をスプライン曲線で繋いでいる。赤線が右足、青線が左足のつま先の移

動軌跡を表わしている。背景の横線は1cm間隔である。この図から分かるように、地面とつま先の距離は、蹴り出し部分で一度長くなり、つま先が高く上がる(A点)。その後、前に足を振り出すときに徐々に短くなり、最低の高さとなる(B点)。続いて振り子状に足が上がりはじめ、かかとから着地するために、つま先は最も高い位置になる(C点)。前述のつまずきの要因①では、つま先の最低高さが0cmになるとつまずくこととなる。図1の歩行者のつま先最低高さは2cm程度確保されており、平坦で障害物のない路面上ではつまずくことは無い。左右のつま先の移動軌跡もほぼ同形状を描いており、歩行時の身体バランスも正常の範囲と考えられる。このような足の運びを歩行者に意識づけることが提案するシステムの重要な要素となる。

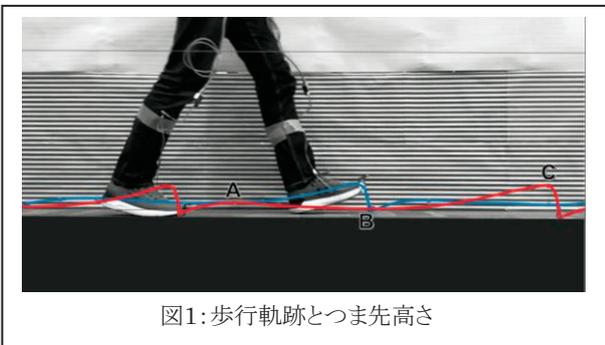


図1: 歩行軌跡とつま先高さ

そこで、つま先に地面との距離を計測して記録するセンサを装着し、そのデータを「見える化」して歩行者に提示することで、つまずきの要因②のイメージのズレを歩行者自身に認識してもらい、つまずきにくい歩き方を意識させる。また、つまずきの要因③の認知機能の低下による歩行時の身体バランスのばらつきを「見える化」することで、つまずきに対する注意喚起をする。以上の機能を実現するものとしては、図2に示すように、つま先および腰のセンサ、センサにより収集されたデータを受信・表示する携帯端末、および集積されたデータを分析するためのクラウドサーバから構成される。

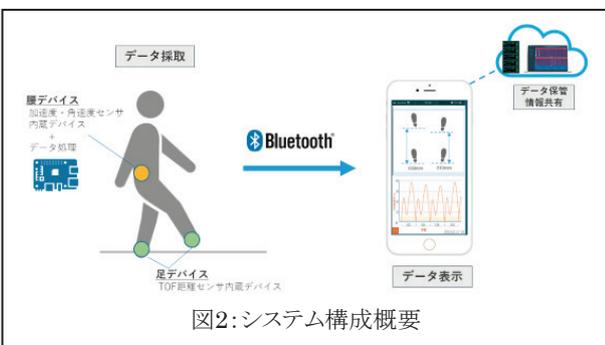


図2: システム構成概要

3 実験装置の設計と試作

本節では、第2節で提案した機能を持つシステムを実現するために、歩行者の身体に装着するウェアラブルセンサの設

計と試作について述べる。

歩行時の足およびつま先の挙動を計測する先行研究には、ビデオカメラやモーションキャプチャシステムを用いたものがあるが、機器を設置した特定範囲でしか計測ができない[8][9]。また、足先や足首に加速度センサおよびジャイロセンサなどの慣性センサを取り付け、データ解析により足の動きを推定するものもあるが、センサ自体の性能や解析方法、取り付け位置による誤差が生じやすい[10][11]。つま先と地面との距離(つま先高さ)を計測するセンサは、最低つま先高さが約1.5cmであり、身体イメージのズレが約1.5cmであることを考慮すると、1mm単位で正確に距離を計測できる必要がある。直接距離を測定できるセンサとして、北川ら[12]が用いた超音波センサと、レーザー光を利用したToF(Time of Flight)距離センサが候補となったが、本研究では、より測定誤差が少ないToF距離センサを選択することとし、STマイクロエレクトロニクス社製のVL53L0Xを採用した。

また、腰に装着し身体バランスを測定するためのセンサは、加速度センサおよびジャイロセンサを搭載したInvenSense社製のMPU-6050を採用した。これらセンサの選択に当たっては、図3に示すような振り子型の装置を製作し、複数のセンサにおいて、計測できる最短および最長距離、高速移動時の計測の正確さについて評価し決定した。

選択したセンサを制御し、データを収集するプロセッシングユニットとしてmbed LPC1768を搭載し、図4に示すような実験装置を試作した。

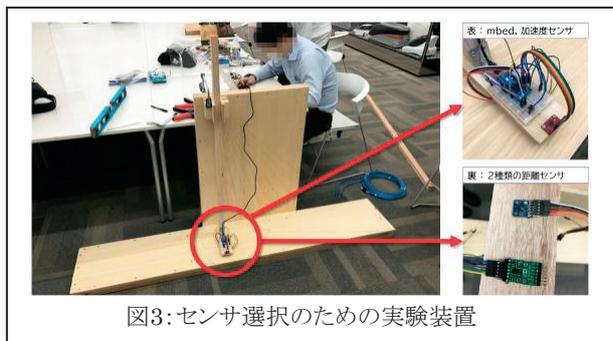


図3: センサ選択のための実験装置

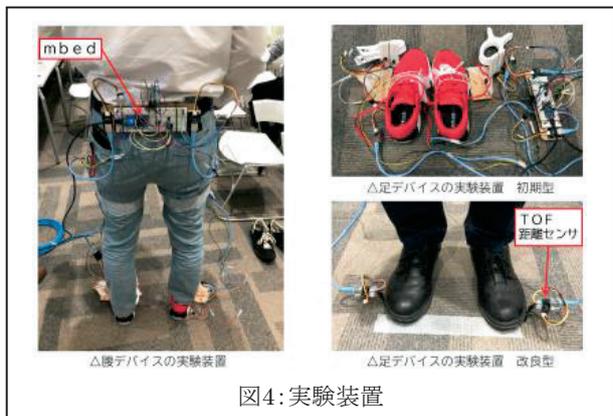


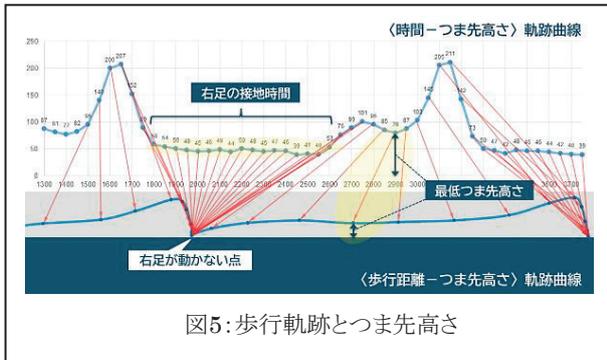
図4: 実験装置

4 実験と考察

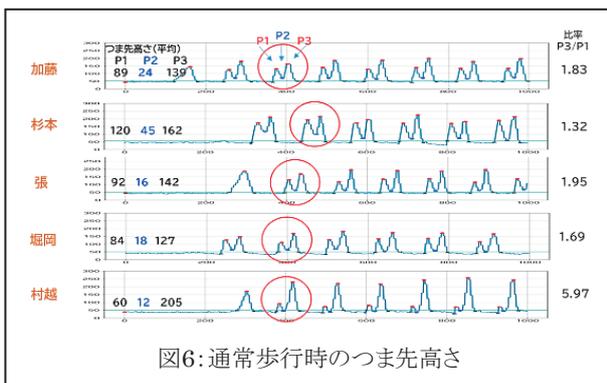
本稿の著者が被験者となり、歩行実験を行った。その結果を1) 実験測定データと実際の歩行時のつま先軌跡との相関関係、2)通常歩行時の最低つま先高さ、3)負荷をかけた時の最低つま先高さ(右手に鞆を持つ、スーツケースを引く、前にリュックを抱える、高齢者体験キット装着、スリッパ歩行)、4)身体バランスの順に提示するとともに考察する。ちなみに、被験者となったメンバーの年齢は、加藤60才代、杉本20才代、張40才代、堀岡50才代前半、村越50才代後半である。

1) 実験測定データと実際の歩行時のつま先軌跡との相関関係

図5に、実験の測定データからプロットしたつま先軌跡(上のグラフ)と、同時に撮影したビデオからプロットしたつま先軌跡(下のグラフ)との関係を示す。通常歩行時の右足の比較である。実験の測定データからプロットしたつま先軌跡は、縦軸がつま先高さ、横軸が時間経過を表わしている。ToF距離センサは0.05秒毎に距離を計測しており、高さがほぼ変化しない範囲は右足が動いていない状態、つまり接地している状態を示している。ビデオからプロットしたつま先軌跡は、縦軸がつま先高さ、横軸が移動距離を表わしており、右足が動いていない時はプロット点も変化はない。上下の歩行軌跡を同時刻で結んだものが赤線であり、上下のグラフのつま先高さ変位が正しく同期していることがわかる。本実験が最低つま先高さの計測および判別に有効であることを確認した。



2) 通常歩行時の最低つま先高さ



通常歩行時のつま先高さの軌跡を図6に示す。図中P1は蹴り出し時のつま先高さ、P2は最低つま先高さ、P3は接地直前の最高つま先高さである。最低つま先高さP2が最も低いのは村越であり、張、堀岡と続く。この結果からは村越が一番つまずきやすいこととなるが、老化による影響が出ていないためか、日常においてつまずくことはなく、年齢とは相関が無いことがわかる。つま先高さの軌跡とP1~P3の値は、個々人の歩き方の特徴を表していると考えられる。

3) 負荷をかけた時の最低つま先高さ

鞆を持ったり、高齢者体験キットを装着するなど、負荷をかけた時のつま先高さの軌跡を図7に示す。重い荷物を持った時などは、通常歩行のつま先高さ軌跡と大きく異なる特徴を有していることが分かる。特に高齢者体験キットを装着した場合には、蹴り出し直後のP1の値が低くなり、蹴り出しが弱いことが見て取れる。あわせて最低つま先高さP2も低くなる傾向が見られる。

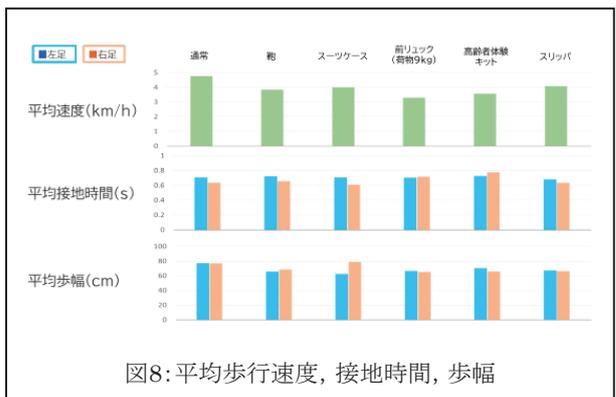


図8には、平均歩行速度、軸足の平均接地時間、平均歩幅を示す.ToF距離センサで測ったつま先高さの軌跡と、加速度センサ、ジャイロセンサを同時計測し、これらのデータを詳細に解析することで算出した。通常歩行に比べると、負荷をかけた場合には歩行速度が低下していることが分かる。また、高齢者体験キットを装着した場合には、両足を地面につけている平均接地時間が長くなっている。

4) 身体バランス

図9は歩行時の身体バランスの「見える化」を目的とし、身体バランスを表示するために用いたグラフの一例である。グラフの上部は前方(進行方向)であり、加速度センサのX-Y平面上の加速度の方向をプロットしている。加速度の強さは、XYZの値を指標として色で表現しており、赤くなるほど強いことを示す。プロットした点が中心部に集中しているほど、身体の重心移動が少なく、安定して歩いていることを示している。図9では、右側に対する加速度が大きく、歩行時の身体バランスが左右非対称であることがわかる。

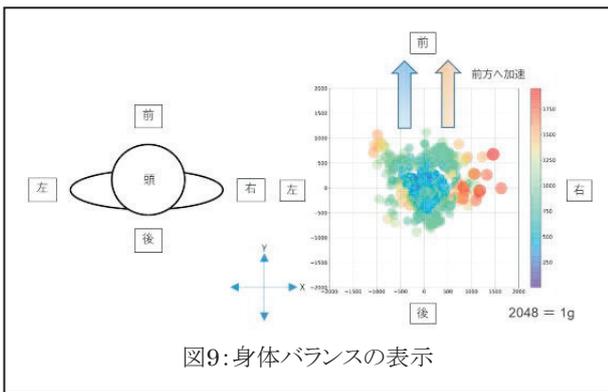


図9: 身体バランスの表示

図10には各被験者の通常歩行時の身体バランスを示す。つま先高さの軌跡と同様に、被験者ごとに特徴があることが分かる。

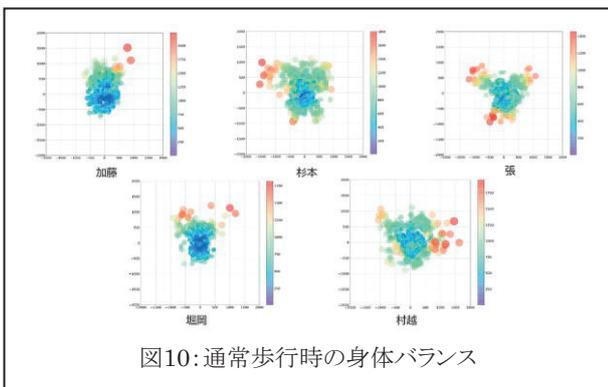


図10: 通常歩行時の身体バランス

図11には、通常歩行時と高齢者体験キットを装着した場合の身体バランスを提示する。通常歩行と比較すると、高齢者体験キットを装着した方が、身体バランスのばらつきが多いことが分かる(図11左)。図11右は、X軸(左右)、Y軸(前後)

の加速度ヒストグラムである。通常歩行時のヒストグラムは、前後、左右ともにほぼ正規分布となっており、バランスが良いことが分かる。前後方向の加速度ヒストグラムでは、足が後から前へスイングするのは逆に、体が前方から後方へ重心移動し、原点付近となる最低つま先高さP2の点では、身体の加速度も最小に近く、片足でバランスを取りながら立っていることが推測される。一方、高齢者体験キットを装着した歩行では、前方方向に偏りが見られ、左右方向への広がりが大きい。このことは、高齢者体験キットを装着しての歩行では、前方に体を倒して、左右に大きく体を振って歩いていることを示唆するものとなっている。この状態をつまずくと、転倒しやすいことが推測される。

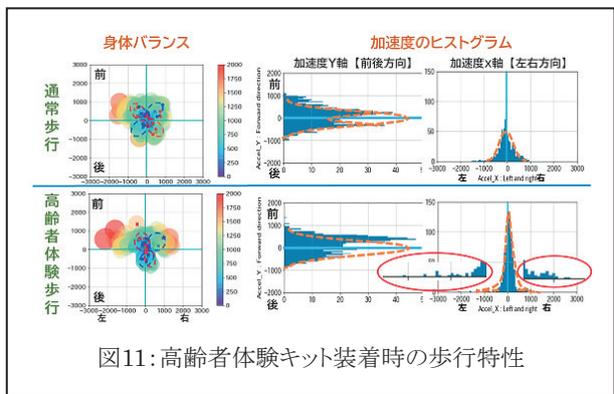


図11: 高齢者体験キット装着時の歩行特性

5 携帯端末への表示内容

これら歩行時の様々なデータを解析し、数種類の「見える化」した情報として歩行者に提供する。その伝達する手段として、スマートフォンなどの携帯端末用アプリケーションを想定している。現在は開発途中であるため、図12に実際のデータ解析結果を反映したデモンストレーション画面を示す。このアプリケーションによるデータの取得方法は、アプリ利用者が歩行開始時にスタートボタンを押下し10秒間のデータ測定を開始する。表示可能なデータは以下の10項目を選定した。

- ① 10秒間の歩行軌跡
- ② 左右一歩のみを抜き出し、重ねて比較した歩行軌跡
- ③ 平均歩行速度
- ④ 左右の平均歩幅
- ⑤ 左右の平均接地時間比率
- ⑥ 身体バランス(歩行時加速度散布図)
- ⑦ 平均重心バランス
- ⑧ 各歩行データの過去の測定値との比較
- ⑨ 歩行改善へのアドバイス
- ⑩ 歩行軌跡の音符表示および音楽再生

取得した歩行データはスマートフォン内のメモリに保存さ

れ、過去の歩行データと比較することで、長期的な歩行状態の変化の確認が可能となる。また、クラウドサーバを利用することで、アプリケーション利用者同士の歩行データ比較やゲーミフィケーションへの応用も期待される。⑩の音楽再生は、歩行軌跡を音に変換し再生することで、視覚だけではなく聴覚からの直感的なイメージのズレを意識させる目的を持っており、アプリケーションを継続して使用してもらうためのゲーミフィケーション的な要素として取り入れている。

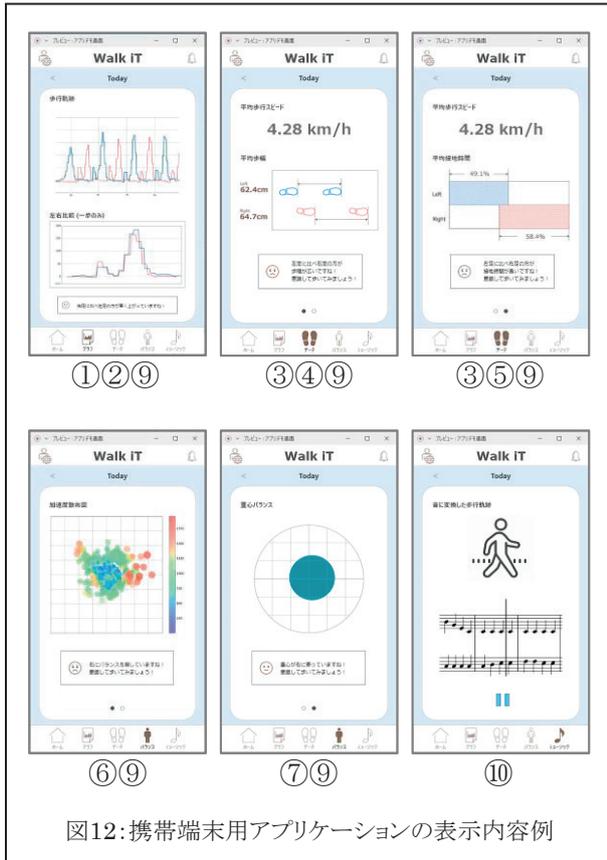


図12: 携帯端末用アプリケーションの表示内容例

6 まとめと今後の展望

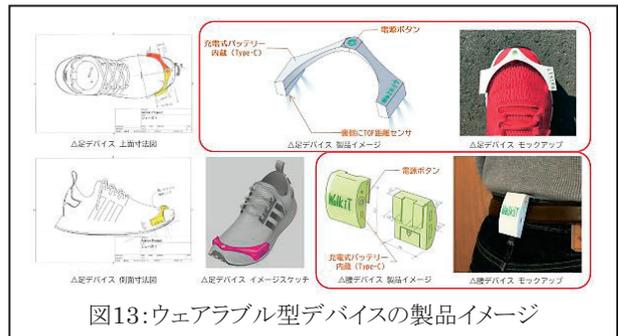
本研究では、高齢者の転倒事故によるQOL低下を防止するために、歩行姿勢を「見える化」するウェアラブル型デバイスを設計・試作し、歩行時の特徴を捉えることができることを実験により示した。

ただし、今回用いた実験装置のToF距離センサ取り付け位置は、厳密にはつま先ではなく足前方側面であり、正確なつま先高さの計測とはなっていないため、より精度高く計測できる装置の開発が必要である。ToF距離センサと地面が平行でないときにつま先高さを正確に推定する方法も、今後の検討課題である。また、「見える化」のためのアプリケーション開発やデータの通信方法、表示方法等においても、検討を重ねていく必要がある。

現段階では、歩行時のつま先側辺の高さ軌跡と身体バラ

ンスを表示し、歩行の特徴を提示するまでにしか至っていないが、これらの残された課題を解決し、また、被験者数を増やしデータを詳細に分析することで、さらに有用な利用方法の提案につながることを期待できる。

最終的には、図13に示すようなスマートなデザインにまとめられたウェアラブルデバイスと携帯端末を用いて、図2に示したようなシステムをプロダクトとして製作し、高齢者のつまずきによる転倒事故を削減し、QOL向上に貢献したいと考えている。



参考文献

- [1] 内閣府経済社会総合研究所, 野村裕, 加藤卓生, 野村彰宏, 吉村卓也, New ESRI Working Paper No.58, “QOL向上など成長の「質」を考慮した経済と社会保障のシミュレーション”, https://www.esri.cao.go.jp/jp/esri/archive/new_wp/new_wp060/new_wp058.pdf, (visited on 2022) (ウェブ参照)
- [2] 厚生労働省, 平成30年版厚生労働白書, <https://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/kousei/06/dl/2-1.pdf>, (visited on 2022) (ウェブ参照)
- [3] 九州保健福祉大学QOL研究機構, <https://www.phoenix.ac.jp/outline/qol>, (visited on 2022) (ウェブ参照)
- [4] 東京消防庁, 救急搬送データからみる高齢者の事故～日常生活での高齢者の事故を防ぐために～, <https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/topics/202009/kkxansoudeta.html>, (visited on 2022) (ウェブ参照)
- [5] 消費者庁, 10月10日は「転倒予防の日」、高齢者の転倒事故に注意しましょう!, https://www.caa.go.jp/policies/policy/consumer_safety/caution/caution_040/assets/consumer_safety/cms204_201008_01.pdf, (visited on 2022) (ウェブ参照)

- [6] 佐々木賢太郎, 平成29年度 第3回金城大学プログラム「なぜ、歩くとつまずくのか?『つまずき』を科学する」報告, <https://www.kinjo.ac.jp/ku/wp/?p=8842>, (visited on 2022)(ウェブ参照)
- [7] 久下晴己, 國府勝郎, 秋山哲男, “高齢者の歩行特性とブロック系舗装の目地部許容段差に関する考察”, 土木学会論文集, No.627, V-44, pp.67-76, Aug.1999. (日本語論文誌)
- [8] 大嶋辰夫, 伊藤暁子, 宇野英隆, “高齢転倒経験者における歩行中のつま先高さの軌跡の特徴”, 日本建築学会計画系論文集, 第559号, pp.159-163, Sep.2002. (日本語論文誌)
- [9] 小林吉之, 高柳直人, 須藤元喜, 仁木佳文, 持丸正明, “高齢転倒経験者における歩行中のつま先高さの軌跡の特徴”, 日本転倒予防学会誌, Vol.4, No.1, pp.33-42, May 2017. (日本語論文誌)
- [10] 吉田尚平, 村田嘉利, 鈴木彰真, 佐藤永欣, “ウェアラブルデバイスによる歩行形態判別システムの提案”, 情報処理学会, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム2016論文集, pp.301-307, Jul.2016. (日本語論文誌)
- [11] 堀宏有, 廣部祐樹, 織茂智之, 沢田裕之, 稲葉彰, 三宅美博, “ウェアラブルセンサを用いた足首軌道推定と歩行分析システム”, 計測自動制御学会, 自律分散システム・シンポジウム講演論文集DAS2016, 第28回, pp.203-208, Jan.2016. (日本語論文誌)
- [12] 北川広大, 郷幸佑, 戸谷伸之, “転倒防止に向けた小型センサによる歩行状態推定方式の諸検討”, 釧路工業高等専門学校紀要, 第49号, pp.27-30, Jan.2016. (日本語論文誌)

紀要編集委員会

編集委員長	追川修一	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	前田充浩	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	三好きよみ	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	三好祐輔	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 教授
	河西大介	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教
	木下修司	東京都立産業技術大学院大学産業技術研究科 産業技術専攻 助教

2022年度 東京都立産業技術大学院大学紀要

2023年1月 発行

編集・発行 東京都立産業技術大学院大学

東京都品川区東大井 1-10-40

電話 03(3472)7834

URL <https://aiit.ac.jp>



この印刷物はグリーン
電力を使用した印刷機
で出力しています。
547202