富山第一銀行奨学財団

助成研究報告書

2026

Report of
subsidized
research

公益財団法人 富山第一銀行奨学財団

富山第一銀行奨学財団

助成研究報告書

2026

Report of subsidized research

公益財団法人 富山第一銀行奨学財団

発刊に寄せて



（公財）富山第一銀行
奨学財団
理事長　野村　充

「富山第一銀行奨学財団助成研究報告書2026」発刊にあたり、一言ご挨拶申し上げます。公益財団法人富山第一銀行奨学財団による富山県内高等教育機関の研究者方々の学術研究等への助成事業の運営に当り、多くの皆様のご支援を頂いており厚くお礼申し上げます。

当財団では、平成18(2006)年より例年７月上旬に前年度に研究助成を受けられた研究者の研究成果発表会「研究助成セミナー」を開催しております。また、令和３(2021)年７月より学術研究活動の更なる深化の一助となればとの思いから「富山第一銀行奨学財団助成研究報告書」を毎年、発刊・公開しております。本誌の編纂にあたり、高等教育機関の研究者並びに事務局の方々に多大なご尽力を賜っていますことに重ねてお礼申し上げます。

さて、当財団は昭和34(1959)年に富山相互銀行(現富山第一銀行)の社長で創業家二代金岡又左衛門氏の逝去に伴い御遺族からの弔慰金500万円の寄付と銀行からの500万円の計１,000万円を基本財産として設立されました。富山県人で才能と将来性ある学生(高校生・大学生対象)へ奨学金の給・貸与を行い、人材育成に資する目的で財団法人富銀育英会が設立されたことからスタートしており、富山県内では最も古い財団の一つであります。その後、基本財産は主に銀行及び銀行の関連会社、そしてその役職員・退職者の方々からの寄付等により充実が図られてきました。一方で、事業目的は奨学金の給・貸与事業に加えて昭和59(1984)年より主として富山県内の高等教育機関(高等学校・大学等)・教育関係諸団体等への設備・研究活動等への助成事業を、令和３(2021)年には地方創生の観点から、科学技術・学術研究分野での秀れた研究成果を顕彰する「富山第一銀行奨学財団賞」を創設するなど、事業内容の充実を図ってまいりました。こうしたことにより、当財団では、育英事業、研究助成事業、顕彰事業を財団運営の三本柱として鋭意取組んでいるところであります。本誌に掲載されました研究成果が富山県内、更には我が国の産学官の関係者の皆様方及び教育関係者の皆様方で活用され、地域や広く社会全体の発展に寄与すること、またその成果が顕彰事業である「富山第一銀行奨学財団賞」の受賞にもつながっていくことも期待しております。

末筆となりますが、関係各位の引続きのご支援とご協力をお願い申し上げ、本誌発刊のご挨拶と致します。

令和８(2026)年９月

当財団設立以来の主な事業の概要

諸計数は、令和８(2026)年３月末現在

１．学生の皆さんへの奨学金の給・貸与事業(現在は大学生のみ)
昭和34年(1959)年～
奨学生累計367名(内訳：大学生225名 短大生29名 高専生５名 高校生108名)

２．富山県内公・私立高等学校全校に対する設備・教育資機材導入への助成事業
昭和59(1984)年～
延べ65校、助成額17,418千円

３．富山県内教育関係諸団体への助成事業
(公益社団法人富山県教育会、富山県理科教育振興会、富山県家庭科教育振興会)
昭和59(1984)年～
延べ121団体、助成額18,700千円

４．富山県内高等教育機関の研究者の研究活動への助成事業
(富山大学、富山県立大学、富山国際大学、高岡法科大学、富山短期大学、富山高等専門学校)
昭和59(1984)年～
延べ１,052研究、助成額538,600千円

５．顕彰事業「(公財)富山第一銀行奨学財団賞」の受賞者の決定と表彰
延べ11研究、財団賞総額49,000千円
(１)第一回(令和４年度)(2022年７月8日) ―研究テーマ記載省略―
・特別賞：富山大学　准教授　宮本 大祐 氏
・努力賞：立山化学株式会社　主任技師　竹内 道雄 氏
(２)第二回(令和５年度)(2023年７月7日) ―研究テーマ記載省略―
・特別賞：富山県立大学　准教授　古澤 裕之 氏 研
・奨励賞：富山大学　助教　廣島 渚 氏
(３)第三回(令和６年度)(2024年７月5日) ―研究テーマ記載省略―
・特別賞：富山県立大学　准教授　寺島 修 氏
・奨励賞：富山大学　助教　川筋 仁史 氏
・努力賞：富山県薬事総合研究開発センター　主任研究員　髙山 信幸 氏
(４)第四回(令和７年度)(2025年７月4日) ―研究テーマ記載省略―
・特別賞：富山大学　准教授　歌 大介 氏
・奨励賞：富山大学　助教　楊 熙蒙 氏
(５)第五回(令和８年度)(2026年７月3日)
・特別賞：富山大学　教授　高 尚策 氏
研究テーマ「次世代AIシステムの再設計：軽量化から実応用へ」
・奨励賞：富山大学　講師　平野 哲史 氏
研究テーマ「環境化学物質が中枢神経系に及ぼす未知の神経毒性メカニズムの解明と新規評価法の開発」

目　次

発刊に寄せて …… 2

富山大学

- Predicting Rice Cultivation Vulnerability in Toyama Prefecture, Japan
  学術研究部社会科学系研究推進機構サステイナビリティ国際研究センター
  Shishir Sharmin (シシル シャーミン), Assistant Professor, Dr.(Ph.D.) …… 7
- プラスチック有効資源化を指向した触媒システムの開発
  学術研究部 工学系　特命准教授　保田　修平 …… 14
- 円軌道合成開口レーダ画像の差分干渉解析に基づく地盤変動モニタリング技術の研究
  学術研究部 工学系　講師　渡邉　卓磨 …… 20
- AIを用いた可搬型表面検査装置の作成
  学術研究部 工学系　特命教授　張　潮 …… 29
- 遺伝子Xを標的とした急性骨髄性白血病に対する新規治療開発
  学術研究部 医学系 血液内科　助教　神原　悠輔 …… 34
- 子どものネット依存の調査と学校教育の効果検証
  学術研究部 医学系　准教授　山田　正明 …… 36
- 腫瘍抗原PRAMEを標的とした難治性リンパ腫の治療法開発
  学術研究部 医学系　教授　髙田　尚良 …… 40
- プレクリニカルおよび超早期関節リウマチの分子的、画像的定義付け
  学術研究部 医学系　教授　加藤　将 …… 44
- マウスの表情変化をもとにした脳活動の解読
  学術研究部 医学系　教授　西丸　広史 …… 50
- 宿主、免疫細胞、起炎菌を三位一体として診断する新たな敗血症検査システムの確立
  学術研究部 医学系　教授　仁井見 英樹 …… 55
- 炎症性腸疾患薬剤選択biomarker setの開発
  学術研究部 医学系　特命教授　渡辺　憲治 …… 60
- 近赤外光駆動型HAT触媒を利用したライソゾーム病の新規光治療法の開発
  学術研究部 薬学・和漢系　助教　谷岡　卓 …… 63
- 粘膜組織の効率的なIgA抗体誘導に向けたTRAF５を介した機序の解明
  学術研究部 薬学・和漢系　助教　國石　茉里 …… 67
- 新規Na+ポンプによる神経軸索伸長機構とその破綻が関与する発達障害発症機構の解明
  学術研究部 薬学・和漢系　准教授　藤井　拓人 …… 73
- 肥満リバウンドの新たな抑止法の開発
  学術研究部薬学・和漢系・教授　笹岡　利安 …… 78
- 心筋緻密化障害の疾患確立と病態解明を目指した分子基盤の創出
  附属病院 糸魚川・地域医療支援学　客員教授　廣野　恵一 …… 85
- 石川県と富山県の沿岸域における自然災害が漁業者の生活観と主観的幸福感に与える影響
  研究推進機構サステイナビリティ国際研究センター　Geetha Mohan …… 90

富山県立大学

- 富山県の高等教育機関における英語教育での生成AI活用に関する実態調査：教員の認識と実践から、より効果的な導入への示唆
  工学部 学教養教育センター　講師　リ　オリガ ‥‥‥‥ 99
- 健康診断データから紐解く生活習慣と慢性腎臓病との関係
  工学部 教養教育センター　講師　川上 翔太郎 ‥‥‥‥ 104
- 近赤外非線形ラマン分光を用いた農作物中の肥料成分濃度のリアルタイム計測法の開発
  工学部 電気電子工学科　准教授　髙屋　智久 ‥‥‥‥110
- 汎用小型パルス磁場発生装置の開発
  工学部 電気電子工学科　准教授　田縁　俊光 ‥‥‥‥117
- 新規多剤耐性因子の作用機序解明
  工学部 生物工学科　講師　高田　啓 ‥‥‥‥ 126
- ウイルスゲノムの大規模言語モデル化、及びそれを利用したウイルス遺伝子機能推定
  工学部 生物工学科　助教　杉本　竜太 ‥‥‥‥ 131
- マルチオブジェクトトラッキングにおける粒子群最適化を用いた不規則な挙動の検出
  情報工学部 データサイエンス学科　講師　髙野　諒 ‥‥‥‥ 139
- p型伝導を実現する超ワイドギャップ半導体のデザイン
  情報工学部 知能ロボット工学科　講師　太田　優一 ‥‥‥‥ 143
- ショベル除雪における道具との相互作用力の可視化および身体への負荷の解析
  情報工学部 知能ロボット工学科　講師　松本　賢太 ‥‥‥‥ 146

富山国際大学

- 北陸新幹線金沢開業10年・敦賀開業１年後の沿線住民の意識調査
  現代社会学部 現代社会学科　教授　大谷　友男 ‥‥‥‥ 153
- 学生が事業主体となって進める地域課題解決～ODSC手法によるプロジェクトマネジメント～
  現代社会学部 環境デザイン専攻　教授　川本　聖一（令和８年3月31 日付定年退職）‥‥‥‥ 163
- 深層学習と生成AIを用いた特許書類の解析
  現代社会学部 現代社会学科　教授　新森　昭宏 ‥‥‥‥ 171
- 保育施設における室内外空気中微生物の地域差に関する研究
  現代社会学部 現代社会学科　教授　高橋 ゆかり ‥‥‥‥ 181
- ジェンダー平等な地方議会の創出に向けた準備作業
  子ども育成学部 子ども育成学科　教授　彼谷　環 ‥‥‥‥ 187
- 外国にルーツを持つ児童生徒の支援 ― 大学と地域の有効な連携を目指して ―
  子ども育成学部 子ども育成学科　准教授　岩崎　直哉 ‥‥‥‥ 197
- 運動・スポーツを「みる」「しる」「ささえる」「する」ことを通して、子どもの運動・スポーツに親しむ力を育成する方策の追究
  子ども育成学部 子ども育成学科　准教授　金子　泰子 ‥‥‥‥ 207

高岡法科大学

●日本語と中国語のあいさつ表現の比較研究 ― 文化的特徴に着目して ―
法学部 法学科　准教授　屈　　莉 …… 215

●政治資金規制の必要性と問題点についての言説史的研究
法学部 法学科　准教授　吉田 龍太郎 …… 223

●精神障害者の加害行為に関する家族及び精神科医の不法行為責任
法学部 法学科　講師　松本　幸治 …… 227

富山短期大学

●エゴマ葉に含まれるロス マリン酸の脂質代謝改善作用について
食物栄養学科　教授　竹内　弘幸 …… 237

●円安下の金銭的限界を克服する五者連携と非金銭的価値の循環
― 価値共創型移住システム論の提唱 ―
健康福祉学科　教授　小平　達夫 …… 244

●大学間連携による数理・データ科学・AI教育の推進
経営情報学科　教授　春名　　亮(研究期間中は准教授) …… 255

富山高等専門学校

●簡易カスケード濃縮法の構築および環境汚染物質PFASの迅速検出法への応用
物質化学工学科　准教授　間中　　淳 …… 259

●国内におけるビーチボール愛好者の専門化要因と地域振興への影響に関する研究
一般教養科　講師　中村 祐太郎 …… 261

●近世中期朝鮮通信使乗馬役と加賀藩前田家
― 享保４年(1719)の越中国砺波郡の朝鮮人御用から通信使行列の見物まで ―
一般教養科　准教授　横山　恭子 …… 271

●IoTを用いた植物のCO^2吸収量測定とカーボン固定量推定方法の検討
電子情報工学科　准教授　的場　隆一 …… 274

●ボルダリングにおける四肢外力推定フレームワークの構築と機械学習による課題グレード推定に向けた定量評価
電子情報工学科　准教授　伊藤　　尚 …… 282

●『妖精の女王』第二巻における時間の概念について
工学部 教養教育センター　講師　陳　　璐 …… 285

●連合学習に基づく自閉症スペクトラム障害診断モデルの開発
電気制御システム工学科　准教授　北村　拓也 …… 290

研究題目	Predicting Rice Cultivation Vulnerability in Toyama Prefecture, Japan
機関名	University of Toyama（富山 大学）
研究代表者	Shishir Sharmin（シシル シャーミン), Assistant Professor, Dr. (Ph.D.) 学術研究部社会科学系研究推進機構サステイナビリティ国際研究センター
分野	人文・社会・芸術系
キーワード	Remote sensing, Agriculture, Climate change, Prediction modelling

*** This research has already been published in *Environmental Systems Research* by Springer Nature on Apr 5, 2026.

The publication details are given below:

Shishir, S., Mollah, N. Assessing and predicting the challenges and uncertainties of rice cultivation in Toyama prefecture, Japan. *Environ Syst Res* 15, 30 (2026). https://doi.org/10.1186/s40068-026-00474-2

１．研究の背景と目的（Background and Objectives of the Study）

Rice is a key component of global food security and a major livelihood source for millions worldwide (Shishir and Mollah, 2026; Fukagawa and Ziska, 2019). Disruptions to rice production can therefore have far-reaching socioeconomic consequences (FAO, 2004; Zeigler and Barclay, 2008; Shishir and Mollah, 2026).

Japan's food systems and rural landscapes are closely linked to rice cultivation and traditional Satoyama ecosystems (Takeuchi et al., 2003). However, aging populations, rural depopulation, and farmland abandonment are reducing agricultural capacity and landscape integrity (Matanle and Sato, 2010; Yokoyama and Tanaka, 2019; Matsuda and Yamaguchi, 2020; MAFF, 2021). In addition, declining rice consumption and economic pressures have increased uncertainty regarding the sustainability of rice farming (Kawasaki, 2010; MAFF, 2021; Shishir and Mollah, 2026).

Climate change has appeared as a major warning to agriculture, with rising temperatures, altered precipitation, and extreme weather events affecting rice productivity and grain quality (Sheffield and Wood, 2008; Ahmed et al., 2019a; Ishigooka et al., 2021; McBean et al., 2026; Shishir and Mollah, 2026). Under high-emission

scenarios, substantial areas of existing productive farmland may lose their suitability for crop cultivation, increasing uncertainty for future food production (Suresh et al., 2024). Consequently, climate projections by Global Climate Models (GCMs) and Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) are essential for developing effective adaptation and mitigation strategies (Ahmed et al., 2018; Engida et al., 2025; McBean et al., 2026; Shishir and Mollah, 2026).

Given increasing climatic and socioeconomic pressures, evaluating the resilience of Japan's rice sector has become essential. This study employs remote sensing to identify vulnerable paddy areas and support adaptive place-based strategies for sustainable rice production (Shishir and Mollah, 2026).

This study assesses changes in Japanese rice paddies between 2000 and 2025 and examines the climatic and socioeconomic drivers of agricultural decline. It further identifies vulnerable areas and proposes location-specific strategies to support sustainable rice production and food security (Shishir and Mollah, 2026).

２．研究方法 (Research Methods)

The study area of this research is Himi City (36° 51′ 24″ N and 136° 58′ 23″ E) in Toyama Prefecture, Japan (Shishir and Mollah, 2026).

Changes in agricultural land areas were estimated using a supervised classification technique based on Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) and Sentinel-2 satellite data, and field observations were used for validation (Shishir and Mollah, 2026).

The drivers of rice field decline were projected employing the Maximum Entropy model (MaxEnt) (Phillips et al. 2006). The seasonal climate variables were obtained from ClimateAP v3.10 of "Shared Socioeconomic Pathways" (SSPs) of access-esm-SSP5-8.5 (Wang et al. 2017a, b; Shishir and Mollah, 2026) to be employed in the Maximum Entropy model.

３．研究成果 (Research Findings)

Temporal analysis revealed a reduction in rice paddy extent. Between 2000-2025, rice fields shrank from 2,450 ha to 1,860 ha and water bodies slightly reduced (-3.5 ha), mainly due to depopulation-driven abandonment and conversion of farmland into orchards and secondary vegetation (Figure 1) (Shishir and Mollah, 2026).

Himi City experienced a decline in built-up land by 999 ha (from 2,993 ha), while deciduous forest, orchards, and shrublands expanded by 3,839 ha (Figure 1), reflecting

land-use restructuring (Shishir and Mollah, 2026).

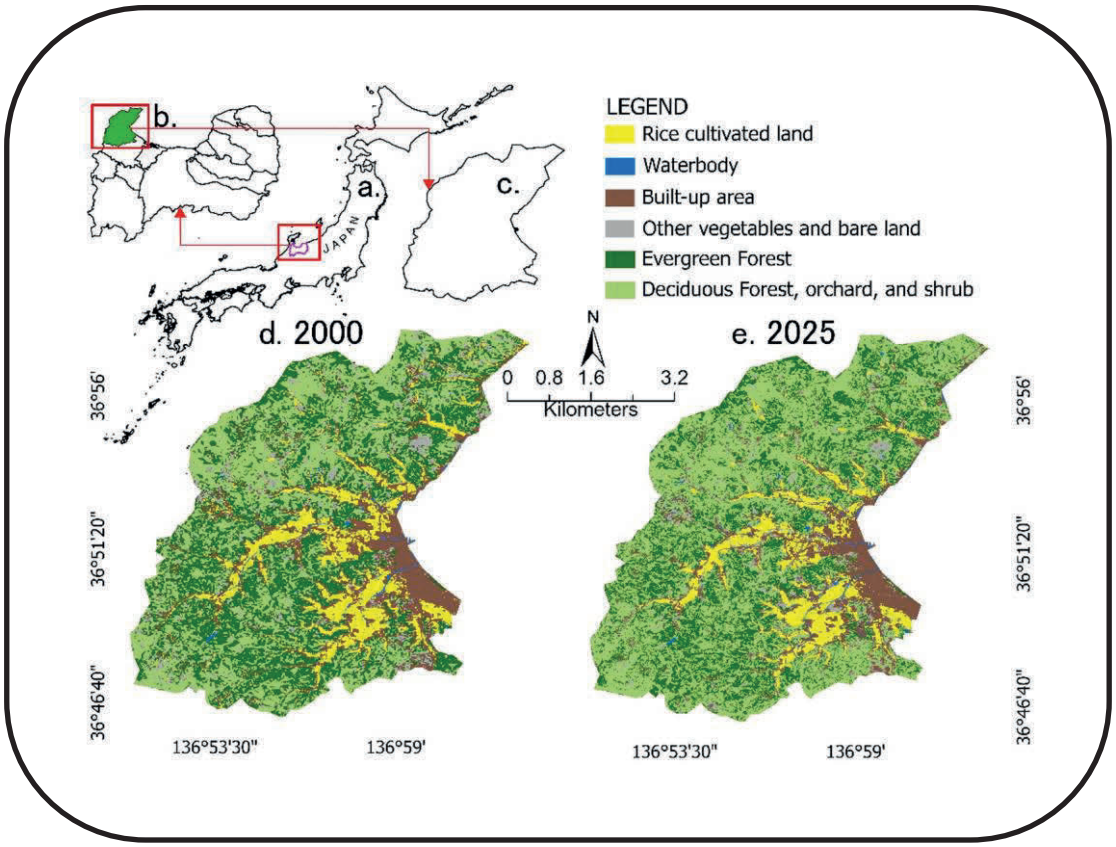


Figure 1: The variation of Land use area of Himi City from 2000 to 2025 (Shishir and Mollah, 2026).

MaxEnt modelling was applied across 15 selected local sites (i.e., Shinbo, Tae, Ron-den, Hayakashi, Ogume, Okubo, Hinata, Hizume, Tokonabe, Mio, Kume, Kuzuba, Iwase, Furezaka, and Miuchi) to estimate future rice field distribution patterns. The prediction focused on likely changes driven by ongoing and substantial rice field abandonment (Figure 2).

Figure 2: The findings of the MaxEnt prediction show a gradient from low decline probability (dark blue) to high susceptibility zones (yellow) (Shishir and Mollah, 2026).

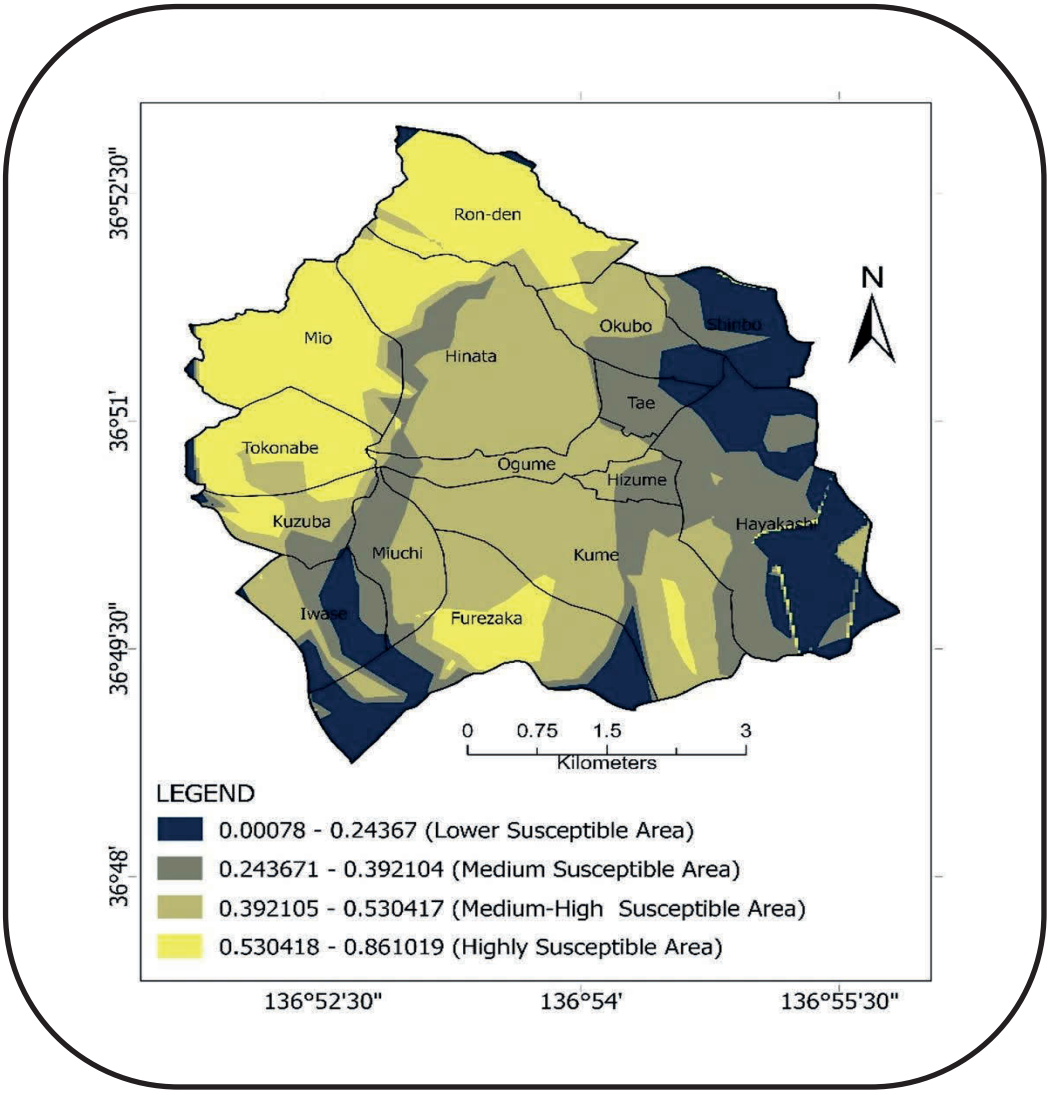


Figure 2 presents MaxEnt-based rice field abandonment risk in Himi City, divided into four classes from low (≤0.243) to high (0.531-0.86) susceptibility. Results indicate that higher-risk zones (yellow) are mainly clustered in the North-western part of the study area, while lower-risk areas (dark blue) are more stable (Shishir and Mollah, 2026).

Summer precipitation was the dominant driver (>27%) of rice field abandonment, followed by agricultural workforce availability (>25%). Combined summer mean and maximum temperatures contributed over 27.5%, while spring rainfall and the proportion of elderly population had comparatively minor effects (<10%) (Shishir and Mollah, 2026).

４．今後の展望 (Future Outlook)

Future projections from MaxEnt highlight strong spatial differences in land-use sensitivity, emphasizing the need for location-specific adaptation strategies (Elith

et al. 2010; Phillips et al. 2006; Shishir and Mollah, 2026). Areas influenced by summer climate conditions and agricultural labor availability indicate where rice farming may remain viable, while high-risk zones require targeted support for climate-resilient practices to reduce abandonment and strengthen long-term sustainability (Shishir and Mollah, 2026).

Climate projections in the SSP5-8.5 scenario of high-emission involve notable uncertainty, particularly for precipitation and hydrological responses, where model spread is greater than in lower-emission pathways (Shishir and Mollah, 2026). Downscaling to local scales further amplifies uncertainty relevant to adaptation planning (Ali et al. 2025; Shishir and Mollah, 2026). In addition, scenario outcomes depend on uncertain socio-political and economic assumptions driving emissions and land-use change (Climate Explorer 2026; Nasir et al. 2023; Shishir and Mollah, 2026).

５．参考文献 (References)

Ahmed K, Sachindra DA, Shahid S, Demirel MC, Chung E (2018) Selection of multi-model ensemble of GCMs for the simulation of precipitation based on Spatial assessment metrics. Hydrol Earth Syst Sci Discuss 23:4803-4824

Ahmed K, Shahid S, Chung E-S, Wang X-J, Harun SB (2019a) Climate Change Uncertainties in Seasonal Drought Severity-Area-Frequency Curves: Case of Arid Region of Pakistan. J Hydrol 570:473-485. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.01.019

Ali MH, Biswas P, Hassan SMQ, Islam MA (2025) Climate change and its impacts on hydrological regimes over the Bengal delta. Results Eng 25:103861. https://doi.org/10.1016/j.rineng. 2024.103861. ISSN 2590 - 1230

Climate Explorer (2026) Science and information for a climate-smart nation. Future Climate Projections. https://www.climate.gov/maps-data/dataset/future-climate-projections-graphs-maps. Accessed: 27th February 2026

Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M, Chee YE, Yates CJ (2010) A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. Divers Distrib 17(1):43-57. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x

Engida TG, Muluneh A, Zewdie M (2025) Multi-model ensemble of CMIP6 projections for past and future climate change on mean precipitation and temperature. Environ Syst Res 14(28). https://doi.org/10.1186/s40068-025-00422-6

FAO (2004) The State of Food Insecurity in the World 2004. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/y5650e/y5650e05.htm. Accessed: 7th October 2025

Fukagawa NK, Ziska LH (2019) Rice: Importance for Global Nutrition. J Nutri Sci Vitaminol 65(Supplement):2-S3. https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S2

Ishigooka Y, Hasegawa T, Kuwagata T, Nishimori M, Wakatsuki H (2021) Revision of estimates of climate change impacts on rice yield and quality in Japan by considering the combined effects of temperature and CO2 concentration. J Agricultural Meteorol 77(2):139-149. https://doi.org/10.2480/agrmet.D-20-00038

Kawasaki K (2010) The costs and benefits of land fragmentation of rice farms in Japan. Australian J Agricultural Resource Econ 54(4):509-526. https://doi.org/10.1111/j.1467-8489.2010.00509.x

McBean G, Rautio A, Shahidi F, Smart J, Phelan O, Khan H (2026) Emerging environmental challenges and global collaborations under climate change. Environ Syst Res 15(13). https://doi.org/10.1186/s40068-025-00455-x

Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2021) Annual Report on Food, Agriculture and Rural Areas in Japan. www.maff.go.jp/e//data/publish/attach/pdf/index-195.pdf. Accessed: 6th October 2025

Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) (2021) 2020 Agriculture and Forestry Census. https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/shuraku_data/2020/sa/sa_2020.html. Accessed: 6th March 2026

Matanle P, Sato Y (2010) Coming soon to a city near you! Learning to live 'beyond growth' in Japan's shrinking regions. Social Science Japan J 13(2):187-210 ISSN 1369-1465

Matsuda Y, Yamaguchi K (2020) Does the downward trend in agricultural land use continue in depopulated areas? Evidence from the Tohoku Region, Japan. Int J Environ Rural Dev 11(1):187-193. https://www.jstage.jst.go.jp/article/ijerd/11/1/11_187/_article/-char/ja

Nasir NN, Rahman NN, Islam AKMS (2023) Uncertainties in Climate Modeling. 10.13140/RG.2.2.20172.42882. Accessed: 24th February 2026

Phillips SJ, Anderson RP, Schapire RE (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecol Model 190(3-4):231-259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Sheffield J, Wood EF (2008) Projected changes in drought occurrence under future global warming from multi-model, multi-scenario, IPCC AR4 simulations, Clim. Dynam., 31, 79-105. https://doi.org/10.1007/s00382-007-0340-z, 2008

Shishir, S., Mollah, N. Assessing and predicting the challenges and uncertainties of

rice cultivation in Toyama prefecture, Japan. Environ Syst Res 15, 30 (2026). https://doi.org/10.1186/s40068-026-00474-

Suresh R, Shanmugam A, Viswabharathy S, Antony JB, Samuthirapandi S, Manonmani S (2024) Climate Change Impact on Rice Production and Breeding for Climate Resilient Rice. In: Singh A, Singh SK, Shrestha J (eds) Climate-Smart Rice Breeding. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7098-4_1

Takeuchi K, Brown RD, Washitani I et al (2003) Satoyama: The Traditional Rural Landscape of Japan. 1st edition. Tokyo, Springer. https://doi.org/10.1007/978-4-431-67861-8

Wang RL, Li Q, Feng CH, Shi ZP (2017a) Predicting potential ecological distribution of Locusta migratoria tibetensis in China using MaxEnt ecological niche modeling. Acta Ecol Sin 37(24):8556-8566

Wang T, Wang G, Innes JL, Seely B, Chen B (2017b) ClimateAP: an application for dynamic local downscaling of historical and future climate data in Asia Pacific. Front Agr Sci Eng. https://doi.org/10.15302/j-fase-2017172

Yokoyama S, Tanaka K (2019) Spatial pattern of farmland abandonment in Japan: Identification and determinants. Sustainability 10(10):3676. https://doi.org/10.3390/su10103676

Zeigler RS, Barclay A (2008) The Relevance of Rice. Rice 1:3-10. https://doi.org/10.1007/s12284-008-9001-z

研究題目	プラスチック有効資源化を指向した触媒システムの開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部工学系・特命准教授　　保田　修平
分野	触媒化学・化学工学
キーワード	資源循環、CO_2 水素化、プラスチック、鉄系触媒

１．研究の背景と目的

世界的なプラスチック使用量の増加に伴い、廃プラスチックの適切な処理および有効利用が重要な課題となっている。現在の廃プラスチック処理では焼却や埋立処分が依然として大きな割合を示しており、資源の損失に加えて温室効果ガスの排出につながっている。一方で、廃プラスチックは炭素資源の一種であり、適切な触媒技術を用いることで再び有用な化学原料へ転換できる可能性を有している。

廃プラスチックのケミカルリサイクルでは熱分解法が広く検討されているが、多くの場合 500 °C 前後の高温が必要であり、大きなエネルギー消費が課題となる。そこで、本研究では、固体触媒を利用したプラスチック解重合反応の低温化を第一の目的とした。さらに、プラスチックの解重合過程で生成する CO や CO_2 を単に排出するのではなく、高付加価値化学品へ転換するための触媒技術の開発を第二の目的とした。

近年、カーボンニュートラル社会の実現に向けて、廃棄物を単に処理するのではなく、炭素資源として再利用するカーボンリサイクル技術が注目されている。特に本研究では、廃プラスチックの低温解重合と、CO_2の有価化学品への転換を統合的に検討することで、一連の炭素循環プロセスとして捉え、「廃棄物から化学原料を再生する触媒システム」の構築を目指した。

２．研究方法

2.1 プラスチック低温解重合

モデルプラスチックとして低密度ポリエチレン（LDPE）を用いた。

解重合反応において、鉄系材料、ゼオライト材料を添加し、熱分析装置を用いて反応挙動を評価した。

2.2　CO_2 水素化触媒の開発

プラスチック熱分解により得られる炭素資源を有効利用するため、CO_2水素化触媒の開発を行った。本研究では、Fe_2O_3、Ni–Fe_2O_3、Co–Fe_2O_3、Cu–Fe_2O_3、Zn–Fe_2O_3 を中心に触媒を調製した。

反応は固定床流通式反応装置で反応条件：330 °C、5 MPa、混合ガス（H_2/CO_2=3/1 を標準条件として実施した。生成物はガスクロマトグラフにより分析した。さらに、得られた触媒性能を

既報触媒と比較することで、本研究で設計した触媒の優位性について検討した。特に、高付加価値化学品であるエタノールの空時収量（STY）を指標として、触媒設計と反応条件の最適化を行った。

３．研究成果

3.1　プラスチック解重合の低温化

LDPE 単独では比較的高温域で熱分解が進行するのに対し、鉄系材料およびゼオライト材料を添加した系では、300 – 400 °C 付近で顕著な転化挙動が確認された。特に固体材料を添加した場合には発熱を伴う反応挙動も観測され、触媒表面上での炭素-炭素結合切断が促進されていることが示唆された。

これらの結果は、固体触媒がプラスチック鎖の分解を効率的に進行させ、従来法と比較して低温条件で解重合反応を進行させる可能性を示している。また、分解生成物として CO や CO_2 などの炭素含有ガスが生成することから、後段の触媒反応と組み合わせることでさらなる資源循環プロセスへ発展できる可能性が示された。

このことは、従来の高温熱分解プロセスと比較して、エネルギー消費量の低減につながる可能性を示している。また、廃プラスチックを単なる廃棄物ではなく炭素資源として活用し、後段の触媒反応へ接続できる点で、循環型プロセスとして重要な意義を有している。

3.2　CO_2 水素化触媒の高性能化

CO_2 からエタノールを直接合成する反応では、高い活性と高い選択性を同時に満たす触媒の開発が課題となっている。一般的な鉄系触媒は高い CO_2 転化率を示す一方、メタンや炭化水素が副生成しやすくエタノールへの選択性向上が困難である。

そこで本研究では、鉄系触媒の活性点を精密に制御するため、各金属種をスピネル構造に導入した触媒について比較を行った。その結果、導入する金属種によって生成物分布が大きく変化し、特に Ni–Fe_2O_3 触媒においてエタノール生成が著しく促進された（Table 1）。CO_2 転化率 49.3%、エタノールの空間収率（STY）は 883.7 mg $g_{\text{-cat}}^{-1}$ h^{-1} に達し、Fe_2O_3 単独触媒のおよそ 8 倍の性能向上が確認された（STY = 111.1 mg $g_{\text{-cat}}^{-1}$ h^{-1}）。

その結果、Co、Cu、Zn を導入した触媒でも一定の性能向上が認められたものの、Ni を導入した場合に最も大きな効果が得られた。これは Ni 種が CO_2 活性化、水素活性化および C-C 結合形成反応に対してバランスよく寄与したためと考えられる。

特に Ni 種のスピネル導入は、CO_2 活性化のみならず、水素活性化および炭素-炭素結合形成反応の制御に寄与していると考えられる。この結果は、スピネル構造そのものが触媒反応場として重要な役割を担っていることを示している。

反応温度は CO_2 活性化及び生成物選択性に大きく影響を与える。そこで Ni–Fe_2O_3 触媒についての反応温度の影響について検討した（Table 2）。反応温度の上昇に伴い CO_2 転化率およびエタノール STY は増加する傾向を示した。360 °C ではエタノール STY が 915.5 mg $g_{\text{-cat}}^{-1}$ h^{-1}

に達し、本研究条件における最高値を示した。これらの結果は、適切な温度条件の設定がエタノール生成反応に大きく影響することを示している。特に 300 から 360 °C への昇温に伴い、CO_2 転化率だけでなくエタノール生成速度も向上したことから、本触媒系では高い温度領域において炭素-炭素結合形成反応がより効果的に進行していると考えられる。

Table 1. Catalytic performance of the as-obtained catalysts.

Catalyst	CO_2 conv. (%)	S_{CO} (%)	Products selectivity (%)						STY of EtOH ($mg \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$)
			CH_4	C_{2-4}	C_{5+}	Oxy.			
						MeOH	EtOH	[a]Others	
Fe_2O_3	34.4	6.7	9.8	29.7	46.8	1.7	6.5	5.5	111.1
$Co–Fe_2O_3$	43.6	4.6	14.9	36.7	30.2	1.6	15.1	1.5	352.5
$Cu–Fe_2O_3$	38.6	8.1	9.9	26.3	42.0	0.1	21.3	0.4	423.0
$Zn–Fe_2O_3$	38.0	6.7	10.7	27.3	49.5	1.8	6.0	4.7	118.9
$Ni–Fe_2O_3$	49.3	3.0	26.2	24.8	5.8	3.3	33.0	6.9	883.7

Reaction conditions: 330 °C, 5.0 MPa, WHSV = 24000 $mL \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$, $H_2/CO_2/Ar$ = 72/24/4.

[a] Others: Other oxygenrates except for methanol and ethanol referred to a small quantity of propanol, butanol, and acetic acid detected by GC-FID.

Table 2. Catalytic performance of $Ni–Fe_2O_3$ catalysts with different reaction tempereture.

Reaction temperature (°C)	CO_2 conv. (%)	S_{CO} (%)	Product selectivity (%)						STY of EtOH ($mg \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$)
			CH_4	C_{2-4}	C_{5+}	Oxy.			
						MeOH	EtOH	Others	
300	46.7	3.3	27.9	26.7	6.8	3.6	31.3	3.7	791.7
330	49.3	3.0	26.2	24.8	5.8	3.3	33.0	6.9	883.7
360	50.3	2.7	23.6	26	8.4	2.9	33.3	5.8	915.5

Reaction conditions: 5.0 MPa, WHSV = 24000 $mL \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$, $H_2/CO_2/Ar$ = 72/24/4.

[a] Others: Other oxygenrates except for methanol and ethanol referred to a small quantity of propanol, butanol, and acetic acid detected by GC-FID.

3.3　アルカリ金属添加効果

さらに、アルカリ金属種触媒の添加効果を明らかにするため、Ni–Fe_2O_3 触媒へのカリウム添加量を変化させて評価を行った（Table 3）。カリウムを添加しない場合のエタノール STY は 143.3 mg $g_{\text{-cat}}^{-1}$ h^{-1} に留まったが、添加量の増加に伴い性能は大きく向上した。特に 2 wt% K 添加触媒では 883.7 mg $g_{\text{-cat}}^{-1}$ h^{-1} という最大値を示した。

一方で、4 wt%まで添加量を増加させると活性は低下した。したがって、アルカリ金属は CO_2 活性化や C–C 結合形成を促進させる一方で、過剰添加は活性点を被覆し反応を阻害する可能性が示唆された。これらの結果から、適切なアルカリ金属量の制御が高性能化の鍵であることが明らかとなった。

さらに、本研究で得られた Ni-Fe_2O_3 触媒の性能を既報触媒と比較した結果を Table 4 に示す。本触媒は既報触媒と比較して極めて高いエタノール生成速度を示し、CO_2 からのエタノール直接合成において世界最高レベルの性能を達成した。

Table 3 Catalytic performance of Ni–Fe_2O_3 catalysts with different K contents.

K content (wt%)	CO_2 conv. (%)	S_{CO} (%)	Products selectivity (%)						STY of EtOH ($mg \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$)
			CH_4	C_{2-4}	C_{5+}	Oxy.			
						MeOH	EtOH	Others	
0	48.6	1.9	52.3	31.6	3.2	0.4	5.4	7.1	143.3
1	48.8	1.9	37.3	37.9	2.8	0.8	15.5	5.7	416.5
2	49.3	3.0	26.2	24.8	5.8	3.3	33.0	6.9	883.7
4	49.1	2.3	38.9	39.0	2.6	0.9	12.8	5.8	342.8

Table 4. Comparison of the catalytic performance of $NiFe_2O_4/Fe_2O_3$ with other reported catalysts in CO_2 hydrogenation to EtOH.

Catalyst	P (MPa)	T (℃)	WHSV ($mL \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$)	CO_2 conv. (%)	S_{CO} (%)	STY of EtOH ($mg \cdot g_{cat.}^{-1} \cdot h^{-1}$)	Ref.
$NiFe_2O_4/Fe_2O_3$	5	330	24000	49.3	3.0	883.7	This work
$RhFeLi/TiO_2$	3	250	6000	22.0	5.4	0.3	1
2%Na-Fe@C/5%K-CuZnAl	5	320	4500	39.2	9.4	147.0	2
Na-ZnFe@C	5	320	9000	38.4	7.6	156.4	3
Na-Fe@C	5	320	9000	22.5	22.2	52.3	
Cu@Na-Beta	1.3	300	12000	7.9	30.5	258	4
Cs/Cu-Fe-Zn	5	330	4500	36.6	20.51	51.52	5
K-CuZnAl/Zr(0.03)-CuFe	4	300	6000	30	30	195.1	6
$2Rh0.5Fe/CeO_2$	3	250	6000	9.8	32.1	2.7	7
4.6K/CuMnZnFe	5	320	6000	30.4	30.6	78.2	8
$KFeCuZn/ZrO_2$	0.1	400	12000	39.1	17.8	161	9
$Co/La_4Ga_2O_9$	3.5	270	3000	4.6	15.4	1.73	10
$K\text{-}Co/SiO_2$	5	250	6000	12.7	47.5	10.58	11

４．今後の展望

本研究では、固体触媒を用いたプラスチック解重合の低温化と、CO_2 からエタノールを高効率に合成する触媒技術の開発に成功した。特に $Ni–Fe_2O_3$ 触媒は、従来の鉄系触媒を大きく上回るエタノール生成性能を示し（Table 4）、炭素循環型触媒プロセスの有望性を実証した。

今後は、プラスチック解重合によって得られる CO および CO_2 を直接原料として利用する反応プロセスへ展開するとともに、エタノール以外の高級アルコールやオレフィン類への選択合成へ発展させる予定である。また、反応機構を通じた触媒設計指針の確立や、実用化を見据えた

スケールアップ研究も進めていきたい。

さらに、本研究成果で得られた成果を基盤として、廃プラスチックから有用化学品を製造するカーボンリサイクル技術の構築を目指し、地域企業との連携や社会実装への展開を進める予定である。

５．参考文献

1. Yang, C. *et al.* Hydroxyl-mediated ethanol selectivity of CO_2 hydrogenation. *Chem. Sci.* **10**, 3161-3167 (2019).
2. Wang, Y. *et al.* Direct Conversion of CO_2 to Ethanol Boosted by Intimacy-Sensitive Multifunctional Catalysts. *ACS Catal.* **11**, 11742-11753 (2021).
3. Wang, Y. *et al.* Carbon-Based Electron Buffer Layer on ZnO_x–Fe_5C_2–Fe_3O_4 Boosts Ethanol Synthesis from CO_2 Hydrogenation. *Angew. Chem. Int. Ed.* **62**, e202311786 (2023).
4. Ding, L. *et al.* CO_2 Hydrogenation to Ethanol over Cu@Na-Beta. *Chem* **6**, 2673-2689 (2020).
5. Xu, D., Ding, M., Hong, X., Liu, G. & Tsang, S. C. E. Selective C_{2+} Alcohol Synthesis from Direct CO_2 Hydrogenation over a Cs-Promoted Cu-Fe-Zn Catalyst. *ACS Catal.* **10**, 5250-5260 (2020).
6. Zhang, Q. *et al.* Conversion of CO_2 to higher alcohols on K-CuZnAl/Zr-CuFe composite. *Appl. Catal. B* **346**, 123748 (2024).
7. Ji, S., Hong, F., Mao, D., Guo, Q. & Yu, J. Enhanced ethanol synthesis from CO_2 hydrogenation over Fe and Na co-modified Rh/CeO_2 catalysts. *Chem. Eng. J.* **495**, 153633 (2024).
8. Xu, D., Ding, M., Hong, X. & Liu, G. Mechanistic Aspects of the Role of K Promotion on Cu–Fe-Based Catalysts for Higher Alcohol Synthesis from CO_2 Hydrogenation. *ACS Catal.* **10**, 14516-14526 (2020).
9. Du, P. *et al.* Ethanol synthesis via catalytic CO_2 hydrogenation over multi-elemental KFeCuZn/ZrO_2 catalyst. *Chem. Sci.* **15**, 15925-15934 (2024).
10. An, K. *et al.* A highly selective catalyst of Co/$La_4Ga_2O_9$ for CO_2 hydrogenation to ethanol. *J. Energy Chem.* **56**, 486-495 (2021).
11. Zhang, S. *et al.* Tuning the interaction between Na and Co_2C to promote selective CO_2 hydrogenation to ethanol. *Appl. Catal. B* **293**, 120207 (2021).

研究題目	円軌道合成開口レーダ画像の差分干渉解析に基づく 地盤変動モニタリング技術の研究
機関名	国立大学法人富山大学
研究代表者	学術研究部工学系・講師・渡邉 卓磨
分野	計測工学
キーワード	円軌道合成開口レーダ，インターフェロメトリ，防災

１．研究の背景と目的

本研究では，衛星や航空機などのプラットフォームに搭載したレーダで地表面の高分解能な画像を生成する合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）を用い，建造物や橋梁，道路などのインフラの異常や，地すべりなどの土砂災害の予兆を検知する技術の基礎研究を目的とする．近年，インフラの老朽化に伴う問題が顕在化しており，例えば下水管の劣化による道路の陥没が様々な地域で発生している．また，山岳地帯が多く存在するわが国では，地すべりなどの土砂災害による被害も多く発生している．このような現状において，観測対象の変位量を精密にとらえることは，インフラ管理や防災の観点から極めて重要である．

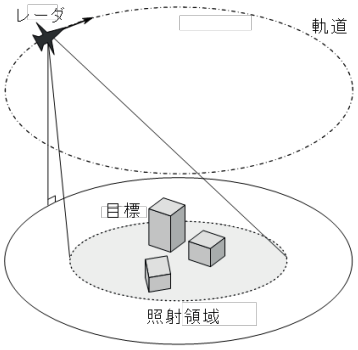


図 1：円軌道 SAR

このような変位量の抽出を行う手法として，差分干渉解析（インターフェロメトリ）と呼ばれる手法がある．これはある地域を複数の異なる時期で SAR 観測を行い，時期が異なる複数の SAR 画像間の位相差を算出することで，観測対象物に関するミリメートルオーダの変位量を推定する技術である．従来の SAR ではプラットフォームを直線状に飛行させるため一方向のみからの観測しか行えず，差分干渉解析ではレーダの視線方向と直交する方向の変位を見逃す可能性があった．複数の方向からの観測を組み合わせた差分干渉も行われているが，精度の問題や，この場合でもある方向の変位量を見逃す可能性は排除できない．

そこで，本研究課題では目標地点を中心とした円形状にレーダを移動させ，様々な方向から電波照射を行う円軌道 SAR（図 1）を活用し，さらに，二つの異なる時期の SAR 画像の位相差から変位量を算出する差分干渉解析により，前述の問題点の解決を目指す．最終的には目標の二次元的な変位のみならず，三次元的な変位をとらえることが，本研究の目的である．

２．研究方法

本研究では主に１）計算機シミュレーションと２）電波暗室内におけるモデル実験に基づいて様々な検証を行う．１）の計算機シミュレーションでは，単純化された観測モデルと信号モデルに基づいて円軌道 SAR の画像を模擬し，この画像に差分干渉解析を適用することで，本研究の提案手法の有効性や様々な特性の検証を実施する．

２）の電波暗室実験では，１）のシミュレーションに基づいた実験モデルを電波暗室内に構築

し，実際に目標物に電波を照射し，散乱波を収集することで提案アルゴリズムの有効性を確認する．本研究は基礎的な検討であるため，実験では金属球を目標物として採用し，この金属球を微小に変位させ，その変位を差分干渉解析で抽出可能なことを明らかにする．

３．研究成果

３．１．信号処理アルゴリズムの開発

本研究で用いる信号処理アルゴリズム，すなわち円軌道 SAR 画像の再構成手法と差分干渉解析による画像解析手法について検討を行った．円軌道 SAR では目標を中心とする円軌道状にアンテナを走査することで画像再構成を行う．本研究ではある特定の方位から見た時の差分干渉解析結果を複数組み合わせることで目標物の二次元的もしくは三次元的な変位をとらえることを目標としているため，画像再構成は円軌道を複数のサブアパーチャ（小区間）に分割し，各サブアパーチャで個別に画像再構成を行う方法を採用した．これにより，サブアパーチャに対応する各方位角から見た時の SAR 画像（サブアパーチャ画像）を再構成することを可能とした．このサブアパーチャ画像は目標の移動前後に対して作成する．次に，この移動前後のサブアパーチャ画像のペアの位相差を計算し，この位相差から目標の変位量を算出する．これを各方位角に対応するサブアパーチャ画像のペアで実行することで，各方位角から目標を見た時，視線方向にどれだけ目標が移動したのかを算出することができる．

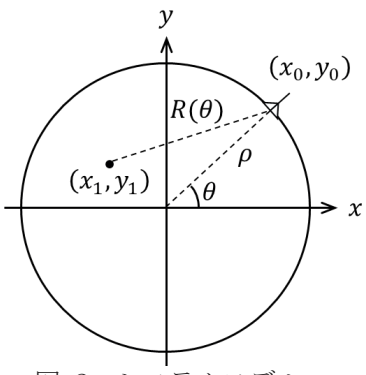


図 2：システムモデル

３．１．１．画像再構成

図 2 に円軌道 SAR のシステムモデルを示す．二次元(x, y)平面を考え，この平面内にレーダの送受信アンテナとすべての目標物が含まれていると仮定する．アンテナは原点$(0,0)$を中心とした半径ρの円軌道上を原点にアンテナパターンを指向させながら移動して送受信を行い，目標物からの反射信号を全方位角θにおいて収集する．このとき，方位角θにおけるアンテナの座標(x_0, y_0)は次式のように表せる．

$$x_0 = \rho \cos\theta$$
$$y_0 = \rho \sin\theta$$

また，方位角θにおけるアンテナから位置(x_1, y_1)にある目標物までの直線距離は次式のように表せる．

$$R(\theta) = \sqrt{(x_1 - \rho\cos\theta)^2 + (y_1 - \rho\sin\theta)^2}$$

以上の観測モデルに基づき，アンテナで受信される信号$S(\omega, \theta)$は次のようになる．

$$S(\omega, \theta) = A \exp\left(-j\frac{\omega}{c}2R(\theta)\right)$$

ここで，ωは送信信号の角周波数を表し，cは波動の伝搬速度，Aは目標の反射係数をそれぞ

れ表す.

画像再構成はこの受信信号$S(\omega,\theta)$から観測領域内の反射係数分布を推定するのが目的である. 最も基本的な Delay-and-Sum (DAS) 法に基づけば, これは次式のように表される. 図 2

$$\Psi(x_i,y_j)=\sum_{k=1}^{N_\omega}\sum_{l=1}^{N_\theta}S(\omega_k,\theta_l)\exp\left(j\frac{\omega_k}{c}2\sqrt{(x_1-\rho\cos\theta_l)^2+(y_1-\rho\sin\theta_l)^2}\right)$$

ここで, (x_i,y_j)は離散的な画素の位置を表し, (ω_k,θ_l)は角周波数ωと方位角θの離散的なサンプルを表す. また, N_ω,N_θはそれぞれ角周波数と方位角の合計サンプル数である.

３．１．２．サブアパーチャ解析

３．１．１節で示した画像再構成アルゴリズムは, 360° 全方位から収集した反射波をすべて合成して画像を生成する. この方法は画像の分解能としては最も高くなる利点があるが, 全方位からの情報が画像に混在するため, 後述のインターフェロメトリ解析により特定の方向の変位を抽出することが出来なくなるという欠点がある. そこで, よく用いられる解析手法にサブアパーチャ解析があり, これは全方位のデータを合成するのではなく, ある特定の範囲, 例えば方位角θ_0を中心とした$\pm\theta_w$の範囲のみのデータを用いて画像再構成を行う. すなわち, 画像再構成式は次式のように表される.

$$\Psi(x_i,y_j)=\sum_{k=1}^{N_\omega}\sum_{\theta_w\in\{\theta_0-\theta_w,\theta_0+\theta_w\}}S(\omega_k,\theta_l)\exp\left(j\frac{\omega_k}{c}2\sqrt{(x_1-\rho\cos\theta_l)^2+(y_1-\rho\sin\theta_l)^2}\right)$$

３．１．３．差分干渉解析

本節では差分干渉解析の基礎を述べる.

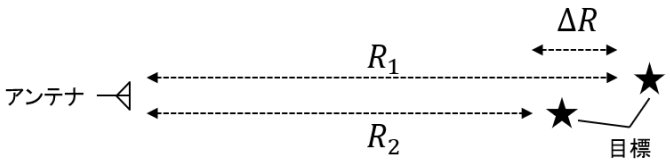


図 3：差分干渉解析

図 3 に示すように, まずアンテナから距離R_1にある目標をレーダで観測する状況を考える. 次に, 別の時刻で同一のアンテナ位置から同一の目標を観測し, この時目標の距離がR_2に変化したとする. ここで, 距離の差分を$\Delta R=R_1-R_2$とする. このとき, 2 回の観測それぞれにおける受信信号は次式のように表される.

$$S_1=\exp\left(-j\frac{\omega}{c}\cdot 2R_1\right)$$

$$S_1=\exp\left(-j\frac{\omega}{c}\cdot 2R_2\right)$$

差分干渉解析では，この二つの信号の位相差を計算することで変位量ΔRを測定する．次式のように，一回目の観測での受信信号S_1に，二回目の観測での受信信号S_2の複素共役をかけ合わせることを考える．

$$S_1 \cdot S_2^* = \exp\left(-j\frac{\omega}{c}\cdot 2R_1\right)\cdot \exp\left(j\frac{\omega}{c}\cdot 2R_2\right)$$

$$= \exp\left(-j\frac{\omega}{c}\cdot 2(R_1 - R_2)\right) = \exp\left(-j\frac{\omega}{c}\cdot 2\Delta\right)$$

すると，上式のように乗算後の信号には変位量ΔRが現れる．したがって，この信号の位相を求めることで，次式のように変位量を算出することができる．

$$\Delta R = -\frac{c}{\omega}\frac{1}{2}\arg[S_1 \cdot S_2^*]$$

３．１．２節で述べたように，すべての方位角を合成した円軌道 SAR 画像に対して差分干渉解析を適用しても，意味のある情報を抽出することはできない．そこで，サブアパーチャ解析を行い，ある方位角θ_0を中心とした狭い角度範囲の SAR 画像を生成し，その SAR 画像に対して差分干渉解析を適用すれば，その方位θ_0から見た時の目標の変位量が抽出できることが期待される．

３．２．計算機シミュレーション

以上で説明した信号処理アルゴリズムを実装し，点目標を仮定した計算機シミュレーションを行った．図 4 のように，二次元平面上に 2 つの点目標を配置し，このうち中心(0,0)にある目標は不動とし，(0.5,0.5) m にある目標は Y 軸方向に 3 mm だけ移動させる状況を仮定した．図 3 にシミュレーション結果を示し，(a)はサブアパーチャ中心が 315°の場合，(b)はサブアパーチャ中心が 150°の場合の画像再構成結果をそれぞれ示す．サブアパーチャの幅は 10°とした．図 5 に示すように，目標を配置した位置に明確な応答が確認できる．

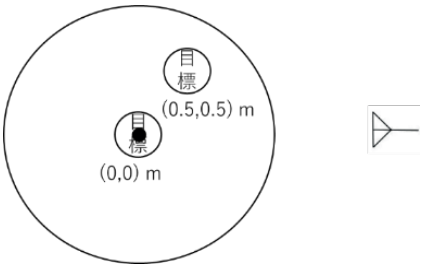
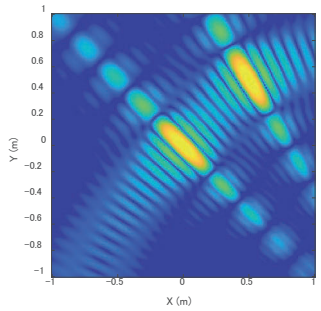
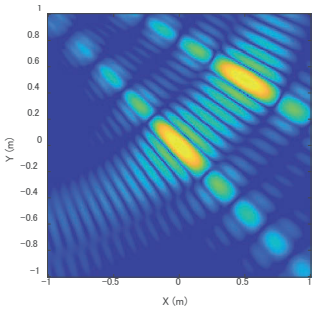


図 4：シミュレーション配置



(a) 角度中心：315°

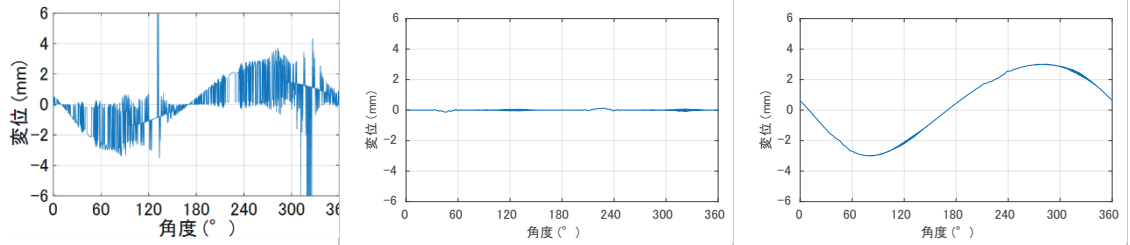


(b) 角度中心：150°

図 5：画像再構成結果（シミュレーション）

図 5 にシミュレーションにおける差分干渉解析結果を示す．横軸はレーダの方位角を，縦軸

は変位量を表す．(a)は合成開口処理を行わない場合の変位量の算出結果であり，この場合は不規則な振動が現れ，正確な変位量の算出が行えていないことがわかる．(b)は不動目標，(c)は移動目標の変位量を，サブアパーチャ画像の差分干渉解析（本研究の提案手法）から求めた結果を示す．これらの結果から，不動目標では方位角によらずほぼ変位量が零となっており，また移動目標では最大 3 mm の変位量が得られ，このことから提案手法により両目標の変位量を正しく推定できていることが明らかとなった．



(a) 合成開口処理無し　(b) 不動目標　(c) 移動目標

図 6：差分干渉解析結果（シミュレーション）

3．3．電波暗室内における実験検証

計算機シミュレーションと同様の状況を電波暗室内で再現し，信号処理アルゴリズムの実験検証を行った．図 7 に実験配置を示す．目標には図 8 に示すような金属球を 2 個用い，図 5 上側の目標は不動，下側の目標は X 軸方向に 2 mm 移動させて円軌道 SAR による観測を行った．

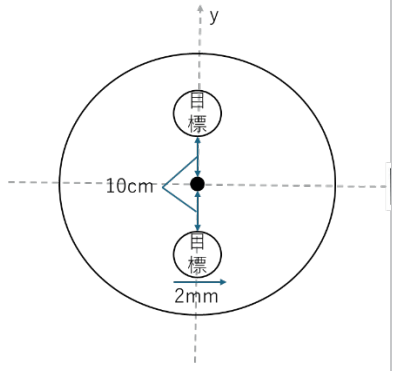


図 7：実験配置

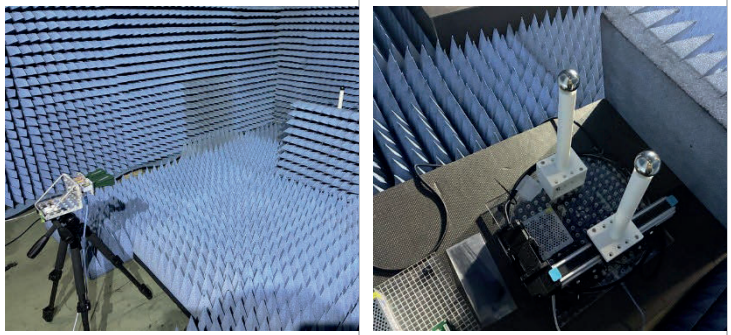
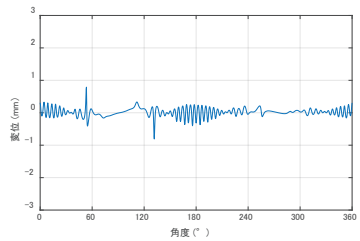
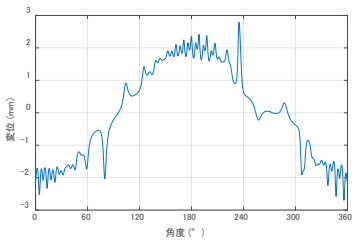


図 8：実験状況

図 9 にサブアパーチャ画像による差分干渉解析結果を示す．3．2節のシミュレーションと比較して波形に不規則な変動がみられるが，これは図 4 の配置と比較して図 7 では目標が近接しており，一方の目標の応答が他方の目標に漏れこんだ影響と考えられる．このような変動がみられるものの，図 9 (a)の不動目標では変位量 0 付近に波形が位置しており，(b)の移動目標では移動量として設定した 2 mm 程度をピークとした変動が確認できる．以上により，実験においても提案手法の有効性が確認された．





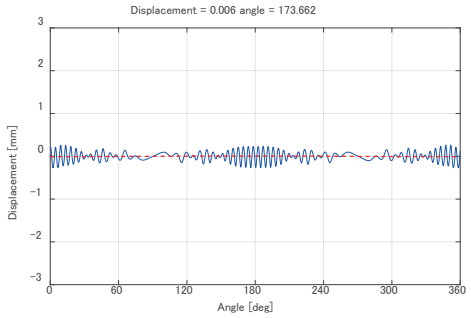
(a) 不動目標　(b) 移動目標

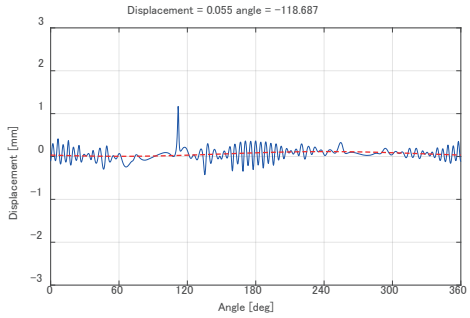
図 9：差分干渉解析結果（実験）

３．４．正弦波のフィッティング

３．３節で提案手法の有効性が確認された一方で，推定された変位量の波形には不規則な変動が現れる課題も明らかとなった．そこで，これを解消するため，推定された変位量の波形に最小二乗法に基づき正弦波をフィッティングし，尤もらしい変位量の波形を推定する．

図 10 に，固定目標の変位量推定結果に対し，正弦波をフィッティングした結果を示す．図の実線は元の変位量波形，破線がフィッティング結果を表す．図 10 に示すように，元の波形では細かい振動が現れていたが，フィッティング結果はほぼ直線（いずれの方位角でも変位量零）となり，不動目標として期待される変位量の推定結果となった．

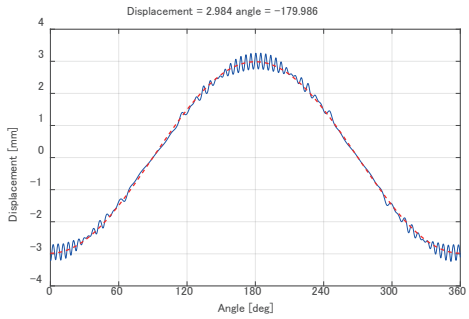




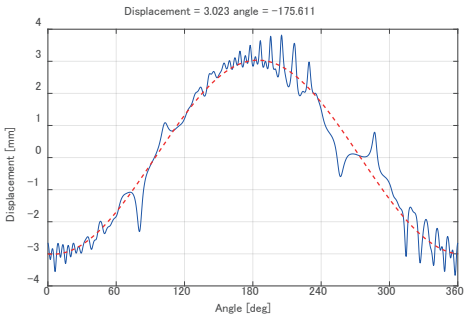
(a) シミュレーション　(b) 実験

図 10：固定目標の変位量

次に，移動目標の場合の結果を図 11 に示す．固定目標と同様に，シミュレーションと実験いずれも変位量の波形に振動が現れており，特に実験では振れ幅が大きい．これに対し，フィッティングを行うと実験のように元の波形の振れ幅が大きい場合であっても滑らかな曲線として変位量を表現できている．このシミュレーションおよび実験では目標を 3 mm 移動させているが，フィッティング結果から読み取れる変位量もこの値によく一致している（シミュレーションで 2.98 mm，実験で 3.02mm）．



(a) シミュレーション



(b) 実験

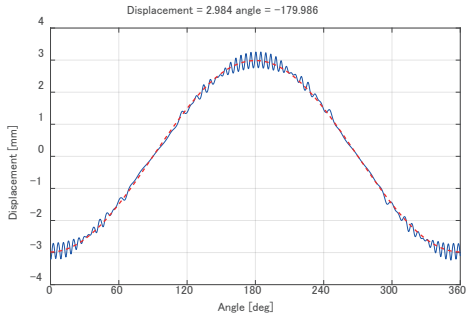
図 11：移動目標の変位量

以上の結果から，提案手法により変位量のロバストな推定が行えることが明らかとなった．

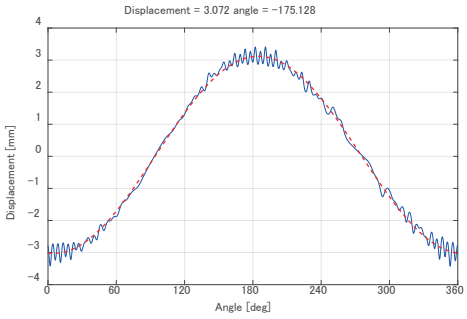
３．５．不要波の除去

最後に実験における不要波の除去手法について述べる．３．４節で述べたように，実験ではシミュレーションと比較してフィッティング前の変位量の推定値に比較的大きな変動が現れることが分かった．この結果を改善するため，実験における不要波の除去を試みた．実験は電波暗室で行ってはいるが，電波吸収体や回転台，治具などからのある程度の反射は避けられず，さらに本実験ではアンテナを固定し，目標を回転させる ISAR 方式で円軌道 SAR を模擬しているため，これらの壁などの静止物からの応答がコヒーレントに合成し，再構成される SAR 画像に悪影響を与えていることが予測される．そこで，受信信号を角度方向に平均化し，求めた平均値をすべての受信信号から差し引くことで，静止物からの応答を除去することを検討した．

この結果を図 12 に示す．図 12(a)はシミュレーション（図 11(a)の再掲），図 12(a)は不要波除去後の実験結果である．図 12 からわかるように，実験結果はシミュレーションとよく一致している．このことから，実験における不要波除去の有効性が明らかとなった．



(a) シミュレーション



(b) 実験結果

図 12：不要波の除去

４．今後の展望

本研究では，円軌道 SAR インターフェロメトリを用いた目標物の高精度な変位量計測アルゴリズムを開発した．今後の展望としては，１）提案手法を三次元空間へ拡張し，目標物の三次元的な変位量をとらえること，２）建造物や山岳地帯などを模擬したより複雑な実験モデルによるアルゴリズムの検証，３）ドローン搭載 SAR を用いた屋外での実験検証が挙げられる．

まず１）について，今回は問題を単純化するため，アンテナと目標物がすべて同一の平面内に存在する場合について検証を行った．しかしながら，これは航空機搭載 SAR やドローン搭載 SAR で地上の目標物を観測する場合には成り立たない仮定である．そこで，今後はアンテナの高さを目標物より高い位置に設置し，上から目標物を見下ろすような状況での検証を実施する必要があり，これに伴ってフィッティングに用いるモデル式の修正も必要となる．さらに，実際の目標物の動きは二次元的とは限らず，例えば地盤変動であれば隆起や沈降など，水平方向だけでなく垂直方向への変位が生じる可能性がある．本手法を三次元空間に拡張すれば，このような目標物の三次元的な変位をとらえられると期待され，今後も検討を進める予定である．

次に，２）は１）と同様に，より現実の状況に近づけた実験の検討である．今回はシミュレーションで用いた点目標との対比のため，実験での目標物として金属球を用いた．しかしながら，これは現実的な建造物や山岳地帯を考慮するには過度に単純化されたモデルであり，今後は例えば建造物の模擬にコンクリートブロックを用いたり，山岳地帯の模擬に砂山を用いたりといった，より現実の観測対象物に近づけた実験モデルの採用が必要になると考えられる．これにより，金属球のような単純化された実験モデルでなくとも本手法が有効に動作することを検証する必要がある．

最後に，３）はドローンに搭載した SAR で現実の建造物や土壌を観測することで，本手法が現実問題に対しても有効に動作することを検証する．現在ドローン搭載 SAR に関しては別の研究課題において検討を進めており，既にドローン搭載 SAR 画像を生成可能なことを確認している．ドローン搭載 SAR に対し本手法を適用するにあたって生じうる課題としては，ドローンの飛行軌道の不安定性に起因した位相差検出の困難性である．すなわち，本手法は目標の移動前後で完全に同一の軌道をレーダが飛行することを前提としており，本報告書の実験においてはアンテナを固定して目標物を回転させる ISAR 方式によって精密な同一観測軌道を実現し，目標移動前後の観測で生じた位相差は全て目標の移動による位相差と考えることができていた．これに対し，ドローンでは軌道が不安定であるため，目標移動前後の軌道に差異が生じ，二つの SAR 画像間の位相差にはこの軌道のずれによる位相差，いわゆる軌道縞と呼ばれる現象が生じる．これをいかにして除去するかがドローン搭載 SAR によるインターフェロメトリ観測を成功させる鍵になると考えられ，今後の研究で明らかにすべき課題である．

５．参考文献

１．竹村直紀，渡邉卓磨，“MIMO レーダによる目標のトラッキングを活用した三次元逆合成開口画像の生成に関する基礎検討,” IEEE Midland Student Express 2025 Autumn, no. 15, 2025 年 12 月.

２．小熊達也，渡邉卓磨，“アンテナ回転式合成開口レーダによる三次元での画像再構成,” IEEE Midland Student Express 2025 Autumn, no. 16, 2025 年 12 月.

３．村山竜士，渡邉卓磨，“RTK-GNSS とオドメトリを活用した車両搭載合成開口レーダの検討,” IEEE Midland Student Express 2025 Autumn, no. 17, 2025 年 12 月.

研究題目	AI を用いた可搬型表面検査装置の作成
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部工学系・特命教授　　張　潮
分野	コンピュータビジョン
キーワード	異常検知

１．研究の背景と目的

この研究は、製造現場における目視検査の省力化および検査品質の安定化を目的として、AI 画像異常検知技術と小型撮影ユニットを組み合わせた可搬型表面検査装置の実現可能性を検討したものである。当初計画では、AI モデルを小型ハードウェアへ組み込み、持ち運び可能な検査プロトタイプとして構成することを目指した。一方で、実際の検査対象では傷、汚れ、欠け、変色、表面の凹凸などの異常が多様であり、さらに異常サンプルの収集が困難である。このため、正常画像を主に用いて未知の欠陥を検出する画像異常検知の枠組み（図１）を基礎としつつ、検査対象や撮影条件が変化しても利用できる汎用的な AI 異常検知モデルの高精度化が不可欠であることが明らかとなった。そこで、可搬型装置の中核となる画像異常検知モデルの構築と評価を重点的に進めるとともに、可搬型撮影ユニットに必要となるカメラ、照明、遮光、撮影距離、設置性などのハードウェア構成要件を整理した。これにより、当初計画の最終目標である「短時間で設置でき、検査対象に応じて調整可能な AI 表面検査装置」に向けて、ソフトウェア面とハードウェア面の基盤を整備した。

２．研究方法

本研究で用いた提案手法の全体構成を図 2 に示す。本手法は、入力画像から特徴を抽出する特徴抽出器、抽出された特徴を異常検知に適した表現へ変換する特徴適応器、および各位置の異常度を出力する識別器から構成される。特徴抽出器には事前学習済みモデルを用い、画像中の形状、輪郭、模様、質感などの特徴を抽出する。特徴適応器は、抽出された汎用特徴を外観検査に適した特徴表現へ補正する役割を持つ。識別器は、補正後の特徴に基づいて各位置の異常度を計算し、最終的に画素単位の異常スコアマップを出力する。異常スコアマップで

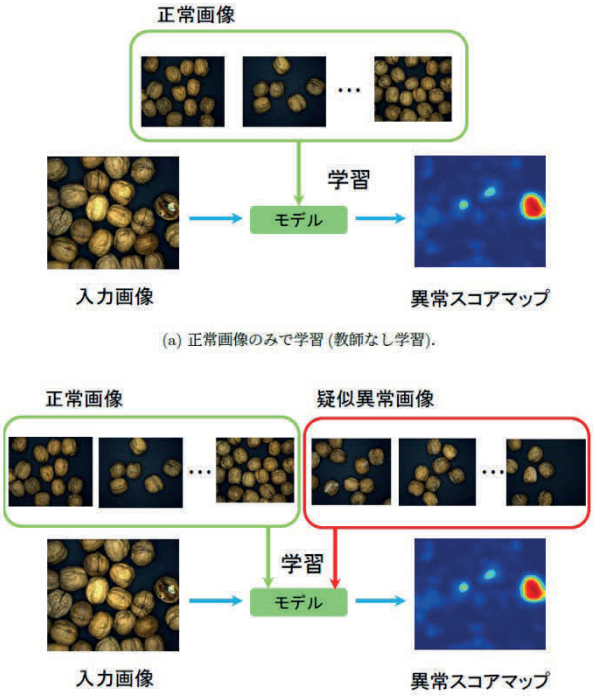


図１：異常検知アプローチ

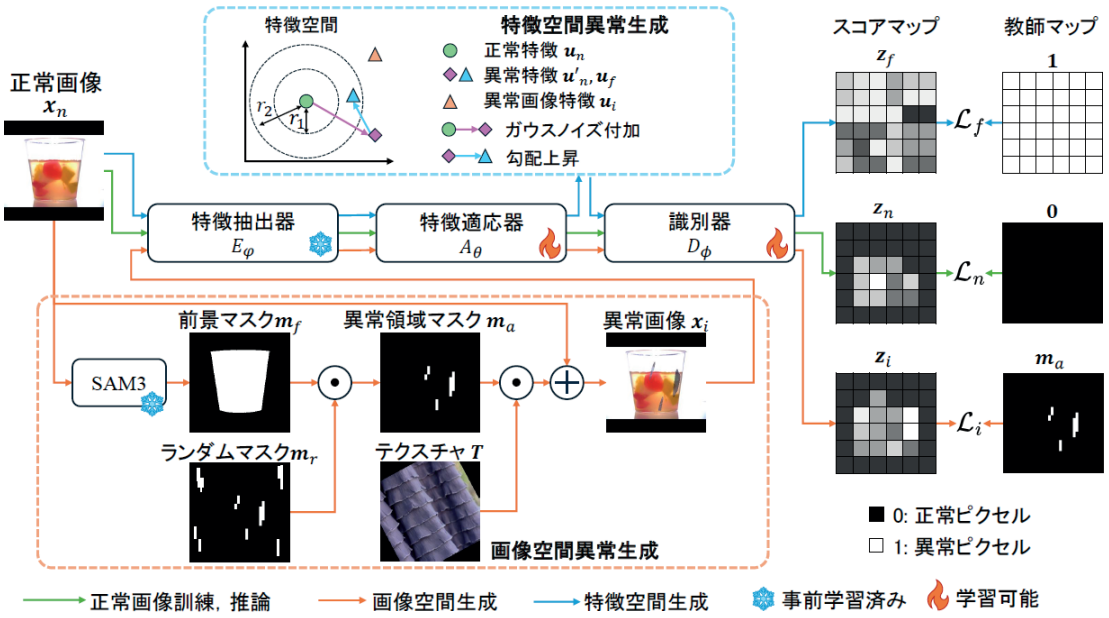


図２：提案手法の概要

は、値が高い領域ほど異常の可能性が高いことを示すため、画像全体の良否判定だけでなく、傷、汚れ、欠けなどが発生している位置を視覚的に確認できる。

学習時には、正常画像のみを用いてモデルを学習する従来の 1 クラス分類に加えて、正常画像から疑似的な異常を生成し、それを学習に利用する自己教師あり型の枠組みを採用した。製造現場では不良品の発生頻度が低く、異常画像を大量に収集することが難しい。そのため、正常画像のみから異常検知モデルを構築できることは実用上重要である。一方で、正常画像だけを用いた学習では、モデルが「正常らしさ」は学習できても、「どのような変化を異常とみなすべきか」を十分に学習できない場合がある。そこで本研究では、正常画像から疑似異常を作り出し、正常と異常の境界を明確に学習させる方法を導入した。

画像空間における異常生成では、まず SAM3 を用いて入力画像中の検査対象物を抽出し、前景マスクを生成する。従来のランダムな異常生成では、異常が背景領域に挿入されることがあり、モデルが検査対象とは無関係な背景の変化を異常として学習してしまう可能性があった。これに対して、本研究では前景マスクを用いることで、異常を検査対象物の表面上に限定して生成する。具体的には、前景マスクとランダムマスクを組み合わせて異常挿入領域を決定し、その領域に異なるテクスチャを合成することで、傷、汚れ、変色に相当する局所的な疑似異常画像を作成する。この方法により、実際の外観検査で問題となる対象物表面の微小欠陥に近い学習サンプルを効率的に増やすことができる。

さらに、特徴空間においても疑似異常を生成した。特徴空間異常生成では、正常画像から得られた特徴に微小な摂動を加え、識別器にとって判別が難しい疑似異常特徴を作成する。画像空間で生成される疑似異常は視覚的に解釈しやすい一方で、生成できる異常の種類がテクスチャやマスク形状に依存する。これに対して、特徴空間での異常生成を併用することで、画像上では表

現しにくい特徴レベルの変化も学習に取り込むことができる。すなわち、画像空間では表面上の局所的な欠陥を学習し、特徴空間では正常特徴からのずれを学習することで、両者を補完的に利用する構成とした［2］。

以上のように、本手法では、正常画像、画像空間で生成した疑似異常画像、および特徴空間で生成した疑似異常特徴を組み合わせて学習を行う。正常画像に対しては異常スコアが低くなるように、疑似異常画像や疑似異常特徴に対しては異常スコアが高くなるようにモデルを最適化する。これにより、正常画像のみでは不足しがちな異常側の学習信号を補い、未知の欠陥や微小な表面変化に対しても反応しやすい異常検知モデルの構築を目指した。また、SAM3 による前景認識を組み込むことで、背景に依存しない異常生成が可能となり、可搬型装置として異なる撮影環境や検査対象に適用する際の汎用性向上も期待できる［3］。提案手法の有効性については、産業外観検査データセットである MVTec AD 2［4］を用いて確認した。

表１：MVTec AD 2 に対する SegF1（in %）の従来手法との比較結果．最良の結果を太字で，次点の結果を下線で示す．

Object	PatchCore	RD	RD++	EfficientAD	MSFlow	SimpleNet	DSR	Ours
Can	0.3 / **0.1**	0.1 / **0.1**	0.1 / **0.1**	0.8 / **0.1**	**5.0** / **0.1**	0.6 / **0.1**	0.4 / **0.1**	0.1 / **0.1**
Fabric	11.5 / 9.8	2.6 / 2.2	2.9 / 2.3	7.6 / 1.0	22.0 / 4.1	21.6 / **10.2**	7.9 / 5.0	**33.0** / 6.2
Fruit Jelly	8.7 / 8.2	22.5 / 22.7	26.9 / 26.7	20.8 / 18.2	**47.6** / **38.1**	25.1 / 23.0	17.9 / 17.2	25.1 / 25.0
Rice	3.8 / 4.2	7.0 / 3.9	9.5 / 2.9	15.0 / 0.5	19.1 / 1.8	11.6 / 1.0	1.5 / 1.4	**23.9** / **26.3**
Sheet Metal	1.8 / 1.1	41.3 / 39.2	40.9 / 37.7	9.3 / 3.8	13.0 / 7.6	14.6 / 2.8	13.9 / 14.4	**52.2** / **49.2**
Vial	2.3 / 2.2	28.0 / **28.3**	28.2 / 22.8	30.5 / 26.5	23.3 / 6.2	31.9 / 17.5	28.2 / 27.9	**37.5** / 26.5
WallPlugs	0.0 / 0.0	1.9 / 0.8	1.3 / **0.9**	**4.4** / 0.3	0.1 / 0.2	1.0 / 0.3	0.4 / 0.4	3.5 / 0.5
Walnuts	1.2 / 1.3	41.2 / 36.7	44.1 / **40.5**	34.6 / 13.3	44.5 / 14.3	35.2 / 14.3	17.0 / 9.6	**55.1** / 30.8
Mean	3.7 / 3.4	18.1 / 16.7	19.2 / 16.7	15.4 / 8.0	21.8 / 9.0	17.7 / 8.7	10.9 / 9.5	**28.8** / **20.6**

３．研究成果

研究の結果、AI を用いた可搬型表面検査装置の中核となる画像異常検知モデルについて、前景認識型の疑似異常生成を導入したモデルを構築し、その有効性を確認した。従来の異常検知では、正常画像のみを用いて正常分布を学習し、そこからの逸脱を異常として検出する方法が広く用いられてきた［1］。しかし、この方法では異常の種類や形状を学習時に十分に扱えないため、微小欠陥や複雑背景下の異常に対して検出性能が低下する場合がある。本研究では、図 1 および図 2 の流れに沿って、正常画像から疑似的な異常を生成し、正常と異常の双方を学習に利用することで、異常領域に対する識別能力の向上を図った。

特に、SAM3［3］を用いて検査対象物の前景領域を抽出し、その領域内に疑似異常を生成する方法を導入した点が重要な成果である。従来のランダムな異常生成では、背景領域に異常が挿入される場合があり、実際の検査対象とは関係のない特徴をモデルが学習してしまう可能性があった。これに対して、本研究の方法では、検査対象物上に異常を生成することで、表面検査に必要な局所的欠陥の特徴をより重点的に学習できるようになった。表 1 に示すように、提案手法は PatchCore、RD、RD++、EfficientAD、SimpleNet、DSR などの代表的手法を上回った。

これは、画像空間と特徴空間の両方で疑似異常を生成し、検査対象上の局所的な変化を明示的に学習したことが、異常領域のセグメンテーション性能向上に寄与したためと考えられる。

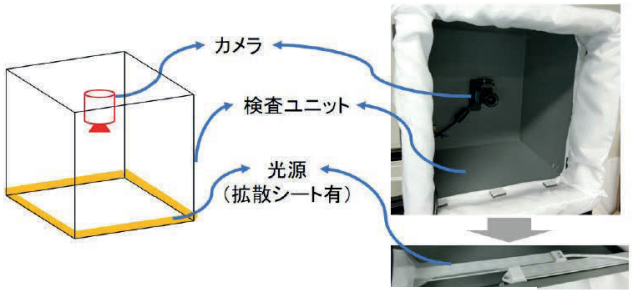


図３：検査ユニットの構成

ハードウェアに関しては、可搬型検査装置に必要な基本構成を整理し、今後のプロトタイプ作成に向けた設計指針を得た。図 3 に示すように、遮光性を持つ小型フレーム内にカメラと LED 照明を配置し、検査対象に対して一定距離を保ちながら撮影する構成が有効であることを確認した。また、表面傷を強調するためには、対象物の真上から均一に照明するだけでなく、低角度から照射するローアングル照明が有効であり、照明ムラを防ぐために拡散材を併用することが重要である。さらに、可搬性を考慮すると、検査対象の大きさや形状に応じてカメラ位置を上下左右に調整できる機構が必要であり、撮影ユニットを軽量化・簡素化することで、企業現場で短時間に試験できる検査装置へ展開できる見通しを得た。

以上より、本年度は、当初予定していた「可搬型表面検査装置」の完成形までには至らなかったものの、その中核となる AI 異常検知モデルの高精度化、実環境導入に向けた撮影ユニット構成の検討、および小型化・可搬化に必要な設計要件の整理を達成した。特に、AI モデルについては、正常データが中心となる現場条件に適した異常生成型学習の有効性を確認し、今後の可搬型プロトタイプへ実装するための技術的基盤を構築できた。また、検査対象物の前景を考慮することで、実際の表面検査に近い条件で学習できることを確認した点は、当初計画で掲げた「汎用化・効率化」と「可搬型プロトタイプ作成」を接続する成果であり、今後の産学連携や企業現場での試験導入に向けた重要な成果である。

４．今後の展望

今後は、まず本研究で構築した前景認識型異常検知モデルを、可搬型検査ユニット上で動作可能な形に軽量化する。現時点では精度向上を優先し、学習および評価は主に PC 環境で実施したが、実用化には推論速度、モデルサイズ、消費電力、発熱、操作性を考慮する必要がある。そのため、特徴抽出器の軽量化、量子化、蒸留、入力画像解像度の最適化などを進め、小型 PC またはマイコン上でリアルタイムに近い推論が可能な構成を検討する。低遅延な外観検査の実現に向けて、軽量・高速な異常検知モデルの設計［5］も参考にする。

また、図 3 の構成を基礎として、カメラ、レンズ、LED 照明、拡散材、遮光フレーム、上下左右に調整可能なカメラスタンドを一体化した可搬型ハードウェアの試作を進める。対象物の材質や傷の方向によって最適な照明条件は異なるため、複数方向からの照明切替や照度調整機能を導入し、金属部品、樹脂部品、繊維、食品など幅広い対象に対応できる構成を目指す。さら

に、撮影画像をその場で AI モデルに入力し、異常スコアマップとして可視化することで、企業担当者が検査結果を直感的に確認できるインターフェースを整備する。

加えて、実際の企業現場で取得した画像を用いた追加評価を行う。公開データセットで有効性は確認できたが、実環境では照明の揺らぎ、背景変化、位置ずれ、反射、搬送時のブレなどが発生する。表 1 で一部カテゴリに性能差が見られたことからも、撮影条件の標準化、前景マスクの安定化、少数サンプルによる現場適応、異常しきい値の自動調整が必要である。最終的には、AI 異常検知モデルと可搬型撮影ユニットを統合し、富山県内企業を中心に現場で試験できるデモ機として完成させ、地域企業の品質管理工程の省力化と高度化に貢献したい。

５．参考文献

1. Jianjian Qin, Chunzhi Gu, Jun Yu, Chao Zhang, “Multilevel Saliency-Guided Self-Supervised Learning for Image Anomaly Detection,” Signal, Image and Video Processing, Vol.18, pp.6339-6351, 2024.

2. Q. Chen, H. Luo, C. Lv, and Z. Zhang, “A Unified Anomaly Synthesis Strategy with Gradient Ascent for Industrial Anomaly Detection and Localization,” European Conference on Computer Vision, pp.37 – 54, 2024.

3. N. Carion, L. Gustafson, Y. T. Hu, S. Debnath, R. Hu, D. Suris, C. Ryali, K. V. Alwala, H. Khedr, A. Huang, et al., “SAM 3: Segment Anything with Concepts,” arXiv preprint arXiv:2511.16719, 2025.

4. P. Bergmann, X. Jin, D. Sattlegger, C. Steger, et al., “The MVTec AD 2 Dataset: Advanced Scenarios for Unsupervised Anomaly Detection,” arXiv preprint arXiv:2503.21622, 2025.

5. K. Batzner, L. Heckler, and R. König, “EfficientAD: Accurate Visual Anomaly Detection at Millisecond-Level Latencies,” IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, 2024.

研究題目	遺伝子 X を標的とした急性骨髄性白血病に対する新規治療開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系 血液内科 助教 神原 悠輔
分野	医薬系
キーワード	急性骨髄性白血病

１．研究の背景と目的

急性骨髄性白血病(AML)は、難治性の造血器腫瘍であり、急速に病勢が進行し、致命的となりうる。AML の発症年齢中央値は約 65 歳と高齢者においては臓器機能や併存症の観点から強力な化学療法の実施が困難で、予後が厳しいのが現状であり、新規治療法の開発が急務である。

申請者は、本研究における予備解析として 2 つの RNA-seq の公開遺伝子データセットを用いて、AML 患者の腫瘍細胞における各遺伝子発現と生存期間の相関について網羅的・機械的な大規模遺伝子解析を行い、細胞増殖に関わる遺伝子群のうち、新規遺伝子 X を同定した。

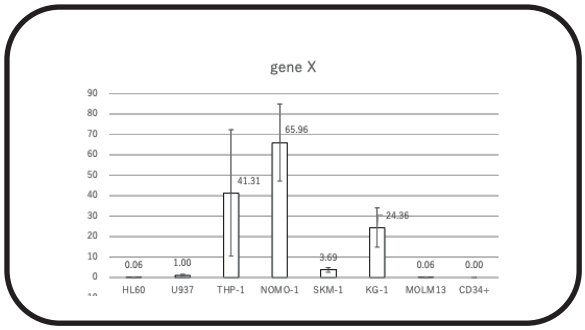
そこで本研究では、AML における新規遺伝子 X の発現解析・機能解析を行ったのち、遺伝子 X を標的とした新規治療開発を行う。遺伝子 X に対する AML の新規治療開発により、知財および創薬に繋げることができる可能性があり、AML 患者および健康社会への貢献を進める。

２．研究方法

本研究では、AML における新規遺伝子 X の発現解析を行った。具体的には、まず AML の細胞株および AML 検体(CD34 磁石ビーズ法で濃縮)を用いて、q-PCR およびウェスタンブロット法にて、RNA の遺伝子発現の検討を行った。

３．研究成果

研究の結果、AML の細胞株では、THP-1, NOMO-1, KG-1, K562 で遺伝子 X の発現が高い結果であった。また、AML 検体(BM)では、P2-4(RD), P8-9(RD/CRi), P14(RD), P16-1/2(PD)で遺伝子 X の発現が高く、治療抵抗性と関連している可能性が示唆された。



４．今後の展望

今後、ウェスタンブロット法をにてタンパク質レベルの発現の検討および遺伝子 X のノックダウンによる細胞増殖抑制効果や遺伝子発現の動きを検討する予定である。

５．参考文献

１．Kamihara Y, Kikuchi S, Ishikawa N, Shinomiya N, Kunimoto K, Horaguchi R, Fujihira T, Nabe Y, Minemura T, Ono K, Wada A, Dang NH, and Sato T.
Antiapoptotic BCL2 family proteins BCL-XL and MCL1 as factors predicting resistance against venetoclax plus azacitidine for patients with newly diagnosed acute myelogenous leukemia. PLoS One. 2026;21(1):e0341461.

研究題目	子どものネット依存の調査と学校教育の効果検証
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・准教授・山田　正明
分野	人文・社会・芸術系
キーワード	ネット依存　予防　教育　効果

１．研究の背景と目的

コロナ禍以降、インターネット（以下、ネット）の利用が子どもにも急速に普及している。しかし長時間のネット利用から肥満や視力低下、“ネット依存”を呈する子どもが急増している。近年はネット依存の予防教育を行う教育･医療機関､民間組織が全国で散見されるようになったが、その教育効果についての研究は少ない。子どもへの予防教育がどの程度の効果を持っているのか、予防教育に反応する子どもとしない子どもでは何が異なるのか（阻害要因）を明らかにすることは、効果的な予防教育を行うために重要である。そのため本研究では①ネット依存に関する実態調査、②ネット依存の予防教育の効果、について調査する。

２．研究方法

令和 6 年に 34 校、令和 7 年に 21 校においてネット依存に関する予防教育を行い、その中から講演前後でのアンケート調査が可能であった小中学校を研究対象とした。

講演の内容は、1 依存症の基礎知識、2 依存症での脳の変化、3 ネット依存の対策で、40-60 分間の対面で実施した。講演の数日後に質問紙、あるいは学校で利用するアプリを用いて自記式調査を行った。調査内容は属性､(娯楽目的の)平日のネット利用時間(-2h, 2h-, 3h-, 4h-, 5h-, 6h-)、両親のネット利用時間､ネット依存度(YDQ-8)､家庭内のネットに関するルールの有無を尋ねた。

３．研究成果

研究１・・ネット依存に関する実態調査

Yamada M, et al. Excessive Internet use, addiction, and parental Internet behaviors among Japanese adolescents. 22nd Biennial School Nurses International (SNI) Conference Japan 2025in Gotemba, Shizuoka；2025 Jul 22-24；Gotemba, Shizuoka.（中学生における長時間のネット利用と両親のネット時間. 国際スクールナース学会 in 静岡)で発表

【結果】令和 7 年 5 月までに参加した 10 中学校、約 2600 名の生徒を対象とした。ネット依存は 15.1%、4 時間以上のネット利用者は 21.7%であった。ネット依存、長時間利用をそれぞれ従属変数としてみた 2 つのロジスティック回帰分析を行った。生徒のネットの長時間利用には両親のネット時間が関連した。ネット依存には父親のネット時間が有意に関連し、母のネットは

関連しなかった。父親の指導は子どものネット依存と関係するという報告が多く、生徒のネット依存予防には父のネット時間を含む生活態度が重要と考えられた。

結果　n=2061（回答率 78.5%）

	人数	%
学年　中学		
1年	722	35.0
2年	743	36.1
3年	596	28.9
性別　男	1039	50.4
女	1022	49.6
睡眠時間		
−7h	433	21.0
7−8h	1104	53.6
8h−	524	25.4
ネット時間(遊びのみ)		
−2h	633	30.7
2 − 3h	618	30.0
3− 4h	362	17.6
4− 5h	212	10.3
5− 6h	113	5.5
6h−	123	6.0
YDQ（ネット依存スコア）		
0−2	1211	58.8
3−5	538	26.1
5−8（依存あり）	312	15.1

21.7%

	人数	%
いらいら		
よくある	282	13.7
たまに	955	46.3
あまりない	824	40.0
不安		
よくある	215	10.4
たまに	651	31.6
あまりない	1195	58.0
家庭のルール　ある	1195	58.0
ない	866	42.0
父のネット時間		
-2h	1129	54.8
2-3h	495	24.0
3-4h	234	11.4
4h-	203	9.8
母のネット時間		
-2h	1181	57.3
2-3h	465	22.6
3-4h	245	11.9
4h-	170	8.2

研究２・・ネット依存の予防教育の効果

山田正明ら．中学校でのネット依存の予防教育と行動変容の阻害要因．第 84 回日本公衆衛生学会；2025 Oct 29；静岡（一般口演）で発表

【方法の追加説明】令和７年５月までに参加した 10 中学校、約 3000 名の生徒を対象とした。研究方法で記載した質問項目に加え、講演直後に「①ネット依存の危険性を理解できたか？（無関心期→関心期）②自身のネット時間を減らそうと思ったか？（関心期→準備期）」を聞き、行動変容のステージが前進するのかを調査した。理解できたかと減らそうと思ったかの回答をそれぞれ目的変数とし、生活習慣やネット依存度を説明変数として 2 つのロジスティック回帰分析を行った。



チューリップ TV　アルスの礎 富山大学 知の冒険者たち＃31 ネット依存から子供たちを救え https://www.youtube.com/watch?v=r5ChF8fh5gs　より引用（写真は保護者向け講演会）

【結果】3375 人中 2923 人（回収率 86.6%）から回答を得て 2473 人の生徒（73.3%）が最終分析対象となった。講演で危険性が理解できた割合は 96.4%、ネット時間を減らそうと思った割合は 88.9%であった（下図）。次に理解できなかった（=理解無、3.6%）、減らそうと思わなかった(=減少無、11.1%)生徒に対してロジスティック回帰分析を行ったところ、共通して有意な関連が見られたものは男子（理解無で OR=2.34、減少無で OR=1.97）、4 時間以上のネット利用（理解無で OR=2.33 から 5.63、減少無で OR=2.55 から 5.20）であった。理解無、減少無ともにネット時間とは量反応関係が認められた。

【考察・結語】中学生へのネット依存の予防教育は、多くの生徒の意識を変えることができた。しかし男子と 4 時間以上の生徒で危険性の理解ができない、時間を減らそうと思わない割合が高かった。特にネットの長時間利用が習慣化されている生徒では、予防教育の効果が低いと考えられた。ネット利用が習慣化する前に予防教育が重要である。

講演後の危険の理解と減らす意識

		n=2473	%	
①ネット依存の危険性を理解できたか？（無関心→関心期）				
	よくできた	1568	63.4	96.4%
	できた	816	33.0	
	あまりできなかった	63	2.5	3.6%
	できなかった	26	1.1	
②自身のネット時間を減らそうと思ったか？（関心期→準備期）				
	思った	1158	46.8	88.9%
	少し思った	1040	42.1	
	あまり思わなかった	188	7.6	11.1%
	思わなかった	87	3.5	

4．今後の展望

令和 7 年度に分析した研究 1、研究 2 では中学生のみを対象とし、ネット依存の割合は 15.1%、平日に勉強以外でネットを 4 時間以上利用する割合は 21.7%であった。本研究者が所属する講座では以前より子どもの生活習慣と健康問題に関する疫学研究を実施しており、2 時間以上のメディア利用が運動不足、肥満、睡眠障害、メンタルヘルスの不調、登校拒否感情などとの関連を示してきた。4 時間以上やネット依存が多い現在の状況は国家としても危機的な状況といえる。

・学校、学会などでの草の根運動

中学生だけでなく小学生もネットを頻用する時代となっているが、2 時間以上の利用は健康に悪影響がある、という事実は医学的に変わらない。このことを引き続き小中学校、学会などで啓発し続けなければならない。（令和 8 年度 5 月末現在で今年度も 50 回程度の講演依頼あり）

・政府、行政機関への働きかけ

本研究者はネット依存による健康問題についてテレビ、新聞などで精力的に啓発を行っている。令和 8 年 2 月には自民党富山県議会議員会で、同年 5 月には霞が関の衆議院議員開会で開

催された「超党派 成育基本法推進議員連盟第 24 回総会」にて子どものネット利用と健康リスクについての講演を行った。オーストラリアなどの欧米、マレーシアなどのアジア諸国でも 16 歳未満の SNS 禁止が決定され始めている。また生成 AI についても未成年は禁止の検討が英国などで始まっている。わが国でも世界に後れを取らない法的対策が必要である。本研究者の予防教育の知見は、今後の重要な基礎資料となる。

５．参考文献

１．Yamada M, Sekine M, Tatsuse T. Pathological gaming and its association with lifestyle, irritability, and school and family environments among Japanese elementary school children. J Epidemiol. 2023;33(7):335-341. doi: 10.2188/jea.JE20210365.

２．山田正明，関根道和.【スマホ・ネット・ゲーム依存対策-子ども・若者を守る!】子どものインターネット依存の実態と対策. 公衆衛生. 2020; 84(9): 572-577. doi. 10.11477/mf.1401209463

３．Yamada M, Sekine M, Tatsuse T. Association between excessive screen time and school-level proportion of no family rules among elementary school children in Japan: a multilevel analysis. Environ Health Prev Med. 2024;29:16. doi: 10.1265/ehpm.23-00268.

研究題目	腫瘍抗原 PRAME を標的とした難治性リンパ腫の治療法開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・教授・髙田尚良
分野	医療系
キーワード	PRAME, 腫瘍特異的 T 細胞, びまん性大細胞型リンパ腫, MHC

１．研究の背景と目的

びまん性大細胞型 B 細胞リンパ腫（diffuse large B-cell lymphoma; DLBCL）は、悪性リンパ腫の中で最も頻度が高い病型である。リツキシマブを含む免疫化学療法や、再発・難治例に対する CAR-T 細胞療法の導入により治療成績は改善してきたが、既存治療に抵抗性を示す症例では、依然として有効な治療選択肢が限られている。特に、抗体治療や CAR-T 細胞療法で使用されている CD19 や CD20 などの細胞表面抗原を標的とする治療では、標的抗原の消失、腫瘍細胞の不均一性、宿主免疫からの回避機構などが治療抵抗性の要因となる。

申請者らは、DLBCL における主要組織適合抗原複合体（MHC）発現低下・欠損が、腫瘍細胞による免疫回避の重要な機序であること、さらに EZH2 を中心とするエピジェネティック制御が MHC を介した免疫認識の低下に関与することを報告してきた(参考文献１)。この知見は、腫瘍細胞側の抗原提示能を回復させることで、宿主免疫や細胞療法による腫瘍認識を高め得ることを示すものである。また、腫瘍抗原 PRAME（Preferentially Expressed Antigen in Melanoma）は、DLBCL を含む悪性腫瘍に発現する一方、正常組織での発現が限られる腫瘍関連抗原である。申請者らは、PRAME が DLBCL において単なる腫瘍マーカーにとどまらず、腫瘍細胞内シグナルと宿主免疫微小環境の双方に影響を及ぼす二面的機能を有し、治療標的となり得ることを報告した（参考文献２)。

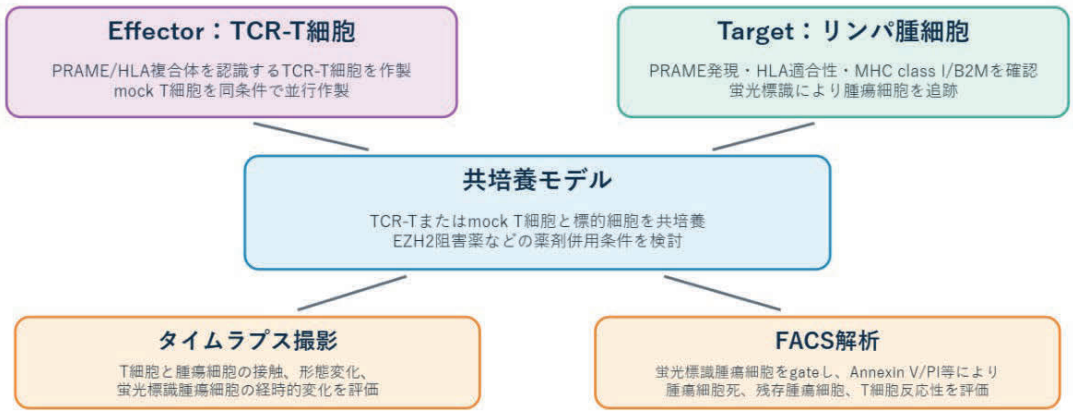
本研究では、これらの知見を基盤として、PRAME を標的とする T 細胞受容体改変 T 細胞（TCR-T 細胞）療法の非臨床開発基盤を構築することを目的とした。TCR-T 細胞は、細胞内で処理された腫瘍抗原由来ペプチドが HLA 上に提示された複合体を認識できるため、細胞表面抗原に限定される従来型 CAR-T 細胞療法とは異なる治療戦略となる。

２．研究方法

PRAME 特異的 TCR-T 細胞作製では、まずペプチド刺激後の T 細胞からレパトア解析により PRAME 特異的 TCRαß 鎖の情報を入手した。次に入手した PRAME/HLA 複合体を認識する TCR 情報を用い、ヒト T 細胞への遺伝子導入および培養により、PRAME 特異的 TCR-T 細胞を作製した。並行して、TCR を導入しない mock T 細胞または適切な陰性対照を準備し、T 細胞活性化や培養操作そのものによる背景効果を評価できる実験系とした。

腫瘍細胞側では、PRAME 発現、HLA 適合性、MHC class I および B2M 発現を考慮してリンパ腫細胞株を選択した。TCR-T 細胞とリンパ腫細胞を共培養し、腫瘍細胞傷害をフローサイトメトリーにより評価した。具体的には、蛍光標識した腫瘍細胞集団を識別し、Annexin V/PI 等を用いて腫瘍細胞死、残存腫瘍細胞、T 細胞の反応性を解析した。また、タイムラプス撮影により、T 細胞と腫瘍細胞の接触、腫瘍細胞の形態変化、蛍光標識腫瘍細胞の経時的変化を観察した。

さらに、参考文献１，２において得られた知見に基づき、EZH2 阻害薬を含むエピジェネティック制御薬が MHC/HLA を介した抗原提示や PRAME 関連分子の発現に与える影響を検討し、TCR-T 細胞による腫瘍認識を増強し得るかを評価する実験系を整備した。



３．研究成果

本助成により、PRAME 特異的 TCR-T 細胞療法の非臨床評価に必要な基盤を構築することができた。第一に、PRAME/HLA 複合体を標的とする TCR-T 細胞作製のための試薬・細胞培養系を整備し、T 細胞の活性化、遺伝子導入、培養、品質確認を一連の流れとして実施できる体制を確立した。

第二に、特異的 TCR-T 細胞作製により、リンパ腫細胞との共培養評価系を確立した。腫瘍細胞を蛍光標識し、TCR-T 細胞または mock T 細胞と共培養することで、腫瘍細胞特異的な変化をフローサイトメトリーおよびタイムラプス撮影の双方から評価できるようになった。これにより、単純な終点評価だけでなく、T 細胞と腫瘍細胞の相互作用を時間軸に沿って解析することが可能となった。

第三に、PRAME 陽性かつ HLA 適合性を有するリンパ腫細胞を用いた検討において、PRAME 特異的 TCR-T 細胞による腫瘍認識・腫瘍傷害を支持する所見を得た。一方で、T 細胞由来の非特異的な背景反応や、腫瘍細胞側の抗原提示能の違いが結果に影響し得ることも確認され、mock T 細胞、腫瘍細胞単独、HLA 不適合または PRAME 低発現の対照細胞を組み合わせた評価の重

要性が明らかとなった。

第四に、MHC/HLA 発現、PRAME 発現、TCR-T 細胞反応性を統合的に評価することで、単に PRAME 陽性かどうかだけではなく、腫瘍細胞が PRAME 由来抗原を T 細胞に提示できる状態にあるかを考慮した患者選択・治療設計につながる可能性が示された。

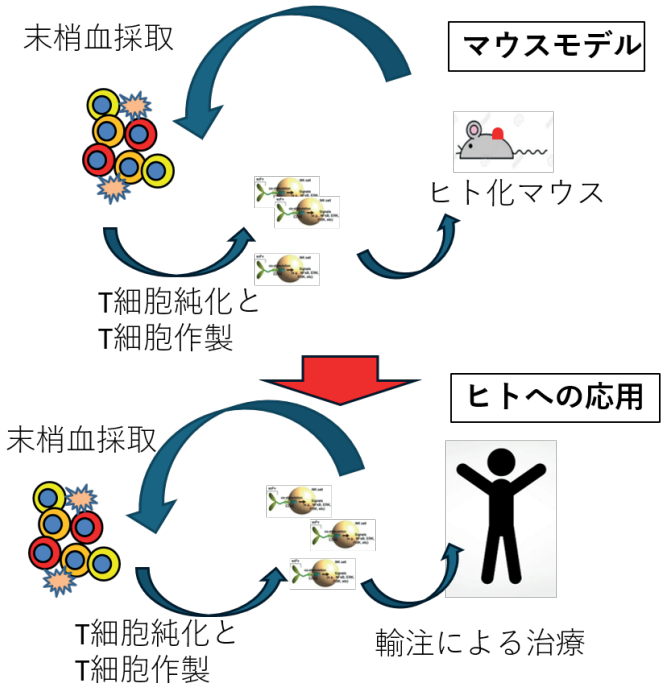
以上の成果により、本研究は、細胞表面抗原に依存する既存の細胞療法とは異なり、細胞内腫瘍抗原 PRAME を HLA 提示ペプチドとして標的化する新しいリンパ腫治療法の開発に向けた重要な基盤となった。

４．今後の展望

今後は、得られた PRAME 特異的 TCR-T 細胞の抗腫瘍活性について、複数のリンパ腫細胞株および追加の対照系を用いて再現性と特異性を検証する。特に、PRAME 発現量、HLA 適合性、MHC class I/B2M 発現、EZH2 阻害薬処理の有無を組み合わせて解析し、TCR-T 細胞療法が有効となりやすい腫瘍側条件を明確化する。

また、TCR-T 細胞療法では、標的抗原特異性だけでなく、HLA 依存性、交差反応性、正常細胞への影響、サイトカイン産生、T 細胞疲弊などの安全性・有効性評価が重要である。今後は、*in vitro* での詳細な機能評価に加えて、*in vivo* モデルを用いた pre-clinical モデルでの評価を進める。

本研究で得られた成果は、PRAME を標的とする難治性リンパ腫治療の創薬シーズとして、知財化、共同研究、外部資金申請、さらには臨床応用を視野に入れた橋渡し研究へ発展させる予定である。さらに、日本人患者集団で頻度の高い HLA 型への展開を含め、より多くの患者に適用可能な PRAME 標的 TCR-T 細胞療法の開発を目指す。



５．参考文献

１． Ennishi D#, Takata K#, Béguelin W, et al. Molecular and Genetic Characterization of MHC Deficiency Identifies EZH2 as Therapeutic Target for Enhancing Immune Recognition. Cancer Discov. 2019;9:546-563.

２． Takata K, Chong LC, Ennishi D, et al. Tumor-associated antigen PRAME exhibits dualistic functions that are targetable in diffuse large B cell lymphoma. J Clin Invest. 2022;132:e145343.

３． Schuster SJ, Bishop MR, Tam CS, et al. Tisagenlecleucel in Adult Relapsed or Refractory Diffuse Large B-Cell Lymphoma. N Engl J Med. 2019;380:45-56.

研究題目	プレクリニカルおよび超早期関節リウマチの分子的、画像的定義付け
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・教授・加藤将
分野	医薬系
キーワード	1. 関節リウマチ（RA；rheumatoid arthritis） 2. プレクリニカル／超早期 RA 3. ドラッグ・フリー 4. 健康診断／人間ドック 5. 多施設未病コホート 6. 抗シトルリン化タンパク質抗体（ACPA；anti-citrullinated protein antibodies） 7. ACPA-IgG Fab 領域糖鎖修飾 8. 新規検査法 9. 画像バイオマーカー 10. 血清バイオマーカー

１．研究の背景と目的

この研究は、関節リウマチ（RA；rheumatoid arthritis）の発症高リスク者を特定することでプレクリニカル/超早期 RA の特徴を明らかにし、ひいては早期治療を中心とした RA 診療におけるドラッグ・フリー達成の方法論を確立することを目的とした。日本に特有の予防医療システムである健康診断／人間ドックを活用し、独創性の高い多施設 RA 未病コホートを構築し、コホートで得られる血清、関節 X 線写真をサンプルとした新規検査法の確立および RA の発症を主要評価項目とした対象者の臨床フォローアップにより、RA の発症と関連する血清／画像バイオマーカーの特定を試みた。

２．研究方法

研究を実施するために、まず、（１）多施設 RA 未病コホート（TATEYAMA [Tracking Arthritis Through Early Yield And Monitoring in Advance] cohort）を構築した。関節症状を主訴にまたは健康診断／人間ドックでリウマトイド因子または抗環状化シトルリン化ペプチド（CCP；cyclic citrullinated peptide）抗体の陽性を指摘され受診し、初診時に ACR/EULAR の RA 分類基準（Aletaha D *Ann Rheum Dis* 2010）を満たさない成年個人を、RA の発症（同分類基準を満たすこと）を主要評価項目とし、実臨床下にフォローアップした。本コホートは多施設共同研究として構築し、以下の計 19 施設が参加した（富山大学「臨床・疫学研究等に関する倫理審査

委員会」研究番号 R2024247)。

1. 富山大学附属病院
2. あさひ総合病院
3. 射水市民病院
4. かみいち総合病院
5. 高岡市民病院
6. 高岡ふしき病院
7. 富山県済生会高岡病院
8. 富山県済生会富山病院
9. 富山県立中央病院
10. 富山労災病院
11. 南砺市民病院
12. 飛騨市民病院
13. 真生会富山病院
14. 糸魚川総合病院
15. あずまリウマチ・内科クリニック
16. 吉見病院
17. 丸の内病院
18. 西能病院
19. 富山西総合病院

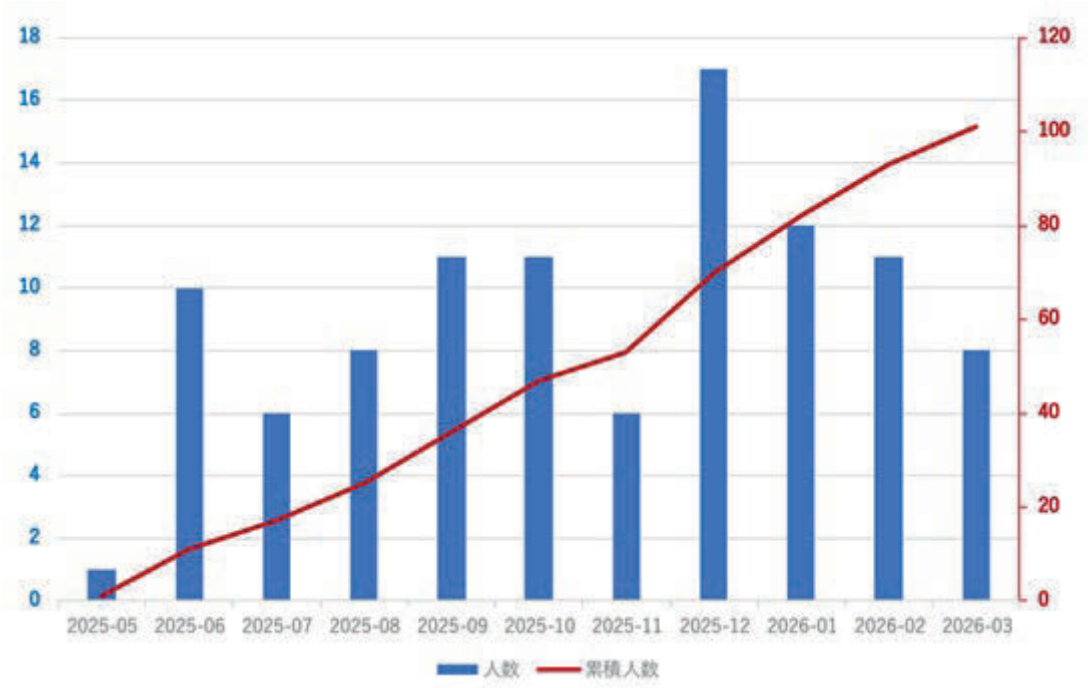
次に、（２）抗シトルリン化タンパク質抗体（ACPA ; anti-citrullinated protein antibodies）-IgG Fab 領域糖鎖修飾を定量する新規検査法の確立と実際の測定として、RA の発症と関連する ACPA の成熟を反映していると考えられる ACPA-IgG Fab 領域糖鎖修飾（Kawataka M *Rheumatology (Oxford)* 2023）を定量する新規検査法の確立を試みた。①3 種類の CCP（cfc1-cyc、P02、CCP4）をビオチン化した後、ストレプトアビジンカラムに固定化し、ACPA キャプチャーカラムを作製し、②ACPA キャプチャーム→Protein G カラム→Protein A カラムにヒト血清をアプライ、溶出し、ヒト ACPA ポリクローナル IgG を精製し、③ヒト ACPA ポリクローナル IgG を IdeZ プロテアーゼ、IgG-Fc affinity matrix を用い Fc 領域と F(ab')2 領域とに切断、Fc 領域を除去し、ヒト ACPA ポリクローナル IgG-F(ab')2 を精製し、④レクチン（Sambucus Sieboldiana）を固相化したイムノプレートおよび HRP 標識抗ヒト IgG（重鎖＋軽鎖）抗体を二次抗体として用いた ELISA を作製し、濃度を調整しアプライしたヒト ACPA ポリクローナル IgG-F(ab')2 の糖鎖修飾の評価、定量を試みた。

最後に、（３）画像バイオマーカーの探索として、実臨床下で撮影する手指・足趾関節 X 線写真をサンプルとして用い、共同研究者（北海道大学保健科学研究院・教授・神島保）が開発した

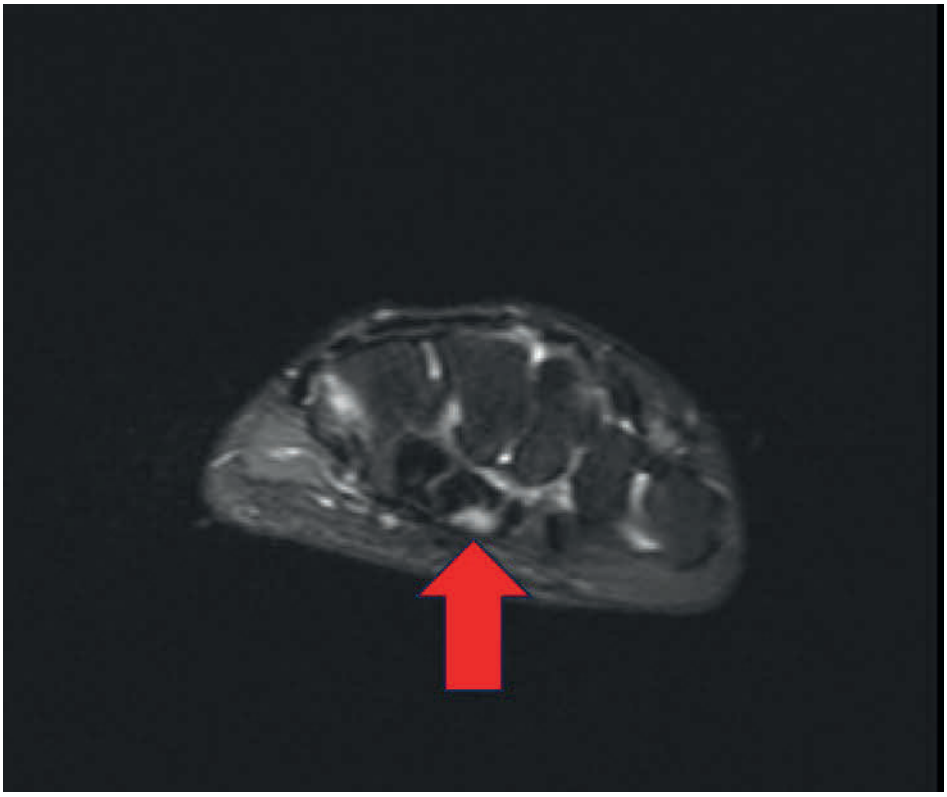
高空間解像度 deep registration 法（Wang H *Comput Med Imaging Graph* 2023）を用い、各関節の微細な裂隙狭小化を評価した。さらに、共同研究者（片山整形外科リウマチ科クリニック・院長・片山耕）が開発したアプリケーションソフトウエア（特許第 6994094 号）を用い、通常 MRI によってしか検出できない RA の早期所見である骨髄浮腫の有無を評価した。

３．研究成果

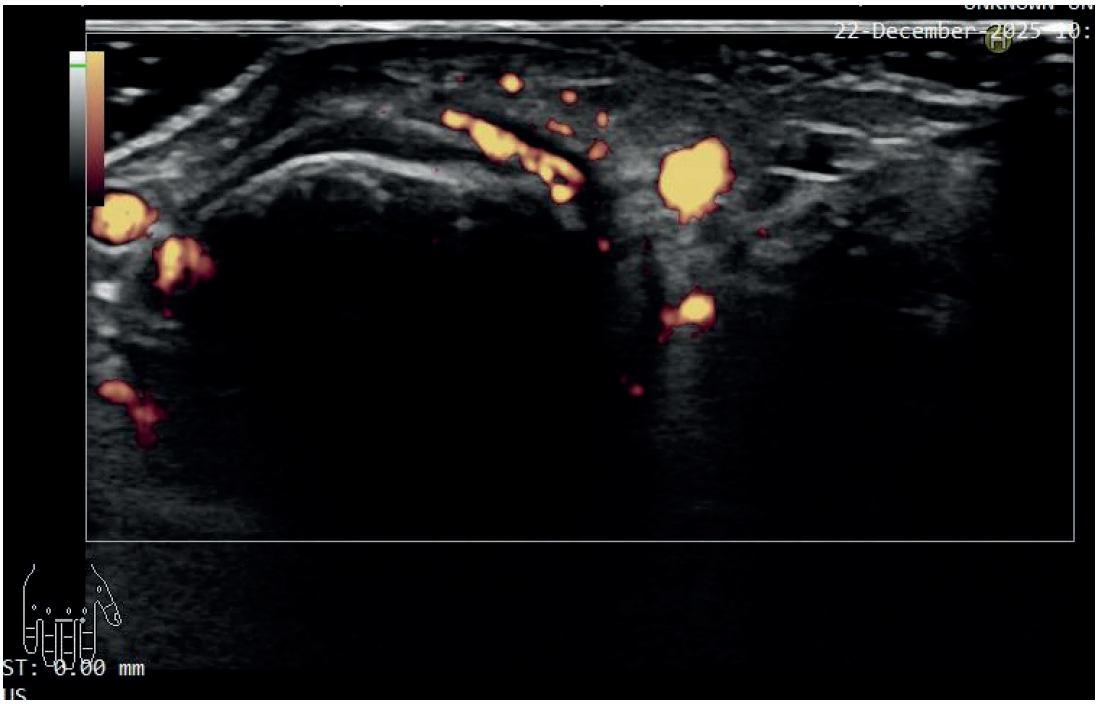
研究の結果、TATEYAMA コホートは 2025 年 5 月より組み入れを開始し、2025 年度全体で登録者は 100 名超えた（下図）。



登録者のうち 3 名においてフォローアップ中に関節リウマチの発症を確認し（下図）、早期治療を開始でき、今後良好な経過が期待される。



関節リウマチ発症時の MRI 画像（矢印：屈筋腱鞘滑膜炎の疑い）



関節リウマチ発症時の超音波画像（腱鞘滑膜炎）

また、現在コホートに組み込まれた患者の血清サンプルを順次データ保管・リスト化し、ヒトポリクローナル IgG-F(ab')2 の精製を開始した。TOYOPEARL SuperA カラムを用いてヒトポリクローナル IgG を精製し、SDS-PAGE で純度を確認した。精製したヒトポリクローナル IgG を Pierce™ F(ab')2 Preparation Kit を用い Fc 領域と F(ab')2 領域とに切断、Fc 領域を除去し、ヒトポリクローナル IgG-F(ab')2 を精製した。こちらについても SDS-PAGE で純度を確認した。今回樹立した新規検査法は、1 mg/ml のリコンビナント IgG-F(ab')2 に、5 ug/ml のリコンビナント ACPA-F(ab')2 を混合させた疑似サンプルを調整した場合でも、ACPA 及び糖鎖を検出することができた。今後は参加者を対象とした解析を順次進めていく予定である。

さらに、画像バイオマーカーの探索については、RA の診断および経過観察に不可欠な手関節 X 線画像を用い、大規模なデータセットを構築した。本データセットは、1 枚の画像内で個々の骨を詳細に区別して解析可能とする点に特徴があり、世界的にも先駆的な取り組みである。6 施設から 388 名分、計 1,048 枚の X 線画像を収集し、骨の重なりや関節変形により従来は評価が困難であった部位についても、「どの骨や関節が、どの程度障害されているか」を示す情報を付与した。今後は、本データセットを基盤として、TATEYAMA コホートから得られる関節 X 線画像の解析を進める予定である。

4．今後の展望

今後、コホートの参加者をさらに増やし、参加者の血清・X 線サンプルを用いて、今回樹立した新規検査法による ACPA-IgG Fab 領域糖鎖修飾の定量ならびに高空間解像度 deep registration 法、骨髄浮腫検出アプリケーションソフトウエアによる解析を進める。また、さらなる血清バイオマーカーを探索すべく、キャピラリー電気泳動・質量分析法により、約 1,100 種の血清中発現低分子（<1,000 Da、水溶性・イオン性代謝物質、糖リン酸・アミノ酸・核酸・有機酸などの主にメタボライト）の網羅的な同定と相対定量、必要に応じ濃度定量を行い、主成分分析、階層的クラスター解析、パスウェイ解析を通して、RA の発症と関連を検討する予定である。

プレクリニカル／超早期 RA の客観的な定義付けは現代の RA 診療におけるアンメット・ニーズの 1 つとして挙げられ（Winthrop KL *Ann Rheum Dis* 2023）、国内外において学術的重要性のきわめて高い分野と認識されている。RA は有病率約 1%と、本邦でおおよそ 100 万人、富山県内にも約 1 万人の罹患者が想定され、RA を対象にした本研究は県内外への高い波及効果が期待される。本研究により将来の RA の発症予防を目的とした臨床試験のベースとなるデータが得られ、さらに、将来の臨床試験を通して有効性、安全性、経済性すべてにおいて患者のみならず社会全体に還元できる可能性がある。また富山県は、RA 診療における生物学的製剤の処方割合が全国第 2 位であることからも（Nakajima A *Mod Rheumatol* 2022）、本研究が最終目標とするドラッグ・フリー達成は有効性、安全性、経済性すべてにおいて県内に高いインパクトを与えることが期待される。

５．参考文献（本研究に関連した研究成果の発表はまだございません。以下は 2025 年度に当科が発表した関節リウマチに関連した論文です。）

1. Yamaguchi S, Onose T, Kato M. Bone repair of atlantoaxial joint destruction with IL-6 blockade. **Arthritis & Rheumatology**. in press.
2. Kosumi Y, Asano R, Sugano A, Hisada R, Kono M, Fujieda Y, Atsumi T, Kato M. Seroconversion of anti-cyclic citrullinated peptide antibody after the onset of rheumatoid arthritis: A case-control study and systematic review. **Immunological Medicine**. 2026 Mar;49(1):76-87.

研究題目	マウスの表情変化をもとにした脳活動の解読
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・教授・西丸 広史
分野	神経科学
キーワード	動作解析、目的指向行動、

１．研究の背景と目的

私たちがなにか目的を持って自発的に行動を起こすとき、開始や停止のタイミングなどの時間的プロセスには脳内の神経活動が関与していると考えられている。ヒトをはじめとして多くの動物の目的指向行動の状態は（1）活動状態（行動）と（2）行動が停止した状態（休息）の二つに分けられる（図 1）。この二つの状態を自発的に切り替える際には、体内外の感覚情報や報酬期待に基づいた意思決定が行われ、それに続いて行動の開始もしくは終了が生じると考えられている[1]。これまでマカクザルなどの非ヒト霊長類やマウスやラットなどの齧歯類を実験モデル動物とした多くの研究により、意思決定のプロセスや運動制御そのものの神経メカニズムについては、前者は大脳皮質前頭前野が、後者は運動皮質が重要な役割を担っていることが明らかになっている[2, 3]。特にげっ歯類の大脳前頭皮質は運動制御に重要な役割を担う一方[4]、行動の目的や環境に応じた報酬価値の評価やそれに基づく意思決定に重要な領域として、運動皮質だけでなく感覚皮質や大脳基底核、ドーパミン神経が局在する中脳腹側被蓋野とも広範に結合している[5]。このことから、前頭皮質は運動・感覚・報酬情報の統合における中心的役割を担っていると考えられる。その一方で、自発的な行動切り替えにおける意思決定と運動制御をつなぐ神経メカニズムの大部分は明らかになっていない。その大きな理由の一つが、我々ヒトと言語による意思疎通ができない動物の内的状態を直接知ることが困難なために、意思決定から運動までのプロセスは、運動そのものを手がかりとして解析するものがほとんどであったことが挙げられる。マウスにおいて動機づけ行動の遂行中に口や洞毛（ヒゲ）の動きなど、課題の遂行とは直接関係のない運動が観察されることは以前から知られていたが、ビデオカメラの性能や計算機の能力の限界から、これまでほとんど解析の対象となってこなかった。最近、測定解析技術の進歩により、こうした顔の運動が、行動課題のパフォーマンスや神経活動の変化の一部と相関することが報告されている[6]。本研究では、

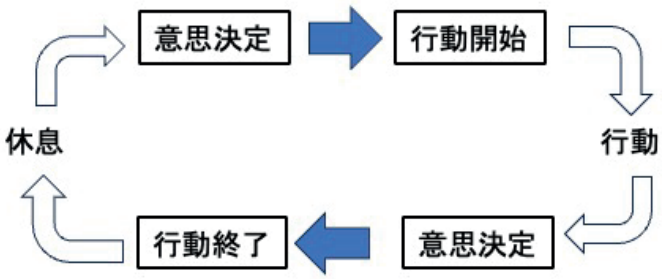


図1. 意思決定と行動・休息の切り替えのプロセス

データ駆動型のアプローチにより、マウスの目的指向運動の際の鼻の動きを中心とした顔の表情を AI を用いて解析し、行動のタイミングと上述の領域のニューロン群の活動との関係を解析することで、行動前後の内的状態を明らかにすることを目的とした。

２．研究方法

＜行動実験の概要＞本研究では、マウスの顔の動きを撮影するため、頭部を固定した状態で円盤状のトレッドミルを自由に歩行できる実験装置を用い、歩行による行動課題を訓練した(図 2)。マウスは自発的に歩行運動を開始し、一定時間歩き続けると、聴覚刺激が一定時間提示された。このとき、提示期間中も歩き続けるとマイクロポンプが作動し、口元の飲み口からショ糖溶液もしくは水が供給され、マウスは舌のリッキングによって報酬としてこれを獲得することができ、これを一試行とした。マウスは次の試行開始するまでに一定時間静止するように訓練され、静止状態から次の歩行開始が明確に測定できるようにした。この行動課題を遂行している最中に、トレッドミルの回転速度やリッキングの時刻を記録し、行動の開始と終了などのタイミングを記録した。また同時に、顔面と全身をビデオカメラで撮影（60 フレーム/秒）し映像を記録した。

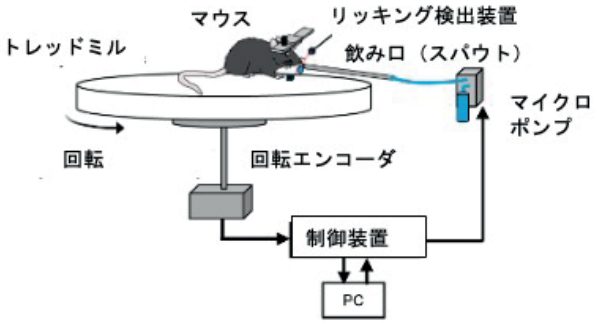


図2. マウスの行動測定装置（文献7の図を改変）
（クリエイティブ・コモンズ・ライセンス（表示4.0国際））

＜鼻の動きの解析の概要＞行動課題遂行中の鼻の動きは、動物行動用のマーカーレス姿勢推定ツールボックス DeepLabCut を用いて追跡した[8]。これにはまず、マウスの鼻に 5 つのランドマーク（鼻梁、鼻の背側中央、鼻先、上唇のすぐ上の鼻の腹側基部、および額との接合部にある鼻根）を設定し(図 3)、得られたマウスの顔の映像を用いて、学習データセットを構築した。これを用いて DeepLabCut のネットワークを学習させたモデルを作製した。このモデルをもとに、鼻の各ランドマークにおいて、フレーム単位の X-Y 座標を取得した。

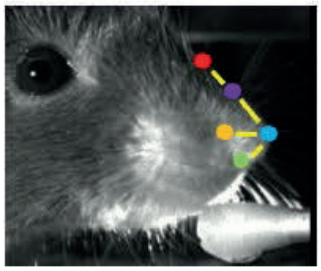


図3. 鼻の追跡部位

<鼻の運動シラブルの抽出の概要＞近年、教師なしモデリングを組み合わせることで、動画から動作モチーフを抽出することが可能になっている。本研究では、身体や顔の動きの鍵となる部位の連続的な軌跡を取り込み、自己回帰隠れマルコフモデルを用いて行動シラブル（behavioral syllables）と、その遷移のルールを推定することができる Motion Sequencing（MoSeq）およびその拡張版 Keypoint-MoSeq を用いて鼻の運動シラブルを抽出した[9]。

<神経活動の記録と解析の概要＞マウスが上述の行動課題を行っている際に、テトロード電極を用いて前頭皮質の神経細胞の電気的活動を記録した。生体信号増幅器を用いて増幅された神経信号はデジタル化し解析に用いた。

３．研究成果

行動課題遂行中のマウスの顔を撮影した動画から、Keypoint-MoSeq を用いて、鼻の動作モチーフ、すなわち「シラブル」を 93 個抽出することができた。多くのシラブルの長さは約 20 フレームであった。これらのシラブルについて、階層的クラスタリングを用いて 5 つに分類し、それぞれが、行動課題の試行中にどのようなタイミングで出現するかを検証した。図 4 に示す例では、歩行を開始し（青線は歩行の速度を示す）、試行が開始したタイミング（点線）で、その直前に出現していた第 1 シラブル（S1）の代わりに、第 2 シラブル（S2）が出現した。マウスが試行を成功させ、報酬獲得のタイミング（グリーンの線）の前後に観察されるリッキング（赤いバー）が終了すると第 3 シラブルが出現し、続いて第 4 シラブル（S4）、第 5 シラブル（S5）が出現した。多くのマウスの行動中に、こうした動作シラブルが固有の時系列パターンで出現することがわかった。これにより異なる鼻の定型的な動きが課題遂行中の特定のイベントに対応していることが示唆された。これらの結果は、報酬の獲得には必要ではない鼻の特定の動きが、目標指向行動における運動の行動開始や停止などの重要のイベントに連動する構成要素である可能性を示すものである。さらに、この鼻の動きは、課題の進行状況や運動の開始を予測するための有用な状態変数となる可能性があることを示唆している。また、同時に記録した大脳の前頭皮質の神経細胞の活動とそれぞれのシラブルが出現したタイミングを基準とした時間ヒストグラム法により、それぞれの神経細胞がどのタイミングで活動を増減したのかを検証した（図 5）。記録された神経細胞の一つについて、その発火頻度を縦軸に、シラブルが出現した時刻を 0 とした時間を横軸にして平均発火頻度をプロットすると、この例では第 2 シラブルが出現したタイミングで活動のピークが観察された。これは、この神経細胞の活動が特定のシラブルの出現と関連していることを示唆しており、このような神経活動が見られる脳領域が、行動中の鼻の動きに関与している可能性があることを示している。

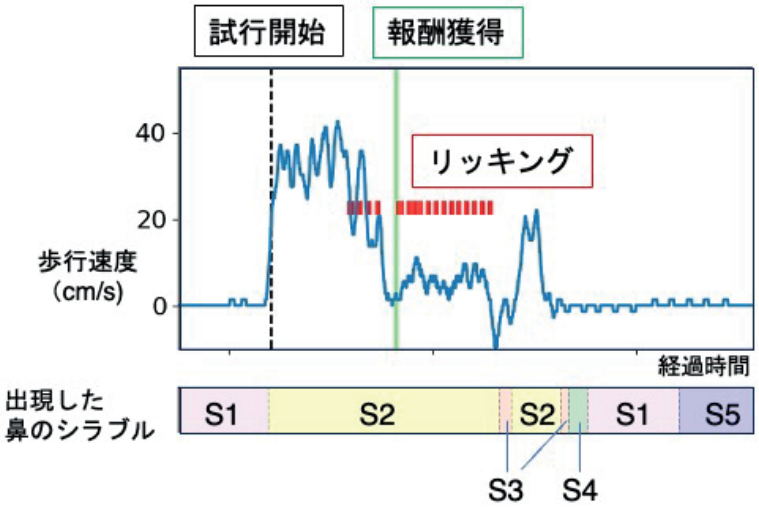


図4. 行動課題中のシラブル出現パターンの例

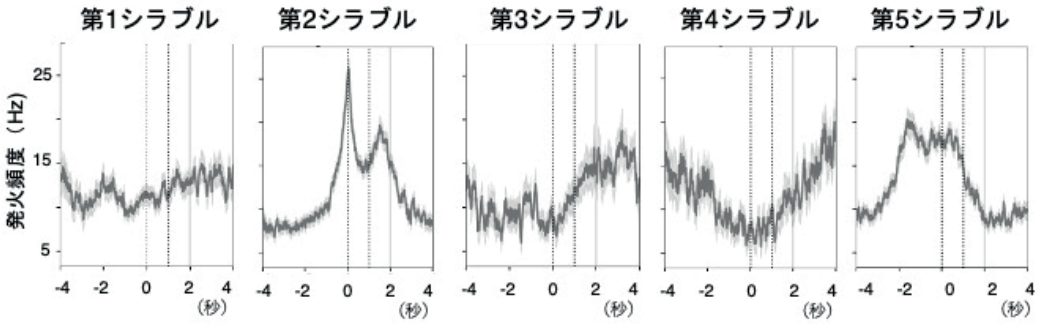


図5. シラブルの出現タイミングを基準とした神経活動の時間経過の例

４．今後の展望

上述のように、最近のハイスピードカメラによる撮影技術とAIによる画像解析法の進歩により、顔の表情から情動を推定する研究が進みつつある。先行研究では、マウスの細かな顔の動きをハイスピードカメラで撮影し、機械学習を用いた解析によって、異なる味覚刺激（甘味や苦味）によって誘発された表情の変化を捉えられることが報告されている[10]。また、報酬情報と関連してマウスの洞毛（ヒゲ）や鼻に特徴的な運動が観察され、それがドーパミン神経の活動と関連していることも報告されている[11]。歩行運動を発現する神経回路のしくみは、前脳から脊髄までの中枢神経系に広く分布しており、我々の研究グループも含めて、種を超えて国内外で最も広範に研究されているものの一つである[12]。近年、脊髄や脳幹において、歩行運動がどのように制御されるのかについての理解は大幅に進んでいる[13]。その一方で、高次機能を司る大脳皮質が、報酬情報に基づいてどのように歩行を制御しているのか、という点については依然として不明な点が多く残されている。また、自然に近い自発的な歩行行動での内的状態の神経メカニズムを明らかにすることで、マウスだけでなくサルやヒトの意思決定による行動の切り替えの脳内メカニズムへの研究アプローチの手掛かりとなることが期待される。

今後は、ニューラルネットワークでモデル化し、鼻の動きのシラブルの時間的文脈が、課題の主要な変数（合図、報酬、歩行開始）のタイミングや種類を予測できるかどうかを検証することで、指示されていない鼻の動きが目標指向型課題の構造とどのように関連しているかを明らかにできると考えている。

５．参考文献

1. Nishimaru H, Matsumoto J, Setogawa T, Nishijo H. Neuronal structures controlling locomotor behavior during active and inactive motor states. Neurosci Res. 2023, 89:83-93. doi: 10.1016/j.neures.2022.12.011.

2. Rushworth MF, Behrens TE. Choice, uncertainty and value in prefrontal and cingulate cortex. Nat Neurosci. 2008, 11(4):389-97. doi: 10.1038/nn2066.

3. Funahashi S. Prefrontal Contribution to Decision-Making under Free-Choice

Conditions. Front Neurosci. 2017 11:431. doi: 10.3389/fnins.2017.00431.

4. Murakami M, Vicente MI, Costa GM, Mainen ZF. Neural antecedents of self-initiated actions in secondary motor cortex. Nat Neurosci. 2014 17(11):1574-82. doi: 10.1038/nn.3826.

5. Zingg B, Hintiryan H, Gou L, Song MY, Bay M, Bienkowski MS, Foster NN, Yamashita S, Bowman I, Toga AW, Dong HW. Neural networks of the mouse neocortex. Cell. 2014 Feb 27;156(5):1096-111. doi: 10.1016/j.cell.2014.02.023.

6. Musall S, Kaufman MT, Juavinett AL, Gluf S, Churchland AK. Single-trial neural dynamics are dominated by richly varied movements. Nat Neurosci. 2019 22(10):1677-1686. doi: 10.1038/s41593-019-0502-4.

7. Otsuki T, Junqueira JP, Matsumoto J, Setogawa T, Uta D, Nishimaru H. Deficits in motivated behavior in a mouse model of paclitaxel-induced neuropathic pain. Physiol Behav. 2026 314:115398. doi: 10.1016/j.physbeh.2026.115398.

8. Mathis A, Mamidanna P, Cury KM, Abe T, Murthy VN, Mathis MW, Bethge M. DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. Nat Neurosci. 2018 21(9):1281-1289. doi:10.1038/s41593-018-0209-y.

9. Weinreb C, Pearl JE, Lin S, Osman MAM, Zhang L, Annapragada S, Conlin E, Hoffmann R, Makowska S, Gillis WF, Jay M, Ye S, Mathis A, Mathis MW, Pereira T, Linderman SW, Datta SR. Keypoint-MoSeq: parsing behavior by linking point tracking to pose dynamics. Nat Methods. 2024 21(7):1329-1339. doi:10.1038/s41592-0

10. Dolensek N, Gehrlach DA, Klein AS, Gogolla N. Facial expressions of emotion states and their neuronal correlates in mice. Science. 2020 368(6486):89-94. doi: 10.1126/science.aaz9468.

11. Li WR, Nakano T, Mizutani K, Matsubara T, Kawatani M, Mukai Y, Danjo T, Ito H, Aizawa H, Yamanaka A, Petersen CCH, Yoshimoto J, Yamashita T. Neural mechanisms underlying uninstructed orofacial movements during reward-based learning behaviors. Curr Biol. 2023 33(16):3436-3451.e7. doi:10.1016/j.cub.2023.07.013.

12. El Manira A and Grillner S, Current principles of motor control, with special reference to vertebrate locomotion. Physiol Rev. 2020 100(1):271-320. doi:10.1152/physrev.00015.2019.

13. Ferreira-Pinto MJ, Ruder L, Capelli P, Arber S. Connecting Circuits for Supraspinal Control of Locomotion. Neuron. 2018 100(2):361-374. doi:10.1016/j.neuron.2018.09.015.

研究題目	宿主、免疫細胞、起炎菌を三位一体として診断する新たな敗血症検査システムの確立
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・教授・仁井見　英樹
分野	医薬系
キーワード	Cell Population Data, NE-WY, 白血球バイオマーカー

１．研究の背景と目的

現在の敗血症の検査は宿主の免疫を主体とした反応のみを間接的にみているに過ぎない。我々は、宿主の診断として血漿中 ATP 濃度、免疫細胞の診断として好中球バイオマーカー NE-WY, 起炎菌の診断として血液中の菌数を測定することで、宿主、免疫細胞、起炎菌の相互作用を三位一体として診断する新たな敗血症検査システムを確立することを目指している。

敗血症は起炎菌（細菌 and/or 真菌）が血流内に感染することに始まり、白血球を主体とする免疫細胞が貪食などで対応するが、免疫力そのものは宿主のエナジー(活力)にも影響され得る。現在の敗血症の検査（体温、白血球数、CRP、プレセプシン、プロカルシトニン、等）は宿主の免疫を主体とした反応のみを間接的にみているが、宿主そのもののエナジー（活力）の指標があれば尚良いと考える。更に、起炎菌を直接検査出来れば、宿主（血漿中 ATP 量)、免疫反応（NE-WY)、起炎菌（起炎菌の同定と菌数）の三位一体の診断が可能となり、敗血症の病態をより深く、詳細に診断できるようになり、新たな敗血症検査を創出できる。

近年、自動血球計数装置（シスメックス XN シリーズ等）から得られる細胞集団データ（Cell Population Data: CPD）が、感染症の新たな白血球バイオマーカーとして注目を集めている 。XN シリーズは、半導体レーザーを用いた蛍光フローサイトメトリーにより、好中球・リンパ球・単球の活性化をリアルタイムかつ正確に検出できる。CPD は通常の血球計数と同時に、追加の機器やコストなしで迅速に取得可能という特長を持つ。

本研究では、CPD の中でも特に「好中球領域の蛍光強度分布幅（NE-WY)」に着目し、その臨床的有用性を検証したものである。NE-WY はシスメックス XN シリーズの WDF スキャッタグラム上で好中球領域の蛍光光分布幅を示す指標であり、好中球の活性化に伴う幼弱性（核酸量の増加）を反映する 。本研究群の目的は、NE-WY が菌血症の早期診断および抗菌薬治療効果の判定の双方において有用なバイオマーカーとなり得るかを明らかにすることである。そのため、以下の２つの有用性を明らかにする。

1. **診断の有用性：** 機械学習を用いて、NE-WY が菌血症の早期診断において他の指標よりも優れているかを検証し、カットオフ値を設定する。
2. **治療効果判定の有用性：** 抗菌薬治療開始後の NE-WY の経時的変化を、従来の指標（WBC、CRP 等）と比較し、治療効果の早期評価指標としての妥当性を検討する

２．研究方法

研究デザインと対象者

両研究は、富山大学附属病院において 2023 年 4 月から 2024 年 3 月の間に臨床的に菌血症が疑われ血液培養が提出された成人患者を対象とした、単施設後ろ向き観察研究である。倫理委員会の承認（承認番号 R2019124）のもと、ヘルシンキ宣言に準拠して実施された。菌血症は血液培養 1 セット以上から細菌が分離された場合と定義し、低毒性菌（コアグラーゼ陰性ブドウ球菌等）が単一ボトルのみから検出された場合は汚染として除外した。計 1,169 例の中から抗菌薬投与後の培養提出例、検査データ不備例、悪性腫瘍・自己炎症疾患合併例、真菌血症例を除外した結果、菌血症疑い 533 例が抽出された。そのうち菌血症群 106 例、非菌血症群 427 例が確認された。

機械学習を用いた菌血症診断の有用性検証

菌血症群と非菌血症群の背景因子（発熱・性別・年齢）の偏りを排除するため、キャリパー幅 0.20SD を用いたプロペンシティスコアマッチングを 1:1 で実施し、各群 106 例（計 212 例）を解析対象とした。各パラメータ（NE-WY、WBC、Hb、Plt、CRP）について Welch の t 検定と ROC 曲線分析を行い、菌血症診断能を評価した。さらに、212 例を学習データ（n=142）と検証データ（n=70）に 2:1 で分割し、決定木（分岐深さ最大 4、最小分岐数 n=20）およびサポートベクターマシン（SVM、RBF カーネル）による機械学習を実施した。

抗菌薬治療中の経時的変化の解析

菌血症 106 例のうち初期抗菌薬治療が奏効し、かつ連続した検査データが得られた 54 例を対象とした。血液培養提出日を Day 0 とし、Day 9 までの 10 日間にわたる NE-WY・WBC・好中球数（Neut）・CRP・血小板数（Plt）の推移を追跡した。欠損値は LOCF（Last Observation Carried Forward）法で補完し（全データの 50.9%に適用）、各マーカーの生値の推移と「Day 0 を 100%、基準値を 0%とした変化率」を算出して比較した。

３．研究成果

決定木解析の結果

機械学習において、NE-WY は「第 1 分岐」の変数として抽出された（**図 1**）。これは、初期トリアージにおいて NE-WY が最も決定的な独立予測因子であることを意味する。

NE-WY による菌血症の早期診断とカットオフ値の同定

プロペンシティスコアマッチング後の解析において、菌血症群と非菌血症群の間で最も大きな有意差を示したのは NE-WY であった（Cohen's $d = 0.788$、$p < 0.0001$）。ROC 曲線分析の結果、NE-WY の AUC は 0.768（感度 73.6%、特異度 67.9%、カットオフ値 686.5）であり、次点の CRP（AUC 0.661）や WBC（AUC 0.581）を大きく上回る優れた診断能を示した（**図 2**）。

抗菌薬治療における NE-WY の迅速な経時的変化

初期治療が奏効した菌血症 54 例における経時的変化の解析から、NE-WY は他の既存マーカーよりも迅速に変動し、治療効果を早期に反映することが明らかになった（Data not shown）。NE-WY は Day 0 から Day 1 にかけてほぼ横ばいで推移した後、Day 2 から急速に低下し始め、Day 3 の時点でほぼ基準値付近まで低下しプラトーに達した。一方、CRP は Day 1 まで上昇を続け、Day 3 からようやく低下し始め、Day 9 においても基準値には達しなかった。すなわち、NE-WY は CRP よりも約 1 日早くピークを迎え、はるかに早期に基準値へ復帰することが示された。つまり、NE-WY は従来の炎症マーカーよりも迅速に治療反応を反映することが明らかになった。以下、まとめると、

- **ピークの早期到達：** NE-WY は CRP よりも約 1 日早くピークを迎え、その後速やかに減少に転じる。
- **ベースラインへの回復：** NE-WY は Day 3 にはほぼ正常範囲まで低下したが、CRP は Day 9 時点でも高値を維持した。
- **誤差の少なさ：** WBC や Neut と比較しても、NE-WY は誤差範囲（エラーバー）が狭く、より安定した挙動を示した。

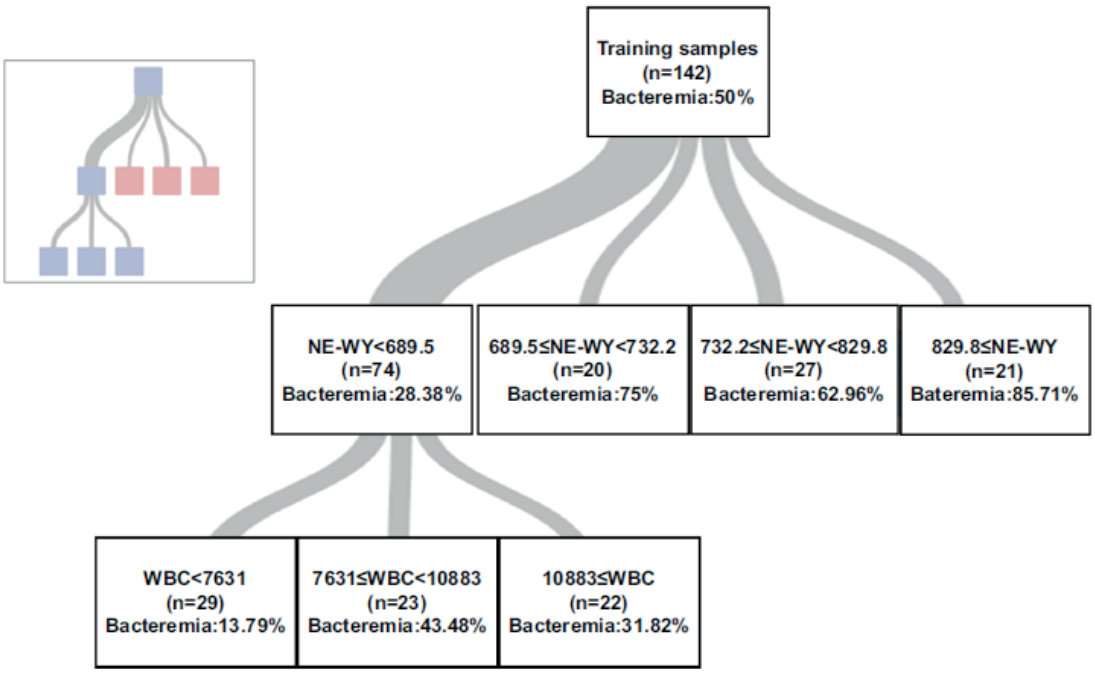


図１．機械学習を用いて作成された、菌血症を識別するための決定木

全 212 症例のうち 142 例を学習データとして用いて決定木を作成。最初の分岐は NE-WY によって定義され、NE-WY が 689.5 未満の場合には、WBC によるさらなる分岐が設定された。

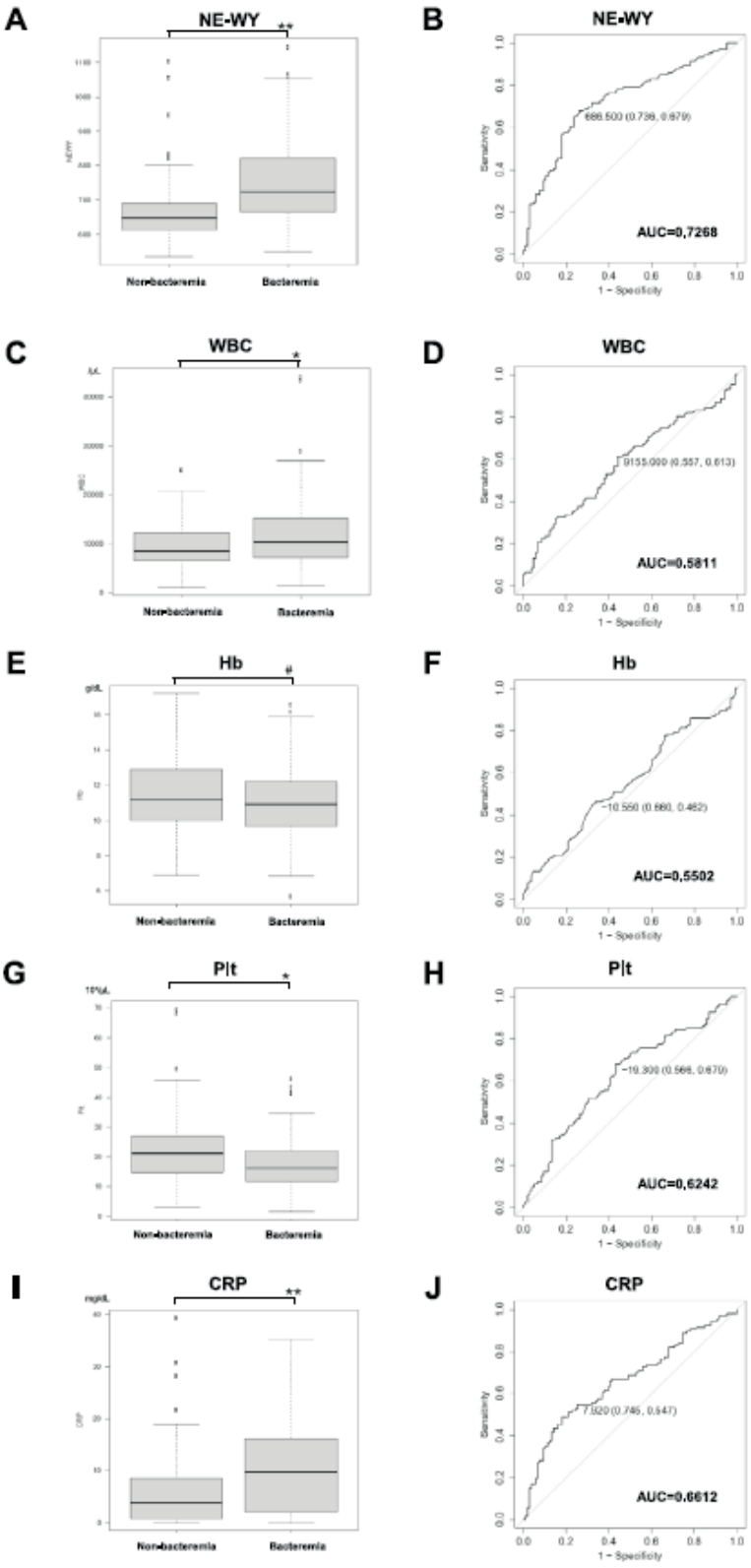


図２．左）菌血症群と非菌血症群の間で各種パラメータを比較した箱ひげ図
右）菌血症を識別するための ROC 曲線および AUC

４．今後の展望

本研究群により、シスメックス XN シリーズから得られる NE-WY は、菌血症の早期診断のみならず、抗菌薬の治療効果判定においても極めて有用な新規バイオマーカーであることが初めて実証された。NE-WY は、CRP などの生化学的マーカーよりも早く血中動態が変動し早期の診断と治療効果の判定を可能にするという「迅速性」と、通常の全自動血球計数検査と同時に測定されるため追加の採血・機器・コストを一切必要としないという「簡便性・低コスト性」という 2 つの大きな利点を持つ。

臨床現場において NE-WY（カットオフ値 ≈690）を活用することで、菌血症の早期発見による予後改善が期待できる。さらに、治療開始後の NE-WY の迅速な低下を確認することで、感染の終息を早期に検知し、不必要な抗菌薬投与期間の短縮（Antimicrobial Stewardship）に貢献し得る。世界保健機関（WHO）は薬剤耐性菌（AMR）が 2050 年までに年間 1,000 万人の死亡原因となり、がんを超える死因となると予測しており 、NE-WY を活用した抗菌薬の適正使用は AMR 対策および医療費削減の観点からも重要な意義を持つ。

今後の課題としては、本研究が単施設後ろ向き研究であったため、多施設共同の前向き研究による知見の再現性確認が求められる。また、NE-WY と他の CPD パラメータや既存マーカーを組み合わせた、より精度の高い機械学習ベースの敗血症予測スコアの構築が期待される。さらに、NE-WY の変化が時間単位で生じる可能性があることから、より短い間隔（6〜12 時間ごと）での測定による早期変化の検出も今後の研究課題として挙げられる。

５．参考文献

1. Fleischmann C, et al. Assessment of global incidence and mortality of hospital-treated Sepsis. Am J Respir Crit Care Med. 2016; 193: 259-272. doi:10.1164/rccm.201504-0781OC
2. Sinha M, et al. Emerging technologies for molecular diagnosis of sepsis. Clin Microbiol Rev. 2018; 31: e00089-17. doi:10.1128/CMR.00089-17
3. Urrechaga E, et al. Improvement in detecting sepsis using leukocyte cell population data (CPD). Clin Chem Lab Med. 2019; 57: 918-926. doi:10.1515/cclm-2018-0979
4. Park SH, et al. Sepsis affects most routine and cell population data (CPD) obtained using the Sysmex XN-2000 blood cell analyzer: neutrophil-related CPD NE-SFL and NE-WY provide information for detecting sepsis. Int J Lab Hematol. 2015; 37: 190-198. doi:10.1111/ijlh.12261
5. Horie S, et al. Machine learning based analysis of leucocyte cell population data by Sysmex XN series hematology analyzer for the diagnosis of bacteremia. Scientific Reports. 2025; 15: 29078. doi:10.1038/s41598-025-14554-3
6. Horie S, et al. The Leucocyte Cell Population Data as Measured by the Sysmex XN-Series Hematology Analyzer changes more rapidly over time than other biomarkers during the treatment of Bacteremia. (Manuscript under review)

研究題目	炎症性腸疾患薬剤選択 biomarker set の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・特命教授・渡辺憲治
分野	消化器内科
キーワード	炎症性腸疾患、biomarker

１．研究の背景と目的

この研究は、炎症性腸疾患の病態や難治化に関与していると言われる *MEFV* 遺伝子多型等を含めた biomarker を検討する。薬剤選択や有効性予測に関する個別の biomarker の報告は散見されるが、今後、アジアは世界一の炎症性腸疾患患者数の地域になるため、遺伝子学的背景が欧米と異なる本邦の炎症性腸疾患患者で検討する意義がある。

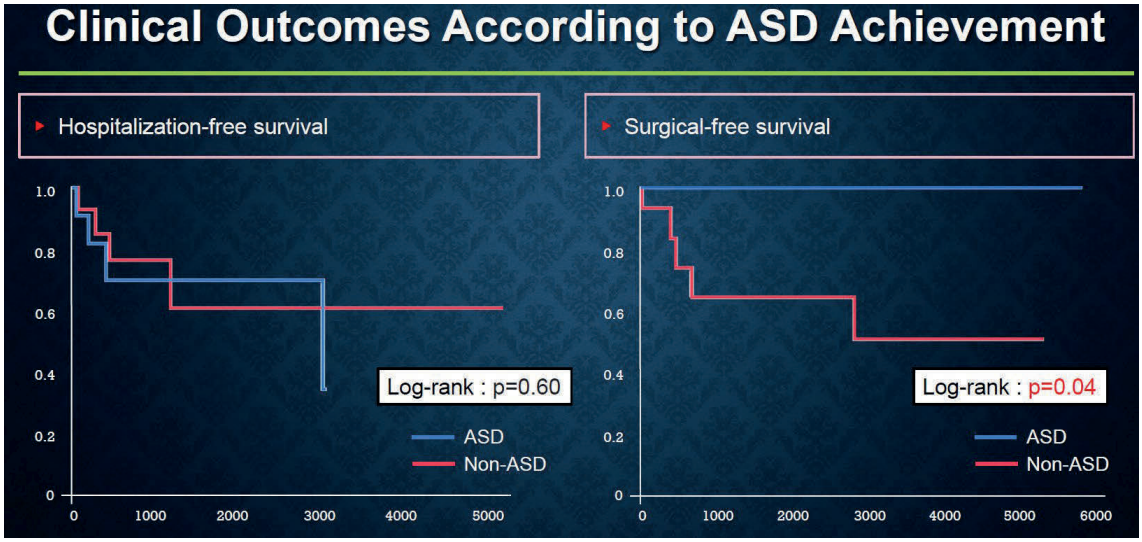
２．研究方法

研究を実施するために、難治性炎症性腸疾患の要因として近年注目されている *MEFV* 遺伝子関連腸炎（Nakase H, Watanabe K, et al. EBioMedicine. 2024 Dec;110:105454）について、当院の症例を内科治療抵抗例および難治要因となる腸管外合併症の観点から検討した。一方、IBD のうちクローン病の入院や手術の主要因となる小腸狭窄病変のマネージメントについて、当科の診療データを検討した。更に、国内の IBD 治療の情勢における biomarker の意義や biomarker の一つである leucine-rich alpha-2 glycoprotein (LRG)についての検討を論文発表した。

３．研究成果

MEFV 遺伝子関連腸炎に対する分子標的薬治療の有効性は、抗 TNFα 抗体製剤が 20 例（71%）で、有効 16 例（80%）だったが、9 例(45%)が二次無効等で期間短縮投与を要した。抗 IL-12/23 系抗体製剤は 8 例（29%）中 6 例（うち 75%）が有効、JAK 阻害薬は 6 例（21%）中 4 例（67%）が有効、tacrolimus は 4 例（14%）全例が有効だった。AT 投与 23 例中 12 例（52%）で 2 剤以上投与歴があり（7 例 E148Q 変異有）、13 例（57%）が腸管病変寛解導入後も腸管外合併症症状が残った（10 例 E148Q 変異有）。本疾患は multi-failure 例や腸管病変寛解導入後も腸管外合併症に追加治療を要する例も多く、全身疾患として総合的な治療を要した。

クローン病小腸狭窄に対する内視鏡的バルーン拡張術の検討では、全狭窄内視鏡的バルーン拡張術施行 10 例は全例内科治療で狭窄部炎症軽快後に全狭窄拡張しており、外科手術移行例は無かったが､拡張径不十分等による内視鏡的バルーン拡張術後の腸閉塞入院率は 30.0%だった。（下図）内科的治療による狭窄部の炎症消退と全線開通に至る内視鏡技術の融合が手術回避に至る要因と思われた。



また、こうした炎症性腸疾患の分子標的薬による炎症軽快に対する biomarker 診療の意義について検討し、クローン病では累積臨床的寛解維持率と累積 biomarker 的寛解維持率は、１年で 67.1%と 62.8%、３年で 58.7%と 43.1%だった。寛解導入療法開始時からの累積 biomarker 的寛解率は累積臨床的寛解率より有意に時間を要し（p<0.01）、寛解導入療法開始時からの累積臨床的再燃率は累積 biomarker 的再燃率より長い時間を要する傾向があった。(p=0.11)。一方、潰瘍性大腸炎では、累積臨床的寛解維持率と累積 biomarker 的寛解維持率は１年で 81.5%と 58.8%、2 年で 65.2%と 51.4%だった。寛解導入療法開始時からの累積臨床的寛解率は累積 biomarker 的寛解率と差が無く（p=0.97）、臨床的寛解開始時からの累積 biomarker 的再燃率は累積臨床的再燃率より高い傾向があった（p=0.13）。

４．今後の展望

現在、MEFV 遺伝子関連腸炎とクローン病小腸狭窄内視鏡的バルーン拡張術のデータは英文論文作成中で、臨床的寛解と biomarker 的寛解に関するデータは、本年の第 17 回日本炎症性腸疾患学会学術集会で本学学生が学会発表を行う。

今後、こうした知見も活かし、本年４月から新たに開始された厚生労働科学研究費補助金難治性疾患政策研究事業「難治性炎症性腸管障害に関する調査研究」班（松岡班）で、biomarker による treat to target 診療戦略の本邦のコンセンサス形成や診療の標準化に関するプロジェクトリーダーに就任することとなった。本邦独自の高精度で患者予後向上に寄与する成果をあげて参りたい。

５．参考文献

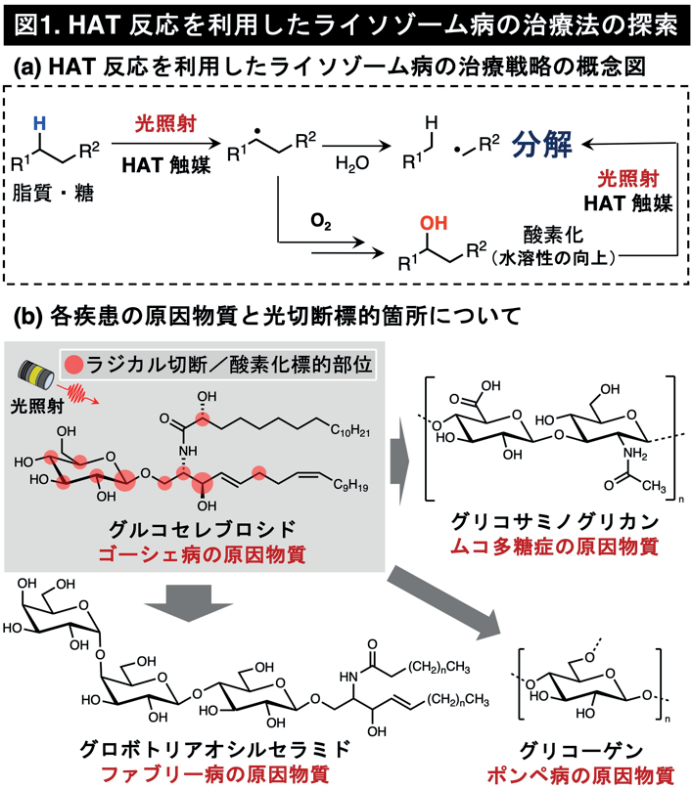
１．Nakase H, Watanabe K, et al. Involvement of Mediterranean fever gene mutations in colchicine-responsive enterocolitis: a retrospective cohort study. EBioMedicine. 2024 Dec;110:105454

２．Okita M, Watanabe K, et al. Diagnostic Accuracy and Cut-Off Values of Serum Leucine-Rich Alpha-2 Glycoprotein for Crohn's Disease Activity in the Small Bowel. J Gastroenterol. 2025;60:573-582
３．渡辺憲治、他. Multi-option 時代の潰瘍性大腸炎治療：今再び，既存治療を問う．日本消化器病学会雑誌 2025;122:469-478

研究題目	近赤外光駆動型 HAT 触媒を利用したライソゾーム病の新規光治療法の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部 薬学・和漢系・助教・谷岡卓
分野	化学系薬学
キーワード	水素原子移動（HAT）触媒反応・近赤外光・ライソゾーム病

１．研究の背景と目的

ゴーシェ病やファブリー病に代表される「ライソゾーム病」は、ライソゾーム内の特定の酵素の欠損により引き起こされる病気である。酵素補充療法や基質合成抑制療法などの対処療法は存在するものの、根本的な治療法が存在しないため、指定難病の対象となっている。ライソゾーム病の発症を抑制するには、ライソゾーム内に蓄積する「脂質」や「ムコ多糖」を取り除くことが重要であるが、これらは安定な分子であるため従来の医薬品等で分解・除去することは困難であった。



水素移動（HAT）触媒は、安定な炭化水素から水素原子を引き抜くことでラジカル分解を引き起こすことが可能であり、原理的に「脂質」や「ムコ多糖」なども直接光分解することが可能である（図 1a）。さらに、ライゾゾーム病の原因物質は、類似の糖構造や脂質構造を有しているので、HAT 反応を利用した治療はライソゾーム病全体に有効な治療法となる可能性を有している（図 1b）。さらに HAT 反応の駆動力として光エネルギーが利用可能であるため、HAT 触媒は光治療としての可能性を有しているが、これまでに報告されていた HAT 触媒は、生体に対する光透過性が低い「紫外光～青色光」しか利用できなかったため、生体応用の可能性については注目されていなかった。近年になって、可視光色素であるエオシン Y という化合物が緑色光を照射した場合でも HAT 反応を起こすことが報告された（図 2）。しかし、『生体の光学窓』と呼ばれる生体光透過性に優れた波長 650 nm~1000 nm の『赤色～近赤外光』を利用可能な HAT 触媒の開発は全くの未解明の領域であった。そこでまずは HAT 反応をライソゾーム病の治療法として利用するために、生体透過性の高い赤色・近赤外光を利用可能な HAT 触媒の開発に着手した。

２．研究方法

本研究では開発した光触媒の HAT 触媒活性を次のように評価した。まず、HAT 基質および反応で生じるラジカル中間体を捕捉するためのラジカルアクセプターの混合溶液に、開発した光触媒 1 もしくは 2 を加え 60 ºC で光照射行った。そして、それぞれの反応収率から活性の高さ（適応可能な基質範囲）を推定した。光照射光源としては Kessil 社製の固定波長光源である、PR-160L-427 (427 nm : 青色光)、PR-160L-640 (640 nm : 赤色光)、および PR-160L-740 (740 nm : 近赤外光) を用いた。

３．研究成果

赤色や近赤外領域の光を利用可能な HAT 触媒を創出するために、申請者は既存の HAT 触媒の構造修飾による長波長化戦略が有効であると考えた。すなわち、有機分子の光吸収波長はπ共役系の広さと相関するため、既存の光 HAT 触媒の π 共役系を適切に拡張することで、HAT 触媒性能を維持しつつ、赤色・近赤外光を利用可能な触媒を創出できると仮定した。この仮説を検証すべく、HAT 触媒の中でも比較的長波長の青色や緑色の光を利用可能なエオシン Y に着目した（図 2)。エオシン Y のπ共役系を拡張する方法として、①キサンテン骨格部分にベンゼン環を追加することで共役系を拡張する方法（図 2 上段 : 触媒 1）と、②エオシン Y のベンゼンカルボン酸部分をキサンテン骨格に連結し、π共役系に組み込むことで拡張する方法（図 2 下段 : 触媒 2)、の 2 通りが考えられる。HAT 触媒性能はπ共役系の拡張方法によっても大きく変化するため、本研究ではまずこの 2 通りの拡張戦略を検討した。

図2. エオシンYを基盤とした赤色・近赤外 HAT 触媒の開発

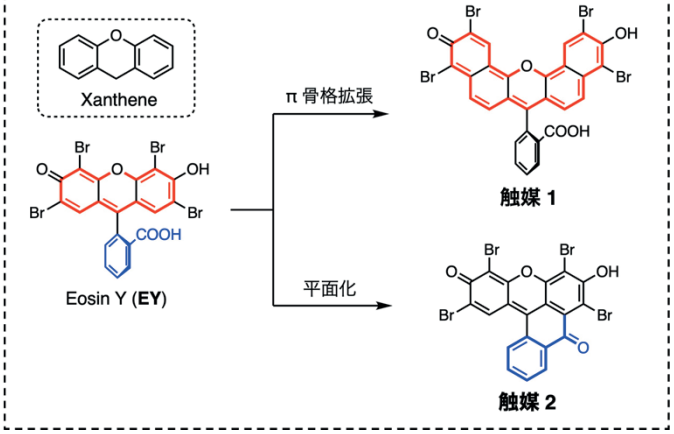
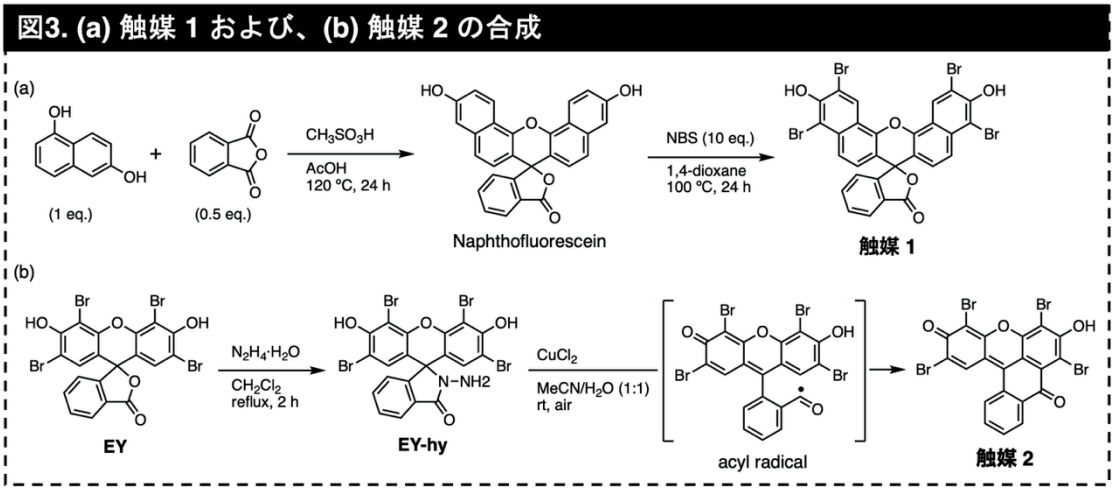
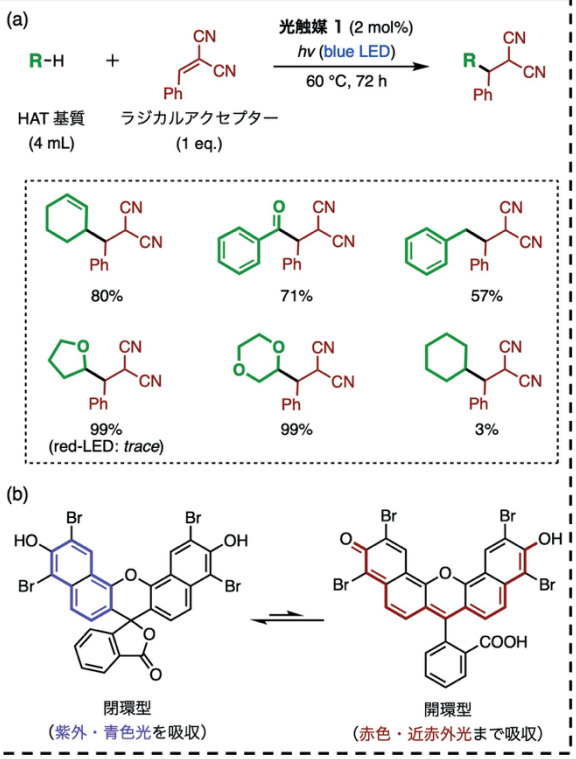


図3. (a) 触媒 1 および、(b) 触媒 2 の合成



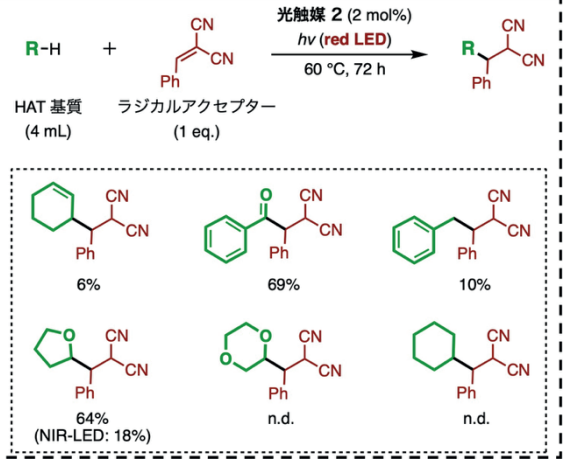
まず、触媒 1 は既報[1] に沿って合成したナフトフルオレセインに 4 つの臭素を導入することで合成した（図 3a）。種々の反応溶媒・臭素化剤を検討した結果、1,4-dioxane 溶液中で 10 当量の *N*-ブロモスクシンイミド（NBS）を加え、100 ºC で一晩加熱攪拌することで触媒 1 を効率的に合成できることがわかった。続いて触媒 2 は、以前に我々が見出していた濃硫酸中でのカルボニル部位の直接環化の方法では、エオシン Y の臭素原子が脱離して分解してしまい合成できないことがわかった[2]。そこで、ラジカル環化を利用した温和な分子内カルボニル架橋法の開発に取り組んだ（図 3b）。具体的には、エオシン Y のカルボン酸部分をヒドラジド化し[3]、その後、2 価の銅塩を用いた酸化的脱窒素を伴ったアシルラジカルの分子内環化によって触媒 2 を合成できると着想した。種々条件を検討した結果、水・アセトニトリル混合溶媒中でエオシン Y ヒドラジド（EY-hy）に対して 10 当量の塩化銅（II）を加えることで、触媒 2 を合成することに成功した。

図4. 触媒1の HAT 触媒活性と平衡分子種について



続いて合成した光触媒の HAT 触媒活性の評価を行った。光反応の条件はエオシン Y の HAT 反応に関する研究の論文[4] を参考にした。まず青色光照射時、触媒 1 はエオシン Y と同等の HAT 触媒活性を示した。例えば、アルデヒドやベンジル位の水素、エーテルやアルケンの α 位水素など、様々な種類の水素原子をラジカル的に引き抜くことが可能であった（図 4a）。一方で、赤色光を利用した際は触媒活性の大きな低下が観測された。キサンテン色素類は一般的に、可視光領域にほとんど吸収を示さないラクトン型（閉環型）とキサンテン骨格の共役系が繋がり可視域に強い吸収を示すキノイド型（開環型）の平衡種として存在することが知られている。触媒 1 はキノイド型では赤色・近赤外領域に強い吸収を示す触媒であるが、検討の結果、触媒 1 は本反応条件ではラクトン型（閉環型）で大部分が存在し、赤色光の吸収効率が悪いことがわかった（図 4b）。そこで、触媒 1 に酸としてメタンスルホン酸を添加する条件で光反応を行った結

図5. 触媒 2 の HAT 触媒活性について



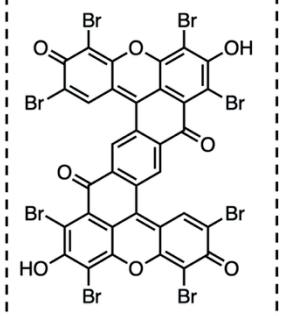
果、触媒がキノイド型になったことで赤色光も利用可能であった。しかしながら、生体応用を考えると応用展開が難しいため、触媒 1 は当初の目的である生体応用には適していないことが示唆された。

触媒に赤色・近赤外光を吸収できない分子種が存在する場合、反応条件によっては利用できないことがわかったため、続いて、常に赤色から近赤外領域にかけて強い吸収を示す光触媒 2 の HAT 触媒活性を評価した。その結果、触媒 2 は赤色光を利用した条件でも HAT 反応が進行することがわかった（図 5）。さらに、収率は低下するものの近赤外光（740 nm）を用いた場合でも反応が進行した。HAT 触媒活性の強さについては、触媒自身の溶解性の問題から触媒 1 と比較するとやや低下しているものの、エーテルやアルデヒドなどに対して高い活性を有することがわかった。

４．今後の展望

このように本研究では、生体の光治療に適した赤色および近赤外光を利用可能な HAT 触媒の開発に成功した。現在は開発した触媒群を基盤として、触媒 2 を二量化させたような触媒 3 の活性評価を行なっており、こちらは近赤外領域の光を利用したベンズアルデヒドの HAT 反応が可能であることがわかっている（図 6）。また、生体応用を目指し、多糖類のグリコシド結合を選択的に切断する光反応条件の探索を進めており、セロビオースをモデル基質とした反応において基質の分解が観察されている。本研究は最終的な生体応用に向けては未だ課題は多いものの、今後の継続的な研究により生体糖脂質の分解が可能な HAT 型光薬剤の開発を実現できると考えている。

図6. 触媒 3 の化学構造



５．参考文献

１．高畑 梨花、竹澤 良太、森井 清二，高純度のフルオレセイン類化合物およびその製造方法，特開 2020-83798(P2020-83798A).

２． Tanioka, M.; Kuromiya, A.; Ueda, R.; Obata, T.; Muranaka, A.; Uchiyama, M.; Kamino, S. Bridged eosin Y: a visible and near-infrared photoredox catalyst, *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 7825–7828.

３． Chakraborty, A.; Rajana, V.K.; Saritha, C.; Srivastava, A.; Mandal, D.; Das, N., A new Eosin Y-based 'turn-on' fluorescent sensor for ratiometric sensing of toxic mercury ion (Hg^{2+}) offering unaided eye detection and its antibacterial activity, *J. Hazard. Mater.* **2024**, *470*, 134207.

4. Fan, X. Z.; Rong, J. W.; Wu, H. L.; Zhou, Q.; Deng, H. P.; Tan, J. D.; Xue, C. W.; Wu, L. Z.; Tao, H. R.; Wu, J. Eosin Y as a Direct Hydrogen-Atom Transfer Photocatalyst for the Functionalization of C-H Bonds. *Angew. Chem., Int. Ed*. **2018**, *57*, 8514–8518.

研究題目	粘膜組織の効率的な IgA 抗体誘導に向けた TRAF5 を介した機序の解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・助教・國石茉里
分野	免疫学
キーワード	IgA, TRAF5, 抗体産生

1. 研究の背景と目的

免疫グロブリン A（IgA）は、腸管や気道などの粘膜組織において病原体や異物の侵入を防ぐ主要な抗体であり、生体防御の最前線を担っている。近年、新興・再興感染症への対応やワクチン開発の観点から、粘膜組織において効率的に IgA 抗体を誘導する技術の重要性が高まっている（Kwon DI, et al., 2025）。

IgA 抗体産生には、B 細胞におけるクラススイッチ組換えが必須である。この過程には T 細胞依存性免疫応答と T 細胞非依存性免疫応答が関与することが知られている。T 細胞依存性免疫応答では、T 細胞が発現する CD40L と B 細胞が発現する CD40 との相互作用に加え、TGF-β などのサイトカインが IgA へのクラススイッチ組換えの誘導に重要な役割を果たす。一方、T 細胞非依存性免疫応答では、APRIL（A Proliferation-Inducing Ligand）や BAFF（B-cell Activating Factor）が、TNF 受容体ファミリーに属する TACI（Transmembrane Activator and CAML Interactor）を介して IgA へのクラススイッチ組換えを誘導することが知られている（He B, et al. 2010）。しかしながら、TACI から核内へ伝達されるシグナル伝達機構については未解明な部分あり、IgA 産生を制御する分子機構の全体像は明らかになっていない。

研究代表者らはこれまで、TNF 受容体ファミリーの細胞内アダプタータンパク質である TRAF5（TNF receptor-associated factor 5）に着目して研究を進めてきた。TRAF5 は、TNF 受容体ファミリーの一つである CD40 シグナルを制御する分子として同定された（Nakano H et al., 1999）。その後、TRAF5 は IL-6 受容体や IL-27 受容体複合体を構成する gp130 下流においても負の制御因子として機能することが明らかになっている（Nagashima H, et al., 2014; Kawahara E, et al., 2022）。このように TRAF5 は、複数の免疫関連受容体シグナルを制御する分子として注目されている。

さらに研究代表者らは、Traf5 欠損マウスを用いた解析から、TRAF5 が抗体産生応答に重要な役割を果たすことを見出してきた（Hikosaka-Kuniishi M et al., 2024）。*Traf5* 欠損マウスでは T 細胞依存性抗体応答が低下し、CD40 刺激によって誘導される胚中心 B 細胞の形成にも異常が認められた。これらの結果は、TRAF5 が B 細胞機能および抗体産生制御に関与する可能性を示唆している。

一方、APRIL が TACI に結合すると、受容体細胞内領域には TRAF2、TRAF5 および

TRAF6 が集積することが報告されている（He B, et al., 2010）。しかし、この TRAF5 分子が TACI シグナルを介した IgA 産生をどのように制御しているのかについては十分に解明されていない。

そこで本研究では、TRAF5 が APRIL-TACI シグナル、さらには CD40 を介した IgA クラススイッチ組換えの誘導に果たす役割を明らかにするとともに、生体内における抗体応答への関与について検討した。さらに、得られた知見を基盤として IgA 産生を促進する新規アゴニストタンパク質の創製および機能評価を行い、粘膜ワクチン開発への応用可能性について検討することを目的とした。

２．研究方法

（１）CD40 刺激による抗体クラススイッチ組換え関連因子発現の解析

TRAF5 が B 細胞における抗体産生制御に果たす役割を解析するため、野生型マウスおよび *Traf5* 欠損マウスの脾臓より B 細胞を単離した。単離した B 細胞は、過去に我々の研究室で作製した CD40L アゴニストタンパク質（Hikosaka-Kuniishi M, et al., 2024）とともに培養し、抗体クラススイッチ組換えに必須な酵素 Activation-induced cytidine deaminase（AID）をコードする *Aicda* 遺伝子の発現量をリアルタイム PCR 法により解析した。得られた結果から、TRAF5 が CD40 シグナルを介したクラススイッチ組換え関連遺伝子発現制御に及ぼす影響について評価した。

（２）APRIL 刺激による TRAF5 による IgA クラススイッチ組換えの制御機構の解析

TRAF5 が APRIL 誘導性 IgA 産生に果たす役割を解析するため、野生型マウスおよび *Traf5* 欠損マウスの脾臓より B 細胞を単離した。単離した B 細胞を APRIL 存在下で培養し、培養上清中の IgA 抗体量を ELISA 法により測定した。また、*Aicda* 発現量をリアルタイム PCR 法により解析した。これらの結果を比較することで、TRAF5 が APRIL-TACI シグナルを介した IgA 産生およびクラススイッチ組換えの制御に関与するか検討した。

（３）*in vivo* 抗体応答の評価

TRAF5 が生体内の抗体産生応答に及ぼす影響を解析するため、APRIL が関与するとされる T 細胞非依存性 2 型モデル抗原 2,4,6-trinitrophenyl-conjugated Ficoll（TNP-Ficoll)を野生型マウスおよび *Traf5* 欠損マウスへ投与した。投与後に採血を行い、血清中の TNP 特異的 IgG3 抗体価を ELISA 法により測定した。得られた結果を比較することで、TRAF5 が T 細胞非依存性抗体応答に果たす役割について評価した。

（４）IgA 産生促進アゴニストタンパク質の作製と評価

APRIL の生物活性を基盤として、新規 IgA 産生促進アゴニストタンパク質を設計・作製した。作製したタンパク質について受容体結合能を解析するとともに、マウス B 細胞培養系

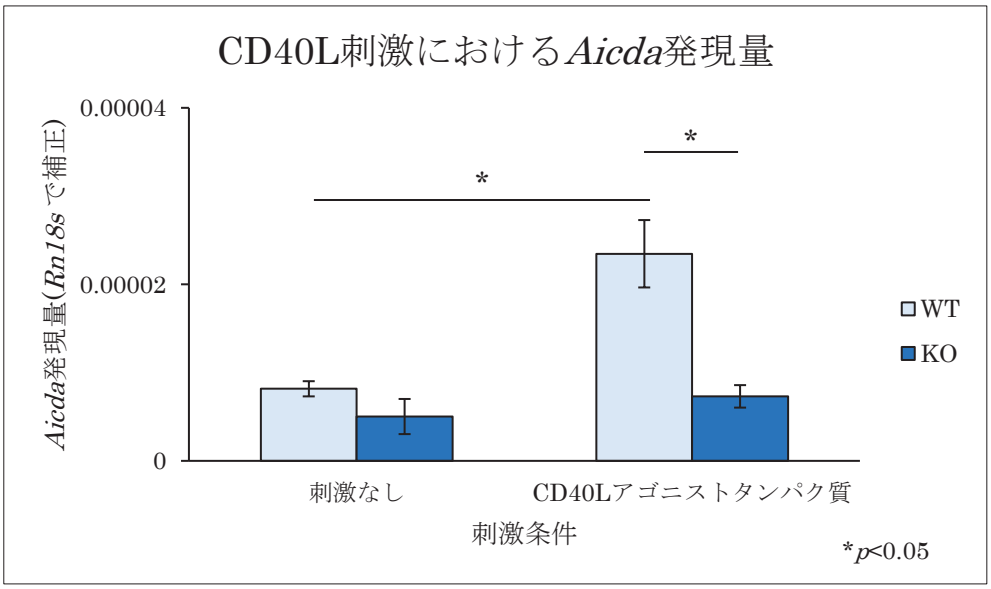
を用いて機能評価を行った。具体的には、*Aicda* 発現量をリアルタイム PCR 法により測定し、さらに培養上清中の IgA 抗体産生量を ELISA 法により評価した。これらの解析により、作製したタンパク質が IgA クラススイッチ組換えおよび IgA 産生を誘導できるか検討した。

３．研究成果

（１）TRAF5 は CD40 刺激によるクラススイッチ組換え関連遺伝子 *Aicda* の発現を制御する

研究代表者らはこれまでに、細胞内アダプタータンパク質 TRAF5 が B 細胞における抗体産生応答の制御に重要な役割を果たすことを明らかにしてきた。CD40 刺激は、クラススイッチ組換えに重要な刺激であることから、クラススイッチ組換えへの TRAF5 の関与の可能性を考えた。そこで、野生型マウスおよび *Traf5* 欠損マウス由来 B 細胞を CD40L で刺激したところ、クラススイッチ組換えに必須な *Aicda* の発現誘導が *Traf5* 欠損 B 細胞において低下した（図 1)(Wakaizumi T, et al., 2025)。この結果は、TRAF5 が CD40 シグナルを介した抗体クラススイッチ組換えの制御に関与することを示している。

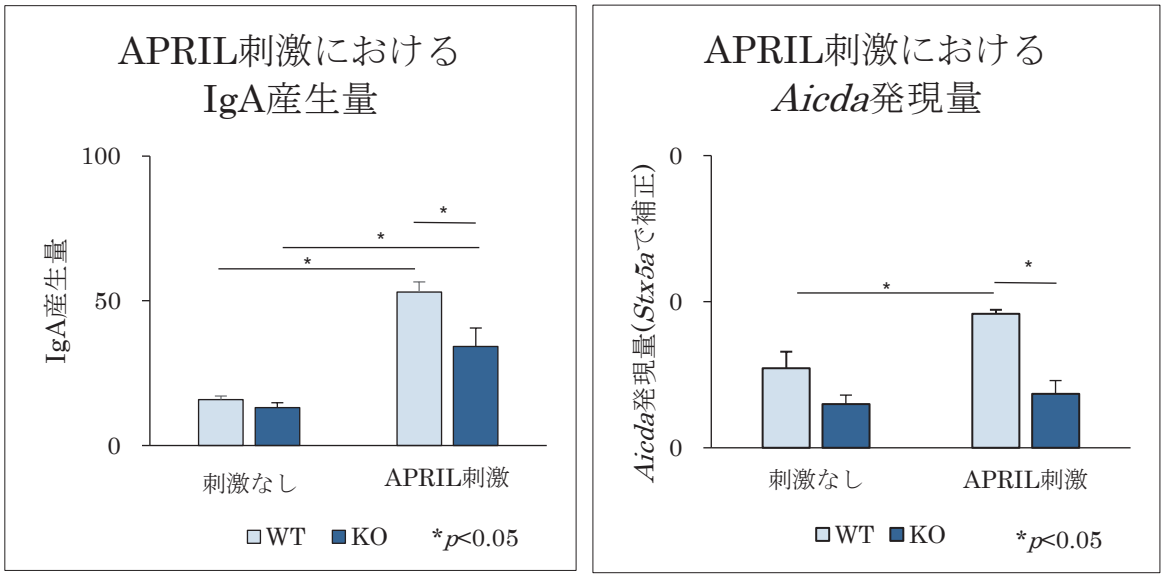
（図 1：CD40 刺激における TRAF5 依存的な *Aicda* 発現制御）



（２）TRAF5 は APRIL 誘導性 IgA 産生を制御する

次に、TRAF5 が APRIL-TACI シグナルを介した IgA 産生に関与するか検討した。野生型マウスおよび *Traf5* 欠損マウス由来 B 細胞を APRIL 存在下で培養した結果、*Traf5* 欠損 B 細胞では IgA 産生が著しく低下した(図 2 左)。また、*Aicda* 発現誘導も低下していた(図 2 右)。これらの結果から、TRAF5 は CD40 シグナルのみならず、APRIL-シグナル経路においても IgA クラススイッチ組換えに関与する重要な分子であることが示された。

（図 2：APRIL 刺激による *Aicda* 発現および IgA 産生に対する TRAF5 の影響）



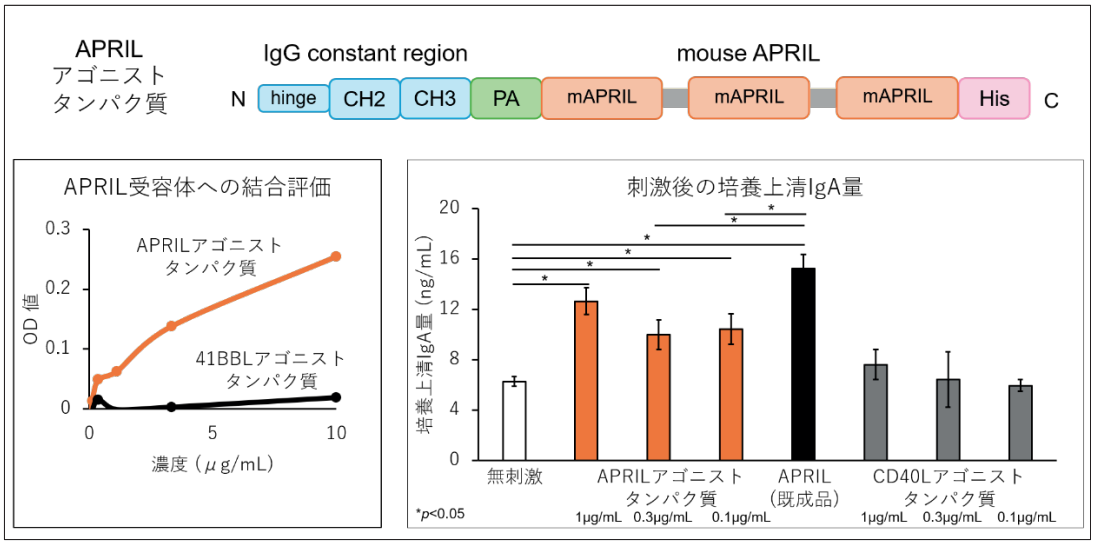
（3）TRAF5 は T 細胞非依存性抗体応答に関与する可能性が示された

TRAF5 が生体内の抗体応答に及ぼす影響を解析するため、T 細胞非依存性 2 型抗原である TNP-Ficoll を用いた免疫応答解析系を構築した。その結果、TRAF5 が T 細胞非依存性抗体応答にも関与する可能性を示す知見が得られた。この結果から、TRAF5 は IgA 産生のみならず広範な抗体応答制御に関与している可能性が考えられた。現在、その分子機構についてさらなる解析を進めている。

（4）IgA 産生促進アゴニストタンパク質の開発

APRIL の活性に着目し、IgA 産生を効率的に誘導する新規アゴニストタンパク質の開発を試みた。申請代表者らの先行研究では、APRIL と同様の TNF 受容体スーパーファミリーの一つである OX40L アゴニストタンパク質の構造差によって免疫応答が変化することを見出している(Sato A, et al., 2025)。この構造をもとに OX40L の部分を APRIL 遺伝子におきかえた（図 3）。そして、そのベクターを HEK293T 細胞へトランスフェクションし、培養上清を回収、その後 Protein A カラムにて精製したものを APRIL アゴニストタンパク質として使用した。その結果、本タンパク質は APRIL 受容体に結合すること、さらには野生型 B 細胞において *Aicda* 発現および IgA 産生を誘導する活性を有していた。これらの結果から、本タンパク質は生体での IgA 誘導を目的としたアゴニストタンパク質として利用できる可能性が示された。

（図 3：IgA 産生促進アゴニストタンパク質の設計および作用機序の模式図）



4．今後の展望

本研究により、TRAF5 が CD40L-CD40 および APRIL-TACI シグナルを介して、クラススイッチ組換えの制御に重要な役割を果たすことが明らかになった。さらに、APRIL-TACI における IgA 産生制御に TRAF5 が関与することも明らかとなった。現在、APRIL-TACI シグナル下流における TRAF5 の作用機序について解析を進めており、その過程で NF-κB 活性化との関連についても検討を行っている。今後は、TRAF5 が APRIL-TACI シグナル下流でどのような分子群と相互作用し、IgA クラススイッチ組換えを制御しているのかを明らかにすることで、抗体クラススイッチ組換え制御機構の理解をさらに深めたいと考えている。また、本研究では APRIL を基盤とした IgA 産生促進アゴニストタンパク質の作製にも成功した。しかしながら、現在までのところ生体内における機能評価では必ずしも期待した結果は得られておらず、作用機序の検討が必要であることも明らかとなった。本成果は、IgA 誘導技術の開発における課題を示す知見としても重要であると考えている。本研究を通じて得られた知見は、IgA 産生制御機構および粘膜免疫制御機構の理解を深める基礎的知見となることが期待される。

５．参考文献

1. Kwon DI, Mao T, Israelow B, Santos Guedes de Sá K, Dong H, Iwasaki A. Mucosal unadjuvanted booster vaccines elicit local IgA responses by conversion of pre-existing immunity in mice. *Nat Immunol.* 2025; 26(6): 908-919.

2. He B, Santamaria R, Xu W, Cols M, Chen K, Puga I, Shan M, Xiong H, Bussel JB, Chiu A, Puel A, Reichenbach J, Marodi L, Döffinger R, Vasconcelos J, Issekutz A, Krause J, Davies G, Li X, Grimbacher B, Plebani A, Meffre E, Picard C, Cunningham-Rundles C, Casanova JL, Cerutti A. The transmembrane activator TACI triggers immunoglobulin class switching by activating B cells through the adaptor MyD88. *Nat Immunol.* 2010; 11(9): 836-45.

3. Nakano H, Sakon S, Koseki H, Takemori T, Tada K, Matsumoto M, Munechika E, Sakai T, Shirasawa T, Akiba H, Kobata T, Santee SM, Ware CF, Rennert PD, Taniguchi M, Yagita H, Okumura K. Targeted disruption of Traf5 gene causes defects in CD40- and CD27-mediated lymphocyte activation. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1999; 96(17): 9803-8.

4. Nagashima H, Okuyama Y, Asao A, Kawabe T, Yamaki S, Nakano H, Croft M, Ishii N, So T. The adaptor TRAF5 limits the differentiation of inflammatory CD4(+) T cells by antagonizing signaling via the receptor for IL-6. *Nat Immunol.* 2014 May;15(5):449-56.

5. Kawahara E, Azuma M, Nagashima H, Omori K, Akiyama S, Fujimori Y, Oishi M, Shibui N, Kawaguchi K, Morita M, Okuyama Y, Ishii N, So T. TNF Receptor-Associated Factor 5 Limits IL-27 Receptor Signaling in $CD4^+$ T Lymphocytes. *J Immunol.* 2022; 208(3): 642-650.

6. Hikosaka-Kuniishi M, Iwata C, Ozawa Y, Ogawara S, Wakaizumi T, Itaya R, Sunakawa R, Sato A, Nagai H, Morita M, So T. The Role of TNF Receptor-Associated Factor 5 in the Formation of Germinal Centers by B Cells During the Primary Phase of the Immune Response in Mice. *Int J Mol Sci.* 2024; 25(22):12331.

7. Wakaizumi T, Hikosaka-Kuniishi M, Ozawa Y, Sato A, Iwata C, Wada T, Sasaoka T, Morita M, So T. Defective IgG Class Switching in the Spleen of TRAF5-Deficient Mice Reveals a Role for TRAF5 in CD40-Mediated B Cell Responses During Obesity-Associated Inflammation. *Int J Mol Sci.* 2025; 26(19): 9494.

8. Sato A, Nagai H, Suzuki A, Ito A, Matsuyama S, Shibui N, Morita M, Hikosaka-Kuniishi M, Ishii N, So T. Generation and characterization of OX40-ligand fusion protein that agonizes OX40 on T-Lymphocytes. *Front Immunol.* 2025; 15: 1473815.

研究題目	新規 Na^+ポンプによる神経軸索伸長機構とその破綻が関与する発達障害発症機構の解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・准教授・藤井拓人
分野	細胞生理学、神経科学
キーワード	Na^+-ATPase、軸索伸長、ポリアミン

１．研究の背景と目的

脳の発達期において神経細胞は、細長い突起（軸索）の先端部をアメーバ状に動かしながら、正しい方向に移動し、標的となる神経細胞の樹状突起に到達してシナプスを形成する。この軸索伸長の異常は自閉症や統合失調症などの神経発達障害につながる。本研究では、自閉症や統合失調症患者において複数の変異が報告されている「Br-ATPase（論文投稿前のため仮称）」に着目した。最近、我々は Br-ATPase が「ナトリウムイオン（Na^+）を輸送する Na^+ポンプ（Na^+-ATPase）」として機能することを発見した。また、Br-ATPase は、軸索の先端部に集積しており、発現を減少させることで軸索伸長が著しく阻害された。これまで、軸索の伸長には神経細胞内のカルシウムイオン（Ca^{2+}）動態が重要な役割を担うと考えられているが、Na^+動態について詳細に検討した研究報告は無い。

そこで本研究では、「新規 Na^+ポンプ Br-ATPase が司令塔として軸索内 Na^+動態を制御し、軸索伸長を導く」という新たな軸索伸長メカニズムの解明を目的とした。本助成期間中には、発現系を用いた Br-ATPase の詳細なイオン輸送機能およびポリアミン輸送機能の検討、ならびにラット神経細胞において Br-ATPase と機能的に連関し、軸索伸長に関与する分子の探索を行った。

２．研究方法

・BR-ATPase 変異体の作製および遺伝子導入

BR-ATPase の ATPase 活性に必須な自己リン酸化部位を解析するため、KOD Mutagenesis Kit（東洋紡）を用いて、マウス BR-ATPase 発現ベクターの 487 番目の Asp 残基（GAC）を Asn 残基（AAC）に置換した D487N 変異体を作製した。

ヒト腎由来 HEK293 細胞は、10% fetal bovine serum（FBS）および 100 U/mL penicillin–100 µg/mL streptomycin を添加した DMEM 中で 37℃、5% CO_2条件下にて培養した。BR-ATPase 野生型（WT）または D487N 変異体発現ベクターを、PEI-Max を用いたリポフェクション法により一過性に導入し、各タンパク質を発現させた。

・ATPase 活性測定

ATPase 活性は、ATP 加水分解により生成された無機リン酸量を比色定量することにより測定した。HEK293 細胞膜画分を Na^+を含む反応液中で 37℃、30 分間反応させた後、モリブデン酸法に

より生成した無機リン酸を定量した。BR-ATPase 活性は、SERCA 阻害剤 thapsigargin（50 nM）存在下の ATPase 活性から 10 μM thapsigargin 存在下の活性を差し引いた値として算出した。

・$^{22}Na^{+}$輸送解析

HEK293 細胞に BR-ATPase 発現ベクターを導入後、$^{22}Na^{+}$を含む培地で 24 時間培養した。その後、ouabain、KB-R7943、furosemide および必要に応じて spermidine を添加した培地で 30 分間処理した。細胞を洗浄・溶解後、細胞内に取り込まれた$^{22}Na^{+}$の放射活性を液体シンチレーションカウンターで測定した。

・[^{3}H]-spermidine 輸送解析

HEK293 細胞を[^{3}H]-spermidine を含む培地中で所定時間インキュベートした。細胞を氷冷 PBS で洗浄後、lysis buffer で溶解し、細胞内に取り込まれた[^{3}H]-spermidine の放射活性を液体シンチレーションカウンターで測定した。

・RT-PCR およびリアルタイム PCR

ラット初代培養神経細胞から total RNA を抽出し、ReverTra Ace（東洋紡）を用いて逆転写反応を行った。得られた cDNA を鋳型として RT-PCR およびリアルタイム PCR を実施し、BR-ATPase および各種 Na^{+}輸送関連分子およびキネシン関連分子の mRNA 発現量を解析した。リアルタイム PCR には KAPA SYBR FAST qPCR Master Mix を用い、CFX Connect（Bio-Rad）で測定した。

・Western blotting

HEK293 細胞膜画分を SDS-PAGE により分離し、PVDF 膜へ転写した。5%スキムミルクでブロッキング後、抗 Xpress 抗体および抗 β-actin 抗体を用いて 4℃で一晩反応させた。HRP 標識二次抗体で反応後、化学発光法によりシグナルを検出した。

・免疫蛍光染色

HEK293 細胞はメタノール固定後、ラット初代培養神経細胞は 4%パラホルムアルデヒド固定後、Triton X-100 により透過処理を行った。ブロッキング後、一次抗体と 4℃で一晩反応させ、Alexa Fluor 標識二次抗体で検出した。核は DAPI で染色し、共焦点レーザー顕微鏡（LSM780、Zeiss）を用いて観察した。HEK293 細胞では抗 Xpress 抗体を、神経細胞では抗 BR-ATPase 抗体および抗 NHE1 抗体を用いて解析した。

３．研究成果

1. BR-ATPase の発現解析および細胞内局在

BR-ATPase の輸送機能を解析するため、ヒト腎由来 HEK293 細胞に Xpress-tag を付加した BR-ATPase 野生型（WT）および ATPase 活性を消失させた D487N 変異体を一過性に発現させた。

膜画分を調製し、抗 Xpress 抗体を用いたウェスタンブロット解析を行ったところ、WT および D487N のいずれにおいても約 130 kDa 付近に目的タンパク質由来のバンドが検出され、両者の発現量に顕著な差は認められなかった（図 1A）。さらに、免疫蛍光染色では、WT および D487N はいずれも主として細胞膜に局在しており、変異導入による局在異常は認められなかった（図 1B）。

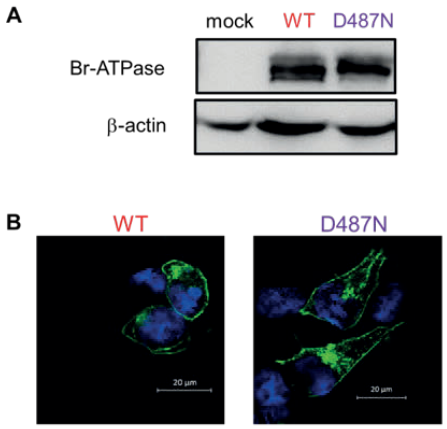


図 1 HEK293 細胞における Br-ATPase の発現と局在
（A）抗 Xpress 抗体および抗 b-actin 抗体を用いた mock、WT および D487N 発現 HEK293 細胞の膜画分のウェスタンブロット。b-actin を loading control とした。
（B）抗 Xpress 抗体を用いた WT および D487N 発現 HEK293 細胞の免疫細胞染色。核は DAPI で染色した。スケールバーは 20 μm の長さを示す。

2. BR-ATPase 活性に対する spermidine の作用

BR-ATPase の基質特性を明らかにするため、HEK293 細胞膜画分を用いて ATPase 活性を測定した。Na^+存在下では、WT 発現細胞の ATPase 活性はコントロール（mock）細胞より有意に高値を示した一方、D487N 変異体では活性上昇は認められなかった（図 2A）。

さらに、反応液に spermidine を添加すると、WT 発現細胞では ATPase 活性が有意に増加したが、mock 細胞および D487N 変異体発現細胞では有意な変化は認められなかった（図 2A）。WT 発現細胞において spermidine 濃度依存性を解析したところ、ATPase 活性は 1〜30 mM の範囲で濃度依存的に上昇した（図 2B）。一方、spermidine 存在下で Na^+濃度を低下させると ATPase 活性は著しく減少した（図 2B）。以上より、BR-ATPase の ATPase 活性は Na^+ および spermidine の双方に依存することが明らかとなった。

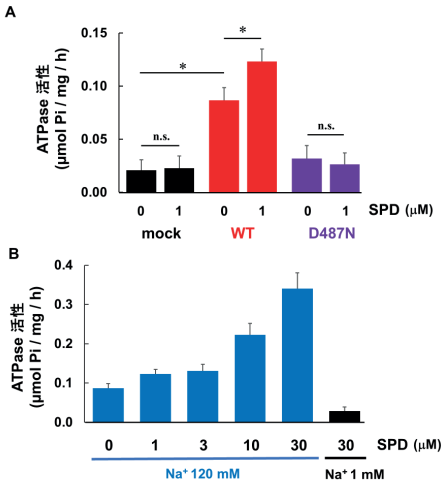


図2 Br-ATPase の ATPase 活性に対する spermidine の効果
（A）Mock、WT および D487N 発現細胞の ATPase 活性に対する 1 μM spermidine（SPD）の効果。 n=5~14; *P< 0.05。
（B）WT 発現細胞の ATPase 活性の spermidine 濃度依存性。n=3~14。

3. BR-ATPase による spermidine 輸送活性

BR-ATPase がポリアミン輸送に関与する可能性を検証するため、[^{3}H]-spermidine を用いた取込み実験を行った。WT 発現細胞では、mock 細胞と比較して [^{3}H]-spermidine の取込みが有意に増加し、その活性は時間依存的に上昇した（図 3A、B）。また、反応温度を 4℃まで低下させると取込み活性は著しく抑制され、ATP 依存的な輸送過程であることが示唆された（図 3C）。これに対し、D487N 変異体では取込み活性の増加は認められなかった（図 3D）。これらの結果は、BR-ATPase が ATPase 活性に依存し

て spermidine を細胞内へ輸送することを示唆している。

4. BR-ATPase による Na^+輸送機能

BR-ATPase の Na^+輸送能を明らかにするため、$^{22}Na^+$を用いた輸送解析を実施した。Na^+/Ca^{2+}交換輸送体（NCX）および Na^+-K^+-Cl^-共輸送体（NKCC）を阻害した条件下で、Na^+,K^+-ATPase 阻害剤 ouabain を添加すると、mock 細胞では細胞内 $^{22}Na^+$量が有意に増加した。一方、BR-ATPASE 発現細胞では ouabain 添加後も細胞内 $^{22}Na^+$量の上昇は認められなかった（図 4）。この結果から、BR-ATPase は Na^+を細胞外へ輸送することが示唆された。

5. BR-ATPase ノックダウンによる Na^+輸送関連分子の変化

BR-ATPASE が神経細胞において軸索伸長を制御する分子機構を明らかにするため、ラット初代培養神経細胞に siRNA を導入し、BR-ATPase をノックダウンした。BR-ATPase mRNA の低下を確認した後、軸索形成との関連が報告されている Na^+輸送関連分子（NHE1、NCX1、NKCC1、Nav1.7、Nav1.9）の発現を解析したところ、NHE1 のみが有意に減少し、その他の分子には顕著な変化は認められなかった（図 5）。この結果は real-time PCR でも再現された。さらに、BR-ATPase および NHE1 の免疫二重染色を行ったところ、両タンパク質は成長円錐において共局在していた。以上より、BR-ATPase は NHE1 と協調して神経細胞の Na^+恒常性を制御する可能性が示された。

6. BR-ATPase ノックダウンによるキネシン関連分子の変化

軸索内輸送への関与を検討するため、キネシ

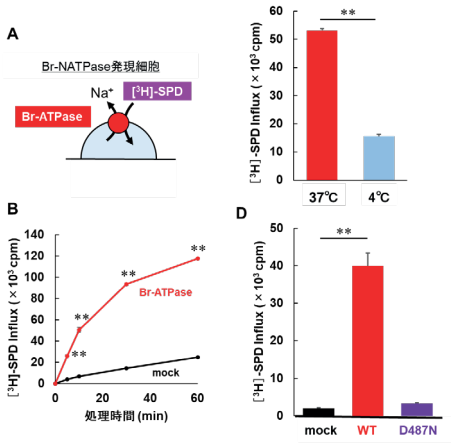


図 3 Br-ATPase 発現細胞における spermidine 輸送解析
（A）実験模式図。1 mM の非標識 spermidine と 30 nM の[^{3}H]- spermidine（[^{3}H]- SPD）をメディウムに添加し、細胞内に流入した[^{3}H]- spermidine レベルを測定した。
（B）Mock および WT 発現細胞における[^{3}H]-spermidine 流入の時間依存性。n=4; **P< 0.01。
（C）WT 発現細胞において 37℃または 4℃で 10 分間処理した際の細胞内[^{3}H]- spermidine レベル。n=3; **P< 0.01。
（D）Mock、WT および D487N 発現細胞に 10 分間処理した際の細胞内[^{3}H]-spermidine レベル。n=4~17; **P<0.01。

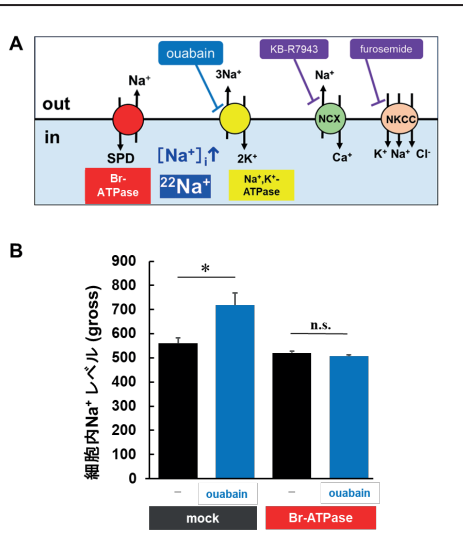


図 4 Br-ATPase 発現細胞の Na^+輸送解析
（A）実験模式図。$^{22}Na^+$ (0.5 mCi/ml) をメディウムに添加し 24 時間処理して細胞内に取り込ませた後、ouabain (100 μM)、KB-R7943 (10 μM)、furosemide (100 μM) を含むメディウムで 30 分間処理し、細胞内に残存する $^{22}Na^+$レベルを測定した。
（B）Mock および WT 発現細胞における ouabain 処理による細胞内 $^{22}Na^+$レベルの変化。n=6~8; *P< 0.05。

ン関連遺伝子の発現解析を行った。BR-ATPase ノックダウン神経細胞では、キネシン関連分子 Kifc1 の mRNA 発現が有意に低下した（図 6）。Kifc1 は細胞内小胞輸送を担うモータータンパク質であり、この結果は BR-ATPase が軸索内輸送機構とも密接に関連することを示唆している。

４．今後の展望

本研究により、BR-ATPase が Na^+を細胞外へ排出するとともに、spermidine を細胞内へ輸送する Na^+/spermidine ATPase として機能する可能性が示された。また、ATP13A4 が Na^+/H^+交換輸送体 NHE1 およびキネシン関連分子 Kifc1 と機能的に関連し、神経細胞の軸索伸長を制御する新たな分子機構が示唆された。今後は、BR-ATPase による Na^+ および spermidine 輸送の共役機構を詳細に解析するとともに、電気生理学的解析や細胞内 Na^+濃度・ポリアミン濃度のライブイメージングを組み合わせることで、BR-ATPase の輸送機能と軸索伸長との関連を解明したい。また、BR-ATPase と NHE1 あるいは Kifc1 との成長円錐における分子複合体形成、および小胞輸送機構との関係を明らかにする。

さらに、BR-ATPase 遺伝子変異は自閉スペクトラム症や統合失調症などの神経発達障害との関連が報告されていることから、患者由来変異体を用いた機能解析や疾患モデル動物を用いた検討を進め、BR-ATPase 異常による神経回路形成障害の分子基盤を解明したい。本研究を発展させることで、神経発達障害の病態理解を深めるとともに、BR-ATPase を標的とした新たな診断法や治療法の開発につながることが期待される。

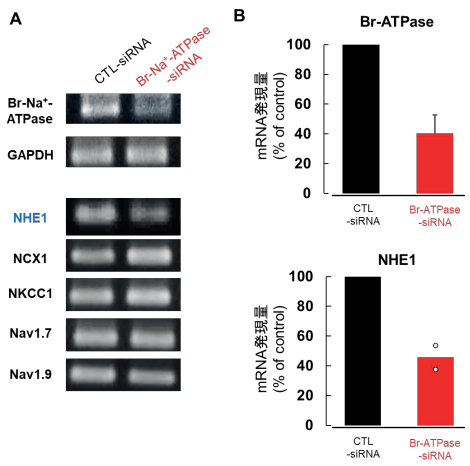


図 5 ラット初代培養神経細胞における Br-ATPase のノックダウンが Na^+輸送体の mRNA 発現に及ぼす効果の検討

（A）Control (CTL) または Br-ATPase siRNA を導入したラット大脳皮質初代培養神経細胞における Br-Na^+-ATPase、GAPDH、NHE1、NCX1、NKCC1、Nav1.7、Nav1.9 の遺伝子発現解析 (RT-PCR)。GAPDH を loading control とした。
（B）Control (CTL) または Br-ATPase siRNA を導入したラット大脳皮質初代培養神経細胞における Br-ATPase および NHE1 の mRNA 発現レベルを定量した (real-time PCR)。Control-siRNA 導入細胞の発現レベルを 100%として、Br-ATPase-siRNA 導入細胞における発現レベルは、Br-ATPase が 40±12% (n=3)、NHE1 が 46% (n=2) であった。

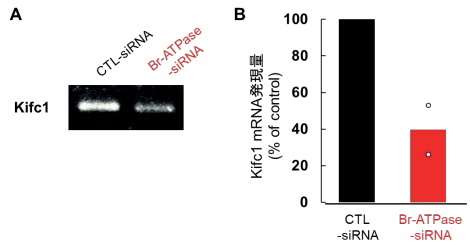


図 6 ラット初代培養神経細胞における Br-ATPase のノックダウンが Kifc1 mRNA 発現に及ぼす効果の検討

（A）Control (CTL) または Br-ATPase siRNA を導入したラット大脳皮質初代培養神経細胞における Kifc1 の遺伝子発現解析 (RT-PCR)。
（B）Control (CTL) または Br-ATPase siRNA を導入したラット大脳皮質初代培養神経細胞における Kifc1 の mRNA 発現レベルを定量した (real-time PCR)。Control-siRNA 導入細胞の発現レベルを 100%として、Br-ATPase-siRNA 導入細胞における Kifc1 遺伝子発現レベルは、40% (n=2) であった。

研究題目	肥満リバウンドの新たな抑止法の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・教授　　笹岡　利安
分野	医薬系
キーワード	肥満、リバウンド、糖尿病

１．研究の背景と目的

肥満管理の目標は、食事や生活習慣の介入、薬物療法、あるいは減量手術により体重減少を達成することである。しかし、現状の治療では、短期的な体重減少にとどまることが多く、時間の経過とともに体重が再増加しやすい。複数の疫学研究により、減量を達成した 75%以上の人々が 5 年以内に体重再増加、すなわちリバウンドをきたすことが明らかになっている。リバウンドは 2 型糖尿病や心血管疾患の発症リスクを高めることから、肥満管理において重大な課題である。

反復的な体重変動は、顕著な体重減少や代謝改善が達成された後も肥満に伴う変化を組織が記憶し、その結果、重度の肥満やそれに伴う代謝異常に進展する可能性がある。これまでに体重再増加の機序として、食欲抑制ホルモンの低下、視床下部を介した食欲の亢進、エネルギー消費の低下、脂肪分解の減少などが示されている。

肥満で鍵となる脂肪組織はエネルギーを貯蔵する主要な臓器であり、全身のエネルギー状態に応じてその体積を変化させる。肥満の進展に伴い、内臓脂肪組織は新規脂肪細胞数の増加、すなわち hyperplasia に加えて、個々の脂肪細胞サイズの拡大、すなわち hypertrophy を伴って肥大化する。肥大化した脂肪組織は脂肪細胞の低酸素状態と機能不全を引き起こし、機能不全に陥った脂肪細胞はマクロファージを動員し、炎症性サイトカインを産生することで慢性炎症を誘導する。マウスの内臓脂肪組織においては、T 細胞を介した慢性炎症応答の活性化が体重減少後も持続して肥満誘発性記憶に寄与することが報告されている。さらに、免疫系は食事や代謝異常などの慢性炎症刺激に応答してエピジェネティックな再プログラミングを受け、その後の刺激に対する応答性が持続的に変化することが肥満の細胞記憶に寄与する重要な要因として考えられている。

また、脂肪組織が増大するためには組織に栄養を供給する血管新生が重要である。脂肪組織での成熟血管における血管内皮細胞の増殖は、ペリサイト（周皮細胞）および血管周囲細胞によって制御される。肥大化脂肪組織では、微小血管の希薄化に起因する低酸素状態により血管新生促進因子が産生される。著者は今までに、肥満病態における肥大化脂肪組織において、ペリサイト局在変化に対する血小板由来増殖因子（Platelet-derived growth factor-B: PDGF-B）の重要性を示してきた [1,2]。肥満に伴い脂肪組織に浸潤する炎症性マクロファージは PDGF-B を高発現し、血管内皮細胞が産生する PDGF-B に拮抗してその受容体である Platelet-derived growth

factor receptor β（PDGFRβ）に作用することで、脂肪組織血管からペリサイトの脱離を誘導し、血管内皮細胞の増殖を促進することで脂肪組織の肥大化を引き起こすことを明らかにしてきた[1,2]。

以上より、肥満の程度に応じて脂肪組織は多面的にリモデリングされることから、減量による脂肪組織の可塑性に閾値が存在することが想定され、体重減少を開始するタイミングにより、脂肪組織の可逆性が決定されることが考えられる。その後の体重再増加に伴う病態進展の機序として、免疫細胞のエピゲノム変化による活性化の亢進が示唆されているが、内臓脂肪組織の血管内皮細胞および血管周囲を覆うペリサイト（周皮細胞）の肥満誘発性の記憶が体重再増加を促進する可能性について不明である。

そこで、肥満の進展に伴って進行する脂肪組織リモデリングの程度により、体重減少時に起こる可逆性に差異を生じる可能性を検証した。短期および長期の高脂肪食負荷後に減量とリバウンドを誘導した。高脂肪食と通常食の置換により体重減少（Weight Loss）および体重再増加（Weight Regain）を模倣したマウスを作製し、体重の経時的変化、各タイムポイントでの糖代謝を調べた。さらに、リバウンドにおける耐糖能悪化の機序として、内臓脂肪組織血管およびペリサイトを評価することで、血管系が体重再増加に及ぼす意義を解明することを目的とした。

２．研究方法

１）実験動物

雄性 7 週齢の C57BL/6J マウスを購入し、富山大学研究推進機構研究推進総合支援センター生命科学先端研究支援ユニット動物実験施設（12 時間の明暗サイクル、温度 20-26℃、湿度 30-60%）にて、自由摂食および自由摂水下で飼育した。8 週齢より高脂肪食として 60 kcal% high fat diet（HFD;を給餌し、任意の時点で通常食（NCD;に切り替えることでリバウンド模倣マウスを作製した。体重は毎週 9 時に測定した。すべての実験動物は「国立大学法人富山大学動物実験規則」に則り、動物実験委員会の承認を受けた実験計画に基づき行った。

２）ブドウ糖負荷試験（GTT）

食餌を切り替える前の週に GTT および ITT)を実施した。GTT は 4 時間絶食させたマウスの尾から血液を採取し空腹時血糖を測定し、2 g/kg glucose を腹腔内投与した。投与後 15 分、30 分、60 分、120 分に血糖を測定した。血糖測定には Accu CHEK Aviva Nano（Roche）を用いた。

３）統計解析

データは平均値±標準誤差で表示し、他群間の有意差検定は one-way ANOVA の後、Tukey's post-hoc 検定を用いた。体重および血糖値の経時的変化は two-way ANOVA の後、Bonferroni

検定を用いた。*p < 0.05, **p < 0.01 compared with Lean, †p < 0.05, ††p < 0.01 compared with Obese で表示した。

３．研究成果

１）短期の高脂肪食負荷後のリバウンドマウスの体重と耐糖能

短期間の高脂肪食負荷によって誘導される肥満に伴う内臓脂肪組織の変化が、その後のリバウンドに及ぼす影響を検討するため、雄性 8 週齢 C57BL/6J マウスに対して高脂肪食を短期間給餌後、通常食に置換した (Figure 1A)。通常食に置換 1 週後に体重は大きく減少し、その後通常食群と同程度の体重を示した (Figure 1B)。さらに高脂肪食に置換したところ、体重は急激に増加してリバウンドし、継続的に高脂肪食を摂取したマウス群と同等の体重に至った。短期の高脂肪食摂取後に引き継ぐ減量・リバウンドマウスの耐糖能は、継続的に高脂肪食を摂取したマウスと同程度の悪化を呈した(Figure 1C)。以上より、短期間の高脂肪食暴露では、リバウンド後も耐糖能は悪化しないことを示した。

２）長期の高脂肪食負荷後のリバウンドマウスの体重と耐糖能

次に、雄性 8 週齢 C57BL/6J マウスに対して高脂肪食を長期間給餌し、通常食に置換して検討を行った (Figure 2A)。通常食に置換 1 週後に体重は大きく減少し、その後通常食摂取マウス群と同程度の体重となった (Figure 2B)。さらに高脂肪食に置換すると体重は急激に増加してリバウンドし、継続的に高脂肪食を摂取した肥満マウス群と同等の体重に至った。長期の高脂肪食摂取後に引き継ぐ減量・リバウンドマウスの耐糖能は、継続的に高脂肪食を摂取した肥満マウス群と比較して、顕著な耐糖能の悪化を呈した。以上より、高脂肪食暴露の期間が長いと、リバウンドした際の耐糖能がより悪化することを示した。

３）リバウンドによる耐糖能悪化の機序

高脂肪食摂取により肥満の記憶 (metabolic memory)が残存し、再度の高脂肪食負荷に対して強く応答することでリバウンド時に病態を増悪することが知られている。そこで、長期の高脂肪食摂取後にリバウンドさせたマウスでの耐糖能悪化の機序を検証した。慢性炎症は代謝異常に深く関与することから、慢性炎症のメタボリックメモリーの関与につき、内臓脂肪組織における遺伝子発現を解析した。しかし、総マクロファージマーカーおよび炎症性マクロファージマーカー、さらに、炎症性サイトカインの遺伝子発現は、リバウンドマウス群と継続的な高脂肪食摂取マウスの両群で顕著に増加したが、両群間で有意な差異は認めなかった。

次に、血管新生は脂肪組織の肥大化に重要であり、成熟血管における血管内皮細胞の増殖は、ペリサイト (周皮細胞) および血管周囲細胞によって抑制される。著者は高脂肪食負荷 8 週後より PDGF-B が高発現し、脂肪組織血管からのペリサイト脱離を誘導することを明らかにしている。そこで、血管からのペリサイト脱離は血管新生の起点であることから、減量が脂肪組織血管

に及ぼす影響を検証した。高脂肪食の摂取により血管内皮から脱離したペリサイトは、通常食に戻し減量した際に血管に再接着した。ペリサイトがリバウンド時の血管新生に与える影響を調べると、長期脂肪食摂取後にリバウンドしたマウス群では、継続して高脂肪食を摂取した肥満マウス群と比較して血管密度の有意な低下を認めた。 以上より、長期間の高脂肪食負荷後の肥満はペリサイト脱離を誘導するが、減量に伴い脱離したペリサイトは再接着し、その後のリバウンドで血管新生不全を引き起こした。長期間の高脂肪食摂取後のリバウンドにおける耐糖能の悪化には、内臓脂肪組織での血管新生不全が関与することを明らかにした。

４．今後の展望

減量後の体重リバウンドは、肥満治療における重大な課題である。体重のリバウンドは様々な臓器障害に関連することから、その誘導機構の解明が重要である。今までに体重のリバウンドを促進する要因として、脂肪組織に浸潤した炎症細胞の重要性が示唆されてきた。顕著な体重減少後にも過去の肥満記憶が保持され、高い炎症応答性が維持される結果、その後の体重再増加とそれに伴う病態進展を促進することが提唱された。しかし、肥満に伴い脂肪組織は多段階的に進展することから、肥満進展の過程での肥満記憶の実態とその変化は不明であった。本研究により、肥大化脂肪組織の復元力は一元的ではなく、マクロファージ浸潤以前の肥満早期では高い復元力を保持しており、リバウンド時に代謝障害の増悪を誘導しないことを明らかにした。しかし、長期間の肥満により脂肪組織のリモデリングが進むと十分には復元されなかった。その結果、一見減量を達成していてもリバウンドにより肥満病態が悪化することが示された。その機序として、一定期間を超えた高脂肪食負荷によりペリサイトは結果により脱離するが、その後減量を行うとペリサイトは脱離された状態で維持されず、血管周囲に再接着することで血管新生を抑制し、リバウンド時に血管新生能が低下することが示唆された。ペリサイトの再接着による血管新生の障害はリバウンド時の代謝病態の悪化を誘導する可能性を示した。

本研究により、減量とリバウンドの際の脂肪組織における血管新生の変化が、体重リバウンドを引き起こすメカニズムとして明らかにされ、体重リバウンドの病態進展に対する新規知見が得られた。本研究をもとに、バウンドした際に病態を悪化させる因子を特定して介入することで、肥満治療で効果的にリバウンドを防止する方策の開発が期待される。

５．参考文献

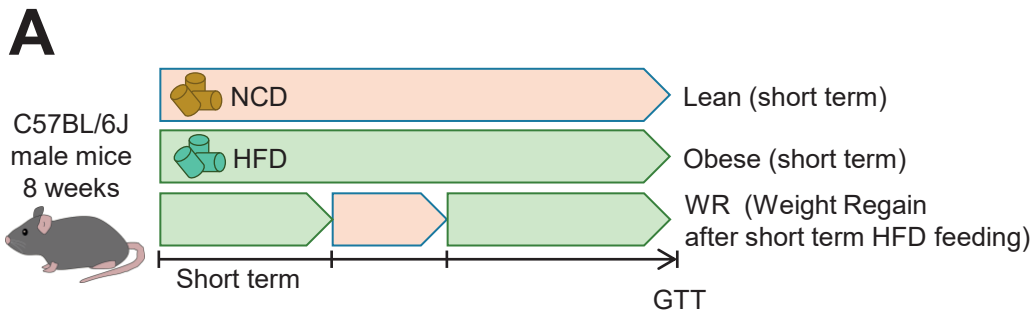
1. Onogi Y, Wada T, Kamiya C, Inata K, Matsuzawa T, Inaba Y, Kimura K, Inoue H, Yamamoto S, Ishii Y, Koya D, Tsuneki H, Sasahara M, Sasaoka T. PDGFRß regulates adipose tissue expansion and glucose metabolism via vascular remodeling in diet-induced obesity. Diabetes. 66(4):1008-1021, 2017.

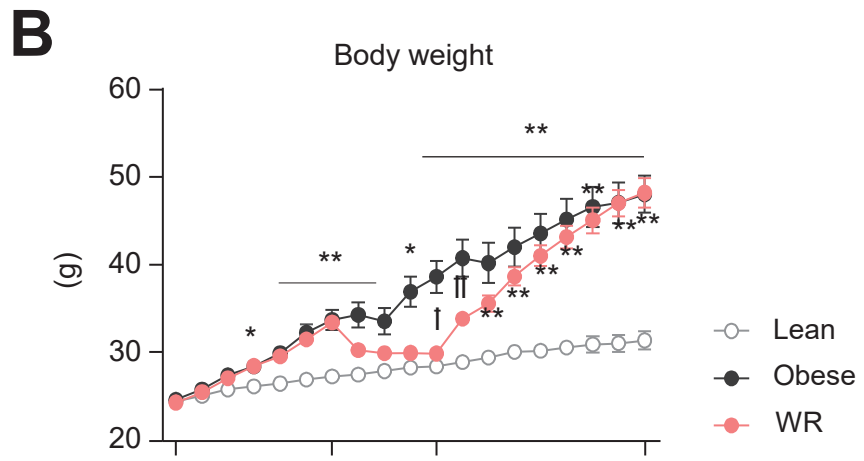
2. Okekawa A, Wada T, Onogi Y, Takeda Y, Miyazawa Y, Sasahara M, Tsuneki H, Sasaoka T. Platelet-derived growth factor signaling in pericytes promotes hypothalamic inflammation and obesity. Mol Med. 30(1):21, 2024.

６．謝辞

本研究の遂行に際し、多大なご支援をいただきました、富山第一銀行奨学財団に深謝いたします。

Figure 1: 短期の高脂肪食負荷後のリバウンド





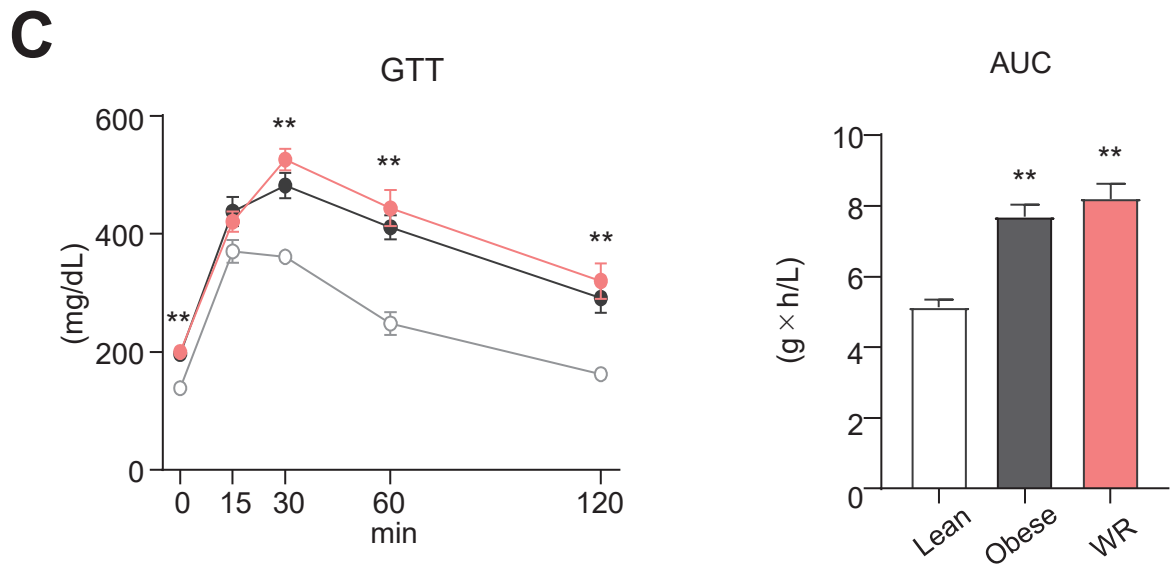


Figure Legends:

(A) 短期の高脂肪食の後に通常食、高脂肪食へと置換し、食餌性リバウンドマウスを作製した。(B) 体重推移。(C) 糖負荷試験 (GTT) の血糖推移。データは平均値±標準誤差で示した。*p < 0.05, **p < 0.01 compared with Lean, †p < 0.05, ††p < 0.01 compared with Obese。

Figure 2: 長期の高脂肪食負荷後のリバウンド

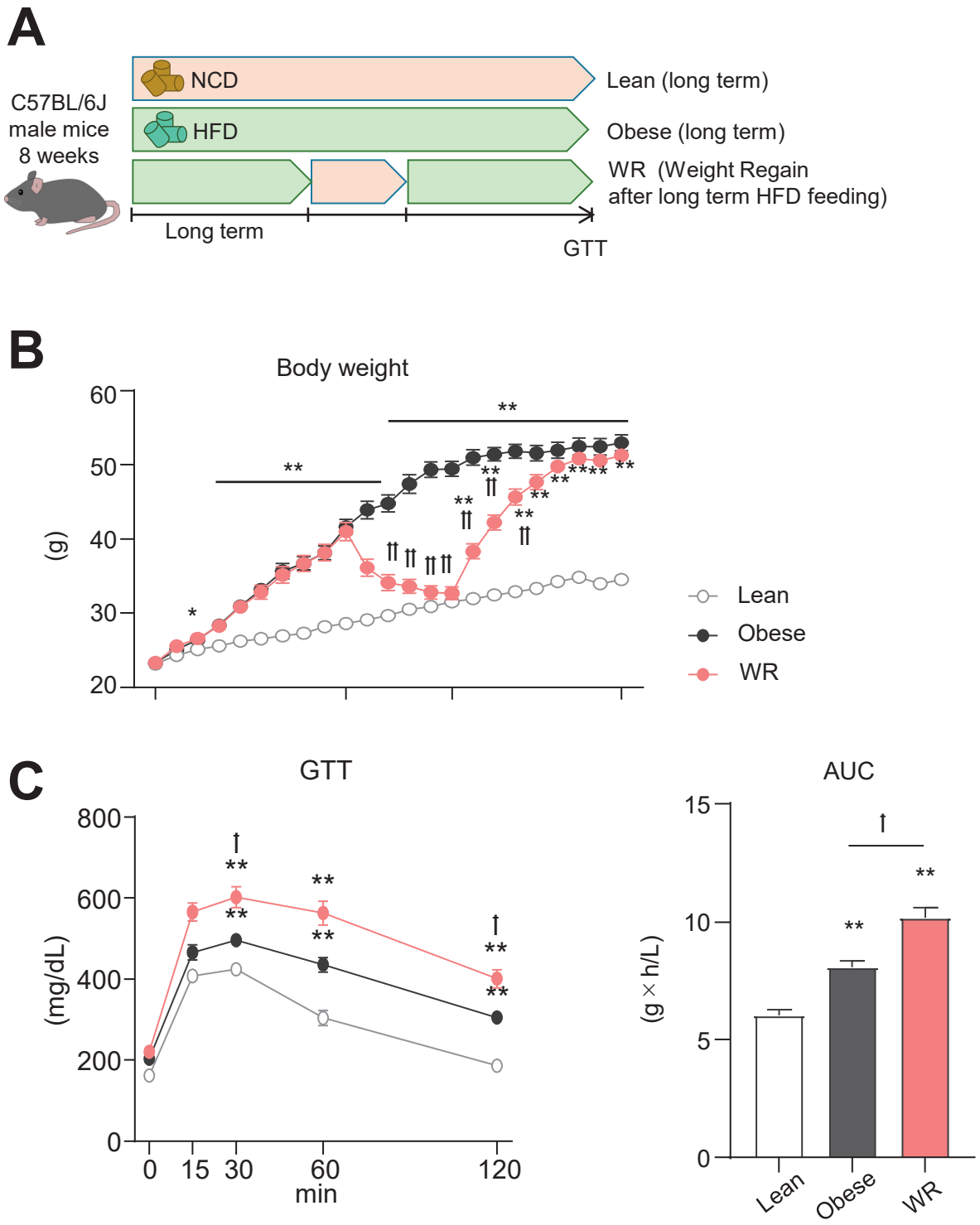


Figure Legends:

(A) 長期の高脂肪食負荷の後に通常食、高脂肪食へと置換し、食餌性リバウンドマウスを作製した。(B) 体重推移。(C)糖負荷試験（GTT）の血糖推移。 データは平均値±標準誤差で示した。*p < 0.05, **p < 0.01 compared with Lean, †p < 0.05, ††p < 0.01 compared with Obese。

研究題目	心筋緻密化障害の疾患確立と病態解明を目指した分子基盤の創出
機関名	富山大学
研究代表者	附属病院 糸魚川・地域医療支援学・客員教授・廣野 恵一
分野	医薬系
キーワード	心筋緻密化障害、左室心筋緻密化障害、MYH7、単一細胞 RNA-seq、心筋代謝、疾患モデルマウス

１．研究の背景と目的

心筋緻密化障害（left ventricular noncompaction: LVNC）は、緻密層の低形成と過剰な肉柱形成を特徴とする遺伝性心筋症であり、小児期に発症し、心不全、不整脈、血栓塞栓症などを来し得る予後不良疾患である。とくに MYH7 を含むサルコメア遺伝子変異は重要な病因と考えられるが、心筋緻密化が障害される時期、細胞集団の変化、代謝異常が構造異常にどのように結び付くかは十分に解明されていない。

本助成研究では、申請時に掲げた「心筋緻密化障害の疾患確立と病態解明を目指した分子基盤の創出」という課題に基づき、患者由来 MYH7 変異を導入した疾患モデルマウスを用いて、胎生期から出生直後にかけた心臓発生過程を単一細胞レベルで解析した。目的は、LVNC を単なる形態異常としてではなく、発生時期特異的な細胞成熟障害、心筋代謝異常、心筋構築異常が連続して生じる疾患として捉え直し、将来の診断基準整備および創薬研究の基盤を構築することである。

２．研究方法

本研究は、臨床遺伝学的解析と動物実験を統合して実施した。まず、富山大学で LVNC と診断された症例を対象に、心筋症およびチャネル病関連遺伝子を含む次世代シーケンス解析を行い、病的意義を有する候補変異を抽出した。変異の抽出では、アリル頻度、カバレッジ、ClinVar での良性変異の除外、日本人集団データベースおよび gnomAD、CADD スコア、複数の in silico 病原性予測を組み合わせた。候補変異は必要に応じて Sanger 法で確認した。

次に、患者で同定された MYH7 F230S 変異に対応する Myh7 F230S ノックインマウスを CRISPR-Cas9 法により作製した。8〜10 週齢の野生型およびヘテロ接合体マウスに対して心エコーを施行し、左室径、壁厚、左室短縮率、E 波・A 波などを評価した。また、胎生 12.5 日（E12.5）、E15.5、E18.5、出生直後（P1）、成体期の心臓を用いて、HE 染色および Elastica-Masson 染色により心筋緻密化、肉柱形成、線維化、三層性心筋構築を評価した。

さらに、E12.5、E15.5、E18.5、P1 の心臓から単一細胞 RNA-seq データを取得し、Seurat および Harmony を用いて品質管理、正規化、統合、次元削減、クラスタリングを行った。心房筋細胞、成熟・未熟心室筋細胞、心内膜細胞、心外膜細胞、線維芽細胞、血管内皮細胞、免疫細胞などを既知マーカーに基づき注釈付けし、発生段階および遺伝型別に細胞構成、細胞周期、発現変動遺伝子、Gene Ontology 解析を実施した。統計解析では、連続変数は平均±標準偏差で示し、二群比較には t 検定を用い、必要に応じて体重を共変量とする解析を行った。

３．研究成果

本研究により、MYH7 関連 LVNC の発症過程において、胎生中期の心筋代謝異常と細胞成熟障害が形態的な緻密化障害に先行または並行して生じることが明らかとなった。主要な成果は以下のとおりである。

第一に、臨床症例の遺伝学的解析から、LVNC 症例において MYH7 変異が重要な病因群であることを確認し、2 例の非血縁 LVNC 患者に MYH7 F230S 変異を同定した。この変異は gnomAD および ToMMo 8.3KJPN に登録がなく、複数の in silico 解析で病原性が示唆されたことから、疾患モデル作製に適した患者由来変異と判断された。

第二に、Myh7 F230S ノックインマウスでは、ホモ接合体が出生個体として得られず、胎生期致死が示唆された。一方、ヘテロ接合体マウスは成体期まで生存し、心エコーで左室短縮率が野生型に比べ有意に低下した（24.54±1.74% vs. 32.58±1.90%、p=0.0124）。この結果は、同変異が心筋収縮能低下を惹起することを示す。

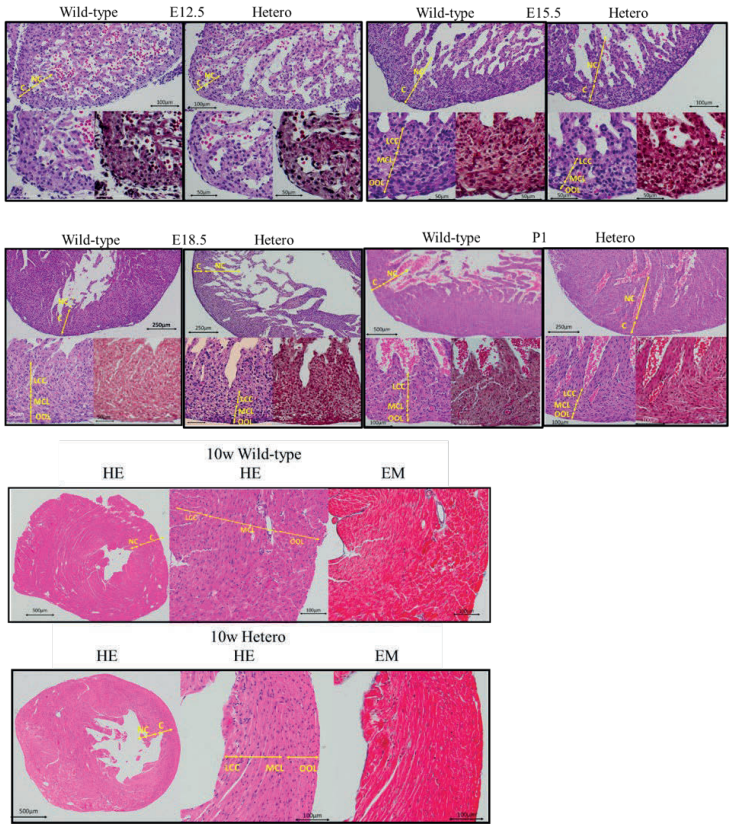


図. 組織学的解析により、Myh7F230S/+マウスにおいて LVNC 様心筋構造が明らかになった。

左心室切片の代表的なヘマトキシリン・エオジン（H&E）染色およびエラスティカ・マッソン（EM）染色。上段：心室全体の構造を示す低倍率の長軸断面像。野生型マウスでは、心尖部の心内膜表面が滑らかで、緻密心筋が十分に発達している。Myh7F230S/+（ヘテロ）マウスでは、心尖部に顕著な心筋小柱構造が認められ、緻密心筋層が薄く、小柱間のくぼみが深いという、LVNC に特徴的な所見が観察される。左下パネル：心尖部の高倍率 HE 染色像。右下パネル：心筋線維の配列を示す電子顕微鏡染色像。WT マウスでは、内側の縦走層（ILL）、中間の円周層（MCL）、外側の斜行層（OOL）の間に明確な境界を持つ、特徴的な 3 層のらせん構造が認められる。ヘテロマウスでは、この 3 層構造に変化が観察された。NC：非緻密層；C：緻密層。

第三に、組織学的解析では、E12.5 では明らかな差を認めなかったが、E15.5 以降にヘテロ接合体で心筋緻密化の遅

延、肉柱の遺残、緻密層の菲薄化が目立つようになった。成体期にも心尖部を中心とした肉柱形成の遺残と心筋構築の乱れが持続し、Elastica-Masson 染色では野生型で認められる内層・中層・外層から成る三層性心筋構築の明瞭さが低下していた。これらはヒト LVNC の構造的特徴を再現する所見である。

第四に、E12.5、E15.5、E18.5、P1 の単一細胞 RNA-seq により、E15.5 が病態形成の重要な時間窓であることが示された。E15.5 では、未熟心室筋細胞の割合増加、細胞周期進行細胞の増加、心内膜・心外膜を含む非心筋細胞集団の構成変化が認められた。これは、MYH7 変異によるサルコメア機能異常が、心筋細胞成熟だけでなく、心筋細胞と周囲支持細胞との相互作用にも影響する可能性を示す。

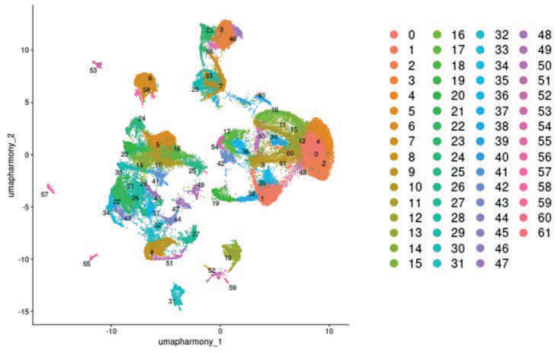
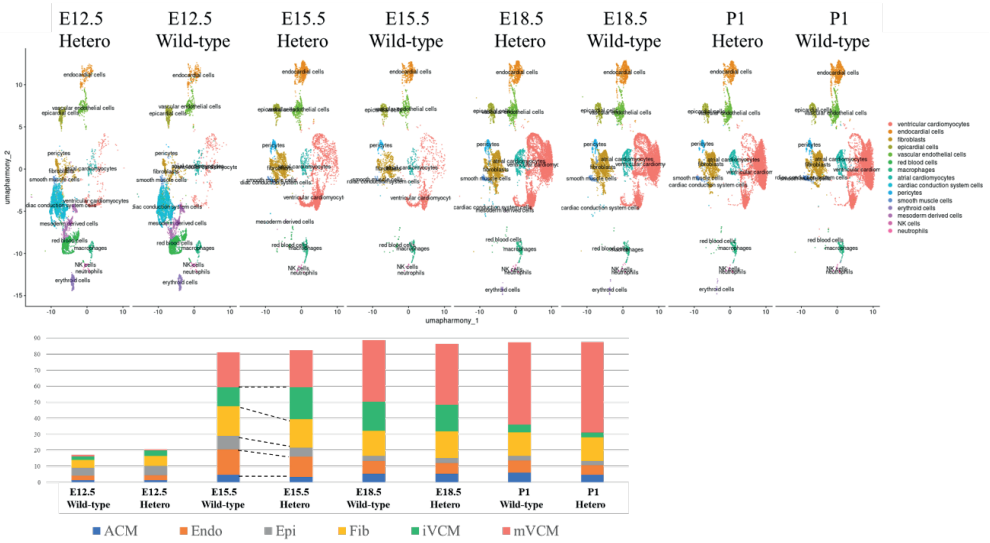


図. 単一細胞 RNA シーケンシングにより、心臓発生過程における Myh7F230S/+マウスの心臓で細胞構成の変化が明らか



になった。

(A) 4 つの発生段階（E12.5、E15.5、E18.5、および P1）における野生型（WT）および Myh7F230S/+マウスの心臓から得られた統合された単一細胞 RNA シーケンシング（scRNA-seq）データの、Uniform Manifold Approximation and Projection（UMAP）による可視化。各点は単一の細胞を表しており、細胞タイプごとに色分けされている。(B) 各発生段階における細胞タイプの分布を示す UMAP プロット。WT マウス（右）とヘテロ接合体マウス（左）を別々に示している。主要な細胞集団には、心房心筋細胞（ACM）、未熟心室心筋細胞（iVCM）、成熟心室心筋細胞（mVCM）、心内膜細胞（Endo）、心外膜細胞（Epi）、線維芽細胞（Fib）、および様々な免疫細胞集団が含まれる。(C) 発生段階ごとの主要な細胞タイプの割合の定量化。棒グラフは、心臓細胞全体に占める各細胞タイプの割合を示している。E12.5 では、非心臓組織からの混入により、すべての主要な細胞タイプの割合が低かった。E15.5 では、ヘテロマウスは WT と比較して、iVCM の割

合が有意に高く、心内膜細胞および心外膜細胞の割合が有意に低かった。E18.5 および P1 では、有意な差は認められなかった。

第五に、発現変動遺伝子および GO 解析から、酸化的リン酸化、脂肪酸 β 酸化、ATP 産生、糖代謝、ケトン体代謝、NAD+生合成などの代謝経路が広範に抑制されていた。とくに Ppara、Cd36、Bdh1、Nmrk2 などの代謝関連遺伝子の低下は、発生期心筋におけるエネルギー産生と代謝柔軟性の障害を示唆する。一方、Nppa および Ankrd1 などのストレス応答遺伝子は E15.5〜E18.5 で上昇し、代謝負荷と構造形成障害が同時期に進行することが示された。

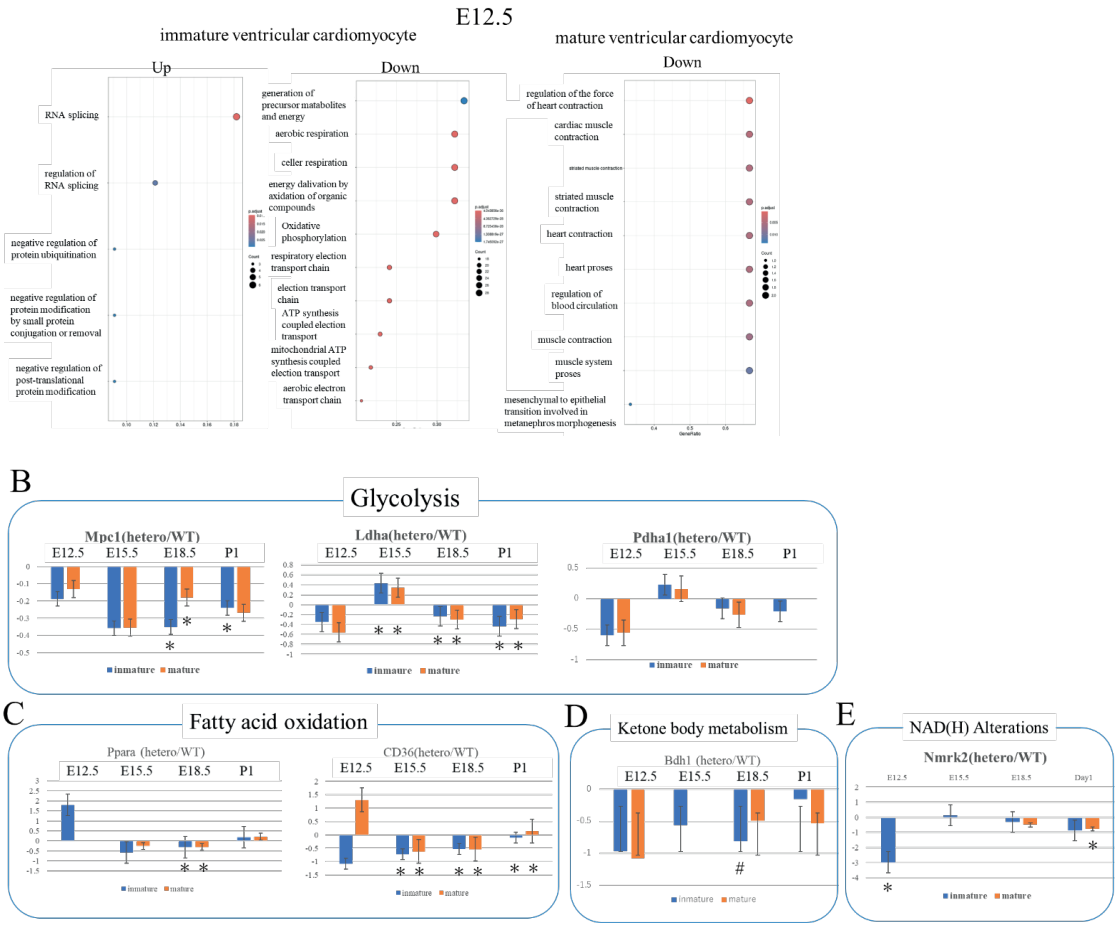


図. Myh7F230S/+マウスの心室心筋細胞において、発生段階を通じて代謝関連遺伝子の発現に変化が認められる。

(A) GO 解析の結果、E12.5 の時点で既に代謝の阻害が明らかになった。Myh7F230S/+マウスと野生型マウスを比較した、4 つの発生段階（E12.5、E15.5、E18.5、P1）における代謝関連遺伝子の $\log_2$(fold change)を示すヒートマップ。各行は 1 つの遺伝子、各列は 1 つの発生段階を表している。左のパネルは未成熟な心室心筋細胞、右のパネルは成熟した心室心筋細胞を示している。(B) 解糖系関連遺伝子。ほとんどの解糖系遺伝子は、各発生段階を通じて発現が低下していた。特に、Ldha および Pdha は E15.5 においてのみ発現の上昇を示した。(C) 脂肪酸代謝関連遺伝子。脂肪酸酸化の主要な調節因子である Ppara および Cd36 は、E15.5 および E18.5 において発現が低下していた。(D) ケトン体代謝。Bdh1 は、すべての発生段階を通じて一貫して発現が低下していた。(E) NAD+代謝。Nmrk2 は持続的な発現低下を示し、NAD+/NADH の恒常性の障害が示唆された。色分け：赤は発現上昇、青は発現低下を示す。シャープ記号またはアスタリスクは統計的有意性を示す：#調整 $p < 0.05$、*調整 $p < 0.0001$（ボンフェローニ補正を施したウィルコクソン順位和

検定)。

Mpc1：ミトコンドリアピルビン酸キャリア 1；Ldha：乳酸脱水素酵素 A；Pdha1：ピルビン酸脱水素酵素 E1α1 サブユニット；Ppara：ペルオキシソーム増殖因子活性化受容体 α ；Cd36：分化マーカー36；Bdh1：3-ヒドロキシ酪酸脱水素酵素 1；Nmrk2：ニコチンアミドリボシドキナーゼ 2。

以上より、本研究は MYH7 関連 LVNC を「胎生期の心筋代謝異常を起点として、細胞成熟障害、心筋構築異常、収縮能低下へ至る代謝-構造発生疾患」として位置付ける概念を提示した。これは、申請書で掲げた分子基盤の創出という目的に合致する成果である。

４．今後の展望

今後は、今回同定された E15.5 を中心とする時間窓に焦点を当て、代謝異常が心筋緻密化障害を直接的に惹起するかを検証する必要がある。具体的には、空間トランスクリプトーム解析、ATAC-seq、プロテオーム解析、メタボローム解析を統合し、転写制御、クロマチンアクセシビリティ、タンパク質発現、実測代謝物の変化を対応付ける。これにより、単一細胞 RNA-seq で得られた仮説を機能的に検証し、代謝経路抑制と心筋構築異常の因果関係を明確にする。

治療開発の観点では、脂肪酸酸化、ミトコンドリア酸化的リン酸化、ケトン体代謝、NAD+代謝などを標的とした介入が候補となる。今後、薬理学的介入、栄養代謝介入、遺伝子発現制御介入をモデルマウスで検証し、胎生期または出生直後の可塑性が残る時期に介入可能な治療戦略を探索する。

臨床研究への展開としては、全国レジストリとバイオレポジトリを活用し、MYH7 を中心とした遺伝型、心エコー・MRI による形態指標、発症年齢、心不全・不整脈イベントを統合したリスク層別化を進める。さらに、機械学習を用いた診断基準の策定、重症度判定モデルの構築、血液バイオマーカー探索を組み合わせることで、LVNC の過剰診断を避けつつ、治療介入が必要な高リスク群を抽出する臨床実装型研究へ発展させる。

本研究で得られた成果は、富山大学を拠点とした希少小児心筋症研究の基盤を強化し、地域から全国・国際共同研究へ展開し得るものである。今後も本助成によって得られた成果を基盤として、LVNC の疾患概念確立、病態解明、治療法開発に向けた研究を継続する。

５．参考文献

1. Wang C, Takasaki A, Watanabe Ozawa S, Nakaoka H, Okabe M, Miyao N, et al. Long-Term Prognosis of Patients With Left Ventricular Noncompaction: Comparison Between Infantile and Juvenile Types. Circ J. 2017;81:694-700.

2. van Waning JI, Caliskan K, Hoedemaekers YM, van Spaendonck-Zwarts KY, Baas AF, Boekholdt SM, et al. Genetics, Clinical Features, and Long-Term Outcome of Noncompaction Cardiomyopathy. J Am Coll Cardiol. 2018;71:711-722.

3. Hirono K, Ichida F. Left ventricular noncompaction: a disorder with genotypic and phenotypic heterogeneity-a narrative review. Cardiovasc Diagn Ther. 2022;12:495-515.

4. Feng W, Bais A, He H, Rios C, Jiang S, Xu J, et al. Single-cell transcriptomic analysis identifies murine heart molecular features at embryonic and neonatal stages. Nat Commun. 2022;13:7960.

5. Darwish M, Nishizono H, Uosaki H, Sawada H, Sadahiro T, Ieda M, et al. Rapid and high-efficient generation of mutant mice using freeze-thawed embryos of the C57BL/6J strain. J Neurosci Methods. 2019;317:149-156.

研究題目	石川県と富山県の沿岸域における自然災害が漁業者の生活観と主観的幸福感に与える影響
機関名	富山大学
研究代表者	Geetha Mohan, 研究推進機構サステイナビリティ国際研究センター
分野	Sustainability Science, and Environmental Economics
キーワード	Natural disasters, fisheries, well-being, coastal communities, disaster recovery, Japan

1．研究の背景と目的

Japan's coastal fisheries are vital to food security, regional economies, and the cultural heritage of coastal communities. At the same time, these communities are increasingly exposed to natural disasters, climate change, environmental degradation, and demographic aging. Because fishing depends directly on healthy marine ecosystems and coastal infrastructure, fishers are particularly vulnerable to natural hazards and environmental change (Badjeck et al., 2010; Takakura, 2021). On January 1, 2024, the Noto Peninsula Earthquake caused extensive damage to coastal communities in Ishikawa Prefecture and affected neighboring coastal areas in Toyama Prefecture. Fishing ports, vessels, landing facilities, and supporting infrastructure sustained varying degrees of damage, while changes in coastal environments and fishing grounds created additional challenges for the recovery of fishing activities. Although reconstructing physical infrastructure is essential to recovery, previous studies have shown that successful recovery also depends on restoring livelihoods, strengthening community resilience, and improving the overall well-being of affected communities (Weeratunge et al., 2014; Kuroishi, 2021).

Most previous research has focused on the physical and economic consequences of natural disasters. By comparison, relatively little attention has been paid to how fishers themselves perceive changes in their livelihoods, recovery experiences, and well-being after major disasters. Understanding these perspectives is important because sustainable recovery requires not only rebuilding infrastructure but also restoring confidence, strengthening social support, and enhancing the long-term resilience of coastal communities. The 2024 Noto Peninsula Earthquake offers an important opportunity to deepen understanding of these broader dimensions of disaster recovery (Suppasri et al., 2024).

In this context, this study examined how the earthquake affected fishers' livelihoods and well-being in the coastal communities of Toyama and Ishikawa Prefectures. Using a mixed-methods approach, the research combined household surveys, key informant interviews, and field observations to explore environmental, livelihood, and social aspects of disaster recovery. Its main objectives were to: (i) assess the impact of the earthquake on fishing activities, livelihoods, coastal environments, and fishers' well-being in both prefectures; (ii) compare recovery experiences between the two

prefectures; (iii) identify environmental, livelihood, and social factors shaping disaster recovery and resilience; and (iv) improve understanding of the recovery process and long-term resilience factors for coastal fishing communities.

２．研究方法

This study used a mixed-methods approach to examine how the 2024 Noto Peninsula Earthquake affected fishers' livelihoods and well-being in the coastal communities of Toyama and Ishikawa Prefectures. Household surveys, key informant interviews, and field observations were combined to gain a thorough understanding of the environmental, social, and economic aspects of disaster recovery. The research focused on selected coastal fishing communities in these prefectures, where fisheries are vital for local livelihoods and the economy. The study aimed to compare communities with different levels of earthquake impact to assess recovery processes across the two prefectures. The household survey was conducted in close collaboration with the Japan Fisheries (JF) Associations. Questionnaires were sent to fishing households via postal and electronic mail by JF Toyama, JF Ishikawa, JF Suzu, and JF Wajima, and returned through their cooperatives. A total of 61 valid responses were collected: 38 from Toyama Prefecture and 23 from Ishikawa Prefecture (Fig. 1).

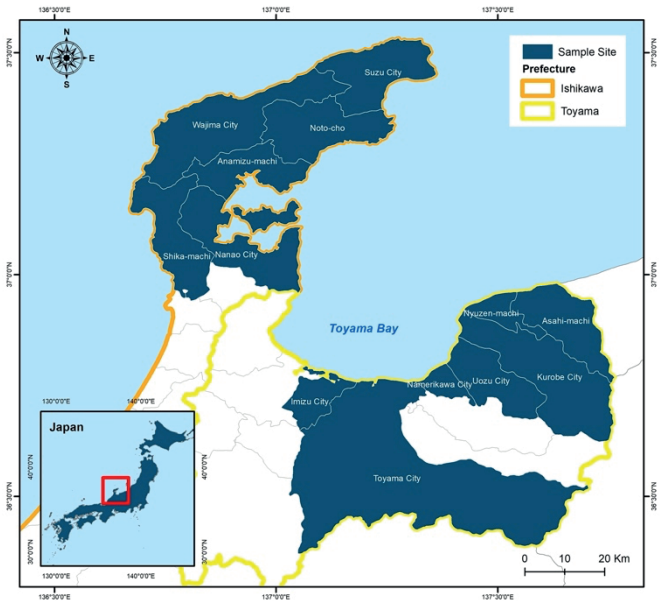


Fig. 1: Survey locations in Toyama and Ishikawa

The survey covered household details, fishing activities, earthquake effects, livelihood conditions, environmental changes, disaster preparedness, community support, recovery efforts, and well-being perceptions. It aimed to identify both the direct earthquake impacts and long-term challenges for recovery. To supplement this, Key Informant Interviews (KIIs) were held with representatives from fisheries cooperatives, government officials, fisheries experts, and

community leaders, providing insights into disaster response, infrastructure recovery, environmental shifts, governance, and future issues in coastal fisheries. Field visits to ports and communities documented damage, recovery measures, and environmental changes.

Field investigations were conducted over an extended period, as data collection aligned with the ongoing recovery efforts following the earthquake. Heavy rainfall and landslides in the Noto region affected accessibility to several coastal communities, especially in the most affected areas of Ishikawa Prefecture. Conducting fieldwork at various recovery sites enabled a more comprehensive understanding of both immediate disaster effects and long-term recovery challenges. To broaden the interpretation of the findings, comparative interviews with fisheries stakeholders in Miyagi Prefecture were conducted to obtain insights from the recovery after the Great East Japan Earthquake. These comparisons supported the interpretation of findings but were not primary study sites. Data from household surveys, stakeholder interviews, and field observations were analyzed using descriptive and thematic methods. This multi-source approach provided a comprehensive picture of disaster impacts and recovery, reflecting both the experiences of fishing households and the wider institutional context of coastal fisheries.

3．研究成果

This study offers a comprehensive assessment of how the 2024 Noto Peninsula Earthquake affected fishing communities in Toyama and Ishikawa Prefectures. Combining household surveys, stakeholder interviews, and field observations, it shows that the impacts of natural disasters go beyond physical destruction, affecting livelihoods, coastal ecosystems, community relationships, and long-term recovery efforts. The results also emphasize notable differences in how the two prefectures experienced recovery, driven by disparities in disaster intensity, environmental conditions, and local recovery capacity.

3.1. Characteristics of the Surveyed Fishing Communities

The household survey found that fishing communities in both Toyama and Ishikawa are characterized by aging, highly experienced fishing populations. Most respondents had more than ten years of fishing experience and operated small-scale vessels suited to coastal fisheries. Boat ownership was common among surveyed households, underscoring the continued importance of family-based coastal fisheries in both prefectures (Fig. 2). The demographic profile identified a major structural challenge facing Japanese coastal fisheries. Although experienced fishers possess extensive knowledge of local marine environments and fishing practices, the aging workforce and limited participation by younger generations pose long-term challenges for sustaining coastal fisheries and strengthening resilience to future disasters.

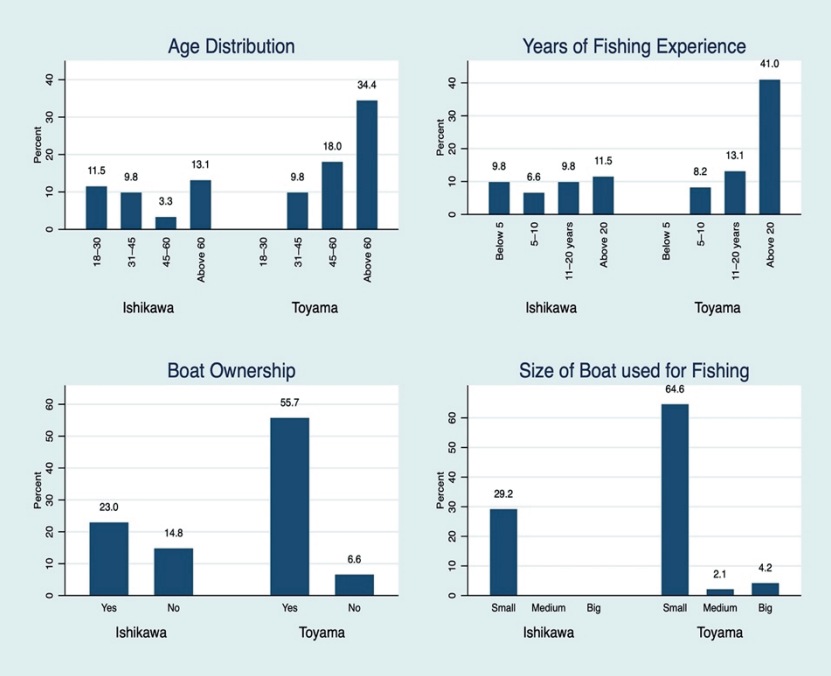


Fig. 2: Demographic & boat characteristics of surveyed fishers

3.2. Earthquake Impacts on Fisheries and Coastal Communities

The survey showed that the earthquake impacted various aspects of fishing livelihoods, with differences in the type and severity of effects between Toyama and Ishikawa Prefectures (Fig. 3).

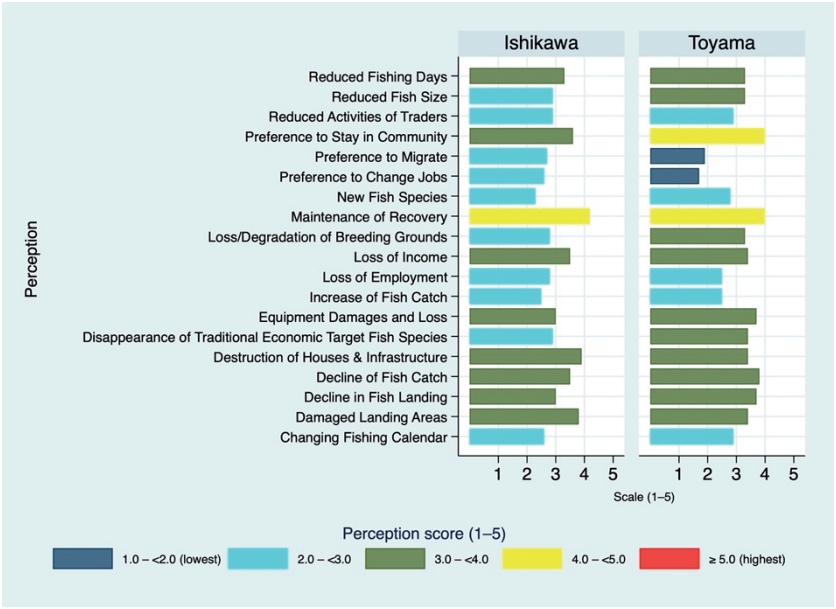


Fig. 3: Comparison of fishers' perceptions of earthquake impacts on activities and livelihoods

In Toyama, respondents reported greater disruption to fishing, including gear damage, reduced fish landings, and changes in fishing practices. Environmental alterations affecting fishing grounds

and fish availability were also common. Despite these income-affecting issues, many fishers managed to gradually resume activities after port operations resumed. Whereas respondents in Ishikawa reported more significant damage to fishing ports, landing facilities, homes, and community infrastructure. These damages led to longer fishing suspensions and increased uncertainty about future livelihoods. Fishers in Ishikawa also voiced stronger concerns about continuing fishing and were more inclined to consider switching careers or relocating. The comparison illustrates how recovery varies with local conditions, infrastructure damage, and environmental impacts, even in similar disaster contexts. These results emphasize the need for recovery strategies tailored to the unique circumstances of each coastal community.

3.3. Livelihood Recovery, Community Resilience, and Disaster Preparedness

Recovery after the earthquake involved much more than simply restoring damaged infrastructure. The findings indicated that rebuilding livelihoods was strongly connected to shifts in fishing methods, community collaboration, and views on disaster readiness. Many fishers experienced reduced household income due to disruptions to their regular fishing activities during recovery (Fig. 4). While some households gradually resumed fishing, others depended on alternative income sources to support themselves.

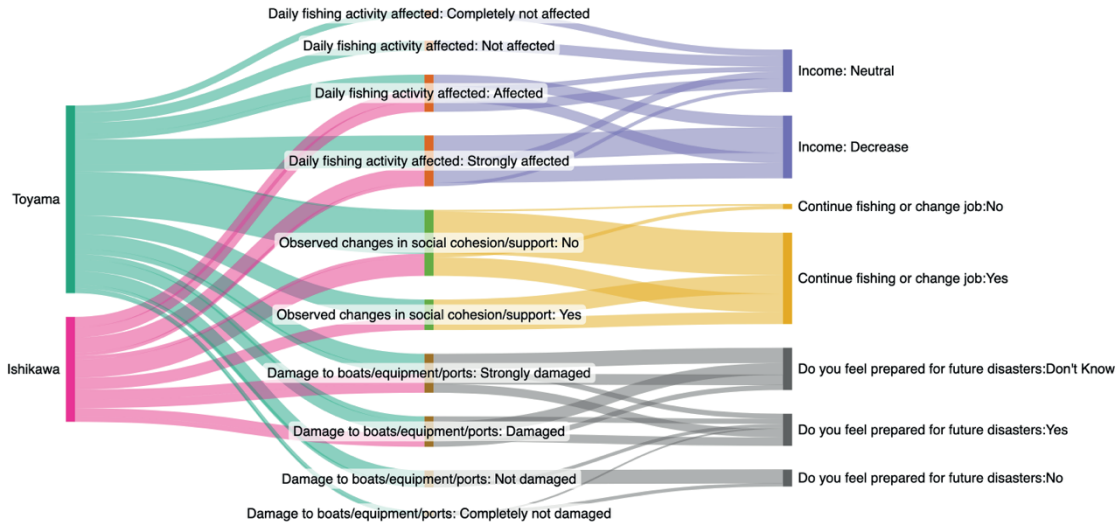


Fig.4: Flow of perceived impacts toward livelihood and preparedness outcomes

Community support emerged as one of the most important factors contributing to recovery; fishers who reported stronger cooperation among fisheries cooperatives, neighbors, and local groups felt more confident about continuing to fish despite the earthquake's challenges. Fisheries cooperatives played a key role by sharing information, coordinating recovery efforts, and facilitating communication with government agencies. The findings also reveal that the earthquake

impacted not just livelihoods but also fishers' well-being. Many respondents expressed uncertainty about their future livelihoods, changes in the coastal environment, and disaster preparedness. However, ongoing support from cooperatives and communities, alongside the gradual resumption of fishing activities, fostered confidence and optimism about recovery. Although reconstruction has advanced, many still feel unprepared for future disasters and stress the need for better communication, regular disaster training, stakeholder collaboration, and continued investment in community resilience. Taken together, these findings demonstrate that effective disaster recovery depends on the interconnected recovery of livelihoods, social cohesion, disaster preparedness, and fishers' well-being. Strengthening these connections is vital for improving the long-term resilience and sustainability of coastal fishing communities.

3.4. Perspectives from Fisheries Stakeholders

Key Informant Interviews (KIIs) provided valuable insights into the broader recovery process of coastal fishing communities following the 2024 Noto Peninsula Earthquake. Representatives from fisheries cooperatives, local governments, fisheries experts, and community leaders consistently reported that the earthquake affected not only fishing infrastructure but also coastal ecosystems, fishing grounds, local economies, and the livelihoods of fishing households (Table-1). Participants also reported noticeable changes in seabed conditions, fishing grounds, and coastal ecosystems. These environmental changes have increased uncertainty about future fisheries productivity and underscored the importance of incorporating ecosystem restoration into long-term recovery planning. Stakeholders emphasized the roles of fisheries cooperatives, local governments, and community organizations in coordinating recovery activities, sharing information, and supporting fishing communities throughout the recovery process. In addition, they identified several priorities for strengthening long-term resilience, including improved disaster preparedness, enhanced institutional coordination, support for aging fishing communities, restoration of fishing grounds, and greater participation of younger generations in coastal fisheries. These stakeholder perspectives complement the household survey findings by demonstrating that successful post-disaster recovery depends on integrated environmental, social, and institutional approaches that strengthen the resilience and sustainability of coastal fishing communities.

Table 1. Major Findings from Key Informant Interviews (KII)

Focus area	Major findings
Infrastructure recovery	Fishing ports, landing facilities, fishing gear, and coastal infrastructure experienced varying degrees of damage. Recovery progressed more rapidly in Toyama than in the most severely affected areas of Ishikawa.
Marine environmental changes	Changes in seabed conditions, fishing grounds, coastal ecosystems, and fish distribution were widely observed following the earthquake.
Community support	Fisheries cooperatives, local governments, and community organizations played essential roles in coordinating recovery activities, disseminating information, and supporting fishing communities.
Governance and institutional support	Government assistance contributed to recovery; however, stronger institutional coordination and more flexible support mechanisms remain necessary.
Future priorities	Disaster preparedness, restoration of fishing grounds, support for ageing fishers, livelihood diversification, and attracting younger generations to fisheries were identified as key priorities.

3.5 Perspectives from Fishing Households

The open-ended responses from the household survey offered valuable insights into fishers' experiences during recovery. Many respondents discussed challenges in rebuilding livelihoods as they adjusted to changes in fishing grounds, coastal environments, and fishery resources. Livelihood diversification proved an important strategy, with some households seeking supplementary income through agriculture, construction, or other temporary jobs. Respondents also recognized the importance of government assistance, support from fisheries cooperatives, and strong community networks in facilitating recovery. Looking ahead, fishers reported the need to strengthen fishing port infrastructure, restore coastal ecosystems, improve fish prices and market access, attract younger generations to fisheries, and promote diverse livelihood options such as aquaculture, seafood processing, and fisheries tourism.

４．今後の展望

This research provides an important foundation for understanding how natural disasters affect the livelihoods and well-being of coastal fishing communities in Japan. Although centered on the 2024 Noto Peninsula Earthquake in Toyama and Ishikawa Prefectures, its insights are valuable for strengthening disaster resilience, sustainable fisheries, and community well-being in other vulnerable regions. Future research will build on these findings by examining long-term recovery, with a focus on environmental change, livelihood resilience, demographic aging, community participation, and disaster preparedness. Longitudinal research will clarify how recovery progresses over time and how fishing communities adapt to both sudden disasters and gradual environmental shifts. The project has established valuable collaborative relationships with fisheries cooperatives, local governments, researchers, and coastal communities. These partnerships provide a strong foundation for future collaborative research, knowledge exchange, and evidence-based approaches to sustainable coastal development and disaster risk reduction. The findings will be disseminated through peer-reviewed journals, conference presentations, and collaborations with fisheries organizations and local stakeholders. They are also expected to contribute to discussions on disaster recovery, coastal resource management, and community resilience in Japan. This research indicates the importance of integrated recovery strategies that include infrastructure rebuilding, environmental restoration, community involvement, institutional support, and sustainable livelihood initiatives. The knowledge generated through this project is expected to strengthen the resilience and well-being of coastal fishing communities and provide practical guidance for future disaster preparedness and sustainable fisheries management.

５．参考文献

1. Badjeck, M.-C., Allison, E. H., Halls, A. S., & Dulvy, N. K. (2010). Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. *Marine Policy, 34*(3), 375–383.
2. Kuroishi, I. (2021). Social resilience in disaster recovery planning for fishing port cities: A comparative study of prewar and twenty-first-century tsunami recovery planning in the northern part of Japan. *Journal of Urban History, 47*(2), 332–353.
3. Suppasri, A., Kitamura, M., Alexander, D., Seto, S., & Imamura, F. (2024). The 2024 Noto Peninsula earthquake: Preliminary observations and lessons to be learned. International *Journal of Disaster Risk Reduction*, 110, 104611.
4. Takakura, H. (2021). Individualism and collectivism in small-scale fisheries post-3.11 Japan. *Disaster Prevention and Management: An International Journal, 30*(6), 26-38.
5. Weeratunge, N., Béné, C., Siriwardane, R., Charles, A., Johnson, D., Allison, E. H., Nayak, P. K., & Badjeck, M.-C. (2014). Small-scale fisheries through the well-being lens. *Fish and Fisheries, 15*(2), 255–279.

Acknowledgements

The author gratefully acknowledges the Toyama Daiichi Bank Scholarship Foundation for its generous funding of this research through its grant program. Sincere thanks are also due to the coordinators and staff of JF Ishikawa, JF Toyama, JF Suzu, and JF Wajima for their valuable support in distributing and collecting household questionnaires, communicating with fishing communities, and supporting fieldwork. Deep gratitude is extended to all fishers, fisheries cooperative members, community leaders, local government officials, and other stakeholders who kindly shared their time, experiences, and insights during household surveys, interviews, and field activities. Their cooperation was essential for this research. The author also appreciates the support and encouragement from colleagues and staff at the Global Research Centre for Advanced Sustainability Science (GRASS) and the Research Promotion Division, University of Toyama, throughout this project.

研究題目	富山県の高等教育機関における英語教育での生成 AI 活用に関する実態調査：教員の認識と実践から、より効果的な導入への示唆
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部学教養教育センター・講師・リ　オリガ
分野	英語教育、外国語教育、CALL
キーワード	生成 AI、英語教育、高等教育、教員認識、教育実践、教員支援

１．研究の背景と目的

近年、ChatGPT に代表される生成 AI の急速な普及により、英語教育における学習支援、教材作成、ライティング支援、フィードバック、評価の在り方は大きな転換期を迎えている。生成 AI は、学習者の英語使用を支援し（リ・モクタリ 2025）、教員の教材準備や授業設計を効率化する可能性を持つ一方で（KOHNKE et al. 2023）、学習者の過度な依存、学習過程の不可視化、評価の公平性、アカデミック・インテグリティなどの課題も伴う。

このような状況において、生成 AI を英語教育にどのように取り入れるかを検討するためには、学習者側の利用実態だけでなく、授業を設計し、評価し、学習者を支援する教員側の認識と実践を明らかにする必要がある。特に、高等教育機関においては、生成 AI の活用方針、授業内での使用条件、学生への説明、評価方法などが教員個人の判断に委ねられる場面も多い。そのため、教員が生成 AI をどのように捉え、どのような不安や課題を感じながら、どの程度教育実践に取り入れているのかを把握することは、今後の英語教育を考える上で重要である。

本研究は、富山県内の高等教育機関に所属している英語教員を対象に、生成 AI をどのように認識し、教育実践に取り入れているかを明らかにすることを目的とした。具体的には、生成 AI に対する認識・態度、生成 AI リテラシーと教員の主体性、教育実践、懸念・課題、制度的方針と組織的支援、教員のウェルビーイングの観点から、富山県内の高等教育英語教育における生成 AI 活用の実態を探索的に整理した。本研究により、今後の教員支援、FD、実践事例の共有、ガイドライン整備に資する基礎資料を得ることを目指した。

２．研究方法

本研究では、量的調査と質的調査を組み合わせた混合研究法を採用した。量的調査として、富山県内の高等教育機関で英語教育に携わる教員を対象に、オンラインアンケート調査を実施した。調査対象は 23 名であり、専任教員だけでなく非常勤講師も含まれていた。参加者の言語背景、雇用形態、教育経験年数は多様であり、県内高等教育機関における英語教育の幅広い実態を反映するデータが得られた。

アンケートは、6 件法リッカート尺度項目と自由記述項目から構成された。尺度項目は，高等教育機関における生成 AI の教育活用に関する教員の認識や態度，制度的支援への評価を測定した先行研究を参考に構成した（CAMBRA‐FIERRO et al. 2025；POPOVIĆ et al. 2025）。調査項

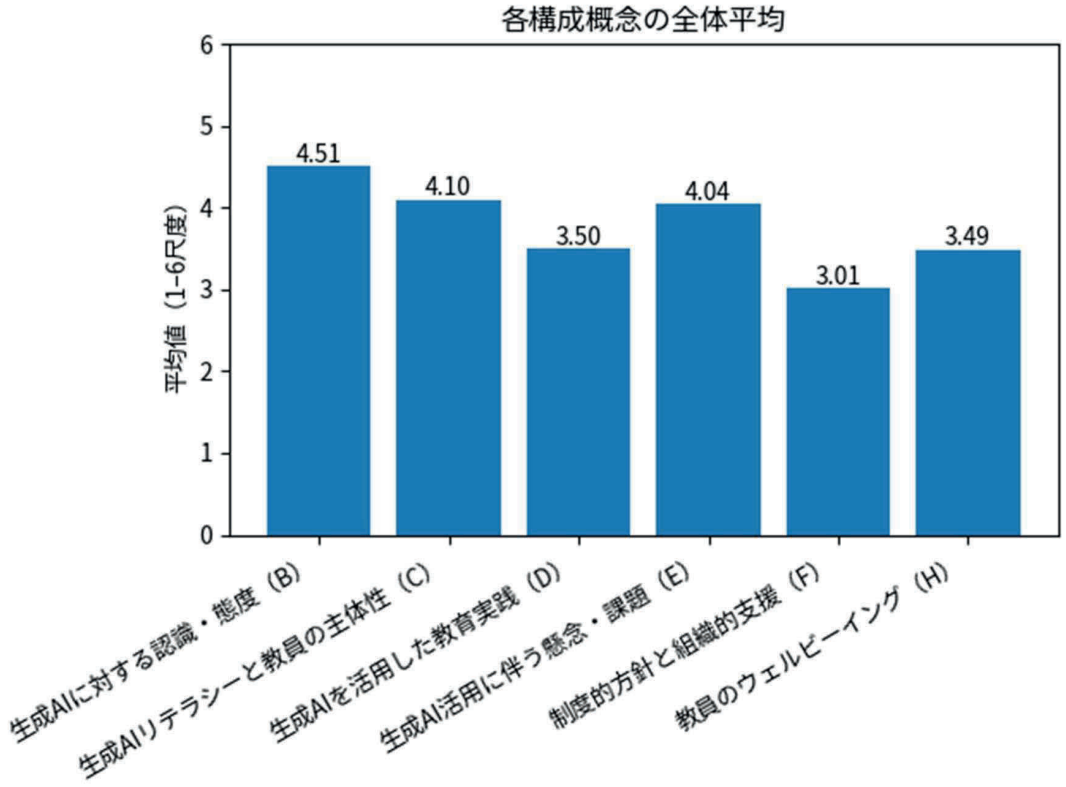
目は、①生成 AI に対する認識・態度、②生成 AI リテラシーと教員の主体性、③生成 AI を活用した教育実践、④生成 AI 活用に伴う懸念・課題、⑤制度的方針と組織的支援、⑥教員のウェルビーイングであった。量的データについては、各観点の平均値を算出し、記述統計により全体傾向を整理した。また、各観点間の関連を探索的に把握するため、相関分析を行った。

質的調査としては、アンケートの自由記述および半構造化インタビューを用い、生成 AI 活用に関する具体的な授業実践、意思決定の背景、懸念や葛藤、実践上の工夫について検討した。なお、本報告書では研究成果の概要を中心に示し、質的データの詳細な分析については、今後、学術論文としてさらに精緻化して報告する予定である。

３．研究成果

アンケート調査の結果、富山県内の高等教育機関で英語教育に携わる教員は、生成 AI の教育的可能性を比較的前向きに捉えていることが明らかとなった。「生成 AI に対する認識・態度」の平均は 4.51 であり、生成 AI を英語教育における有用な支援手段として捉える傾向が確認された。各観点の平均値を表 1 に示す。

表 1　各構成概念の全体平均



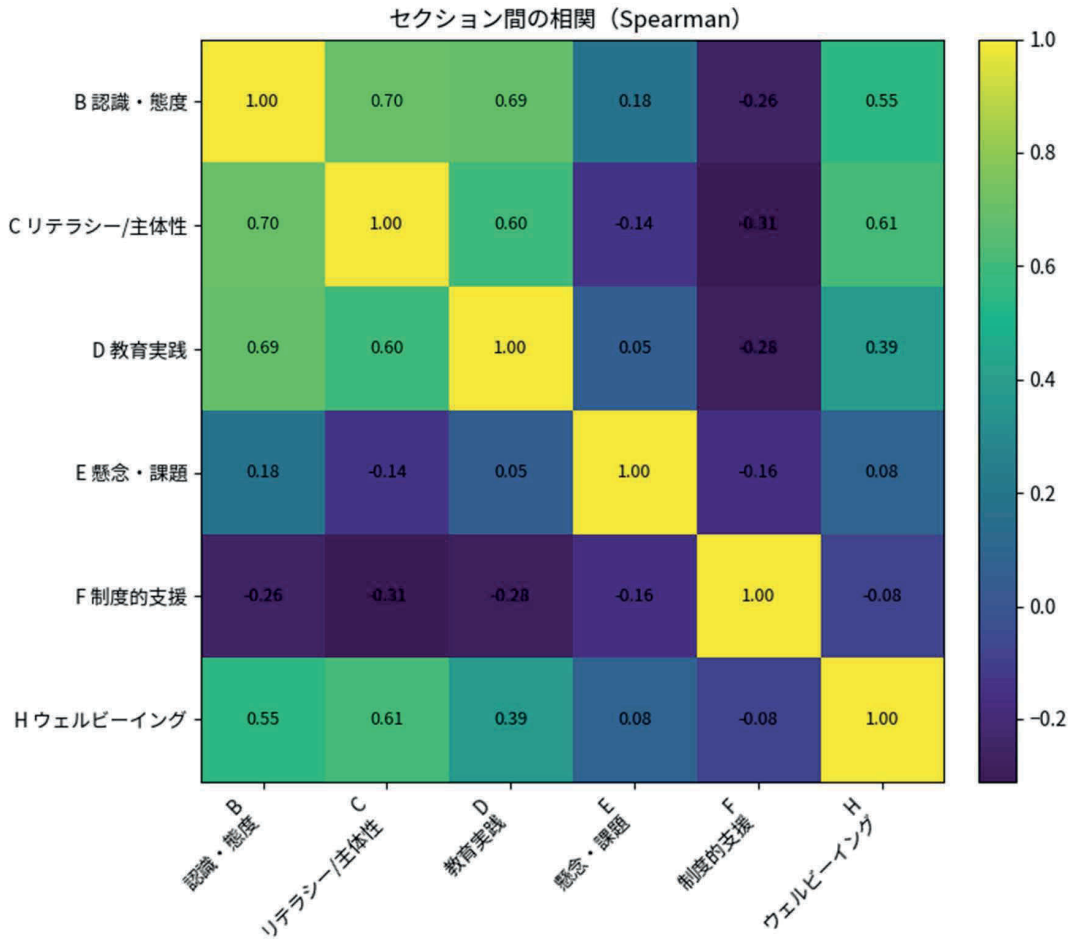
一方で、「生成 AI 活用に伴う懸念・課題」の平均も 4.04 と高く、生成 AI に対する期待と不安が同時に存在していることが示された。教員は生成 AI を単に便利なツールとして受け止めているだけではなく、学習者の依存、評価の公平性、学習過程の見えにくさ、教育的効果の判断と

いった課題を意識しながら活用を検討していることがうかがえる。

「生成 AI リテラシーと教員の主体性」の平均は 4.10 であり、多くの教員が生成 AI の活用に対して一定の理解や判断力を持っていることが示唆された。「生成 AI を活用した教育実践」の平均は 3.50 であり、全面的な導入には至っていないものの、一部の授業実践において生成 AI の活用が進みつつあることが確認された。一方、「制度的方針と組織的支援」の平均は 3.01 と最も低く、生成 AI 活用に関する組織的な方針、研修、相談体制、実践例の共有が十分ではない可能性が示された。

各観点間の関連を検討した結果、生成 AI に対する認識・態度と、生成 AI リテラシー／教員の主体性との間には強い関連が見られた。また、認識・態度およびリテラシー／主体性は、教育実践とも正の関連を示した（図１）。

図１　各構成概念間の相関性



つまり、生成 AI を肯定的に捉え、自ら判断して教育的に活用できるという感覚を持つ教員ほど、授業実践にもつながりやすいことが示唆された。

一方で、懸念・課題と教育実践との関連は弱く、懸念が高いことが必ずしも実践の抑制を意味するわけではないことも示された。この点は、本研究の重要な示唆の一つである。すなわち、教

員は不安や課題を感じているからといって必ずしも生成 AI の活用を避けているわけではなく、教育的必要性を感じながら、リスクを意識しつつ慎重に試行している可能性がある。

この結果は、生成 AI 活用において「肯定的な教員は実践し、懸念の高い教員は実践しない」という単純な図式では捉えられない実態を示している。特に、葛藤している教員は、生成 AI の教育的可能性を認識しながらも、評価、倫理、学生の学習過程、依存の問題などに対して懸念を抱きつつ、授業実践に取り組んでいる可能性がある。このことから、生成 AI 活用は単なる技術導入ではなく、教員の専門的判断、教育観、授業文脈に基づく調整を伴う実践であることが示唆された。

以上の結果から、富山県内の高等教育機関における英語教育では、生成 AI に対する関心と実践が一定程度進んでいる一方で、制度的支援や実践共有の仕組みには課題が残されていることが明らかとなった。本研究は、地域の高等教育機関における英語教員の認識と実践の関係を探索的に可視化し、今後の FD、教員支援、ガイドライン整備のための基礎的知見を提供するものである。

なお、本研究で得られたデータは、今後、質的データの詳細な分析を加え、生成 AI 時代における英語教員の専門的判断、葛藤、主体性、ウェルビーイングの関係を検討する学術論文として発展させる予定である。そのため、本報告書では研究成果の概要と教育的示唆を中心に示した。

4．今後の展望

今後の課題は、生成 AI を単に授業へ導入することではなく、学習者の思考や言語使用を損なわず、教育的に意味のある形で活用するための授業設計力、評価力、判断力を高めることである。特に、生成 AI をどの段階で、どの目的で、どのような条件のもとで使用させるかを明確にし、学習の過程を可視化しながら活用する指導設計が重要となる。

提出物のみを評価する従来型の評価方法では、生成 AI 時代の学習過程を十分に把握できない可能性がある。そのため、下書き、修正過程、口頭説明、授業内活動、振り返りなどを含むプロセス重視の評価への転換が求められる。英語教育においては、生成 AI によって完成された英文だけを見るのではなく、学習者がどのように AI の提案を理解し、選択し、修正し、自分の表現として再構成したかを評価する視点が必要である。

教員支援の面では、慎重型の教員に対しては、低リスクで始められる具体的な活用例や授業内活動例の共有が有効であると考えられる。葛藤している教員に対しては、評価方法、倫理的配慮、学生への説明方法、AI 使用ルールの設計に関する具体的なガイドや相談の場が必要である。また、非常勤講師を含む多様な教員が情報にアクセスできるよう、単一のルールを提示するだけでなく、選択肢、事例、相談機会を組み合わせた柔軟な支援体制を整えることが望まれる。

本研究の成果は、富山県内の高等教育機関における英語教育の現場に還元可能である。具体的には、教員向け FD、生成 AI 活用に関する実践事例の共有、授業設計や評価方法に関するガイドライン作成、非常勤講師を含む教員間の情報共有体制の整備などに活用できる。今後は、自由記述およびインタビューの分析をさらに進め、教員がどのような場面で生成 AI 活用に葛藤を感

じ、どのように教育実践へ調整しているのかを明らかにしていく。

さらに、本研究を学術論文として発展させることで、富山県内の高等教育機関における実態に基づく知見を、より広く国内外の英語教育研究に発信することを目指す。特に、生成 AI 時代における英語教員の認識、実践、懸念、主体性、ウェルビーイングの関係を理論的・実証的に検討することにより、今後の英語教育における生成 AI 活用のあり方について、より具体的な示唆を提供したい。

５．参考文献

Cambra-Fierro, J. J., Centeno, E., Olavarria, F. J., & Vazquez-Carrasco, R. (2025). ChatGPT adoption and its influence on faculty well-being: An empirical research in higher education. Education and Information Technologies, 30, 1517–1538. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12871-0

Kohnke, L., Moorhouse, B. L., & Zou, D. (2023). ChatGPT for language teaching and learning. RELC Journal, 54(2), 537–550. https://doi.org/10.1177/00336882231162868

Popović Šević, N., Dukić, D., & Ilić, M. (2025). AI adoption in higher education: Exploring attitudes and perceived benefits between users and non-users. Online Journal of Communication and Media Technologies, 15(4). https://doi.org/10.30935/ojcmt/17246

リ オリガ・モクタリ明子（2025）「工学系学生の英語教育における生成 AI 活用の可能性―英文ライティング支援ツールとして効果検証に向けて―」『富山県立大学紀要』35，29–38.

研究題目	健康診断データから紐解く生活習慣と慢性腎臓病との関係
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部教養教育センター・講師・川上翔太郎
分野	運動生理学
キーワード	慢性腎臓病、生活習慣、腎機能

1. 研究の背景と目的

日本人の主要な死因は、第 1 位が悪性新生物（24.6%）、第 2 位が心血管疾患（14.8%）、第 3 位が老衰（11.4%）、第 4 位が脳血管疾患（6.8%）です[1]。日本のみならず世界における主要な死因である心血管疾患および脳血管疾患の強力な危険因子である慢性腎臓病（CKD）は世界および日本の 8 人に 1 人が罹患[2-3]し、世界的な健康課題の一つとして認識されている。慢性的に腎機能が低下した状態を CKD といい、腎機能低下が進行し、命に関わる状態になると透析導入や腎移植が必要となる。人工透析導入の原因疾患として糖尿病性腎症、腎硬化症など（総称して CKD）が存在しており、「新たな国民病」とも言われている。また、CKD は糖尿病や高血圧などの生活習慣病と関係が深く、わが国の人工透析導入における糖尿病や高血圧の影響は大きく、人工透析に占める割合は 50%以上（糖尿病性腎症：39.5%、腎硬化症：13.4%）に及んでいる[4]。富山県における高血圧性疾患や糖尿病による死亡率は全国に比べ高い状況が続いている[5]。さらに、富山県では毎年約 300 人が CKD により透析導入になっており、富山県の人工透析新規導入患者の原因疾患の約 4 割は糖尿病性腎症である。新規透析導入患者を減少させるためには CKD のリスクをできるだけ早期に軽減することが重要である。さらに、CKD 患者は透析導入や腎移植が必要になる上に、腎機能低下に伴い心血管疾患（日本人の死因の第 2 位）のリスクも高まる[6]。したがって、CKD 患者 8 億人の健康寿命（健康上のトラブルによって、日常生活が制限されずに暮らせる期間）を延伸するためには、透析移行防止や健康寿命延伸のための対策を講じる必要がある。

近年、運動や食事などの生活習慣と腎機能との関連性について、いくつかの報告が散見される[7–9]。これまで申請者は生活習慣と CKD 発症との関係について研究を進め、運動不足や夜食、夜遅くの夕食のような不健康な生活行動の蓄積が CKD 有病率と関連することを明らかにした[10]。さらに、健康的

な生活行動の蓄積が CKD リスクを低減させ[11]、健康的な生活行動への改善は CKD を有する者の腎機能低下を抑制できる[12]ことも明らかにした。しかし、これらの研究が男性に限られた検討であることや生活習慣と CKD 進行に性差が存在する[13–15]ことを勘案すると、さらなる検討が必要である。

以上のことから、本研究では本学の男女教職員を対象に健康診断結果から得られた生活習慣データと CKD 有病率との関係を横断的に明らかにした。具体的には、2024 年に実施された健康診断結果から得られた生活行動データおよび身体計測、生理学的、生化学的データと腎機能との関係を横断的に検証した。

2. 研究方法

2–1. 対象者

2024 年の定期健康診断を受診した本学の男女教職員のうち、本研究への同意が得られた者を対象とした。本研究は横断的研究であり、2024 年に実施された健康診断結果から得られた生活習慣データおよび身体計測、生理学的、生化学的データと腎機能との関係を横断的に検証した。本研究は富山県立大学「人を対象とする研究」倫理審査部会の承認を得たのち（No. R6–18）、対象者全員に学内メーリングリストを用いて本研究の主旨、内容について共有および説明を実施し、同意を得て実施した。データ収集方法については、学内メーリングリストを用いて全対象者に対して本研究内容の共有および説明を実施し、本研究に理解および同意していただいた方からオンラインフォームツールを介してデータを収集した。データの匿名化は、データ取得時に氏名、住所、連絡先などの個人情報を含まないようにし、個人が特定できないようにした。なお、本研究は企業からの資金提供や企業との雇用関係ならびに親族などの個人的な関係はなく、開示すべき利益相反はない。

2–2. 腎機能評価

本研究での腎機能評価には日本腎臓学会の「エビデンスに基づく CKD 診療ガイドライン 2023」に準じ、血清クレアチニン値より推定糸球体濾過量（eGFR）を算出し[eGFR（ml/min/1.73m^2）= 194 ×血清クレアチニン（mg/dl）$^{-1.094}$ ×年齢（歳）$^{-0.287}$（女性の場合×0.739）]、CKD の重症度分類を実施した。尿中蛋

白の有無は試験紙法で測定し、(1＋)以上を蛋白尿ありと定義した。

2–3. 血液生化学検査、携帯および安静時血圧測定

10 時間以上の絶食の後、空腹時採血を実施し、赤血球数、血色素量(Hb)、ヘマトクリット値、空腹時血糖、HBA1c(NGSP)、HDL–コレステロール、LDL–コレステロール、中性脂肪、肝機能指標(AST、ALT、γ–GTP)を測定した。

形態測定は身長、体重、腹囲(臍高)を測定し、BMI[BMI = 体重(kg)/身長(cm)^2]を算出した。血圧は 5 分以上の安静の後、座位にて測定した。血圧測定は 2 回行い、測定値が 10mmHg 以上異なる場合は再度測定し、全ての測定の平均値を採用した。

2–4. 生活習慣データの評価

厚生労働省の「標準的な健診・保健指導プログラム(確定版)」の自記式質問票を用いて、生活習慣データ(運動や身体活動、食事、喫煙、飲酒、睡眠)、内服状況、現病歴、既往歴に関する質問を実施した。運動と身体活動に関する内容は、「1 回 30 分以上の軽く汗をかく運動を週 2 回以上、1 年以上実施」、「日常生活において歩行または同等の身体活動を 1 日 1 時間以上実施」、「ほぼ同じ年齢の同性と比較して歩く速度が速い」の 3 項目について、食事に関する内容は、「人と比較して食べる速度が速い」、「就寝前の 2 時間以内に夕食をとることが週に 3 回以上ある」、「夕食後に間食(3 食以外の食事)をとることが週に 3 回以上ある」、「朝食を抜くことが週に 3 回以上ある」の 4 項目について質問した。飲酒は飲酒する頻度(毎日/ときどき、または、ほとんど飲まない)と飲酒日の 1 日あたりの飲酒量について質問し、喫煙は習慣的に喫煙を行っているか否かについて質問した。さらに、睡眠は睡眠で休養が十分にとれているか否かについて質問した。

2–5. 統計処理

統計処理には、Prism version 10.6.1(GraphPad Software, San Diego, CA, USA)を用いた。本研究では、主要評価項目である腎機能指標を含む各アウトカム間の相関関係を解析し、特定の生活習慣や生理学的および生化学的データと CKD 有病率(腎機能指標)との関係を評価した。健康診断結果から得られた生活習慣データおよび身体計測、生理学的、生化学的データおよび腎機能の男女での比較は

対応のないt検定を用い、eGFRおよび各因子との関係についてはPearsonの単相関を用いた。さらに、生活習慣データ(運動、食事)に基づいて対象者を 3 群に分け、各群での健康診断データを Kruskal-Wallis test を用いて比較した。危険率 5%未満をもって統計的有意水準とする。

3. 研究成果

2024 年の定期健康診断を受診した大学教職員のうち、本研究への同意が得られた 36 名(うち、女性 8 名)[平均年齢 45 ± 16 歳、平均 body mass index(BMI)20.9 ± 5.5 kg/m^2、平均 estimated glomerular filtration rate (eGFR) 69.7 ± 16.6 ml/min/1.73m^2]を対象とした(表 1)。健康診断結果から得られた生活習慣データおよび身体計測、生理学的、生化学的データおよび腎機能の男女での比較は対応のない t 検定を用い、eGFR および各因子との関係については Pearson の単相関を用いた。さらに、生活習慣データ(運動、食事)に基づいて対象者を 3 群に分け、各群での健康診断データを Kruskal-Wallis test を用いて比較した。男性は女性と比較して、身長(p < 0.001)、体重(p = 0.008)、ヘモグロビン(p = 0.013)、ヘマトクリット(p = 0.043)、尿酸(p = 0.02)、クレアチニン(p = 0.002)が有意に高

表1. 対象者特性

	男性 (28名)	女性 (8名)	p値
eGFR, mL/min/1.73m^2	78 ± 16	70 ± 11	0.121
血清クレアチニン, mg/dL	0.86 ± 0.17	0.69 ± 0.1	0.002
年齢, 歳	49 ± 12	49 ± 12	0.926
体重, kg	65.6 ± 7.7	52.5 ± 10.3	0.008
BMI, kg/m^2	22.4 ± 2.8	20.5 ± 4.0	0.238
腹囲, cm	80.3 ± 7.0	73.6 ± 9.9	0.133
収縮期血圧, mmHg	120 ± 11	131 ± 18	0.143
拡張期血圧, mmHg	73 ± 10	79 ± 12	0.178
LDL-C, mg/dL	102 ± 27	129 ± 21	0.010
HDL-C, mg/dL	60 ± 13	71 ± 17	0.134
中性脂肪, mg/dL	89 ± 61	97 ± 70	0.773
空腹時血糖値, mg/dL	97 ± 24	92 ± 21	0.608
HbA1c, NGSP values; %	5.6 ± 0.9	5.3 ± 0.6	0.300
ヘモグロビン, g/dL	14.3 ± 0.6	13.2 ± 1.0	0.013
ヘマトクリット, %	42.9 ± 2.0	40.3 ± 2.9	0.043
AST, U/L	19.7 ± 3.7	25.8 ± 17.6	0.366
ALT, U/L	18.5 ± 5.9	30.8 ± 35.0	0.365
γ-GTP, U/L	31.9 ± 24.0	39.5 ± 35.9	0.587
AST/ALT比	1.11 ± 0.27	1.14 ± 0.46	0.887
尿酸, mg/dL	5.7 ± 1.3	4.5 ± 1.0	0.020

表2. 単相関分析によるeGFRと冠危険因子との関係

	男性		女性	
	相関係数	p値	相関係数	p値
年齢, 歳	-0.312	0.105	-0.344	0.404
体重, kg	-0.452	0.016	0.774	0.024
BMI, kg/m^2	-0.552	0.002	0.689	0.059
収縮期血圧, mmHg	-0.040	0.843	-0.282	0.499
拡張期血圧, mmHg	-0.077	0.701	-0.149	0.726
LDL-C, mg/dL	-0.347	0.077	-0.063	0.882
HDL-C, mg/dL	0.026	0.899	-0.285	0.494
中性脂肪, mg/dL	-0.316	0.108	0.143	0.735
空腹時血糖値, mg/dL	0.040	0.842	0.114	0.808
HbA1c, NGSP values; %	0.506	0.007	0.531	0.176
ヘモグロビン, g/dL	-0.186	0.364	-0.048	0.909
ヘマトクリット, %	-0.237	0.244	-0.329	0.426
AST, U/L	-0.172	0.391	0.029	0.946
ALT, U/L	-0.263	0.185	0.161	0.703
γ-GTP, U/L	-0.305	0.121	0.497	0.211
AST/ALT比	0.224	0.262	-0.724	0.042
尿酸, mg/dL	-0.751	0.000	-0.485	0.270

く、LDL コレステロール（p = 0.01）は有意な低値を示したが、eGFR（腎機能）には性差を認めなかった。eGFR および各因子との関係について、男性では eGFR 値は体重（r = -0.452、p = 0.016）、BMI（r = -0.552、p = 0.002）、HbA1c（r = 0.506、p = 0.007）、尿酸（r = -0.751、p <0.001）と有意な相関関係を認めた。一方、女性では eGFR 値は体重（r = 0.774、p = 0.024）、AST/ALT 比（r = -0.724、p = 0.042）と有意な相関関係を認めた（表 2）。また、生活習慣データに基づいた 3 群における比較では、eGFR を含め 3 群間に有意差を認めなかった（図 1）。

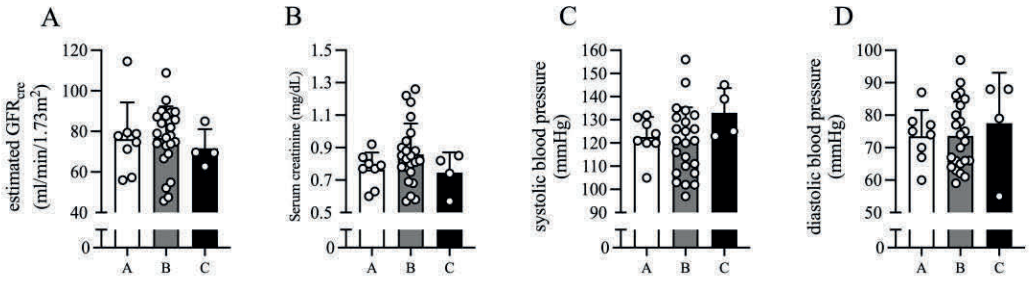


図 1. 生活習慣データに基づいた 3 群（健康的な習慣数：A；6〜7 個、B；3〜5 個、C；0〜2 個）における（A）eGFR、（B）血清クレアチニン、（C）収縮期血圧および（D）拡張期血圧の比較

4. 今後の展望

本研究では本学の男女教職員を対象に健康診断結果から得られた生活習慣データと CKD 有病率との関係を横断的に明らかにした。具体的には、2024 年に実施された健康診断結果から得られた生活行動データおよび身体計測、生理学的、生化学的データと腎機能との関係を横断的に検証した。さらに、我々は本研究成果を踏まえて第 2 ステップとして生活習慣データと CKD 発症率及び有病率との関係を縦断的に明らかにする。一連の研究により、生活習慣と CKD 発症率及び有病率との関係を明らかにすることができれば、CKD に影響を及ぼす生活行動を明らかにすることができるうえ、CKD 発症や人工透析導入予防のための生活指導の普及に貢献することが期待できる。

5. 参考文献

［1］　厚生労働省 2022 年度人口動態統計月報（概数）の概況.

［2］ Imai et al., *Clin Exp Nephrol* 2009

［3］ Kovesdy CP. Epidemiology of chronic kidney disease: an update 2022. *Kidney Int Suppl* 2022

［4］ 日本透析医学会統計調査委員会編：図説 わが国の慢性透析療法の現況（2022 年 12 月 31 日現在）

［5］ 富山県公式ウェブサイト，富山県の生活習慣病 その推移と現状（令和 6 年 3 月）

［6］ Go et al., Chronic kidney disease and the risks of death, cardiovascular events, and hospitalization. *N Engl J Med* 2004

［7］ Hoshino et al., Physical activity and renal outcome in diabetic and non-diabetic patients with chronic kidney disease stage G3b to G5. *Sci Rep* 2024

［8］ Fujiwara et al., Association between malnutrition and adverse renal outcomes in patients with type 2 diabetes. *J Diabetes Investig* 2024

［9］ Castillo-Garcia et al., Physical activity, chronic kidney disease, and cardiovascular risk: a study in half a million adults. *Scand J Med Sci Sports* 2024

［10］ Michishita et al., The association between unhealthy lifestyle behaviors and the prevalence of chronic kidney disease (CKD) in middle-aged and older men. *J Epidemiol* 2016

［11］ Michishita et al., The accumulation of healthy lifestyle behaviors prevents the incidence of chronic kidney disease (CKD) in middle-aged and older males. *Environ Health Prev Med* 2016

［12］ 道下ら、夜遅くの食事や間食をしない、身体活動レベルを維持する生活習慣は CKD 保有男性の腎機能低下を抑制する．*腎と透析* 2016

［13］ Carrero et al., Sex and gender disparities in the epidemiology and outcomes of chronic kidney disease. *Nat Rev Nephrol* 2018

［14］ Mayne et al., Sex and gender differences in the management of chronic kidney disease and hypertension. *J Hum Hypertens* 2023

［15］ Iseki Gender differences in chronic kidney disease. *Kidney Int* 2008

研究題目	近赤外非線形ラマン分光を用いた農作物中の肥料成分濃度のリアルタイム計測法の開発
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部 電気電子工学科・准教授・髙屋　智久
分野	分析化学・ライフサイエンス・物理化学
キーワード	非破壊分析・コヒーレントアンチストークスラマン散乱

１．研究の背景と目的

栽培中の農作物を適切に管理することは、農作物の品質を向上させ、有力なブランドとして他の地域や国に流通させるうえできわめて重要である。富山県においては、イネ、ハトムギ、六条大麦などの穀類、ネギ、タマネギなどの野菜、ナシ、カキ、リンゴなどの果樹、チューリップなどの花卉が代表的な農作物であり、これらの農作物のブランド力を高めることが課題である。

農作物の栽培管理において、適切な施肥および追肥は欠かせない。しかし、栽培中の農作物が土壌に投入した肥料のうちどれだけの量を実際に吸収しているかを、生産者が正しく把握することは容易でない。農作物の葉や茎の成長に効果のある窒素肥料の場合、最も簡便かつ非破壊で農作物中の窒素肥料成分の量を推定するには、葉や茎を目視によって精緻に観察し、色や形状を確認すればよい。葉の色や形状、茎の色や形状と窒素肥料の過不足との関係が経験的に知られているので、観察結果から直ちに窒素肥料の過不足を判定できる。しかし、この判定法は栽培経験および観察力の個人差、ならびに農作物株の個体差の影響を強く受けるため、確度や判定精度は高くない。一方、イオンクロマトグラフィー法[1]、イオン電極法[2]、比色分析法[3]などの機器分析法を用いれば高確度かつ高精度で農作物中の窒素肥料量を決定できるが、農作物から汁液を採取することが必要不可欠である。汁液の採取に時間を要するため、この方法で農作物の全株について窒素肥料量を把握することは難しい。また、一般に汁液を採取した部分は損傷するので、継続的に窒素肥料量を分析することが困難である。

近年、簡便、非破壊かつ定量的に農作物の品質を評価する方法として、分光分析法が注目を集めている。分光分析法では、物質による光の吸収や散乱などの強さを波長ごとに測定し、物質の種類と量を決定する。中でも、可視光線の吸収の強さの波長特性（可視吸収スペクトル）を測定する吸収分光法は簡便さに優れる。実際に、窒素肥料の形態のひとつである硝酸イオンが農作物の葉にどれだけの濃度で存在するかを吸収分光法によって推定する研究がこれまでに報告されている[4]。しかし、硝酸イオンは可視光線を吸収しないので、この方法では葉に含まれる他の色素（クロロフィル、カロテノイドなど）による可視光線の吸収の強さをもとに、教師あり機械学習を用いて硝酸イオン濃度を推定することとなる。農作物の葉の色は品目や品種によって異なり、気象条件や土壌による影響も受けうるため、機器を品目ごと、圃場ごとに、かつ定期的に校正する必要がある。校正のたびに、機械学習のための教師データとして多数の葉を採取しなければならないことは大きな短所である。ゆえに、硝酸イオンによる直接の光信号を測定し、硝酸イオン濃度を知ることができる分析法が望まれる。

本研究では、肥料成分による直接の光信号を測定し、農作物中の肥料成分の濃度を非破壊で決定する方法として、非線形ラマン分光法のひとつであるコヒーレントアンチストークスラマン散乱（CARS）分光法[5, 6]に着目した。周波数 ω_1 の光が物質によって散乱されるとき、散乱光のほとんどは周波数 ω_1 を持つが、ごく低い割合で周波数が ω_1 よりも物質中の分子の固有振動数 ω_M だけ高くなる（アンチストークスラマン散乱）[5]。CARS とは、物質に照射する周波数 ω_1 の光（ポンプ光）に加えて、ポンプ光の周波数 ω_1 よりも分子の固有振動数 ω_M だけ低い周波数を持つ光（ストークス光、周波数：$\omega_2 = \omega_1 - \omega_M$）を同時に照射すると、アンチストークスラマン散乱と同じ周波数（$\omega_1 + \omega_M$）を持つ光が特定の条件を満たす方向にビーム状に発生する現象である（図 1）。この光の波長と強度を測定することで、物質中の分子の種類と量を決定できる。CARS はほとんどの分子種から発生するので、本手法を農作物の葉に適用すれば、品種や品目、気象条件や土壌などによらず、硝酸イオンの濃度を直接的に決定できると期待される。そこで、農作物の葉に含まれる硝酸イオンの濃度の直接測定に特化した非線形ラマン分光計を製作し、硝酸イオン濃度の経時変化をリアルタイムで追跡可能とすることを本研究の目標とした。

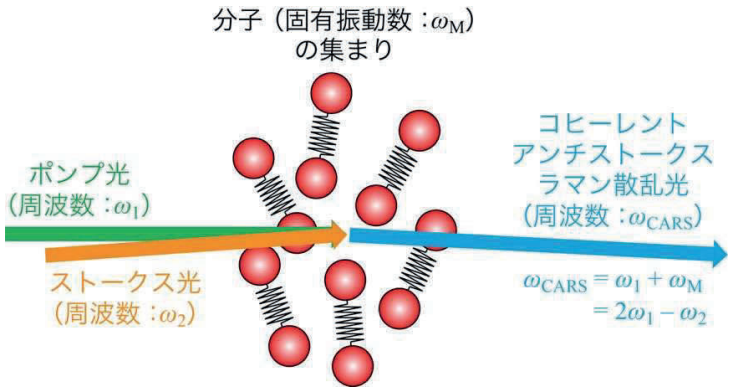


図 1　コヒーレントアンチストークスラマン散乱。

２．研究方法

２．１　近赤外コヒーレントアンチストークスラマン散乱分光計の製作

波長 1064 nm のナノ秒パルスレーザーを光源に用いて近赤外 CARS 分光計を立ち上げた[6]。製作した分光計のブロック図を図 2 に示す。

ナノ秒パルスレーザー（SNP-20F-100、Teem Photonics 社、波長 1064 nm、パルス幅 1 ns、水平偏光）の出力の偏光方向を 1/2 波長板で約 45°だけ回転させてから、偏光ビームスプリッターを通過させて水平偏光成分と垂直偏光成分の 2 つに分割した。分割したレーザー出力のうち、水平偏光成分をバンドパスフィルターに通した後ビームエキスパンダーで平行化し、ポンプ光とした。また、垂直偏光成分を長さ 3 m の偏波保持フォトニック結晶ファイバーに導入し、波長 1100～1300 nm の領域を含む広帯域レーザーパルスに変換してストークス光とした後、ファイバーの出射口を回転させて水平偏光として取り出した。ポンプ光とストークス光をダイクロイックミラーで合波し、非球面レンズ（焦点距離 25 mm、NA 0.43）で試料に集光した。これらのレーザ

ーパルスにより、試料において CARS が発生し、試料中を散乱されながら進み、通過する。試料を通過した CARS 信号光を別の非球面レンズ（焦点距離 25 mm、NA 0.43）で集め、ノッチフィルターでポンプ光を除き、ロングパスフィルターで波長 850 nm 以下の外光成分を除いた後、分光器（SpectraPro 2300i、Princeton Instruments 社）で波長ごとに進行方向を分け、CCD 検出器（iVac 324 FI、Andor Technology 社）で波長ごとに強度を測定した。

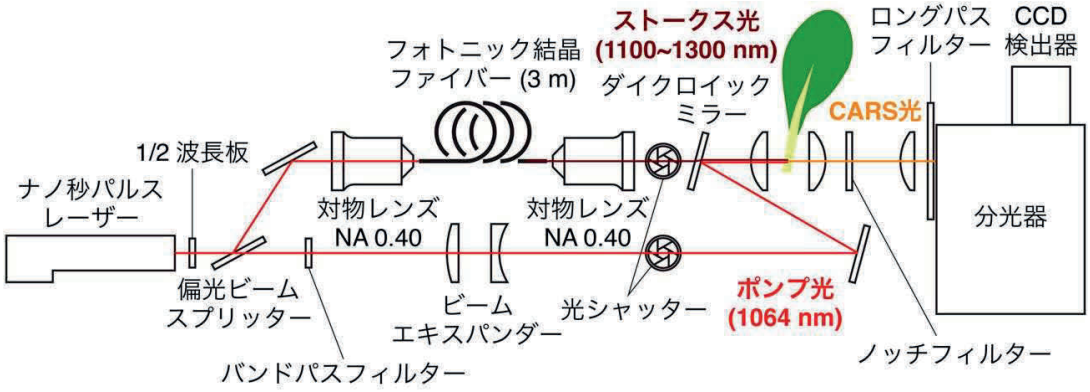


図 2　近赤外コヒーレントアンチストークスラマン散乱分光計のブロック図。

２．２　コヒーレントアンチストークスラマン散乱スペクトルの解析

CARS 信号の強度を縦軸に、CARS 信号の周波数とポンプ光の周波数の差（ラマンシフト）を横軸にとり、CARS スペクトルのグラフを作成して解析を行った。一般に、分子の固有振動により発生する CARS 信号は、分子の固有振動数に等しいラマンシフトの値を中心に、低ラマンシフト側に極大値、高ラマンシフト側に極小値を持つ形をとる（図 3）。また、広いラマンシフト帯域にわたって現れている強い光信号は非共鳴バックグラウンドとよばれ、分子の固有振動とは無関係に発生する。CARS の物理学的モデルを用いて信号の形状を再現し、正味の信号強度を求めることは難しいため、本研究では CARS 信号の強度の極大値と極小値を読み取り、それらの差を算出して CARS の強度とした。

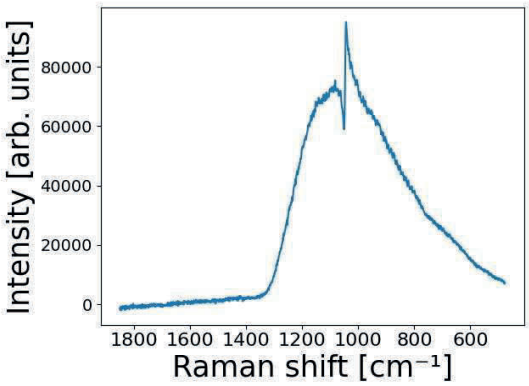


図 3　硝酸ナトリウム水溶液のコヒーレントアンチストークスラマン散乱スペクトル。慣習にしたがい、横軸の単位を cm^{-1} に変換して示してある。

２．３　コマツナ試料の前処理、コヒーレントアンチストークスラマン散乱測定、および硝酸イオン濃度の真値の測定

本研究では、まず農作物の葉に含まれる硝酸イオンの CARS 信号が検出可能であるかどうか

を調べる必要があった。葉中の硝酸イオン濃度を CARS 分光計による硝酸イオンの検出下限よりも十分に高くするため、市販のコマツナの幼葉（ベビーリーフ）を既知の濃度の硝酸ナトリウム水溶液に 1 日浸漬した後、表面に付着した硝酸ナトリウム水溶液を拭き取って試料とした。CARS 測定後、試料を圧搾して汁液を採取し、汁液中の硝酸イオンの濃度を比色分析計（RQflex 20、Merck 社）で測定し、真値とした。

CARS 分光計によって農作物の葉に含まれる硝酸イオンを直接検出できることを確認した後、市販のコマツナの内葉を試料として CARS 信号の測定および比色分析を行い、CARS 信号から求まる硝酸イオン濃度の確度を評価した。

３．研究成果

３．１　硝酸イオンのコヒーレントアンチストークスラマン散乱信号の観測と硝酸イオン濃度との相関の評価

まず、製作した CARS 分光計によって硝酸イオンの固有振動による CARS 信号がどのように観測され、硝酸イオン濃度とどのような相関関係にあるかを確認するため、さまざまな濃度の硝酸ナトリウム水溶液を調製して CARS スペクトルを測定し、CARS 強度と硝酸イオン濃度の関係を調べた。

硝酸ナトリウム水溶液の CARS スペクトルにおいて、ラマンシフト 1040～1070 cm^{-1} の範囲に鋭い極大と極小が現れた（図 3）。文献[5, 7]との比較により、この信号を硝酸イオンの対称伸縮振動に帰属した。硝酸イオン濃度を縦軸に、硝酸イオンの対称伸縮振動の CARS 強度を横軸にとってプロットすると、図 4 のようなグラフとなった。この結果より、硝酸イオン濃度と CARS 強度の間に概ね正の直線的な相関関係があることが確認された。また、硝酸イオン濃度が約 2000 mg/L である硝酸ナトリウム水溶液まで CARS 信号が検出されたことから、本研究の CARS 分光計による硝酸イオン濃度の測定下限は約 2000 mg/L であることが分かった。

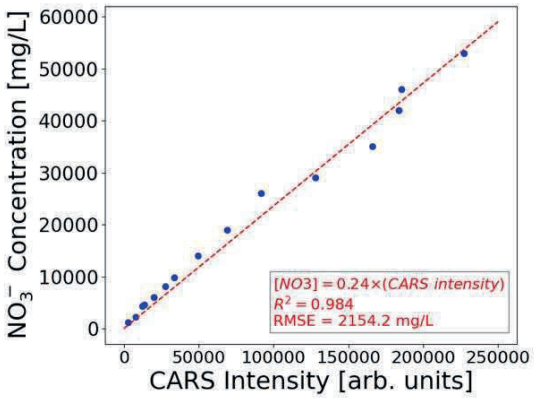


図 4　硝酸ナトリウム水溶液中の硝酸イオンの CARS 強度と硝酸イオン濃度の実測値との相関。赤色の破線は最小二乗法によって求めた近似直線である。

３．２　硝酸ナトリウム水溶液に浸漬されたコマツナ幼葉のコヒーレントアンチストークスラマン散乱信号の観測と硝酸イオン濃度との相関の評価

本研究の CARS 分光計によって硝酸イオンの対称伸縮振動による CARS 信号が観測され、硝酸イオン濃度と CARS 強度との間に直線的な相関関係があることが見出されたため、硝酸ナトリウム水溶液に 1 日浸漬したコマツナ幼葉を分光計にセットして CARS 信号の観測を試みた。

はじめにコマツナ幼葉の葉身のさまざまな位置にポンプ光とストークス光を照射したが、

CARS 信号は観測されなかった。次いで、葉柄に光を照射したところ、左縁または右縁に近い部位から硝酸イオンの CARS 信号が観測された。以上の結果より、コマツナの葉について硝酸イオンの CARS 信号を観測するには、葉柄の、あまり厚すぎない部位を選択して光を照射する必要があることが分かった。

ポンプ光とストークス光の照射位置を調整し、30 枚のコマツナ幼葉について CARS スペクトルを測定した。得られたスペクトルから CARS 強度を算出し、硝酸イオン濃度の真値との相関関係を調べたが、有意な相関は見られなかった。その原因を特定するため、同じ硝酸イオン濃度を持つ 2 枚のコマツナ幼葉の CARS スペクトルを比較したところ、同じ濃度にもかかわらず CARS スペクトルの強度が全く異なることが分かった（図 5(a)）。この強度差は葉柄の厚さの違い、あるいは葉柄表面の凹凸の大きさの違いによると考えられる。すなわち、同じ濃度の硝酸イオンから同じ強度の CARS 信号が発生しても、葉柄の内部や表面による散乱の大きさの違いによって、葉柄を透過して分光器へと到達する CARS 信号の強度が異なることとなる。

この仮説が正しいとすると、観測される非共鳴バックグラウンド信号の強度も葉柄の形状の個体差の影響を受けて変化するが、散乱による損失の割合が光の周波数に大きく依存しなければ、硝酸イオン濃度が同じ葉について CARS 強度とバックグラウンド強度の比の値は互いに等しくなると予想される。そこで、非共鳴バックグラウンドを最も良く再現するようなガウス関数を求め、このガウス関数の最大値が 1 となるように CARS スペクトルの強度を規格化した。結果を図 5(b)に示す。規格化処理によって、2 枚のコマツナ幼葉における硝酸イオンの CARS 強度が概ね同じ大きさとなった。以上の結果より、同じ硝酸イオン濃度のコマツナ幼葉であっても葉柄の形状の違いによって見かけの CARS 強度が変化すること、非共鳴バックグラウンドの大きさを解析してスペクトルを規格化することによって見かけの CARS 強度の違いを補正できることが明らかとなった。

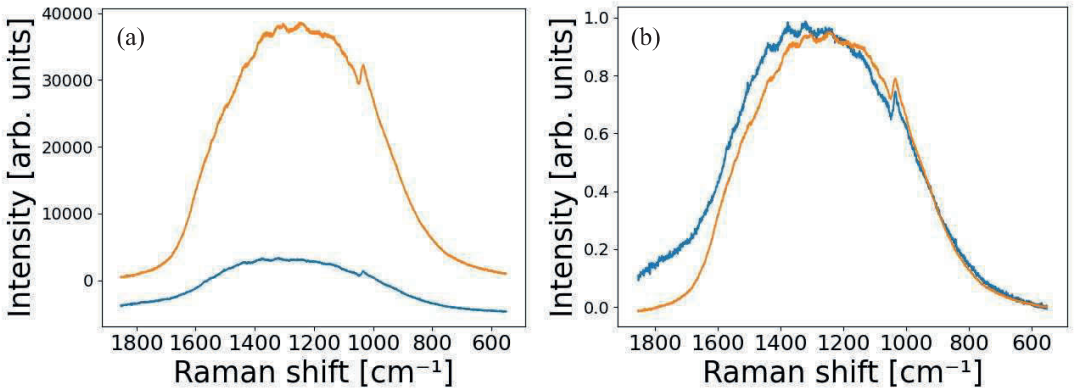


図 5　(a) 同じ硝酸イオン濃度（5900 mg/L）を持つ、異なる 2 枚のコマツナ幼葉のコヒーレントアンチストークスラマン散乱スペクトル。(b) (a)のスペクトルの非共鳴バックグラウンドを最も良く再現するようなガウス関数を求め、このガウス関数の最大値が 1 となるように(a)のスペクトルを規格化した結果。

30 枚のコマツナ幼葉の CARS スペクトルを全て同様に規格化して CARS 強度を求め、あらためて硝酸イオン濃度の真値との相関関係を調べた。結果を図 6 に示す。規格化された CARS 強度と硝酸イオン濃度との間に、決定係数にして 0.64 程度の相関関係が見出された。このことから、コマツナ幼葉の CARS 測定により、硝酸イオン濃度をある程度の正確さで決定できることが示された。また、硝酸イオン濃度の真値が約 4000 mg/L であるコマツナ幼葉まで CARS 信号を検出できたことから、本研究の CARS 分光計によるコマツナ幼葉中の硝酸イオン濃度の測定下限は約 4000 mg/L と分かった。このときの CARS スペクトルの測定時間は 4 秒であった。

３．３　コヒーレントアンチストークスラマン散乱分光計による市販コマツナの硝酸イオン濃度の測定

CARS 分光計の実用性を評価するため、市販のコマツナの内葉を採取して CARS スペクトルを測定し、図 6 のグラフの最小二乗解析によって得られる直線を検量線として硝酸イオン濃度を見積もった。市販のコマツナ内葉の CARS スペクトルを図 7 に示す。このスペクトルを前節と同様にして規格化し、検量線を用いて硝酸イオン濃度を求めたところ、3500 mg/L となった。一方、この葉の硝酸イオン濃度の真値は 5700 mg/L であった。したがって、本研究の CARS 分光計による硝酸イオン濃度の測定誤差は約 2000 mg/L 程度と見積もられた。

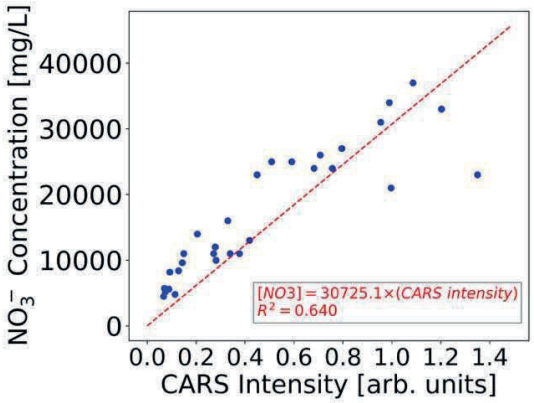


図 6　硝酸ナトリウム水溶液に浸漬したコマツナ幼葉中の硝酸イオンの規格化後 CARS 強度と硝酸イオン濃度の実測値との相関。赤色の破線は最小二乗法によって求めた近似直線である。

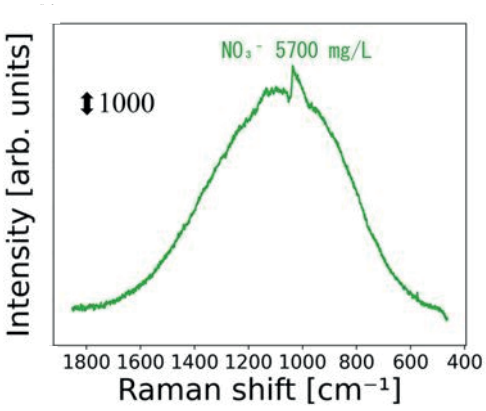


図 7　市販のコマツナ内葉のコヒーレントアンチストークスラマン散乱スペクトル。図中の硝酸イオン濃度は比色分析計による実測値である。

４．今後の展望

本研究の結果、農作物の葉柄に含まれる硝酸イオンの濃度を直接計測可能な近赤外 CARS 分光計のプロトタイプが完成した。本分光計による硝酸イオン濃度の測定時間は 4 秒以下、硝酸イオン濃度の計測下限は約 4000 mg/L、硝酸イオン濃度の真値との相関を表す決定係数は 0.64 と見積もられた。

本研究の CARS 分光計による硝酸イオン濃度の測定結果について、次の 2 点の問題がある。第一に、図 6 で見られた相関は、硝酸ナトリウム水溶液について見られた相関（図 4）よりも明らかに弱い。すなわち、非共鳴バックグラウンドを用いた CARS スペクトルの規格化だけでは葉柄の形状の個体差を補正できていない。図 4 を見ると、非共鳴バックグラウンドの最大値だけでなく、形状も有意に異なっている。この結果は、葉柄による散乱のため、分光計に到達する CARS 信号の周波数分布が異なっていることを示唆する。第二に、図 6 から見積もられた測定下限は硝酸ナトリウム水溶液について見積もられた測定下限（図 4）よりも高い。葉柄による散乱で分光計に到達する CARS 信号強度が低下するため、CARS 信号と検出器の雑音との比の値が低下して検出下限が高くなる。これらの問題を解決するため、発生した CARS 信号を可能な限り効率良く集められるよう、試料から分光器までの集光光学系を改良することが必要である。

本研究ではコマツナ幼葉の CARS スペクトルを安定に測定できる条件の調査に時間を要したため、市販のコマツナの測定による CARS 分光計の実用性の評価、および栽培中のコマツナのリアルタイム計測への展開を本研究の期間内に実行できなかった。今後、本分光計を用いて栽培中のコマツナの葉に含まれる硝酸イオン濃度の経時変化をリアルタイムで計測し、コマツナの栽培管理における CARS 分光計の有用性を検証する予定である。

５．参考文献

１．S. E. McMullen, J. A. Casanova, L. K. Gross, and F. J. Schenck, “Ion chromatographic determination of nitrate and nitrite in vegetable and fruit baby foods”, Journal of AOAC International, Vol. 88, No. 6, pp. 1793–1796 (2005).

２．日色和夫，「わかり易い公害分析・計測基礎講座（第 6 講）イオン電極法」，環境技術，Vol. 8，No. 10，pp. 1007–1012 (1979).

３．M. Ângelo Rodrigues, “Establishment of continuous critical levels for indices of plant and presidedress soil nitrogen status in the potato crop”, Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol. 35, No. 13–14, pp. 2067–2085 (2004).

４．H. Itoh, S. Kanda, H. Matsuura, N. Shiraishi, K. Sakai, and A. Sasao, “Measurement of nitrate concentration distribution in vegetables by near-infrared hyperspectral imaging”, Environmental Control in Biology, Vol. 48, No. 2, pp. 37–49 (2010).

５．濱口宏夫，岩田耕一 編著，「分光法シリーズ　１．ラマン分光法」，講談社，2015.

６．M. Okuno, H. Kano, P. Leproux, V. Couderc, and H. Hamaguchi, “Ultrabroadband (>2000 cm^{-1}) multiplex coherent anti-Stokes Raman scattering spectroscopy using a subnanosecond supercontinuum light source”, Optics Letters, Vol. 32, No. 20, pp. 3050–3052 (2007).

７．C. H. Huang, G. P. Singh, S. H. Park, N.-H. Chua, R. J. Ram, and B. S. Park, “Early diagnosis and management of nitrogen deficiency in plants utilizing Raman spectroscopy”, Frontiers in Plant Science, Vol. 11, 663 (2020).

研究題目	汎用小型パルス磁場発生装置の開発
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部電気電子工学科・准教授　田縁俊光
分野	物性物理
キーワード	材料科学、物性、強磁場、LCR 回路

１．研究の背景と目的

これまでの半導体デバイスは微細化や集積化によって着実に性能を向上させてきたものの、遠くない将来に性能の限界に達すると言われており、従来型の技術の延長線上にない新原理や新材料による材料やデバイスの研究が求められる。そのような研究を行うにあたって、特に材料の量子的な電子状態を決定したり新たな電子状態を誘起したりすることを目的として、強磁場中での物性測定が有用である。例えば、電子材料に電流や熱流を流して電圧や温度差といった応答を観測する電子輸送特性測定において、さらに磁場を印加すると、電子はローレンツ力を受けて軌道が曲げられる。この磁場を強めていくと、電子は周回運動に対応するサイクロトン運動を起こす、強磁場領域に到達する。典型的には、純良な２次元材料ではおおよそ 10 T 級の強磁場を印加すると、量子振動や量子ホール効果に代表される興味深い量子的な電子状態が発現する。したがって、材料研究を行うにあたって、強磁場に手軽にアクセスできることは重要である。

磁場の強度はコイルに流す電流に比例するため、強磁場を発生させるためにはコイルに大電流を流すシステムが必要である。その最も主流となる装置が、大電流を流してもジュール熱がゼロの超伝導磁石である。しかし、超伝導磁石はその初期導入コストのみならず、冷却に用いられる希少な液体ヘリウムを使用するためには非常に大きな運用コストがかかるために、これまで限られた研究施設でしか運用できなかった。一方、別の強磁場発生方法として、典型的には 0.1 秒以下のごく短時間だけ大電流を流して磁場を発生させる非破壊型パルス磁石を用いる方法がある。この種類の磁石は、大規模なものが世界の数カ所の強磁場施設で開発・運用されていたが、これを小型化し、研究室規模で取り扱えるようにすることが本研究の目的である。すなわち、小型かつ低コストでありながら、超伝導磁石に匹敵あるいはそれを超える強磁場発生装置を開発することを目指した。

２．研究方法

A. 数値シミュレーション

小型な非破壊型パルス磁石発生装置の開発に際して、まずその設計指針を数値シミュレーションによって決定した。具体的には、パルス幅の長さとジュール発熱の大きさの 2 つが重要である。開発する強磁場発生装置を用いてデバイスの電気伝導測定を行う場合、そのパルス幅は長い方が有利である。一方で、パルス幅が長いとジュール発熱が大きくなってしまい、常伝導磁石の温度が大きく上昇して破壊される。したがって、非破壊で強磁場を発生させるためにはコイルにごく短時間だけ大電流を流す必要がある。その大きさは発生させる最大磁場の大きさとパルス幅の積に比例するため、両者はトレードオフの関係にあることになる。したがって、システム要件として、最大磁場は当初目標の 10 T 以上、パルス幅は電気伝導測定を十分行える 3 ms 程度と定め、ジュール発熱の大きさを数値シミュレーションによって評価した。 数値モデルは LCR 回路モデルを仮定し、ジュール発熱はコイル部の抵抗成分のみとして、各時刻における電流、コイル温度をルンゲ・クッタ法によって計算した。コイルの温度評価では、 銅の電気抵抗率は線形な温度依存性、比熱はデバイモデルの温度依存性を仮定して行った。常伝導磁石を液体窒素で冷却した状態から始めることで、ジュール発熱の影響を抑えながらこれらの要件を満たす回路パラメータを決定した。具体的には、インダクタンスL、キャパシタンスC、キャパシタに充電された電荷q、電流i、および温度T依存性をもつ電気抵抗$R(T)$からなる次の LCR 回路の連立微分方程式を解く。

$$\begin{cases} \dfrac{dq}{dt} = -i \\ \dfrac{di}{dt} = \dfrac{q}{LC} - \dfrac{R}{L} i \end{cases}$$

キャパシタの充電電圧をV_0とし、放電開始時刻を$t = 0$とする。したがって、初期条件は次のように表される。

$$\begin{cases} i(t=0) = 0 \\ \left.\dfrac{di}{dt}\right|_{t=0} = \dfrac{V_0}{L} \end{cases}$$

ここで、Rを定数とすると解析解が求まる。特に、抵抗Rが十分小さいとき $(\omega_R^2 < \omega_0^2;\ \omega_R = R/(2L),\ \omega_0 = \sqrt{1/(LC)})$、次の減衰振動解が得られる。

$$i(t) = \frac{V_0}{L\omega_1} e^{-\omega_R t} \sin(\omega_1 t)$$

ただし、$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \omega_R^2}$である。すなわち、sin 関数で振動しながらその振幅が指数関数的に減衰する包絡線$e^{-\omega_R t}$に沿って変化する。振動周期は$T_{\mathrm{period}} = 2\pi/\omega_1$で表される。

一般には抵抗$R(T)$は定数でないため、解析的に解くことができない。液体窒素温度$T = 77$ K付近の銅の抵抗$R(T)$の温度依存性を線形と仮定して、$i(t)$の数値解を Runge-Kutta 法によって求めた。すなわち、各時間ステップにおける電流$i(t)$とそれにともなう Joule 発熱$R(T)i^2$を銅の熱

容量で除して求めた温度変化を用いて、次の時間ステップにおける温度を求め、その温度における抵抗を決定し、その抵抗によって電流$i(t)$を求める、というプロセスを進める。

B. 小型非破壊型パルス磁石システムの作製

数値シミュレーションで決定した、安全に充放電を実現しつつ、目標磁場やパルス幅を達成できる LCR モデルのパラメータをもつ小型非破壊型パルス磁石システムを実際に作製した。メイン回路の各パラメータは、コイルのインダクタンスとキャパシタの大きさ、充電電圧の値である。コイルは今回、電気通信大学の池田暁彦准教授に提供していただいた、インダクタンス 150 μH の小型コイルを使用した。充電電圧を 1000 V とし、これ以上の耐圧をもつキャパシタを並列に接続してキャパシタの大きさを必要な大きさ 480×6 μF または 480×12 μF を実現した。これらの各部品は絶縁耐性の高いテフロン樹脂を採用した銅線同軸ケーブルの外皮およびシールド被覆を剥いて導線として使用した。

メイン回路において、充電した電荷をコイルに放電するスイッチングを行う部品がサイリスタであり、このサイリスタのスイッチングを駆動するための回路がトリガ回路である。トリガ回路もまたメイン回路同様に LCR 回路である。このサイリスタに印加するトリガ信号は市販の信号発生機を直接接続するのではなく、作製したトリガ回路を介して印加する。 トリガ回路もまた LCR 回路であり、 信号発生機とトリガ回路間はオプトカプラ、トリガ回路とメイン回路中のサイリスタ間はトランスと、信号発生機とメイン回路の間は二重に絶縁されている。トリガ回路を独立に評価し、 LCR 回路特有の減衰振動を確認した。

また、高電圧源からキャパシタへの充電シーケンスやキャパシタの電圧モニタを行うために、Raspberry Pi を中心として構成した制御システムを作製した。具体的には、キャパシタの充電電圧のモニタや高電圧源の出力をそれぞれ AD 変換器および DA 変換器で行い、これらを Raspberry Pi 中の Python コーディングを用いて、監視、指令できる制御システムを構築した。

C. パルス磁場波形の評価

発生させたパルス磁場の大きさやパルス幅を評価するために、ピックアップコイルを作製した。具体的には、極細ストローに 3 周銅線を巻き付けて接着剤で固定し、これをメイン回路の小型コイルの中心に設置することで、誘導起電力をオシロスコープで測定できるよう配線した。この誘導起電力は磁場の時間微分に相当するため、取得したオシロスコープの電圧波形を数値積分することで、信号発生機のトリガ信号発生時刻を時刻 0 としたパルス磁場波形を評価した。実際の実験では、大電流に伴う発熱によってコイルがダメージを受けることを抑えるために、絶縁処理を施した断熱容器（ステンレスデュワー瓶）に溜めた液体窒素にコイル全体を浸漬した。

３．研究成果

A. 数値シミュレーション

LCR モデルにおいて、発熱の影響を考慮した Runge-Kutta 法による数値シミュレーションを行った結果を図 1 に示す。シミュレーションの条件として、充電電圧V_0は使用するキャパシタ 480 μF の耐圧 1500 V より十分低い 1000 V とし、キャパシタの大きさCを並列 6 個と 12 個に対応する 480×6 μF と 480×12 μF のそれぞれの場合で計算した。インダクタンスは提供されたコイルの値 150 μH を使用した。

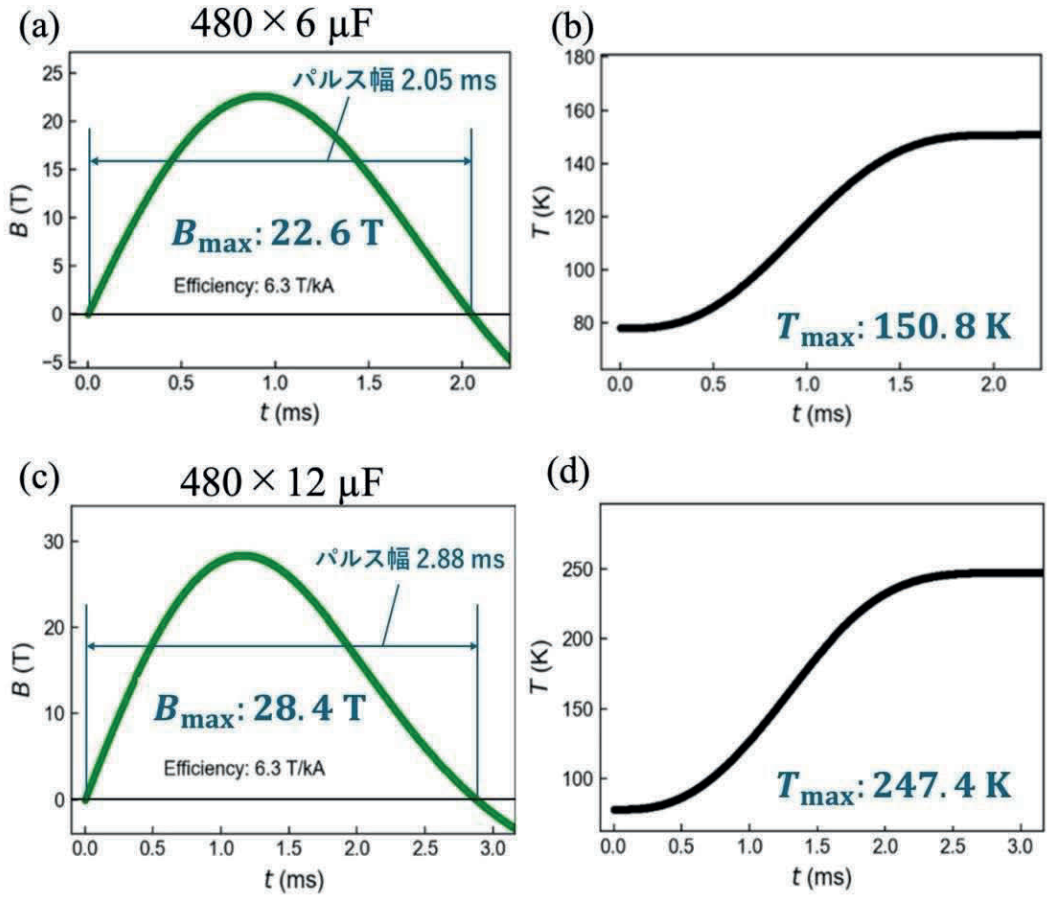


図 1: LCR モデルにおいて Runge-Kutta 法でシミュレーションした磁束密度およびコイルの温度の時間発展。$C = 480 \times 6$ μFのときの（a）磁束密度および（b）コイル温度の時間依存性。$C = 480 \times 12$ μFのときの（c）磁束密度および（d）コイル温度の時間依存性。

シミュレーションの結果、$C = 480 \times 12$ μFのとき、最大磁場は当初目標の 10 T を大きく超えるおよそ 20 T、パルス幅は 3 ms 程度を満たしている。また、放電開始時に液体窒素温度 77 K であったコイル温度は、放電後であっても室温より十分低く、コイルが非破壊で磁場を発生させられることを示唆している。

B. 小型非破壊型パルス磁石システムの作製

数値シミュレーションによって決定した LCR 回路パラメータに基づいて、実際に小型パルス磁場発生装置を作製した。1 kA を超える大電流が流れるメイン回路部分について、図 2 に示す。磁場が発生するコイルとそれを冷却する液体窒素デュワー部を除く、キャパシタ、高圧電源、NC スイッチ、ダイオード、サイリスタ、ダンプ抵抗、充電電圧モニタ用分圧抵抗を 3 階建てのアルミフレーム内部に固定した。具体的には、1 階部に 1 つ当たり 480 μF のキャパシタ 12 個を穴あきアクリル板を用いて固定し、2 階部にキャパシタ以外のパーツをネジ止め用穴を加工したアクリル板上に固定した。大電流が流れる導線には、芯線に単線、絶縁層にテフロンを用いた同軸ケーブルの被覆および銅シールド剥がしたものを用いた。ダンプ抵抗は緊急時あるいは放電終了後にキャパシタの残留電荷をすばやくグラウンドに捨てるための部品で、ドーナツ型のエレマ抵抗器 75 Ω を用いている。充電および放電の切り替えを行うために、高耐圧機械式 NC スイッチおよびサイリスタを設置した。高圧電源によってキャパシタを充電するが、放電時にこの高圧電源に電流が逆流することを防ぐために、大電流用ダイオードを設置した。充電電圧は高圧電源によって制御されるが、実際に充電されている電圧をモニターするために、10 MΩ と 10 kΩ の抵抗を直列接続した分圧器を作成し、およそ 1000 分の 1 に降圧したキャパシタ間電圧を測定できるよう設計した。外部に設置したコイルは、電気通信大学の池田暁彦准教授にご提供いただいた。

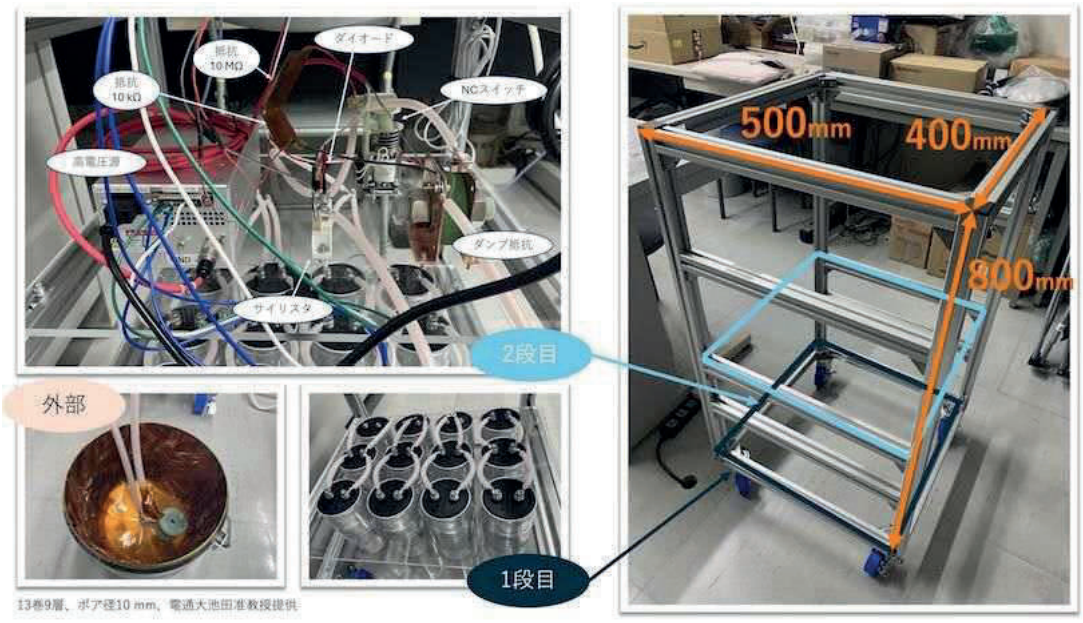


図 2: メイン回路とそれを固定するアルミフレームの外観。1 段目にキャパシタ 12 個、2 段目に高圧電源やスイッチング部品などをアクリル板を用いて固定した。コイルとその冷却用液体窒素デュワーはアルミフレーム外部に設置した。

メイン回路の充放電状態の監視および制御を行うために、制御システムおよびトリガ回路を作製し、アルミフレーム 3 階部に設置した。それぞれ図 3(a)および(b)に示す。

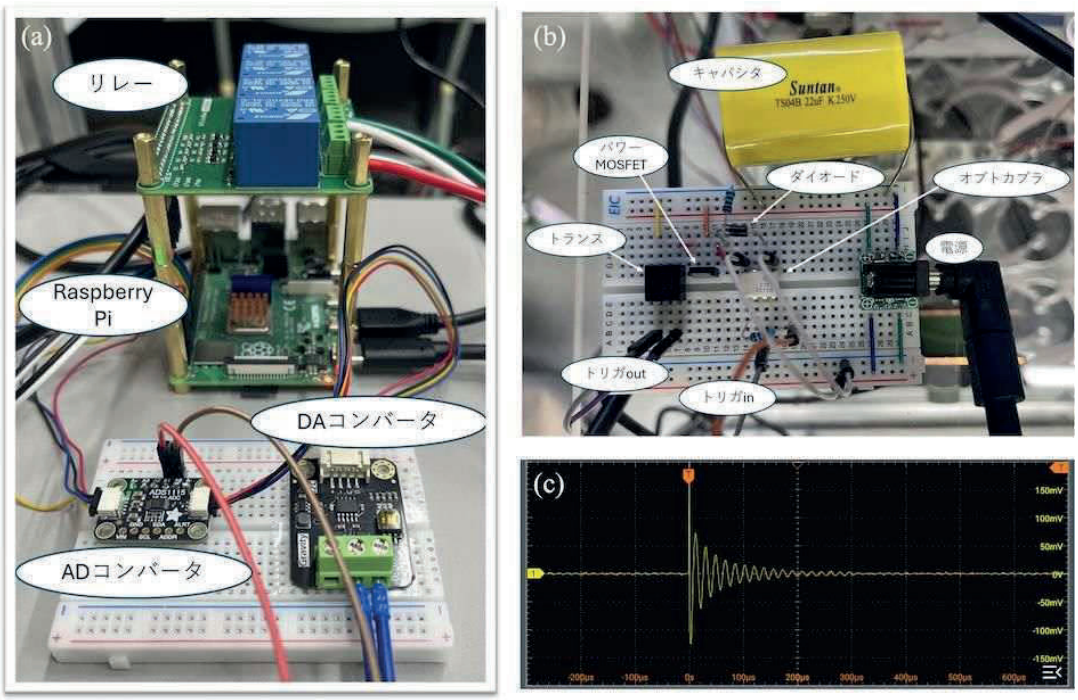


図 3: 制御システムおよびトリガ回路。(a) 制御システムの外観。AD コンバータによってキャパシタ充電電圧をモニタしながら DA コンバータで高圧電源に出力信号を送って充電電圧を制御する。これらの信号を Raspberry Pi を介して統合する。(b) トリガ回路の外観。オプトカプラおよびトランスを用いて二重に電気的に絶縁しつつ、信号発生器からのトリガ信号をメイン回路のサイリスタに送り、放電を行う。トリガ回路もまた LCR 回路の構成になっている。(c) トリガ回路単独で駆動した場合の出力信号波形。LCR 回路特有の減衰振動を確認することができ、正常に動作していることを確認できる。

制御システムはメイン回路のキャパシタ充電状態の監視と制御を行うことが主な役割である。中枢には Raspberry Pi があり、Python コードによって制御システムを統合した。AD コンバータは、分圧抵抗の 10 kΩ部の電圧を測定し、デジタル信号に変換して Raspberry Pi に送信し、キャパシタの充電電圧を監視した。DA コンバータは Raspberry Pi から送信された信号をアナログ電圧に変換し、高圧電源に印加した。その電圧に比例して、高圧電源からキャパシタへ充電される。充電完了後、信号発生器から放電のトリガ信号をメイン回路のサイリスタに送信して放電するが、信号発生器への思わぬ高電圧負荷がかかることを避けるために、メイン回路と信号発生器の間を電気的に絶縁してトリガ信号を送信する構造とした。具体的には、オプトカプラおよびトランスによって電気的にメイン回路と信号発生器の間が二重に絶縁されるようにし、それ

らの間に LCR 回路であるトリガ回路を構成した。トランスの出力部を無負荷にしてトリガ回路単独で駆動させた場合の出力信号を図 3(c)に示す。LCR 回路特有の減衰振動が確認され、正常にトリガ信号を発生させられていることが確認できる。この出力をサイリスタの制御信号入力に接続し、安全かつ安定した放電トリガを実現させた。

C. パルス磁場波形の評価

作製した小型非破壊型パルス磁場システムが発生させるパルス磁場波形を評価するために、図 4(a)挿入図に示すように、ϕ4 の硬質プラスチックストローに 2 巻銅線を巻き付けて接着剤で硬化させ、ピックアップコイルとして液体窒素に浸漬したコイルの磁場中心に設置した（図 4(a)）。このピックアップコイルを貫く磁束密度の時間変化に比例した誘導電圧が誘起されるため、実際に充放電を行ってパルス磁場を発生させ、誘導電圧をオシロスコープで取得し（図 4(b)および(c)の挿入図）、数値積分することで発生したパルス磁場の波形を評価した。

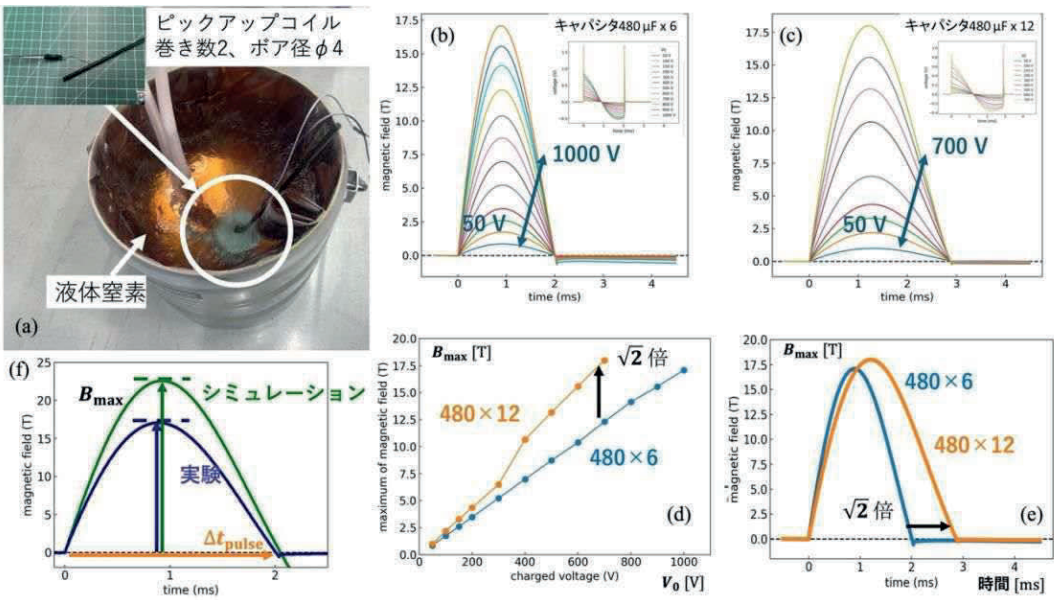


図 4: パルス磁場波形の評価方法とその結果。(a) 発生した磁場波形を評価するために作製したピックアップコイル（挿入図）とそれをメインコイルの磁場中心に設置した外観図。各充電電圧における(b) キャパシタ 480 μF×6 および(c) 480 μF×12 それぞれの場合の、ピックアップコイル両端に誘起された電圧（挿入図）およびそれを数値積分して評価したパルス磁場波形。(d) キャパシタ 480 μF×6 および 480 μF×12 における最大磁場の充電電圧依存性。(e) キャパシタ 480 μF×6、充電電圧 1000 V およびキャパシタ 480 μF×12、充電電圧 700 V におけるパルス磁場波形の比較。(f) キャパシタ 480 μF×6、充電電圧 1000 V における実験およびシミュレーションのパルス磁場波形の比較。

キャパシタの大きさが 480 μF×6 の場合と 480 μF×12 の場合について、充電電圧を 50 V から最大電圧まで徐々に大きくしながら評価した結果を図 4(b)および(c)にそれぞれ示す。いずれの場合においても、充電電圧を増加させると、パルス幅は一定のまま最大磁場が増加する振る舞いを観測することができた。この振る舞いは、Rが小さいときの LCR 回路方程式が予測する近似解は$B_{max} \propto V_0\sqrt{C/L}$であるが、これと整合する。この評価において観測した最大磁場は、480 μF×12、充電電圧 700 V とした場合の 18.0 T であり、当初目標を大きく上回る結果を得ることができた。このときのパルス幅は 2.87 ms と、こちらも目標の約 3 ms を達成している。最大磁場の充電電圧依存性についてまとめた結果を図 4(d)に示す。480 μF×12 の場合に充電電圧 300 V 付近に折れ曲がり観測することができるが、これは測定システムの機械的不安定性に由来するものであり、再現性がなく、本質的なものではないことに注意されたい。いずれの場合においても充電電圧に比例して最大磁場が大きくなっており、また、両者の最大磁場の大きさの比はおよそ$\sqrt{2}$倍であり、これも近似解との良い一致を示している。480 μF×6、充電電圧 1000 V の磁場波形と 480 μF×12、充電電圧 700 V の磁場波形を比較した結果を図 4 (e)に示す。これら 2 つの場合はキャパシタの大きさと充電電圧の積の値がおよそ$\sqrt{2}$倍異なるが、最大磁場の大きさは同程度となっている一方で、パルス幅は$\sqrt{2}$倍異なる。この結果は最大磁場の近似関係$B_{max} \propto V_0\sqrt{C/L}$およびパルス幅の近似式$\Delta t_{pulse} = 2\pi\sqrt{LC}$が成り立っていることを象徴的に表している。

この実験結果を図 1 で示した数値シミュレーションのパルス磁場波形と比較した結果を図 4(f)に示す。ここではキャパシタの大きさ 480 μF×6、充電電圧 1000 V の場合について考える。結果として、パルス幅はほとんど一致している一方、最大磁場の大きさはシミュレーションの結果に比べて実験の観測結果は 75%程度と大きく下回っていることが読み取れる。この原因はピックアップコイルが磁場中心に正確に配置されていないことに由来する可能性もあるが、シミュレーションにおいて、抵抗はすべてコイル銅線部に限られると仮定したモデルであることに由来する可能性が高い。すなわち、実際にはコイル以外の部分でもエネルギー損失があり、キャパシタに充電されたエネルギーがすべて磁場とコイルの発熱エネルギーに変換されると仮定したシミュレーションのモデルは磁場を過大評価していると考えられる。

最後に、コイルの温度変化について考察する。本システムはコイルの温度上昇を評価するための機構を持たないため、シミュレーションで求めた温度変化と直接比較することはできない。したがって、実際の実験では徐々に充電電圧を増加させながら、放電後の液体窒素の沸騰の様子を目視することによって、温度上昇の程度を推測した。この方法では定量的評価はまったく不可能であるが、遅くとも 5 分以内に液体窒素の沸騰が止まっていることから温度を推定することが可能かもしれない。また、リスクを伴うが、放電前後のコイルの抵抗やインダクタンスを LCR メータで毎回測定し、状態を推定することが考えられる。

４．今後の展望

本研究の結果、最大磁場およそ 18 T、パルス幅およそ 3 ms の小型パルス磁場発生装置の開発に成功した。この装置は小型ゆえに可搬であり、さまざまな応用が考えられる汎用性を備える。一方で、現状では磁場発生に成功した段階であり、このシステムを活用した低温測定装置を別途作製し、本システムと組み合わせることで、パルス磁場中でのデバイス評価システムとして統合したより上位のシステムを完成させることが実用上の課題である。

また、本研究ではパルス磁場波形はキャパシタの大きさを変更することで実現したが、別のパラメータとしてインダクタンスの大きさも重要である。キャパシタとインダクタンスは、最大磁場に対して異なる依存性を与えるため、非等価である。したがって、インダクタンスを変更できるようにするため、今後コイルを内製化することが求められる。これは単にインダクタンスの値を変更するためだけでなく、コイルのボアや磁場の方向などを変更することにも寄与するために価値が高い。

最後に、パルス幅を長くする機構として、クローバ回路の挿入が知られている。これはパルスの立ち上がりや最高磁場の大きさに影響を与えることなく、パルスの立ち下がりを緩やかにするすため、磁場の時間変化が遅いことが望ましい測定においては効果的な改良である。一方で、パルス幅が長くなるということはコイル内で消費されるジュールエネルギーが大きくなることを意味しており、コイルの耐久性に十分注意しなければならない。したがって、充電電圧をあえて下げて最高磁場の大きさを犠牲にする必要があるかもしれない。この最高磁場とパルス幅のトレードオフを考慮しさえすれば、有効なシステムの発展になりうるだろう。

５．参考文献

[1] Huajun Liu, Shuai Hu, Xintao Zhang, Fang Liu, Chao Zhou, and Jinggang Qin, The Innovation **0**, 101219 (2025).

[2] E. Berrospe-Juarez, V. M. R. Zermeño, F. Trillaud, A.V. Gavrilin, F. Grilli, D. V. Abraimov, D. K. Hilton, and H. W. Weijers, IEEE Trans. Appl. Supercond. **28**, 4602005 (2018).

[3] European Magnetic Field Laboratory (2025), “SuperEMFL Project” https://emfl.eu/superemfl/project/ .

[4] National High Magnetic Field Laboratory (2025), “By the Numbers” https://nationalmaglab.org/about-the-maglab/facts-figures/by-the-numbers/ .

[5] Akihiko Ikeda, Kosuke Noda, Kotomi Shimbori, Kenta Seki, Dilip Bhoi, Azumi Ishita, Jin Nakamura, Kazuyuki Matsubayashi, and Kazuto Akiba, J. Appl. Phys. **136**, 175902 (2024).

研究題目	新規多剤耐性因子の作用機序解明
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部生物工学科・講師・高田　啓
分野	医薬系
キーワード	多剤耐性、リボソーム、翻訳制御、抗生物質耐性

１．研究の背景と目的

抗生物質に対する薬剤耐性菌の出現と拡大は、現代医療および公衆衛生における重大な課題である。2019 年には、薬剤耐性菌感染症による直接的な死亡者数が世界で 127 万人に達し、薬剤耐性に関連する死亡者数は 495 万人に及ぶと推定されている [1]。とくに、複数の抗生物質に同時に耐性を示す多剤耐性菌の拡大は、既存の治療選択肢を大きく制限することから、新たな制御法の開発に向けた基礎的理解が求められている。

本研究で対象とした Cfr は、細菌リボソーム 50S サブユニットを構成する 23S rRNA の A2503 残基をメチル化する酵素である [2]。この修飾により、Chloramphenicol、Linezolid、Lincomycin を含む複数クラスの抗生物質に対する耐性が付与される（Fig. 1A）。Linezolid は、バンコマイシン耐性腸球菌感染症などに対する重要な治療薬であり、*cfr* 遺伝子を保持する病原性細菌の出現は臨床上大きな問題となっている [3]。また、*cfr* 遺伝子はプラスミドなどの可動性遺伝因子を介して水平伝播しうるため、病原性細菌間で拡散する危険性を有している。一方で、Cfr そのものがどのように 23S rRNA の特定残基を認識し、メチル化修飾を行うのか、また *cfr* 遺伝子が細胞内でどのような条件下で発現するのかについては、不明な点が多く残されている。多剤耐性因子の機能を理解するためには、耐性酵素そのものの作用機序だけでなく、その発現がどのようにして制御されているかを明らかにする必要がある。

申請者はこれまでに、公共データベースを用いた解析から、病原性細菌だけでなく *Bacillus* 属を含む非病原性土壌細菌にも *cfr* 遺伝子が存在することを見出していた。さらに、*Bacillus dafuensis* 由来の *cfr* 遺伝子上流領域には、未同定であった上流オープンリーディングフレーム、すなわち uORF と、転写終結に関わると考えられる配列要素が存在することを明らかにしていた（Fig. 1B）。これらの知見から、*cfr* 遺伝子は単に恒常的に発現しているのではなく、抗生物質存在下において、上流 5′UTR を介して誘導される制御機構を備えている可能性が考えられた。

そこで本研究では、*Bacillus dafuensis* 由来 *cfr* 遺伝子をモデルとして、抗生物質依存的な *cfr* 発現誘導の分子機構を明らかにすることを目的とした。特に、5′UTR に存在する新規 uORF の機能に焦点を当て、抗生物質添加時に Cfr タンパク質の発現がどのように制御されるのかを、遺伝学的および生化学的手法により解析した。さらに、Cfr とリボソームとの相互作用に関する解析基盤を整備し、Cfr による rRNA メチル化修飾機構の解明に向けた研究を進めた。

２．研究方法

本研究では、*Bacillus dafuensis* 由来の *cfr* 遺伝子を人工合成し、C 末端に FLAG タグを付加した発現コンストラクトを作製した。宿主には、遺伝子操作法が確立されているモデル細菌 *Bacillus subtilis* を用いた。*Bacillus subtilis* は、*Bacillus dafuensis* と近縁なグラム陽性細菌であり、外来遺伝子の発現解析、抗生物質感受性試験、タンパク質発現解析に適した実験系である。まず、*cfr* 遺伝子上流の 5′ UTR を含む発現コンストラクトを作製し、Chloramphenicol、Linezolid、Lincomycin などの抗生物質を添加した際の Cfr-FLAG タンパク質の発現量を解析した（Fig. 1C）。Cfr-FLAG の発現は、抗 FLAG 抗体を用いたウエスタンブロットにより検出した。また、リボソームタンパク質 L11 を内部標準として用いることで、各条件におけるタンパク質発現量を比較した。

次に、*cfr* 遺伝子上流 5′ UTR に存在する uORF の機能を検証するため、uORF の開始コドンを置換した変異体を作製した。野生型 5′ UTR を含むコンストラクトと、uORF 開始コドン変異体を比較することで、抗生物質依存的な Cfr 発現誘導に uORF が必要であるかを検討した。これにより、上流配列に埋め込まれた翻訳制御機構が、下流の *cfr* 遺伝子発現に与える影響を解析した。

さらに、Cfr による抗生物質耐性付与能を評価するため、各種コンストラクトを保持する *Bacillus subtilis* 株について、抗生物質感受性試験を行った（Fig. 1D）。これにより、Cfr タンパク質の発現誘導と、実際の耐性表現型との関係を検証した。

加えて、Cfr による rRNA メチル化修飾機構の理解に向けて、Cfr-FLAG を発現する *Bacillus subtilis* から、Cfr とリボソーム 50S サブユニットとの複合体の精製を試みた（Fig. 1E）。FLAG タグを利用したアフィニティー精製により、Cfr と共精製されるリボソーム成分および関連因子の解析を行った。Cfr は基質であるリボソームと一過的に相互作用すると考えられるため、その反応過程を捉えることは一般に困難である。本研究では、*Bacillus subtilis* 宿主を用いた発現系を利用することで、Cfr と 50S サブユニットとの複合体解析を可能にする実験基盤の構築を進めた。なお、Cfr とリボソーム複合体に関しては、Cryo-EM を用いた構造解析も並行して進めている。ただし、現時点では解析途中であり、また論文投稿前の未発表データを含むため、本報告書では詳細な構造データの掲載は控える。

３．研究成果

本研究ではまず、*Bacillus dafuensis* 由来 *cfr* 遺伝子を *Bacillus subtilis* 宿主内で発現させる実験系を構築した。C 末端に FLAG タグを付加した Cfr-FLAG 発現系を用いて、抗生物質添加時の Cfr タンパク質発現を解析したところ、Chloramphenicol 添加時に Cfr-FLAG の発現が明確に誘導されることを確認した（Fig. 1C）。この結果は、*cfr* 遺伝子が単に恒常的に発現するのではなく、抗生物質存在下で発現量が増加する制御型の発現様式を示すことを意味している。

次に、*cfr* 遺伝子上流 5′ UTR に存在する新規 uORF の役割を検証した。uORF の開始コドンを置換した変異体を作製し、野生型コンストラクトと比較したところ、Chloramphenicol 添

加時に観察された Cfr-FLAG の発現誘導は、uORF 開始コドン変異体ではほぼ消失した。この結果から、この uORF は抗生物質依存的な *cfr* 発現誘導に必須であることが明らかとなった。

この結果は、*cfr* 遺伝子発現制御が、5′ UTR に存在する uORF を介した翻訳制御によって担われていることを示している。すなわち、抗生物質存在下において uORF 上の翻訳挙動が変化し、その結果として下流の *cfr* 遺伝子発現が誘導される可能性が高い。さらに、*cfr* 上流領域には転写終結に関与すると考えられる配列要素も存在しており（Fig. 1B）、uORF の翻訳状態、RNA 二次構造、転写終結制御が連動することで、抗生物質応答性の発現制御が成立していると考えられる。

また、抗生物質種による応答性の違いも示唆された。5′ UTR を含む *cfr* 発現コンストラクトでは、Chloramphenicol に対して明確な発現誘導が観察された一方で、Linezolid に対する誘導性や耐性表現型は限定的であった（Fig. 1C, D）。一方、5′ UTR を含まないコンストラクトでは Linezolid 耐性が確認されている（Fig. 1D）。この結果は、*Bacillus dafuensis* 由来 *cfr* 遺伝子の上流制御領域が、抗生物質の種類に応じて異なる応答性を示すことを示唆している。自然界に存在する *cfr* 遺伝子は、抗生物質に応じて発現制御機構を変化させてきた可能性があり、とくに臨床上重要な Linezolid 耐性菌では、Linezolid 応答性を獲得するように 5′ UTR 領域が適応進化している可能性が考えられる。

さらに、Cfr-FLAG を用いたアフィニティー精製により、Cfr がリボソーム 50S サブユニットと共精製されることを確認した（Fig. 1E）。この結果は、*Bacillus subtilis* 宿主内で発現した Cfr が、基質であるリボソーム 50S サブユニットと相互作用していることを支持するものである。また、精製サンプル中にはリボソームタンパク質よりも大きな分子量を示す未同定の共精製因子の存在も示唆された（Fig. 1E）。これは、Cfr による A2503 メチル化修飾が、Cfr 単独ではなく、リボソーム生合成過程や関連因子との相互作用を介して制御されている可能性を示している。

以上の成果から、本研究は、*Bacillus dafuensis* 由来 *cfr* 遺伝子の抗生物質依存的発現誘導に、新規 uORF が必須であることを実験的に示した。これは、Cfr による多剤耐性化の理解を、耐性酵素そのものの機能解析から、その発現制御機構の理解へと拡張する成果である。薬剤耐性遺伝子が、どのような抗生物質環境に応答して発現するのかを明らかにすることは、耐性化の成立過程を理解する上で重要であり、将来的には耐性遺伝子の発現誘導を標的とした新たな制御戦略につながる可能性がある。

４．今後の展望

本研究により、*Bacillus dafuensis* 由来 *cfr* 遺伝子の発現が、上流 5′ UTR に存在する uORF に依存して抗生物質存在下で誘導されることが明らかとなった（Fig. 1B, C）。今後は、uORF 上でどのような翻訳イベントが起こることで下流 *cfr* 遺伝子の発現が誘導されるのかを詳細に解析する必要がある。具体的には、in vitro 翻訳系を用いた生化学的解析や、リボソームの停止位置を検出する toe-printing 解析を行うことで、抗生物質存在下における uORF 上の翻訳停滞の

有無を検証する。

また、uORF の翻訳状態と RNA 二次構造、転写終結制御との関係を明らかにすることも重要である。*cfr* 上流領域には転写終結に関与すると考えられる配列要素が存在するため（Fig. 1B）、抗生物質依存的な翻訳停滞が RNA 構造を変化させ、その結果として転写終結が解除される可能性がある。このような翻訳と転写の共役的制御は、細菌が抗生物質ストレスに応答して耐性遺伝子を発現させる巧妙な仕組みであると考えられる。

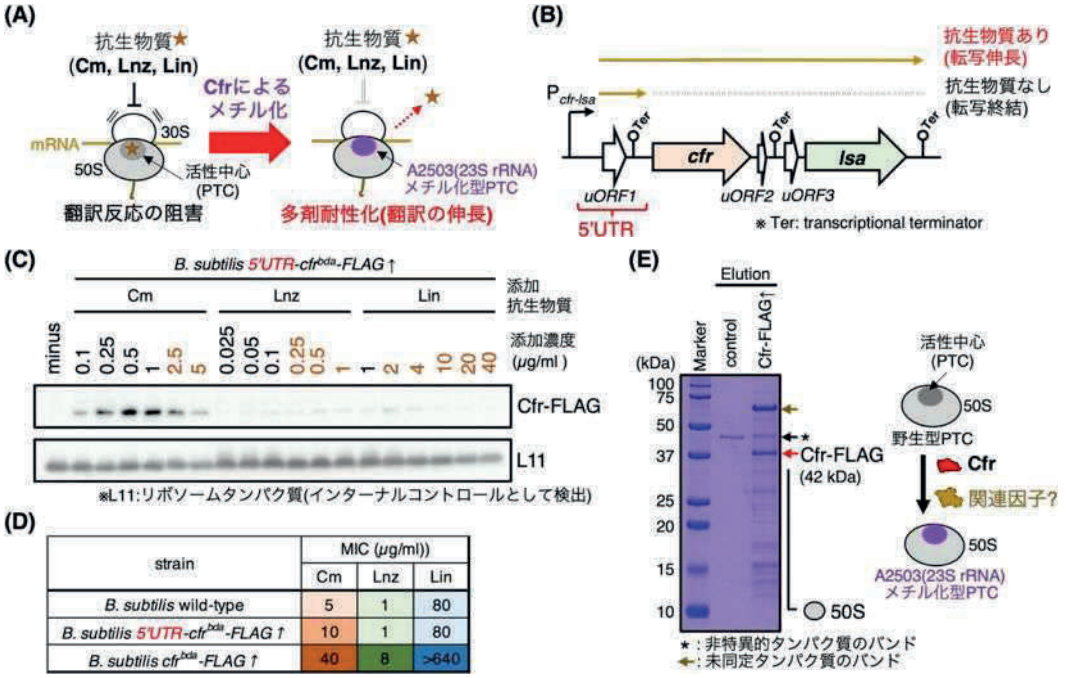
さらに、臨床分離株や土壌細菌が保持する *cfr* 遺伝子の 5′ UTR 配列を比較解析することで、抗生物質応答性の多様性と進化的変化を明らかにしたい。とくに、Linezolid 応答性を示す *cfr* 発現制御領域と、*Bacillus dafuensis* 型の制御領域を比較することで、どのような配列変化が Linezolid 耐性の獲得に関与しているのかを明らかにできる可能性がある。

Cfr による rRNA メチル化修飾機構については、Cfr とリボソーム 50S サブユニットとの複合体解析をさらに進める。申請段階で得られていた Cfr-FLAG と 50S サブユニットの共精製データは、Cfr がリボソームと相互作用することを示す重要な予備的知見である（Fig. 1E）。現在、Cryo-EM を用いた構造解析を進行中であり、Cfr が 23S rRNA の A2503 残基をどのように認識し、メチル化反応を進めるのかを明らかにすることを目指している。ただし、現時点では構造解析は途中段階であり、また論文投稿前の未発表データを含むため、本報告書では詳細な構造情報の掲載は控えた。今後、構造解析、生化学的解析、遺伝学的解析を組み合わせることで、Cfr による多剤耐性化の分子機構を総合的に理解したい。

本研究の成果は、Cfr による多剤耐性化の成立機構を、発現制御とリボソーム修飾の両面から理解するための基盤となる。将来的には、Cfr タンパク質そのものを阻害する戦略だけでなく、*cfr* 遺伝子の発現誘導を抑制するという新たな耐性制御法の開発につながることが期待される。また、富山県は医薬品産業が集積する地域であり、薬剤耐性菌に対する新規制御技術の基盤研究は、地域の製薬・創薬研究の発展にも貢献しうる。本研究で得られた知見をさらに発展させ、基礎生命科学と医薬応用の双方に資する成果として発信していきたい。

５．参考文献

1. Antimicrobial Resistance Collaborators. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. Lancet, 399, 629–655, 2022.
2. Long, K. S., Poehlsgaard, J., Kehrenberg, C., Schwarz, S. and Vester, B. The Cfr rRNA methyltransferase confers resistance to phenicols, lincosamides, oxazolidinones, pleuromutilins, and streptogramin A antibiotics. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 50, 2500–2505, 2006.
3. Toh, S. M., Xiong, L., Arias, C. A., Villegas, M. V., Lolans, K., Quinn, J. and Mankin, A. S. Acquisition of a natural resistance gene renders a clinical strain of methicillin-resistant Staphylococcus aureus resistant to the synthetic antibiotic linezolid. Molecular Microbiology, 64, 1506–1514, 2007.



strain	MIC (μg/ml))		
	Cm	Lnz	Lin
B. subtilis wild-type	5	1	80
B. subtilis 5'UTR-cfr^{bda}-FLAG↑	10	1	80
B. subtilis cfr^{bda}-FLAG↑	40	8	>640

図.1 本研究助成で得られた結果

(A)多剤耐性化因子 Cfr によるリボソームのメチル化。(B) B. dafuensis cfr 遺伝子の構成と転写制御機構の仮説。(C) Cfr-FLAG は Cm 存在下で発現が誘導される。(D)Cfr は多剤耐性を付与する。 (E) Cfr-FLAG はリボソーム・未知の相互作用因子(X)と共精製される。

研究題目	ウイルスゲノムの大規模言語モデル化、及びそれを利用したウイルス遺伝子機能推定
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部生物工学科・助教・杉本竜太
分野	生命科学（ウイルス学・バイオインフォマティクス）
キーワード	RNA ウイルス、RNA 依存性 RNA ポリメラーゼ、タンパク質言語モデル、機械学習、ゲノム文脈

１．研究の背景と目的

近年、環境中の DNA や RNA を網羅的に解析するメタゲノム・メタトランスクリプトーム研究の進展により、微生物やウイルスのゲノム配列が急速にデータベースへ蓄積されている。なかでも RNA ウイルスでは、RNA 依存性 RNA ポリメラーゼ（RNA-dependent RNA polymerase：RdRP）をマーカーとする大規模探索により、既知分類群を大きく超える多様性が明らかになってきた[1-4]。一方で、発見されたウイルスゲノム中の多くの遺伝子は既知タンパク質との配列類似性が低く、機能未同定の「未知遺伝子」として残されている。

本助成研究の最終目的は、ウイルスゲノム上の複数遺伝子を個別の要素としてではなく、文脈をもつ一つの「文章」として学習し、遺伝子の共起、順序、宿主関連遺伝子との関連から、未知遺伝子の機能と進化を推定する大規模ゲノムモデルを構築することである。自然言語で未知語の意味を周囲の単語から推測できるように、ウイルス遺伝子についても、複製酵素、構造タンパク質、宿主応答関連遺伝子などとの組合せを学習することで、単独の配列比較では得にくい機能情報を抽出できると考えた。

この構想を実現するには、膨大な環境配列からウイルス遺伝子を高感度かつ高い信頼性で同定し、ゲノム上の位置を示す「アンカー」が不可欠である。RNA ウイルスでは RdRP が最も普遍的な標識遺伝子である一方、進化速度が速く、触媒モチーフの置換や並び替えも生じるため、既存の配列類似性検索やプロファイル隠れマルコフモデル（HMM）では遠縁配列を見落とす場合がある[2,5,6]。そこで本研究では、ゲノム文脈モデルの基盤として、タンパク質言語モデルの表現を利用し、RdRP である確率と触媒中心の位置を同時に推定する機械学習プログラム PalmSite を開発した。助成期間中は、①多様な環境配列に基づく学習データの構築、②遠縁配列を検出し判定位置も示す軽量モデルの構築、③精度・計算効率・解釈可能性の検証、④再利用可能なソフトウェアとしての公開を進め、次段階のゲノム文脈学習へつなげることを目標とした（図１）。

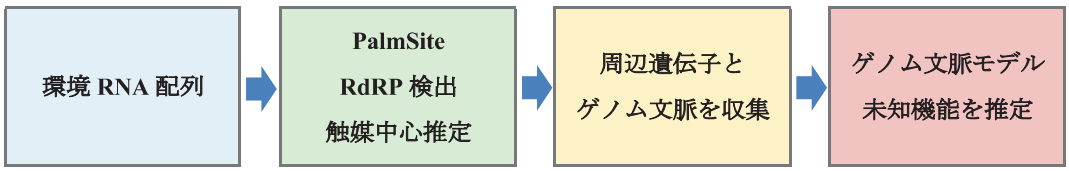


図 1　研究全体の概略。PalmSite による標識遺伝子の同定を起点に、周辺遺伝子のゲノム文脈を学習し、未知遺伝子の機能推定へ展開する。

２．研究方法

（1）学習配列の収集と正解ラベルの作成

通常の RNA シーケンスデータには宿主由来転写産物が多く含まれ、RNA ウイルス配列は相対的に少ない。そこで、同一環境試料からメタゲノム（DNA）とメタトランスクリプトーム（RNA）の両方が得られている Integrative Human Microbiome Project、Tara Oceans、GRoWdb、排水メタオミクス研究の公開データを用いた。RNA リードをアセンブルした後、対応する DNA データ中の 42-mer と一致する転写産物を除去した。これにより、DNA にコードされた宿主由来転写産物を減らし、対応する DNA データに検出されない RNA 配列、すなわち RNA ウイルス由来の可能性が高い配列を濃縮した。さらに、これらの環境由来タンパク質配列に、RefSeq、MGnify、IMG/VR 由来の配列を加え、学習対象の多様性を高めた。

得られた配列をクラスタリングし、代表配列を既存のタンパク質ドメインデータベースで検索した。その結果に基づき、（i）RdRP ドメインが非 RdRP ドメインと重ならない配列を陽性、（ii）非 RdRP ドメインのみが配列長の 80%以上を占める配列を陰性、（iii）いずれにも該当しない配列を未ラベルとした。陽性配列では、palm_annot[7]が推定した触媒領域を位置学習の正解として用いた。この分類により、誤った陰性ラベルの混入を抑えつつ、陽性・未ラベル学習に適したデータセットを構築した。

（2）PalmSite モデルの構築

PalmSite は、残基ベクトルを処理するバックボーン、触媒領域を推定するアンカーモジュール、アンカー周辺に重みを集中させる Gaussian モジュール、配列全体の RdRP 確率を出力する予測ヘッドで構成される（図 2A）。各タンパク質配列は、タンパク質言語モデル ESM-C[8]により残基単位の埋め込みベクトルへ変換・圧縮される。さらに、アンカーモジュールと Gaussian モジュールが得た残基重みの分布から触媒領域の座標を推定し、標準的な遺伝子注釈形式である GFF3 として出力する。

学習では、陽性・未ラベル配列に対する non-negative positive-unlabeled（nnPU）損失、二値交差エントロピー損失、触媒領域の座標損失、アンカー位置の正則化を併用した。さらに、残基マスク、埋め込みベクトルへのノイズ付与、触媒領域を保持した配列クリッピングによりデータを

拡張した。学習は NVIDIA RTX 4090 GPU で最大 200 エポック行い、検証データの再現率が最も高いモデルを採用した。

（3）性能、遠縁配列検出、計算効率、解釈可能性の評価

判別性能は、テストデータにおける精度-再現率曲線下面積（PR-AUC）と ROC 曲線下面積（ROC-AUC）で評価した。触媒領域の位置精度は、予測領域と正解領域の重なりを示す Intersection over Union（IoU）で測定した。さらに、proGenomes4[9]を非 RdRP タンパク質集合とみなし、偽陽性率（FPR）が 10^{-5}および 10^{-4}となる閾値を設定した。これらの閾値を既知 RdRP 配列に適用し、PalmSite、LucaProt、NeoRdRp2.1、palm_annot の再現率を比較した。学習配列との類似性による過大評価を避けるため、PalmSite 学習配列と 40%を超える同一性をもつ配列を除外した評価も実施した。

遠縁配列の検出能力は、既知 RdRP の中でも配列多様性が高い HsRV RdRP[10]と、ソーダ湖メタトランスクリプトーム由来の RdRP 候補配列で検証した。候補配列については、AlphaFold2[11]で立体構造を予測し、Foldseek[12]および HMM 対 HMM 検索により既知構造との関連を調べた。

（4）ソフトウェアの実装と公開

PalmSite は、FASTA 形式のタンパク質配列を入力すると、埋め込み計算、RdRP 判定、触媒領域の GFF3 出力までを一つのコマンドで実行できるよう実装した。出力には、判定確率、ロジットスコア、触媒領域の中心・幅、配列長を含め、必要に応じて残基重みやモデル内部ベクトルも保存できる。これにより、陽性・陰性判定に加え、候補配列のクラスタリング、系統比較、モデル解釈などの後続解析にも利用できる。

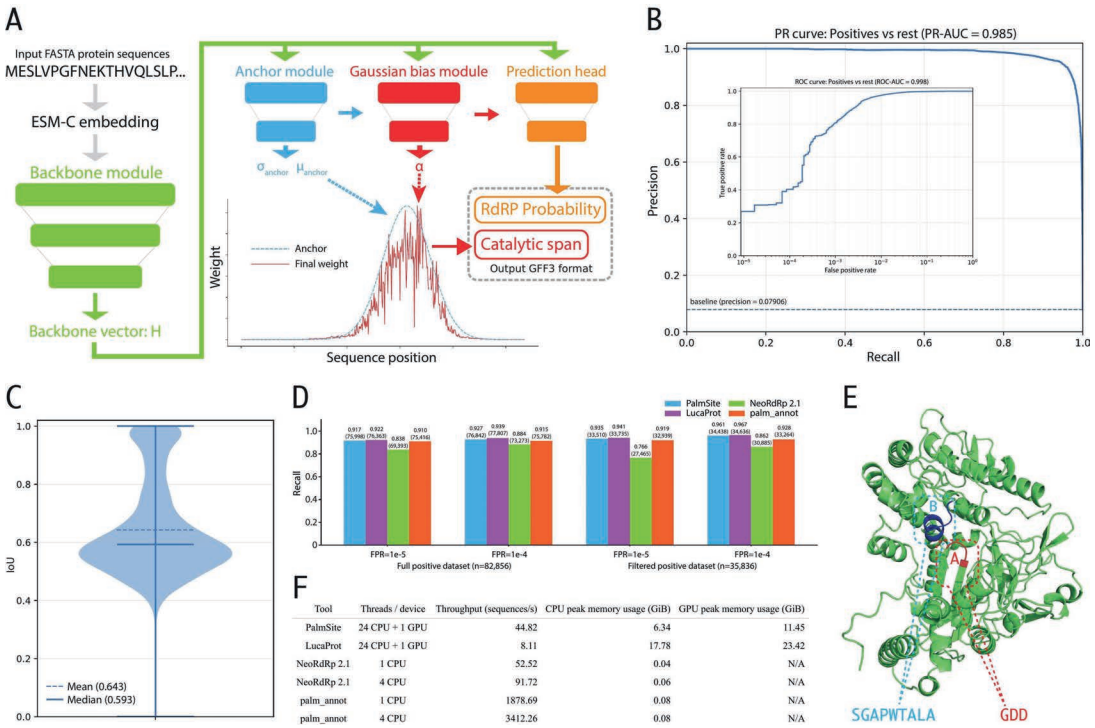


図 2　PalmSite のモデル構造と性能評価。（A）入力配列から ESM-C 埋め込みを作成し、RdRP 確率と触媒領域を出力する流れ。（B）独立テストデータにおける PR 曲線と ROC 曲線。（C）予測触媒領域の IoU 分布。（D）低偽陽性率条件での既存手法との再現率比較。（E）ソーダ湖由来候補配列の予測構造。（F）処理速度とメモリ使用量の比較。

３．研究成果

（1）高精度な RdRP 判別と触媒領域推定

独立テストデータにおいて、陽性配列とその他の配列を区別する性能は PR-AUC 0.9850、ROC-AUC 0.9985 であった（図 2B）。陽性配列と陰性配列のみを比較した場合には、それぞれ 0.9995 および 0.9998 に達した。PalmSite が RdRP 確率 0.5 超と判定した 5,019 配列では、触媒領域の IoU は平均 0.643、中央値 0.593 であり、85.18%が IoU 0.5 を上回った（図 2C）。これらの結果は、PalmSite が配列分類だけでなく、後続解析に必要な触媒中心の位置も実用的な精度で推定できることを示している。

（2）低偽陽性率でも高い検出感度を維持

既知の 82,856 RdRP 配列を用いた比較では、PalmSite は偽陽性率 10^{-5}で 91.7%、偽陽性率 10^{-4}で 92.7%を検出した。この値は深層学習手法 LucaProt の 92.2%および 93.9%に近く、NeoRdRp2.1 および palm_annot と同等以上であった（図 2D）。さらに、学習配列と 40%超の同一性をもつ配列を除外した 35,836 配列でも、再現率は FPR 10^{-5}で 93.5%、FPR 10^{-4}で 96.1%であった。以上より、PalmSite の高感度は学習配列の単なる記憶ではなく、遠縁配列にも一般化することが示され

た。

（3）従来法では検出困難な遠縁 RdRP 候補の検出

既知 RdRP の中でも特に遠縁な HsRV RdRP に対し、PalmSite は 0.9332 の高い確率を示し、予測触媒領域にはモチーフ A、B、C が含まれていた。さらに、ソーダ湖メタトランスクリプトームから、既知 RdRP との明確な配列相同性を示さず、HMM 法でも陽性と判定されない配列を、確率 0.9662 の候補として検出した。AlphaFold2 による構造予測では、右手型ポリメラーゼ様の palm fold と触媒モチーフ B、C が示唆された（図 2E）。ただし、構造予測の pTM は 0.47 にとどまり、Foldseek および HMM 対 HMM 検索との一致も信頼度が低かった。そのため、この配列は確定的な RdRP ではなく、実験検証を要する高度に遠縁な候補と位置づけた。これらの結果は、従来法で検出信号が弱い配列を、機械学習により優先候補として抽出できることを示している。

（4）既存の機械学習法より高速・省メモリな処理

24 CPU スレッドと 1 GPU を用いた評価で、PalmSite は毎秒 44.82 配列を処理し、同条件の LucaProt（毎秒 8.11 配列）より約 5.5 倍高速であった（図 2F）。ピークメモリ使用量も低く、CPU メモリは 6.34 GiB で約 64%、GPU メモリは 11.45 GiB で約 51%と、いずれも LucaProt を下回った。HMM 法はさらに高速・軽量である一方、遠縁配列の検出感度に限界がある。したがって PalmSite は、HMM 法の実用性と深層学習法の高感度を両立し、大規模データ探索に適した計算効率を備えている。

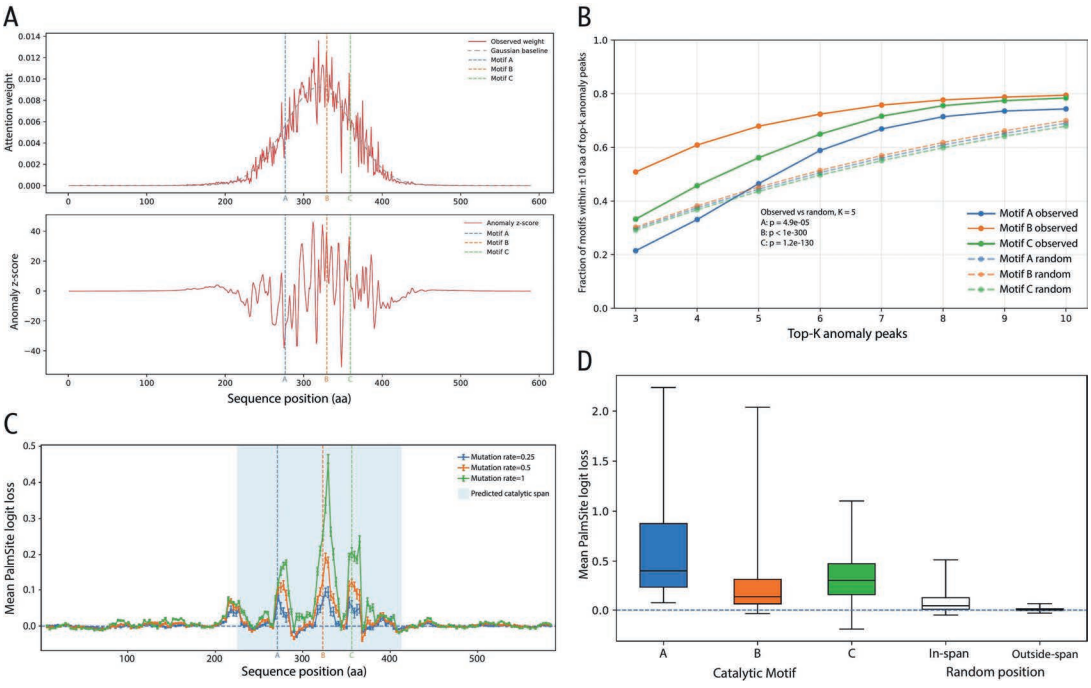


図 3　PalmSite が学習した残基レベルの特徴。（A）Qβ RdRP における残基重みと異常スコア。

触媒モチーフ A、B、C 近傍に強い信号がみられる。（B）多数の RdRP で、上位異常ピークが触媒モチーフ近傍に有意に濃縮した。（C）Qβ RdRP の窓単位アミノ酸置換による予測スコアの低下。（D）触媒モチーフ中心の置換は、ランダム位置の置換よりも予測スコアを大きく低下させた。

（5）明示的に教えていない触媒モチーフの自律的学習

Qβ RdRP では、PalmSite の残基重みが予測触媒領域に集中し、ガウス分布から外れるピークはモチーフ A、B、C の近傍に位置した（図 3A）。モチーフ位置を特定できた 9,647 配列（10,000 陽性配列中）を解析したところ、上位 3〜10 個のピークは、ランダム位置よりも一貫して触媒モチーフ近傍に集中した。特に上位 5 ピークでは、モチーフ A、B、C 周辺のピークがいずれも有意に濃縮し、なかでも B と C で顕著であった（図 3B）。

さらに、Qβ RdRP 配列を局所的に置換すると、モチーフ A、B、C 周辺の置換で PalmSite スコアが大きく低下し、置換率が高いほど低下幅も大きくなった（図 3C）。多数の陽性配列でも、モチーフ中心の 7 アミノ酸を置換した場合、触媒領域外のランダム位置を置換した場合よりスコア低下が大きかった（図 3D）。学習時にはモチーフ A、B、C の名称や位置を与えていない。それにもかかわらず、PalmSite は判定に重要な残基として触媒モチーフ近傍を自律的に捉えていた。この結果は、遠縁 RdRP 検出の機構的根拠と、モデル判断の生物学的解釈可能性を示す重要な成果である。

（6）ソフトウェア公開、成果発表、当初構想との接続

PalmSite は、GitHub および Python Package Index（PyPI）で公開し、研究者が自由に利用できる形で提供した。FASTA 入力から GFF3 出力までを一貫して実行でき、残基重みや内部ベクトルも出力できるため、RNA ウイルス探索に加え、候補配列群のクラスタリングや進化解析にも利用できる。成果をまとめた論文「PalmSite: an embedding-based predictor of RdRP catalytic palm domains」は投稿準備中である。

- GitHub：https://github.com/ryota-sugimoto/palmsite
- PyPI：https://pypi.org/project/palmsite/

本成果は、第 22 回大腸菌研究会（ポスター）、第 27 回日本進化学会年会（口頭）、「細胞を作る」研究会 18（ポスター）、第 20 回ゲノム進化学会（ポスター）で発表した。

助成期間中の中心成果は PalmSite である。複数遺伝子の順序を直接学習するゲノム文脈モデルについては、PalmSite が生成する高信頼度の RdRP アンカーとタンパク質埋め込みベクトルを入力として、現在開発を進めている。したがって本研究は、当初構想のうち「膨大な環境配列から信頼性の高いウイルス標識遺伝子を抽出し、機能情報を含むベクトルとして表現する」段階を完了したものと位置づけられる。PalmSite が推定する触媒領域座標を起点に同一コンティグ上の

周辺遺伝子を収集することで、次段階では遺伝子の共起と並びを学習するデータセットを体系的に構築できる。単一遺伝子の検出モデルからゲノム全体の文脈モデルへ展開する道筋を具体化できた点が、本助成研究全体の主要な成果である。

４．今後の展望

今後は、同一ゲノム断片上の遺伝子文脈を収集し、各タンパク質の言語モデル埋め込みに、遺伝子順序、向き、遺伝子間距離、宿主・環境情報を統合したゲノム文脈モデルを構築する。自己教師あり学習により、周辺遺伝子からマスクした遺伝子の表現や機能を予測させ、既知ドメインをもたない遺伝子にも推定機能を付与する。さらに、未知遺伝子が異なるウイルス群でどの遺伝子と共起するかを比較し、複製、粒子形成、宿主防御回避などに関わる機能モジュールを抽出する。

PalmSite が出力する残基レベルの重みと内部ベクトルは、候補配列のクラスタリング、触媒モチーフの新規型探索、立体構造予測との統合解析に活用する。モデルが重要と判断した残基を変異させ、予測と実験結果の対応を学習に反映することで、単なる分類器ではなく、実験的に検証可能な配列仮説を提案するモデルへ発展させる。将来的には、ゲノム文脈モデルが予測した未知遺伝子の組合せや人工ゲノム断片を合成し、機能検証へつなげることを目指す。

以上により、配列類似性だけでは捉えにくい RNA ウイルスの多様性を発見し、遺伝子の並びという高次情報から未知機能を推定する統合基盤の確立を目指す。本報告に記載した PalmSite の開発および関連成果は、公益財団法人富山第一銀行奨学財団の令和 7 年度研究助成を受けて実施したものである。今後の論文、ソフトウェア、関連成果においても、本助成による成果であることを明記する。

５．参考文献

1. Koonin EV, Dolja VV, Krupovic M. Origins and evolution of viruses of eukaryotes: The ultimate modularity. Virology. 2015;479-480:2-25.
2. Edgar RC, et al. Petabase-scale sequence alignment catalyses viral discovery. Nature. 2022;602:142-147.
3. Zayed AA, et al. Cryptic and abundant marine viruses at the evolutionary origins of Earth’s RNA virome. Science. 2022;376:156-162.
4. Neri U, et al. Expansion of the global RNA virome reveals diverse clades of bacteriophages. Cell. 2022;185:4023-4037.e18.
5. Sakaguchi S, et al. NeoRdRp: A comprehensive dataset for identifying RNA-dependent RNA polymerases of various RNA viruses from metatranscriptomic data. Microbes Environ. 2022;37:ME22001.
6. Hou X, et al. Using artificial intelligence to document the hidden RNA virosphere. Cell. 2024;187:6929-6942.e16.

7. A. Babaian and R. Edgar, “Ribovirus classification by a polymerase barcode sequence,” PeerJ, vol. 10, Oct. 2022, doi: 10.7717/peerj.14055.
8. ESM Team. ESM Cambrian: Revealing the mysteries of proteins with unsupervised learning. EvolutionaryScale. 2024.
9. A. Fullam *et al.*, “proGenomes4: providing 2 million accurately and consistently annotated high-quality prokaryotic genomes,” *Nucleic Acids Res.*, vol. 54, no. D1, pp. D852–D857, Jan. 2026, doi: 10.1093/nar/gkaf1208.
10. S. I. Urayama et al., “Double-stranded RNA sequencing reveals distinct riboviruses associated with thermoacidophilic bacteria from hot springs in Japan,” Nat. Microbiol., vol. 9, no. 2, pp. 514–523, Feb. 2024, doi: 10.1038/s41564-023-01579-5.
11. Jumper J, et al. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Nature. 2021;596:583-589.
12. van Kempen M, et al. Fast and accurate protein structure search with Foldseek. Nat Biotechnol. 2024;42:243-246.

研究題目	マルチオブジェクトトラッキングにおける粒子群最適化を用いた不規則な挙動の検出
機関名	富山県立大学
研究代表者	情報工学部データサイエンス学科・講師・髙野諒
分野	情報工学
キーワード	動的最適化・オブジェクトトラッキング

１．研究の背景と目的

近年、映像理解技術の進展に伴い、監視、交通解析、行動認識といった多様な応用分野において、マルチオブジェクトトラッキング（Multiple Object Tracking、MOT）の重要性が増している。MOT は、映像中で複数の対象物を検出し、それぞれの軌跡を一貫して推定することを目的とするものであり、物体検出と移動軌跡の推定が主な構成要素となる。特に、Simple Online and Realtime Tracking（SORT）[1]に代表される軽量な追跡アルゴリズムは、実時間処理が求められる実運用環境において着目され、SORT を基に多くの手法が開発されている。この SORT の移動軌跡の推定は対象の軌跡が線形な移動であること仮定してるが、現実世界における対象の挙動は必ずしも滑らかであるとは限らず、突発的な方向転換や速度変化、外乱による挙動の乱れといった不規則な運動がしばしば観察される。そのため、従来の SORT ベースの手法では、異常な挙動の追跡が課題の一つとなる。

そこで、本研究では SORT における物体軌道の推定処理を動的最適化問題（Dynamic Optimization Problems、DOPs）として捉え、その問題を進化計算アルゴリズムの一つである Particle Swarm Optimization(PSO)[2]を用いて軌跡推定をすることで異常な挙動の追跡することに着目した[3]。この問題は、SORT におけるフレーム毎の軌跡推定問題であり、動画を構成する静止画毎に同一対象を発見するために全フレームと類似性が最も高い領域を探索する。このため、動画のフレームレートに合わせて高頻度で探索する評価値のランドスケープが変化する。このような環境が時間とともに高頻度で変化する DOPs において、PSO などの進化計算（Evolutionary Computation、EC）は、広く利用されている。特にこの問題はフレーム毎に評価値のランドスケープが変化するため、探索のための計算時間を十分に確保できない状況下での探索性能の維持が求められる。また、従来手法に比べ高い推定性能を発揮できるとしても、この計算リソースの観点からアルゴリズムが単純で計算コストが比較的低い PSO を用いてもなお、PSO を用いた軌跡推定を実用化することは難しい。そこで本研究では、PSO が従来手法では追跡困難だった不規則な挙動の追跡可能である点に着目し、ターゲットの軌跡推定だけでなく、不規則な挙動の検出も同時に行うことを試みる。具体的には、SORT 内でターゲットの軌跡推定の従来手法であるカルマンフィルターと PSO を同時に機能させ、ターゲットの軌道が線形に近い場合はカルマンフィルターにより推定し、カルマンフィルターが推定できなくなったターゲットは PSO により推定する。これにより、ターゲットの急な方向転換や急停止、急発進などの不規則な挙動を行った際は PSO が追従することで、カルマンフィルターから PSO への切り替わりのタイ

ミングによって、不規則な挙動を検出することが期待できる。このような不規則な挙動の検出をMOT後の別の課題として考えるのではなくMOT中の機能として含めることで、計算リソースを節約する新しい付加価値としてPSOの実応用性の向上を試みる。

2．研究方法

研究を実施するために、カルマンフィルターと PSO の長所を最大限に引き出し同時に動作させる新たな手法SORT+PSOを提案する。まず、基盤となる予測器としてカルマンフィルターを実行し、線形な動きを仮定した物体の次位置の候補を作成する。同様に、PSOも同じ対象に対して実行し、同様に物体の次位置の候補を作成する。これにより、カルマンフィルターでは予測が難しい不規則な挙動への対応のために、カルマンフィルターで検出できなかった物体に対するPSOによる予測結果となる。これにより、動画全体としてはカルマンフィルターによる線形に近い動きを高精度で追従が可能である一方、稀に発赤するカルマンフィルターでは捉えきれない不規則な挙動に対しては、PSOによる過去のバウンディングボックスの周辺を探索することにより発見すること対応が可能となる。このSORT+PSOのアルゴリズムの流れを図1に示す。このように、提案手法は2つの推定を相補的に活用することで全体的な性能を向上させることを目指す。

SORT+PSOにより、SORT内でターゲットの軌跡推定としてカルマンフィルターとPSOを同時に機能させることで、ターゲットの軌道が線形に近い場合はカルマンフィルターにより推定し、カルマンフィルターが推定できなくなったターゲットはPSOにより補足させる。これにより、カルマンフィルターのみを用いた従来のSORTよりも高い精度のトラッキングを実現することが可能となるが、一方でPSOによる推定による計算量の増大は避けられない。PSOは複数の解候補による多点探索アルゴリズムであるため、解候補の数によって探索性能が向上するが解候補毎に評価値計算をする必要がある。この問題の本質的な解決は難しいため、PSOの新たな付加価値として、従来手法では追跡困難だった不規則な挙動の追跡可能である点に着目し、ターゲットの軌跡推定だけでなく、不規則な挙動の検出も同時に行うことを試みる。これにより、ターゲットの急

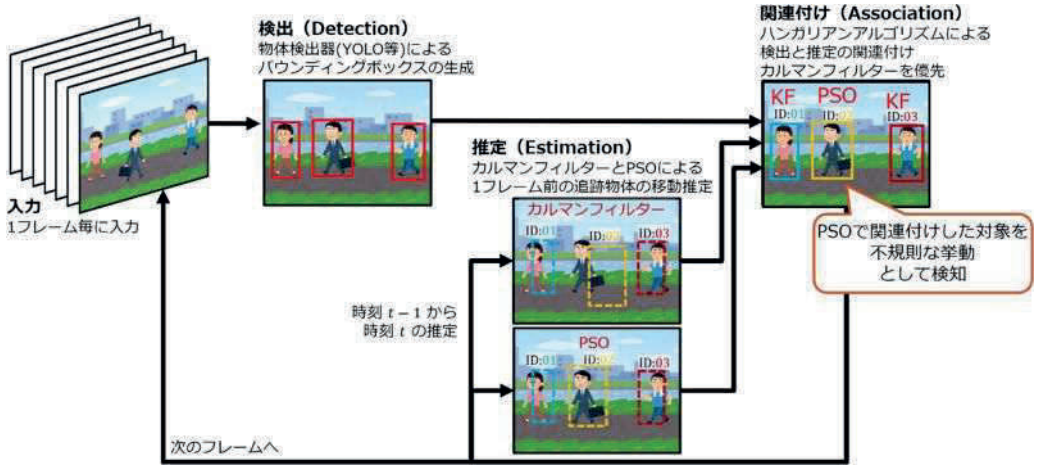


図1　SORT＋PSOアルゴリズムの流れ

な方向転換や急停止、急発進などの不規則な挙動を行った際は PSO が追従することで、カルマンフィルターから PSO への切り替わりのタイミングによって、不規則な挙動を検出することが期待できる。このような不規則な挙動の検出を MOT 後の別の課題・アプリケーションとして考えるのではなく MOT 中の機能として含めることで、計算リソースを節約する新しい付加価値として PSO の実応用性の向上を目指す。

３．研究成果

研究の結果、粒子群最適化（PSO）とカルマンフィルターを効果的に併用する関連付けアルゴリズム(SORT+PSO)を構築することで、カルマンフィルターによる線形的な挙動に対する安定した追跡と、PSO による急な方向転換などの非線形な挙動への対応を同時に実現した。さらに、各オブジェクトの追跡において、両者のうちいずれの手法が適用されたかを判別することで、不規則な挙動の検出機能が可能であることを示した。

MOT に関連した研究において、MOTChallenge 2015 など標準的なベンチマークデータセットが公開されており、広く用いられている。しかし、これらのベンチマークは、撮影条件や対象の動きが比較的制御された環境下にあることが多く、本研究が焦点を当てるような不規則で突発的な挙動を含む映像は限定的である。特に、不規則な挙動の検出と検出結果の分析のための、高頻度かつ非線形な軌道変化を伴う対象を含むデータが十分ではなく、そのような動作特性を正確に評価するには新たな映像データの導入が必要である。そこで本研究では、より不規則な運動を自然に含む事例として､路上に設置された監視カメラ映像をデータとして用いる。この映像には、車両や歩行者の通常の移動に加え、犬の散歩中で予測不能な挙動を示す歩行者の様子が確認されており、本研究の目的である高頻度変化における追跡と不規則挙動の検出の双方において、適切かつ実用性の高い評価対象となることが確認されている。このデータを用いて、SORT+PSO により不規則な挙動情報の抽出を試み、その有用性を検証する。また、比較手法として改良を加えていない SORT も同じ動画に対して適用しその差を比較する。

これらの手法において、SORT+PSO のパラメータ設定として SORT と PSO のパラメータをそれぞれ設定する。SORT については、$IoU_{min} = 0.1$であり、$T_{lost} = 3$とする。PSO のパラメータについては、以下の通りである。$N = 20$、$w = 0.80$、$c_1 = 0.01$、$c_2 = 1.40$である。ここで、Nは各追跡器内の PSO の個体数、w、c_1、c_2は PSO の重み係数である。また、物体検出器として YOLO11[4]を用い、検出対象は歩行者のみに設定する。本研究では、Bhattacharyya 距離を使用して、物体の色分布ヒストグラム間の類似度を計算する。これにより、PSO は時刻 t-1 におけるバウンディングボックス内の色分布が最も近い時刻 t のバウンディングボックスを探索することになる。

SORT+PSO の追跡結果を図 2 に示す。これらの図は検証に用いた動画の１フレーム目であり、その静止画上に推定された検出対象の軌跡を点でプロットしている。また、点の色は追跡対象の ID を示しており、色が変化していることが同一物体として認識できていないことを示している。ここで、動画内で移動している物体は、犬の散歩中の歩行者１名と犬１匹のみである。歩行者は

犬の歩行に合わせて左右に不規則に動いている。図２中央の紫色で示した軌跡は歩行者の不規則な左右の以後気に追従していることを示している。また、「・」で示したカルマンフィルターによる軌跡が大きく曲がる際に「×」で示した PSO による軌跡が挟まっている箇所がいくつかある。このことから、PSO により不規則挙動の捕捉ができていることがわかる。このことから、カルマンフィルターによる線形的な挙動に対する安定した追跡と、PSO による急な方向転換などの非線形な挙動への対応を同時に実現できていることがわかる。

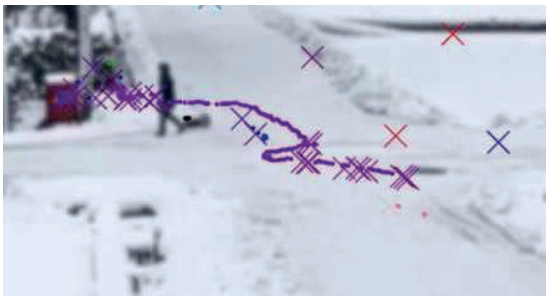


図２　SORT＋PSO による追跡結果。「・」はカルマンフィルターによって捕捉した軌跡、「×」は PSO により追跡した軌跡を示す。

４．今後の展望

本研究では、カルマンフィルターと PSO を組み合わせた SORT+PSO により、線形的な挙動に対する安定した追跡性能と、不規則な挙動に対する追従性能を両立できる可能性を示した。また、PSO への切り替えを利用した不規則挙動の検出機能についても有効性が確認された。一方で、本手法には PSO の導入による計算コストの増加という課題が残されている。今後は、不規則挙動が発生する可能性が高い対象に対してのみ PSO を適用する適応的な切り替え機構や、サロゲートモデルを導入することで、追跡性能を維持しつつ計算量の削減を図る予定である。また、不規則挙動を含む多様な映像データを用いた定量評価を実施し、MOTA などの指標に基づく性能検証を進める。さらに、将来的には監視システムや交通解析などの実環境への適用を通して、本手法の有効性および実用性を検証していく予定である。

５．参考文献

１．A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos, and B. Upcroft. “Simple online and realtime tracking,” 2016 IEEE international conference on image processing (ICIP), pp. 3464–3468. IEEE, 2016

２．R. Eberhart, J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory", Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp. 39–43, 1995

３．R. Takano, "Multi-Object Tracking as Continuous Dynamic Environment and its Exploration by Particle Swarm Optimization," 2024 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), Yokohama, Japan, 2024, pp. 1-8, 2024.

４ Glenn Jocher and Jing Qiu, “Ultralytics YOLO11,” 11.0.0, 2024, https://github.com/ultralytics/ultralytics

研究題目	p 型伝導を実現する超ワイドギャップ半導体のデザイン
機関名	富山県立大学
研究代表者	情報工学部知能ロボット工学科・講師・太田　優一
分野	半導体工学
キーワード	ワイドギャップ半導体，　第一原理計算

１．研究の背景と目的

AI の普及によって演算や記録を担うデータセンターの電力需要は世界･日本ともに今後 10 年程度で 2 倍～数倍増加すると予測されている．この電力需要を新たな発電所の建設や再生可能エネルギーの導入だけで全て賄うのは困難である．したがって，データセンター増加による膨大な電力消費を高効率なパワー半導体の導入により抑制できる可能性がある．パワー半導体は電圧や電流の制御，すなわち電力の制御をおこなうものである．既に普及しているものはシリコン(Si)製が大半を占めているが，この制御の際に電力の無駄が生じている．この無駄こそが熱であり，多くの電気機器では，冷却機構を設けて発生した熱を外部へ逃がしている．これはデバイスの性能が十分に発揮されていないというわけではなく，Si そのものの物理的特性の限界であり，より性能の高いデバイスが実現できる新しい物質が求められている．そこで近年では炭化ケイ素(SiC)や窒化ガリウム(GaN)などのワイドギャップ半導体が新しいパワー半導体として市場に投入されているが，より高効率かつ低コストな半導体が求められている．その中でもバンドギャップが 4 eV を超える半導体は超ワイドギャップ半導体と呼ばれ，次世代のデバイス材料としてパワー半導体のみならず，深紫外 LED などへの応用が期待されている．しかし，この超ワイドギャップ半導体はこれまで電気の流れない絶縁体として認識されていたうえ，基本的に正孔の伝導が難しいため p 型半導体の実現が困難であることが知られている[1]．そのため，新しい電子デバイスを開発するためには，バンドギャップが大きいにもかかわらず，正孔伝導ができる p 型半導体が必要となっている．そこで本研究では密度汎関数理論(DFT)に基づく第一原理計算によって，4 eV 以上のバンドギャップを持つ物質で p 型伝導が期待できる物質を設計・予測するものである．

２．研究方法

本研究では図 1 のイルメナイト構造に着目し，この結晶構造でとりうる元素を形式電荷の観点から選択した．なお，その際に構成される元素で他の結晶構造も取りうるかを USPEX によって検証した．結晶構造探索には遺伝的アルゴリズムを利用する USPEX コード(Ver. 25)を使用し，構造の安定性評価には内蔵される MatterSim を用いた[2]．これらのスクリーニングを行ったのち，DFT によって電子状態計算を行った．DFT 計算には，平面波基底を用いた第一原理電子状

態計算ソフトウェア Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) を使用した[3]. 擬ポテンシャルには PAW 型を用い[4], 構造最適化では交換相関汎関数として GGA-PBE を採用した[5]. 通常の DFT 計算ではバンドギャップを過小評価するため、実験値に近いバンドギャップを得るために、バンド分散の計算には Meta-GGA 汎関数である TB09 を用いた[6].

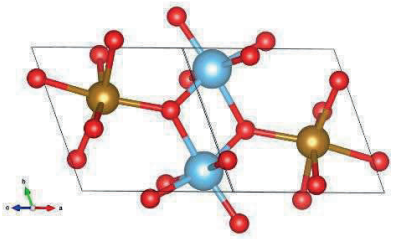


図 1.　イルメナイト構造

3．研究成果

図 2 に USPEX で Mg, Ge, O の元素でとりうる組成と構造を探索した結果を示す．熱力学的に準安定な構造を除くと，本研究で探索した範囲では Mg，Ge，O の 3 元素で構成される化合物は $MgGeO_3$ と $MgGe_2O_5$ の 2 つしか存在しないと予測された．したがって，Mg, Ge, O からなる MgGeO3 は安定に存在できると期待される．しかし，このアプローチだけでは正確な電子状態が判明しないため, $MgGeO_3$ と Ge を Sn で置換した $MgSnO_3$ のイルメナイト構造を仮定して第一原理バンド計算を行った．図 3 に $MgGeO_3$ のバンド構造を示す. バンドギャップは約 5．7 eV の間接遷移半導体であることがわかる．なお，本計算ではスピン軌道相互作用を考慮していないため，価電子帯の上端が Γ 点にないという結果になったが，実際は直接遷移型になる可能性もある．また価電子帯は酸化物に典型的に見られる, 酸素の p 軌道が支配的な構造になっており，曲率がやや小さく，正孔の有効質量が大きい可能性を示唆するものである．同様に図 4 に $MgSnO_3$ のバンド構造を示す. バンド構造はほとんど変わらず，ギャップが約 4．5 eV の間接遷移型の半導体であることがわかった．これらの混晶，すなわち $MgGe_xSn_{1-x}O_3$ ではバンドギャップを約 4．5 から 5．7 eV まで変化させることが可能であることを示唆する．これらのバンドギャップを利用して atomic solid state scale approach

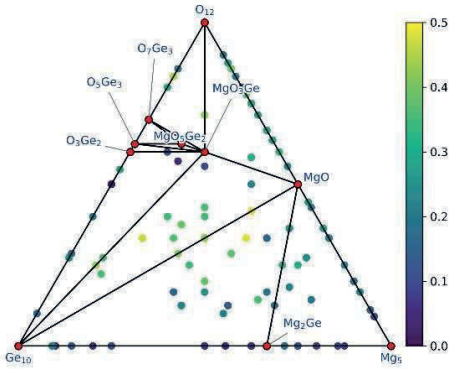


図 2.　予測された相図

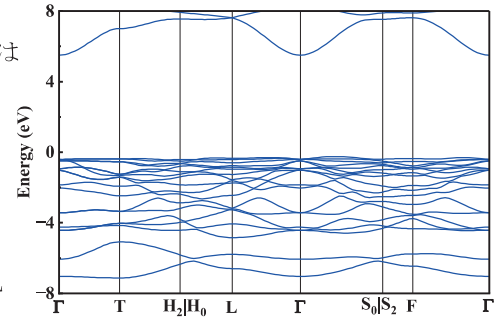


図 3.　$MgGeO_3$ のバンド図

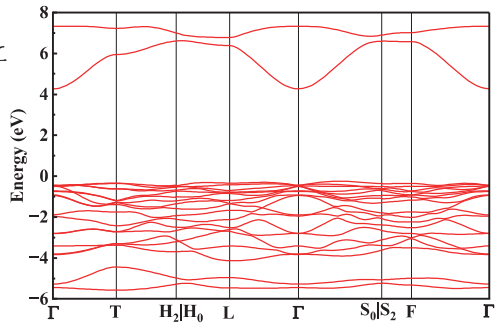


図 4.　$MgSnO_3$ のバンド図

(SSE 法)によって真空準位を基準とした価電子帯上端(VBM)および伝導帯下端(CBM)を見積もると[7]，表１のような結果となる．これは過去の文献で議論されている経験的な p 型ドーピングの基準をやや下回るものである[8-10]．そこで，p 型伝導を実現するために，遷移金属のドーピングを検討した．遷移金属の結合エネルギーは物質によらず，真空準位を基準としたエネルギーでほぼ同一の値をとることが知られている[11-12]．したがって，バナジウム(V)や鉄(Fe)などをカチオンサイトに導入することにより，これら遷移金属の d バンド準位は，母体の価電子帯よりも真空準位に近いエネルギー位置に形成される．よって，経験的な基準と照らし合わせると p 型伝導が実現できる電子状態となることがわかる．これは従来の p 型酸化物である酸化ニッケル(NiO)や亜酸化銅(Cu_2O)と類似のバンド構造になることからも支持される結果である．したがって，本研究では新たにイルメナイト構造酸化物に対して遷移金属をドープすることで，p 型伝導が実現可能なイルメナイト構造酸化物を設計するための指針を確立した．

表 1.　$MgGeO_3$ および $MgSnO_3$ のバンド端

	VBM (eV)	CBM (eV)
MgGeO3	−7.46	−1.76
MgSnO3	−7.42	−2.92

４．今後の展望

今後は具体的な正孔の有効質量の計算，バンドギャップエンジニアリングなどを検討する．加えて，遷移金属の荷電状態や，ドーパントが置換する原子サイトを決定する予定である．遷移金属導入によるバンドギャップの低下と正孔キャリアの増加に関するトレードオフ関係を明らかにすることで，新しい超ワイドバンドギャップ半導体の応用へと展開していく．

５．参考文献

１．Y. Yan et al., Phys. Status Solidi **245**, 641 (2008).
２．A. O. Lyakhov et al.,　Comput. Phys. Commun. **184**, 1172 (2013).
３．G. Kresse et al., Phys. Rev. B **48**, 13115 (1993).
４．G. Kresse et al., Phys. Rev. B **59**, 1758 (1999).
５．P. Perdew et al., Phys. Rev. Lett. **77**, 3865 (1996).
６．F. Tran et al., Phys. Rev. Lett. **102**, 226401 (2009).
７．Y. Ota, AIP Advances **10**, 125321 (2020).
８．H. Hosono, Jpn. J. Appl. Phys., Part 1. **52**, 090001 (2013).
９．J. Robertson et al., Phys. Rev. B **83**, 075205 (2011).
１０．J. Robertson et al., MRS Bull. **46**, 1037 (2021).
１１．M. J. Caldas et al., Appl. Phys. Lett. **45**. 671 (1984).
１２．J. M. Langer et al., Phys. Rev. Lett. **55**, 1414 (1985).

研究題目	ショベル除雪における道具との相互作用力の可視化および身体への負荷の解析
機関名	富山県立大学
研究代表者	情報工学部 知能ロボット工学科・講師・松本 賢太
分野	理工系
キーワード	モーションキャプチャ、力覚センサ、除雪

1．研究の背景と目的

北海道や北陸地区では、冬季における積雪のため、高齢者の歩行事故や外出の減少による QOL の低下などの問題がある[1]。機械除雪やロードヒーティングなどの技術により、歩行空間を確保できるものの、機械が進入困難な場所では、依然としてショベルによる除雪も必要となる。ショベル除雪は 1 回に約 4kg の除雪を要し[2]、身体には多大な負荷がかかると推察される。一方、このような身体への負荷は、筋骨格解析などのツールにより可視化できるが、ショベル除雪においては道具であるショベルへの作用を考慮する必要がある[3]。一般的に、この作用力は手と道具をピンジョイントとした拘束力として表現されるが、実際の現象を反映しているかは明らかにされていない。そこで本研究では、ショベル除雪における手-道具にかかる相互作用力を計測および可視化するツールを開発する。そして、相互作用力とともにモーションキャプチャによりショベル除雪動作を計測し、ショベル除雪における身体への負荷を明らかにすることを目的とする。

2．研究方法

研究を実施するために、力覚センサ用の固定具と受圧部を 3D プリンタで制作し、相互作用力計測装置を開発した。製作した①固定具と②受圧部をショベル（図 1）に装着し、その内部を図 2 に示す。力覚センサはテック技販社製小型 3 軸力覚センサ(USL06-H5-100N ×2 台、USL06-H5-500N×2 台)を用いた。固定具は L 字のツメによって固定され、ショベルと接触する部分が受圧部のみになるように設計を行ったが、固定具が回転することでショベルに接触することがあった。そのため、実際に発生する力よりも低く評価される可能性があり、今後の改良が必要となる。

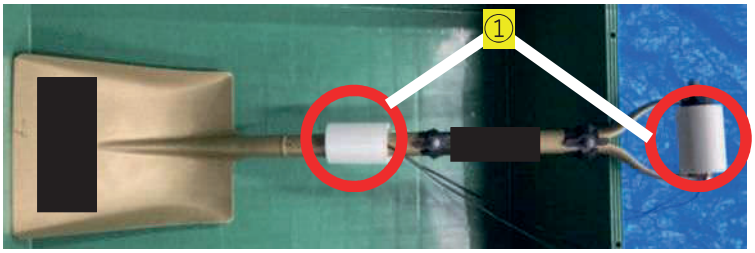


図 1 センサを装着したショベル[4]

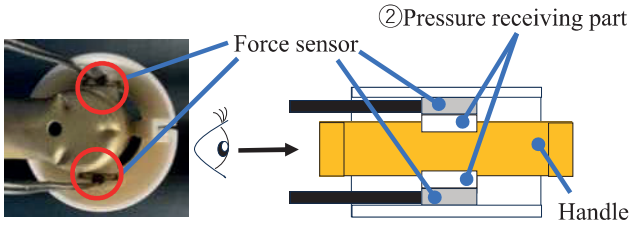


図 2 力覚センサの配置 [4]

実験対象者 1 名（年齢 21 歳・身長 174cm・体重 64kg）のショベル除雪動作について、身体の 3 次元位置座標（Acuity 社製 Opti Track）およびショベルから受ける力・床反力(テック技販社製 TFG-4060-B，TF-4060-D)を計測した。なお、ショベル動作は「始端切り」「前面切り」「小口切り」「底切り・身構え」「持ち上げ・反動づけ」「投げ出し」「おろし」「息づき」のように段階分けできる [5]。本実験では床目に置いたショベルを胸まで持ち上げる「1.ショベル掴み」動作の後に「2.底切り・身構え」「3.持ち上げ」「4.反動付け（2 秒静止）」「5.投げ出し」「6.おろし」を行った（図 3）。この一連の動作を 3 回計測した。

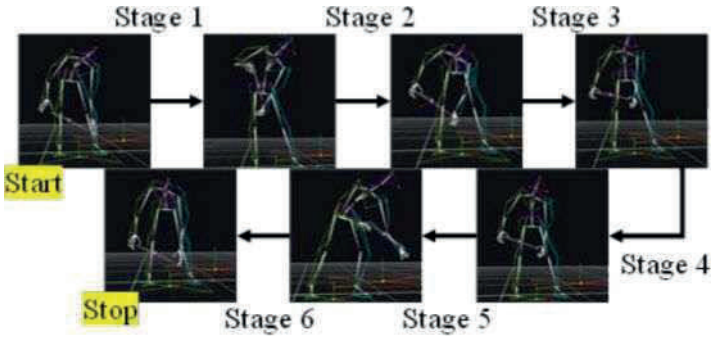


図 3 動作計測装置によって計測した除雪動作 [4]

計測した身体位置座標・ショベルから受ける力に基づき、身体の負荷を腰部モーメントから評価する。腰部に作用するモーメント$\mathbf{M}$を計算するための幾何学図を図 4 に示す。腰部に貼付した反射マーカの中点をO_wとし、ハンドルから身体に加わる合力（$\mathbf{F}_h$）の作用点までの位置ベクトルを$\boldsymbol{\rho}_h$、柄から身体に加わる合力（$\mathbf{F}_s$）の作用点までの位置ベクトルを$\boldsymbol{\rho}_s$、上半身重さ（$\mathbf{w}_c$）の作用点までの位置ベクトルを$\boldsymbol{\rho}_c$とすれば、$\mathbf{M}$は(1)式のように求められる。

$$\mathbf{M} = \boldsymbol{\rho}_h \times \mathbf{F}_h + \boldsymbol{\rho}_s \times \mathbf{F}_s + \boldsymbol{\rho}_c \times \mathbf{w}_c \tag{1}$$

なお、ショベルに作用する合力($\mathbf{F}_h$、$\mathbf{F}_s$)は各位置に取り付けた 2 個の力覚センサの出力の和とし、作用点はセンサの中点とした。また、上半身重さの作用点は胸に取り付けた反射マーカの位

置とし、上半身重さは体重の 60 %に重力加速度を乗じて求めた。腰部に作用するモーメントを腰部運動と対応付けるために、腰に固定した座標系におけるモーメントを評価する。腰に固定した座標系$[\mathbf{a}_w]$は図 5 のように、(1)中点O_wから腹側の 2 個のマーカ中点の方向ベクトル$\mathbf{e}_Z$を求める、(2)O_wから左側 2 個のマーカ中点までベクトルからグラムシュミットの直交化法により方向ベクトル$\mathbf{e}_X$を求める、(3)$\mathbf{e}_Z$と$\mathbf{e}_X$の外積から$\mathbf{e}_Y$を求める、ことにより$[\mathbf{a}_w]=[\mathbf{e}_X, \mathbf{e}_Y, \mathbf{e}_Z]$として得られる。次にショベルに固定した座標系$[\mathbf{a}_s]$は図 6 のように、(4)マーカ S1 から S2 に向けた方向ベクトル$\mathbf{e}_x$を求める、(5)マーカ S2 から S3 に向けたベクトルと$\mathbf{e}_x$からグラムシュミットの直交化法により$\mathbf{e}_y$を求める、(6)$\mathbf{e}_y$を図 7 のように θ だけ回転させ、ハンドルに沿う方向ベクトル$\mathbf{e}'_y$を求める、(7)$\mathbf{e}_x$と$\mathbf{e}'_y$の外積から$\mathbf{e}_z$を求める、ことにより$[\mathbf{a}_s]=[\mathbf{e}_x, \mathbf{e}'_y, \mathbf{e}_z]$として得られる。なお、回転角 θ は S2 と S3 の貼付位置の距離をスケールによって測定し、θ=20.6deg とした。各座標系同士の関係を$[\mathbf{a}_w] = [\mathbf{a}_s]S$とし、ハンドルに取り付けた力覚センサのセンサ出力から求めた$[\mathbf{a}_s]$における各軸成分を$\mathbf{F}_h$、柄に取り付けた力覚センサのセンサ出力から求めた$[\mathbf{a}_s]$における各軸成分を$\mathbf{F}_s$、$\mathbf{a}_w]$における$\boldsymbol{\rho}_h$の成分を$\hat{\boldsymbol{\rho}}_h$、$[\mathbf{a}_w]$における$\boldsymbol{\rho}_s$の成分を$\hat{\boldsymbol{\rho}}_s$，$[\mathbf{a}_w]$における上半身の自重によるモーメントの成分を$\hat{\mathbf{M}}_c$として、$[\mathbf{a}_w]$における腰部に作用するモーメントの成分$\hat{\mathbf{M}}$は以下となる。

$$\hat{\mathbf{M}} = \hat{\boldsymbol{\rho}}_h \times (S^T\mathbf{F}_h) + \hat{\boldsymbol{\rho}}_s \times (S^T\mathbf{F}_s) + \hat{\mathbf{M}}_c \qquad (2)$$

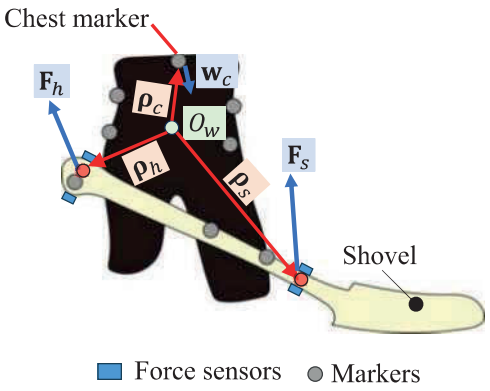


図 4 腰部モーメントを算出するための幾何学図 [4]

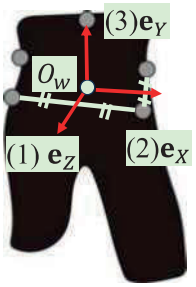


図 5 腰の座標系 [4]

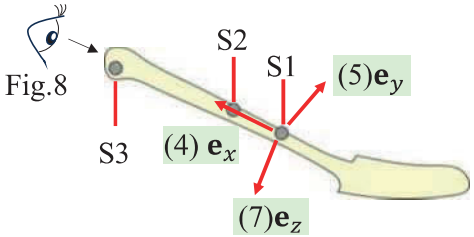


図 6 ショベルの座標系 [4]

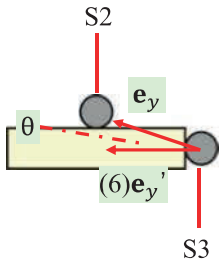


図 7 ショベル座標系 y 軸の算出 [4]

３．研究成果

研究の結果得られた、柄の 2 つのセンサから求められる合力、ハンドルの 2 つのセンサから求められる合力について、z 軸方向（柄鉛直方向）の力の代表例を図 8、9 に示す。縦線は各段階の時刻を示す。これらのグラフより，柄を握る手はハンドルと比べて強い力で逆向きの力を与えていることがわかる（図 8、9(a)）。雪を保持する力は柄を支点、ハンドルを力、雪を作用点とする梃子のような運動を行っていると分かった。

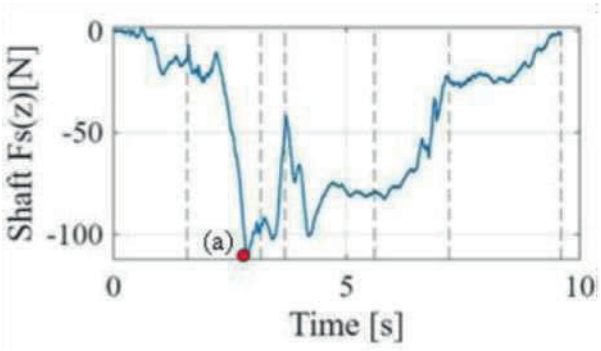


図 8 柄に作用する力の鉛直成分 [4]

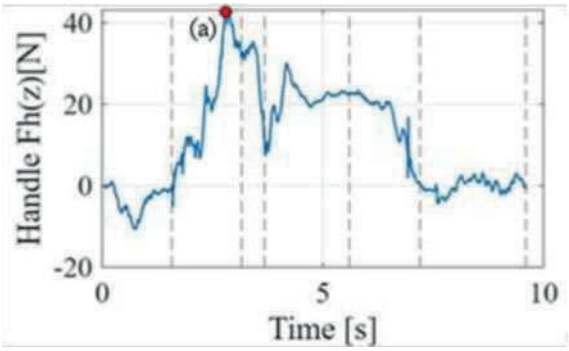


図 9 ハンドルに作用する力の鉛直成分 [4]

次に、フォースプレート左右方向（実験対象者右方向+）の圧力中心（COPx, 図 10）から除雪の各段階における運動の特徴を見ると、段階 1 から 2（ショベルを雪に突き立てる(b)）、段階 3（雪持ち上げ(c)）、段階 5（前進し、雪を降ろす(d)）の動作中に大きな変動が起きており、体重を乗せて各動作を行っていることが分かった。

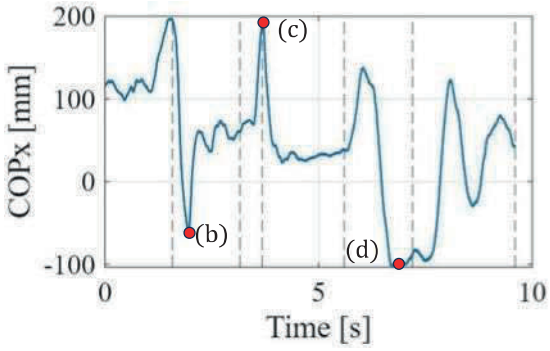


図 10 床圧力中心（左右方向）[4]

最後に、腰の屈曲モーメントに基づき、身体の負荷を明らかにしていく。腰の屈曲モーメントの結果を図 11 に示す。 合計のモーメントは段階 3 から 5 にかけて（図 11(e)）最も高い値を示し、図 10 より同区間において COP の変動が見られることから、体重移動と連動していることが分かる。さらに、その区間において、自重モーメントとショベルのモーメントを比較すると、ショベルのモーメントは自重の 35 %程度であり、全試行の平均では約 32 %であった。したがって、ショベル除雪において、腰にかかる負荷は体重移動が発生する区間（段階 3~5）にかけて自重によるモーメントの作用が最も大きく、それに加えショベルによるモーメントの作用によって合計では自重の 1.3 倍程の負荷がかかることが明らかとなった。

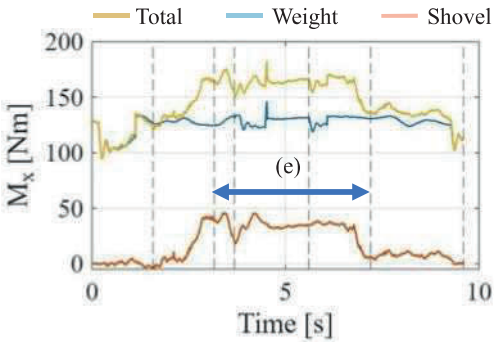


図 11 腰屈曲モーメント [4]

4．今後の展望

今後、本研究で計測ができなかった放り投げ動作等のより高速な除雪動作を計測できるように、力覚センサをショベルに埋め込む形に相互作用力計測装置を改良していく。そして、関節モーメントによる力学的な評価に加え、筋骨格解析を用いて筋張力・筋活性度による生理学的な評価を実施していく。

５．参考文献

１．原　文宏、"冬季における高齢者の歩行転倒事故対策－2 つの極端な解決シナリオと考察－"、福祉のまちづくり研究、vol.6、no.1、pp. 24-30、2004

２．山下　弘二、三浦　雅史、李　相潤、吉岡　利忠、"除雪の作業条件と呼吸循環応答"、理学療法学、vol.30、no.5、pp. 273-279、2003

３．奈良　博之、田中　孝之、今村　由芽子、吉成　哲、中島　康博、金子　俊一、"筋骨格動力学シミュレーターを用いた除雪作業用 UD スコップ使用時の身体的負担評価"、ABML2011 講演論文集、2011

４．稲月　陽也、松本　賢太、神谷　和秀、伊東　聡、杉澤　康友、"ショベル除雪における道具との相互作用力の可視化および身体への負荷の解析"、ロボティクス・メカトロニクス 2026 講演論文集、2026

５．古川　巖、"人力除雪“歩掛り”の研究"、氷雪、vol.25、no.1、pp. 3-7、1963

研究題目	北陸新幹線金沢開業 10 年・敦賀開業 1 年後の沿線住民の意識調査
機関名	富山国際大学
研究代表者	現代社会学部・現代社会学科・教授・大谷友男
分野	経済地理学，観光学
キーワード	北陸新幹線，アンケート調査，観光資源，認知度，並行在来線

１．研究の背景と目的

本研究は金沢開業から 10 年以上，敦賀開業から約 2 年が経過した時点における北陸新幹線の利用実態や住民意識を，沿線住民を対象としたアンケートを通じて明らかにしたものである。

新幹線開業が地域の社会・経済に与えるインパクトに関する調査研究は，開業直後は，沿線自治体や経済団体などが予算を投じて調査を行うことが多く，また社会の関心も高いことからマスコミによる報道も数多く見られる。その多くは開業直後ということで得られるデータにも限りがあり，観光客の増加といった数値でとらえやすい一面的な現象しか取り上げられないことが多い。しかしながら，新幹線開業のインパクトは中長期的に及ぶものや時間の経過とともにその効果が変化していくものなどもあり，継続的なモニタリングを行うことは重要である。ところが，中長期的な影響を計測するには，社会・経済情勢の変化といった新幹線開業とは他の変数が沿線地域におけるさまざまな変化に影響することもあり，どこからどこまでが新幹線開業による効果か計測しにくいといった問題点もある。こうしたことから新幹線開業の地域の社会・経済に与えるインパクトを中長期的な視点で分析した調査研究は多くはない（櫛引・竹内・永澤・大谷，2021）。

また，沿線住民の意識調査に関しては，調査に費用がかかることもあり，調査の数自体が多くはない。

本研究はこうした問題意識のもと，2022 年度に本助成を得て実施した「北陸新幹線金沢開業８年・敦賀延伸前の沿線住民の意識調査」の続編に相当するものである。前回の研究を実施した時点では北陸新幹線は金沢止まりであったが，2024 年 3 月の敦賀開業により北陸新幹線を取り巻く状況も変化してきた。そこで，分析に当たっては，2022 年度に本助成を得て実施した同種の調査結果との比較検討も行い，敦賀開業から約 2 年が経過したところで，利用実態や住民意識が変化した可能性が考えられることから，当時の想定と実態がどう違ったかについても明らかにする。

なお，本研究のタイトルは「北陸新幹線金沢開業 10 年・敦賀開業 1 年後の沿線住民の意識調査」となっているが，調査を実施した時期が 2026 年 1 月であり，実際には金沢開業から約 11 年，敦賀開業からは約 2 年が経過した中でのものである。

２．研究方法

民間企業が提供しているインターネットリサーチのサービスを利用し，関東圏や関西圏も含めた北陸新幹線沿線 10 都府県（東京都，埼玉県，群馬県，長野県，新潟県，富山県，石川県，福井県，京都府，大阪府）の住民を対象にアンケート調査を実施する。

実施に当たっては，年代や性別の偏りが生じないように，回収目標数の設定を 2020 年国勢調査の男女･年齢別人口をベースに，年代，男女の割合が人口の割合と均等になるよう割り振った。詳細は以下に示すとおりである。

対象：北陸新幹線沿線 10 都府県在住の 20 歳以上の男女
割付：年代（20 代，30 代，40 代，50 代，60 代以上）と
　　男女の割合が実際の人口比と均等になるよう設定
サンプル数：各都府県で 400 回答を目標に設定，
　　合計 4,164 名からの回答を得る。
　　都府県別のサンプル数は表 1 示す通り。
調査期間：2026 年 1 月 8 日～1 月 13 日（6 日間）
調査方法：インターネットリサーチ
調査委託先：Fastask（ジャストシステム）
調査項目：北陸 3 県の観光資源の認知度や訪問意向，
　　北陸新幹線や並行在来線の利用経験や評価など。
　　都府県によって質問項目は異なり，詳しくは表 2 に
　　示すとおりである。

表１．サンプル数の想定と回収実績

	サンプル数
東京都	437
埼玉県	428
群馬県	405
長野県	412
新潟県	424
富山県	415
石川県	400
福井県	385
京都府	431
大阪府	427
合　計	4,164

表２．都府県別質問項目

	東京	埼玉	群馬	長野	新潟	富山	石川	福井	京都	大阪
北陸3県の観光資源の認知度	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
北陸3県の観光資源の訪問／購買意向	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2025年における北陸新幹線の利用経験（区間別）	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
北陸新幹線に対する評価・期待（開業段階別）				○	○	○	○	○	○	○
北陸新幹線に対する評価（項目別）						○	○	○		
敦賀乗換に対する評価						○	○	○	○	○
2025年における並行在来線（三セク鉄道）の利用経験						○	○	○		
並行在来線（三セク鉄道）のサービスに対する評価						○	○	○		

３．研究成果

北陸３県の観光資源の認知度，訪問・購買意向

関東・関西における北陸の観光地・特産品の認知度上位は表３に示すように，黒部ダム（富山県），兼六園（石川県），ホタルイカ（富山県）がいずれもトップ３であった。４位以下も関東と関西でそれほど大きな差はなかった。

表３．北陸３県の観光資源の認知度上位 10

関東

（単位：%）

	観光資源とその所在地		認知度
1	黒部ダム	【富山県】	63.5
2	兼六園	【石川県】	63.5
3	ホタルイカ	【富山県】	61.5
4	輪島塗	【石川県】	58.7
5	ます寿し	【富山県】	55.0
6	白えび	【富山県】	49.7
7	東尋坊	【福井県】	49.3
8	富山のくすり	【富山県】	48.8
9	越前がに	【福井県】	48.6
10	金箔	【石川県】	48.2

関西

	観光資源とその所在地		認知度
1	兼六園	【石川県】	60.2
2	黒部ダム	【富山県】	58.9
3	ホタルイカ	【富山県】	57.1
4	輪島塗	【石川県】	50.6
5	東尋坊	【福井県】	49.2
6	越前がに	【福井県】	47.9
7	白えび	【富山県】	47.9
8	富山ブラックラーメン	【富山県】	47.2
9	ます寿し	【富山県】	45.7
10	ブリ	【富山県】	43.5

注）関東は東京・埼玉・群馬，関西は京都・大阪。
　　アンケートの回答者数を各都府県の人口で重み付けして算出した値である。

関東と関西で認知度の差が 10 ポイント以上開いていたのは，芦原温泉（関東：16.5%，関西 35.3%）と三方五湖（関東：11.7%，関西：28.4%）の２カ所のみであった。前回調査では福井県の観光資源を中心に認知度に開きがあったが，今回は敦賀開業に伴って福井県の観光 PR の活動などの効果もあってか関東での認知度のポイントが上昇した。その結果，関東と関西で 10 ポイント以上の差がある観光資源の数が減った。

前回調査との比較では，ランキングに大きな変動はなかったが，関東を中心に能登の観光資源（輪島塗，輪島朝市，和倉温泉，能登牛）の認知度が上昇した。これは 2024 年１月１日の能登半島地震の影響で，能登に対する関心が高まったこと，加えて調査を実施したのが 2026 年の１月上～中旬にかけてだったことから，震災から２年の報道を見聞きしていた影響もあったと考えられる。

地域別の認知度の違いについては，前述した関東における福井県や能登の観光資源以外では前回調査と大きな違いは見られず，①全国区，②地方区（北陸３県での認知度は高いが関東や信越，関西での認知度は低い），③県内区／未発掘（自県のみで認知度が高いまたは自県も含め認知度が低い）の３パターンに大別された。

また，年代別の違いについても前回調査と同様に，兼六園や東尋坊といった伝統的な観光資源に関しては，上の年代ほど認知度が高いのに対し，富山ブラックラーメンや金沢 21 世紀美術館といった比較的新しい観光資源に関しては，若い年代も上の年代も同程度の認知度であった。前回調査の際にも指摘したが，こうした古くからの観光資源は広く知られていることを前提にプロモーションが図られがちであるが，若い年代における認知度の低さを考えた場合には，これらの観光資源が実はあまり知られていないかもしれないと考えてプロモーションを考えることも必要ではないかと考える。

先の観光資源の認知度調査において「知っている」と回答した人に対し，その資源を訪問／購買したいかについて尋ねた結果が表４である（関東と関西のみ表示）。関東では，敦賀の屋台，越前おろしそば，若狭ぐじ（いずれも福井県）がトップ３となり，関西では，富山湾鮨（富山県），香箱がに，能登牛（いずれも石川県）がトップ３であった。ここで上位に挙がった観光資源は，認知度の点では決して高い値ではなかったが，知っている人の間では高く評価されているといえよう。ここでベスト 10 に入っている観光資源の多くは，食に関する観光資源であり，北陸における食の魅力の高さがうかがえる。

表４．北陸３県の観光資源の訪問・購買意向上位 10

関東

（単位：pt）

	観光資源とその所在地		意向値
1	敦賀の屋台	【福井県】	69.9
2	越前おろしそば	【福井県】	65.5
3	若狭ぐじ	【福井県】	64.3
4	ひみ番屋街	【富山県】	63.5
5	富山湾鮨	【富山県】	62.9
6	気比神宮	【福井県】	61.7
7	近江町市場	【石川県】	59.4
8	香箱がに	【石川県】	58.5
9	一乗谷朝倉氏遺跡	【福井県】	57.9
10	能登牛	【石川県】	57.7

関西

	観光資源とその所在地		意向値
1	富山湾鮨	【富山県】	58.7
2	香箱がに	【石川県】	54.9
3	能登牛	【石川県】	51.7
4	ブリ	【富山県】	51.4
5	敦賀の屋台	【福井県】	50.0
6	加賀温泉郷	【福井県】	49.2
7	近江町市場	【富山県】	48.6
8	白えび	【富山県】	48.6
9	金沢21世紀美術館	【石川県】	48.3
10	和倉温泉	【石川県】	48.3

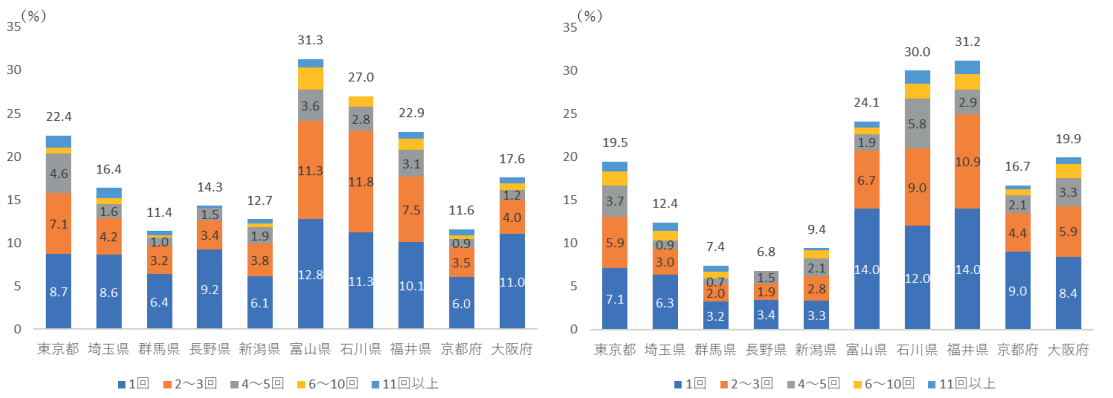
注１）関東は東京・埼玉・群馬，関西は京都・大阪。アンケートの回答者数を各都府県の人口で重み付けして算出した値である。

注２）これらの観光地・特産品を「知っている」と回答した人に対し，「訪問・購入したい」を 100，「どちらかといえば，訪問・購入したい」を 50，「どちらともいえない」を 0，「どちらかといえば，訪問・購入したくない」を-50，「訪問・購入したくない」を-100 とし，その値に回答者数を乗じてポイント化したもの

北陸新幹線の利用経験

2025 年の 1 年間に北陸新幹線の利用経験について，長野～金沢間，金沢～敦賀間，敦賀乗換の 3 つに分けて尋ねたところ，1 回でも利用したことのある人の割合は図 1 のような結果となった。

長野～金沢間では，1 回でも利用したことのある人の割合が最も高かったのは，富山県の 31.3%，次いで石川県（27.0%），福井県（22.9%）であった。東京都も福井県とほぼ同等の 22.4%であった。長野県や新潟県は低い値となっているが，北陸新幹線沿線にあたる長野県東信・北信に限れば 19.8%，新潟県上越に限れば 31.6%と高い水準であった。一方，金沢～敦賀間については，福井県が 31.2%で最も高く，石川県も 30.0%，富山県はこの 2 県に比べてやや低く 24.1%であった。新潟県は上越に限れば 31.6%と高水準であった。関西では，大阪府が 19.9%，京都府が 16.7%であった。東京都は 19.5%と，大阪府とほぼ同水準であった。敦賀乗換の経験については，いずれの都府県でも，金沢～敦賀間とほぼ同水準（金沢～敦賀間よりは若干低い値）であった。



長野～金沢間　　金沢～敦賀間

図 1．2025 年における北陸新幹線の利用経験 1 回以上の割合

注）長野～金沢間，金沢～敦賀間の一部区間でも利用していれば 1 回とカウント。
　　往復・片道関係なく 1 旅程で 1 回とカウント。

北陸新幹線に対する評価・期待

北陸新幹線開業に対する評価または期待について，長野～金沢間，金沢～敦賀間の既開業区間，ルートも含め先行きが不透明な敦賀～新大阪（＝全線開業）について D.I.算出の要領で見た集計した結果が図 2 である。

それによれば，長野～金沢では富山県（77.3），石川県（74.6）ともに高い評価となっており，福井県でも 64.3 と高い値となっているが，金沢～敦賀に関しては，石川県での評価が 51.9 と大きく低下している。一方，富山県は 67.3 で長野～金沢よりも若干数値が低くなっているが，比較的高い値となっている。そして，新たに新幹線がやってきた福井県では 63.6 と長野～金沢よ

りもわずかに低い値となった。新潟県については上越に限れば，長野～金沢で 71.1，金沢～敦賀で 64.4，敦賀～新大阪で 66.7 と高い値であった。同様に長野県でも東信・北信に限れば，長野～金沢で 70.3，金沢～敦賀で 64.9，敦賀～新大阪で 66.3 と高い値を示した。

北陸３県で異なる結果となったのは，金沢開業に関しては北陸に新幹線がやってきたということで，新幹線が来ていない福井県でも歓迎ムード一色であるのに対し，敦賀開業の場合は，富山県では金沢止まりであったものが敦賀まで延伸されて利便性は向上していること，石川県では県内に新規開業区間があるものの，対関西に関しては敦賀乗換を迫られることによる不満が影響していると考えられる。福井県は，県内に新幹線がやってきたことへの歓迎の裏で，対関西へのアクセスは石川県以上に悪化した（金沢から京都，大阪への所要時間は在来線特急が直通していた時期よりも乗り換え時間を含めても 20 分程度は短縮されているが，福井から京都，大阪への所要時間は新幹線による時間短縮効果が敦賀での乗り換え時間でほぼ相殺される）したことへの不満が影響していると考えられる。

京都府，大阪府では，敦賀開業，全線開業のいずれもほぼ同水準であった。関西の２府については北陸新幹線への期待値との比較のためリニアの新大阪開業への期待と比較する設問としたが，ポイント差は小幅なものであった。

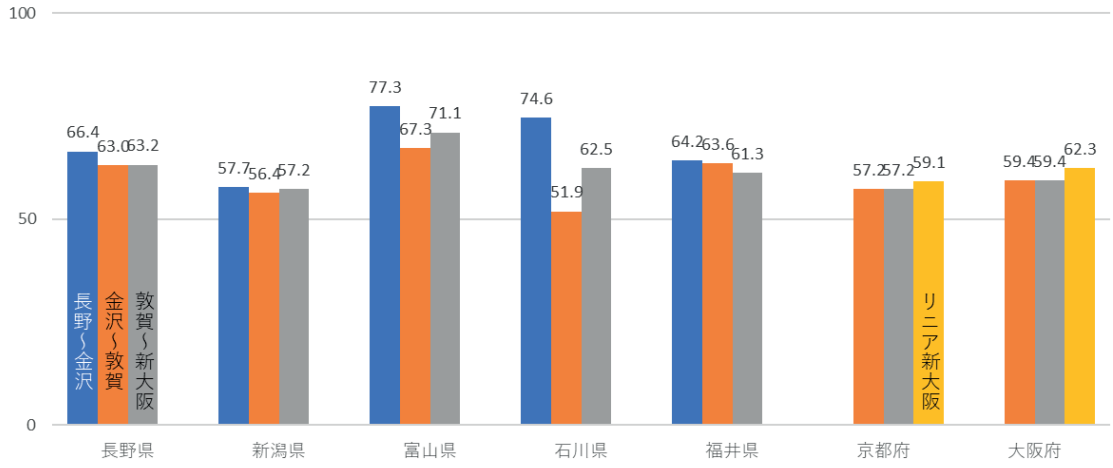


図２．開業段階別北陸新幹線に対する評価・期待

注）それぞれの項目について「プラス」100，「ややプラス」75，「プラスマイナスゼロ」と「影響なし」50，「ややマイナス」25，「マイナス」0 とし，その値に回答者数を乗じてポイント化。50 以上であればプラス，50 以下であればマイナス評価で，100 が最高評価，0 が最低評価。

現時点（敦賀まで開業）の状態において，北陸新幹線が開業していることの効果について北陸３県を対象に項目別に尋ねたのが図３である。

３県いずれもトップだったのが「観光客が増加する」で，富山県 71.6，石川県 70.4，福井県

70.5 といずれも 70 を上回った。その他では「首都圏との交流が活発になる」「地域の知名度・認知度が上がる」「観光以外での経済交流が活発化する」が上位であった。

３県で結果に差があったのは，「京阪神との交流が活発になる」で，富山県は 55.1 と若干プラス評価だったのに対し，石川県で 47.4，福井県で 44.1 とマイナスが優勢であることを示す 50 を下回った。

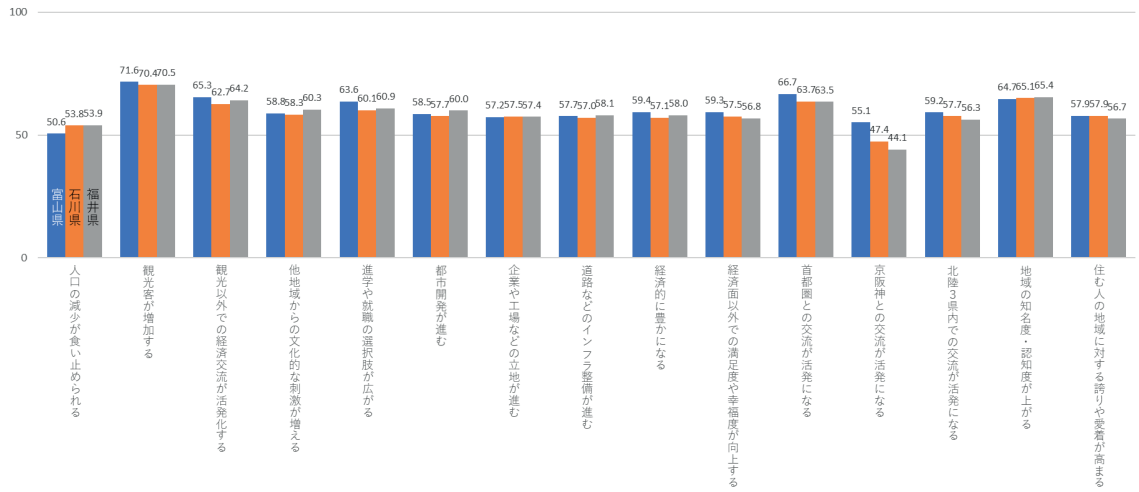


図３．影響項目別北陸新幹線に対する評価

注）算出方法は図２と同様。

敦賀乗り換えに対する評価

2024 年の北陸新幹線金沢～敦賀間の開業により，北陸と関西，中京との間を鉄道で移動する場合は敦賀駅での乗り換えが必要になった（※富山県の場合は 2015 年の金沢開業で乗り換えが必須となっていた）。この敦賀乗り換えについて新幹線による時間短縮効果が上回ると思うか，乗り換えの負担感が上回るかと思うかについて尋ねた結果が図４である。

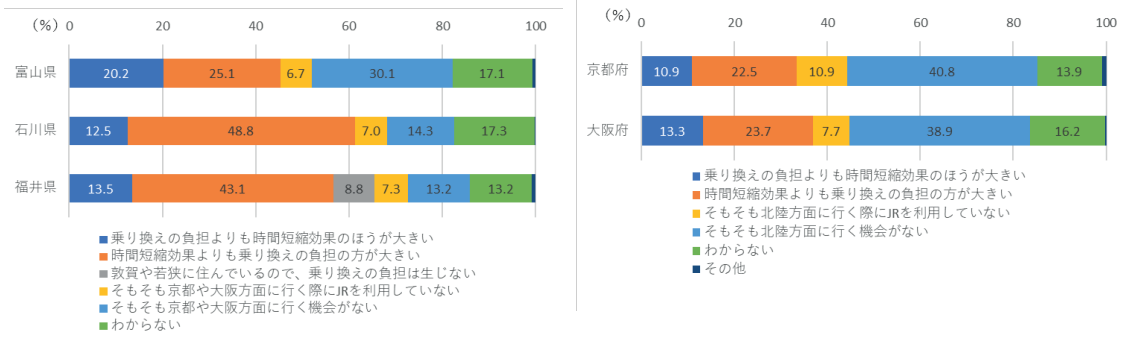


図４．敦賀乗り換えに対する評価

それによれば，北陸３県いずれも時間短縮効果よりも乗り換えの負担を感じる割合が優勢であった。ただし，2015 年以降乗り換えが必要だった富山は時間短縮効果と乗り換えの負担がほぼ拮抗していた。また「関西へ行く機会がない」も目立った。関西も，時間短縮効果＜乗り換えの負担だが，「北陸方面に行く機会がない」の割合は北陸→関西よりも高かった。

この質問に関しては，利用頻度の多寡によって考えが異なる可能性もあることから敦賀乗り換えの経験数（2025 年）の結果とクロス集計を行った。それによれば，富山県の複数回利用者では時間短縮効果が優勢なのに対し，１回のみ利用者では拮抗していた。石川県では，回数を問わず乗り換えの負担を感じる層が優勢だが，利用頻度が高いと時間短縮効果の回答も若干増えた。一方，福井県は，利用頻度の高い層のほうが乗り換えの負担感を強く感じており，それぞれの県の置かれた状況によって敦賀乗り換えに対する意識も異なることがわかった。関西では，京都府は，複数回利用者では時間短縮効果が優勢だが，１回利用者では乗り換えの負担を感じる層が優勢なのに対し，大阪府では，複数回利用者では乗り換えの負担を感じる層が優勢で１回利用者ではやや拮抗であった。

三セク鉄道（並行在来線）の利用状況と評価

新幹線に並行する JR 北陸本線は，新幹線開業後に第三セクターの鉄道会社（富山県：あいの風とやま鉄道，石川県：IR いしかわ鉄道，福井県：ハピラインふくい）に経営移管された。

この経営移管された第三セクター鉄道（並行在来線）の 2025 年の利用状況を尋ねた結果が図５である。

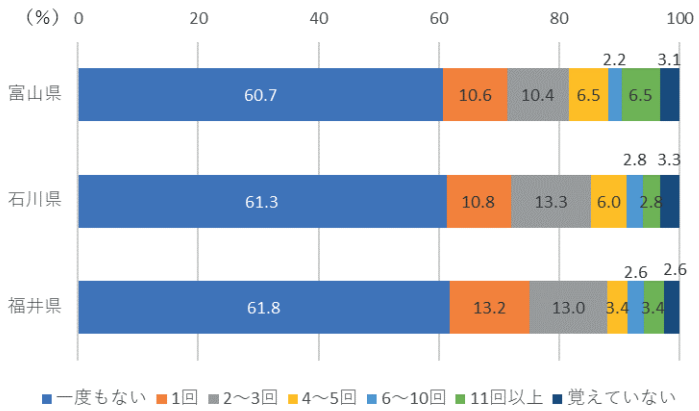


図５．2025 年における三セク鉄道（並行在来線）の利用頻度

それによれば，各県とも６割強が「一度もない」と回答した。裏を返せば，各県とも４割弱の人が並行在来線である三セク鉄道を利用していたこととなり，新幹線の利用経験（３割前後）より若干高い比率である。

それでは，JR から経営移管された三セク鉄道の各種サービスに対する住民の評価はどのようになっているだろうか。項目別に尋ねたものを集計した結果が，次ページの図６である。

それによれば，経営移管により値上がりした「運賃」については各県とも 40 ポイント強で低評価だが，その他の項目は「混雑度」を除けば若干プラスの評価が多い。その中で比較的高い評価となっているのが，バリアフリー対応，待合室，IC カード対応といった「駅の設備」に関する項目で，富山県（あいの風とやま鉄道）では 59.6，福井県（ハピラインふくい）では 58.2 となっている。これらのプラス評価に関しては，実際，新幹線開業により特急の通過待ちがなくなり，増便や時間短縮が実現されており，その実態が適切に評価されているといえよう。

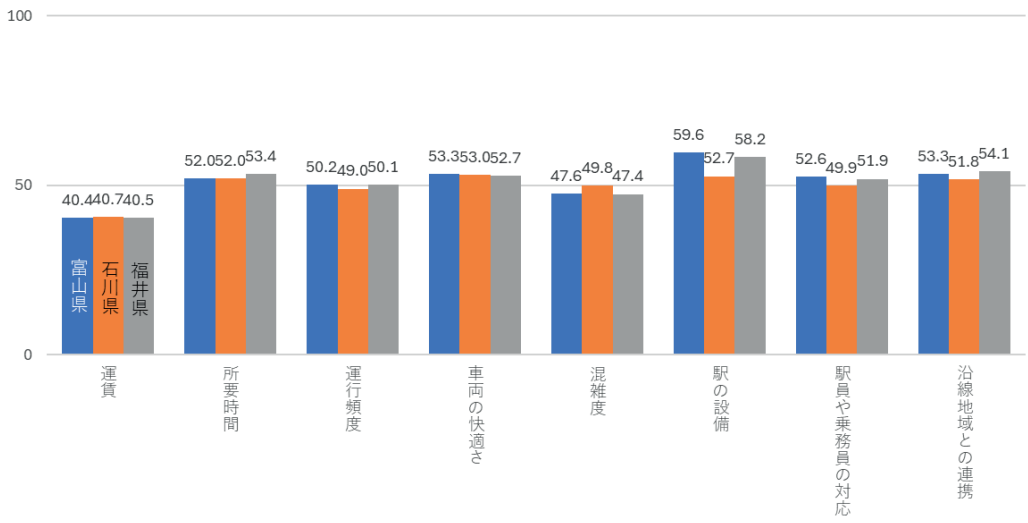


図６．三セク鉄道（並行在来線）の各種サービスに対する評価

注）算出方法は図２と同様。

これについても利用頻度の多寡により評価が異なることが予想されるため，三セク鉄道の利用頻度とクロス集計を行ったところ，各県とも総じて利用頻度の高い人ほど評価値が高めに出る傾向が認められ，実際に利用している人たちが三セク鉄道の各種サービスを一定程度評価していることがわかる。

４．今後の展望

本研究を通じて，北陸新幹線が敦賀まで開業した後の住民意識を定量的に把握することができた。また，３年前に本研究助成を得て実施した調査との比較分析も行うことで，福井県の観光資源の認知度向上や能登半島地震を受けての能登の観光資源の認知度向上の様子をうかがうことができた。今回の研究では，敦賀開業から約２年とまだ日が浅い時点での意識調査であったが，これが開業５年，10 年と経った時にどのように変化しているかを明らかにできると，北陸新幹線開業の効果や課題をより明確にすることができる。また，現時点では先行きの不透明感が非常に強い敦賀以遠の延伸，全線開業に向けて動きが出てきたときに，住民の意識がどのように変化しているかを明らかにしたい。

なお，本研究の成果については，一部を 2026 年３月の日本地理学会で報告したほか，同年４月にはマスコミ向けの発表を行い，NHK ニュースや富山新聞では記事に取り上げられた。また，紙幅の都合上，本稿では記述を割愛した集計結果については，本学ホームページにおいて公表することにより，本研究助成によって得られた成果を広く社会に還元するよう努めた。今後も，このような研究の機会をいただけた場合には，その成果を広く伝えていきたいと考える。

５．参考文献

1. 大谷友男・田部敦也（2021）:「九州新幹線全線開業 10 年での旅客流動と交通体系の変化」九州経済調査月報 2021.3 月号，pp.13-20.
2. 大谷友男・南源来（2021）:「九州新幹線全線開業が企業活動に与えた影響」九州経済調査月報 2021.3 月号，pp.21-27.
3. 大谷友男（2022a）:「2010 年代における北陸地域の大学進学に伴う人口移動」2022 年経済地理学会大会・地理科学学会春季学術大会一般発表
4. 大谷友男（2022b）:「再起動 北陸新幹線　第 2 回 開業効果に沸いた北陸新幹線沿線の観光とその後」北陸経済研究 2022 年 12 月号，pp.20-29.
5. 大谷友男（2023）:「再起動 北陸新幹線　第 4 回 沿線住民の意識から見た金沢開業に対する評価と敦賀開業への期待」北陸経済研究 2023 年 11 月号，pp.6-15.
6. 大谷友男（2024）:「再起動 北陸新幹線 第 5 回 北陸新幹線沿線の観光資源に対する認知度と訪問意向」北陸経済研究 2024 年 2 月号，pp.14-25.
7. 大谷友男・藤沢和弘（2022）:「再起動 北陸新幹線　第 1 回 北陸新幹線の金沢延伸後を旅客流動から考える」北陸経済研究 2022 年 8 月号，pp.16-25.
8. 金沢市（2017）:『北陸新幹線開業による影響検証会議　報告書』
9. 櫛引素夫（2020）:『新幹線は地域をどう変えるのか』古今書院，144p
10. 櫛引素夫・竹内紀人・大谷友男・永澤大樹（2021）:「新幹線開業が東北北部と九州地方にもたらした変化－10 周年オンライン・フォーラムからの検討－」青森大学付属総合研究所紀要第 22 巻第 2 号，pp.1-20.
11. 鉄道・運輸機構（2020）:『北陸新幹線（長野・金沢間）事業に関する事後評価報告書』
12. 日本学術会議 社会学委員会 Web 調査の課題に関する検討分科会（2020）:『提言　Web 調査の有効な学術的活用を目指して』
13. 日本政策投資銀行北陸支店（2022）:『「つながる北陸」新幹線レポート：vol.2 福井駅　北陸新幹線敦賀開業に関する北陸・首都圏・関西在住者の意識調査　－福井が開業効果を最大限活かすために－』
14. 藤沢和弘（2015）:『北陸新幹線レボリューション』交通新聞社新書，219p
15. 藤沢和弘（2018）:「地方創生の視点から行政が取り組むイメージアップ戦略について考える」地域研究交流 No.98，pp18-26.
16. 北陸経済連合会（2017）:『北陸新幹線金沢開業の整理と敦賀延伸に向けた課題』49p

研究題目	学生が事業主体となって進める地域課題解決 ～ODSC 手法によるプロジェクトマネジメント～
機関名	富山国際大学
研究代表者	現代社会学部・環境デザイン専攻・教授・川本聖一（令和８年３月 31 日付定年退職）
分野	建築社会システム
キーワード	実践教育、空き家リノベーション、生産プロジェクト

１．研究の背景と目的

本プロジェクトは、学生が主体となり、地域の人々と協働して実際に空き家のリノベーションを行い、地域の活性化を図る活動を通じて、実践的な学びを得る取り組みである。2018 年 4 月にスタートし、これまでにいくつかのプロジェクトを完遂[1) 2) 3) 4)]。多くの学生がその過程を経験し、大学卒業後には実社会で活躍している。2022 年度からは「地域の人々と進める空き家リノベーションによる実践教育」として、建設プロジェクトごとに詳細な記録を残し、後続の実践教育に有用な資料とすることを目的として編集を行っている[5)]。

本報は、2024 年度から 2025 年度にかけて富山県黒部市金屋地区で行った実践教育の報告である。本プロジェクトには 3 名の学生が参加し、その活動内容と学生が作成した資料等をまとめた記録を示すものである。指導にあたった教員（川本）は、建設プロジェクトにおいて PM（プロジェクトマネジャー）の役割を果たした。参加した学生の役割分担は、屋敷が事業提案、小学生に関する市場調査、事業のフィージビリティスタディ、リノベーション工事のデザイン提案を担当。木村が高齢者に関する市場調査、関連事業の調査、リノベーション工事の施工マネジメントを、前田が工事予算管理および事業プロモーションのための提案を担当した。

事業の背景

近年、日本社会では少子高齢化と人口減少が急速に進行しており、それに伴う空き家の増加が全国的な社会問題として深刻化している。とりわけ地方都市においては、住宅需要の減退や世帯構成の変化により、長期間利用されていない住宅が各地で増え続けている。富山県東部に位置する黒部市も例外ではなく、市内の各地域では高齢化とともに空き家が目立つようになっており、景観の悪化や防災・防犯上のリスクが懸念されている[6)]。

一方で、核家族化や共働き世帯の増加に伴い、地域での子育て支援のあり方や、放課後に子どもが安心して過ごせる居場所の不足が課題となっている。また、高齢者においても孤立や生きがいの喪失が問題視されており、こうした社会的背景から、世代を超えた地域交流の必要性が高まっている。このような状況の中で、空き家を単なる「老朽化した不動産」ではなく「地域資源」として再評価し、多世代交流の場として再生させる。本研究では、黒部市の空き家を舞台に、学生主体で行った地域交流拠点づくりの建設プロジェクトに着目し、その実践過程と成果、得られた課題と可能性を明らかにする。

研究目的

本研究の目的は、黒部市の空き家を地域資源として有効活用し、子どもと高齢者が共に過ごす

ことのできる多世代交流の場を創出することである。また、その取り組みを通じて空き家再生の新たなモデルケースを提示し、今後同様の課題を抱える地域への参考資料となるような知見を蓄積することも重要な目的の一つである。空き家の利活用によって地域コミュニティの再構築を図ると同時に、高齢者の生きがいや子どもの成長機会の創出を目指す。

建設プロジェクトについて

事業の企画から結果報告までの一連の流れを「建設プロジェクト」と呼んでいる。この実践教育プログラムは、地域活性化を目指し、学生が実際に空き家を視察し、改修や購入に繋げる建設プロジェクトを行うものである。Figure 1 のように、10 のステップの一部、もしくは全体を担当し、報告書をまとめる。このプロジェクトでは地域の人々と協働し、地域に存在する諸問題やその解決方法を、自らの体験をもとに考えるものである。

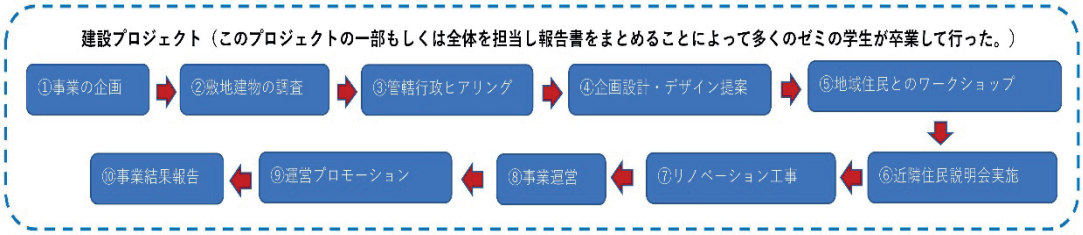


Figure 1　建設プロジェクト

2. 研究方法

本研究は、実際の空き家を対象とした建設プロジェクトに学生主体で取り組むことで、空き家の利活用と地域課題の解決に向けた実践的な知見を得ることを目的としている。具体的な研究方法としては、Figure 1 に示す 10 のステップのうち、「事業企画（STEP 1）」「デザイン・空間提案（STEP 4）」「リノベーション工事（STEP 7）」「結果報告（STEP 10）」の 4 つのステップを重点的に実施した。

事業企画段階では、対面やオンライン会議を用いて案を出し合った。企画設計・デザイン提案においては、「クラウドワークス」を用いたアンケート調査を実施し、その結果をもとにオーナーへインテリアのデザイン提案を行った。リノベーション工事では、設計提案を踏まえ、実際に現地で木製看板の制作や手すり木部の塗装等を学生が担当した。最後に結果報告・考察において、これまでの活動内容・成果・課題を整理し、卒業論文として取りまとめを行った。

空き家の概要と体制



Figure　2　リノベーション物件

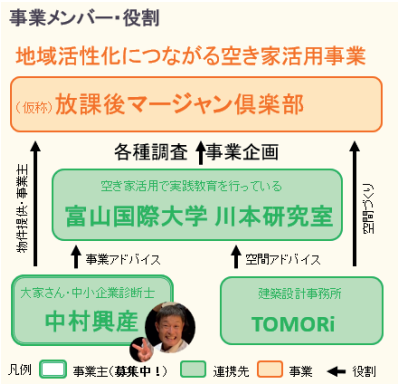


Figure 3　リノベーション事業体制

対象となった建物は、中村興産が所有する共同住宅（築 26 年、延床面積 139 ㎡、2 階建て 6 住戸から構成される集合住宅）である。この物件に対し、黒部市の設計事務所 TOMORI がプロジェクトに参画し、不動産・建築の専門家視点から助言を提供した。学生チームは、TOMORI の専門的サポートのもとで空間設計や事業構想を具体化させていった。

ODSC を活用したプロジェクト推進

本プロジェクトでは、企画段階から将来的な事業化を見据え、ODSC を設定したうえで、クリティカルチェーンという管理手法を用いて計画立案を行った。ODSC（Objective、Deliverables、Success Criteria）とは、目的、成果物、成功基準を明確にすることで、関係者間の認識を統一し、取り組みの軸を定める手法である。

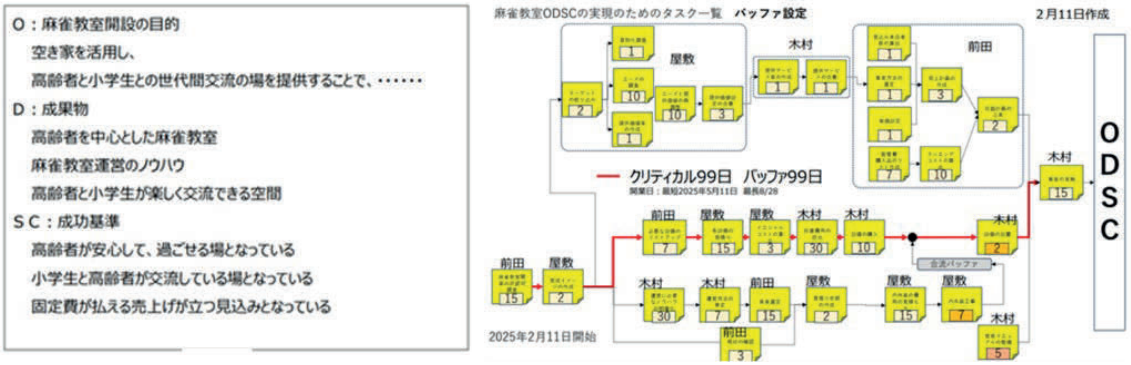


Figure 4　プロジェクトの目的と成果物と達成基準

Objective（目的）は、高齢者と小学生の世代間交流の場を提供することで親世代の負担を軽減し、地域活性化につなげること。Deliverables（成果物）は、麻雀教室の運営ノウハウ蓄積、ならびに安心して交流できる空間の形成を想定した。Success Criteria（成功基準）は、固定費を賄える売上の見込み、親世代の負担軽減、多世代が楽しめる場の実現、そして卒業論文執筆時点までの黒字化の見通しを設定した。資源制約を考慮しバッファを集中的に管理するクリティカルチェーンの導入は、不確実性の高いプロジェクトにおいて極めて有効な手法であった。

3. 研究成果

麻雀教室から家庭科教室への転換

当初の企画では、M リーグ（スポーツ麻雀のトーナメントリーグの一つ）等の影響による麻雀人気の高まりや高齢者のスキル活用を背景に「高齢者が小学生に麻雀を教える教室」を提案していた。しかし、風営法の影響により子ども対象の麻雀教室実施は困難であると判明し、事業内容を「家庭科教室」へと転換した。これは、放課後の子どもたちが地域の高齢者から料理や掃除などの生活スキルを学ぶ場であり、当初の「多世代交流」という目的を維持しつつ、共働き世帯の社会的ニーズに応える内容となった。

企画提案とアンケート調査

地域ニーズ把握のため、2 段階のアンケート調査を実施した。第 1 段階では、クラウドソーシングサイト「クラウドワークス」と、地域の公民館・学童施設での対面調査を併用。第 2 段階では、黒部市の小学生保護者に限定し、具体的な外観イメージや平面図を提示した上での調査を行った。クラウドワークスと Google フォームの併用は、データの自動集計を可能にし、低コストで迅速な分析を実現した。



Figure 5　家庭科教室ポスター

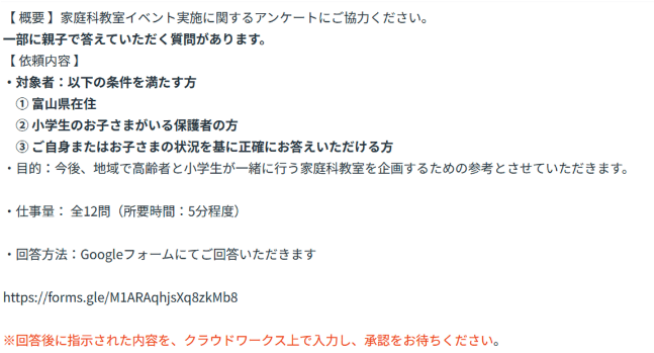


Figure 6　クラウドワークスで行ったアンケート

調査結果と改善提案

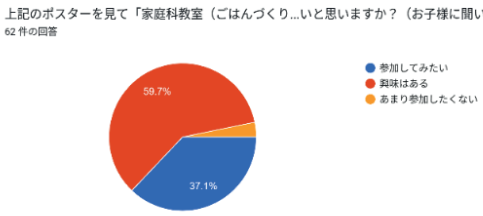


Figure 7　アンケート結果（子供）

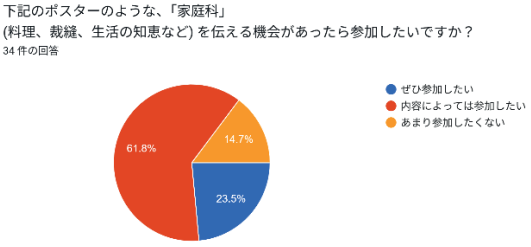


Figure 8　アンケート結果（高齢者）

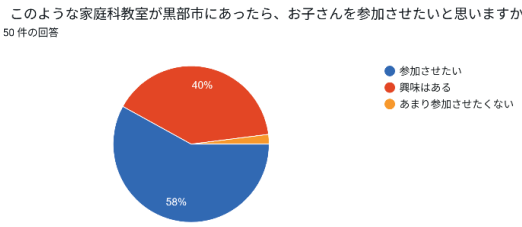


Figure 9　アンケート結果（黒部市在住の保護者）

調査の結果、98%の保護者が「参加させたい・興味がある」と回答し、需要の高さが裏付けられた。一方で、高齢講師の確保や、安全面・アレルギー対応への懸念も明らかになった。これを受け、①柔軟な参加制度の導入、②学生による見守り体制の強化、③活動内容の多様化、④

Instagram 等を活用した情報共有の充実、の 4 点を具体的な改善策として提案した。

デザイン提案とリノベーション

空間設計では、廃棄家具の修繕・再生や、DIY による無垢材テーブルの導入を提案し、コスト抑制と温かみのある演出を両立させた。外観デザインには生成 AI を活用し、複数のパターンを比較検討した結果、「黒の鉄骨」と「木製手すり」を組み合わせた現代的な意匠を採用した。実工事では、既存手すりに木材を被せる改修を施し、建物の印象を冷たいものから温かいものへと転換させた。



Figure 10　インテリアの提案



Figure 11　外観デザインの提案



Figure 12　リノベーション実施前と実施後





Figure 13　木材塗装作業

木製看板の制作プロセス



Figure 14　「Canva」を用いたデザイン提案

看板はプロジェクトの「顔」となるため、学生が全工程を担った。制作したのは手すり看板、立て看板、および新規入居する接骨院の看板である。まず、地元のホームセンターで木材を購入し、希望サイズにカット。耐久性と美観を高めるため、木材に防水・防腐効果のある専用ワックスを刷毛で塗り込み、重厚感のある濃い木目に仕上げた。文字・ロゴのデザインには「Canva」を活用したほか、手すり看板のロゴには生成 AI を用いてオリジナリティを追求した。



Figure 15　マスキングと塗装



Figure 16　組み立て作業

塗装工程では、マスキングテープで木板を保護し、印刷したデザインをスプレーのりで仮止めした。当初は切り抜いた紙を配置して塗装していたが、複雑なロゴの再現が困難だったため、マ

スキングテープの上に紙を貼り、紙ごと切り抜く手法へ変更した。これにより、ロゴや文字の細部まで高い精度で再現することが可能となった。スプレー塗装後、乾ききらないタイミングでマスキングを剥がし、最終的に屋外使用を想定した防水・防腐スプレーを全面に塗布して仕上げた。

組み立てと仕上げ

看板の板同士を丁番で接続し、あおり止めで設置角度を調整することで、自立型のスタンド看板として完成させた。この看板制作は、単なる DIY 作業に留まらず、プロジェクトへの参加意識を高め、地域住民に対して「学生が真剣に取り組んでいる」というメッセージを視覚的に伝えるものとなった。

4. 今後の展望

スケジュール管理の反省と改善

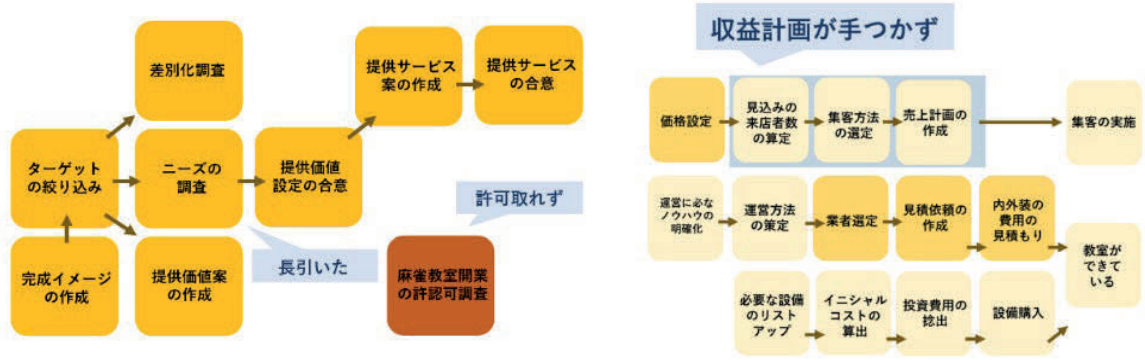


Figure 17　スケジュール管理の改善点

ODSC を用いた管理において、3 つの改善点が明らかになった。第一に「リスクマネジメント」であり、法規制による事業断念を想定した代替案の早期準備が必要であった。第二に「運営主体の早期確保」である。持続可能性を高めるため、早い段階で地域団体や事業主と連携すべきであった。第三に、事業変更時に収支計画を含めた ODSC を速やかに見直す重要性が確認された。

プロジェクトの今後



Figure 18　完成予想図（外観・内観）

本プロジェクトは、年度明けに「家庭科教室」の営業開始を目指して再始動する。施設にはオーナーの知人が運営する接骨院が併設される予定であり、健康維持と世代間交流の複合拠点となる。さらに、宿泊機能（ゲストハウス）としての営業も計画されており、多角的な活用による安定した収益確保を目指していく。

建設プロジェクトを通して

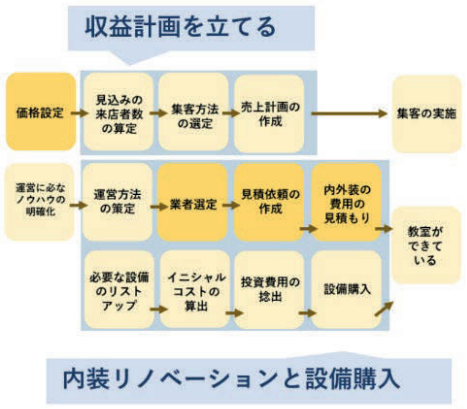


Figure 19　今後のスケジュール



Figure 20　この建設プロジェクトのまとめ

本プロジェクトは、地域課題の把握から空間実装までを構造的に示したものである。子どもと高齢者の課題を共有することで同時解決できる可能性が見出され、ODSC 等の手法により停滞要因を客観的に分析できるようになった。また、生成 AI の活用が合意形成を円滑にすることも確認された。本実践教育は、学生が事業の実行可能性を多角的に検証し、地域資源としての空き家活用に重要な示唆を与えるプロセスとなった。

5. 参考文献

1）　川本聖一他，地域の人々と進める空き家リノベーション　その１ - 地域の人々との協働の記録 - ，富山国際大学現代社会学部紀要第 11 巻第 2 号，pp121 - 131

2）　川本聖一他，地域の人々と進める空き家リノベーション　その２ - 地域の人々との協働の記録 - ，富山国際大学現代社会学部紀要第 12 巻第 2 号，pp69 - 84

3）　川本聖一他，地域の人々と進める空き家リノベーション　その３ - 地域の人々との協働の記録 - ，富山国際大学現代社会学部紀要第 13 巻第 2 号，pp31 - 48

4）　川本聖一他，地域の人々と進める空き家リノベーション　その４ - 地域の人々との協働の記録 - ，富山国際大学現代社会学部紀要第 14 巻第 2 号，pp21 - 36

5）　川本聖一他，地域の人々と進める空き家リノベーションによる実践教育　その１ - 射水市小杉駅前プロジェクト - ，富山国際大学現代社会学部紀要第 15 巻第 2 号，pp45 - 58

6）　内閣府「平成 26 年度版高齢化社会白書」，第 2 節高齢者の姿と取り巻く環境の現状と動向

研究題目	深層学習と生成 AI を用いた特許書類の解析
機関名	富山国際大学
研究代表者	現代社会学部・現代社会学科・教授・新森昭宏
分野	自然言語処理
キーワード	特許書類、生成 AI、Mermaid 記法、可視化、GitHub

１．研究の背景と目的

（１）概要

知的財産としての特許の重要性は言うまでもない。その一方で、特許を記述する特許書類、特に特許請求項の可読性の可読性の低さは従来から指摘されてきた(1)。

本研究の実施者は約 20 年前にこの問題に取り組み、特許請求項の構造解析と引用関係解析の研究に取り組み、それぞれ 2004 年と 2008 年に論文として発表した (1,2)。しかし、そのときに用いた手法は、深層学習以前の手法（形態素解析、文脈自由文法、修辞構造解析、他）であった。また、解析結果を可視化するために使用したツールは、RSTTool(3)という修辞構造解析結果表示ツールであった。

言語処理においてはその後、深層学習を用いた手法が主流となり、近年では生成 AI が最大限に活用されている。そして、ソフトウエア工学の世界では、Mermaid 記法(4)と呼ばれるテキスト表現とそのグラフ化ツールが多用されるようになっている。

本研究では、生成 AI を用いた特許請求項の引用関係解析と構造解析に取り組んだ。具体的には、公開特許公報から取得した「特許請求の範囲」のテキストを生成 AI に与え、特許請求項の引用関係解析と構造解析を実行し、その結果を Mermaid 記法によるフローチャートグラフ表現で出力する手法を研究しプログラムを実装した。

（２）Mermaid 記法について

Mermaid 記法は、フローチャートをテキストで作成するための記法として 2014 年に Knut Sveidqvist 氏が開発し、JavaScript による実装をオープンソース公開したものである(4)。Mermaid 記法には軽量型マークアップ言語である Markdown 記法から着想を得た記法が採用されており、その使いやすさから人気を集めた。フローチャート以外の様々なダイアグラムが作成できるように拡張され、現在はソフトウエア工学の分野で多用されるようになっている。

2022 年にクラウドサービスを提供する Mermaid Chart 社が設立され、Knut Sveidqvist 氏は CTO に就任した(5)。Mermaid Chart 社は現在、クラウドサービス “Mermaid Live Editor” (6) を提供している。その FREE 版を使うだけでも、Mermaid 記法のテキストから各種のダイアグラムをリアルタイムに表示できる。

その他、ソースコードエディタとして有名なVisual Studio Code（VS Code）の拡張機能として“Mermaid Preview”[7]が公開されており、VS Codeに組み込むことでローカル環境において同様のことが実施できる。

（3）GitHubにおけるMermaid記法の利用

ソフトウエアの分散型バージョン管理ツールであるGitを利用した開発プラットフォームであるGitHubは2008年にサイトが開設されて以降、オープンソースソフトウエア開発プロジェクトのサイトとして世界中の開発者に利用されてきた[8]。2018年にMicrosoftに買収されて以降も無料サイトとしてのサービスを継続するとともに、自動化ツールやAI開発支援ツールを提供する有料サービスも提供するようになり、多くの開発者に利用されている。

GitとGitHubでは、プロジェクトのファイルとその変更履歴を補完する場所を「リポジトリ」と呼ぶ。リポジトリは広く公開される「パブリックリポジトリ」と、作成者だけが使う「プライベートリポジトリ」とがある。いずれの場合においても、リポジトリはディレクトリの階層構造からなることが多く、各ディレクトリにはそこに置かれているファイルを説明するREADMEというテキストファイルが置かれる。GitHubにおけるREADMEファイルは通常、Markdown記法を使って記述され、拡張子“.md”を付けて“README.md”という名称で配置される。

GitHubは2022年に、GitHub上のMarkdownファイルにおいてMermaid記法をサポートすることを発表した[9]。つまり、リポジトリ中のディレクトリにREADME.mdファイルがあり、その中にMermaid記法のテキストがあると、その部分がグラフ表示される。そのディレクトリに置かれているREADME.md以外のMarkdownファイルについても同様である。

2．研究方法

特許書類は出願から1年6か月経過すると「公開特許公報」として一般公開される。公開特許公報は、特許庁と独立行政法人　工業所有権情報・研修館（INPIT）が運営する「特許情報プラットフォーム（J-PlatPat）」[10]やGoogleが運営する「Google Patents」[11]などのサービスから取得することができる。

Google Patentsを利用して公開特許公報から特許書類を取得し、特許請求項の部分をテキストファイルとして保存し、生成AIを使って特許請求項の引用関係解析と構造解析を行った。生成AIとしてはGoogleのGemini[12]を使い、PythonプログラムからGemini APIを呼び出して解析した。モデルとして、gemini-2.5-flashを使用した。

一般に生成AIの利用にあたっては、生成AIへの指示文・命令文・質問となるプロンプトの作成に留意する必要があるとされており、その作成手法は「プロンプトエンジニアリング」と呼称されている。Geminiの開発元であるGoogleも解説ドキュメント[13]を公開しており、手法の一つとして「Few-shot （少数ショット）プロンプト」を説明している。

自然言語は人間の自由な発想に従い記述するものであるため元々曖昧性があり、一般にその解析には困難が伴う。一方、特許文書は法的な文書であり、その中でも特に特許請求項は権利を

主張する文であるため、その記述には形式的な特徴がある[1]。特に、他の特許請求項を引用して記述される「引用形式請求項」の記述は表現上の明確な特徴を持つため、2008 年の研究[2]はそれを活用して引用関係解析を行うものであった。また、2004 年の研究[1]は特許請求項の記述で多用される「手がかり句」を活用して構造解析を行うというものであった。以上を考慮して、特許請求項の引用関係解析と構造解析には、Few-shot プロンプト手法を使うこととした。

特許請求項の引用関係解析に用いたプロンプトは、2008 年の論文の記載例を例としたものを使った。特許請求項の構造解析に用いたプロンプトは、2004 年の論文の記載例を基本例とし、何回かの試行解析で解析間違いがあったものについて本来出力すべき結果を例として追加したものを使った。

３．研究成果

2024 年に公開された公開特許公報からランダムに抽出した 20 件の特許請求項の引用関係解析と構造解析を実行した。

（１）特許請求項の引用関係解析

特許請求項の引用関係解析結果を Chrome ブラウザで表示した例を図 1 と図 2 に示す。いずれの図も解析結果を GitHub に登録し、READM.md ファイルに Mermaid 記法を記述することでグラフ表示させている。いずれの図においても、「請求項 n が請求項 m を引用している」ということを請求項 n から請求項 m に矢印を引くことで表現している。また、README.md ファイルの冒頭には当該公報に対する Google Patents 上での URI (Uniform Resource Indicator)を記述することで、当該公報をすぐに参照できるようにした。

図 1 は請求項が 5 つのものである。請求項 1 だけが独立形式請求項であり、それ以外の 4 つが引用形式請求項である。複数の請求項を引用する多数項引用がみられるが、その引用関係は、比較的単純なものである。

図 2 は請求項数が 18 個のものであり、独立形式請求項は請求項 1 と請求項 15 である。残り 16 個の引用形式請求項の引用関係は、多数項引用の引用元が多数項引用となっている「多重多数項引用」[2]が含まれる複雑なものとなっている。このような特許請求項の引用関係を人手で図に表すことは手間がかかる作業であるため、生成 AI により自動作成できることの意義は大きい。

20 件の特許請求項の引用関係解析を目視で確認したところ、すべて正しく解析されていた。つまり、2008 年の論文の記載例を例として作成したプロンプトを修正することなく、正しい解析結果を出力することができた。

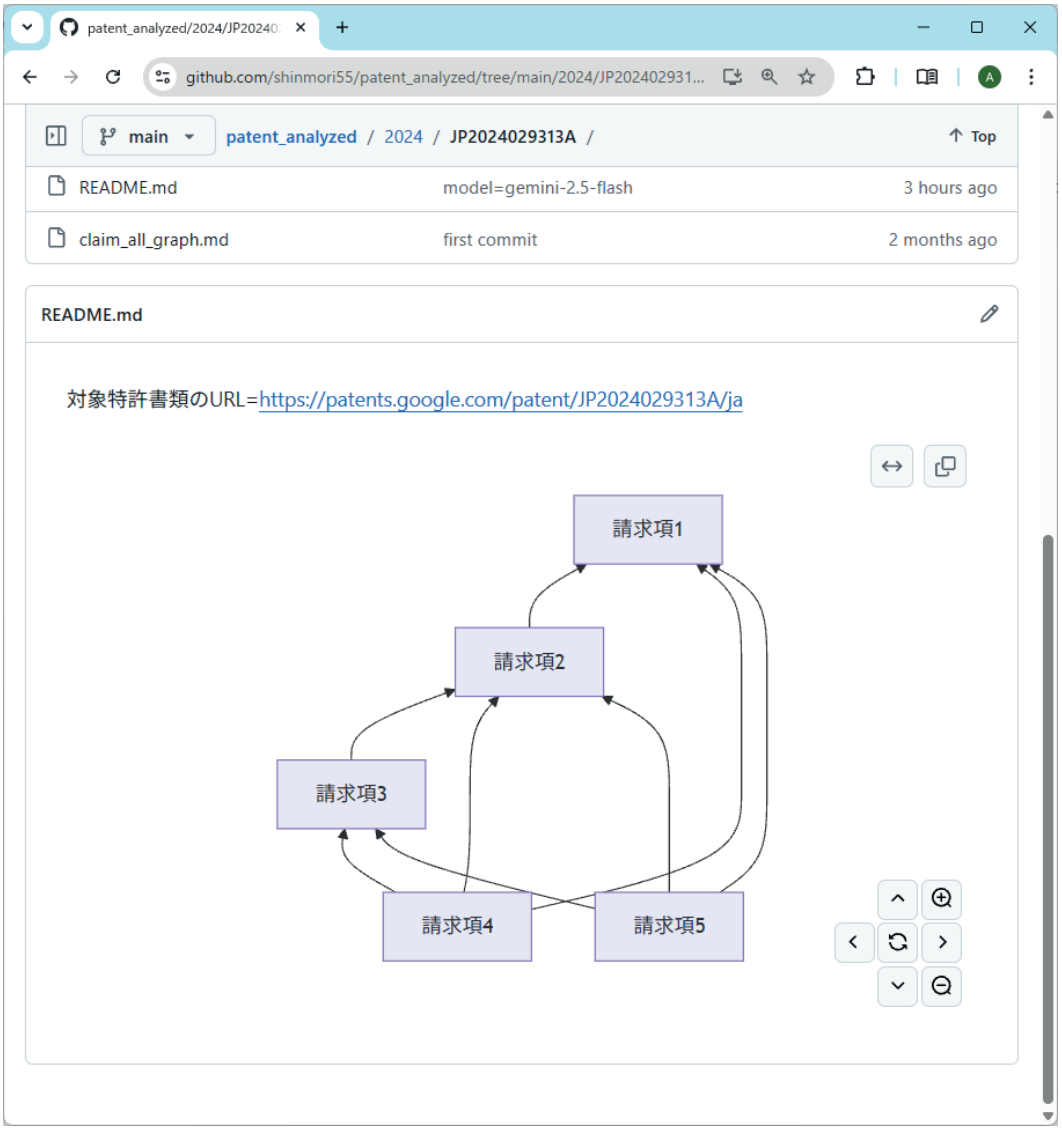


図 1. 特開 2024-29313 の特許請求項の引用関係解析結果

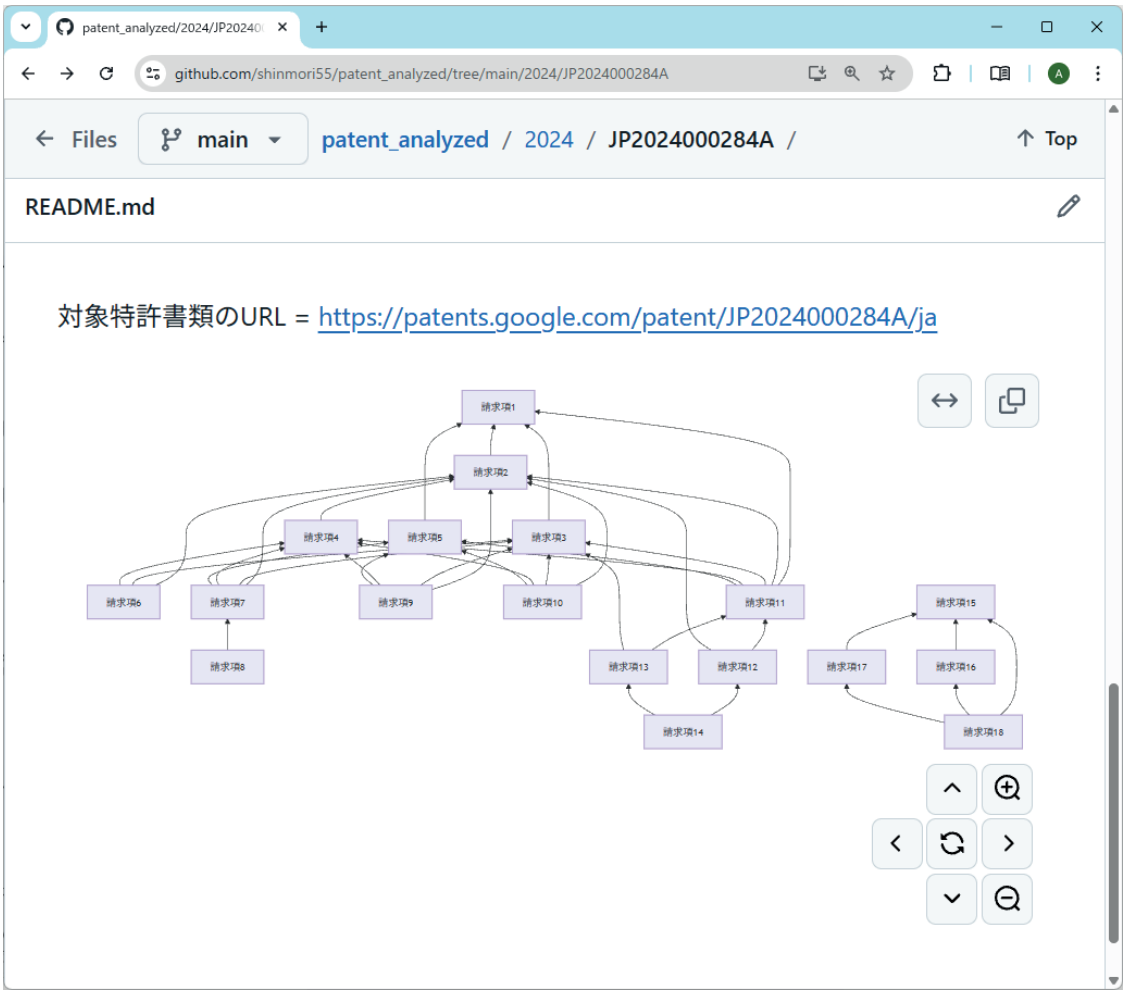


図 2. 特開 2024-284 の特許請求項の引用関係解析結果

（2）特許請求項の構造解析

特許請求項の構造解析結果の例を図 3、図 4、図 5 に示す。

図 3 は独立形式請求項である。「であって、」とその修飾部を前半部とし、それ以降を後半部とした上で、後半部を更に 2 つの部分に分けて、その修飾部を明示している。後半部の前部では、加工装置が 2 つの部品から成っていることも明示している。

図 4 も独立形式請求項である。6 つの部分からなる並列構造が認識されており、さらに最初の部分は「シート材」と「線状伝送部材」の 2 つの部品を認識している。4 番目の部分である「～超音波溶着されて、」は末尾が「助詞＋読点」であるため、末尾が「動詞連用形＋読点」となっている他の部分とは異なっている。このため、5 番目の部分である「～状態となっており、」に併合されるべきものと考えることもできる。とはいえ、この形でも不自然ではない。

図 5 は引用形式請求項である。「請求項 2 に記載の」が「配線部材」と併合されているため、引用形式請求項であることが明確化されている。

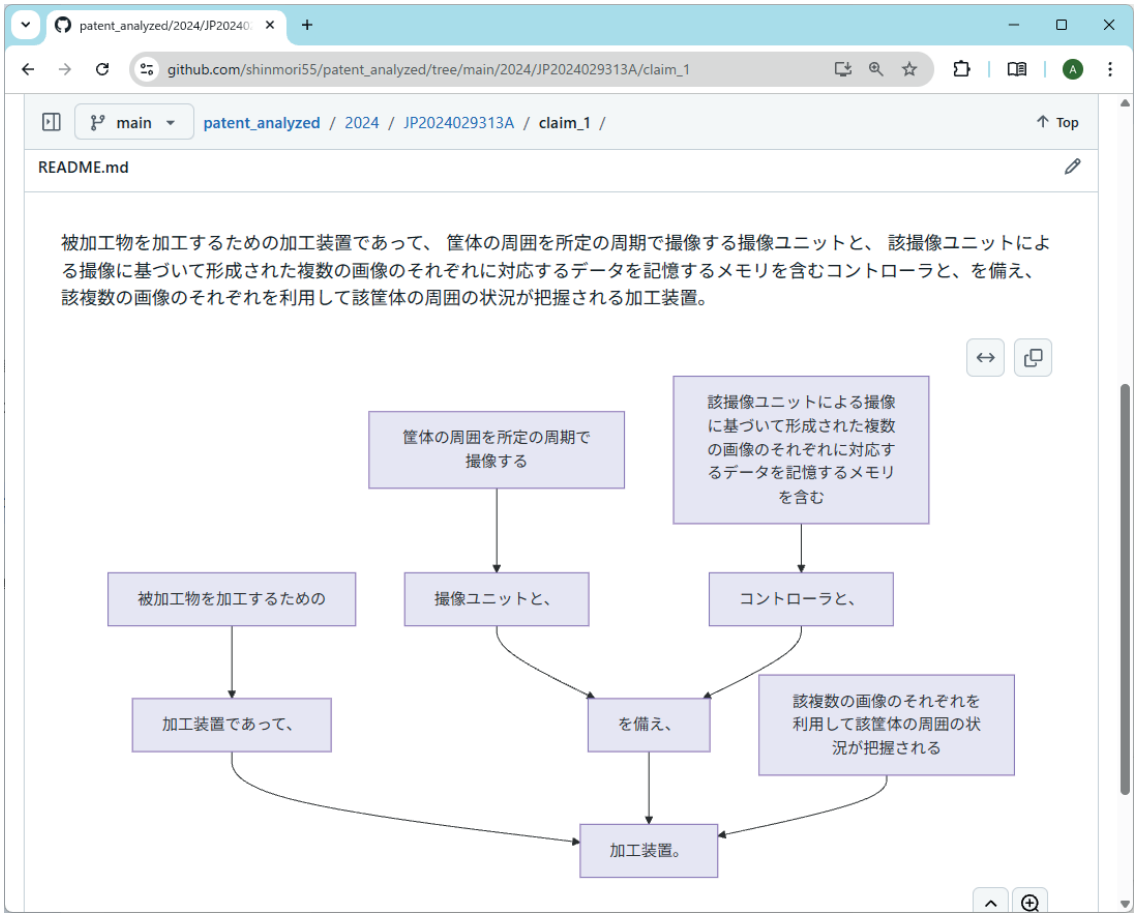


図 3. 特開 2024-29313 の第一請求項の構造解析結果



図 4. 特開 2024-1238 の第一請求項の構造解析結果

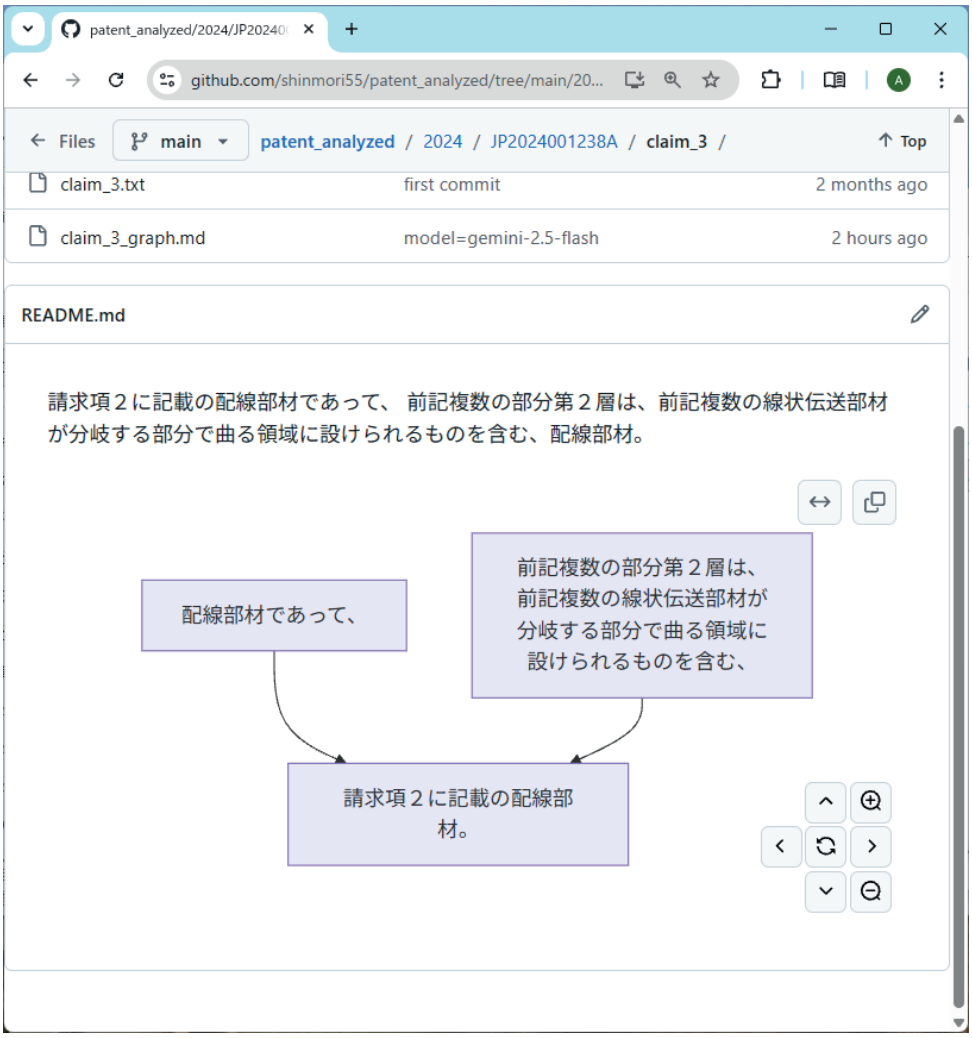


図 5. 特開 2024-1238 の第 2 請求項の構造解析結果

（3）GitHub のパブリックリポジトリを使った公開

特許請求項の引用関係解析と構造解析の結果は、関係者に共有し広く活用されるべきであると考え、研究で使用したプロンプトと解析結果を GitHub のパブリックリポジトリに格納して公開した(14)。このリポジトリに今後、多くの公報の引用関係解析と構造解析の結果が格納され、「公報解析結果コーパス」として発展することが期待される。

Git と GitHub には「コミットメッセージ」という概念があり、新しく作成したファイルを登録（コミット）する際に、説明を記述することができる。解析結果がどのモデルとプロンプトを使って得られたのかを明示すべきであると考えたため、コミットメッセージを使って解析結果に「どのモデルとどのプロンプトを使って解析したか」を記述することとした。プロンプトは試行錯誤により何度か修正されるため GitHub のバージョン管理の対象とし、特定バージョンのファイルへの不変リンクである permalink(15)をコミットメッセージに記述することとした。その概念を図 6 に示す。

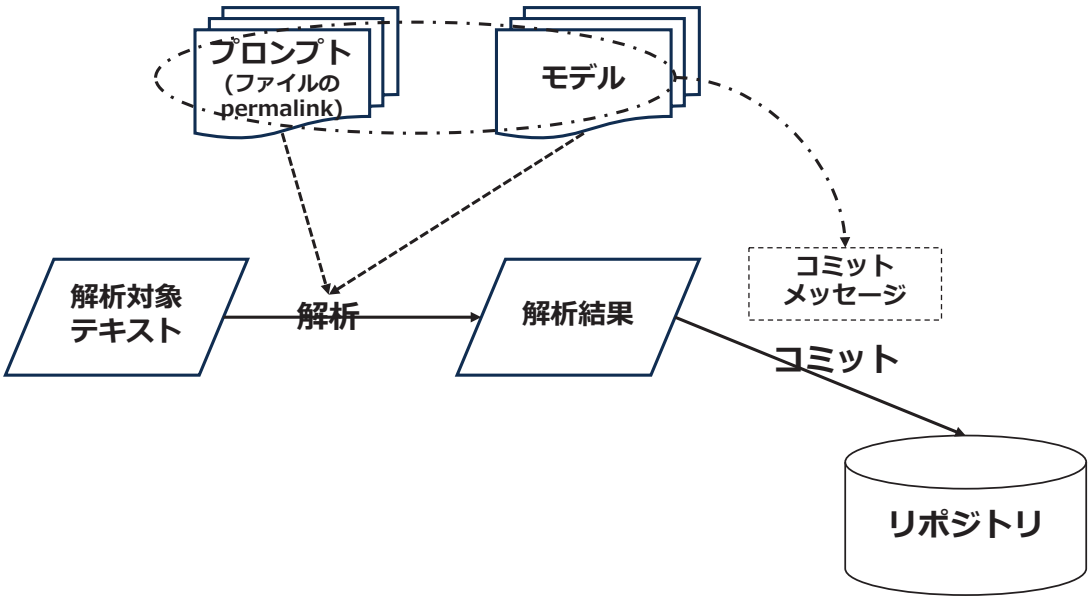


図 6.　解析に用いたプロンプトとモデルをコミットメッセージに記述して
リポジトリにコミットする概念図

４．今後の展望

本研究に取り組んだ動機は、約 20 年前に深層学習以前の手法で行った特許請求項解析が、生成 AI を使ってどのぐらい可能なのかを調べたいということであった。現時点での結論としては、生成 AI でもほぼ同様のことが可能であるというものである。

研究テーマ立案時点では、Python を使ってかなりのプログラム開発を行う必要があるかもしれないと考えていた。研究題目に「深層学習」の文字を入れたのはそのためである。しかし、実際は Gemini API を呼び出す小規模なプログラムを開発するだけで、特許請求項解析を行うことができた。

生成 AI が従来の言語処理で行ってきたことと同様かそれ以上のことができるということは既に自然言語コミュニティで報告されている。その意味では、本研究の解析に関する部分はこうした報告の再確認ということになる。また、特許請求項の構造を Mermaid 記法によりフローチャート化するサービスがリリースされている[16]。

本研究の貢献はまず、特許請求項の構造に加え、引用関係も解析し、その結果を Mermaid 記法によりグラフ表示したことである。そして、「公報解析結果コーパス」となることを目指して、解析結果を GitHub に公開し、かつ、GitHub の機能を利用してそのグラフ表示も行ったことである。

本研究では、「特許請求の範囲」と「発明の詳細な説明」との対応付け[17]や「発明の詳細な説明」の解析には手を付けることができなかった。生成 AI の力を使ってこれらの解析を行い、「特許請求の範囲」の解析結果と合わせて GitHub 上のコーパスとして蓄積すること、更には、従来の言語処理ではできなかった解析に取り組み、それをサービス化することが今後の課題である。

５．参考文献

1. 新森昭宏, 奥村学, 丸川雄三, 岩山真, 「手がかり句を用いた特許請求項の構造解析」, 情報処理学会論文誌, pp.891-905, 45(3) , 2004 年 3 月.
2. 新森昭宏, 大屋由香里, 谷川英和,「特許請求項における多重多数項引用の検出と書き換え」, 情報処理学会論文誌, pp.2692-2702, 49(7) , 2008 年 7 月.
3. Michael OD'nnel, "RST-Tool: An RST Analysis Tool", Proc. of the 6th European Workshop on Natural Language Generation, 1997.
4. Mermaid(software), https://en.wikipedia.org/wiki/Mermaid_(software) （参照：2026-05-10）.
5. Frederic Lardinois , "Mermaid Chart, a Markdown-like tool for creating diagrams, raises $7.5M" , March 20, 2024. TechCrunch.
6. https://mermaid.live/ （参照：2026-05-10）.
7. https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=vstirbu.vscode-mermaid-preview （参照：2026-05-10）.
8. https://github.com/ （参照：2026-05-10）.
9. "Include diagrams in your Markdown files with Mermaid", https://github.blog/developer-skills/github/include-diagrams-markdown-files-mermaid/, 2022/02/14. （参照：2026-05-10）.
10. https://www.j-platpat.inpit.go.jp/ （参照：2026-05-10）.
11. https://patents.google.com/ （参照：2026-05-10）.
12. https://gemini.google.com/app （参照：2026-05-10）.
13. 「プロンプト エンジニアリング: 概要とガイド」, https://cloud.google.com/discover/what-is-prompt-engineering, 2026/1/14. （参照：2026-05-10）.
14. https://github.com/shinmori55/patent_analyzed
15. "Getting permanent links to files", https://docs.github.com/en/repositories/working-with-files/using-files/getting-permanent-links-to-files （参照：2026-05-10）.
16. 「株式会社ピクシスト 難解な特許クレームにもう悩まない！生成 AI×特許分析の新しいサービス『パッとナレッジ(R)』をリリース」, 東京新聞, 2025/7/8.
17. 新森昭宏, 奥村学,「特許請求項読解支援のための『発明の詳細な説明』との自動対応付け」, 自然言語処理, Vol.12 No.3, July 2005.

＜謝辞＞

本研究の実施にあたっては、産業日本語研究会 文書作成分科会（主査： 橋田浩一 理化学研究所 AIP グループディレクター）における議論が参考となりました。

研究題目	保育施設における室内外空気中微生物の地域差に関する研究
機関名	富山国際大学
研究代表者	現代社会学部・現代社会学科・教授・高橋ゆかり
分野	室内環境学
キーワード	室内空気、微生物、遺伝子解析

１．研究の背景と目的

細菌、真菌、花粉などの生物由来の粒子であるバイオエアロゾルが大気中に浮遊していることが知られている。バイオエアロゾルは、土壌、淡水、植物、動物の糞、ヒトから放出され、これらがヒトの健康に影響を及ぼす可能性が指摘されている［Seki et al., 2024］。

一方、幼児のアレルギー疾患は増加しており、カビとアレルギー疾患の関連が指摘されている［吉野博、柳宇、大竹徹ほか, 2018］。この原因の１つに室内環境の影響が考えられるが、保育施設の室内空気中に存在する微生物の詳細な実態や、空中細菌群集構造の季節変動についての情報は十分ではない。これまで、本研究グループでは、富山市の保育施設における室内外空気中の真正細菌および真核生物の実態を把握することを目的とし、室内外空気中の微生物の遺伝子解析を行ったが、地域差についての十分なデータがないのが現状である［高橋ゆかり、田中大祐, 2024］。

そこで本研究は、富山県富山市および関東地方（千葉県松戸市、神奈川県大和市）に所在する保育施設を対象として、室内外空気中の真正細菌および真核生物の実態を把握することを目的とした。あわせて、室内外における微生物種の地域差を検討するとともに、幼児への健康影響が懸念される微生物が検出された場合には、その種類及び発生源について考察することとした。

２．研究方法

2.1　試料採取方法

夏季（8 月）および冬季（12～1 月）の 2 回、富山市内 3 か所および関東地方 5 か所の計 8 か所の保育施設において、バイオエアロゾルを採取した。A～C 園は富山県富山市、D～G 園は千葉県松戸市、H 園は神奈川県大和市に所在する。各施設では、保育室 1 室および屋外 1 か所の計 2 か所で試料を採取した。試料採取には、メンブレンフィルターを装着したエアポンプ（MP-Σ300N Ⅱ、柴田科学）を使用し、流量 2.5 L/ min で 24 時間連続して採取した。同時に、室温、相対湿度および二酸化炭素濃度について、データロガ（MCH-383SD、マザーツール）を用いて測定した。

捕集後の試料はアルミホイルに包み、クーラーボックスに入れて実験室へ持ち帰った。関東地方で採取した試料については、クール便により実験室に送付した。いずれの試料も DNA 抽出まで－20℃ で保管した。

2.2　抽出・分析方法

採取した空気試料から ISOSPIN Soil DNA（ニッポンジーン）を用いて DNA 抽出を行った。これらの抽出 DNA について、真正細菌の 16S rRNA 遺伝子と真核生物の 18S rRNA 遺伝子を標的としたポリメラーゼ連鎖反応（PCR）によって増幅した。その後、次世代シークエンサー（Illumina MiSeq）と解析ソフトウェア QIIME を用いた菌叢の網羅的解析を行った。

３．研究成果

3.1　細菌群集構造

富山市および関東地方の保育施設における室内空気中の細菌群集構造を解析した結果を図 1－1～1－3 に示した。十分に空気を採取できなかった試料については、解析から除外した。

室内外空気中の細菌群集構造を解析した結果、門レベルでは、夏季においては、室内、屋外とも Firmicutes 門、Proteobacteria 門、Actinobacteriota 門が優占していた。これらはすべての室内外試料から検出され、室内と屋外で類似した傾向が見られた。細菌の組成は、他のバイオエアロゾル研究の結果と類似した傾向を示した [Tanaka et al., 2019] [Tay Ruiz-Gil et al., 2020] [高橋ゆかり、田中大祐, 2024]。夏季には Proteobacteria 門や Actinobacteria 門の割合が高くなる傾向が見られ、すべての保育施設において、Firmicutes 門の割合は夏季よりも冬季の方が高かった。また、特に夏季には、５か所の保育施設において屋外の Cyanobacteria 門の相対存在量が室内よりも高かった。富山市と松戸市および大和市の地域差よりも、季節による変化の方が大きかった。

綱レベルでは、夏季には Bacilli 綱、Actinobacteria 綱、Gammaproteobacteria 綱などが優占しており、冬季に Bacilli 綱の相対存在量が高くなる傾向が認められた。室内と屋外を比較すると、Bacteroidia 綱は、夏季は 6 園、冬季は 3 園において室内試料からのみ検出された。これは、ヒトの常在菌であることが知られていることから、室内のヒトが発生源であると考えられた。一方、土壌などに広く存在する細菌は、屋外試料と室内試料の両方から検出されたことから、屋外から室内に流入した可能性が考えらえた。以上より、室内空気中には屋外から流入した細菌とヒト由来の細菌の両方が存在していると判断できた。

属レベルでは、*Bacillus* 属は冬季に室内外の両方で優占していた。*Enhydrobacter* 属、*Streptococcus* 属、*Micrococcus* 属は、すべての室内試料から検出され、室内のみで検出された試料も多く、特に夏季に相対存在量が高い傾向にあった。ヒト由来であると考えられる。*Dermacoccus* 属の細菌は、冬季の G 園以外のすべての室内から検出され、室内発生源が存在することが考えられた。

以上より、室内外の両方の試料から検出された細菌もあったが、室内試料からはヒトの常在菌も認められ、室内空気中には屋外から流入した細菌とヒト由来の細菌の両方が存在していた。本研究で対象とした保育施設について、夏季および冬季の細菌群集構造を比較した結果、富山市と関東地方の地域差よりも、季節変動の影響の方が大きい傾向がみられた。

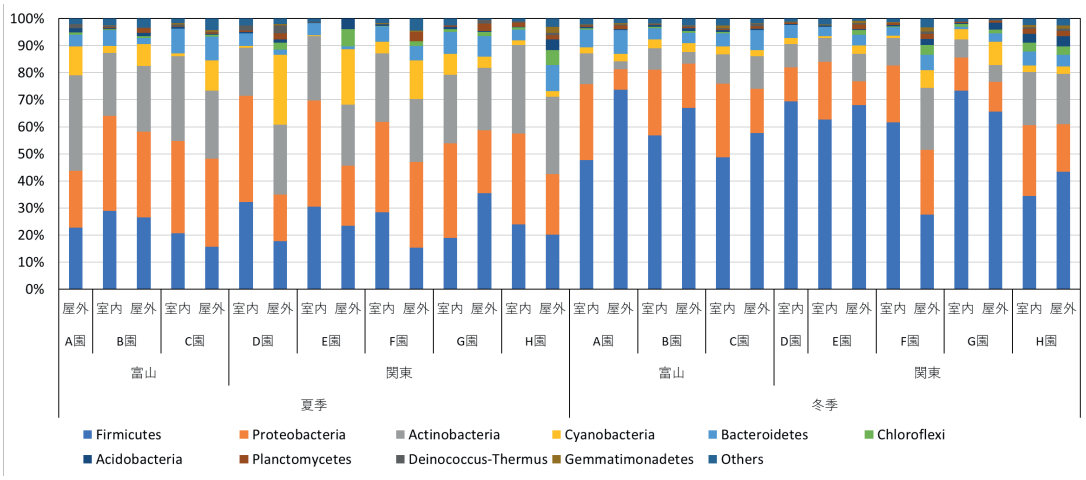


図 1−1　室内外試料中の真正細菌の門レベルによる分類

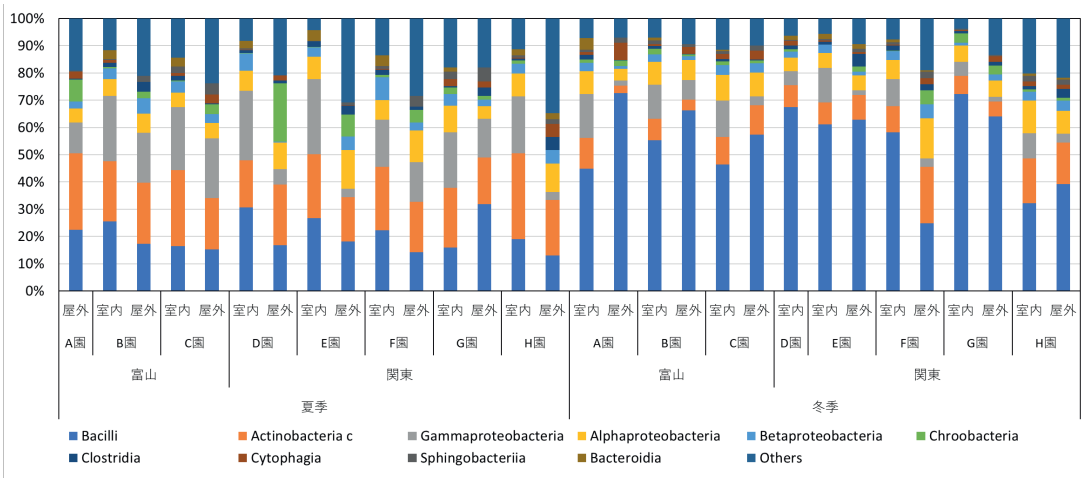


図 1−2　室内外試料中の真正細菌の綱レベルによる分類

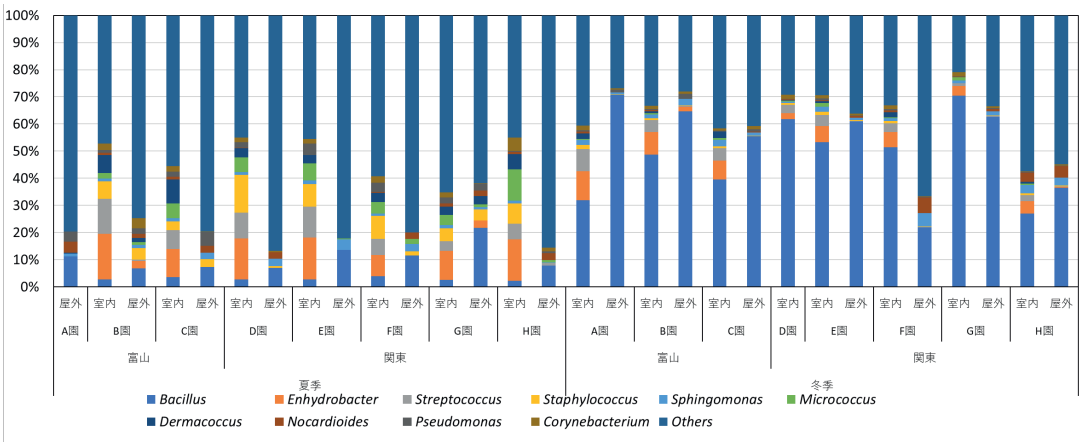


図 1−3　室内外試料中の真正細菌の属レベルによる分類

保育施設において、感染症が流行することがある。本研究では、冬季の室内で溶連菌感染症の原因である *Streptococcus pyogenes* が保育施設 1 園からわずかに検出された。当該保育施設では、試料採取時に感染症により欠席した園児はいなかったものの、室内空気試料から病原性のある微生物がわずかに検出される場合があることが分かった。

3.2　真核生物群集構造

富山市および関東地方の保育施設における室内空気中の細菌群集構造を解析した結果を図 2−1〜2−3 に示した。十分に空気を採取できなかった試料については、解析から除外した。

室内空気中の真核生物群集構造を解析した結果、門レベルでは Basidiomycota 門や Ascomycota 門が優占していた。特に夏季には、A・B・C・H 園において、Basidiomycota 門の相対存在量は 80%以上であった。富山市では、夏季・冬季のいずれにおいても Basidiomycota 門の相対存在量が松戸市の 4 園より高かった。

Basidiomycota 門および Ascomycota 門は、屋外と室内で類似した傾向がみられたことから、屋外から室内へ流入したものである可能性が示唆された。一方、Vertebrata 門、Apicomplexa 門および Ochrophyta 門の真核生物は、室内からのみ検出された保育施設もあったことから、室内に発生源が存在する可能性が考えられた。特に、Vertebrata 門の真核生物は、測定可能であったすべての室内試料から検出され、相対存在量は屋外よりも室内で、夏季よりも冬季で高い傾向が見られた。

綱レベルでは、夏季の富山県の室内外では、Agaricomycetes 綱、次いで Dothideomycetes 綱が優占していた。夏季における Agaricomycetes 綱の相対存在量は、富山市および大和市の屋外では 77.6〜85.7%であったのに対し、松戸市では 43.8〜53.1%であった。また、夏季の室内では、富山市および大和市で 79.5〜81.9%であったのに対し、松戸市では 15.9〜50.8%であった。大和市においても、富山市と同様の傾向が認められた。

松戸市の夏季の室内では、Eurotiomycetes 綱の相対存在量が屋外と比較して高い傾向が見られ、室内と屋外で真核生物の傾向が異なる保育施設も存在した。

本研究では、換気の指標として、試料採取中の二酸化炭素濃度を測定した。夏季の D 園と E 園の室内においては、CO_2 濃度が 1500ppm を超える時間帯があったが、他の園では試料採取中に CO_2 濃度が 1500ppm を超えることはなかった。換気が不十分な場合、室内空気中の真核生物は、室内発生源の影響を受けやすくなると考えられた。

冬季の Agaricomycetes 綱の相対存在量は、富山市の屋外では 76.8〜83.0%と夏季と比べて大きな変化が見られなかったのに対し、松戸市の屋外では 15.5〜53.9%、大和市では 46.6%と低かった。室内では、富山市で 62.7〜75.6%であったのに対し、松戸市では 16.0〜59.7%、大和市では、31.2%であった。また、G 園および H 園では、Agaricomycetes 綱の相対存在量は低く、Dothideomycetes 綱の相対存在量が高かった。

本研究で対象とした富山市の A〜C 園は丘陵帯まで 10km 以内に位置しており、大和市の H 園は丹沢山地の丘陵帯まで 10〜15km に位置している。一方、松戸市の D〜F 園の周辺には森

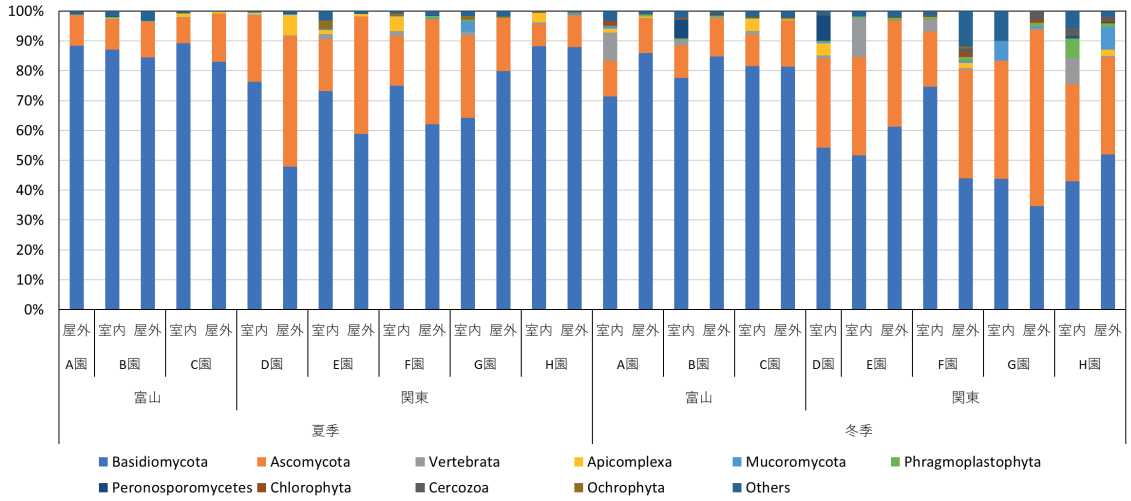


図 2－1　室内外試料中の真核生物の門レベルによる分類

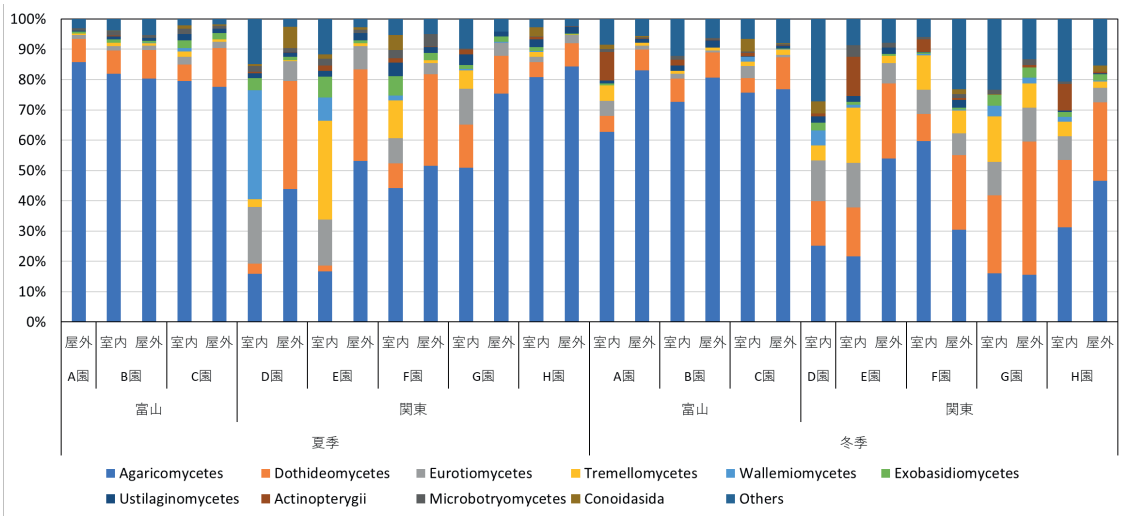


図 2－2　室内外試料中の真核生物の綱レベルによる分類

林はほとんど存在しないが、G 園では園庭に隣接して約 5000m² の林が存在している。これらのことから、森林が近接する地域では、森林由来の真核生物の影響を受ける可能性があると考えられた。この要因については、さらなる解析が必要であると考えられる。

4．今後の展望

本研究では、富山市および関東地方の保育施設における微生物群集について調査した。今後は、さらなる調査を通じて、保育施設における園児の行動パターンと検出される微生物との関連を明らかにすることが課題である。また、病原性を有する微生物の空気中における存在実態を解明することは、感染源となり得る微生物の低減策につながる点で、重要であると考えられる。

５．参考文献

１．Daisuke Tanaka, Kei Sato, Motoshi Goto, So Fujiyoshi, Fumito Maruyama, et al. (2019). Airborne Microbial Communities at High-Altitude and Suburban Sites in Toyama, Japan Suggest a New Perspective for Bioprospecting. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology 7, 12 .

２．Makoto Seki, Hitoshi Tanaka, Shinichi Yonemochi, Ki Ho Lee, Young Ju Kim, Reika Iwamoto, Kei Sato, Daisuke Tanaka (2024). Spatial variation of airborne bacterial heterogeneity and potential opportunistic human pathogens: a comparative study of sites in Korea and Japan. Aerobiologia 40, 287-295.

３．Tay Ruiz-Gil, Jacquelinne J. Acuna, So Fujiyoshi, Daisuke Tanaka, Jun Noda, Fumito Maruyama, Milko A. Jorquera (2020). Airborne bacterial communities of outdoor environments and their associated influencing factors. Environment International 145, 106156.

４．柿川真紀子、岩坂泰信、小林史尚、牧輝弥 (2010). バイオエアロゾルのメタゲノム解析. Earozoru Kenkyu 25, 29-34.

５．吉野博、柳宇、大竹徹ほか (2018). 中国都市部における住宅内空気環境と児童のアレルギー性疾患との関連性についての調査. 日本建築学会環境系論文集 83, 293-300.

６．高橋ゆかり、田中大祐（2024）. 保育施設における室内外空気中微生物の遺伝子解析. 令和５年度富山第一銀行奨学財団助成研究報告書.

研究題目	ジェンダー平等な地方議会の創出に向けた準備作業
機関名	富山国際大学
研究代表者	子ども育成学部・子ども育成学科・教授・彼谷環
分野	憲法学
キーワード	ジェンダーに配慮した議会　固定的な性別役割分担　選挙制度

１．研究の背景と目的

この研究は、ジェンダー平等な地方議会の実現に向けて、富山県内の議会における現状と現職議員の意識を調査するとともに、その結果を踏まえ、今後の課題と政策的方向について考察することを目的とする。

世界経済フォーラムが男女格差の現状について各国の統計を基に評価するグローバル・ジェンダーギャップ報告書によれば、2025 年日本のジェンダーギャップ指数は 148 か国中 118 位と、前年と同順位であったものの、政治分野では 113 位から 125 位へと後退した。G7 の中では最下位のままである。政治分野における男女格差は、国政にかぎらず地方政治にもみられ、女性議員の数が 1 人もしくはゼロである「ゼロワン議会」も少なくない。内閣府「市区町村女性参画状況見える化マップ」によると、2024 年 12 月 31 日現在、女性議員比率の全国市区議員平均 20.3%、町村議会議員平均 14.1%であり、第 5 次男女共同参画基本計画の目標「2030 年までの早い時期に 30%」には依然及ばない。富山県では、2025 年の選挙を経て女性ゼロ議会は現在存在しないが、地域によって比率に差がある。

こうした状況について、政治学の領域を中心に、政党に対し法的拘束力をもつジェンダー・クオータの導入が主張されているが、憲法学においては、政党への強制は現行憲法を根拠とする「政党の自律権」に抵触する可能性があるとして消極的見解を唱えるものが主流である。憲法学を専門とする研究代表者は、選挙制度や選挙候補者擁立手続きに、ジェンダー・クオータやパリテ等の「厳格なポジティブ・アクション」を導入することが憲法論上可能かをかねてから研究対象としてきた。その理由のひとつに、国際機関による要請がある。日本は 1985 年に女子差別撤廃条約を批准したが、2003 年時点から条約のモニタリング機関である女子差別撤廃委員会（CEDAW）から、「意思決定過程における女性の参画」について、条約 4 条 1 項に基づく「事実上のジェンダー平等を促進する暫定的特別措置（temporary special measures）」を講じるよう再三勧告を受けている。そこで、2018 年成立の「政治分野における男女共同参画推進法」では、政党に対して「男女の候補者の数ができる限り均等になることを目指す」（2 条 1 項）よう求めているが、同時に政党の自律権を保障するため（4 条）、その実現は政党次第となっている。

クオータのような「厳格なポジティブ・アクション」と並行して、近年、女性支援策や環境整

備を促進する「緩やかなポジティブ・アクション」について注目されている。たとえば、各国の議会・議員で構成される列国議会同盟（IPU）は、「ジェンダーに配慮した議会のための行動計画」（2012 年）において「自己評価ツールキット」を開発し、加盟国に対して、その議会及び政党が行動計画を実施するよう強く求めてきた。IPU によれば、「ジェンダーに配慮した議会」とは、「その組織構造、運営、方式、業務において男女双方のニーズと利益にかなう議会」であり、「女性の議会参加を妨げる障壁をとり除き、社会全般の手本となる事例又は模範を示す」とされる。このツールキットは 7 つの指標（①女性の数と役職、②法的及び政治的枠組み、③ジェンダー平等の主流化、④議会の文化・環境・方針、⑤男性の責任との共有、⑥政党、⑦議会事務局）で構成され、日本もこれに従い、衆議院で 2022 年に、参議院で 2023 年に、全議員と全政党を対象とした匿名の意識調査「議会のジェンダー配慮への評価に関するアンケート調査」が実施された。調査結果からは、男性議員と女性議員との間に有意な差がみられた。

そこで、国会議員を対象に行われた調査項目を参考に、富山県内の地方議員向けの質問項目を設定し、意識調査を実施した。憲法研究者が、現職議員へのアンケート調査を実施・分析することで、地方政治の意思形成過程におけるジェンダーギャップ構造の可視化とともに、これを踏まえて、実効的で憲法適合的な是正措置の可能性を模索し具体的提言に繋げることができないかと考えたためである。

２．研究方法

本研究は「ジェンダー平等な議会」の実現に向けた実証的研究として、衆議院議員ならびに参議院議員を対象に行われたアンケート調査項目を参考に、地方議会議員向けの調査項目を作成し、富山県内の県議会議員と 15 市町村議会議員を対象とした匿名の悉皆調査を実施した。

質問項目は、基本情報（必須事項）である性別、年齢、所属自治体、議員歴の 4 事項を除き、非強制選択法と自由記述による計 19 の項目を設定した。具体的には文末の表 1 のとおりである。

調査期間は、11 月上旬から 12 月 5 日（締切日）とし、約 1 か月の回答期間を設けた。回答の収集は、各自治体の議会事務局を通して用紙を郵送してもらう方法と、2 次元コードを利用したオンラインフォーム（Microsoft Forms）から直接投稿してもらう方法を併用した。県内在住の全地方議員 295 名に調査協力を依頼したところ、実際に回答があったのは 123 名（回答率 41.6%）であった。

非強制選択法による回答の分析については、質問項目ごとに単一集計を行うとともに、性別・年代別クロス分析も行った。また、自由記述の分析は、テキストマイニングソフトの KH Corder を用いた。手順としては、テキストデータにおける語の出題傾向を把握するために、表記ゆれの統一や不要語の除去などの前処理を行ってテキストデータを成形し、頻出語分析を行ったうえで、語と語の関係性を明らかにするため共起ネットワーク分析を行った。これにより、単語の頻出度だけでは把握できない意味のまとまりや関係性を明らかにすることができると考えた。

今回、質問項目の作成に際しては調査法に詳しい富山国際大学子ども育成学部・大平泰子教授（心理学）に、KH Corder の使用法についてはこれを熟知した同・村上満教授（社会福祉学）

にご助言・ご協力をいただいた。さらに、自由記述のテキストマイニング分析作業は、村上教授の下で指導を受けてきた慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科修士課程の飯田千晴氏のご協力を得た。

３．研究成果

（１）基本情報

回答者（123 名）の内訳は、以下のとおりである。

①性別：男性 79.7%、女性 20.3%

②年齢：（比率の高い順から）60 歳代 36.6%、50 歳代 22.0%、70 歳代以上 19.5%、40 歳代 15.4%、20～30 歳代 6.5%

③所属自治体：（比率の高い順から）富山県 16.3%、高岡市 11.4%、魚津市 9.8%、入善町 8.1%、富山市 7.3%、小矢部市 6.5%、南砺市 6.5%、黒部市 5.7%、砺波市 5.7%、氷見市 5.7%、射水市 4.1%、舟橋村 4.1%、朝日町 3.3%、上市町 2.4%、立山町 2.4%

④議員歴：（比率の高い順から）3 期目以上 52.8%、1 期目 29.3%、2 期目 17.9%

（２）質問項目のカテゴリー

アンケート調査で用いた 19 の質問項目は、7 つのカテゴリーに分けられる（表 1 参照）。

A「女性の議員数についての評価」について（質問項目 1、4、5）

B「女性が議会に参加する際の障壁」について（質問項目 2、3、6、7、8）

C「女性議員のなり手が少ない理由」について（質問項目 11）

D「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」について（質問項目 9、10、17、18）

E「多様な人が議会に参画できる土壌づくりのための市民教育」について（質問項目 12）

F「議員活動と家庭生活の両立」について（質問項目 13、14、15、16）

G「本調査へのご意見・ご感想」について（質問項目 19）

このうち、非強制選択法による回答は質問項目 1、2、4、6、9、10、13、14、15 の 9 項目、自由記述による回答は質問項目 3、5、7、8、11、12、16、17、18、19 の 10 項目である。

（３）女性の議員数と議会参加への「障壁」について

まず、A「女性の議員数についての評価」に関連して、女性議員の数が「不十分」「どちらかと言えば不十分」が全体の 67.5%を占め、現状の課題について一定程度の共通認識があると言える（質問項目 1）。しかし、女性議員を確保する制度については、「必要」「どちらかと言えば必要」（30%）、「必要ない」「どちらかと言えば必要ない」（41%）、「どちらとも言えない」「わからない」（29%）と意見が分かれ、合意形成が難しいテーマであることがわかった（質問項目 4）。なお、「必要」「どちらかと言えば必要」への回答者のみを対象に具体的制度を尋ねたところ、クオータ制が最も多く、金銭支援、立候補支援と続いた。

次に、B「女性が議会に参加する際の障壁」に関連して、議会への女性参加が妨げられているかどうかについては、「そう思わない」「どちらかと言えばそう思わない」が多く（52%）、「どちらとも言えない」（17%）と合わせると否定的回答が多いと言える（質問項目 2）。その理由につ

いて、女性参加は妨げられていると回答した中には、家庭・育児・介護負担、地域社会（自治会・推薦）が男性中心、文化・県民性（保守性・世間体）、経済的・選挙負担、女性自身の意識・自信不足等が挙げられ、社会構造を問題とする意見が多い。一方、女性参加は妨げられていないと回答した中には、被選挙権は男女平等に認められている、立候補は自由、本人次第、という自己責任論が目立つ（質問項目 3）。

議会内での性別による偏りや固定観念を尋ねた質問では、「ない」（28%）が最も多く、次いで「どちらとも言えない」（21%）であった（質問項目 6）。一方、偏りや固定観念が「ある」「どちらかと言えばある」（計 38%）の回答理由をみると、男性主導の議会運営、ハラスメント（発言、態度）、飲み会文化や非公式での排除、「女性は補助役」という前提がある等、風土や文化的要因を指摘するものが多かった（質問項目 7）。そのうえで、偏見の解消方法については、子ども時代からの教育、対話・ワークショップ、世代交代、議論の透明化・外部監視といった意見が挙げられた（質問項目 8）。

（4）女性議員のなり手が少ない理由

C「女性議員のなり手が少ない理由」は、本調査において特に注目する項目であり、テキストマイニングによる分析を用いた（表 2 参照）。

表 2　質問項目 11 に対する自由記述回答における頻出語（上位 20 語）

頻出順	抽出語	出現回数	頻出順	抽出語	出現回数
1	**女性**	**88**	11	**理解**	**12**
2	**議員**	**41**	12	**仕事**	**11**
3	**男性**	**29**	13	**立候補**	**11**
4	**地域**	**27**	14	**家族**	**10**
5	**家庭**	**19**	15	**人**	**10**
6	**思う**	**19**	16	**議会**	**9**
7	**少ない**	**19**	17	**子育て**	**9**
8	**社会**	**18**	18	**政治**	**9**
9	**考える**	**13**	19	**意識**	**8**
10	**活動**	**12**	20	**活躍**	**8**

回答件数 101 件（回答率 82.1%）のうち、最も頻出度が高かった「女性」（出現回数 88 回）という語が用いられた回答原文を確認すると、「旧来の家事等、女性に偏っている」「育児や介護が女性の社会進出を阻害している事は否めない」とする家庭内での役割や負担の割合に言及する意見がみられた。また、「女性自身のアンコンシャスバイアス」「女性自身の認識不足。女性が議員になってはダメという理由は無く、男女関係なく人として議員になり責任を果たそうという認識を持つべきである」など、女性のアンコンシャスバイアス（無意識の思い込み）に原因があるとする意見もあった。3 番目に頻出度が高かった「男性」（29 回）という語を用いた回答原文を確認すると、「地域社会が男性社会であること。地区や自治会の推薦を受けることが前提だという古い慣例慣習があり、女性が立候補することは難しい」「旧態依然とした男性中心の社会

構造や組織文化が根強く、意思決定や慣習の多くが男性基準で進められるため、女性が入りにくい・参画しにくい状況があると考えられます」など、地域社会の構造が男性中心であることに原因があるとする意見や、「未だ、仕事は男性で、家事や育児は女性が中心的に担うものとの、家父長制的な風潮が根強いこと」などの家庭内の固定的な性別役割分担意識に着目する意見があった。また、共起ネットワーク分析により明確になったのは、中心性の高い語は「女性」「少ない」「考える」「家庭」「参加」であり、強い共起関係を示す語が「家族」と「理解」と「得る」、「参加」と「会合」、「場合」と「多い」であった。なかでも「家族」と「理解」と「得る」に強い共起関係が見られたことから、議員活動や選挙活動において、家族の理解を得ることの重要性を指摘する意見が多くあることがわかった（図１参照）。

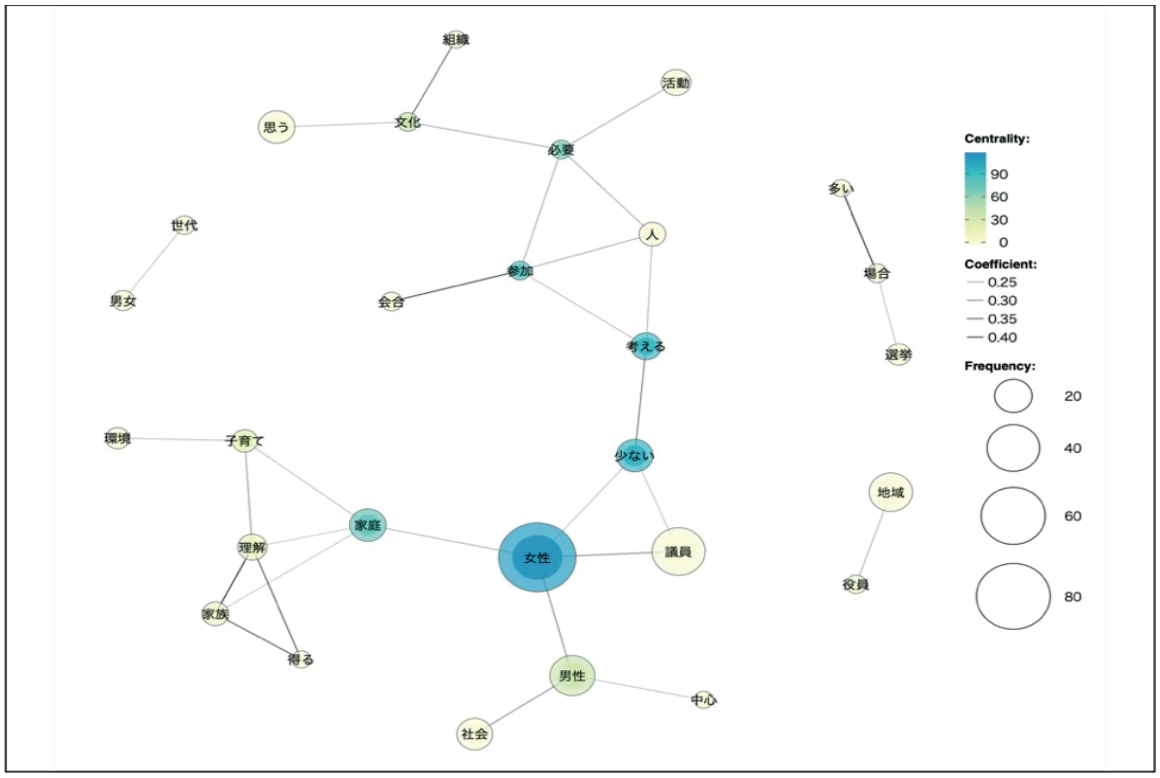


図1　質問項目11に対する自由記述回答における共起ネットワーク分析

（５）「ジェンダー平等な議会」のための準備

D「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」に関連して、ジェンダー平等のための資源配分（質問項目 9）、議会として取り組むべき推進施策（質問項目 10）を質問した。資源配分については、人材・予算とも不足しているという意見が多かった。また、推進施策では、回答が多い順から、育児・介護支援制度の充実、ハラスメント防止条例の整備、意識啓発研修の実施、女性議員ネットワークの形成等が挙げられた。

E「多様な人が議会に参画できる土壌づくりのための市民教育」（質問項目 12）に関しては、回答件数 94 件（回答率 76.4%）であった。自由記述回答で最も頻出度が高かった「教育」（出現回数 46）という語を用いた回答原文を確認したところ、「幼児教育を含め、それぞれの想いや行

動を尊重する風潮の醸成」「小、中、高校での地域と関わりながらの教育（郷土愛の醸成）が必要だと考える」「学校教育で道徳心と地域を支えた歴史や未来のビジョンの育成教育が必要であると思う」「小中高校へキャリア教育の一環として、又、公民の学習として議員を派遣。議会のしくみや働き、何のためにあるかを理解してもらう」など、教育課程において多様な意識醸成の機会を提供することの重要性を指摘する意見があった。また、「主権者教育を親子で実施する必要があると考える。政治、政策は身近な事を決断するので、議会に少しでも興味を持って頂けるようなものが必要」「地域での交わりが希薄になり誰もが問題意識を持ち支えていくことを考える社会教育の育成が肝要だ」「若い世代よりも年配の方々への教育が必要。公民館等に集まってもらい、必要な講演会や出前講座を開催する」などの意見からは、特定の世代に限定せず、多様な世代に対して議会への関心を啓発する機会提供の必要性が示されている。次に頻出度の高かった「議会」（出現回数 30）については、「女性議会、青年議会、市民議会などの模擬議会を開く取り組みが必要」「模擬議会（女性議会、子ども議会）の取り組み推進」など、模擬議会の実施を通じて体験的に議会を学ぶ機会の重要性に言及する意見がみられた。さらに、「女性」（出現回数 21）については、「立候補を志す女性向けに勉強会や研修会を提供する」「女性リーダー研修の実施」など、女性に焦点を当てたスキル育成や議会参画支援の必要性を指摘する意見が確認された。

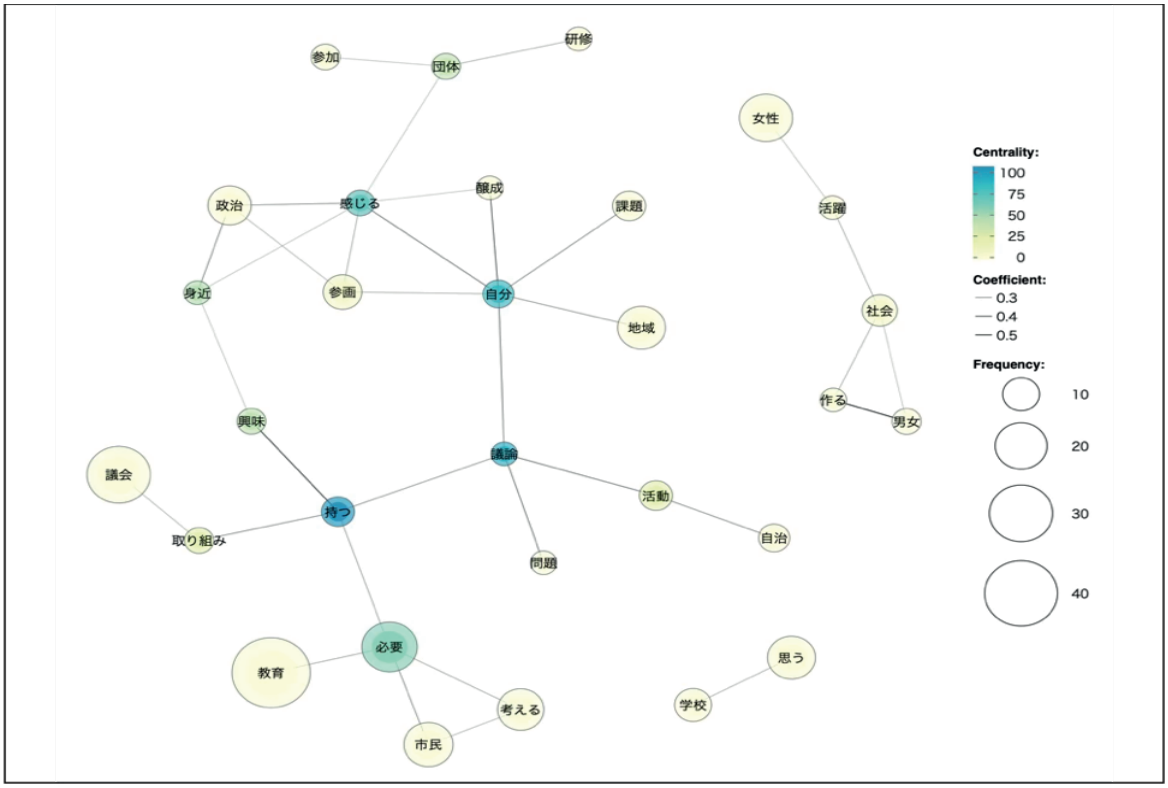


図2　質問項目12に対する自由記述回答における共起ネットワーク分析

本項目への自由記述回答の共起関係を表したネットワーク図は、図 2 の通りである。中心性の高い語は、「持つ」「議論」「自分」「感じる」「必要」であり、強い共起関係を示す語としては

「興味」と「持つ」、「自分」と「感じる」、「男女」と「作る」が確認された。なかでも、「興味」と「持つ」の共起関係からは、議会や政治に対する興味・関心を喚起することの重要性が示唆された。また、「自分」と「感じる」の共起関係からは、政治や地域課題に対して自分自身の問題と感じられるような当事者意識の醸成が求められていることを示す意見が見られた。さらに、「男女」と「作る」の共起関係が見られたことは、男女が平等に議会に参画できる社会の実現に向けた取り組みの必要性が認識されていることを示している。

F「議員活動と家庭生活の両立」について、その実態を尋ねる質問項目 13 では、「問題なく両立できている」「ある程度両立できている」（56%）に対して、「やや困難」「非常に困難」（41%）が対立している。特に問題とされたのは、夜間会合、不規則な活動、家庭負担であった。この結果を踏まえ、両立に際して必要な制度としては、オンライン議会や託児制度、育児支援、休暇制度等が挙げられた（質問項目 16）。そのうえで、ジェンダー平等を推進するために最も重要な施策として、教育・意識改革や女性リーダーの増加、制度改革等を挙げる意見が多く、単独の施策というより複合的・総合的な対策を志向する傾向がみられた（質問項目 17）。最後に、議員として、ジェンダー平等に関する取り組みをどのように進めていくかについて、女性議員は当事者意識が強く積極的な回答が多かった一方、男性議員の場合、慎重で抽象的な回答が多い傾向がみられた（質問項目 18）。

なお、G「本調査へのご意見・ご感想」（質問項目 19）について、「ジェンダー平等の定義が曖昧」「テーマに違和感がある」など本調査自体への疑問や指摘もあった。このことから、概念そのものの議員間における共有や浸透不足が窺えるとともに、質問項目の作成において、調査対象者に対するより丁寧で明確な用語説明や言葉の選択に配慮する必要性を痛感した。

（6）小括

以上、本研究では、全 19 の質問項目を設定し、非強制選択法による回答については単一集計とクロス集計を通じて、自由記述回答についてはテキストマイニングを通じて、富山県内地方議員のジェンダー平等に関する現状と意識に関する分析を試みた。

クロス分析の結果では、性別と年代で有意な差がみられた。女性議員は経験ベースの判断が多く、社会制度や文化的制約など構造を「壁」として認識する傾向がみられたが、男性議員については、構造上の問題を指摘する立場と、「機会は平等」だから個人的責任に帰するという立場に分かれた。こうした傾向は、年代別の要素を加えると、女性議員や 40 歳代・50 歳代議員は現行制度や文化の改革を志向する傾向がみられ、男性議員や 60 歳代・70 歳代以上議員は現状維持・自己責任を示す傾向がみられた。また、20〜30 歳代議員は、問題意識はあるが中立的であった。

これらのことから、以下の課題が明らかとなった。第一に、女性議員のなり手不足の背景には、議会外の要因も大きいということである。家庭内における役割分担や地域社会における慣習などの構造的要因が強く影響していることが議員の自由記述から窺えた。したがって、議会改革だけでは対応が困難であると言える。第二に、学校教育から社会教育に至るまで、多様な世代に対して議会や政治への関心を喚起する必要性が指摘された。この点は、第一の点とも関係するが、学校や職場等において連続的・継続的に教育・啓発を行う工夫が必要だと考える。第三に、ジェ

ンダー平等の実現に向けては、議員自身が個人レベルで学びながら議会レベルで活動するといった主体的姿勢が示された一方、そうした認識は個人により差異があることも明らかとなった。議会改革に向けた合意形成のためには、制度や環境整備等の構造的問題について、議員間で丁寧な議論を重ねるとともに、「ジェンダー平等な議会」の実現に向けた教育や意識の変容を通じた長期的取り組みが不可欠であることがわかった。

4．今後の展望

日本国憲法は「法の下の平等」や民主主義、そして地方自治をそのテクストで保障する。だが、憲法上の理念が現実の議会においてどこまで実現できているのか、また、「ジェンダー平等な議会」のためにはいかなる種類の「障壁」が存在し、これらを解消するための具体的課題に取り組む必要があるのか、従来の憲法学では十分検討されてこなかった。今回の意識調査は、富山県に限定して行われたものではあるが、上記の問題関心を共有する研究者らに対して実証的素材を提供できたのではないかと考える。

今後は、今回の地方議員を対象とした意識調査結果と、国会議員を対象とした意識調査結果とを比較し、地方政治と国政とで異なる制度や環境整備の必要性があるのか考察を進めていく。また、海外の先行調査や事例を参考に、「ジェンダー平等」という視点に基づき日本の選挙と議会制度の課題を再整理する。そうした作業を通じて、国際比較に基づく制度改革や、日本国憲法のもとで許容される積極的是正措置と限界について理論的に深化させていきたい。

表１　アンケート調査で用いた 19 の質問項目

番号	質問文	回答選択肢	回答方法	カテゴリー
1	現在の議会における女性議員の数は十分だと考えますか。	十分 / どちらかと言えば十分 / どちらかと言えば不十分 / 不十分 / わからない	非強制選択法	A.「女性の議員数についての評価」
2	議会への女性の参加は妨げられていると思いますか。	そう思う / どちらかと言えばそう思う / どちらとも言えない / どちらかと言えばそう思わない / そう思わない / わからない	非強制選択法	B.「女性が議会に参加する際の障壁」
3	2.でそのように答えた理由をお書きください。	–	自由記述	B.「女性が議会に参加する際の障壁」
4	一定数の女性の議員を確保する制度は必要だと考えますか。	–	自由記述	A.「女性の議員数についての評価」
5	（4.で「必要」「どちらかと言えば必要」と答えた方のみ）　一定数の女性の議員を確保するには、どのような制度が必要でしょうか。自由にお書きください	–	自由記述	A.「女性の議員数についての評価」
6	議会内で、性別による偏りや固定観念があると感じたことはありますか。	ある / どちらかと言えばある / どちらとも言えない / どちらかと言えばない / ない / わからな	非強制選択法	B.「女性が議会に参加する際の障壁」

		い		
7	（６.で「ある」「どちらかと言えばある」と答えた方のみ）具体的にはどのような場合に、性別による偏りや固定観念を感じましたか。自由にお書きください。	–	自由記述	B.「女性が議会に参加する際の障壁」
8	（６.で「ある」「どちらかと言えばある」と答えた方のみ）どのようにすれば、そうした偏りや固定観念を取り除くことができると思いますか。自由にお書きください。	–	自由記述	B.「女性が議会に参加する際の障壁」
9	議会の活動において、ジェンダー平等のために、十分な人材や資源（予算等）は配分されていますか。	配分されている / どちらかと言えば配分されている / どちらとも言えない / どちらかと言えば配分されていない / 配分されていない / わからない	非強制選択法	D.「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」
10	日本には、ジェンダー平等を進める「男女共同参画社会基本法」や「政治分野における男女共同参画の推進に関する法律」が制定されています。ジェンダー平等の推進に向けて、議会として取り組むべきだと考える施策についてお答えください（複数選択可）	女性議員ネットワークの形成 / ハラスメント防止条例の制定 / 育児・介護支援制度の整備 / 意識啓発研修の実施 / その他	非強制選択法	D.「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」
11	富山県内で女性議員のなり手が少ない理由として、どのような原因があると考えますか。自由にお書きください。	–	自由記述	C.「女性議員のなり手が少ない理由」
12	多様なひとが議会に参画できる土壌をつくるためには、市民教育（市民としての役割をはたすために必要な知識・態度・スキルを育成する教育）が必要だと考えられています。市民教育をより効果的に進めるために、自治体としてどのような取り組みが必要だと考えますか。自由にお書きください。	–	自由記述	E.「多様な人が議会に参画できる土壌づくりのための市民教育」
13	議員活動と家庭生活の両立について、どのように感じていますか。	非常に困難 / やや困難 / ある程度両立できている / 問題なく両立できている / わからない	非強制選択法	F.「議員活動と家庭生活の両立」
14	議会の審議が行われる時間帯は、議員が家族と十分な時間を過ごせるよう配慮されていると考えますか。	配慮されている / どちらかと言えば配慮されている / どちらとも言えない / どちらかと言えば配慮されていない / 配慮されていない / わからない	非強制選択法	F.「議員活動と家庭生活の両立」
15	議員には、育児休暇（父親休暇含む）、出産休	必要 / どちらかと言えば必要 / どちらとも言え	非強制	F.「議員活動と家庭生活

	暇、介護休暇、看護休暇が必要だと思いますか。	ない / どちらかと言えば必要ない / 必要ない / わからない	選択法	の両立」
16	議員活動と家庭生活の両立のために、どのような制度や支援が必要でしょうか。自由お書きください。	–	自由記述	F.「議員活動と家庭生活の両立」
17	あなたがお住いの地方自治体で、ジェンダー平等を推進するために最も重要だと考える施策は何ですか。自由にお書きください。	–	自由記述	D.「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」
18	今後、議員として、ジェンダー平等に関する取り組みをどのように進めていこうと考えていますか。自由にお書きください。	–	自由記述	D.「ジェンダー平等な議会の創出に向けた準備」
19	本調査に対してご意見・ご感想がありましたら、自由にお書きください。	–	自由記述	G.「本調査へのご意見・ご感想」

５．主な参考文献

１．三浦まり編『ジェンダー・クオータがもたらす新しい政治』、法律文化社（2024 年）

２．彼谷環「女性と政治参加」憲法研究所・上田勝美編『二一世紀の平和憲法―改憲論批判と平和・人権保障の展望』所収、法律文化社（2024 年）、198-211 頁

３．彼谷環「代議制民主主義と男女同権―ドイツ・ブランデンブルク州『パリテート選挙法』違憲判決を素材に」愛敬浩二・藤井康博・高橋雅人編『水島朝穂先生古希記念論集　自由と平和の構想力―憲法学からの直言』所収、日本評論社（2023 年）、448-468 頁

４．辻村みよ子・齊藤笑美子『ジェンダー平等を表現する法と政治―フランスのパリテ法から学ぶ日本の課題』、花伝社（2023 年）、103-105 頁

５．只野雅人「代表民主政―類似＝代表をめぐって」只野雅人編『統治機構Ⅰ【講座 立憲主義と憲法学 第 4 巻】所収、信山社（2023 年）、9～46 頁

６．彼谷環「政治・行政―政策決定過程における男女平等」犬伏由子・井上匡子・君塚正臣編『レクチャー ジェンダー法（第 2 版）』所収、法律文化社（2021 年）、218-231 頁

７．林知更『現代憲法学の位相―国家論・デモクラシー・立憲主義』、岩波書店（2016 年）

８．彼谷環「政治的意思決定における男女平等と政党の公共性」森英樹編『市民的公共圏形成の可能性―比較憲法的研究をふまえて』所収、日本評論社（2003 年）、529-550 頁

研究題目	外国にルーツを持つ児童生徒の支援 ―大学と地域の有効な連携を目指して―
機関名	富山国際大学
研究代表者	子ども育成学部・子ども育成学科・准教授・岩崎直哉
分野	教師教育
キーワード	インクルーシブ教育　日本語教育支援　大学生による支援活動

１．研究の背景と目的

１．１　研究の背景

近年、日本の学校教育において「日本語指導が必要な児童生徒」の増加が顕著である。文部科学省の最新調査（2025 年度）によれば、当該児童生徒数は 84,759 人に達し、過去最多を更新している。これは前回（2023 年度）調査から 15,636 人の増加であり、この約 10 年間でほぼ倍増している状況にある（図 1）。

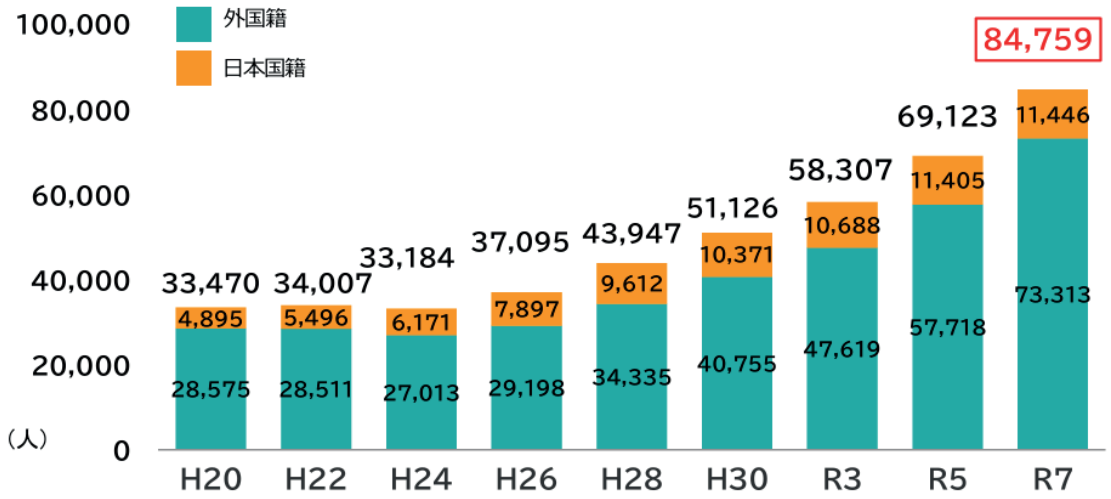


図１　公立学校における日本語指導が必要な児童生徒数（外国籍・日本国籍）の推移

また、日本語指導が必要な児童生徒は全国の約 4 割の学校に在籍しており、特定地域への集中と同時に、全国的な広がり（いわゆる「集住」と「散在」の併存）が進行している点が特徴である。

このような傾向は地方部においても例外ではない。富山県においても、日本語指導が必要な児童生徒は増加傾向にあり、令和 5 年時点で 531 人が在籍している。さらに、県内の多くの学校に在籍が広がっており、支援の必要性が全県的な課題となっている。

とりわけ射水市は、人口に占める外国にルーツを持つ住民の割合が 3.4%（令和 6 年 1 月時点）と県内でも高く、市内小・中学校には 198 人の日本語指導が必要な児童生徒が在籍している（令和 6 年度）。しかし、その在籍状況を学校別に見ると、全校児童生徒の 25%以上を占める学校がある一方で、該当児童生徒が在籍しない学校も存在するなど、学校間の格差が大きいという

特徴がある。このような偏在は、支援体制の整備や専門性の蓄積に深刻な影響を及ぼしている。制度面では、平成 26 年の学校教育法施行規則の改正により、「特別の教育課程」に基づく日本語指導が制度化され、対象児童生徒18 人あたり 1 名の加配教員が配置される仕組みが整えられた。しかし実際には、担当教員の異動や校務分掌の変更により、日本語教育の専門性が継承されにくく、毎年新たな担当者が試行錯誤しながら研修を受け直す状況が生じている。その結果、地域として日本語教育の専門的知見が蓄積されにくいという課題が指摘されている。

さらに、加配教員を補佐する人的資源は、教員免許を持たない地域ボランティアに依存している場合が多く、慢性的な人手不足が続いている。このことは、国際教室での「取り出し指導」と通常学級における「入り込み指導」との連携不足を招き、児童生徒の学習の連続性を損なう一因となっている。特に、生活場面で必要な日本語能力と学習場面で必要とされる言語能力との間に乖離がある場合、表面的には適応しているように見える児童生徒が学習困難を抱えたまま見過ごされるといった問題も生じ得る。

学術的観点からみても、日本語教育に関する研究は、学校外における教育実践を対象としたものが多く、公立学校における「特別の教育課程」に基づく日本語指導の実態に焦点を当てた研究は十分に蓄積されていない。制度化から約 10 年という歴史的経緯を踏まえれば、学校現場における日本語指導の実践的知見を蓄積することは喫緊の課題であるといえる。

また、本研究はインクルーシブ教育の観点からも重要性を有する。従来、日本におけるインクルーシブ教育は、主として発達障害のある児童生徒への支援に焦点が当てられてきたが、外国にルーツを持つ児童生徒もまた、文化的・言語的マイノリティとして独自の困難を抱えている。単に日本語能力の向上を目指す「同化」的な支援ではなく、学習集団の中での関係性に着目し、児童生徒一人一人を包摂する教育の在り方を問い直すことが求められている。

1．2　研究の目的

以上の課題意識を踏まえ、本研究は、大学と地域が連携することにより、日本語指導が必要な児童生徒への支援体制をどのように充実させ得るかを実証的に明らかにすることを目的とする。具体的には、第 1 に、大学が地域における研究拠点として機能し、学校現場に対して専門的知見を提供するとともに、日本語指導に関する研修や実践の蓄積・共有にどのように寄与し得るかを検証する。

第 2 に、教員志望の大学生による支援チームを組織化し、継続的な学習支援を実施することで、地域における人的リソース不足を補完するモデルの構築を目指す。その際、複数の学生がチームとして関わることで、児童生徒の言語発達、文化的背景、発達特性といった多様な側面を踏まえた多角的な支援の可能性を検討する。

第 3 に、これらの実践を通して、「取り出し指導」と「入り込み指導」を接続する支援の在り方、および通常学級における包摂的な学びの実現に向けた具体的方略を明らかにする。

さらに、本研究は、学生にとっての実践的学習の場を創出し、将来的に地域に貢献しうる教員の育成に資することも重要な目的の一つである。大学教育と学校現場を接続することで、教育実

践と人材育成を一体的に推進する枠組みの可能性を検討する。

以上の目的に基づき、本研究は、日本語指導を必要とする児童生徒への支援の質的向上のみならず、大学と地域社会との協働による持続可能な教育支援モデルの構築に資する知見を提示することを目指すものである。

２．研究方法

本研究では、大学と学校現場が連携した実践的支援を展開するとともに、その成果と意義を多面的に明らかにするため、実践研究と質的調査を組み合わせた方法を採用した。具体的には、(1) 支援活動の実施、(2) インタビュー調査による分析、(3) 成果の発信と検証、の三つの観点から研究を構成した。

２．１　支援活動の実施（実践研究）

本研究では、教員志望の大学生による支援チームを編成し、射水市内の小学校（A 小学校）において、日本語指導が必要な児童生徒に対する継続的な支援活動を実施した。活動は、以下の三段階に分けて行った。

(1) 調査期（4 月～6 月）

射水市教育委員会との協議および学校現場への訪問を通して、対象校の教育課題やニーズを把握した。また、教員へのインタビューや授業観察を行い、日本語指導の実態と課題を整理した。

(2) 準備期（7 月～8 月）

支援校との協議のもと、支援対象児童（3 名）を選定し、児童ごとに複数の大学生からなる支援グループを編成した。JSL バンドスケールを用いた言語能力のアセスメントおよび支援カルテの作成を行い、個別の実態に応じた支援方針を策定した。また、文献調査や専門家との協議を通して支援方法の精緻化を図った。

(3) 実践期（9 月～1 月）

国際教室での〈取り出し指導〉と通常学級での〈入り込み指導〉の双方にわたり、継続的な支援活動を実施した。活動は学生の授業の空き時間を活用することで、高頻度で行えるようにした。期間内の支援回数は延べ 150 回以上に及んだ(1 回あたりの標準時間は、2 単位時間分)。

図 2 は、実際の支援の様子であるが、どちらも事前に支援児童の実態に合わせて自作した教材を提供し、支援活動を行っている場面である。

支援においては、学習支援にとどまらず、児童が学級集団の中で関係性を築きながら学びに参加できるよう配慮した。また、支援の過程で、〈取り出し指導〉と〈入り込み指導〉を往還的に接続する〈〈橋渡し指導〉〉という支援概念を見いだし、その実践的有効性を検討した。




図 2　実際の支援の様子

なお、支援の継続性と一貫性を担保するため、Excel による記録共有システムを構築し、学生間および教員との情報共有を行った。

２．２　インタビュー調査による質的分析

支援活動の効果および意義を多面的に検討するため、半構造化インタビューを実施し、質的分析を行った。

まず、大学生の学びの変容を明らかにすることを目的として、支援活動に参加した学生の中から代表的な 2 名を抽出し、支援開始時および終了時の 2 時点でインタビューを実施した。インタビューでは、児童理解、支援観、教師としての自己認識などに関する語りを収集し、支援経験を通した学びの深化過程を分析した。

次に、学校現場における本取組の有効性と課題を把握するため、支援終了後に支援校の管理職に対して半構造化インタビューを実施した。これにより、教育現場の立場から見た支援活動の意義や実際的効果、今後の課題についての知見を得た。

これらのインタビューデータをもとに、支援活動が児童・学生・学校現場のそれぞれにどのような影響を及ぼしたのかを総合的に検討した。

２．３　成果の発信と実践的検証

本研究では、実践で得られた知見を地域社会に還元するとともに、その妥当性を検討するため、成果発信の場を設定した。

具体的には、教育イベント Edu×Share*において、大学に地域の教員を招き、「多文化共生に拓いた学校づくり」をテーマとした研修会を開催した。本研修会の趣旨は、外国にルーツを持つ子どもへの日本語教育支援の在り方について、具体的実践に基づく議論を通して理解を深め、多文化共生社会の実現に資する教育の方向性を共有することにある（図 3）。

研修会の内容は、以下のように計画し、参会者と共に複数の観点から課題と対応の在り方を検討した。

・学生による支援活動の実践報告
・専門家による講演
・研究メンバーによる海外多文化共生事例の紹介

このような成果発信の取組は、研究成果の社会的妥当性を検証する機会であると同時に、地域における教育実践の改善とネットワーク形成に寄与するものとして位置づけられる。

※Edu×Share は、富山国際大学子ども育成学部が主催するリカレント教育イベント。地域の教育関係者や地域住民を招き、さまざまなテーマで教育について考え、学び直す機会を提供する会である。



図３　Edu×Share 案内チラシ

３．研究成果

３．１　児童生徒の学習参加に関する成果

本研究では、観察記録および支援過程の記録をもとに、日本語指導が必要な児童生徒の学習参加の変容について質的に分析した。対象児はいずれも、通常学級に在籍しているものの、日本語の理解や語彙の不足により、授業内容へのアクセスに困難を抱えており、学習活動への参加が限定的であるという共通した課題を有していた。

しかし、国際教室での〈取り出し指導〉と通常学級での〈入り込み指導〉を組み合わせた継続的支援を通して、以下のような変化が確認された。

第一に、学習内容に対する理解の向上と発言の増加である。例えば、語彙や背景知識を事前に補うことで、児童が通常学級の授業において適切な表現を用いて発言したり、自発的に言葉を選択したりする姿が見られた。

第二に、他児との関係性の中で学習に参加する姿の出現である。ペア活動や対話場面において、翻訳機能や既習語彙を活用しながら他児と関わる姿や、自身の表現が学級全体の学習に位置付けられる経験を通して、学級内での役割を獲得する様子が確認された。

第三に、学習に対する主体性の向上である。当初は指示理解に困難を抱え受動的であった児童が、支援を通してつぶやきや試行的発話を見せるようになり、自ら学習に関与しようとする姿勢が見られるようになった。

これらの変化は、単なる日本語能力の向上にとどまらず、児童が「学習に参加できる」という見通しと安心感を獲得したことによるものであると考えられる。すなわち、本研究の支援は、言語的な理解を支えるだけでなく、学級集団への心理的参加を支える役割を果たしていたといえる。

３．２　支援実践に関する成果

本研究では、支援実践の分析を通して、国際教室における〈取り出し指導〉と通常学級における〈入り込み指導〉を往還的に接続する支援の在り方として、〈〈橋渡し指導〉〉という概念を導出した。以下では、その構造と機能について整理する。

①従来の支援の構造と課題

従来、日本語指導が必要な児童生徒に対する支援は、主に以下の二つの形態に分かれていた。

・国際教室における〈取り出し指導〉（＝個別的・補償的支援）

・通常学級における〈入り込み指導〉（＝参加場面での補助）

しかし、観察を通して、これらが並列的に存在するだけでは、児童が通常学級の学習活動に実質的に参加することは困難であるという課題が明らかになった。すなわち、取り出し指導だけでは、通常学級の学習内容とは切り離され、入り込み指導だけでは、その場しのぎの支援になりやすいという構造的な断絶が存在していた。

②〈〈橋渡し指導〉〉の構造

これに対し、本研究では、両者を時間的・内容的に接続する支援構造として〈〈橋渡し指導〉〉を位置づけた。その基本構造は以下の三層からなる。

A. 予習的支援（国際教室）・・・語彙・概念・背景知識の事前導入／理解の見通しの形成

B. 参加支援（通常学級）・・・発言・活動への参加の促進／他児との関係形成の支援

C. 再構成支援（再び国際教室）・・・学習内容の整理・補強／個別理解の深化

③機能的特徴

〈〈橋渡し指導〉〉の特徴は、単に指導の場をつなぐだけでなく、以下の三つの機能を有する点にある。

（a）認知的足場がけ

語彙・背景知識の補充によって、学習内容へのアクセスを可能にする

（b）社会的足場がけ

他児との相互作用を支え、学級内での関係性を構築する

（c）心理的足場がけ

「分かる（できる）かもしれない」という見通しや「困ったら助けてくれる」という安心感を形成する

④実践から導かれた知見

観察に基づく分析から、〈〈橋渡し指導〉〉を通して、以下のような過程が確認された。

・事前学習によって授業理解の見通しが形成される

・小さな発話やつぶやきが増加する

・他児との相互作用が生まれる

・学級内での役割や居場所が形成される

この過程は、学習参加が単なる理解の問題ではなく、関係性の中で成立する現象であることを

示唆している。以上の分析から、〈〈橋渡し指導〉〉は「言語支援」と「参加支援」を統合するモデルであると考えられる。従来の日本語教育が「言語習得」に重点を置いてきたのに対し、本研究の枠組みは、「通常学級の学習活動への参加を成立させること」を中心に据えるものである。したがって、〈〈橋渡し指導〉〉は、「日本語教育」と「インクルーシブ教育」を接続する実践モデルとして位置づけることができる。

３．３　大学生の学び・人材育成に関する成果

本研究では、支援活動に参加した学生 2 名に対する半構造化インタビューをもとに質的分析を行い、発話内容をコード化したうえでカテゴリー化を行った。

その結果、学生の学びは主に「支援観の変容」「児童理解の深化」「支援方法認識の変容」の 3 つの観点から整理することができた。

第一に、「支援観の変容」である。支援初期においては、「分からない内容を教える」「日本語をできるようにする」といった知識補完的な支援観が中心であった。実際に、「日本語が分からないところを教えてあげるのが自分の役割だと思っていた」といった発言が見られた。これに対し、活動後には、「授業に参加できるようにする」「他の児童とともに学べる状況をつくる」といった、学習参加を重視する支援観へと変容していた。

第二に、「児童理解の深化」である。当初は、日本語能力の不足に焦点化した捉えが見られたが、支援を通して、「考える力自体は備わっている」「文化的背景や関係性が影響している」といった多面的理解へと変化した。「最初は日本語ができないから難しいと思っていたが、考えていることはしっかりしていると分かった」といった語りも確認され、児童の実態の見取り方に大きな変容が見られた。

第三に、「支援方法認識の変容」である。初期には個別的に対応する意識が強かったのに対し、活動後には、教員や他の学生との情報共有を前提とした協働的支援の重要性が認識されるようになった。さらに、国際教室と通常学級を接続する視点を獲得し、支援を「場をつなぐ営み」として捉える傾向が見られた。

以上の結果から、学生は支援活動を通して、言語支援中心の認識から、学習参加および関係性を重視する包括的な支援観へと変容し、インクルーシブ教育に通じる実践的知見を獲得したことが明らかとなった。これらの変容は、児童への継続的関与と支援チームによる協働実践を通して生起したと考えられる。

３．４　学校現場および地域への波及効果

本研究では、支援校の管理職に対する半構造化インタビューをもとに質的分析を行い、その語りから本取組の学校現場における意義を整理した。

その結果、本取組の効果は主に「支援体制の補完」「児童理解の深化」「支援観の転換」の観点から整理することができた。

第一に、「支援体制の補完」である。学校現場においては、日本語指導が必要な児童生徒に対

する個別的支援の必要性が認識されているものの、人的リソースの制約から十分な対応が困難である状況がある。その中で、大学生の継続的な関与は、教員の目が届きにくい場面での支援を可能にし、既存の支援体制を補完する役割を果たしていることが確認された。「休み時間の様子を見守る」ことも含めた支援活動が期待されていたことが分かる。

第二に、「児童理解の深化」である。大学生が継続的に児童と関わることにより、学習面だけでなく生活面を含めた多面的な児童理解が促進され、その情報が教員間で共有されることで、学校全体としての児童理解が深まる効果が見られた。また、児童の努力や変化が可視化されることで、指導の方向性を検討する上で有用な知見が蓄積されていることが示された。また、教師を目指している学生の活動であることから、学生自身が支援活動を通して、児童理解の目を養うことも期待されていたことが分かる。

第三に、「支援観の転換」である。インタビューからは、外国籍であるかどうかに着目するのではなく、一人一人の児童の困り感や学習参加に焦点を当てて支援を捉える視点が重視されていることが確認された。さらに、大学生との協働を通して、支援を学校内で共有しながら形成していく必要性が認識されており、個別的対応から協働的・構造的支援への転換が示唆された。国際教室での予習的な指導が通常学級での参加の意識を大きく変える可能性があることが、実践知として共有されていることも分かる。

以上の結果から、本取組は、人的リソースの補完にとどまらず、児童理解の深化および支援観の転換を促すものとして機能していたことが明らかとなった。また、大学と学校が協働することにより、個別の支援を学校全体の教育実践へと接続する可能性が示された。

必ずしも外国籍の児童が就学しなければならないことが法律で定められているわけではない。しかし、外国籍の児童とその保護者の希望、子どもの権利条約、地域で暮らす子供達を育むという観点、その地域での教育資源等を考えた際に、地域の義務教育学校における支援のあり方やサポートに携わる人材の育成がより重要であり、「教育×福祉を兼ね備えた支援」ができるような仕組みが必要ではないかということも示唆された。また、学びと成長を支える教育と生活の安定・支援となる福祉を切り離さず、全ての子供が安心して生き、学べる環境を創り出すことが、今後、地域で学び育む子供達を支えていくことにも繋がるのではないかと考えた。

そこで、本研究の成果を地域に還元するため、「多文化共生に拓いた学校づくり」をテーマとする研修会を開催した。研修会では、学生による実践報告、専門家による講演、海外事例の紹介を行い、多文化共生社会における教育の在り方について議論を深めた。富山県内の学校現場において多文化共生への試みはまだ始まったばかりで、先生方の日々の試行錯誤が続いている。研修会では個々の学校の取組が参加の方々から紹介され、成果と課題を共有する場となった。この取組は、研究成果の社会的共有にとどまらず、地域の教員間の学びを促進し、インクルーシブ教育の視点を広げる契機となったと言える。

３．５　研究成果と課題

本研究の成果は、大学と地域が協働することによって、日本語教育支援における人的リソースの不足を補完できる可能性を示している。特に、大学生を組織的に活用する仕組みは、短期的な支援にとどまらず、将来の教員育成とも接続するという点で二重の意義を有している。一方で、支援の質の維持や継続的な体制構築、教員との役割分担の明確化といった、持続可能な支援体制の在り方については今後の検討課題として残されている。

本研究は、大学生を媒介とした〈〈橋渡し指導〉〉の実践を通して、日本語指導を単なる言語習得支援から、学習参加と関係形成を支えるインクルーシブ教育の実践として再構築した点に意義がある。さらに、大学と地域が協働することにより、教育現場の人的リソース不足という現実的課題に応答しつつ、次世代教員の専門性形成を同時に実現し得ることを示した。

とりわけ、本研究で提示した〈〈橋渡し指導〉〉は、「取り出し指導」と「入り込み指導」の分断を乗り越え、学習内容と学級参加を接続する具体的実践モデルとして位置づけられるものである。この点において、同指導は、日本語教育とインクルーシブ教育を架橋する実践的枠組みとして、今後の教育実践に対して有効な指針を与えるものである。

４．今後の展望

本研究の知見は、地域における持続可能な日本語教育支援体制の構築に向けた基盤となるものである。大学と地域の連携による日本語教育支援の実践モデルを提示し、その有効性を示した点に本研究の意義がある。大学が教育支援の担い手として関与することは、児童生徒への支援の充実とともに、次世代教員の育成にも寄与するものであり、今後の地域教育の発展に向けた重要な方向性を示している。

今年度、本研究で構築した支援体制を継続・発展させる形で、すでに A 小学校との協議が進んでいる。今後は、３．２で示した〈〈橋渡し指導〉〉の成果を踏まえ、より効果的な実践モデルの再構築を図るとともに、継続的な実践を通して本取組の実効性をさらに高めていくことを目指す。

また、本研究で得られた知見については、学生および管理職へのインタビュー分析をもとに整理し、学術論文として発表する予定である。さらに、研究成果の発信と共有を通して、地域における日本語教育支援の実践の広がりに寄与していくことを展望している。

５．参考文献

・川上郁雄（2020）「JSL バンドスケール【小学校編】　―子どもの日本語の発達段階を把握し、ことばの実践を考えるために」明石書店
・菊池聡（2021）「学級担任のための外国人児童指導ハンドブック」小学館
・佐藤郡衛・菅原雅枝・小林聡子（2024）「子どもの日本語教育を問い直す　外国につながる子

どもたちの学びを支えるために」明石書店
・文部科学省（2019）「外国人児童生徒受入れの手引【改訂版】」明石書店
・文部科学省（2025）「「日本語指導が必要な児童生徒の受入状況等に関する調査（令和７年度）」の結果について」https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/31/09/1421569_00007.htm

研究題目	運動・スポーツを「みる」「しる」「ささえる」「する」ことを通して、子どもの運動・スポーツに親しむ力を育成する方策の追究
機関名	富山国際大学
研究代表者	子ども育成学部・子ども育成学科・准教授・金子泰子
分野	教育学
キーワード	小学校体育科、運動への多様な関わり、運動有能感

１．研究の背景と目的

岡澤ら（1996）は、運動に対してもつ自信を「運動有能感」と捉え、「身体的有能さの認知」「統制感」「受容感」の三因子から構成されることを示した。また、當山ら（2022）は、子どもが運動を継続する態度を育成するためには、一人一人の運動有能感を高めることが重要であると指摘している。

一方で、子どもの体力・運動能力の低下傾向は長年続いており、近年では、新型コロナウイルス感染症の影響による運動機会の減少も加わり、運動に苦手意識をもつ児童の増加が課題となっている。このような状況の中では、「身体的に有能であると感じること」や「自分にもできそうだという見通しをもつこと」といった、運動技能の向上を基盤とする運動有能感の育成のみを目指すことには限界があると考えられる。

令和４年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査（スポーツ庁，2023）では、「保健体育の授業が楽しい理由」として、「友達と一緒にできるから」「友達に教えてもらったから」と回答した児童が多く、仲間との関わりや対話的な学びが、体育授業への肯定的な態度形成に重要な役割を果たしていることが示されている。このような仲間との関わりを通して得られる肯定的な経験は、運動有能感の下位因子である「受容感」と関連する可能性が示唆される。この調査結果から、子どもが運動に親しみ、生涯にわたって豊かなスポーツライフを営むためには、運動そのものの楽しさや仲間と関わる喜びを実感できる体育授業の実現が求められる。

このような体育授業の実現の必要性は、近年になって指摘され始めたものではない。

中央教育審議会「子どもの体力向上のための総合的な方策について（答申）」（2001）では、小学校において、児童に体を動かす楽しさを感じさせる指導が必ずしも得意ではない教員の存在や、中学校・高等学校において、スポーツの技術指導を中心とした授業になりがちであり、楽しく運動させるための指導の工夫が不十分であることが課題として指摘されている。すなわち、「運動の楽しさを実感できる授業づくり」や「技能偏重からの脱却」は、20 年以上にわたり我が国の体育科教育における重要な課題として認識されてきたといえる。

こうした課題意識を背景として、現行の小学校学習指導要領では、運動・スポーツへの関わり方として「する」だけでなく、「みる」「知る」「支える」といった多様な関わり方を重視している。さらに、2026 年 6 月に示された中央教育審議会の次期学習指導要領改訂に向けた取りまとめ骨子案では、「する」「みる」「知る」「支える」に加え、「集う」「つながる」といった新たな関

わり方も整理され、競技力の向上のみならず、生涯にわたって運動・スポーツを多様に楽しむ資質・能力の育成がより一層重視される方向性が示された。

しかしながら、これまでの体育科教育の実践研究では、「する」活動を中心として児童の学びを捉えるものが多く、「みる」「知る」「支える」といった多様な関わりについて、児童がどのように認識し、どのような実態として表れているのかについては十分に明らかにされていない。特に、児童自身の認識と実際の行動の双方から、多様な関わりの実態を総合的に検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、体育授業における「する」「みる」「知る」「支える」という運動・スポーツへの多様な関わりに着目し、児童がそれらをどのように実践し、どのように認識しているのか、その実態を明らかにすることを目的とした。また、運動有能感との関連を分析することを通して、運動技能の高低にかかわらず、すべての児童が運動・スポーツとの関わり方に価値を見いだし、主体的に関わるための支援の在り方について検討することを目指した。

本研究は、「する」ことだけでは捉えきれない児童の多様な価値や役割を明らかにし、運動が得意な児童だけでなく、運動に苦手意識をもつ児童も含めたすべての児童が運動・スポーツに親しむことのできる体育授業づくりに対して、新たな示唆を与えるものである。また、次期学習指導要領において一層重視される運動・スポーツへの多様な関わり方の具体化に向けた基礎的資料として位置付けられる。

２．研究方法

本研究は実施初年度にあたり、体育授業における運動・スポーツへの多様な関わり（「する」「みる」「知る」「支える」）に対する児童の理解や実態を把握するとともに、運動有能感および体育授業への意欲との関連を明らかにすることを目的として実施した。量的データとして質問紙調査を、質的データとして授業観察記録および学習カードの記述を収集し、これらを統合的に分析した。

１　調査期間

調査期間は、2025 年 9 月から 2026 年 2 月までの小学校の授業実施期間内とした。

２　調査対象

調査対象は、富山県内の本研究への協力に同意した小学校 1 校に在籍する 5 年生 23 名とした。研究の実施にあたっては、児童の保護者に対して研究の目的および内容について説明を行い、研究参加への承諾が得られた児童を対象とした。

当初計画では複数校での実施を予定していたが、実施初年度は協力が得られた 1 校を対象として調査を行った

３　調査の概要

各体育単元の前後に、運動有能感尺度および体育授業への意欲度に関する質問紙調査を実施し、その変容を把握した。また、全単元を通して体育授業中の児童の言動や態度を観察し、その様子を観察記録として記述した。

さらに、各授業後には、児童一人一人に対して、運動・スポーツへの多様な関わりである「する」「みる」「知る」「支える」の４観点について、自身の行動を振り返る自己評価を学習カードに記述させた。加えて、同様の４観点に基づき、他の児童の模範的な行動を評価する他者評価の記述も実施した。

４　調査データの収集・分析

本研究では、以下の３種類のデータを収集し、統合的に分析を行った。

① 運動有能感尺度および体育授業への意欲度に関する質問紙調査による量的データ
② 運動・スポーツへの多様な関わり（「する」「みる」「知る」「支える」）に関する質問紙調査による量的データ
③ 体育授業中の児童の言動や態度に関する観察記録による質的データ
④ 運動・スポーツへの多様な関わり（「する」「みる」「知る」「支える」）に関する自己評価および他者評価の学習カードの記述データ

これらのデータをもとに、体育授業における児童の多様な関わりの実態を把握するとともに、運動有能感および体育授業への意欲との関連について検討した。

なお、データ間の関連性を分析するため、SPSS Statistics Version12(IBM 社製)を用いてクロス集計表を作成した。変数間の関連の強さおよび有意性を確認するため、Pearson のカイ二乗検定を実施した。有意水準は 5%未満（$p < 0.05$）とした。

５　倫理的配慮

本研究の実施にあたっては、研究の目的、方法、個人情報の取扱い、研究参加は自由意思によるものであり、参加の有無によって不利益を被ることはないことについて、学校管理職および対象児童の保護者に書面および口頭で説明を行った。その上で、保護者から研究参加への同意を得た児童のみを対象として調査を実施した。

また、収集したデータは個人が特定されないよう匿名化し、研究目的以外には使用しなかった。

今年度は本研究の実施初年度として、運動有能感・運動意欲と、児童の運動・スポーツへの多様な関わりへの理解度の実態を把握することを目的として授業観察を行なった。

３．研究成果

本研究で授業の研究介入前と各単元終了後、そして研究介入後に実施した質問紙による調査項目を図１に示す。また、対象児童には、毎回の体育授業終了後に授業での活動を振り

返り、運動への多様な関わりについての自己評価、他者評価を学習カードに記録させた。対象児童の記入した学習カードを図２に示す。

図１　質問紙による調査項目

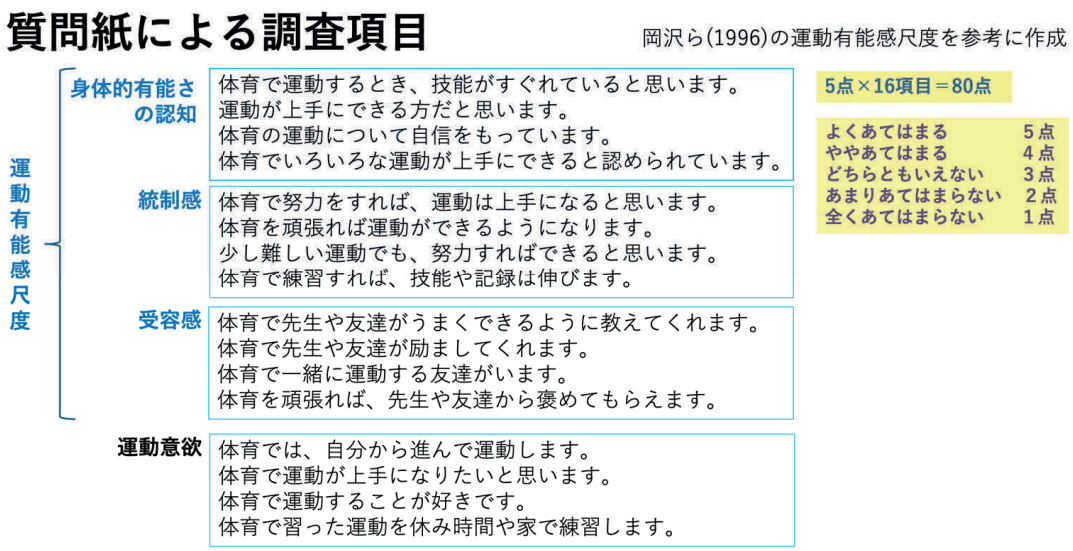
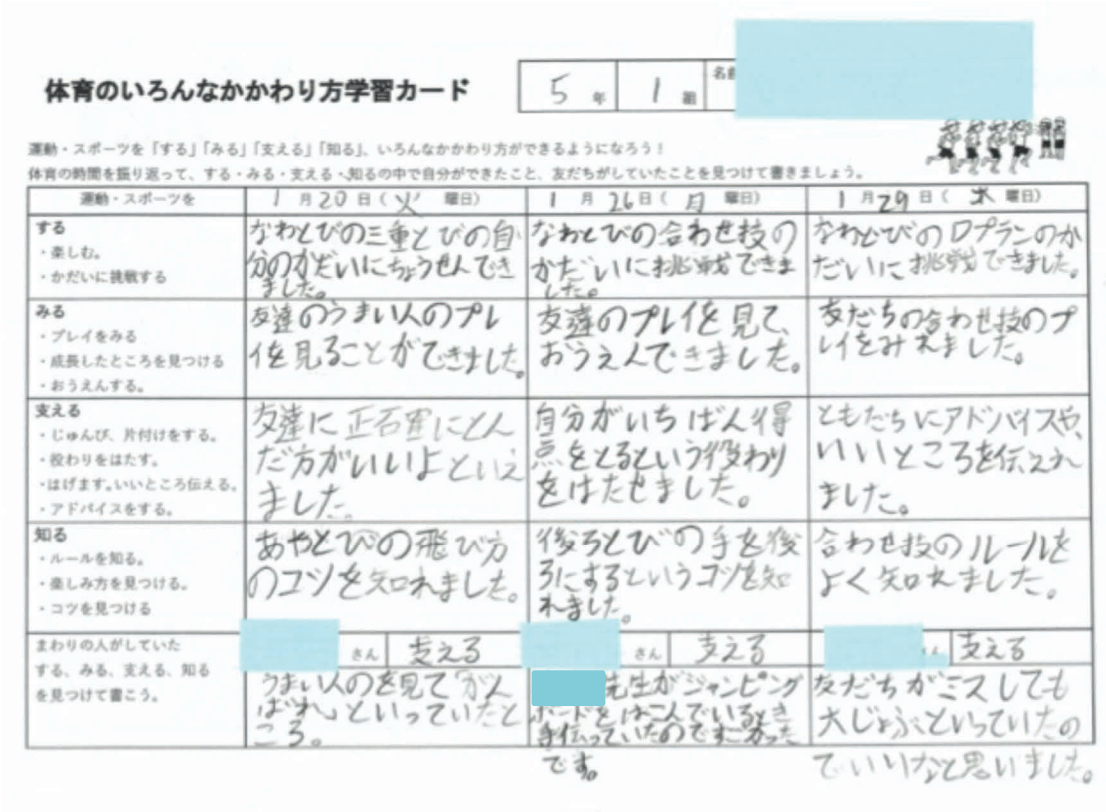


図２　運動への多様な関わりを自己評価・他者評価する学習カード


体育のいろんなかかわり方学習カード

5年 1組 名前

運動・スポーツを「する」「みる」「支える」「知る」、いろんなかかわり方ができるようになろう！
体育の時間を振り返って、する・みる・支える・知るの中で自分ができたこと、友だちがしていたことを見つけて書きましょう。

運動・スポーツを	1月20日（火曜日）	1月26日（月曜日）	1月29日（木曜日）
する ・楽しむ。 ・かだいに挑戦する	なわとびの三重とびの自分のかだいにちょうせんできました。	なわとびの合わせ技のかだいに挑戦できました。	なわとびのロプランのかだいに挑戦できました。
みる ・プレイをみる ・成長したところを見つける ・おうえんする。	友達のうまい人のプレイを見ることができました。	友達のプレイを見て、おうえんできました。	友だちの合わせ技のプレイをみました。
支える ・じゅんび、片付けをする。 ・役わりをはたす。 ・はげます。いいところ伝える。 ・アドバイスをする。	友達に正石宣に人だ方がいいよといえました。	自分がいちば人得点をとるという役わりをはたしました。	ともだちにアドバイスや、いいところを伝えました。
知る ・ルールを知る。 ・楽しみ方を見つける。 ・コツを見つける	あやとびの飛び方のコツを知れました。	後ろとびの手を後ろにするというコツを知れました。	合わせ技のルールをよく知れました。
まわりの人がしていた する、みる、支える、知るを見つけて書こう。	[redacted] さん 支える うまい人のを見て「人ばかり」といっていたところ。	[redacted] さん 支える 先生がジャンピングボードを[redacted]人でいるときに[redacted]ていたのです。	[redacted] さん 支える 友だちがミスしても大じょうぶといっていたのでいいなと思いました。

研究の結果、体育授業における多様な関わりの中で、特に「支える」行動に着目した場合、特徴的な傾向が見られた。具体的には、児童が学習カードに毎授業後に記入した他者評価において「アドバイスしてくれた」「助言をくれた」「励ましてくれた」「準備や片付けを進んで行なっていた」といった「支える」行動を他の児童に対して肯定的に評価している児童は、研究介入後の受容感の得点が研究介入前より高くなっていた。このことは、他者の支援的行動に気づき、それを価値づける経験が、「支えられている」という実感につながり、自己の受容感の向上と関連している可能性が示唆された。

図３　「支える」行動の他者評価を記入した児童の介入前後の受容感の変容

児童の受容感　介入前

児童が「支える」行動の他者評価を記入した回数

得点（20点満点）	0回	1回	2回	3回	4回	5回	6回以上
15点	0	0	1	0	0	0	0
16点	0	0	1	1	0	0	0
17点	0	0	0	0	1	0	1
18点	1	1	1	0	0	1	0
19点	0	0	2	0	1	0	1
20点	2	1	2	1	0	0	0

N.S.

児童の受容感　介入後

児童が「支える」行動の他者評価を記入した回数

得点（20点満点）	0回	1回	2回	3回	4回	5回	6回以上
15点	0	0	0	0	0	0	0
16点	0	0	1	1	0	0	0
17点	0	0	0	0	0	0	1
18点	1	0	0	0	0	1	0
19点	0	0	0	0	1	0	1
20点	2	2	6	1	1	1	0

※P<0.05

一方で、自己評価において「支える」行動として、他の児童に対してアドバイスを行った旨を記述している回数の多い児童については、研究介入前後の運動有能感得点の間に有意な差は認められなかった。これは、児童の体育授業中における他者への関与や支援的行動の実践の価値が、評価される機会が少ないことを示唆しているのではないかと考える。

以上の通り、体育授業中において、複数の児童が運動を「支える」行動を実践していることが分かったが、「支える」行動をしている児童を他者評価している児童の運動有能感が高まり、「支える」行動をしていると自己評価している児童自身の運動有能感得点に有意な変化はみられなかったことが分かった。「支える」行動が多く認知されている中で、「支える」活動の価値を児童に伝え、活動を支える児童の行動を授業全体で共有する機会をもつ必要

性があると考える。

「支える」行動をしていると自己評価を複数回している児童において、研究介入前後の運動有能感得点の有意な変容は見られなかったものの、個々の児童に着目すると、複数の児童から「支える」行動を評価されている児童は、運動有能感が高い傾向にあった。この結果は、体育授業における多様な関わり、特に「支える」行動が、個別の児童の運動有能感の形成において重要な役割を果たす可能性を示唆するものである。

以上のことから、運動技能の向上のみならず、「支える」関わりとして、他者との関わりの中で役割を持ち、貢献する経験を保障することが、運動有能感の向上に資する重要な視点であると考えられる。

体育授業においては、運動を「する」ことや「できる」ことに焦点が当たりやすく、この傾向が運動に対する苦手意識の形成につながる可能性があることが、先行研究においても指摘されている。

本研究の結果からは、他の児童の「支える」行動を他者評価している児童の運動有能感が高まる傾向にあることが明らかとなった。一方で、他者評価されている児童自身の運動有能感に顕著な変容はみられなかったが、これらの児童は、授業中において他者へのアドバイスや応援、励ましといった支援的な言動が継続的に見られるだけでなく、準備や片付けなど運動活動以外の場面においても主体的に関わる姿が確認された。

これらの結果を踏まえると、今後の体育授業においては、「する」ことのみに価値を置くのではなく、「みる」「知る」「支える」といった多様な関わり方に着目し、それらが模範的に実践されている児童を積極的に賞賛・価値づけることが重要である。また、教師が「する」以外の児童の行動を意図的に認知し、評価することによって、多様な関わりの意義を学級全体で共有する必要があると考えられる。

このような実践は、運動技能の高低にかかわらず、すべての児童が運動・スポーツに主体的に関わり、親しむ態度の育成につながると考えられる。

今後は、今後は、「みる」「知る」「支える」といった行動に関する自己評価および他者評価の結果を児童全員に共有し、それらの行動が顕著に見られた児童を認める場を授業中に位置付けることが重要であると考える。このような取組が、児童の運動・スポーツへの多様な関わり方に対する意識や態度の育成にどのように寄与するのかについて、体育授業内における具体的な支援方策として、今後さらに実践的に追究していきたい。

4．今後の展望

本研究の結果から、児童の「支える」行動を認知し、評価する活動によって、他者評価した児童自身が「支えられている」ことを自覚する活動となったように考える。一方で、「支える」行動をしている児童の「支える」行動の価値は何らかの形で情報共有や、価値付けをする必要があることが示唆された。

今後は、「みる」「知る」「支える」といった行動に関する自己評価および他者評価の結果

を児童全員に共有し、それらの行動が顕著に見られた児童を認める場を授業中に位置付けることが重要であると考える。このような取組が、児童の運動・スポーツへの多様な関わり方に対する意識や態度の育成にどのように寄与するのかについて、体育授業内における具体的な支援方策として、今後さらに実践的に追究していきたい。

５．参考文献

１．岡澤祥訓・北 真佐美・諏訪祐一郎（1996）運動有能感の構造とその発達及び性差に関する研究，スポーツ教育学研究，16，pp145-155

２．當山 貴弘，中須賀 巧，杉山 佳生當（2022）体育授業における運動有能感と回避的態度との因果関係の推定，体育学研究，67，pp897-914

３．スポーツ庁（2023）令和４年度全国体力・運動能力、運動習慣等調査結果，https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/kodomo/zencyo/1411922_00004.html（情報取得年月日：2025 年 5 月 15 日）

４．中央教育審議会(2001)「子どもの体力向上のための総合的な方策について（答申）」https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/021001a.htm（情報取得年月日：2025 年 5 月 10 日）

５．文部科学省（2017）小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説　体育編

研究題目	日本語と中国語のあいさつ表現の比較研究 ―文化的特徴に着目して―
機関名	高岡法科大学
研究代表者	法学部法学科・准教授・屈莉
分野	認知言語学
キーワード	あいさつ表現、文化、関係維持・調整志向、関係構築・発展志向

１．研究の背景と目的

日本と中国は地理的に近接しているだけでなく、古来より長く深い関係を築いており、現在においても経済・教育・観光など多方面にわたる交流が活発に行われている。このような日中間の交流をより円滑かつ豊かなものにするためには、互いの言語を理解することはもちろん、その背後にある文化や価値観を理解することも重要である。言語は単なる意思伝達の手段ではなく、それぞれの社会に共有された価値観や対人関係観を反映する文化的営みでもあるからである。言語と文化との関係を考察する際には、日常的な言語行動に着目することが有効である。言語表現は文化の表層に現れる現象の一つであり、その背後には当該社会に共有された価値観や対人関係のあり方が存在している。なかでも、あいさつ表現は日常生活において最も頻繁に用いられる言語行動の一つであり、人と人とのコミュニケーションにおける最初の言語行動として、その後の交流や人間関係の形成・維持に重要な役割を果たしている。

日本語と中国語のあいさつ表現には、それぞれ異なる特徴がみられる。例えば、日本語では「お疲れ様です」「お世話になっております」のような定型的な表現が広く用いられる一方、中国語では「吃饭了吗」「最近怎么样」といった相手の状況や生活に関わる表現があいさつとして用いられることがある。このような違いは、単なる言語形式の差異にとどまらず、人間関係の捉え方や対人コミュニケーションに対する考え方の違いとも関係していると考えられる。これまで、日中両言語のあいさつ表現については多くの研究が行われており、その特徴や使用実態についてさまざまな知見が蓄積されている。こうした先行研究の成果を踏まえ、本研究では、あいさつ表現を、日中の文化的特徴や対人関係観の違いを考察するための重要な言語行動として位置づける。あいさつ表現は、人と人との交流の出発点であると同時に、その社会に共有された価値観や対人関係観を反映するものであるため、日中両言語の文化的特徴を比較する上で有効な手がかりとなる。

よって本研究は、日本語と中国語の代表的なあいさつ表現を対象として、それぞれの表現にみられる特徴とその背後にある文化的背景との関係について比較・考察することを目的とする。具体的には、日本語のあいさつ表現にみられる定型化・省略化・文脈依存性と、中国語のあいさつ表現にみられる多様性・話題展開性・関係志向性に着目し、それらがどのような価値観や対人関係観に関わっているのかを考察する。これにより、日中両言語のあいさつ表現にみられる文化的

特徴を明らかにするとともに、異文化コミュニケーションや日本語教育・中国語教育についての示唆を得ることを目指す。

２．研究方法

本研究では、日本語と中国語の代表的なあいさつ表現を対象として、その諸相と文化的背景との関係について比較・考察を行った。あいさつ表現は日常的な言語行動であると同時に、当該社会に共有された価値観や対人関係観を反映する文化的現象でもある。そのため、本研究では個々の表現の意味や形式のみを対象とするのではなく、使用場面やコミュニケーション上の役割にも目を向けながら検討を進めた。

まず、日本語と中国語のあいさつ表現に関する先行研究を参考にしながら、分析対象として、両言語において日常的に用いられる代表的なあいさつ表現を選定した。日本語については、「お疲れ様です」「お世話になっております」「どうも」「よろしく」「すみません」「失礼します」など、中国語については、「吃饭了吗」「上哪儿去呀」「忙什么呢」「最近都没你的消息」「常联系」「改天聚聚」などを主な分析対象とした。これらは、日常生活や職場、学校などにおいて広く用いられており、それぞれの言語文化を特徴づける代表的なあいさつ表現として位置づけられる。

次に、各あいさつ表現について、その使用場面や語用的役割を整理し、表現の性質について検討を行った。具体的には、出会い、別れ、依頼、呼びかけ、近況確認などの場面において、各表現がどのような働きを担っているのかを確認した。その際、表現の字義的意味だけでなく、実際のコミュニケーションにおいて果たしている社会的・対人的役割についても考慮した。分析観点については、各表現の形式的特徴および使用場面を踏まえて整理した。日本語については、「定型化」「省略化」「文脈依存性」の三点から、中国語については、「多様性」「話題展開性」「関係志向性」の三点から検討を進めた。これらの観点を用いることにより、個々の表現の性質だけでなく、それらに共通してみられる文化的傾向についても把握を試みた。

さらに、日本語と中国語のあいさつ表現を比較するにあたっては、言語形式の違いだけでなく、各表現が果たす対人的役割や文化的背景との関連にも留意した。その上で、各表現にみられる共通点と相違点を整理し、それぞれがどのような価値観や対人関係観を反映しているのかについて考察を行った。以上の方法により、日本語と中国語のあいさつ表現に反映された文化的特徴について比較・考察を行った。

３．研究成果

3.1　日本語のあいさつ表現にみられる文化的特徴

日本語のあいさつ表現を整理した結果、定型化、省略化、文脈依存性という三つの特徴が認められた。これらの特徴は、場面に応じた適切なふるまいを重視する価値観、共有された文脈を前提とするコミュニケーション様式、そして相手への配慮を通して人間関係を円滑に維持・調整しようとする対人意識と深く関わっている。なお、以下に示す対話例は、分析内容を分かりやすく示すために筆者が作成したものである。

3.1.1　日本語あいさつ表現の定型化

日本語のあいさつ表現には高度な定型化がみられる。代表的な例として、「お疲れ様です」や「お世話になっております」が挙げられる。

(1)　A：お疲れ様です。
　　B：お疲れ様です。

「お疲れ様です」は本来、相手の労をねぎらう意味を持つ表現である。しかし現在では、職場における出会い、会議の開始、授業後の声かけ、メールの冒頭など、さまざまな場面で広く用いられており、必ずしも相手の疲労状態そのものを問題としているわけではない。むしろ、同じ場や組織に属する者同士であることを確認し、円滑な人間関係を維持するための定型的なあいさつとして機能していると考えられる。すなわち、本来の意味を残しながらも、その意味内容は次第に希薄化し、場面に応じて慣習的に用いられる表現へと変化しているのである。

(2)　A：お世話になっております。先日の件でご連絡いたしました。
　　B：ご連絡ありがとうございます。

「お世話になっております」も高度に定型化した表現である。本来は、相手から受けている援助や配慮に対する感謝を表す表現であったが、現在ではビジネスメールや電話の冒頭において広く使用されている。この表現によって、話し手は相手への敬意や協調的な姿勢を示し、良好な関係を維持しようとしている。ここで重視されているのは、実際の感謝の有無ではなく、この表現に含まれる、円滑な人間関係を支える社会的機能である。このような定型化の背景には、個人の独自の表現よりも、場面に応じた適切な言語行動を重視する日本社会の価値観が反映されていると考えられる。

3.1.2　日本語あいさつ表現の省略化

日本語のあいさつ表現には省略化の傾向が認められる。日本語のコミュニケーションでは、すべてを言葉で明示するよりも、話し手と聞き手の間で共有されている知識や状況を前提とした意思疎通が行われることが多い。このような特徴は、「どうも」や「よろしく」といった表現に典型的に表れている。

(3)　A：どうも。
　　B：どうも。

「どうも」は、もともと「どうもありがとうございます」や「どうもすみません」などのあいさつ表現の一部であった。しかし現在では、「どうも」だけで感謝、謝罪、軽いあいさつなど

複数の意味を担うことができる。話し手は詳細な意味内容を明示しないが、聞き手は場面や人間関係を手がかりとして、その意味を推測し理解している。たとえば、物を受け取る場面では感謝の意味を帯び、偶然出会った相手に声をかける場面では軽いあいさつとして機能する。このように、「どうも」は省略された表現ではあるが、共有された文脈によって円滑なコミュニケーションを成立させている。

(4)　A：じゃあ、よろしく。
　　B：分かりました。

この場合、依頼内容そのものは明示されていない。しかし、話し手と聞き手の間に共有された文脈が存在するため、問題なく意思疎通できている。「よろしく」は本来、「よろしくお願いします」という形で用いられることが多いが、親しい関係やくだけた場面では短縮された形で用いられることも少なくない。このような省略化は、日本語において共有された知識や状況理解が重視されることを示している。すべてを言語化するのではなく、相手との共通理解を前提として表現を成立させる点に、共有された文脈を重視し、人間関係を円滑に保とうとする日本語の文化的特徴がみられる。

3.1.3　日本語あいさつ表現の文脈依存性

日本語のあいさつ表現には文脈依存性が認められる。日本語では、一つの表現が複数の意味や機能を担い、その解釈が場面や人間関係に委ねられる場合が少なくない。「すみません」や「失礼します」はその代表的な例である。

(5)　A：すみません、この席は空いていますか。
　　B：はい、空いています。

ここでの「すみません」は謝罪ではなく、相手への呼びかけとして機能している。一方、別の場面では謝罪や感謝の意味を表すこともある。このように、「すみません」は単一の意味を持つ表現ではなく、状況に応じて機能が変化する多機能的な表現である。その解釈は、語そのものよりも、使用される場面や相手との関係に大きく依存している。

(6)　A：それでは失礼します。
　　B：お疲れ様でした。

「失礼します」は、入室時、退室時、電話終了時など、さまざまな場面で用いられる。本来は相手に対して礼を欠く可能性を先取りして述べる表現であるが、実際には入室の許可を求める表現、退室を告げる表現、会話を終える表現などとして機能している。共通しているのは、い

ずれの場合も相手への配慮を示し、相手との関係を損なわないようにする働きを持つ点である。このような文脈依存性は、日本語において言葉そのものよりも場面や人間関係が重視されることを示している。

以上のことから、日本語のあいさつ表現には、定型化、省略化、文脈依存性という特徴が認められた。これらは一見異なる現象であるようにみえるが、その背景には、場面に応じた適切なふるまいを重視する価値観、共有された文脈を前提とするコミュニケーション様式、そして相手への配慮を通して人間関係を円滑に維持・調整しようとする対人意識が存在する。すなわち、日本語のあいさつ表現は、単なる情報伝達の手段ではなく、既存の人間関係を維持・調整するための社会的・文化的機能を担っているといえる。

3.2　中国語のあいさつ表現にみられる文化的特徴

中国語のあいさつ表現には、多様性、話題展開性、関係志向性という三つの特徴が認められた。これらの特徴は、相手との交流を積極的に開始し、相手の生活や近況への関心を示しながら、人間関係を構築・発展させようとする対人意識と深く関わっている。また、中国語のあいさつ表現は、固定化された儀礼的表現としてのみ機能するのではなく、その場の状況や相手との関係に応じて柔軟に選択される点も特徴的である。

3.2.1　中国語あいさつ表現の多様性

中国語のあいさつ表現には、多様な形式が存在するという特徴がみられる。日本語では「こんにちは」や「お疲れ様です」のような比較的定型化した表現が広く用いられるのに対し、中国語では相手の行動や状況、近況などに応じてさまざまな表現があいさつとして用いられている。

(7)　A：吃饭了吗？（ご飯食べた？）
　　B：刚吃过。（今食べたところ。）

(8)　A：上哪儿去呀？（どこへ行くの？）
　　B：出去办点事。（ちょっと用事があって。）

これらの表現は形式的には質問文であるが、話し手は相手の食事や行き先について詳しい情報を得たいわけではない。むしろ、相手の生活や行動に自然に言及することによって会話のきっかけを作り、相手との心理的距離を縮めることが主な機能である。「吃饭了吗」は、文字通りには食事の有無を尋ねているが、日常的なやり取りでは相手の生活への関心を示すあいさつとして用いられることが多い。同様に、「上哪儿去呀」も、相手の行き先を詳しく確認するためというより、相手の行動に触れることで交流を開始しようとしている。

このように、中国語では固定的なあいさつ表現だけに依存するのではなく、相手の状況や関係に応じて多様な表現があいさつとして用いられている。日本語では特定の場面に特定のあいさ

つ表現が対応する傾向が比較的強いのに対し、中国語ではその場の状況に応じて表現が柔軟に選択される。このことは、中国語のあいさつが固定化された儀礼表現というよりも、相手との交流を始めるための動的なコミュニケーション資源として機能していることを示している。そこには、相手との接触を積極的に開始しようとする対人意識が反映されていると考えられる。

3.2.2　中国語あいさつ表現の話題展開性

中国語のあいさつ表現には、あいさつと会話との境界が比較的曖昧で、あいさつからその後の会話へと自然に発展していくという特徴が認められる。あいさつの段階から相手の近況や現在の状況に言及し、そのまま話題を展開していく傾向がある。

(9)　A：最近忙什么呢？（最近、何をしているの？）
　　B：最近在准备考试。（最近は試験の準備で忙しい。）

(10)　A：最近都没你的消息。（最近全く連絡がなかったね。）
　　B：最近有点忙。（最近ちょっと忙しかった。）

これらの表現では、「こんにちは」に相当する定型的なあいさつは必ずしも用いられていない。むしろ、相手の近況や現在の状況に直接言及することによって、その後の会話へと自然につなげている。「最近忙什么呢」は、相手の近況を話題化することで交流のきっかけを作り、「最近都没你的消息」は、しばらく連絡がなかったことに触れることで会話の再開を促している。このような表現は、あいさつが単独で完結するものではなく、その後の会話を導入する機能を持っていることを示している。中国語のあいさつ表現には、話し手と聞き手の共有領域を広げ、共通の話題を生み出す働きがある。相手の近況や生活に触れることによって、話し手は相手への関心を示すと同時に、会話を継続させるための土台を作っているのである。

このような特徴は、日本語において「あいさつ」と「本題」が比較的区別される傾向と対照的である。日本語では、あいさつを交わした後に必要に応じて本題へ移行することが多い。一方、中国語では、あいさつそのものが話題提示の機能を担い、そのまま会話へ発展する場合が少なくない。すなわち、あいさつと会話との境界が曖昧であり、両者が連続的なコミュニケーション行為として捉えられているのである。

また、相手の近況や生活状況に積極的に言及することは、単に情報を得るためだけではなく、相手への関心を示すための行為としても機能している。話し手は相手の状況に関心を寄せることによって心理的距離を縮め、会話を継続させながら相互理解を深めようとしている。このような特徴は、対話を通して人間関係を形成・発展させようとする中国語話者のコミュニケーション観を反映していると考えられる。

3.2.3　中国語あいさつ表現の関係志向性

中国語のあいさつ表現には、人間関係の構築や発展を重視する特徴が認められる。中国社会では、人と人とのつながりが社会生活の重要な基盤と考えられており、その価値観はあいさつ表現にも反映されている。

（11）　A：常联系。（連絡を取り合おうね。）
　　B：一定。（もちろん。）

（12）　A：改天聚聚。（今度集まろう。）
　　B：好啊。（ぜひ。）

これらの表現は、単なる別れのあいさつではない。「これからも関係を続けていきたい」「今後も交流を深めたい」という意思を相手に伝える機能を持っている。実際に連絡を取るかどうか、あるいは実際に集まるかどうか以上に、そのような意思を表明すること自体に重要な意味がある。

確かに、日本語にも「また今度」「また連絡します」といった表現は存在する。しかし、中国語ではこうした表現がより頻繁に用いられ、人間関係の継続や発展を積極的に促す働きを担っている。言い換えれば、中国語のあいさつ表現には、出会いや別れの場面を利用して関係をさらに深めようとする志向がみられるのである。

このような特徴の背景には、人とのつながりを重んじる中国社会の価値観が存在していると考えられる。中国では、人間関係（人际关系）は社会生活上非常に重要な意味を持ち、人とのつながりを維持し発展させていくことが重視される。あいさつ表現においても、その影響は少なからず認められ、出会いや別れの場面を利用して相手との関係を確認し、今後の交流へとつなげようとする傾向がみられる。

また、「常联系」や「改天聚聚」のような表現は、現在の関係を確認するだけでなく、将来の交流可能性を示唆する機能も有している。すなわち、中国語のあいさつ表現は、一回限りの接触を前提とするのではなく、継続的な交流の過程の中に位置づけられているのである。この点に、中国語のあいさつ表現にみられる関係志向性が端的に表れているといえる。

以上のように、中国語のあいさつ表現には、多様性、話題展開性、関係志向性といった特徴が認められた。これらの特徴は相互に独立したものではなく、その背景には、相手との交流を積極的に促進し、人間関係を構築・発展させようとする志向が存在する。中国語のあいさつ表現は、単なる儀礼的な言語形式ではなく、相手との心理的距離を縮め、人間関係を形成し発展させるための社会的・文化的機能を担っているといえる。

４．今後の展望

本研究では、日本語と中国語の代表的なあいさつ表現を対象として、その特徴と文化的背景との関係について比較・考察を行った。あいさつ表現を文化的特徴の反映として捉えることにより、日本語と中国語のあいさつ表現にみられる共通点と相違点を整理し、その背景にある文化的特徴の解明を試みた。本研究の成果は、日中異文化理解の促進に寄与するだけでなく、日本語教育および中国語教育における文化理解の深化にも一定の示唆を与えるものと考えられる。

本研究の課題として、実際の言語使用の実態や世代差・地域差などについて十分に検討できなかった点が挙げられる。今後は、アンケート調査やインタビュー調査を通して実際の言語使用の実態を把握するとともに、より多様なデータに基づく実証的な分析を進める必要がある。また近年では、社会環境やコミュニケーション手段の変化に伴い、あいさつ表現の使用実態にも変化がみられる。そのため、年代や使用場面の違いにも着目しながら、現代社会におけるあいさつ表現の特徴についてさらに考察を深めていきたい。加えて、SNS やメッセージアプリの普及に伴い、絵文字、顔文字、スタンプなどを用いた新たなあいさつ表現も広く用いられるようになっていることから、デジタル環境におけるあいさつ表現についても重要な研究課題として取り上げる必要がある。

申請時には AI を活用した分析も計画していたが、本研究では AI による分析を行うまでには至らなかった。今後の研究では、大規模言語モデルをはじめとする AI 技術を用い、日本語と中国語にみられるさまざまな言語現象を対象として、両言語の共通点と相違点、さらにその背景にある文化的特徴について考察を深めていきたい。こうした取り組みを通して、異文化コミュニケーション研究における AI 活用の有効性についても明らかにしていきたい。

５．参考文献

１．井上優（2013）『相席で黙っていられるか―日中言語行動比較論―』岩波書店.

２．井出祥子（2006）『わきまえの語用論』大修館書店.

３．王輝（2003）「言語と文化的背景―言葉から見た中日文化―」『北陸大学紀要』第 27 号, pp.177-184.

４．倉持益子（2008）「『お疲れさま』系あいさつの意味の希薄化と拡大」『明海日本語』第 13 号，明海大学日本語学会，pp.65-74.

５．曲志強（2009）「日本語と中国語のあいさつ表現について―大人と子どもの間の談話分析―」『山口国文』第 32 号，pp.96-108.

６．施暉（2005）「『あいさつ』言語行動に関する日中比較研究―日本語のあいさつに対する中国人留学生の違和感について―」『広島国際研究』第 11 号，pp.245-263.

研究題目	政治資金規制の必要性と問題点についての言説史的研究
機関名	高岡法科大学
研究代表者	法学部法学科・准教授・吉田龍太郎
分野	政治学
キーワード	政治資金規正法、企業献金、自由主義

１．研究の背景と目的

本研究は、日本の政治家たちがどのような政治資金制度を構想してきたのか、その対立構造の推移や特徴を明らかにしようとしたものである。

政治資金の動きの研究は、データ分析の進展に伴って隆盛となったが、本研究が志向するような、政治資金制度のあるべき姿についての規範研究はこれに十分に応答できていない。一定の蓄積はあり、近年は社会的関心も強まっているが、未だ問題点が残されている。特に、①立法過程・法案審議段階における議員言説を十分に取り上げた研究がないこと、②ほぼ一貫して多数を占める規制消極派の言説や、法令順守姿勢の低い議員の言説が関心の対象となっていないことは重要で、一言で言えば、当事者たる議員の視点が軽視されてきた。

①立法過程・法案審議段階における議員言説分析の必要性

政治資金規正法制定時（1948 年）と、平成・令和期の政治資金規正法改正のうちいくつか（1994 年や 2024 年以降の改正や改正論議）については、法案審議段階における議員の発言を整理した先行研究論文が存在するが、主張内容の質的分類を優先する一方で時系列が不明瞭となるきらいがあった。

また、このうち議会事務局職員の執筆によるものは、議員の党派と氏名がほとんど記載されていない。議会発行の研究誌に掲載されているための制約であろう。委員会所属の各議員を対等・同等に同種のものとして扱う形となっている。

②規制消極派の言説の重要性

上記いずれの論考も、規制強化論に比して規制消極論への言及の密度が低い。特に、1993 年に野党議員として多く登壇した自民党の規正消極派の議員たちは、多岐にわたる議論を展開しているが、各研究での言及は簡略化されており、特に参議院審議では顕著である。2024 年に可決された改正案の提出者として発言した与党議員についても同様であった。規制消極派や、脱法的と見なされる政治家の言説は、単に犯罪行為の隠蔽や法の不備のあらわれではなく、逆に、法と現実の緊張関係や、法が実際の社会の中でどう変容するかを浮き彫りにするものであり、現実に即した法の在り方を考えさせる触媒でもある。何より、規制消

極派は日本の国会においてほぼ一貫して最大勢力であり、野党時代の 1994 年改正の際も含め、その主張が実現した側であることはその重要性を端的に示している。

政治資金制度のあるべき姿についての議論が近年再び社会的関心を集める中、こうした問題点を解消し、実務家の認識や行動様式を踏まえた現実的な政治資金制度理解を図ることが本研究の目的であった。

２．研究方法

研究の方法としては、質的な資料を主に活用した。公開資料（議会議事録、行政文書・刊行物、一般出版物など）の購入・収集に加え、未公開資料（未公刊の個人所蔵資料、関係者インタビュー調査など）の収集を行った。これら一次史料とあわせ、メディア報道や政治評論をはじめとする二次史料の収集も併せて行った。

その上で、上記１に示した各課題につき、それぞれ以下のような手順で研究を行った。

①立法過程・法案審議段階における議員言説の収集・分析

法案審議時の発言議員の所属党派を記しながら公開議事録の記載内容を再整理するとともに、経歴や役職・思想・資金事情等の背景について、公開・未公開資料の収集・分析も交えて必要情報を補足した。

②規制消極派議員の言説抽出・分析

節目となる政治資金法改正や同法違反事件に際しての特筆すべき抵抗、難色、苦言、反論の類を、報道されていないものも含め上記①と同様の手法で整理した。

３．研究成果

(1) 政治資金規正法の制定時の論争の解明

1948 年成立当初の政治資金規正法は、個別には、現在よりも規制対象団体が広い、約束があっただけでも収支とみなされるなどの厳しい部分や、団体種別によっては要報告となる個別収支の下限が高い、政治家個人の資金捕捉が限定されているなどの緩やかな部分が併存していたが、収支報告の方法など骨格は形成されつつあったことが明らかとなった。あわせて、主要な先行研究の全てにおいて一部誤りが見られることも発見された。無産政党とその支持母体である労働組合の活動に対して厳しい案であり、反対の中での可決であったが、一部の保守系議員が、規正法における金銭移動の評価の在り方について、商慣行とも比較しながら違和感を表明していたことも明らかとなった。成果物としては、雑誌論文１点を得た。

(2) 1994 年規正法改正時の論争の予備的研究

政治家個人の資金団体への企業・団体献金を禁じた非自民連立政権側の提出法案に対し、野

党・自民党議員は、政治家個人の資金団体への企業・団体献金の維持を求め、質疑や、対案提出・答弁を行っていた。その際、地方議員や議員一般の政治活動の自由、個人献金拡大の展望のなさや弊害、企業献金の非営利性、表現の自由の一環としての献金の意義等が主張されたことが明らかとなった。残された課題は、これらの主張が生成された背景事情を各人毎に調査することである。成果物としては、学会報告１点を得るとともに、研究継続中である。

(3) 鳩山由紀夫政権における政治資金危機管理の検証

2009 年に成立した鳩山由紀夫政権では、鳩山首相や与党・民主党の小沢一郎幹事長とその周辺等に政治資金規正法違反容疑が取りざたされた。こうした法務・会計リスクにつき鳩山政権は、検察の独立性尊重の明言、検察捜査への協力、法務大臣の人事などで融和的な態度を示す一方、政権の実績や民主的正統性を強調して対抗し、また企業・団体献金の禁止を訴えることで刷新感を打ち出したが、政治日程の節目に重なるように疑惑報道や検察による摘発が続き、政権は大きく体力を削がれたことが明らかとなった。政権側も、野党自民党も、政治資金規制を支持する立場からの発言が続き、規制強化論を前提とした言論空間・政治文化を形成させたことが示唆された。成果物としては、雑誌論文１点と共著書１点を得た。

(4) 2024 年規正法改正時の論争の基礎的研究

2024 年 11 月から 12 月にかけての臨時国会の同法改正審議における出席者の委員会発言を検証し、自民党側が、1994 年法案審議時と同様の論点を引き合いに出し、積極的な企業献金擁護を行ったが、肝心な部分で反論の機会を自ら逃したり、反論をしても無視されたままになる場面も見られたことを明らかにした。成果物としては、学会報告１点を得るとともに、投稿作業中である。

総じて、規制積極派の議員には自縄自縛の傾向があり、政権の役職に就いた際などには危機管理に失敗した事例があることや、規制消極派の議員であっても規制消極論の歴史的蓄積を十分に継承できていない場面が多いことが明らかとなった。現実に即した制度設計や危機管理を行うにあたって今後の不安定要因になり得る旨を示唆するものであった。

なお、地域における波及効果としては、所属大学における公開講座の実施に際し、近年の富山県における事例を参照して政治資金制度の実態や有権者の建設的な理解を促す講演内容の作成に効果があった。

４．今後の展望

今後の課題としては、上記３の一部項目における継続調査・成果発表のほか、本研究で着手できなかった、1960 年代後半の規正法改正の試み、1974 年規正法改正の過程、21 世紀において逮捕事例が増加した各政治資金規正法違反事件など、主要な法改正や事件・政治イベントの検証

が残されている。これら主要な事例・転換点についての検証が出揃うことで、現行制度とその運用史についての総合的理解と、理解可能かつ持続可能な政治資金制度の構築に資することができると考える。

また、選挙管理・政治資金規制についての比較研究や国際交流、政治資金データや改革積極・反対言説のアーカイブス化、政治資金関連事件や選挙抗争の舞台のツーリズムあるいはダークツーリズムコンテンツ化、政治教育や教育ツーリズムへの活用についても今後の検討課題である。

５．参考文献

１．杣正夫『日本選挙制度史』（九州大学出版会、1986 年）。

２．田中宗孝『政治改革六年の道程』（ぎょうせい、1997 年）。

３．岩崎正洋「政治資金・腐敗防止」佐々木毅編『政治改革 1800 日の真実』（講談社、1999 年）。

４．岩井奉信「細川内閣」（前掲、佐々木編『政治改革 1800 日の真実』所収）。

５．吉田健一『「政治改革」の研究』（法律文化社、2018 年）。

６．岡﨑晴輝『新しい政治改革へ』(法政大学出版局、2024 年)。

７．三角政勝「収支報告書の不記載等問題を踏まえた政治資金制度の見直し：政治資金規正法の改正と主な国会論議」『立法と調査』469 号（2024 年）。

８．竹内彰志『政治資金規正法』（中央公論新社、2025 年）。

９．三角政勝「政治資金制度の見直しに関する国会論議(1)：令和 6 年 12 月の政治資金規正法改正と第三者機関の検討」『立法と調査』476 号（2025 年）。

10．三角政勝「政治資金制度の見直しに関する国会論議(2)：第 217 回国会における企業・団体献金等に関する議論」『立法と調査』478 号（2025 年）。

11．吉田龍太郎「鳩山由紀夫政権と政治資金問題 ―民主的正統性と法務・会計リスクのはざまで― 」『政治社会論叢』10 号（2025 年）。

12．吉田龍太郎「政治資金規正法と政治活動の自由 ―制定時の議論を振り返る―」『近代日本研究』42 巻（2026 年）。

13．吉田龍太郎・奥健太郎・小宮京・濱本真輔「鳩山由紀夫政権：二〇〇九年～二〇一〇年」奥健太郎・中島政希 編『民主党史：一九九六～二〇一七』（ミネルヴァ書房、2026 年）。

研究題目	精神障害者の加害行為に関する家族及び精神科医の不法行為責任
機関名	高岡法科大学
研究代表者	法学部法学科・講師・松本幸治
分野	民法
キーワード	不法行為責任、精神障害、監督義務、保護義務、責任能力

１．研究の背景と目的

加害行為の時に責任無能力の状態にあった精神障害者は、故意又は過失によって一時的にその状態を招いた場合を除き、不法行為責任を負わない（民法 713 条）。他方、精神障害者が同条によって免責された場合には、その精神障害者を監督する法定の義務を負う者は、その義務を怠らなかったとき、又はその義務を怠らなくても損害が生ずべきであったときを除き、その精神障害者が第三者に加えた損害を賠償する責任を負う（民法 714 条 1 項）。

従来、精神障害者の法定監督義務者は、①精神障害者に関する特別法上の保護者（精神病者監護法における「監護義務者」から精神衛生法及び精神保健法における「保護義務者」、同法及び精神保健福祉法における「保護者」へと変遷した後、平成 25 年同法改正により廃止された。）、②成年後見人（平成 11 年民法改正前は禁治産後見人）であるとされていたが、最判平成 28 年 3 月 1 日民集 70 巻 3 号 681 頁（以下「平成 28 年判例」という。）は、平成 11 年精神保健福祉法改正により保護者の精神障害者に対する自傷他害防止監督義務が廃止されたこと及び平成 11 年民法改正により禁治産後見人の禁治産者に対する療養看護義務が成年後見人の成年被後見人に対する身上配慮義務に改正されたことから、保護者及び成年後見人の法定監督義務者性を否定した。同判例により、未成年の精神障害者については親権者又は未成年後見人が法定監督義務者となるものの、成年の精神障害者については法定監督義務者が現行法上存在しないことになった。

もっとも、平成 28 年判例は、「法定の監督義務者に該当しない者であっても、責任無能力者との身分関係や日常生活における接触状況に照らし、第三者に対する加害行為の防止に向けてその者が当該責任無能力者の監督を現に行いその態様が単なる事実上の監督を超えているなどその監督義務を引き受けたとみるべき特段の事情が認められる場合には、衡平の見地から法定の監督義務を負う者と同視してその者に対し民法 714 条に基づく損害賠償責任を問うことができるとするのが相当であり、このような者については、法定の監督義務者に準ずべき者として、同条 1 項が類推適用されると解すべきである」とし、法定監督義務者の不存在を準法定監督義務者で補っているが、準法定監督義務者に該当する者やその監督義務の範囲が判然とせず、これらの点については今後の裁判例に委ねられることになった。

他方、平成 28 年判例以前の裁判例では、精神障害者の家族のみが法定監督義務者や事実上の

監督者としての責任を認められていたところ、家族に過度な責任を課すべきでないとの反対論ないし慎重論も少なくなかった。家族以外の者で精神障害者の加害行為に関する不法行為責任を負うべき者としては、精神障害者の治療に当たっていた精神科医が考えられるが、精神障害者が外来患者（非入院患者）である場合には精神科医が責任を追及されることはなかった。しかしながら、法定監督義務者に該当する者が存在せず、準法定監督義務者に該当する者も判然としない現状においては、精神科医の責任が今後追及されることも十分に考えられよう。

本研究は、成年かつ外来（非入院）の精神障害者の加害行為につき、準法定監督義務者ないし監督義務者に該当する者及びその監督義務の範囲を検討すると共に、精神科医の不法行為責任が認められる場合についても検討するものとする。

２．研究方法

家族の不法行為責任については、平成 28 年判例及びその後の裁判例を分析して、準法定監督義務者ないし監督義務者に該当する者及びその監督義務の範囲を検討する。一方で、精神科医の不法行為責任については、精神科医の保護義務に関するカリフォルニア州の判例及び制定法を調査して、精神科医の不法行為責任が認められる場合を検討する。

３．研究成果

1　家族の監督義務違反による不法行為責任

(1) 準法定監督義務者性

平成 28 年判例は、「ある者が、精神障害者に関し、このような法定の監督義務者に準ずべき者に当たるか否かは、①その者自身の生活状況や心身の状況などとともに、②精神障害者との親族関係の有無・濃淡、同居の有無その他の日常的な接触の程度、精神障害者の財産管理への関与の状況などその者と精神障害者との関わりの実情、③精神障害者の心身の状況や日常生活における問題行動の有無・内容、④これらに対応して行われている監護や介護の実態など諸般の事情を総合考慮して、その者が精神障害者を現に監督しているかあるいは監督することが可能かつ容易であるなど衡平の見地からその者に対し精神障害者の行為に係る責任を問うのが相当といえる客観的状況が認められるか否かという観点から判断すべきである。」（番号は筆者による。）と判示しているところ、上記①から④の考慮事由のうちどれを重視しているかという視点から、同判例及びその後の裁判例による準法定監督義務者性の判断基準を検討しよう。

(a) 準法定監督義務者性を判断した判例及び裁判例

平成 28 年判例は、認知症によって責任無能力の状態にあった A（91 歳、男性）が家族の知らないうちに一人で外出し、旅客鉄道事業を営む X 社（JR 東海）の駅構内の線路に立ち入り X 社の運行する列車に衝突して死亡し、列車の遅延損害を発生させた事故につき、X 社が Y1（85 歳、A の妻）及び Y2（A の長男）に対して民法 709 条又は 714 条に基づく損害賠償を請求した事案である。

同判決は、Y1 の準法定監督義務者性につき、これを肯定すべき事由として、Y1 が長年 A と

同居していた妻であり、Y2、B（Y2 の妻）及び C（Y2 の妹）の了解を得て A の介護に当たっていたこと（考慮事由②④）、A が要介護 4 の認知症患者であったこと（考慮事由③）を挙げ、他方、これを否定すべき事由として、Y1 が 85 歳で左右下肢に麻痺拘縮があり要介護 1 の認定を受けており、A の介護も B の補助を受けて行っていたこと（考慮事由①）、A が本件事故前に一人で外出して行方不明になったのは 2 回だけであったこと（考慮事由③）を挙げた上で、Y1 を準法定監督義務者とは認めなかった。また、Y2 の準法定監督義務者性につき、これを肯定すべき事由として、Y2 が A の長男であり、A の介護に関する話合いに加わり、妻 B が Y1 による A の介護を補助していたこと（考慮事由②）を挙げ、他方、これを否定すべき事由として、Y2 が 20 年以上も A と同居しておらず、本件事故直前の時期においても 1 箇月に 3 回程度しか A 宅を訪ねていないことを挙げた上で、Y2 を準法定監督義務者とは認めなかった。

東京地判令和 2 年 1 月 30 日（平成 30 年（ワ）第 1180 号：Westlaw Japan 文献番号 2020WLJPCA01308029）は、X1 が東京都台東区に所在する a ビル 4 階の 401 号室を Y から賃借して X2 と共に居住していたところ、a ビル 1 階の 101 号室に居住していた統合失調症患者である A（女性）が X2 に対して暴行を加え、顔面打撲、右前腕打撲及び右手関節打撲の傷害を負わせた事件につき、X2 が Y（A の兄）に対して不法行為（民法 714 条 1 項の類推適用）に基づく損害賠償を請求した事案である（なお、X1 は、A が郵便物抜き取り、暴言、威嚇及び騒音によって X1 の本件 401 号室の使用を妨げていたにもかかわらず、Y が妨害排除義務の履行を怠ったとして、Y に対して債務不履行に基づく損害賠償を併せて請求した。）。

同判決は、Y の準法定監督義務者性につき、これを肯定すべき事由として、Y が A の兄であり、A と同じ東京都台東区内に居住していること等（考慮事由②）を挙げ、他方、これを否定すべき事由として、A の居住する a ビルに約 14 年間居住していないこと（考慮事由②）、Y が A の統合失調症の罹患及び X らに対する加害行為の可能性を認識していなかったため、そもそも A を監督していなかったこと（考慮事由④）を挙げた上で、Y を準法定監督義務者とは認めなかった。

福岡高判令和 2 年 5 月 27 日（令和元年（ネ）第 661 号：Westlaw Japan 文献番号 2020WLJPCA05276002）は、統合失調症及び精神発達遅滞（中等度）によって責任無能力の状態にあった B（42 歳、男性）が、本件マンション 2 階の北側廊下において、階下につながる非常階段に背中を向けた A（本件マンションの管理人）の正面から、A を両手で突き飛ばして転落死させた事件につき、A の子である X1 及び X2 が、B の両親である Y1（79 歳）及び Y2（74 歳）に対し、民法 714 条 1 項又は同条項の類推適用に基づく損害賠償を請求した事案である。原審判決である大分地判令和元年 8 月 22 日判時 2443 号 78 頁が請求を棄却したため、X2 が控訴した。

控訴審判決は、Y1 及び Y2 の準法定監督義務者性につき、これを肯定すべき事由として、Y1 及び Y2 が B の両親であり、本件マンションで B と同居してその日常の世話をして、B の財産の管理をもしていたこと（考慮事由②）を挙げ、他方、これを否定すべき事由として、Y1 及び Y2 が高齢であることや Y1 及び Y2 と B との間に明らかな体力差があること、B が Y1 及び Y2

に対して度重なる暴力行為に及んでいることから、Y1 及び Y2 の B に対する監督には限界があったこと（考慮事由①）を挙げた上で、Y1 及び Y2 を準法定監督義務者とは認めなかった。なお、B が Y1 及び Y2 に対して頻繁に暴力行為を行っていたこと（考慮事由③）については、Y1 及び Y2 に対する暴力行為とそれ以外の第三者に対する暴力行為とを同視することは相当でないとし、また、Y1 及び Y2 が B の施設入所に関する医師の勧めを拒否したこと、本件事故の直近の入院時に Y1 及び Y2 の希望を受けて B が退院に至ったこと、Y1 及び Y2 が玄関に南京錠をかけていたこと（考慮事由④）については、B の第三者に対する暴力行為の防止に向けたものではないとして、これらを重視しないものとした。

（b）検討

現時点では、検討の対象となる判例・裁判例が少ない上に、準法定監督義務者性を否定した判例・裁判例しか存しないため、準法定監督義務者の実態を正確に把握することはできないが、上記の判例・裁判例を見る限り、準法定監督義務者性が認められるためには、少なくとも、精神障害者の監護や介護に当たっている同居の家族であることが必要であるといえよう。ただ、そのような家族であっても、その生活状況や心身の状況により精神障害者の第三者に対する加害行為を防止することが困難な場合には、準法定監督義務者性が否定されることになる。

上記の判例・裁判例は、いずれも考慮事由①に関する準法定監督義務者性の肯定事由が存しない事例であることも注目に値する。すなわち、上記の肯定事由の存在が準法定監督義務者性の判断に如何なる影響を与えるのかについては、現時点では不明であると言わざるを得ないが、平成 28 年判例の Y1 及び前掲福岡高判令和 2 年 5 月 27 日の Y1・Y2 の準法定監督義務者性が否定された主な理由が、考慮事由①が準法定監督義務者性を否定する事由となったことにあることからすれば、考慮事由②と共に考慮事由①が準法定監督義務者性の判断に重要な役割を果たしているものと思われる。

前掲福岡高判令和 2 年 5 月 27 日は、第三者以外の者（準法定監督義務者としての責任を追及されている被告など）に対する加害行為や第三者に対する加害行為の防止を目的としない監護・介護につき、準法定監督義務者性を肯定する事由（考慮事由③④）として重視しない旨判断したところ、この判断は、「第三者に対する加害行為の防止に向けてその者が当該責任無能力者の監督を現に行いその態様が単なる事実上の監督を超えている」（下線は筆者による。）という平成 28 年判例の文言を厳格に解釈した結果であろうが、狭きに失すると言わざるを得ない。

なお、大阪地判令和 4 年 10 月 25 日判時 2592 号 87 頁は、統合失調症によって限定責任能力の状態にあった Y2（24 歳、男性）が、深夜に近隣住民宅に侵入して就寝中の一家 4 名を短刀で切りつけるなどして A を殺害し、X2・X3・X4 を負傷させた殺人及び殺人未遂事件につき、被害者及びその親族である原告 7 名（X1～X7）が Y1（47 歳、Y2 の母親）及び Y2 に対して共同不法行為（民法 709 条又は 719 条）に基づく損害賠償を請求した事案において、「成人の精神障害者の同居の親について、精神障害者の在宅治療の選択及び専門家の排除等の先行行為、精神障害者の心身の状況や日常生活における問題行動の有無・内容等の予見可能性、同居の親の心身の状況及び精神障害者との関わりの実情等の監督可能性（結果回避可能性）がある場合には、単な

る事実上の監督を超えてその監督義務を引き受けたとみるべき特段の事情が認められ、その者に対し、当該精神障害者の行為に係る責任を問うのが相当といえる客観的状況が認められるといえるから、精神障害者の同居の親の監督義務（注意義務）が認められ、さらに、当該監督義務違反と精神障害者の不法行為によって生じた結果との間に相当因果関係を認め得るときは、その者について、民法 709 条に基づく不法行為が成立すると解するのが相当である。」と判示したところ、この内容が準法定監督義務者の判断基準に類似している点も注目に値する。これを準法定監督義務者性について判断したものと解すれば、民法 709 条と民法 714 条のいずれにおいても責任主体（監督義務者）性の判断基準に差異がないことになるが、判例評釈では見解が分かれている。

（2）準法定監督義務者の監督義務

準法定監督義務者性が争われなかった裁判例が 1 件あり、同判決では準法定監督義務者の監督義務の内容及びその履行の有無について判断をしている。

東京地判令和 5 年 9 月 20 日（令和 2 年（ワ）第 24158 号：Westlaw Japan 文献番号 2023WLJPCA09208002）は、統合失調症によって責任無能力の状態にあった A（42 歳ないし 43 歳、男性）とその準法定監督義務者である Y（A の母親）とが 2 人で居住している本件アパート 5 階の 506 号室から、X が居住している本件アパート 4 階の 406 号室へと水漏れが発生し、これを迷惑に感じた X が、506 号室を訪問して当時在宅していた A に対し、侮辱的言辞を交えた執拗な苦情を述べたり挑発的な発言をしたりしたところ、X が A から暴行を受け、全身打撲、左大腿打撲傷及び頚部打撲の傷害を負った事件につき、X が Y に対して民法 714 条 1 項本文又は同法 709 条に基づく損害賠償を請求した事案において、「民法 714 条 1 項ただし書前段の要件充足の有無すなわち『監督義務者がその義務を怠らなかった』といえるかどうかの判断に当たり、監督義務の内容及びその履行の有無については、事案に応じて具体的に検討すべきである。そして、同検討に当たっては、①責任無能力者の生活全般についてその身上を監護し教育すべき義務としての一般的な監督義務の観点と、②責任無能力者による加害行為の態様・性質等に即したものとして、危険発生の予見可能性がある状況下で権利侵害の結果を回避するために必要とされる行為をすべき義務としての具体的な監督義務の観点の双方から検討するのが相当と思料する。」と判示した上で、Y は A に対する一般的な監督義務（他害行為に及ばないよう日頃から指導監督する義務）及び具体的な監督義務（本件不法行為を防止するために必要な措置を執る義務）を負っていたにもかかわらず、これらの監督義務を履行したとは認められないから、Y が A に対する監督義務を怠らなかったということはできないと判示した。

同判決における民法 714 条 1 項ただし書前段の要件充足の有無に関する規範は、最判平成 27 年 4 月 9 日民集 69 巻 3 号 455 頁（親権者が民法 714 条 1 項の監督義務者としての義務を怠らなかったとされた事例）の調査官解説で示されたもの（菊池絵理「判解」法曹時報 70 巻 3 号 972 頁（2018 年））と同じであるから、監督義務の内容とその履行の有無に関して、親権者と精神障害者の準法定監督義務者とを区別しないことになる。

実際に、Y は、A が他害行為に及ばないよう日頃から指導・監督する義務（一般的監督義務）

及び A の本件不法行為を防止するために必要な措置を執る義務（具体的監督義務）の双方を負っていたと認められているところ、これらの義務は、親権者の未成年者に対する日頃のしつけや教育を行う義務（一般的監督義務）及び当該不法行為を防止する義務（具体的監督義務）と同様である。

具体的監督義務は、一般不法行為（民法 709 条）における結果回避義務と同様であるから、具体的監督義務の内容について親権者と準法定監督義務者とを区別しないことには異論がない。ただ、親権者の一般的監督義務としてのしつけや教育は、親子間に「力の差」があることや相手方である未成年者が成長途上にあること等を前提とするものであり、このような一般的監督義務（日頃の指導・監督）を成人の精神障害者を相手方とする準法定監督義務者にまで認めるべきかについては、議論の余地があろう。

2　精神科医の保護義務違反による不法行為責任

アメリカ法では、精神障害を理由とした不法行為責任（懲罰的損害賠償責任を除く。）の免責を認めないのが一般的であり、例えば、カリフォルニア州民法典 41 条は、「精神障害者は、精神障害の程度にかかわらず、自らの不法行為について民事責任を負うが、その行為の時にその行為が不法であることを認識する能力があった場合を除き、懲罰的損害賠償責任を負わない。」と定めている。すなわち、アメリカ法には、民法 713 条のような規定がないのであるが、精神障害者の加害行為について他者が不法行為責任を負うべき場合がある。

（1）タラソフ事件判決とカリフォルニア州民法典 43.92 条

アメリカ法は、原則として、ある者が他者の行為を制御・監督する義務（duty to control）及び他者の行為によって危険にさらされる者に対して警告する義務（duty to warn）を認めていない。ただし、被告が行為を制御・監督される必要のある者（危険をもたらす者〔person posing risks〕）又はその行為の予見可能な被害者（潜在的な被害者）のいずれか一方と「特別な関係」（special relationship）にある場合には、上記の例外として取り扱われる。第三次不法行為法リステイトメント 41 条(b)(4)では、危険をもたらす者と「特別な関係」があると認められる者として精神保健専門職（mental-health professional）が挙げられているところ、これを初めて認めた判例は、タラソフ事件判決と呼ばれるカリフォルニア州最高裁判決（*TARASOFF v. REGENTS OF UNIVERSITY OF CALIFORNIA* 551 P.2d 334（Cal. 1976））である。

タラソフ事件の概要は、次の通りである。

1969 年 8 月、カリフォルニア大学バークレー校の学生であるプロセンジット・ポダーは、任意の外来患者として、同校のコーウェル記念病院に勤務する心理学者ローレンス・ムーアの治療を受けていた。ポダーは、ムーアに対し、タチアナ・タラソフと容易に特定できる女性を殺害するつもりだと伝えたため、ムーアは、観察のためにポダーを精神病院に収容すべきだと判断して、大学警察の巡査らに対して収容を要請する旨を口頭で通知し、その後、警察署長に対してポダーを収容するために警察の協力を要請する旨の手紙を送った。ポダーを拘束した警官らは、ポダーが正気であると確信したので、タチアナに近づかないとの約束をしたポダーを釈放したが、ポダ

ーは、1969 年 10 月 27 日にタラソフを殺害した。

タラソフの両親は、治療者側被告として心理学者（psychologist）のムーア医師、ムーア医師の判断に同意した精神科医（psychiatrist）のゴールド医師とヤンデル医師及びポダーを収容しないようスタッフに指示した精神科部長のパウエルソン医師、警察側被告として巡査 4 名及び警察署長、彼らの使用者であるカリフォルニア大学理事会に対して損害賠償を請求した。

これに対して、カリフォルニア州最高裁は、「治療者は、自己の患者が他者に対して重大な暴力の危険をもたらすと判断した、又はその専門職の基準に従ってそう判断すべきであった場合には、そのような危険から標的とされた被害者を保護するために合理的な注意を尽くす義務を負う。その義務の履行に当たって、治療者は、その事案の性質に応じて、一つ以上の様々な措置を講じる必要がある。例えば、治療者は、標的とされた被害者若しくはその被害者にその危険を知らせるであろう者に警告すること、警察に通報すること、又はその状況下で合理的に必要とされる他の措置を講じることが求められる。」（*TARASOFF v. REGENTS OF UNIVERSITY OF CALIFORNIA* 551 P.2d 334, 340（1976））と判示し、精神科医の保護義務及びその違反による不法行為責任の存在を認めた（破棄・差戻し）。

その後、カリフォルニア州議会は、タラソフ事件判決を受けてカリフォルニア州民法典 43.92 条を定めた。同条(a)は、「証拠法典 1010 条に定義されている心理療法士に該当する者は、患者の暴力行為の脅威から保護することを怠った場合又は患者の暴力行為を予測して保護することを怠った場合であっても、金銭的な責任を負わず、当該心理療法士に対する訴訟原因も生じない。ただし、患者が合理的に特定可能な被害者に対する身体的暴力についての重大な脅威を当該心理療法士に伝えているときは、この限りでない。」とし、同条(b)は、「心理療法士は、前項に規定する限定的な状況下において、その脅威を被害者及び法執行機関に伝える合理的な努力をすることによって保護義務を履行した場合には、金銭的な責任を負わず、当該心理療法士に対する訴訟原因も生じない。」としている。

なお、ここにいう心理療法士（psychotherapist）には、「いずれかの州又は国で医学を実践することを許可された者であり、かつ、精神医学の実践に相当な時間を費やしている者又は患者によって精神医学の実践に相当な時間を費やしている者であると合理的に信じられている者」（カリフォルニア州証拠法典 1010 条(a)）、「ビジネスと専門職に関する法典第 2 編第 6.6 章（第 2900 条から始まる）に基づく心理学者の免許を受けた者」（同条(b)）、「ビジネスと専門職に関する法典第 2 編第 14 章（第 4991 条から始まる）に基づく臨床ソーシャルワーカーとして免許を受けた者であり、かつ、非医学的な性質の応用心理療法に従事している者」（同条(c)）などが含まれる。

カリフォルニア州民法典 43.92 条は、タラソフ事件判決に比べて精神科医の保護義務違反による不法行為責任を一定の範囲に制限したものといえる。

同条(a)は、「患者が合理的に特定可能な被害者に対する身体的暴力についての重大な脅威を当該心理療法士に伝えているとき」という要件を定めているが、この要件は、「自己の患者が他者に対して重大な暴力の危険をもたらすと判断した、又はその専門職の基準に従ってそう判断す

べきであった場合」というタラソフ事件判決が示した要件に比べて、保護義務違反による不法行為責任が成立する場面を狭めている。すなわち、この条項によって、精神科医の保護義務違反による不法行為責任が成立し得るのは、タラソフ事件と同様の事案に限定されたのである。

また、同条(b)は、履行すべき保護義務を「その脅威を被害者及び法執行機関に伝える合理的な努力をすること」としており、タラソフ事件判決が示した保護義務のうち「被害者にその危険を知らせるであろう者に警告すること」及び「その状況下で合理的に必要とされる他の措置を講じること」を除外した上、被害者本人への警告と警察（法執行機関）への通報についても合理的な努力をすれば足りるものとしている。これによって、履行すべき保護義務が限定されたのであるから、保護義務違反による不法行為責任が成立する場合も限定されたといってよい。

（2）検討

タラソフ事件判決における「治療者は、自己の患者が他者に対して重大な暴力の危険をもたらすと判断した、又はその専門職の基準に従ってそう判断すべきであった場合には、そのような危険から標的とされた被害者を保護するために合理的な注意を尽くす義務を負う。」という判示内容は、民法 709 条における過失の前提となる注意義務、すなわち結果の発生を予見して回避すべき注意義務（予見可能性と結果回避義務）の一内容とみることができるから、民法 709 条に基づいて精神科医の保護義務違反による不法行為責任を認めることは、それほど難しいことではない。

他方で、カリフォルニア州民法典 43.92 条のように、保護義務（注意義務）の発生を「患者が合理的に特定可能な被害者に対する身体的暴力についての重大な脅威を当該心理療法士に伝えているとき」に限定することや、保護義務違反（過失）を「その脅威を被害者及び法執行機関に伝える合理的な努力をすること」を怠ったときに限定することが、民法 709 条の過失との関係で認められるか、という点は問題となろう。なぜなら、精神障害者の加害行為について家族が民法 709 条に基づく不法行為責任を負う場合の過失（監督義務違反）との不均衡、すなわち精神医学の専門的知見を有していない家族の注意義務（監督義務）の方が精神医学の専門家である精神科医の注意義務（保護義務）よりも重くなってしまうという「逆転現象」が生じてしまうからである。実際に、家族の民法 709 条に基づく不法行為責任が認められた裁判例（前掲大阪地判令和 4 年 10 月 25 日）では、家族（同居の母親）の過失（監督義務違反）がカリフォルニア州民法典 43.92 条の過失（保護義務違反）の範囲よりもはるかに広く捉えられていた。精神科医の保護義務違反による不法行為責任をわが国の不法行為法に取り入れるのであれば、この問題を看過することはできないであろう。

4．今後の展望

今後、家族の監督義務違反による不法行為責任については、民法 709 条と民法 714 条とで責任主体（監督義務者）性の判断基準に差異があるといえるか、あるいはこれに差異を設けるべきかという観点から、上記責任の根拠を民法 709 条に統一すべきか否かについて研究する。

他方、精神科医の保護義務違反による不法行為責任については、家族の過失（監督義務違反）

と精神科医の過失(保護義務違反)との間に不均衡が生じるという前記の問題について研究する。アメリカ法では、精神障害者の加害行為について家族は原則として不法行為責任を負わないため、このような不均衡が生じないことを踏まえると、民法 709 条によるか民法 714 条 1 項類推適用によるかにかかわらず、家族の監督義務違反による不法行為責任を認めること自体が適切でない可能性もあり得るから、成年かつ外来（非入院）の精神障害者の加害行為に関する本人以外の責任主体を家族から精神科医又は精神病院へと変えることも視野に入れた研究を行いたいと考えている。

５．参考文献

１．松下正明ほか編『民事法と精神医学』（中山書店、2005 年）
２．飯塚和之『民事責任の諸相と司法判断』（尚学社、2012 年）
３．樋口範雄『アメリカ不法行為法〔第 2 版〕』（弘文堂、2014 年）
４．大塚直編『新注釈民法（16） 債権（9)』（有斐閣、2022 年）
５．窪田充見編『新注釈民法（15） 債権（8）〔第 2 版〕』（有斐閣、2024 年）
６．菊池絵理「判解」法曹時報 70 巻 3 号 963 頁～980 頁（2018 年）
７．松本幸治「責任能力のない精神障害者の他害行為による監督義務者の責任―精神障害者における民法 714 条の意義―」法学研究年報 49 号 172 頁～123 頁（2019 年）
８．久須本かおり「判批」私法判例リマークス 71 号 50 頁～53 頁（2025 年）
９．酒巻修也「判批」別冊 NBL193 号 71 頁～74 頁（2025 年）
10. THE AMERICAN LAW INSTITUTE, RESTATEMENT OF THE LAW THIRD TORTS（Volume1, 2010）
11. THE AMERICAN LAW INSTITUTE, RESTATEMENT OF THE LAW THIRD TORTS（Volume2, 2012）

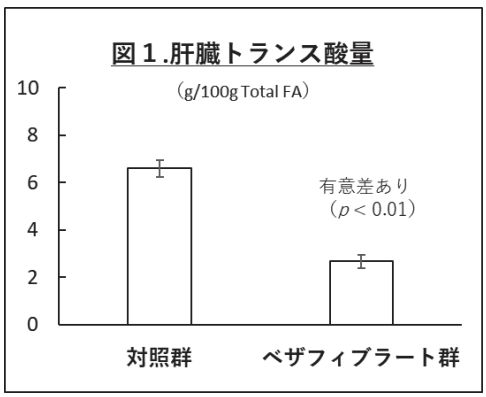
研究題目	エゴマ葉に含まれるロスマリン酸の脂質代謝改善作用について
機関名	富山短期大学
研究代表者	食物栄養学科・教授・竹内弘幸
分野	食品栄養学
キーワード	トランス脂肪酸、生活習慣病、ペルオキシソーム

１．研究の背景と目的

トランス脂肪酸は、食品中に含まれる脂肪酸の一種である。加工した油脂（部分水素添加油脂）、高温で精製した食用油、一部の天然油脂に含まれる脂肪酸であり、その摂取による心臓病リスクの上昇が国際的に大きな問題となっている。WHO（世界保健機関）は、世界で年間最大 50 万人がトランス脂肪酸の摂取に起因する心疾患で死亡していると推定しており、国際的に摂取削減が強く推奨されている[1)]。しかし、日本国内では、平均的な摂取量が低く、健康への影響が小さいと考えられることから、トランス脂肪酸に関する表示義務や摂取規制が存在せず、日常生活において摂取を完全に抑えることは現実的に困難である。そこで本研究では、”体内でのトランス脂肪酸分解の促進”という新たな視点に基づく栄養学的アプローチを試みた。

トランス脂肪酸は、主に脂肪酸代謝を担うミトコンドリアでは分解されにくい。一方、脂肪酸はもう一つの代謝器官であるペルオキシソームでも分解される[2)]。ペルオキシソームは、極長鎖脂肪酸や通常のミトコンドリアで代謝されにくい特殊な構造を持つ脂肪酸の初期分解（β酸化）を担う細胞小器官であり、トランス脂肪酸の代謝においても重要な役割を果たす可能性が考えられる。このペルオキシソームの機能を活性化するのが、細胞核内受容体であるペルオキシソーム増殖因子受容体（PPAR）である。一方、シソ科植物であるエゴマの葉には、ポリフェノールの一種であるロスマリン酸が豊富に含まれている。近年の研究から、ロスマリン酸には PPAR の活性化作用をはじめ[3)]、抗酸化作用[4)]や脂質代謝改善作用[5)]があることが報告されている。

そこで本研究では、ロスマリン酸を含むエゴマ葉の摂取により、PPAR を介してペルオキシソーム活性が上昇し、体内のトランス脂肪酸分解が促進されるか否かについて、動物実験による検証を試みた。本研究の着想は、先行して実施したベザフィブラートを用いた予備実験に基づいている。PPAR のアゴニストであり、ペルオキシソームの脂肪酸分解系を強力に活性化する薬剤であるベザフィブラートを、トランス脂肪酸高食負荷ラットに投与したところ、肝臓および脂肪組織中のトランス脂肪酸蓄積量が有意に低下した（図１）。この結果は、ペルオキシソームの活



性化がトランス脂肪酸の代謝促進に有効である可能性を強く示唆している。

さらに、本研究は地域課題の解決にも直結すると考えられる。現在、富山市では地域ブランド「富山えごま」の育成が進められており、栽培から加工・販売までを一体的に推進する 6 次産業化が活発に行われている。本研究により、エゴマ葉のトランス脂肪酸代謝促進作用が科学的に裏付けられれば、地域ブランドの付加価値向上と消費促進に大きく貢献できる。

以上のように、本研究はトランス脂肪酸蓄積に対する新たな栄養学的対策を提示するとともに、富山県の特産資源であるエゴマの健康価値を明らかにすることで、地域の産業振興にも寄与するものである。

２．研究方法

研究を実施するために，以下の動物実験を行った。なお、本研究は、富山短期大学動物実験委員会の承認後に実施した。

(1) 動物実験及び飼育

3 週齢の雄性 Wistar 系ラットを 3 日間固形飼料で予備飼育した後に実験に用いた。28 匹のラットを低トランス脂肪酸食群、高トランス脂肪酸食群、エゴマ葉食群、ロスマリン酸食群の 4 つにランダムに分けた。飼育室の環境は、温度 23±2℃、湿度 55±15%、明期 7:00～19:00、暗期 19:00～7:00 の明暗サイクルとした。表 1 に示した実験食を 4 週間自由に摂取させた。低トランス脂肪酸食は、AIN-93G 食をベースに、大豆油 5%でコーンスターチを置き換えて添加した。高トランス脂肪酸食、エゴマ葉食群、ロスマリン酸食群においては、トランス脂肪酸を多く含む水素添加菜種油を、低トランス脂肪酸食の大豆油 5%分に替えて添加した。水素添加菜種油中のトランス脂肪酸量は、43.4ｇ/100ｇであった。

4 週間、試験食を投与した後に、組織及び血液を採取するため解剖を行った。解剖の 5 時間前に試験食を飼育ケージから取り除き、イソフルラン麻酔下にて開腹し、血液、肝臓、副睾丸周囲脂肪組織及び腎臓を採取した。肝臓サンプルは、ペルオキシソームβ酸化能を測定するため、採取後速やかに液体窒素にて凍結固定し、－80℃にて冷凍保存した。その他の分析用サンプルは、分析を行うまで-20℃にて冷凍保存した。

(2) 分析方法

肝臓、脂肪組織及び腎臓のトランス脂肪酸量を測定するため、凍結乾燥した後に脂質をクロロホルム-メタノール溶液（2：1）を用いて抽出した。抽出された脂質はケン化した後、三ふっ化ほう素メタノール錯体メタノール溶液（富士フィルム和光純薬）を用いて脂肪酸のメチル化を行った。メチル化した脂肪酸をキャピラリーガスクロマトグラフに供した。内部標準物質としてトリデカン酸を用いてトランス脂肪酸量を定量した。キャピラリーカラムは、GL サイエンス社製 TC-70（内径 0.25㎜×長さ 60m，膜厚 0.25μm)、ガスクロマトグラフは，島津製作所の GC-2010 Plus を用いた[6)]。

ペルオキシソームのβ酸化活性は、肝臓を Kim らの方法[7)]によりホモジナイズした後に、

Lazarow の方法[8]にしたがって分光光度計を用いて測定をした。血清コレステロール及び中性脂肪濃度は、オリエンタル酵母工業株式会社に分析を依頼した。

(3) 統計解析

測定データは、平均値±標準偏差で示した。4 群の平均値の差の検定は、一元配置分散分析を行った後、ボンフェローニ法により行った。危険率５％未満を有意差ありとした。統計処理は市販の統計ソフト（Statcel 4、オーエムエス出版）を用いた。

表 1　実験食組成(g/kg)

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
コーンスターチ	347.476	347.476	297.476	342.476
カゼイン	200	200	200	200
αコーンスターチ	132	132	132	132
ショ糖	100	100	100	100
大豆油	120	70	70	70
水素添加菜種油脂	0	50	50	50
セルロース	50	50	50	50
93G 塩混合	35	35	35	35
93G ビタミン混合	10	10	10	10
L-シスチン	3	3	3	3
重酒石酸コリン	2.5	2.5	2.5	2.5
TBHQ	0.024	0.024	0.024	0.024
乾燥エゴマ葉	0	0	50	0
ロスマリン濃縮末	0	0	0	5
合計	1000	1000	1000	1000

TFA：トランス脂肪酸

３．研究成果

(1)実験結果

①飼育結果

体重、飼料摂取量、臓器重量及び糞重量を表 2 に示した。初体重、終体重及び飼料摂取量において、群間で有意な差はなかった。肝臓、副睾丸周囲の脂肪組織及び腎臓重量においても、群間で有意な差は認められなかった。

②臓器中のトリアシルグリセロール量

臓器中のトリアシルグリセロール量を表 3 に示した。低トランス脂肪酸食群の肝臓トリアシ

ルグリセロール量は、他の 3 群に比べて有意に高い値を示した。エゴマ葉食及びロスマリン酸食群の脂肪組織中トリアシルグリセロール量は、低トランス脂肪酸食群と比べて有意に低い値を示した。腎臓中のトリアシルグリセロール量は、群間で有意な差は認められなかった。

表 2　体重、1 日当たりの飼料摂取量及び臓器重量（g）

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
初体重	46±4	47±4	47±4	46±4
終体重	187±10	180±15	181±11	182±8
摂取量	11.9±0.7	11.6±0.7	11.8±0.6	11.6±0.5
肝臓	7.64±0.62	7.24±1.03	7.24±0.57	7.64±0.28
脂肪組織	2.90±0.34	2.70±0.32	2.51±0.27	2.48±0.30
腎臓	1.36±0.10	1.32±0.15	1.46±0.12	1.36±0.07

平均値±標準偏差（各群 7 匹）。すべての項目において、群間で有意な差はなかった。
TFA：トランス脂肪酸

表 3　肝臓中、脂肪組織及び腎臓中のトリアシルグリセロール量(mg/組織)

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
肝臓	505±81^{b}	346±54^{a}	337±28^{a}	376±62^{a}
脂肪組織	2669±296^{b}	2393±304^{ab}	2202±256^{a}	2202±278^{a}
腎臓	40±14	33±5	32±2	34±3

平均値±標準偏差（各群 7 匹）。異なる上付き文字を付与した群間で有意差あり。
TFA：トランス脂肪酸

③臓器中のトランス脂肪酸量

臓器中のトランス脂肪酸量を表 4 に示した。低トランス脂肪酸食群の肝臓、脂肪組織及び腎臓中のトランス脂肪酸量は、他の 3 群と比較して有意に低い値を示した。

一方、高トランス脂肪酸食を基本とした 3 群間（高トランス脂肪酸食群、エゴマ葉食群、ロスマリン酸食群）において、肝臓、脂肪組織、および腎臓中のトランス脂肪酸量に有意な差は認められなかった。

④肝臓ペルオキシソームのβ酸化能

肝臓のペルオキシソームβ酸化能を表 5 に示した。肝臓中のペルオキシソームβ酸化の比活性は、すべての群間で有意な差はなかった。全肝臓当たりの活性も、同様にすべての群間で有意な差は認められなかった。

⑤血清脂質濃度

血清脂質濃度を表６に示した。血清総コレステロール濃度は、すべての群間で有意な差はなかった。血清 LDL－コレステロール濃度は、ロスマリン酸食群において、高トランス脂肪酸食と比較して有意に高い値を示した。HDL-コレステロール濃度は、すべての群間で有意な差はなかった。LDL-コレステロール濃度と HDL-コレステロール濃度の比は、ロスマリン酸食群において、高トランス脂肪酸食と比較して有意に高い値を示した。血清中性脂肪濃度は、すべての群間で有意な差はなかった。

表４　肝臓中、脂肪組織及び腎臓中のトランス脂肪酸量(mg/組織)

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
肝臓	3.4±0.8^{a}	24.3±3.4^{b}	25.9±2.4^{b}	26.9±4.3^{b}
脂肪組織	17±4^{a}	263±33^{b}	253±27^{b}	249±32^{b}
腎臓	0.2±0.1^{a}	1.5±0.3^{b}	1.4±0.1^{b}	1.5±0.2^{b}

平均値±標準偏差（各群７匹）。異なる上付き文字を付与した群間で有意差あり。

TFA：トランス脂肪酸

表５　肝臓中のペルオキシソームβ酸化能

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
		(nmol/min/mg protein)		
比活性	9.1±3.4	9.9±3.2	9.8±3.0	7.0±2.4
		(μmol /min/liver)		
全肝臓活性	7.4±2.5	7.4±1.8	7.4±2.3	8.0±3.3

平均値±標準偏差（各群７匹）。すべての群間で有意な差はなかった。

TFA：トランス脂肪酸

表６　血清脂質濃度(mg/100mL)

	低 TFA	高 TFA	エゴマ葉	ロスマリン酸
総コレステロール	94±12	87±11	82±8	89±9
LDL-コレステロール	4.7±0.8^{ab}	3.7±0.5^{a}	4.3±0.8^{ab}	5.0±0.8^{b}
HDL-コレステロール	35.6±3.0	35.1±2.3	34.1±2.9	36.3±2.4
（LDL-/HDL-比）	0.13±0.02^{ab}	0.11±0.01^{a}	0.13±0.02^{ab}	0.14±0.02^{b}
中性脂肪	121±33	145±39	119±23	132±33

平均値±標準偏差（各群７匹）。異なる上付き文字を付与した群間で有意差あり。

TFA：トランス脂肪酸

(2)考察

本研究では、ロスマリン酸を含むエゴマ葉の摂取が PPAR を介して肝臓ペルオキシソームを活性化し、体内のトランス脂肪酸（TFA）代謝を促進するという仮説のもと、動物実験による検証を行った。しかし実験の結果、エゴマ葉食群およびロスマリン酸食群において、肝臓ペルオキシソームβ酸化能の上昇は認められず、肝臓、脂肪組織、腎臓における TFA 蓄積量の有意な減少も観察されなかった。この結果は、先行研究であるベザフィブラートを用いた予備実験（図 1）とは異なるものであった。

予備実験と本実験で結果が異なった主な要因として、作用強度の違い（医薬品と食品成分の違い）が挙げられる。ベザフィブラートは PPARαに対する強力かつ特異的な合成アゴニスト（作動薬）であり、ペルオキシソームの脂肪酸分解系を著しく誘導する。一方、ロスマリン酸も PPARα活性化能を持つことが報告されているが、ベザフィブラートと比較してその作用は弱い[9]。今回の実験食における乾燥エゴマ葉（5%添加）やロスマリン酸濃縮末（0.5%添加）の投与量、あるいは 4 週間という試験期間では、生体内でペルオキシソームβ酸化能を有意に高めるほどの血中濃度や活性強度に達していなかった可能性が考えられる。

一方で、興味深い知見として臓器中のトリアシルグリセロール（TG）量および血清脂質濃度への影響が認められた。表 3 において、通常の大豆油を摂取した低 TFA 群は、高 TFA を含む水素添加菜種油を摂取した他の 3 群に比べ、肝臓および脂肪組織中の TG 量が有意に高値を示した。一般に、水素添加油（TFA）の摂取は肝臓への TG 蓄積を促すとされるが[10]、本実験では逆の結果となった。これは、使用した水素添加菜種油の脂肪酸組成や、大豆油に豊富に含まれる多価不飽和脂肪酸が脂質合成・分解系に与えた影響、あるいは TFA 摂取による肝臓からの VLDL（脂質輸送担体）分泌促進などが関与している可能性があり、先行研究の知見を踏まえたさらなる解析が必要である。

また血清脂質において、ロスマリン酸食群は高 TFA 群と比較して、血清 LDL-コレステロール（LDL-C）濃度および LDL-/HDL-比が有意に上昇した。ロスマリン酸には本来、脂質代謝改善作用（LDL-C の低下など）が期待されていたが、高 TFA 食負荷という特殊な栄養背景下においては、コレステロールの体内動態や肝臓からの脂質分泌を修飾し、血中脂質プロファイルを変化させる性質を持つ可能性が示唆された。今後は、組織中の TFA 量だけでなく、脂質代謝に関わる遺伝子発現レベルでの評価を含め、詳細なメカニズムを明らかにする必要がある。

４．今後の展望

本研究では、エゴマ葉およびロスマリン酸の摂取によるトランス脂肪酸（TFA）の蓄積抑制やペルオキシソームの活性化は認められなかった。しかし、ベザフィブラートを用いた予備実験が示す通り、ペルオキシソームの活性化が TFA 分解を促進するというアプローチ自体の有効性は高いと考えられる。

今後は、天然成分であるロスマリン酸の「投与濃度（用量）」を段階的に高めた用量反応試験を実施し、生体内で機能を発揮するために必要な有効線量を明確にする必要がある。また、PPAR

には複数のサブタイプが存在するため、ロスマリン酸がどの受容体と特異的に結合して作用するのかについても考慮しながら、検討を進めることが求められる。

これらの追加検証を通じて「富山えごま」の有効な摂取条件を科学的に確立し、地域ブランドの付加価値向上と消費促進へとつなげていきたいと考えている。

５．参考文献

1. World Health Organization. (2023). *Countdown to 2023: WHO report on global trans-fat elimination 2022*.
2. Takeuchi, H., Kojima, K., Sekine, S., Murano, Y., & Aoyama, T. (2008). Effect of dietary n-6/n-3 ratio on liver n-6/n-3 ratio and peroxisomal beta-oxidation activity in rats. *Journal of oleo science*, **57** (12), 649-657.
3. Rigano, D., Sirignano, C., Taglialatela-Scafati, O. (2017) The potential of natural products for targeting PPARα. *Acta Pharm Sin B.*, **7**, 427-438.
4. Guan, H., Luo, W., Bao, B. et al. (2022) A Comprehensive Review of Rosmarinic Acid: From Phytochemistry to Pharmacology and Its New Insight. *Molecules*, **27**, 3292.
5. Nyandwi, J.B., Ko, Y.S., Jin, H. et al., (2021) Rosmarinic Acid Exhibits a Lipid-Lowering Effect by Modulating the Expression of Reverse Cholesterol Transporters and Lipid Metabolism in High-Fat Diet-Fed Mice. *Biomolecules*, **11**, 1470.
6. Takeuchi, H., Sakai, S., Takahashi, A. et al., (2024) Prediction of Fatty Acid Intake from Serum Fatty Acid Levels Using Machine Learning Technique in Women Living in Toyama Prefecture. *J Oleo Sci.*, **73**, 1311-1318.
7. Kim, H.K., Choi, H. (2005). Stimulation of acyl-CoA oxidase by alpha-linolenic acid-rich perilla oil lowers plasma triacylglycerol level in rats. *Life sciences*, **77** (12), 1293-1306.
8. Lazarow P. B. (1981). Assay of peroxisomal beta-oxidation of fatty acids. *Methods in enzymology*, **72**, 315-319.
9. Maher, J.J. (2011) New insights from rodent models of fatty liver disease. *Antioxid Redox Signal.*, **15**, 535-550.
10. Oteng, A., Kersten, S. (2020) Mechanisms of Action of trans Fatty Acids. *Advances in Nutrition*, 11, 697-708.

研究題目	円安下の金銭的限界を克服する五者連携と非金銭的価値の循環－価値共創型移住システム論の提唱－
機関名	富山短期大学
研究代表者	教授　小平達夫
分野	人文地理学・産業組織心理学
キーワード	価値共創型移住システム論　越境学習　非金銭的価値

１．研究の背景と目的

日本社会の少子高齢化は不可逆的に進行しており、持続可能な介護システムを維持するための外国人介護人材の確保は、喫緊かつ国家的な課題としてその重要性が増している。日本政府は、技能実習制度および特定技能制度を通じて外国人材の受け入れを推進しており、ベトナムは制度開始以来、最も重要な人材供給国としての地位を占めてきた。

しかしながら、国際労働移動の古典的な理論である「プッシュプル理論」に基づく金銭的インセンティブは、近年、決定的な弱体化に直面している。この構造的変化は二つの要因に起因する。第一に、日本の急激な円安の進行である。2020 年 9 月の為替レートが 1 ドル 105 円であったのに対し、2025 年 9 月には 1 ドル 148 円へと円安が著しく進行したことは、ベトナム人労働者が日本で収入を得て母国へ送金する実質的な収入価値を大幅に低下させた。

この結果、日本の労働市場が持つ経済的な魅力は、韓国やドイツ、さらにはベトナム国内の特定産業と比較しても劣勢に立たされつつある。第二に、送り出し国であるベトナムの堅調な経済成長である。コロナ禍下においてもベトナムはプラス成長を維持し、国内の雇用機会と賃金水準が向上した。今回のインタビュー調査からも、コロナ後の面接で受験者の家族構成が大家族から核家族へと変化している事実が確認されており、これはベトナム国内の中間層が豊かになり、「仕送り」を目的としない高学歴層も存在し、労働移動の選択肢を持つようになったことを示唆している。

この経済的なプル要因の弱体化とプッシュ要因の減衰という二重の構造的変化は、従来の「高賃金」に依存した外国人材確保戦略が限界に達したことを明確に示している。この課題に加え、日本の介護施設は、外国人材を単なる労働力の補完としてではなく、介護福祉士という国家資格を保有する“中核人材”として確保する必要がある。介護福祉士の存在は、介護報酬の加算を得る上で必須要件であり、外国人介護士の低い国家試験合格率を改善し、キャリアアップを組織的に支援する新たな戦略が、施設の存続と介護サービスの質の維持のために不可欠となっている。

価値共創（Value Co-creation）は、Vargo & Lusch（2004）によって提唱されたサービス・ドミナント・ロジック（Service-Dominant Logic: SD-ロジック）にその理論的起源を持つ。SD-ロ

ジックにおいて、価値は企業（受け入れ側）が単独で生産し提供するものではなく、企業（受け入れ側）と顧客（移動者：ベトナム人技能実習生）の相互作用のプロセスにおいて共同で創造されるものと定義される。この概念は、顧客が単なる受動的な受益者ではなく、価値創造プロセスに積極的に関与する「共創者」であるという視点を提供する。

本研究では、この SD-ロジックの概念を国際労働移動システムに応用し、「介護」というサービス提供を介した五者間の相互作用を分析する。特に、外国人介護人材の受け入れを単なる労働力供給と捉えるのではなく、移動者（ベトナム人技能実習生）自身の成長と組織の発展が相互に影響し合う動的なプロセスとして捉え、その中で非金銭的価値がどのように創出され、交換され、持続可能性に寄与するかを明らかにする。

本研究の目的は、法人理事長、送出し機関、日本人職員、ベトナム人介護教室指導者（介護福祉士合格者）そして来日前教育受講者（ベトナム人介護技能実習生）の総計 12 名への詳細な 5 者のインタビュー結果を統合し、組織的なキャリア開発支援（資格取得支援、役割付与等）が、金銭的価値を凌駕する非金銭的価値をいかに共同で創出・交換しているかを実証することにある。これにより、金銭競争から脱却した、日本の介護施設が取るべき持続可能な人材確保戦略を提言する。

２．研究方法

本研究の分析対象は、社会福祉法人および関係機関・人材の計 5 グループ、総計 12 名のインタビューデータとする。

表１　価値共創型移住システムにおける五主体群の構成と役割・目的

グループ	対象者	役割と調査目的
Ⅰ.システム戦略層（受入側）	法人理事長	構造的課題認識、戦略的教育投資の動機、非金銭的価値創出の戦略、システム持続可能性への展望。
Ⅱ.システム協力者層（送出側）	送出し機関代表者	円安下での募集課題、法人との連携評価、非金銭的プル要因（安心）の募集効果、ベトナム側での還流キャリアへの期待。
Ⅲ.成功ロールモデル層	介護福祉士合格技能実習生4名（A, B, C, D）	非金銭的動機、組織的サポートの実効性、資格取得後の役割付与（講師）による経験価値獲得の検証。
Ⅳ.現場介入・育成層（日本人職員）	日本人派遣講師2名（施設長級）	現地教育を通じた異文化適応能力（O-CAD）の獲得、育成疲弊の実態、多文化共生下での組織文化変容。
Ⅴ.システム流入層（移動者）	来日前教育受講者4名（E,F,gG,H）	初期の不安解消、キャリアパスの早期共有、現地教育の有効性、生活への適応状況と定着への動機。

半構造化インタビューは、2025 年 8 月から 10 月にかけて個別対面またはオンライン形式で実施された。研究協力は任意であり、拒否や中止による不利益がないこと、個人特定がされないこと、面接時の録音記録の保護に関する倫理的配慮を説明し、同意を得た。本研究は研究者所属の倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号 2025-6-①）。

質的分析は、佐藤（2008）の「事例ーコード・マトリックス」を主軸として用いた。この手法により、五者間の発言を統一的な視点でコード化し、複雑な相互作用を抽出した。オープンコー

ディングでは、12 名すべての発言を詳細に読み込み、特に非金銭的動機、組織的介入、心理的影響に関する事象をコード化した。この段階では、理事長の「記録を書く理由を理解できていない」や合格者 B の「他の人に教えたり、喋ったり、いい体験」といった、システム構築の根拠となる具体的な発言のニュアンスを精緻にコードへ反映させた。

カテゴリー化を経て、構造化の段階では、各カテゴリー間の因果関係や資源の還流メカニズムを、抽出されたインタビュー文言を論理的根拠（エビデンス）として体系化した。これにより、五者間の相互作用を動的に記述する「価値共創型移住システム」の概念モデルを構築した。

３．研究成果

本研究が実証した、金銭的価値の低下を「安心」と「キャリア」で補完する動的サイクルを、図 1 に示す「価値共創型移住システム」として提示する。本モデルは、以下の 13 のプロセス（①～⑬）の連動によって成立している。

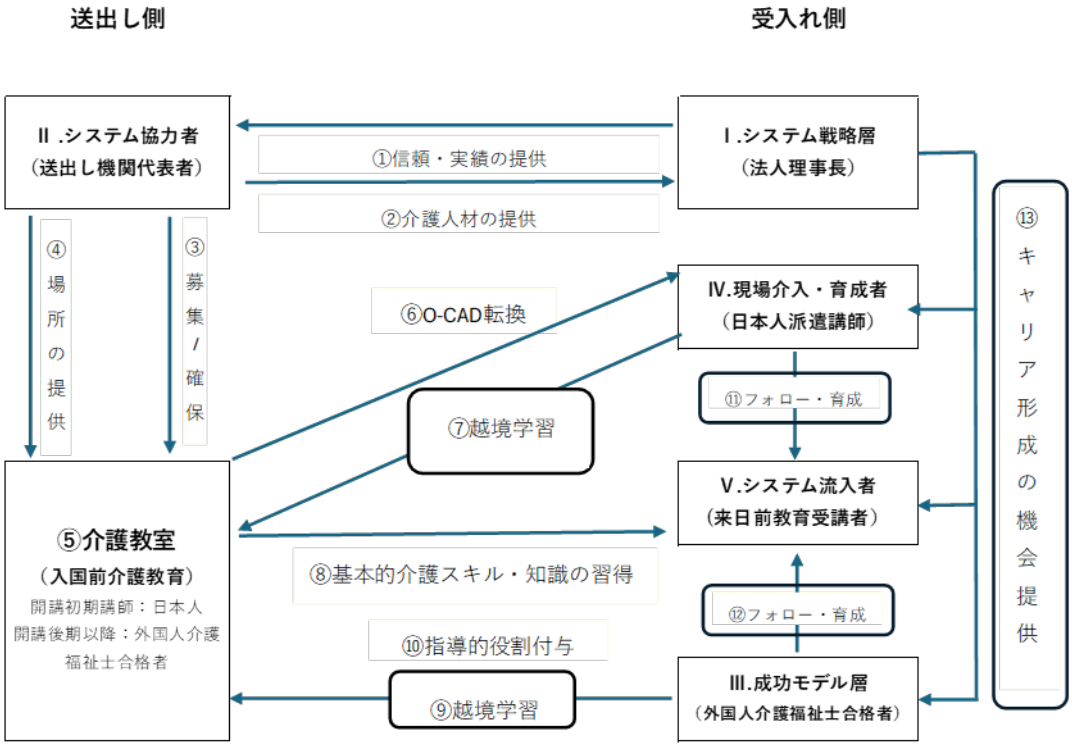


図1 価値共創型移住システム（資源交換と動的還流モデル）

図 1 における各主体の資源交換プロセスは以下の通り定義される。

(1)受入れ側（日本）から送出し側への能動的介入

① 信頼・実績の提供：右側の「I. システム戦略層（法人理事長）」から、左側の「II. システム協力者（送出し機関代表者）」へ提供される、長期的な協力の基盤となるリソース。

② 介護人材の提供：送り出し側（II）から日本側（I）へ、信頼（①）の対価として適切な人材が供給されるプロセス。

(2)送出し側教育拠点「⑤ 介護教室」における価値共創

③ 募集 / 確保：送出し機関（II）が現地で候補者を募り、介護教育の対象として確保する活動。
④ 場所の提供：介護教育の実効性を担保するための物理的拠点として、送出し側が介護教室を設置する。
⑤ 介護教室（入国前介護教育）：価値共創の中心拠点。初期は日本人、後期はベトナム人介護福祉士合格者が講師を務める動的な教育空間。
(3)指導者の変容と「越境学習」
⑥ O-CAD 転換：日本人派遣講師が現地指導経験を通じ、右側の「IV. 現場介入・育成者」の指導力が「組織的異文化適応能力（O-CAD：Organizational Cross-cultural Adaptive Development）」へと進化・転換する。
⑦ 越境学習：日本人派遣講師（IV）が左側の「⑤ 介護教室」で指導にあたる体験そのものが、高度な学びとなる。
(4)人材の成長と役割の付与
⑧ 基本的介護スキル・知識の習得：右側ブロックの「V. システム流入層（来日前教育受講者）」が、現地教室（⑤）で日本式の介護技術を習得する。
⑨ 越境学習：「III. 成功モデル層（合格者）」の成功者であるベトナム人介護福祉士合格者が左側の教室（⑤）に戻り、後輩を指導することで得られる再定義された学び。
⑩ 指導的役割付与：資格取得後の成功モデル層（III）に対し、現地講師等の役割を与えることで承認欲求を充足させる。
(5)日本での定着と持続可能な支援
⑪ フォロー・育成：日本人派遣講師（IV）による、来日後のシステム流入者（V）に対する継続的な教育・生活支援。
⑫ フォロー・育成：母国の先輩（III）が、後輩（V）を支える共助のプロセス。
⑬ キャリア形成の機会提供：法人（I）が全層に対し、長期的なキャリアを保証するシステム全体の統合的な提供価値。

理事長は、日本の金銭的魅力の低下という構造的課題に対し、非金銭的価値の創出を組織の最優先戦略とした。
動機の変化の深層： 理事長は、コロナ禍後に面接した技能実習生が「全員大卒」「家族構成が大家族から核家族へ」と変化し、面接で「日本には 5 年いたい」と明確に滞在希望を述べたことから、移動の動機が「仕送り」から「知識欲・キャリア形成」にシフトしたことを認識した。この「5 年」という期間は、介護福祉士の受験資格に必要な実務経験期間（3 年）と特定技能への移行期間を見越した「投資期間」としての合理的な判断に基づいていることを確認した。この事実は、ベトナム人技能実習生が日本の介護職を、単なる労働ではなく「人的資本の蓄積の場」として高度に戦略化していることを裏付けている。理事長は「今の日本は金銭的魅力がない」という現実を踏まえ、「長く日本に滞在するための法人としてのプログラム」（資格取得支援）の必要性を痛感した。合格者 B さんも「今はあまり日本に来る魅力はない」と述べ、韓国やドイツに人気があるという金銭的限界を裏付けているが、自身は「ベトナムの通信の短期大学を卒業するま

でいる」とキャリア目標との関連で滞在を決めている。

来日前教育の戦略的動機と介護観の格差是正： 理事長は、「第 1 期生と比べて年々、手間暇がかかるようになった」という現場の実態を指摘した。特に、介護観の理解不足が現場の負担を増大させていることが、ホーチミンでの介護教室開始の決定的な動機となった。理事長は、「ヒヤリハット報告を、要は事柄の報告することだけのために書くと理解している」技能実習生の存在を挙げ、「再発防止のためにこれを書くんだよ」という日本の介護観・規範の伝達が、日本語での説明では困難であることを強調した。この介入は、「育成のコスト」を「早期介入による効率化」という価値に転換しようとする戦略的判断であり、教育内容が単なる技術でなく「介護文化・規範」に焦点を当てている点に特徴がある。また、ビザ発給までの 3〜4 ヶ月間に「半年かけて身につけた日本語を忘れたり、日本語レベルが下がってしまう」という構造的ロスを防ぐため、ホーチミンでの滞在費用を法人が負担し、日本語能力の維持と日本の介護文化（報告書様式など）の習得を目的とした研修を実施している。

法人による戦略的教育投資は、移動者（V. システム流入層）側で「安心」という非金銭的価値に変換され、初期の定着と学習効率の向上という価値を共創した。このプロセスは、移動者（V）を価値の受動的な受け手ではなく、能動的な「価値の獲得者（Value Acquirer）」として位置づける。

「安心」の多層的な獲得の構造（V, I, II の相互作用）： V.システム流入層（移動者）は、来日前の不安（「日本語、方言、漢字」「生活習慣の違い」）に対し、I. システム戦略層（法人）が派遣した日本人講師によるホーチミン介護教室でのベトナム語での教育や、「施設長に会えて安心できた」（E さん、F さん）という受入れ責任者との直接交流を通じて、心理的安全性を担保した。この安心感は、II. 送り出し側が募集時に活用する「信頼」という非金銭的リソースと結びつき、移動リスクを低減する。E さんの「姉が二人いることは安心できた」という証言や、送出し機関会長の「理事長のところはご家族、お友達が集まってきています」という発言は、II. 送り出し側が構築する移住ネットワークの機能に、I. 法人の「責任者の信頼」という付加価値が重層的に作用していることを示す。特に会長は、「円安日本において『安心』は技能実習生の確保において重要」であると明言しており、非金銭的な「安心」が金銭的インセンティブを補う最も初期のプル要因として機能している。

キャリアパスの早期共有と学習効率の向上（V, IV の相互作用）： V.システム流入層（移動者）は、ベトナム滞在中に「介護福祉士資格を取得するための法人のサポートとプロセス」の説明を受け、キャリアの保証を強く認識する（G さん、H さん）。V. 流入層は、I. 法人や IV. 現場介入・育成層が提供する「教育」「情報」というサービス（被作用資源）を利用することで、「実技が早い」「認知症の方への対応を理解して来る」という学習効率の向上という価値を自らに共創した。この共創の結果、施設長は、来日時のオリエンテーション期間を 1 週間から 1 日に短縮できたと証言しており、IV.現場介入・育成層の初期指導負担が軽減された。

介護福祉士合格技能実習生（III. 成功ロールモデル層）の成功は、I. 法人が提供した「サポートのギャップ」解消と、介護福祉士合格技能実習生の「知的クラスター」特性との共鳴によって

実現した。

ここでいう「サポートのギャップ」とは、先行研究小平（2024）が指摘した、外国人介護士が抱く介護福祉士資格取得への高いキャリア志向と、受け入れ施設側における資格取得支援体制の不足との間に生じる構造的な断絶を指す。また、「知的クラスター」特性とは、Hara et al（2024）によって分類された移動者の特性の一つであり、高学歴で、単なる収入よりも学習・成長機会を重視し、永住志向を持つ層の動機を意味する。法人はこのギャップを戦略的に埋め、移動者の動機と組織の資源を共鳴させた。

母国語学習という能動的資源投入（III の視点）： 合格者 B さん、D さんは、介護福祉士資格の取得のために個人負担でベトナム語のオンライン講座を受講し、「ベトナム語なので分かりやすかった」（B さん、D さん）と、その有効性を実証した。D さんは「101 点という高得点を取ることができた」主な理由として、このベトナム語でのオンライン講座を挙げている。これは、III. 介護福祉士合格技能実習生が学習意欲というオペラント資源を投下し、I. 法人の資格支援プログラム（受験資格というリソース）と相互作用することで、人的資本（資格）を共創したことを示している。

なお、オペラント資源（Operant Resources）とは、SD-ロジック（Vargo & Lusch, 2004）における基本的な資源の概念であり、行動や作用を通じて価値を生み出す能力を持つ資源（知識、スキル、意欲など）を指す。本事例における「学習意欲」「努力」「既存の知識」は、まさに III. 介護福祉士合格技能実習生が持つオペラント資源であり、これらが I. 法人の提供する被作用資源（研修費用、時間）と組み合わさることで、“介護福祉士”資格という価値を共同で創造している。

経済的・時間的サポートの実効性（I の視点）： I. 法人は、研修費用の全額補助や、C さんの有料講座のための「希望休の調整」という時間的価値を提供した。合格者 A さんは「初任者研修の費用は法人が負担し、実務者研修も後から費用をいただいた」と述べ、C さんは「法人は休みを調整してくれた」と証言し、法人の組織的なコミットメントが、III. 介護福祉士合格技能実習生の「介護福祉士資格が取得できないと、ベトナムに帰国するしかありません」（D さん）という厳しい現実を介護福祉士資格合格という成果に結びつける上で決定的な役割を果たした。

外国人材の受け入れは、日本人管理職（IV. 現場介入・育成層）の組織的異文化適応能力（O-CAD）という価値を共創し、介護福祉士合格技能実習生（III. 成功ロールモデル層）の「役割付与」を通じて、組織と個人のエンゲージメントを強化した。

異文化理解による指導力の転換（IV の視点）： IV. 現場介入・育成層は、現地の介護教室での教育活動を通じてベトナムの「国民性」や「衛生観念の違い」を理解し、「日本人側の当たり前を前提に話してもベトナム人技能実習生に通じない」という壁を認識した。「彼らを受け入れるようになった」「習慣とか価値観の違いを、配慮というか考慮しながら指導していかなくてはならない」と、指導・育成に対する心構えの質的転換が起こった。これは、外国人材の受け入れが、IV. 現場介入・育成層の“指導力向上”という付加価値を組織にもたらしたことを示す。

「介護教室の講師」による経験価値の向上（III の視点）： III. 介護福祉士合格者である B さん

は、資格取得後の指導的役割について、「現場で毎日、日本人と介護の仕事をするだけだから、やっぱり他の人に介護について教えたり、話したり、いい体験です」と述べた。この役割付与は、業務の限定性からの脱却を可能にし、金銭的報酬を超えた職務的多様性と承認欲求という非金銭的報酬を提供した。これにより、介護福祉士合格技能実習生は I. 法人のシステム内で「共創者」としての地位を確立する。合格者 D さんも「人に教えると、自分は忘れません」と、指導的役割が自身の学習の維持・向上に貢献することを認識している。

組織的課題とストレス要因の顕在化（IV の視点）： IV. 現場介入・育成層からは、「育成できる日本人スタッフが少ない」「施設内でベトナム語での会話が増える」「細かい連携ミス」による負担と疲弊が指摘されており、このストレス要因の解消が、五者間の持続可能なシステム構築における喫緊の課題であることが示された。施設長は、日本人スタッフの「疲弊している状況」や、「超真面目な日本人スタッフ」が抱える技能実習生のルーズさに対する苛立ちを課題として明言している。また、利用者から「ベトナム人介護士たちが、自分の国の言葉で、大きな声で喋っていて、何を言っているのか分からない」というクレームがあったことも、職場の心理的安全性を脅かす具体的なリスクとして認識されている。

４．考察

本研究が提唱する「価値共創型移住システム論」は、SD-ロジック（Vargo & Lusch, 2004）を国際労働移動に適用することで、プッシュプル理論の限界を克服する。

①.V. システム流入層（移動者）の資源提供と価値の獲得： システム流入層（移動者）は、“学習意欲”等というオペラント資源を投入する。その見返りとして、I. システム戦略層（法人）と II. システム協力者層（送出側）から提供される「安心」「教育」というサービス（サービス・イン・サービス）を経験し、システム流入層（移動者）は人的資本という価値を獲得する。

サービス・イン・サービス（Service-in-Service）とは、ある主体（I. 法人）が提供するサービス（教育）が、別の主体（V. 流入層）の価値創造活動（学習）のための資源として利用される連鎖を指す。

サービス・イン・コンテクスト（Service-in-Context）：サービスが、移動者の特定の状況や環境（円安、初期不安）の中で利用され、「初期の安心感」という形で価値が決定されるメカニズムを指す。

②I. 法人の資源投入と戦略的リターン： 法人側は、現地派遣費、研修費用という「経済的資源」を投入する。この資源投入は、単なるコストではなく、移動者の不安を解消し、学習効率を高める「サービス・イン・コンテクスト」として機能した。この結果、組織は、優秀な人材の獲得、育成コストの削減、サービスの質の安定化という、金銭的価値を上回る戦略的リターンを得る。

本研究の事例は、金銭的インセンティブが機能しない状況において、非金銭的価値が経済的欠損をレバレッジ（梃子）として克服していることを示す。

③「安心」の価値によるリスク補償のメカニズム： 国際労働移動は、常に異文化適応のリスクを伴う。法人による現地教育と日本側の責任者との交流は、このリスクを「初期の安心感」という形で補償した。」送出し機関の「円安日本において『安心』は技能実習生の確保において重要」

という発言は、非金銭的な「安心」が、経済的な「賃金」と並ぶ、あるいはそれを上回るプル要因として機能していることを実証した。これは、ベトナムにおける家族の絆が強い文化において、家族への安心保証が「金銭的送金」と同等、あるいはそれ以上の価値を持つことを示唆している。

④「キャリア」の価値による投資の誘因： 知的クラスターの人材は、現在の賃金水準ではなく、「介護福祉士資格」という人的資本の蓄積を目的として日本を選択していた。滞在は永住ではなく「5〜7 年の投資期間」と捉えられており、法人の資格取得支援は、この投資を成功させるための必要不可欠なリソースとして価値共創されている。資格取得は、ベトナム帰国後の介護・看護分野における社会的評価や起業（理事長インタビューより）に直結するため、金銭的な支出を伴う研修費用の全額補助は、移動者にとって最も合理的な「未来への投資」として機能している。

本事例の核は、「資格取得」を非金銭的価値の担保とする「資格担保型 非金銭的価値サイクル」にある。このサイクルは、組織にとって明確な経済的合理性を持つ。

「資格担保型 非金銭的価値サイクル」とは、I. 法人によるキャリア資源（資格取得支援）の提供が、V. 流入層の学習意欲（オペラント資源）によって人的資本（介護福祉士資格）という価値に転換された後、その資格取得者（III. 成功ロールモデル層）を指導的役割としてシステムに再統合することで、経験価値（非金銭的報酬）を与え、同時に組織の育成コストを内部化し、持続的な人材育成を可能にする価値の還流メカニズムを指す。

役割付与（ベトナムでの介護教室の講師）は、金銭的報酬以上の“経験価値”という非金銭的報酬を与える一方で、組織の“育成コストを内部化”し、知識移転の効率を高めるという、極めて高い経済的合理性を持つ。このメカニズムは、D さんが「人に教えると、自分は忘れません」と語ったように、指導者自身の知識の定着・向上にも寄与する。このメカニズムは、金銭的な支出を、人材の定着と組織の指導力向上という二重のリターンを生む「戦略的投資」へと昇華させている。

日本人職員（IV. 現場介入・育成層）の育成疲弊は、本システムの持続性にとって不可欠な課題である。

疲弊のメカニズム： 日本人職員は、ベトナム人介護士の文化的な行動規範のギャップ（「衛生観念の違い」「記録のルーズさ」）に加え、「育成できる職員の偏り」により、フォロー業務と心理的なストレスが集中している。これは、Katz（1955）の指摘するリーダーに求められる「ヒューマンスキル」が、異文化環境下で極度に試されている状態である。また、外国人材の増加がもたらすベトナム語会話の増加は、利用者への不安や、日本人職員との情報格差を生み、職場の心理的安全性を脅かしている。

指導力の転換： 日本人派遣講師の「やっぱり教えることって難しいと実感した」「ベトナムの子たちを受け入れることができるようになった」という発言は、現地での経験が日本人職員の異文化受容力を高め、指導力を「矯正」から「理解と配慮」へと転換させる手段であることを示唆する。組織は、この経験を一部のリーダー層に留めず、組織全体への O-CAD 浸透へと拡大する必要がある。具体的には、育成担当者への“適切な評価と負荷分散”が不可欠である。

4.5. 地方の競争優位性と「指名型移住」の確立：地域固有の非金銭的価値

本事例が富山県という地方都市で成功している事実は、地方の施設が取るべき戦略を示す。I. システム戦略層（法人）と II. システム協力者層（送出側）が共創する「指名型移住」は、地方の「安価な家賃」という実質的な経済的メリットと、非金銭的な「生活の質」と「キャリア保証」を武器に、都市部の施設に対抗しうる競争優位性を持つことを証明している。

5. 結論と実践的提言

本研究は、金銭的インセンティブの低下という構造的な課題に対し、「価値共創型移住システム論」を提唱し、五者間の動的な資源交換こそが、外国人介護人材の継続的な確保と定着を可能にする戦略であることを実証した。この成功事例は、日本の介護施設が「賃金競争」から「成長と安心の環境競争」へと戦略を転換すべきであるという、先行研究の提言（小平他, 2026）の妥当性を裏付けるものである。

本システムにおいて、資格取得は単なる労働資格ではなく、「キャリア形成の機会」という非金銭的価値の担保として機能している。

1.非金銭的価値の創出メカニズム:I. システム戦略層（法人）による戦略的教育投資（被作用資源）は、V. システム流入層（移動者）の学習意欲（オペラント資源）と相互作用し、「安心」という初期の心理的安全性を共創する。

2.価値の循環: 介護福祉士合格技能実習生（III. 成功ロールモデル層）を育成者としてシステムに再統合し、彼らに指導的役割という経験価値を与える。この役割が、IV. 現場介入・育成層の負担を軽減しつつ、次世代（V. システム流入層）の動機付けを強化するという持続可能なサイクルが確立されている。

3.多角的貢献: II.システム協力者層（送出側）は「安心」という非金銭的プル要因を募集時に提供し、IV. 現場介入・育成層（日本人職員）は現地派遣経験を通じて組織的異文化適応能力（O-CAD：Organizational Cross-cultural Adaptive Development）という組織資本を向上させ、システム全体に貢献している。

この五者間の相互作用の実証に基づき、日本の介護施設および政府に対し、SD-ロジックの視点を取り入れた戦略的提言を行う。

1. キャリアパスの最優先制度化とオペラント資源の戦略的活用（施設レベル）

中核人材育成投資の積極化：介護福祉士取得支援を「中核人材育成投資」と位置づけ、実務者研修の費用と受講時間（給与補償）の全額組織負担の積極化を図る。これは、I. システム戦略層（法人）が持つ被作用資源を、V.システム流入層（移動者）のオペラント資源（学習意欲）を最大化するために戦略的に投入することを意味する。

母国語学習ノウハウの確立：III. 成功ロールモデル層（介護福祉士合格技能実習生）が有効性を証明した“母国語での学習環境”を組織的なノウハウとして確立・共有し、日本語能力が不十分な段階での専門知識習得の障壁を低減する。

ロールモデルの現地活用（経験価値の投入）：III. 成功ロールモデル層（介護福祉士合格技能実習生）を現地介護教室の講師として活用し、指導的役割という非金銭的報酬（経験価値）を与えることで、V.システム流入層（移動者）のキャリア志向を最大限に引き出す。

2. 組織的異文化適応能力（O-CAD）の育成とサービス・イン・コンテクストの意識（施設レベル）

育成担当者の現地派遣の義務化と組織的異文化適応能力（O-CAD）の評価：IV. 現場介入・育成層（日本人職員）への現地派遣を強化し、ベトナム人技能実習生に対する受容と理解につながる経験を組織全体に広げる。外国人材の育成・指導を人事評価に組み込むことで、組織的異文化適応能力（O-CAD）の獲得を組織の目標とする。

サービス・イン・コンテクストの徹底： 来日前の教育や生活支援は、単なるサービス提供ではなく、「移動者の抱える初期の不安」というコンテクストの中で利用されて初めて価値が生まれることを意識する。日本人職員との直接交流を積極的に行い、「初期の安心感」という非金銭的価値を高める。

地方優位性の戦略的活用： 地方の安価な家賃や生活の質の高さを、外国人材確保のための重要な非金銭的プル要因として位置づけ、広報戦略を強化する。

還流キャリアの確立と国際連携の強化：I. システム戦略層（法人）と II.システム協力者層（送出側）が連携し、日本での資格取得経験が帰国後のキャリアとして評価される仕組みを構築することが重要である。これにより、日本の経験を国際的なキャリア資産として保証し、「技術・技能移転」のサイクルを完成させる。

研究の限界と今後の課題

本研究は、成功事例における質的分析に限定されており、結果の一般化には限界がある。また、円安の影響は継続的に変動する動的な要因であり、本研究の時点での分析に留まる。今後は、他の送出し国や、都市部・地方の異なる受け入れ地における非金銭的インセンティブの差異を定量的に比較分析し、「価値共創型移住システム」の普遍性を検証することが求められる。

引用文献

＜英語文献＞

Doeringer, P. B., & Piore, M. J. (1971). Internal Labor Markets and Manpower Analysis. D.C. Heath and Company.

Fawcett, J. T. (1989). Networks, linkages, and migration systems. International Migration Review, 23(3), 671–680.

Hara, K., Yamamura, T., Li, N., & Huong, P. T. (2024). Characteristics and Needs of Vietnamese Technical Intern Training Candidates (Care Workers) in Japan: A Qualitative Study. Sustainability, 16(24), 11231.

Harris, J. R., & Todaro, M. P. (1970). Migration, unemployment and development: A two-sector analysis. The American Economic Review, 60(1), 126–142.

Katz, R. L. (1955). Skills of an effective administrator. Harvard Business Review, 33(1), 33-42.

Mabogunje, A. L. (1970). Systems approach to a theory of rural-urban migration. Geographical Analysis, 2(1), 1-18.

Vargo, S. L., & Lusch, R. F. (2004). Evolving to a new dominant logic for marketing. Journal of Marketing, 68(1), 1–17.

＜日本語文献＞

小平達夫,2024.「三層構造モデルによる介護技能実習生のキャリア展望ーベトナム人介護実習生への 3 年間の聞き取り調査」.日本レセプト学会.第 6 回レセプト論考.p15-p35

小平達夫・荻澤明日香・杉本大智・西川采羽・長谷瑞稀,2026「金銭的インセンティブの低下に対応する外国人介護人材確保戦略のパラダイム転換―非金銭的付加価値の創出に関する理論的考察ー」.日本レセプト学会.第 8 回レセプト論考.p34－p52

佐藤郁哉（2008）『質的データ分析法―原理・方法・実践』新曜社

研究題目	大学間連携による数理・データ科学・AI教育の推進
機関名	富山短期大学
研究代表者	経営情報学科・教授・春名　亮（研究期間中は准教授）
分野	社会・安全システム工学
キーワード	データサイエンス，人工知能(AI)，デジタル教育

１．研究の背景と目的

1.1 研究背景

近年，社会におけるデジタルトランスフォーメーション(DX)の進展に伴い，数理・データサイエンス・AI に関する基礎的素養を身に付けた人材の育成が急務となっている．これに対応する形で，文部科学省は「数理・データサイエンス・AI 教育プログラム認定制度(MDASH)」を推進し，高等教育機関における MDASH のリテラシーレベルおよび応用基礎レベルの教育プログラムの構築を推奨している．本研究機関の富山短期大学および金沢学院大学をはじめとする各大学においても，数理・データサイエンス・AI 教育強化拠点コンソーシアムの会員校として情報収集やプログラムの運用を進めてきた経緯がある．

しかしながら，既存の数理・データサイエンス・AI 教育は，限られた分野や学問領域（主に理工系など）で実施される傾向が強く，分野横断的な取り組みが不足しているという課題があった．各大学単体でプログラムを導入しようとする場合，担当教員の専門分野の偏りによって教育内容に格差が生じやすく，学生が専門分野の枠を超えて多様かつ十分な知識・スキルを習得できる環境を整備することは容易ではない．

1.2 研究目的

本研究は，こうした専門分野の偏りによる教育内容の格差を解消することを目的とする．具体的には，社会システム工学および情報科学を専門とする研究代表者と，経済・経営学的なアプローチおよびマーケティングリサーチの知見を有する共同研究者(金沢学院大学・経済学部教授)との間での「大学間連携」を強化することである．

両大学が教員や教育資源を相互に共有・活用することにより，特定分野に限定されない「文理融合型」かつ「分野横断的」な教育モデルを構築し，高等教育機関における数理・データサイエンス・AI 教育の質向上に寄与することを目指した．

２．研究方法

本研究の目的を達成するため，研究代表者が全体を統括・主導し，共同研究者（金沢学院大学・経済学部教授）が四年制大学における知見をもとに実態調査などを支援する体制を構築した．具体的なアプローチとして，以下の 3 つのプロセスからなる研究計画を実行した．

2.1 現状分析プロセスの実施

導入として，各大学における MDASH の取り組み，既存の教育体制，カリキュラム，および学生の学習状況に関する実態調査や関連研究の文献調査を実施した．これにより，教員の専門性の偏りがどのようにカリキュラムに影響しているか，具体的な課題の抽出と明確化を行った．

2.2 連携体制の構築プロセスの実施

次に，各大学が持つ教育資源や強みを相互に補完・連携できる体制の構築を目指した．具体的には，両大学の教員間での意見交換や連携の枠組みに関する検討を重ね，有機的な連携体制を整備した．

2.3 教育プログラムの開発プロセスの実施

現状分析と連携体制の構築を踏まえ，大学間連携による「MDASH リテラシー教育プログラム」および応用基礎レベルを見据えたカリキュラム案の検討，教材作成を進めてきた．プログラム開発においては，富山県内の地域課題（産業のデジタル化の遅れ，若者の県外流出，後継者不足等）に着目し，地域の事例や実際のデータを活用した実践的なデータ分析・AI 技術の教育手法を検討した．

３．研究成果

本研究により，大学間連携を基盤とした新たな分野横断型教育の枠組みについて，以下の成果を得ることができた．

3.1 分野横断的・文理融合型教育の重要性の明確化

特定分野に限定されない文理融合型の取り組みを通じて，学生が多角的な視点からデータサイエンス・AI を学べる環境の重要性と，その具体的なカリキュラム構成のあり方を明確に定義することができた．研究代表者の情報科学的なアプローチと共同研究者の経済・経営学的なアプローチを融合させることで，従来の枠組みを超えた教育モデルの基盤が整備された．

3.2 地域課題を教材とした教育手法の確立

富山県内のデジタル化の遅れや産業構造といった実際の地域課題に着目し，地域のデータや具体的事例を反映した実践的なデータ分析・AI 技術の教育手法を検討・開発した．これにより，単なる理論に留まることなく，学生の学習意欲を高め，深い理解を促すカリキュラムの基盤が整備された．

3.3 新たな教育モデルの提示

本研究で検討した「大学間連携による分野横断的な教育改革モデル」は，単一の大学では解決が難しかったリソースの偏りを解消する先駆的なモデルとなり得るものである．この成果は，他の地域や異分野の大学間連携における方向性を提示する道標となった．

3.4 地域課題アプローチの実践と社会的評価

富山県内の地域特性に合わせたデータや事例を取り入れる教育手法を検討したことで，地域産業の競争力強化や若者の地域定着に貢献し得る基盤を構築した．

また，本研究活動に関連する一連の教育プログラム構築の成果は学外からも高く評価され，富山短期大学経営情報学科において「MDASH 応用基礎レベル」の認定を受けるに至った．この実績は，2026 年 3 月 4 日付の富山新聞にて「MDASH 応用基礎レベル認定 富山短大経営情報学科」として報道され，地域社会へ広く周知された．さらに，学園報(No.58)でも成果の概要を公開し，知見の社会還元を行っている．

４．今後の展望

本研究によって構築された大学間連携による数理・データサイエンス・AI 教育の共通フレームワークは，地方における高等教育の格差是正に向けた先駆的なモデルケースとしての方向性を示すことができた．今後は，検討したカリキュラム案の実装フェーズへと移行し，実際にモデルの運用を開始することにより，その教育効果を定量的に測定・評価していく必要があると考えられる．

さらに，現在の 2 大学間における連携の枠組みをさらに拡大し，近隣の異なる専門性を持つ他大学や地域の産業界や地方自治体との包括的な産官学連携ネットワークへと発展させることを計画している．これにより，開発された教育プログラムの汎用性を高め，他の地域や異分野の高等教育機関にも適用可能な「地域密着型の分野横断的な教育モデル」として確立させるとともに，富山県内外の DX を牽引するデジタル人材の安定的かつ持続的な育成体制の構築を目指す．

５．参考文献

本研究の推進およびプログラム構築にあたり，これまでに蓄積された以下の先行研究および運用実績を基礎資料として活用した．

1. 符 儒徳：「文系の大学生向けデータサイエンス教育に関する一考察 ーモデルカリキュラムと認定プログラムに基づいてー」，開智国際大学紀要(第 23 号), p.5-24 (2024)

2. 「富山短期大学 数理・データサイエンス・AI 教育プログラム（TC-MDASH)」公開ページ (https://www.toyama-c.ac.jp/info/outline/tc-mdash.html) [2026.6.29 に閲覧]

3. 春名 亮・小林正樹：「富山短期大学における AI 初級教育プログラムの運用」，富山短期大学紀要(第 60 巻)，p.51-57 (2024)

以下は本研究活動に関連する一連の教育プログラム構築の成果を発信したものである．

4. 「MDASH 応用基礎レベル認定 富山短大経営情報学科」富山新聞，2026 年 3 月 4 日付

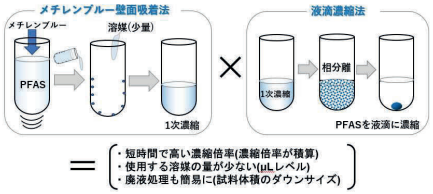
5. 富山国際学園・学園報 No.58 (https://www.tii.ac.jp/wp-content/uploads/2026/06/tii-report-58.pdf)，2026 年 6 月 20 日発行 [2026.6.29 に閲覧して確認]

研究題目	簡易カスケード濃縮法の構築および環境汚染物質 PFAS の迅速検出法への応用
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	物質化学工学科・准教授・間中淳
分野	環境
キーワード	濃縮

１．研究の背景と目的

有機フッ素化合物（PFAS）は、有害性および難分解性を有することから、「永遠の化学物質（Forever Chemicals）」とも呼ばれ、近年注目されている環境汚染物質である。この物質の規制値は非常に低い濃度に設定されており、この物質の分析には溶媒抽出や蒸発濃縮等の煩雑な前処理の後、LC-MS のような高価な分析装置で測定する必要があり、汚染状況の把握に長い時間と手間を要する。PFAS 汚染問題は年々広がり深刻化しており、今後、各地の水道水中の有無の確認も必要となり、これに対応するため分析方法の簡易化・迅速化が必要となる。そこで、申請者は市販の陰イオン界面活性剤の高感度分析キットに使用される簡易濃縮法の「メチレンブルー壁面付着法」と申請者がこれまで研究してきた「液滴濃縮法」の融合により簡易かつ高い濃縮倍率で濃縮する「簡易カスケード濃縮法」を開発し、PFAS 分析の前処理へ応用する(下図)。

本法は、2 つの簡易濃縮法の濃縮倍率が積算され、迅速な低濃度検出が可能となる。また、使用溶媒量、試料体積が少なく、廃液処理も簡易化する。本成果は分析化学や環境化学の学問分野への貢献だけでなく、水の都市富山から世界にかけて水環境および人類の健康を守る技術としての波及効果が期待される。



２．研究方法

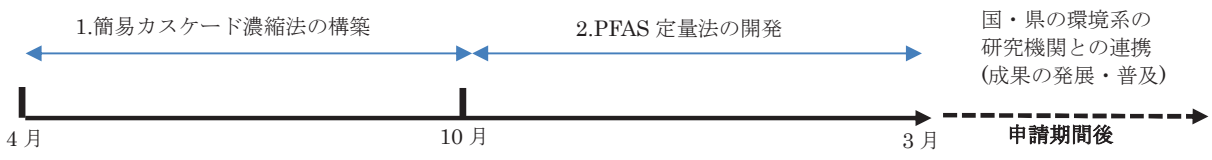
研究を実施するため、申請期間中に下記の内容を検討した。

1.　簡易カスケード濃縮法の構築

これまでに、陰イオン界面活性剤の比色分析に用いられてきたメチレンブルーで疎水化・呈色させた PFAS に対して申請者がこれまで行ってきた液滴濃縮法の適用を検討する。その際にできるだけ高い濃縮倍率・抽出率で濃縮できる最適条件を探索する。

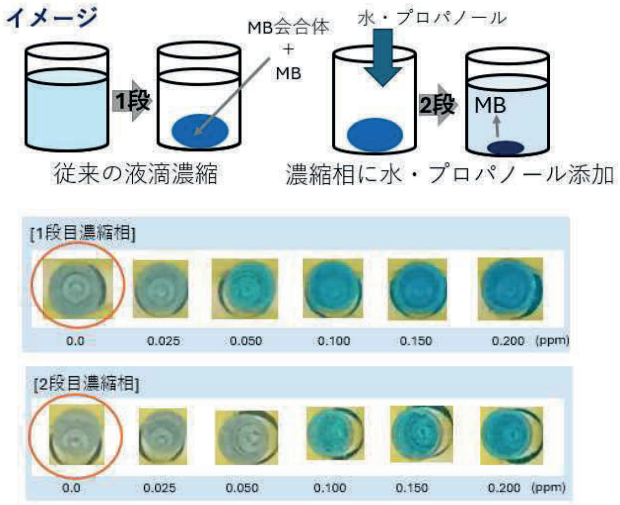
2.　PFAS 定量法の開発

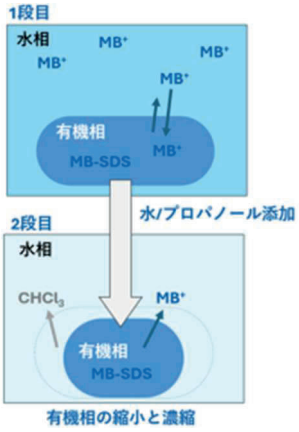
上記で構築したカスケード濃縮法を用いた PFAS 分析法の性能評価を行う。特に定量範囲、検出限界、分析精度等の分析性能のみならず、分析時間等簡易性の面も含めトータル分析システムとしての評価を行う。また、種々の測定法に適用し、分析性能、操作性および経済性の観点から最適な測定方法を選定する。申請期間後、本申請の内容の更なる発展・社会貢献へ繋げるため、県や国の環境系の研究機関との連携を行う予定であり、そのための準備についても検討する。本申請の計画の概要を下図に示す。



３．研究成果

研究の結果、モデル物質として同じ陰イオン界面活性剤であるドデシル硫酸ナトリウムで検討した所、単独の液滴濃縮法では高効率に濃縮できることを確認したものの、当初期待したカスケード濃縮による大幅な積算濃縮効果を確認できず、研究は難航した。これは、試料が低濃度になると市販の濃縮法の濃縮効率が著しく低下することに起因することが分かった。そのため、当初の方針を少し変更して、液滴濃縮で得られた濃縮相に対して、さらに液滴濃縮を施す多段濃縮を検討した。その結果、多段濃縮により濃縮相体積が小さくなることで濃縮倍率が上昇するだけでなく、1 段目の濃縮の際に試料発色体と一緒に濃縮される未反応の発色試薬を取り除くことが可能となりブランクにおけるバックグラウンドを抑えることが可能となり、検出感度の上昇を確認することができた。この成果を第 19 回茨城地区分析技術交流 [1]、第 6 回エコテノロジーフォーラム [2]にて成果を発表することができた。また、今回の研究成果をベースに商品化・スタートアップ化を目的としたファンド(Tech Startup Hokuriku：TeSH) に採択され、本申請の研究を今後さらに発展させるための土台作りを行うことができた。





2 段濃縮により・・・
・濃縮相体積がさらに減少(濃縮倍率向上)
・濃縮相中の未反応の MB を除去
(バックグラウンド抑制)

４．今後の展望

今回、SDS 試料に対して高い濃縮倍率での濃縮、高感度計測が可能となった。しかしながら、求められる PFAS の環境基準値に対しては分析感度が依然として不足しており、今後さらなる高感度化を検討していく必要がある。また、実際の PFAS 試料において本法の分析性能を評価し、最終的には Tech Startup Hokuriku(TeSH)により製品化へ繋げていく予定である。

５．参考文献

1. 高安陽詩、間中淳、簡易カスケード濃縮による陰イオン界面活性剤の高感度分析法、第 19 回茨城地区分析技術交流会、2025 年 12 月(水戸市).
2. 高安陽詩、間中淳、3 成分系均一液液抽出法を主軸とする多重濃縮法の検討、第 6 回エコテクノロジーフォーラム、2026 年 3 月(鹿児島大学).

研究題目	国内におけるビーチボール愛好者の専門化要因と地域振興への影響に関する研究
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	一般教養科・講師・中村祐太郎
分野	スポーツ社会学
キーワード	レクリエーション専門志向化，類型化，地域振興

１．研究の背景と目的

現在の日本の地域社会において，生涯スポーツは単なる身体活動や健康維持の手段という枠を超え，豊かな地域文化を創出し，住民同士の連帯感や生きがいを育む重要な社会的基盤(ソーシャル・キャピタル)として成熟してきている．生涯を通じたスポーツへの継続的な参加は，愛好者自身の個人的な充足感や人間的成熟を促すと同時に，活力ある地域コミュニティを持続的に発展させるための原動力として高く評価されている．

このような生涯スポーツの発展を象徴する競技の一つにビーチボールが挙げられる．本競技は，1979 年に富山県朝日町で地域住民の健康増進とコミュニティ形成を目的として考案された発祥のスポーツである．バドミントンコートと柔らかいビニール製のボールを使用する手軽さや，特別な運動能力を必要としない独自のルール設定により，性別や世代を問わず共に楽しむことができるという優れた競技特性を有している．この特性が広く支持され，現在では全国的な普及を遂げている．中でも，本研究が対象とする愛知県は，発祥地である富山県に劣らず同競技の普及が極めて盛んな地域として知られている．県内各地では年齢別・競技レベル別の大会が頻繁に開催されているほか，総合型地域スポーツクラブや公民館活動における定着度も高く，ビーチボールを通じた住民同士の恒常的なネットワークが独自の地域スポーツ文化として深く根付いている．

このように特定の地域において競技の定着が進むなかで，愛好者の活動実態や参加へのモチベーションは一様ではなく，多様化の様相を呈している．運動不足の解消や仲間との親睦を主目的とする参加者が存在する一方で，長年の経験を通じて競技に対する独自の価値観を形成し，技術の向上や競技会での成績追求に重きを置く層も少なくない．このように，活動へのコミットメントを高め，時間や経済的資源を積極的に投資していく過程は，参加者の成熟の表れと捉えることができる．スポーツやレジャー活動への参加が深化していくこのプロセスについては，Bryan(1977)が提唱した「レクリエーションの専門志向化(Recreation Specialization)」の概念を中心に，多くの先行研究において議論されてきた．このレクリエーションの専門志向化の具体的な指標として過去の経験や活動参加，活動への精通(Choi et al., 1994; Hammitt et al., 2004)からなる行動局面，技術・技能レベルや知識(Needham et al., 2005; Vaske et al., 2004; Kerstetter et al., 2001)からなる認知局面，ライフスタイルへの関与や中心性(McFarlane, 2004)からなる感情局面の 3 つの局面からなる包括的な専門志向化モデルが提示された(図 1)．このモデルは特にアウトドアスポーツを中心としたレジャー・レクリエーション活動に取り組む個人愛好者を，意

味を有するグループに類型化するための枠組みとして活用されており，活動変容ならびにそのパターンを測る指標としての有効性が確認されてきた(二宮, 2002). 専門志向化の理論では，参加者は初期の一般的な関与から出発し，経験を蓄積するにつれて，3 局面の各次元において関与が深まっていくとされる．ビーチボールにおいても同様に，長期間にわたり競技に親しむ愛好者の中には，高度な専門志向化を遂げ，生活様式の一部として競技を位置づける者が一定数存在することが推測される．

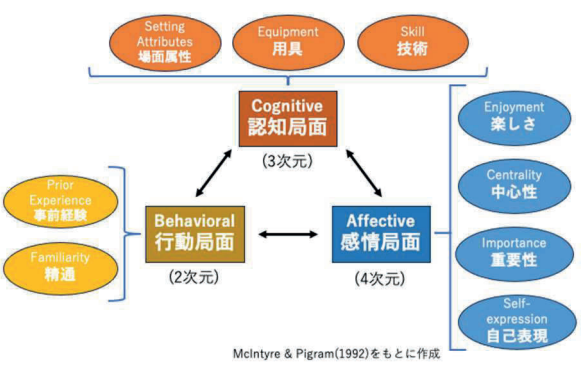


図 1 レクリエーションの専門志向化の概要図

他方，地域スポーツの文脈において，愛好者の専門志向化がもたらす影響は多面的である一方で，競技志向の過度な高まりは，特定の集団内での閉鎖性や排他性を生み出し，地域コミュニティにおける初心者や新規参加者の参入を阻害する要因になり得ると指摘されることもある．しかし，より建設的な視点に立てば，高度に専門志向化した愛好者は，当該競技に対する豊富な知識，卓越した技術，そして強固な人的ネットワークを有する地域スポーツの熟練者であるといえる．彼らの持つ高い熱意や経験値が，自身のプレーの向上のみに留まらず，周囲の参加者への技術指導や，クラブ運営・大会運営を牽引するリーダーシップへと転化された場合，地域のスポーツ環境を豊かにする極めて有用な資源となる．特に，今日の地域スポーツ環境においては，指導者や運営役員といった支える人材の確保が重要な課題となっている．特定の競技に深く傾倒し成熟した愛好者が，自身の活動の枠を超え，他の地域スポーツ活動を含めた役職(指導者，連盟役員，スポーツ推進委員など)を担うといった地域への還元を行っているかどうかは，持続可能で自立的な地域スポーツ振興策を講じる上で検証すべき核心的な問いである．しかしながら，普及が盛んであるにもかかわらず，ビーチボール愛好者を対象にその専門志向化の実態を明らかにし，それがスポーツ行動全体や地域社会への寄与(役職経験等)にどのような影響を与えているかを実証的に検討した研究は，管見の限り極めて少ない．

以上の背景と先行研究の動向を踏まえ，本研究では愛知県内のビーチボール愛好者を対象とした量的調査を実施し，以下の点を明らかにすることを目的とする．

第一に，愛好者の専門志向化の度合いやその要因を測定し，クラスター分析を用いて調査対象者を複数の類型に分類することで，専門志向化の多様な実態とその特性を明らかにする．

第二に，抽出された各クラスターと，ビーチボールの実施目的およびビーチボール以外の地域スポーツにおける役職経験の有無に関するスポーツ行動との関連性を明らかにする．

本稿の分析を通じて，ビーチボール愛好者が経験する専門志向化のプロセスが，単なる個人的な競技志向の変容にとどまらず，地域文化の創出や地域スポーツ振興に対してどのような波及効果をもたらし得るのかを社会学的視点から考察する．本研究の成果は，競技の発祥地と同等以上の熱量を持つ愛知県の事例を通じて，愛好者の成熟度に応じた適切な支援のあり方や，今後の

地域スポーツ組織の持続可能な運営に対する実践的な基礎資料を提供するものである．

２．研究方法

調査は，愛知県内で 2025 年 10 月 5 日に開催された大会に参加していた選手計 378 名を対象に質問紙調査を実施した．調査方法は大会当日の受付時にチーム代表者へ参加選手分が封入された封筒を手渡し，大会開催中にチーム所属選手へ配布してもらい，大会終了時までに専用の回収箱へと提出してもらう形式をとった．その結果，回答者の合計は 291 名で，全設問に対する同一回答および回答に大幅な欠損がみられるなどの不備があった対象者を除外し，本研究の分析対象者は 248 名(65.6%)となった．インフォームド・コンセントについては，大会の代表者会議時に出場チームの代表者へ調査の趣旨説明ならびに協力依頼を口頭で行うとともに，質問紙の冒頭にも調査協力依頼文を明記し調査内容の同意を前提として調査を実施した．なお，本研究は富山高等専門学校倫理審査委員会(承認番号：2025H-30)の承認を受けて実施された．

主な質問項目として，性別，年齢，職業の 3 項目からなる個人属性に関する内容および回答時点でのビーチボール歴，チーム所属期間，年間大会出場数，学生時代のバレーボール部所属経験有無，ビーチボールの実施目的，ビーチボール以外の地域スポーツ役職経験有無の 6 項目からなるスポーツ行動に関する内容を尋ねた．また，専門志向化に関する項目では Schroeder et al.(2013)および Beardmore et al.(2013)を基に，ビーチボール愛好者に対応した質問項目となるよう留意しながら感情局面，認知局面，行動局面の 3 局面に関連する計 22 項目を設定した．本項目は 1)全く当てはまらないから 5)非常に当てはまるまでの 5 段階リッカートタイプ尺度を用いて各回答を数値化した．

分析方法では，まず個人属性およびスポーツ行動に関する項目に関しては分布と割合を確認するため単純集計を行い，その結果を表にまとめた．次に，ビーチボール愛好者の専門志向化に関する因子構造を明らかにするために，専門志向化の各質問項目について因子分析(主因子法・プロマックス回転)を実施し因子の抽出と命名を行った．続いて，抽出された因子をもとに Ward 法による階層クラスター分析を用いてケース分類を行いビーチボール愛好者の類型化とその特性を確認した．その際，クラスターグループ別の専門志向化要因の比較には数値化した因子合計得点を用いて一元配置分散分析(その後，Tukey の HSD による多重比較検定)を実施した．最後に，各クラスターグループの特徴を把握するため，スポーツ行動に関する項目を用いてクロス集計による χ^2 検定を実施した．なお，本分析には統計処理ソフト SPSS Statistics Ver.29 を使用した．

３．研究成果

３．1．全体の個人属性とスポーツ行動

表 1 は，対象者の個人属性とスポーツ行動を表している．性別は男性が 47.6%(n=118)，女性が 52.4%(n=130)であり，年齢の平均は 51.78 歳であった．職業は会社員が 46.3%(n=114)と最

表1 全体の個人属性およびスポーツ行動

項目		n	%
性別			
	男性	118	47.6%
	女性	130	52.4%
職業			
	会社員	114	46.3%
	公務員／団体職員	17	6.9%
	自営業	20	8.1%
	パート・アルバイト	64	26.0%
	専業主婦(夫)	18	7.3%
	その他	13	5.3%
バレーボール部所属経験			
	所属経験あり	111	44.8%
	所属経験なし	137	55.2%
ビーチボールの実施目的			
	健康づくりのため	41	16.5%
	試合や大会で勝利するため	53	21.4%
	楽しむため	119	48.0%
	自己の生きがいのため	35	14.1%
ビーチボール以外の地域スポーツ振興役職経験有無			
	役職経験あり	49	19.8%
	役職経験なし	199	80.2%
		mean	SD
	年齢	51.78	13.01
	ビーチボール歴（年）	18.74	9.51
	現チーム所属期間（年）	6.79	8.21

も多く，次いでパート・アルバイトが26.0%(n=64)，自営業が8.1%(n=20)，専業主婦(夫)が 7.3%(n＝18)，公務員／団体職員が6.9%(n=17)，という順であった．スポーツ行動に関する項目のうち，対象者のビーチボール歴の平均は18.74年±9.51であり，現チーム所属期間の平均は6.79年±8.21であった．また，学生時代のバレーボール部所属経験有無ではありが 44.8%(n=111)，なしが 55.2%(n=137)，ビーチボールの実施目的に関しては楽しむためが最も多く，48.0%(n=119)，次いで試合や大会で勝利するためが21.4%(n=53)，健康づくりのためが16.5%(n＝41)，自己の生きがいのためが14.1%(n＝35)の順であった．最後にビーチボール以外の地域スポーツ振興の役職経験有無に関してはありが 19.8%(n=49)，なしが80.2%(n=199)であった．

まず，年齢において本研究の対象者の平均が51.78歳である点はビーチボールが中高年層を中心とした生涯スポーツとして強固に定着している現状を反映していることがいえる．特筆すべきは，継続年数の平均が18.74年と極めて長いことである．これは先行研究において専門志向化との関連が認められているシリアス・レジャー(アマチュアや趣味人などによる活動で，重要で面白く充足をもたらすものであるために，専門的な知識やスキル経験と表現を中心にした真剣な余暇活動(Stebbins，2015))の概念における長期的に専門性を追求して楽しむことを示す持続性の要件にも合致しており(Stebbins，1992；Tsaur & Liang，2008)，ビーチボールは一時的な余暇活動の枠を超え，人生の長期間にわたって継続されるライフスタイル型のスポーツとしての特性を裏付けていることがうかがえる．また，学生時代のバレーボール部所属経験に関しては，所属経験なしと回答した者が半数以上(55.2%)を占めていた．中村(2021)は同じくバレーボールから派生したスポーツであるソフトバレーボールに関して学生時代のバレーボール部所属経験がない愛好者がおよそ 4 割存在していることを述べているが，本研究対象のビーチボール愛好者に関してはそれを上回る結果を示していた．これはビーチボールが既存の競技スポーツの代替ではなく運動経験の有無を問わず参入可能な独自のスポーツ文化として，多様な層を受け入れてきたことを示しているものと考えられる．これら全体の個人属性ならびにスポーツ行動の分布は今後の専門志向化の議論を補強するための重要な基礎データといえる．

３．２．ビーチボール愛好者のレクリエーション専門志向化に関する因子構造

続いて，22 項目にわたるビーチボールの専門志向化項目の因子分析を行った．因子分析をする上での因子数の決定には，固有値の大きさをプロットしたスクリー基準と因子の累積寄与率から適切な因子数を総合的に判断した．なお，因子の抽出にあたっては因子負荷量の基準を.40 とし，これらの基準を超えた項目についてクロンバックのα係数を算出し，因子毎の一貫性を検討した．その結果，これらの基準に満たなかった「これまでビーチボールの技術を得たのだからビーチボールを続けていくことは重要である」の項目を削除し，最終的な因子分析を行った結果，5 つの因子からなる因子構造を抽出した．その結果を表 2 に示す．第 1 因子は「ビーチボールは私にとって興味深い」「ビーチボールは私にとって重要である」「ビーチボールは最も楽しいことの 1 つである」などが含まれていることから，「F1 愛着・自己中心性(α=.910)」と命名した．第 2 因子は「私はビーチボールについて多くを知っている」「私はビーチボールについて知識が豊富である」「私は周囲の人よりもビーチボールに関してより多くを知っている」などが含まれていることから「F2 知識技術(α=.908)」と命名した．第 3 因子は「ビーチボールの大会や試合の運営を自らが中心となり行える」「私は他の人に対しビーチボールの指導を行うことができる」「私はこれまでビーチボールを他の人に広める活動をしてきた」などが含まれていることから「F3 活動貢献(α=.854)」と命名した．第 4 因子は「親しい友人が他のスポーツを勧めてきたと

表 2 ビーチボールの専門志向化に関する因子分析

因子＜因子名＞	因子負荷量					Cronbach's
質問項目の内容	F1	F2	F3	F4	F5	α値
F1【愛着・自己中心性】						.910
ビーチボールは私にとって興味深い	.963	−.078	.039	.010	−.179	
ビーチボールは私にとって重要である	.914	−.031	.112	−.018	−.042	
ビーチボールは最も楽しいことの1つである	.705	−.029	−.016	.196	−.192	
ビーチボールは私の人生の重要な役割を担っている	.636	.024	.028	−.051	.310	
ビーチボールは私にとって重要な日常の活動になっている	.604	.049	−.097	−.008	.317	
私の人生の多くはビーチボールに関連している	.472	.124	−.008	.014	.308	
F2【知識技術】						.908
私はビーチボールについて多くを知っている	−.001	.930	.020	.003	−.038	
私はビーチボールについて知識が豊富である	.077	.894	.030	−.066	−.017	
私は周囲の人よりもビーチボールに関してより多くを知っている	−.063	.838	.088	.045	.005	
私のビーチボールの技術は高いレベルにあると思う	−.048	.600	.157	−.170	.160	
F3【活動貢献】						.854
ビーチボールの大会や試合の運営を自らが中心となり行える	−.106	−.044	.820	−.032	.189	
私は他の人に対しビーチボールの指導を行うことができる	−.013	.250	.729	.140	−.198	
私はこれまでビーチボールを他の人に広める活動をしてきた	.209	−.058	.702	−.156	.029	
私はビーチボールの審判技術が十分身についている	−.017	.244	.587	.103	−.059	
F4【種目精通】						.834
親しい友人が他のスポーツを勧めてきたとしても私はビーチボールを選ぶ	.104	−.187	.092	.794	.087	
私は他のスポーツよりもビーチボールが好きである	.089	−.019	−.119	.780	.054	
ビーチボールの技術を向上させることは私にとって重要である	.154	.166	−.097	.564	−.024	
他のスポーツをしているときでもビーチボールのことを考えることがある	.010	−.132	.241	.446	.248	
F5【自己表現】						.756
私は誰かがビーチボールをしているときにその人の多くを知ることができる	−.109	−.094	.103	.111	.821	
私がビーチボールをしているときに周囲の人々は私のことを私が望む見方で見てくれている	.016	.093	−.041	.014	.568	
私はビーチボールをしているときに本当の自分になれる	−.085	.286	−.120	.209	.448	
全体 (α=.929) 寄与率(%)	41.80	12.18	4.01	3.53	2.47	
累積寄与率(%)	41.80	53.98	57.99	61.52	63.00	
因子間相関	1.0					
	.502	1.0				
	.241	.582	1.0			
	.670	.519	.266	1.0		
	.649	.556	.309	.643	1.0	

しても私はビーチボールを選ぶ」「私は他のスポーツよりもビーチボールが好きである」「ビーチボールの技術を向上させることは私にとって重要である」が含まれていることから「F4 種目精通(α=.834)」と命名した．第 5 因子は「私は誰かがビーチボールをしているときにその人の多くを知ることができる」「私がビーチボールをしているときに周囲の人々は私のことを私が望む見方で見てくれている」「私はビーチボールをしているときに本当の自分になれる」が含まれていることから「F5 自己表現(α=.756)」と命名した．この尺度全体の累積寄与率は 63.00%で尺度全体のクロンバックのα係数は.929 であり，各因子ならびに尺度全体のクロンバックのα係数は Nunnally & Bernstein(1994)が定める.70 を上回っていたことからこの尺度の内的整合性に関して十分な水準が満たされていた．

３．３．専門志向化因子による愛好者の類型化とその比較

得られた因子をもとにビーチボール愛好者を類型化するにあたり，前述の 5 因子に加え，行動局面に該当するスポーツ行動である年間大会出場数とビーチボール継続年数を加えた尺度を用いてクラスター分析を実施した．分析にあたっては，それぞれの変数を Z 得点化し，個体間の距離の測定方法には平方ユーグリッド距離(Euclidean distance)を用いた．クラスター間の距離の測定方法は Ward 法による階層的クラスター分析を実施し，クラスター数の決定にはデンドログラムを参照したところ，最終的には 4 つのクラスターグループを抽出した．各グループのケース数はグループ 1 が 26 名(10.5%)，グループ 2 が 118 名(47.6%)，グループ 3 が 70 名(28.2%)，グループ 4 が 34 名(13.7%)であった．表 3 はグループ間の各項目の平均値と一元配置分散分析の結果である．その結果，全ての項目において.01%水準で有意差がみられたことからそれぞれの項目について Tukey の HSD 法による多重比較検定を実施した．まず，全体の 10.5%を占めるグループ 1(n=26)は，年間の大会出場数が 17.53 回と他群を圧倒しており，種目精通(4.30)も高いことから，技術向上と勝利を至上命題とする競技特化型ベテラン層に位置づけられる．これに対し，全体の半数近く(47.6%)を占める最大勢力であるグループ 2(n=118)は，諸指標において中間的なスコアを示すものの，平均 18.14 年という長い継続年数を有しており，過度な競技・運営プレッシャーから距離を置きつつ日常的にスポーツを享受する安定的定着層として本競技の強固な基盤を形成している．一方，グループ 3(n=70, 28.2%)は，愛着・自己中心性(4.66)や自己表現(4.07)のみならず，活動貢献(3.35)においても全グループの中で最高のスコアを示し，かつ継続年数も 21.69 年と最長であることから，高い内発的動機づけのもとでコミュニティの維持や運営を精神的に支える高コミットメント・リーダー層として同定された．最後に，全体の 13.7%を占めるグループ 4(n=34)は，心理的充足感や行動頻度が総じて最も低い周辺的参加・ライト層に分類されるといえるが，その継続年数は 13.30 年におよんでおり，競技そのものの専門的な魅力とは異なる社会的動機や健康維持等の周辺的価値によって繋ぎ止められている特性が示唆された．

以上の結果から，本研究対象におけるビーチボールコミュニティは，グループ 1 が体現する競技的・行動的特性とグループ 3 が体現する社会的・心理的特性という，専門志向化における異

なる 2 つの大きなコミットメントの受け皿が調和的に共存している点に最大の特徴がみられた．さらに，中庸な関わりを許容する層であるグループ 2 が全体の約半数を支えていることで，全グループを通じて 10 年～20 年を超える極めて高い定着率をもたらしていると考えられ，この競技性・日常性・社会性等が重層的に機能していることが，地域スポーツとしての高い持続可能性と愛好者の成熟を支える構造的要因であると示唆される．

表 3 ビーチボールの専門志向化の平均因子得点とクラスターグループ

専門化要因の個人局面	項目	Group1 (n=26, 10.5%)	Group2 (n=118, 47.6%)	Group3 (n=70, 28.2%)	Group4 (n=34, 13.7%)	F値	Tukey
感情局面	愛着・自己中心性	4.50	3.86	4.66	3.25	92.285***	G3>G2, G4 G1>G2, G4 G2>G4
	自己表現	3.77	3.39	4.07	2.87	45.575***	G3>G2, G4 G1>G2, G4 G2>G4
認知局面	知識技術	3.28	2.93	3.68	2.07	84.596***	G3>G1, G2, G4 G1>G2, G4 G2>G4
	活動貢献	2.87	2.50	3.35	1.85	44.152***	G3>G1, G2, G4 G1>G2, G4 G2>G4
行動局面	種目精通	4.30	3.54	4.22	2.87	56.990***	G1, G3>G2, G4 G2>G4
	大会出場数（年間）	17.53	5.98	6.28	5.21	94.16***	G1>G2, G3, G4
	継続年数	20.63	18.14	21.69	13.30	6.92***	G1, G2, G3>G4

***:p<.001

３．４．ビーチボール愛好者の各グループとスポーツ行動

最後に，類型化した各グループとスポーツ行動に関する項目との関連をみたところ，ビーチボール以外の地域スポーツ振興に関する役職経験の有無(p<.10)および，ビーチボールの実施目的(p<.05)に関して有意差がみられた(表 4)．地域スポーツ振興に関して役職経験ありと回答した者が，グループ 3 で最も高く 28.6%(n=20)，次いでグループ 4 が 23.5%(n=8)，グループ 2 が 16.1%(n=19)，グループ 1 が 7.7%(n=2)の順であった．実施目的では，楽しむためがグループ 1，2，4 においておよそ半数を占めていたが，グループ 3 では 35.7%(n=25)に留まり，それと同等の割合で試合や大会で勝利するためが 32.9%(n=23)存在する結果となった．

これら各クラスターグループにおけるスポーツ行動の差異は，ビーチボール愛好者が経験する専門志向化の質的な違いが，個人の活動目的のみならず，地域社会や他種目のスポーツ振興に対する寄与のあり方に深く影響していることを示唆している．第 1 に，グループ 3 の特性について考察すると，本グループは，前述(表 3)の通りビーチボールへの愛着や自己表現，活動貢献の因子が全群で最も高く，継続年数も最長(21.69 年)の層である．表 4 の結果から，彼らはビーチボールにおいて「楽しむため」だけでなく「勝利するため(32.9%)」という高い競技志向を維持しながらも，同時にビーチボール以外の地域スポーツ振興の役職経験(28.6%)も最も豊富であることが明らかとなった．したがって，本研究におけるグループ 3 は，高度な専門志向化を遂げた愛好者が，自身の競技力向上にとどまらず，地域のスポーツ推進や他種目の組織運営を支える有益なソーシャル・キャピタル(人間的資源)として地域社会に開かれた形で還元されている実態を示している．第 2 に，対照的な結果を示したグループ 1 についてである．彼らは年間大会出場数が 17.53 回と他群を圧倒しており，種目精通や技術向上への関心が高い行動局面・競技志向の専門化を遂げた層である．しかし，ビーチボール以外の地域スポーツ振興役職経験は 7.7%と

極めて低かった．この結果は，行動的・技術的側面に特化して専門志向化した愛好者は，自身の時間・経済的資源を自らの大会出場や練習に集中して投資する傾向が強く，他種目や地域全体を支える活動へのコミットメントには必ずしも結びつきにくいということを反映していると考えられる．第 3 に，最大勢力であるグループ 2 と残るグループ 4 の存在意義である．グループ 2 は半数近く(54.2%)が「楽しむため」を目的とし，過度な勝敗のプレッシャーや運営の負担から適度に距離を置きつつ，18 年を超える長期の継続を可能にしている．また，グループ 4 は「健康づくりのため(29.4%)」の割合が最も高く，心理的・行動的な専門化の度合いは低いものの，13.30 年という長きにわたりコミュニティの周辺部に位置づき続けている．注目すべきは，このライト層であるグループ 4 においても，他種目の役職経験が 23.5%と比較的高い点である．これは，彼らが元々地域コミュニティにおいて役員等を担うような社会通念的に活発な人材であり，ビーチボールの専門志向化は進んでいないものの，健康維持や住民交流の手段としてビーチボールを生活の中に長く位置づけている可能性を示唆している．

総じて，本研究対象者におけるビーチボールコミュニティの持続可能性は，グループ 1 のように競技力を牽引する層，グループ 3 のように高い熱量で競技と地域振興の双方を精神的・組織的に支えるリーダー層，そしてグループ 2・4 のように日常的な楽しみや健康維持を目的としてコミュニティの分厚い基盤を構成する層が，それぞれの成熟度と関与のスタイルに応じて調和的に共存している構造によって担保されていると結論づけられる．

表 4 クラスターグループとスポーツ行動の比較

項目		Group1 (n=26, 10.5%)		Group2 (n=118, 47.6%)		Group3 (n=70, 28.2%)		Group4 (n=34, 13.7%)		χ2値	p値
		n	%	n	%	n	%	n	%		
ビーチボール以外の地域スポーツ振興役職経験有無	役職経験あり	2	7.7%	19	16.1%	20	28.6%*	8	23.5%	7.117†	.068
	役職経験なし	24	92.3%	99	83.9%	50	71.4%*	26	76.5%		
ビーチボールの実施目的	健康づくりのため	1	3.8%	21	17.8%	9	12.9%	10	29.4%*	20.571*	.015
	試合や大会で勝利するため	7	26.9%	18	15.3%*	23	32.9%*	5	14.7%		
	楽しむため	13	50.0%	64	54.2%*	25	35.7%*	17	50.0%		
	自己の生きがいのため	5	19.2%	15	12.7%	13	18.6%	2	5.9%		

*:p<.05 †:p<.10

4．今後の展望

本研究は，愛知県内のビーチボール愛好者を対象にレクリエーション専門志向化の観点から量的調査を行い，愛好者の成熟度や関与のスタイルに応じた 4 つのクラスターグループを抽出した．そして，それらの層がコミュニティ内で調和的に共存している構造こそが，独自の地域スポーツ文化の定着と高い持続可能性を支えていることを明らかにした．これらの知見を踏まえ，本研究の成果がもたらす実践的・学術的な今後の展望について，以下の 2 点に整理する．

第 1 に，地域スポーツの現場における成熟した愛好者の特性に応じた人材マネジメントへの応用である．今日の地域社会において指導者や運営役員といった支える人材の確保が重要な課

題となる中，本研究は，高度に専門志向化した愛好者が必ずしも一様に地域振興の担い手になるわけではないという実態を示した．行動的・技術的側面に特化したグループ１に対しては，組織運営などの負担を求めるのではなく，純粋に高い技術力を周囲に還元できる指導の場や大会等の環境を提供することが望ましい．一方で，心理的・社会的なコミットメントが高いグループ３は，ビーチボールのみならず他種目の役職経験も豊富であり，地域の貴重な人的資源として既に多大な貢献を行っている．したがって，今後の地域スポーツ組織の持続可能な運営に向けては，彼らリーダー層の負担過多を防ぐための適切な支援体制を構築するとともに，中庸な関わりを持つグループ２や，地域の世話役層としての側面を持つグループ４といった多様な愛好者が，それぞれのスタンスで無理なく関わり続けられるような重層的な受け皿を維持していくことが重要であると展望される．

第２に，本研究の知見を基盤とした地域間比較および質的なアプローチによる研究の深化である．本研究は，普及が極めて盛んな愛知県の事例を通じて専門志向化の実態を実証的に検討したが，今後は本競技の発祥地である富山県など，他の地域における愛好者コミュニティとの比較検証を行う必要がある．地域特有の普及プロセスや組織の歴史的背景が，愛好者の専門化や地域還元行動にどのような差異をもたらすかを明らかにすることは，生涯スポーツの発展メカニズムを解明する上で学術的に極めて有意義である．さらに，今後は量的調査にとどまらず，長年コミュニティを牽引してきた指導者や競技団体役員への半構造化インタビューといった質的調査を組み合わせることで，専門志向化を遂げた個人が地域文化の創出やリーダーシップの獲得へと至る内面的な変容プロセスを詳細に解明し，より汎用性の高い地域スポーツ振興モデルの構築へと繋げていきたい．

５．参考文献

１．Beardmore, B., et al. (2013). Evaluating the Ability of Specialization Indicators to Explain Fishing Preferences. Leisure Sciences, 35(3), 273-292.

２．Bryan, H. (1977). Leisure value systems and recreational specialization: The case of trout fishermen. Journal of Leisure Research, 9, 174–187.

３．Choi, S., et al. (1994). Effect of social group, activity, and specialization on recreation substitution decisions. Leisure Sciences, 16, 143–159.

４．Hammitt, W. E., et al. (2004). Experience use history, place bonding, and resource substitution of trout anglers during recreation engagements. Journal of Leisure Research, 36, 356–378.

５．Kerstetter, D. L., et al. (2001). An exploration of the specialization concept within the context of heritage tourism. Journal of Travel Research, 39(3), 267–274.

６．McFarlane, B. (2004). Recreation specialization and site choice among vehicle-based campers. Leisure Sciences, 26(3), 309–322.

７．McIntyre, N. & Pigram, J. J. (1992). Recreation specialization reexamined: The case of

vehicle-based campers, Leisure Sciences, 14, 3-15.
８．中村祐太郎(2021). ソフトバレーボール愛好者の類型化とその特徴-目的志向に着目して-. バレーボール研究, 23(1), 1-10.
９．Needham, M. D., et al. (2005). Skill level and normative evaluations among summer recreationists at alpine ski areas. Leisure/Loisir, 29(1), 71–94.
１０. 二宮浩彰,他 (2002). レクリエーションの専門志向化-その研究動向と方法論-. 体育学研究, 47(4), 319-331.
１１．Nunnally, J. C. & Bernstein, I. H. (1994). “Psychometric theory”(McGraw-Hill, NY).
１２．Schroeder, S. A., et al. (2013). Identity and Specialization as a Waterfowl Hunter. Leisure Sciences, 35(3), 218-234.
１３．Stebbins, R. A. (1992). Amateurs, Professionals, and Serious Leisure. McGill-Queen’s University Press.
１４．Stebbins, R. A. (2015). Serious Leisure: A Perspective for Our Time. Transaction Publishers.
１５．Tsaur, S-H. & Liang, Y-W. (2008). Serious Leisure and Recreation Specialization. Leisure Sciences, 30(4), 325-341.
１６．Vaske, J., et al. (2004). Skill level and recreation conflict among skiers and snowboarders. Leisure Sciences, 26(2), 215–225.

研究題目	近世中期朝鮮通信使乗馬役と加賀藩前田家 ―享保4年（1719）の越中国砺波郡の朝鮮人御用から通信使行列の見物まで―
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	一般教養科・准教授・横山恭子
分野	近世日朝関係史、朝鮮通信使研究
キーワード	朝鮮通信使、乗馬役、加賀藩、越中国砺波郡、朝鮮人御用、前田綱紀

１．研究の背景と目的

本研究は、近世日本を訪れた朝鮮通信使と加越能地域のかかわりについて、通信使行列を支える立場から、究明するものである。主として享保４年（1719）を中心に、加賀藩前田家の乗馬役から派生した越中国砺波郡の朝鮮人御用（駅馬派遣）や、江戸浅草における加賀藩主前田綱紀の通信使行列の見物について取り扱う。

周知のように朝鮮通信使は、日朝両国の交隣関係を前提とした対等外交のもと、朝鮮国王から徳川将軍へ派遣された正式な外交使節である。江戸時代を通じて 12 回来日し、その内 10 回の使節が、将軍の待つ江戸へ参向した。また国書を運ぶ使者ゆえに「鎖国」政策下の日本国内においても丁重にもてなされ、将軍上洛に匹敵する国家レベルの迎送体制が整えられたのである。

使節一行は釜山を出航すると、海路・川路・陸路の順に日本国内を大移動する。まず朝鮮船にて、対馬を経て瀬戸内海を進み、大坂へ上陸する。その後、淀川を川御座船で遡航し、淀からは主に中山道・美濃路・東海道 526 ㎞の将軍上洛ルートを、対馬藩主（護行役）や以酊庵輪番僧（外交僧）とともに行列通行した。

一方で、加賀藩前田家の領有する加越能地域（加賀・能登・越中）は、使行ルートから外れており、これまで通信使とは無縁の地と考えられてきた。しかし近年、加賀藩が通信使来訪年に「乗馬役」を担い、加越能地域の村々も「朝鮮人御用」にたずさわったことがわかってきた。これまで近世日朝関係史・対外関係史研究は、「四つの口」や境界・周辺地域の研究を中心に進められてきたが、通信使が対馬「口」を超えて日本国内に入ると、通行地から遠く離れた地域も含め、多くの大名家が組織的に国内通行を支えていたことは、見落とされていたのである。

２．研究方法

本研究の主な史料は、富山大学附属図書館所蔵「朝鮮人御用馬留帳」『川合文書』、金沢市立玉川図書館近世史料館所蔵「中川長定覚書」『加越能文庫』、慶應義塾大学三田メディアセンター所蔵「朝鮮通信使記録」『対馬宗家文書』である。特に「中川長定覚書」は、『加越能文庫』に納められた史料のうち、享保年間に加賀藩の家老兼若年寄を勤めた中川長定による日記形式の記録である。同史料の内容は、通信使来訪年の享保４年全般にわたり詳細かつ豊富で、「朝鮮人御用馬留帳」『川合文書』などと照合しながら分析することが可能になる。「朝鮮通信使記録」は、『対馬宗家文書』のうち通信使関連の実務対応をまとめた対馬藩宗家の史料群である。天和２年（1682）から文化８年（1811）までの６回分の通信使記録が充実している。中でも享保４年９月

～10 月の江戸滞在中の記事から、江戸市中における通信使行列の行列見物にかかわる実態解明が期待される。このように対馬藩の近世日朝外交史料や通信使の通らない地域の藩政文書・地方史料など、さまざまな近世史料を複合的に分析することで、日本国内における朝鮮通信使の行列通行の具体的実態を明らかにするものである。

３．研究成果

研究の結果について、ここでは特に享保 4 年 9 月 27 日（通信使江戸入府日）におこなわれた加賀藩主前田綱紀の通信使行列の見物について紹介する。加賀藩 5 代藩主前田綱紀は、文化政策を重視した名君として知られている。「百工比照」「庶物類纂」「東寺百合文書」などの編纂・保存に代表されるように、その古書・書物の蒐集ぶりから、新井白石をして「加賀は天下の書府」と言わしめたほどである。晩年は、家臣の人材育成・学問奨励にも力を入れたと伝わる。

「中川長定覚書」9 月 19 日条によれば、前田綱紀は幼少のころ、通信使を見たものの全く記憶になく、前回の正徳元年（1711）も金沢滞在中で見物できなかったという。今回は、江戸在府中であり、ようやく通信使行列の見物のチャンスが巡ってきたというわけである。向学心旺盛な綱紀としては、「見物被致候ハヽ心得ニ茂成可申候（中略）此度こなた様から茂人馬も御出シ被成候へハ」と、家臣たちの知識・教養にもなり、何よりも国元から通信使用の人馬も出しているから（乗馬役）と、周囲に行列見物を推奨していた。一度に出かけず、通信使の入府・登城・帰国の機会に交代で見物するよう提案したほどの張り切りぶりであった。実のところ、綱紀は 8 月の江戸城登城時に、将軍吉宗より金沢帰国の許可を得ていたが、わざわざ延期してまで通信使の到着を心待ちにしていたのである。

加賀藩江戸藩邸では、金龍山浅草寺の支院の日音院に特設小屋を建て、江戸入府日に加賀藩主前田綱紀と後継吉徳の通信使行列の見物を決めた。この年の加賀藩は、乗馬役として参向舞坂・江戸間約 263 ㎞へ鞍置馬 40 疋を派遣するよう、幕府から命じられていた。越中国砺波郡の駅馬・馬子・馬裁許人を含む、国元からの加賀藩一行が、通信使行列に合流し役目を果たすのである。加賀藩主たちにとって、この晴舞台を見物できるのは、9 月 27 日の通信使の江戸入府をおいてほかになかった。

当日、前田綱紀・吉徳や従者たち総勢約 90 人は、浅草日音院において通信使行列の見物をおこなった。浅草日音院は、雷門の間近で大通りに面しており、行列見物には打ってつけの場所であった。ここから綱紀は、通信使以外にも国元の人馬も目にしており、加賀藩の馬は他藩の馬よりも随分立派に見えたと賞賛していたという。

また藩主や一族のみならず、加賀藩家臣による通信使行列の見物の記録も残されている。例えば江戸家老中川長定は、同役たちと京橋周辺の菓子師駿河屋三郎兵衛の方へ出向き、近習の大野木克明も身内を連れて、中橋あたりの香具屋から見物している。特に大野木克寛は「道々之往来大名・高家・僧俗男女夥敷事、提灯者きら星のことく、尤唐人通筋之町屋思い思いニ店ヲ飾、金銀の屏風を建、尤掃除已下美ヲ尽したる様子無双の壮観也（中略）異国ノ人ハ珍敷トいふ計にて、常ニ目なれされハ善悪ノ事も言難シ」（『大野木克寛日記』一巻、享保 4 年 9 月 27 日条）と、大

勢の人々で行列見物が賑わう風景や、通り沿いの店棚が金銀の屏風で美麗に飾り立てられている様子、また暗い時間に提灯が煌星のように輝いていたなどと、通信使行列の見物当日の光景を克明に記録していた。また異国人は珍しいが日頃から見ている訳ではないので、善悪はわからないと、正直に書き記している。そのほか、加賀藩の乗馬役の統率者として行列に加わった同僚の派遣役人の江戸到着を見守る記述もある。加賀藩主前田綱紀の見物の動機と合わせて考察すると、通信使行列の見物理由には、単に珍しい外交使節を見るだけでなく、その行列を支えていた部下・同僚を見守るというもう一つの目的、つまり加賀藩の構成員への気配り・配慮や身内意識が存在していたと考えられる。

４．今後の展望

以上のように、加賀藩主前田綱紀や加賀藩士たちは、通信使の江戸入府に合わせて行列見物をおこない、行列の中で役目を果たす国元の一行を見守っていた。国元へ帰った馬裁許人も、直に目にした通信使行列の光景を「朝鮮人乗行烈之覚」という記録に残していた（「朝鮮人御用馬留帳」享保４年９月 27 日条）。越中国砺波郡十村衆も御用に関する情報を「朝鮮人御用馬留帳」にまとめ、自分たちの手で後世に引き継いでいった。

加賀藩前田家の乗馬役から派生した、朝鮮人御用（駅馬派遣）を担っていたのは、明らかに加越能地域の村々から江戸や役遂行地へ出向した馬裁許人・馬子と、現地へ赴くことのない十村衆であった。このように通信使を支える人々がいたからこそ、加賀藩主前田綱紀の心を動かしたのではないだろうか。乗馬役（軍役賦課）と通信使行列の見物（文化的交流）という、別物に見える２つの事例は、明らかにつながっていたのである。加賀藩主の通信使行列の見物は、延享５年（1748）にも見られる。また弘前藩などでも同様におこなわれていたことが確認できる（「江戸日記」『津軽家文書』享保４年９月 27 日条）。これらの分析・検証は今後の課題である。

このように、徳川幕府や対馬藩の人物のみならず、遠隔地から通行地へ集められた大勢の日本人が、通信使を支えていたことは、あまり知られていない。彼らの地道な努力が通信使の江戸参向を実現させ、日朝両国の良好な関係に結びついたことに、光を当てていくべきであろう。

５．主要参考文献

１．小西洋子「別宗祖縁と前田綱紀」『石川県立歴史博物館紀要』第 19 号、2007 年
２．徳田寿秋「朝鮮使節と御用馬調達と行列について」『石川郷土史学会々誌』第 38 号、2005 年
３．長山直治監修・校訂編集髙木喜美子『大野木克寛日記』一巻、桂書房、2011 年
４．拙稿「朝鮮通信使乗馬役と加賀藩前田家－正徳・享保期の鞍置馬派遣を中心に－」『地方史研究』第 359 号、2012 年
５．拙稿「近世中期加越能地域の朝鮮人御用－享保四年越中国砺波郡の駅馬派遣から－」『日本歴史』第 779 号、2013 年
６．拙稿「近世中期越中国砺波郡の朝鮮人御用－享保四年砺波郡十村衆の駅馬仕立を中心に－」『富山史壇』第 187 号、2018 年

研究題目	IoT を用いた植物の CO_2 吸収量測定とカーボン固定量推定方法の検討
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	電子情報工学科・准教授・的場 隆一
分野	情報工学，環境工学
キーワード	CO_2吸収量推定，環境センシング，機械学習，時系列解析，カーボンニュートラル

本報告書では，公益財団法人富山第一銀行奨学財団の研究助成により実施した，地被植物を対象とする CO_2吸収挙動の IoT 計測と，機械学習を用いた炭素固定量推定方法の検討結果を報告する．本研究で得られた成果の一部は，31st International Symposium on Artificial Life and Robotics において「Development of a Quantitative Evaluation Method for CO_2 Absorption by Ground Cover Plants Using Sensor Data and Machine Learning」として発表し，プロシーディングスに掲載された[1]．発表では，低コストセンサによる屋外 CO_2濃度計測，MLP と CNN+GRU の比較，および特徴量削除実験による入力変数の寄与度評価を報告した．なお，本報告書に含めた図表は，財団報告書用に新たに作成または再構成したものであり，学会プロシーディングスに掲載されたものをそのまま転載したものではない．

１．研究の背景と目的

カーボンニュートラル社会の実現に向けて，植物による CO_2吸収機能を定量的に評価することは重要な課題である．樹木や草本植物を含む緑化は，景観形成，地温上昇の抑制，土壌流出防止，生態系維持など多面的な効果を有するが，実際の屋外環境において，どの程度 CO_2吸収に寄与しているかを簡便に測定する方法は十分に確立されていない．特に，低コストかつ現地設置可能な計測手法が不足していることは，地方自治体，教育機関，造園業，農業分野において，植物の CO_2吸収量を日常的に測定・評価する仕組みの導入を妨げる要因となっている．

本研究で着目したクラピア等の地被植物は，地表を広く覆うことにより雑草抑制や土壌保全に寄与する植物であり，管理負担の低い緑化材料として期待されている．富山県内でも空き家や低利用地の増加が地域課題となっており，これらの土地を小規模な緑地として活用できれば，景観改善に加えて，地域に根ざした環境負荷低減策となる可能性がある．しかし，緑化の効果を社会実装へつなげるためには，「緑がある」という定性的説明だけでなく，CO_2吸収量や炭素固定量を数値として示す評価技術が必要である．

従来の植物 CO_2吸収量測定では，チャンバー法や大型分析装置を用いる手法が多く，装置コスト，設置場所，観測範囲，長期運用の点で制約が大きい．一方，低コスト NDIR センサは屋外 CO_2計測への応用可能性を有するが，環境条件による誤差補正が重要である[2].

そこで本研究では，Raspberry Pi 5 を中心とする低コストな IoT 計測システムを構築し，植物周辺の CO_2濃度と環境データを高頻度に取得することを第一の目的とした．さらに，取得した時系列データに機械学習を適用し，屋外環境における CO_2濃度変動を予測・解析することで，植物による CO_2吸収挙動および炭素固定量推定の基盤を構築することを目指した．

２．研究方法

2.1 計測対象と IoT 計測システム

本研究では，富山県内の地被植物植栽フィールドを対象とし，植物周辺の CO_2濃度および環境条件を連続的に取得する計測システムを構築した．計測システムは Raspberry Pi 5 を中核とし，CO_2濃度・温度・湿度を同時に取得できる Grove CO_2 & 温湿度センサモジュール（SCD30 搭載）を 3 台使用した．センサは，空気の流入側，クラピア通過直後の測定部，排出側に配置し，植物通過前後の CO_2濃度差を捉えられる構成とした．

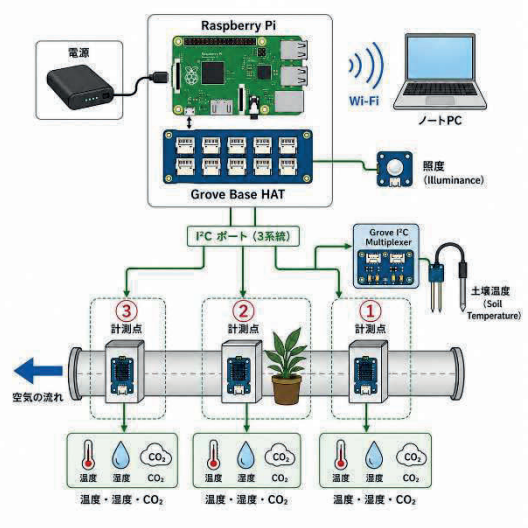


図 1 CO_2濃度・環境データ計測システムの模式図

CO_2センサに加えて，光合成に関係する環境要因を取得するため，照度センサ，土壌温度センサを併用した．これにより，CO_2濃度だけでなく，温度，湿度，照度，土壌温度といった多変量データを同時に取得できる．複数の SCD30 は I^2C アドレスが同一であるため，I^2C マルチプレクサを用いて通信チャンネルを切り替え，1 台の Raspberry Pi で複数センサを安定して扱えるようにした．本研究で構築した CO_2濃度測定キットの模式図を図 1 に示す．

取得した CO_2濃度および環境パラメータは，Raspberry Pi 上の Python スクリプトにより約 5 秒間隔で記録した．各サンプルには，流入側 CO_2濃度（co2_in），植物近傍 CO_2濃度（co2_mid），流出側 CO_2濃度（co2_out），温度(temp)，湿度(humid)，照度(illum)，土壌温度(soil_temp)の計測値をタイムスタンプとともに CSV 形式で保存した．植物通過前後の CO_2濃度差を吸収挙動の指標として扱うため，各測定点の時間同期を保つことを重視した．

解析では，測定日ごとに保存された CSV ファイルを時系列順に連結し，機械学習モデルに入力できる形式へ整形した．屋外環境の生データが持つ変動を評価するため，基本的には外れ値除去や平滑化を行わず，低コストセンサで取得された実測データをそのまま用いた．これにより，実運用に近い条件下でモデルの有効性を検証できるようにした．

2.2 CO_2濃度推定モデル

本研究では，地被植物の CO_2 吸収量を推定するため，複数の機械学習モデルを比較し，それ

ぞれの予測能力を検証した．まず，時刻 t の単一データポイントのみを使用する最も単純なベースラインとして，多層パーセプトロン（MLP）モデルを構築した．MLP は非時系列モデルであり，瞬間的な環境状態のみから co2_out を予測する構造である．これは，時系列依存構造を持たないモデルがどこまで予測可能かを明らかにすることを目的としたものであり，提案モデルの優位性を評価する基準となる．

これに対して，CO_2 濃度変化は環境変動の蓄積効果，光の増減，土壌温度の緩慢な変動など，明確な時間依存性を持つことが知られている[3]．この特性をより適切に扱うため，提案モデルとして 1D-CNN と GRU（Gated Recurrent Unit）を組み合わせたハイブリッド時系列モデルを構築した．まず 1D-CNN により，環境データの短期的な局所変動パターン（照度の急上昇や CO_2 の微細な揺らぎなど）を抽出し，その後 GRU により中期的な依存関係（光量の持続，気温の緩やかな変化など）を学習させる．CNN は局所パターンの抽出に優れ，GRU は LSTM よりもパラメータ数が少なく計算効率に優れるため，屋外環境での大量データを扱う本研究に適している[4]．

モデルへの入力は，過去 W 秒間（本研究では約 10 分間）の環境センサデータを stacked tensor（時系列方向に積み重ねた入力データ）として与え，出力は $t+\Delta$（本研究では Δ を 0, 30, 60, 120 秒としている）における co2_out である．これにより，モデルは「現在の環境状態が近未来の CO_2 変化にどのように影響するか」を学習する．学習には Huber loss を用い，急激な CO_2 変動が存在する区間でもロバストな学習を行えるようにした．また，Adam 最適化手法によって収束性の安定化を図った．

ベースラインである MLP と提案モデルである CNN+GRU を比較することで，時刻 t の単一の状態のみを入力とする非時系列モデルがどの程度まで CO_2 濃度の変動を捉えられるか，および過去の履歴情報を明示的に取り込む時系列モデルが予測性能や挙動にどのような差異を示すかを検証した．モデルの学習・評価には，2025 年 10 月 2 日から 10 月 11 日までに取得した 10 日間のデータを用いた．10 月 2 日から 10 月 9 日までの 8 日分を学習データ，10 月 10 日および 11 日の 2 日分をテストデータとし，日単位で分割することで学習と評価の双方に同じ日のサンプルが含まれることを避けた．これは未観測期間に対する一般化能力を評価するためである．評価指標には，平均絶対誤差（MAE）と決定係数（R^2）を用いた．MAE は CO_2 濃度の予測誤差を直接数量として解釈でき，R^2はモデルが時系列変動をどの程度説明できているかを示す．さらに，乱数シードを複数設定し，初期値依存性を考慮した性能評価を行った．

また，本研究では提案モデルがどの入力変数に依存しているかを明らかにするため，特徴量削除実験を実施した．対象とした特徴量は，温度（temp），湿度（humid），照度（illum），土壌温度（soil_temp），入口 CO_2濃度（co2_in）である．全特徴量を用いたモデルを基準とし，それぞれ 1 変数ずつ削除した条件でモデルを再学習し，性能変化を比較した．この実験により，屋外CO_2濃度推定において支配的な物理量と，低コストセンサ由来のノイズが与える影響を検討した．

３．研究成果

3.1 計測システムの構築と屋外データ取得

本研究では，Raspberry Pi 5，複数の NDIR 方式 CO_2センサ，照度センサ，土壌センサを統合した屋外設置可能な IoT 計測システムを構築した．複数の CO_2センサを用いることで，流入側，植物近傍，流出側の濃度変化を連続的に把握できるようになった．また，照度，温度，湿度，土壌温度を同時に記録することで，CO_2濃度変動を環境条件と関連付けて解析する基盤を整備した．

屋外環境下で取得した CO_2濃度は，日射や周辺環境の影響を受けて時間的に大きく変動した．夜間から早朝，日中，夕方にかけての変化には日周性が見られ，植物活動および環境条件の影響を含む動的な CO_2挙動が観測された．一方で，散水，作業介入，センサリセット等に起因すると考えられる急激なスパイクや 0 ppm 近傍の異常値も確認され，屋外計測におけるノイズ対策の必要性が明らかとなった．

3.2 MLP と CNN+GRU の性能比較

単一時刻の環境情報のみを入力とする MLP では，CO_2濃度の大まかな傾向は捉えられたものの，日内変動の振幅や急激な増減を十分に再現できなかった．複数の乱数シードで評価した結果，MLP の MAE は 196.66 ± 14.61 ppm，R^2は 0.240 ± 0.095 であった．これは，屋外 CO_2濃度の変動が単一時刻の状態量だけでは説明しにくく，時間的な履歴情報を必要とすることを示している．

一方，過去約 10 分間の履歴を入力として用いる CNN+GRU モデルでは，MAE が 132.39 ± 12.94 ppm，R^2が 0.620 ± 0.044 となり，MLP に比べて誤差が大幅に低下し，説明力も向上した．特に，CO_2濃度の日周変動の立ち上がりや減衰，ピーク位置を比較的よく追従できたことから，時系列情報を明示的に取り込むモデル構造の有効性が確認された．これらの比較をまとめたものを表 1 に示す．

表 1　モデルの性能比較

モデル	入力情報	MAE [ppm]	R^2	結果の解釈
MLP	単一時刻の環境情報	196.66 ± 14.61	0.240 ± 0.095	大まかな濃度レベルは把握するが，日周変動や急変を十分に再現できない．
CNN+GRU	過去約 10 分間の時系列情報	132.39 ± 12.94	0.620 ± 0.044	時間的文脈を扱うことで，日周変動とピーク位置をより良く再現した．

3.3 特徴量削除実験の結果

提案モデルが各入力変数にどの程度依存しているかを明らかにするため，特徴量削除実験を実施した．温度（temp），湿度（humid），照度（illum），土壌温度（soil_temp），入口 CO_2（co2_in）の 5 変数について，それぞれ 1 つ除外したモデルを再学習し，結果を比較したものを表 2 に示す．

最も顕著な性能低下が見られたのは co2_in を除外した場合であり，MAE は大幅に悪化し，R^2 も大きく低下した．入口 CO_2 は出口 CO_2 の直接的な決定因子であり，モデルが最も強く依存している特徴量であることが明確に示された．

一方，照度（illum）および土壌温度（soil_temp）を削除した場合の性能劣化は小さく，これらは補助的な情報として機能していると考えられる．湿度（humid）を削除した場合は，軽度の性能低下が見られたが，予測精度を強く支配する要因ではなかった．

興味深い点として，温度（temp）を削除した場合には，むしろ MAE・R^2 ともに改善が見られた．この挙動は，温度が CO_2 濃度と必ずしも線形・単調な関係を持たず，特に夜間や外乱要因の大きい時間帯において，温度変動がノイズ源として働いていた可能性を示唆している．すなわち，温度は CO_2 の日内変動と緩やかに関連するものの，他の入力変数（特に co2_in）と比べると情報価値が低く，モデルに混乱を与える寄与成分を含んでいた可能性が高い．

以上の結果から，提案 CNN+GRU モデルが最も強く依存している特徴量は co2_in であり，これを中心とした時系列構造の学習によって高い予測性能が得られていることが確認された．また，温度の削除による精度改善は，低コストセンサ由来のノイズが入力特徴量に悪影響を与える場合があることを示しており，特徴量選択の重要性を示す結果となった．

本稿用に MAE の比較として再整理したものを図 2 に示す．実験より，環境変数は多ければ多いほどよいのではなく，観測条件に応じて有効な特徴量を選択する必要があることがわかった．この結果は，単に高性能な機械学習モデルを用いるだけではなく，実環境計測に由来するデータの性質を踏まえて入力変数を設計することの重要性を示している．低コストセンサを用いた屋外計測では，温湿度変化，センサドリフト，設置角度，周辺作業など，実験室内では生じにくい外乱が含まれる．そのため，今後の炭素固定量推定では，センサ設計，データ前処理，特徴量選択，モデル構造を一体として検討する必要があることがわかった．

表 2 特徴量削除実験における CNN+GRU モデルの性能比較

削除した特徴量	使用した特徴量	MAE 平均	R^2平均
なし	temp, humid, illum, soil_temp, co2_in	132.4	0.6
温度	humid, illum, soil_temp, co2_in	119.4	0.7
湿度	temp, illum, soil_temp, co2_in	147.8	0.6
照度	temp, humid, soil_temp, co2_in	134.5	0.6
土壌温度	temp, humid, illum, co2_in	124.4	0.6
入口側 CO_2 濃度	temp, humid, illum, soil_temp	181.6	0.3

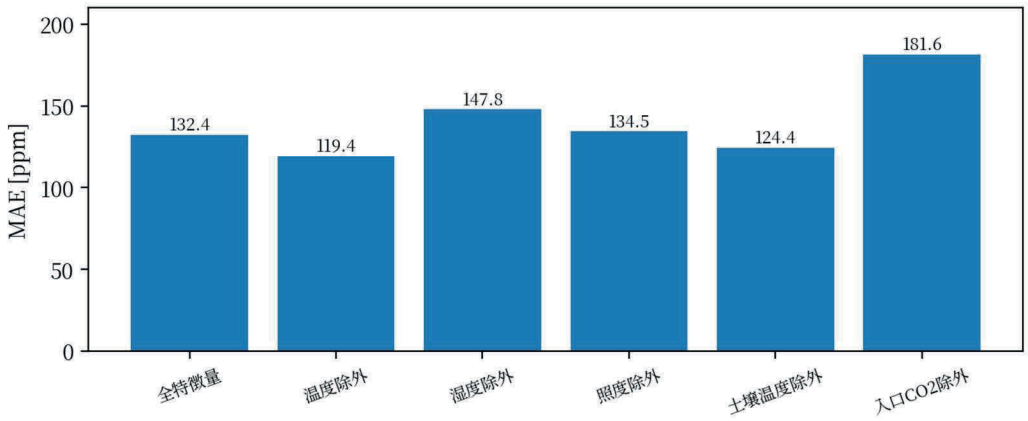


図 2 特徴量削除実験における MAE の比較

3.4 申請時の研究計画に対する達成状況

本助成金申請時には，IoT を用いた CO_2吸収量測定システムの構築，環境データの収集，ニューラルネットワークによる推定モデルの構築，および都市緑化や農業分野への応用可能性の検討を計画した．本研究では，計測システムの構築と屋外データ取得，時系列機械学習モデルによる推定性能評価，特徴量削除実験による入力変数の寄与度評価までを実施できた（表 3 参照）．

表 3 申請時の研究計画に対する達成状況

申請時の計画項目	本研究での実施内容	達成状況
低コストな CO_2計測装置の構築	Raspberry Pi 5，SCD30 センサ 3 台，照度・土壌センサを統合した計測システムを構築した．	達成
植物通過前後の CO_2濃度差の取得	流入側，植物近傍，流出側の 3 点で CO_2 濃度を取得できる構成とした．	達成
環境条件を含むデータ収集	温度，湿度，照度，土壌温度を同時に記録した．	達成
機械学習による推定モデル構築	MLP と CNN+GRU を比較し，時系列モデルの優位性を確認した．	達成
炭素固定量の直接評価	CO_2濃度推定の基盤は構築したが，固定量換算には追加測定が必要である．	継続課題

以上より本実験では，申請時に掲げた「低コストかつ現地設置可能な計測技術」と「機械学習による CO_2吸収挙動の推定」という中核部分を実証できた．一方，炭素固定量そのものを定量的に評価するためには，CO_2濃度差と風量・植栽面積・植物成長量を結びつける換算モデルの構築が必要であり，これは今後の重要な課題である．したがって，本研究では炭素固定量その

ものの直接算出には至っていないが，その前段階となる CO_2 濃度差の取得および時系列推定モデルの構築を達成した．

3.5 本研究成果の学術的・地域的意義

学術的意義として，本研究は，屋外環境における植物周辺 CO_2 濃度の推定において，時間的文脈を考慮することが有効であることを実測データに基づいて示した点に特徴がある．従来の静的な回帰モデルでは，非線形で時間依存性の強い CO_2 変動を十分に扱えなかったが，CNN+GRU を用いることで日周変動の形状をより適切に捉えることができた．

工学的意義としては，Raspberry Pi と市販センサを組み合わせた低コストシステムにより，教育機関や地域企業でも導入可能な環境モニタリング基盤を構築した点が挙げられる．高価な専用装置に依存しないため，複数地点への展開や長期観測，学生実験・地域連携研究への応用が期待できる．

地域的意義としては，空き家周辺や低利用地の緑化効果を，景観改善だけでなく CO_2 吸収という観点から定量的に評価する可能性を示した点が重要である．富山県内では，人口減少や空き家増加に伴い，管理が難しい小規模土地が各地に存在する．クラピア等の地被植物を用いた緑化と IoT 計測を組み合わせることで，地域の環境価値を可視化する仕組みにつながる．

教育的意義としては，センサ回路，通信，データベース化，Python による解析，機械学習，環境評価を一連の研究として扱える点が挙げられる．高専教育において，情報工学と環境工学を結びつけた実践的な研究テーマとして活用でき，学生が地域課題を技術で解決する経験を得られる．

４．今後の展望

本研究により，低コストな IoT 計測システムと時系列機械学習を組み合わせることで，屋外環境における植物周辺 CO_2 濃度の動的変化を推定できる可能性が示された．一方で，本研究は主として CO_2 濃度変動の推定に焦点を当てており，実際の炭素固定量へ換算するためには，さらに複数の課題が残されている．

第一に，センサの校正と異常値処理の高度化が必要である．低コスト NDIR センサを用いた長期計測では，温湿度変動，設置環境，センサドリフト等の影響を受けるため，校正や異常値処理が重要である[5]．本研究でも，0 ppm 近傍の異常値や急激なスパイクが一部確認された．今後は，異常値を自動検出する前処理，欠損値補完，ロバストな損失関数，センサ間補正などを導入し，実運用時の信頼性を高める必要がある．

第二に，CO_2 濃度変化を植物の炭素固定量に変換するためのモデル化を進める必要がある．植物による吸収量は，葉面積，植栽面積，風量，土壌状態，生育段階に依存する．今後は，葉面積指数，植栽被覆率，バイオマス量，土壌炭素量などを併せて測定し，CO_2 濃度差から炭素固定量へ換算する手法を構築する．

第三に，長期・多地点観測による季節変動の評価が必要である．本研究では限られた期間のデ

ータを対象としたが，実際の緑化効果を評価するには，春夏秋冬を含む長期データが不可欠である．今後，富山県内の複数地点，とくに空き家周辺の低利用地や小規模緑地を対象として観測を行えば，地域環境に即した CO_2 吸収評価が可能となる．

第四に，社会実装に向けた簡便な評価指標の整備が求められる．造園業，自治体，学校，地域団体が利用できるようにするためには，高度な機械学習モデルの内部をそのまま提示するのではなく，「単位面積当たりの CO_2 吸収推定量」「緑化面積に応じた年間炭素固定量」「管理条件による効果の違い」など，意思決定に使いやすい指標へ整理することが重要である．

これらの検討を進めることで，本研究は，富山県における空き家・低利用地の緑化，都市部の環境負荷低減，地域のカーボンニュートラル施策に貢献できる可能性がある．今後は，環境センシング，植物生理，機械学習，地域緑化を統合した実践的な評価技術として発展させる．

５．参考文献

[1] M.Takewaki, Y.Hata, H.Niwa, T.Morizane, T.Nakagawa, M.Tafu, and R.Matoba, “Development of a Quantitative Evaluation Method for CO_2 Absorption by Ground Cover Plants Using Sensor Data and Machine Learning”, In Proceedings of 31st International Symposium on Artificial Life and Robotics, pp.704–709, 2026.

[2] C. R. Martin, N. Zeng, A. Karion, R. R. Dickerson, X. Ren, B. N. Turpie, and K. J. Weber, “Evaluation and environmental correction of ambient CO_2 measurements from a low-cost NDIR sensor”, Atmospheric Measurement Techniques, Vol.10, pp.2383–2395, 2017.

[3] D. H. Jung, H. S. Kim, C. Jhin, H. J. Kim, and S. H. Park, “Time-serial analysis of deep neural network models for prediction of climatic conditions inside a greenhouse”, Computers and Electronics in Agriculture, Vol.173, 105402, 2020.

[4] K. Cho, B. van Merrienboer, C. Gulcehre, et al., “Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation”, EMNLP, pp.1724–1734, 2014.

[5] M. Müller, P. Graf, J. Meyer, A. Pentina, D. Brunner, F. Perez-Cruz, C. Hüglin, and L. Emmenegger, “Integration and calibration of non-dispersive infrared (NDIR) CO_2 low-cost sensors and their operation in a sensor network covering Switzerland”, Atmospheric Measurement Techniques, Vol.13, pp.3815–3834, 2020.

研究題目	ボルダリングにおける四肢外力推定フレームワークの構築と機械学習による課題グレード推定に向けた定量評価
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	電子情報工学科・准教授・伊藤尚
分野	情報工学
キーワード	ボルダリング，マーカーレスモーションキャプチャ，外力推定

１．研究の背景と目的

ボルダリングにおける課題グレードは，課題製作者の経験や主観に基づいて決定されることが多く，表記されたグレードとクライマーが体感する実際の難易度が一致しない場合がある．このような不一致は，適切な課題選択や技術向上を妨げるだけでなく，誤った難易度判断による怪我のリスクにもつながる可能性がある．

これまで我々は，MoonBoard を対象として，ホールド配置画像から機械学習により課題グレードを推定する手法を提案してきた[1]．しかし，一般的なボルダリング壁では壁形状やホールドの種類が多様であるため，ホールド配置のみを入力としたモデルでは十分な汎化性能を得ることが難しい．

そこで本研究では，ホールド配置に加え，登攀動作そのものに着目した．登攀時に四肢へ作用する外力は，課題の身体的負荷や動作特性を反映する重要な情報であると考えられる．本研究では，マーカーレスモーションキャプチャと物理エンジンを組み合わせた簡易的な四肢外力推定手法を構築し，推定された外力の機械学習によるボルダリング課題グレード推定における特徴量としての有効性を検討することを目的とする．

２．研究方法

本研究では，スマートフォンで撮影した登攀動画から，マーカーレスモーションキャプチャツール「Move AI」を用いて三次元モーションデータを生成し，物理エンジン「Unity」において身体各部の物理量を算出した（図 1 参照）．得られた加速度や角加速度，慣性テンソルなどを用いて運動方程式を適用し，壁面やホールドと接触する四肢先端に作用する外力を推定した．

この提案手法の有効性を検証するため，二つの実験を実施した．

第一に，ジャンプ動作を対象として，提案手法により推定した鉛直方向外力とフォースプレートによる計測値を比較し，RMSE，相関係数により外力推定精度を評価した．

第二に，MoonBoard において複数の課題を登攀し，推定された四肢外力と課題グレードとの関係を評価した．各登攀について，両手両足それぞれの外力の最大値および平均値を特徴量とし

て抽出し，重回帰分析を用いて課題グレードとの関係を解析した．

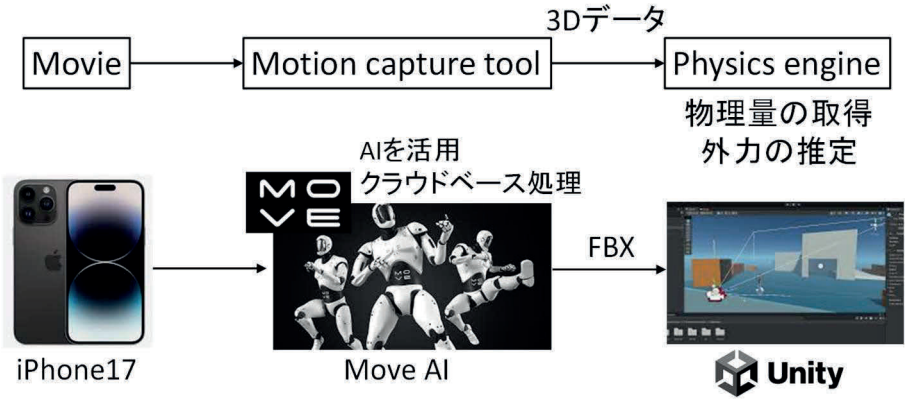


図 1　提案手法の概要．

３．研究成果

ジャンプ動作を対象とした外力推定精度の評価結果を図 2 に示す．図 2 において，横軸は時間，縦軸は外力値である．青線がフォースプレートの計測値，橙線が提案手法による推定値である．この結果から，RMSE は比較的大きな値となった一方で，相関係数は一定の値を示した．この結果から，提案手法は外力の絶対値を高精度に推定するには課題を残すものの，登攀動作に伴う外力の時間的変動や相対的な増減傾向を捉えることが可能であることが確認された[2]．

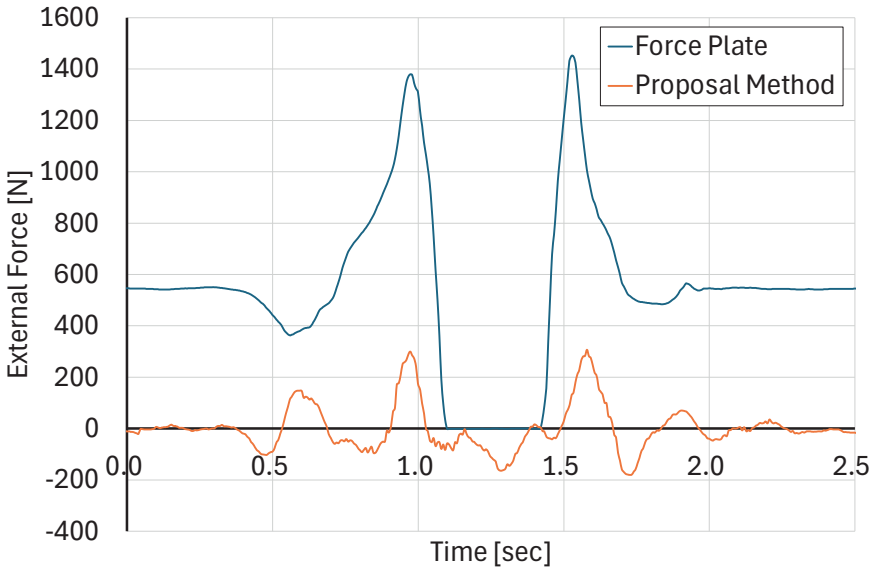


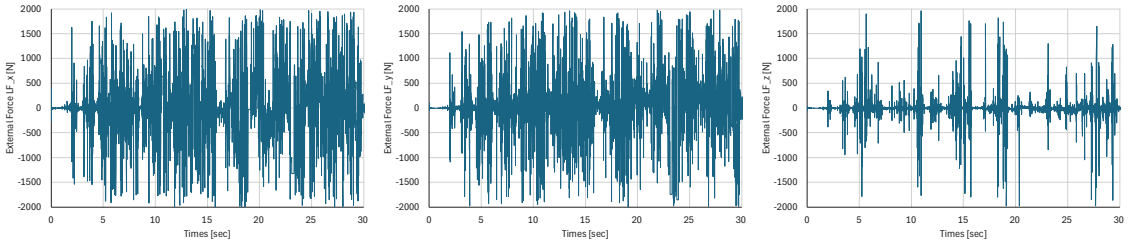
図 2　フォースプレートと提案手法の比較

また，推定された外力の登攀時の方向別挙動の例を図 3 に示す．図 3 はある課題を登攀中の左足の推定外力である．図 3 において，横軸は時間，縦軸は推定外力値を示している．(a)，(b)，(c)は x 軸（水平方向），y 軸（垂直方向），z 軸（壁面からの距離方向）をそれぞれ示している．

x 軸および y 軸方向では外力変動が大きく，z 軸方向では比較的小さい傾向がみられた．この結果は，ボルダリングにおける一般的な登攀動作の特徴と定性的に一致しており，提案手法が登攀動作の特徴を反映した外力情報を抽出できていることが示唆された[3].

さらに，推定された四肢外力を特徴量として重回帰分析を行った結果，課題グレードとの間に一定の関係性が認められた．一方，被験者が 2 名および課題数が 14 課題と限られていたため，各回帰係数の統計的有意性は十分ではなく，本研究の結果は探索的・予備的な知見として位置付けられる．

以上より，本研究では，登攀時に推定される四肢外力が，ボルダリング課題グレードを特徴付ける情報を含んでおり，将来的な機械学習による課題グレード推定の有望な特徴量となる可能性を示唆した．



(a) x 軸方向　　(b) y 軸方向　　(c) z 軸方向

図 3　登攀中推定外力の例（左足）

４．今後の展望

今後は，被験者数および課題数を増加させることで統計的信頼性を向上させるとともに，外力推定モデルの高精度化を図る予定である．また，今回有効性が示唆された四肢外力特徴量を，ニューラルネットワークなどの機械学習モデルへ組み込み，ホールド配置情報と組み合わせた課題グレード推定手法の構築を進める．これにより，より高精度かつ汎用性の高いボルダリング課題グレード推定システムの実現を目指す．

５．参考文献

１．Yoto Omotani, Nao Ito, “A consideration of training data for a sport climbing difficulty estimation system using CNN,” IEICE Tech Rep., vol. 123, no. 438, CAS2023-128, pp. 95-98, 2024.

２．Hyuuga Ishisaki, Daigo Takakuwa, Nao Ito, “Development and Evaluation of a Four-Limb External Force Estimation System for Bouldering Climbing,” IEICE Tech. Rep., vol. 125, no. 321, CAS2025-79, pp. 127-130, 2026.

３．Nao Ito, Hyuga Isisaki, “Evaluating the Effectiveness of External Forces as Features for Machine Learning-Based Bouldering Grade Estimation,” IEICE Tech. Rep., vol. 125, no. 77, CAS2025-12, pp. 57-62, 2025.

研究題目	『妖精の女王』第二巻における時間の概念について
機関名	富山県立大学（元 富山高等専門学校）
研究代表者	工学部 教養教育センター・講師・陳　璐
分野	英文学
キーワード	エドマンド・スペンサー／節制／時間性／ルネサンス文化

１．研究の背景と目的

本研究は、16 世紀英国の詩人エドマンド・スペンサー（Edmund Spenser）の長編叙事詩『妖精の女王』（*The Faerie Queene*, 1590・1596 年刊）第二巻「節制の物語」（The Legend of Temperance）を対象とし、作品における「時間」の表象と倫理的意味を明らかにすることを目的とした。スペンサー研究において第二巻は、欲望の抑制や道徳的自己統御を主題とする巻として広く論じられてきたが、本研究では、節制が単なる道徳的自制の徳目ではなく、「時間をいかに経験し、管理し、適切に用いるか」という問題と密接に結びついている点に注目した。

従来、この巻に含まれるマモンの洞窟（Cave of Mammon）のエピソードは、誘惑、貪欲、帝国的欲望の寓意として読まれてきた。とりわけ近年の研究では、新大陸の金銀獲得や植民地的拡張との関係が指摘され、スペンサー作品と近世ヨーロッパの帝国形成との連関が注目されている。一方で、本研究が着目したのは、「節制（temperance）」という徳概念が本来的に持つ時間的性格である。temperance の語源であるラテン語 temperāre は、「適切な比率に保つ」「調和させる」だけでなく、「適切な時に応じて整える」という意味を含んでいる。また、古代ローマの思想家ヴァロ（Marcus Terentius Varro）やキケロ（Cicero）も、節制を「適切な時機を見極める能力」と結びつけて論じている。さらに、中世からルネサンス期の図像学では、節制が時計や砂時計とともに描かれる例も多く見られる。

こうした思想史的・文化史的背景を踏まえ、本研究では、『妖精の女王』第二巻に描かれるフェドリア（Phaedria）の「停滞した時間」と、マモン（Mammon）の「加速する時間」という対照的な時間感覚に着目し、主人公ガイアン（Guyon）が両極端のあいだで「節度ある時間の使い方」を実践していることを論証した。

さらに本研究は、ルネサンス期に進行した時間意識の変化にも目を向けた。機械時計の普及、商業活動の拡大、労働管理の発達などにより、時間は単なる自然的循環ではなく、「管理される資源」として認識されるようになった。本研究では、スペンサー作品をこのような歴史的変化の文脈に位置づけることで、『妖精の女王』第二巻が近代的時間意識の形成を鋭く反映していることを示した。

２．研究方法

本研究は、テクストの精読を中核に据えつつ、語源学・図像学・文化史的アプローチを統合的に運用した。議論の構成は以下の三段階からなる。

第一に、節制（temperance）という概念の語源的・図像学的伝統を再検討した。ラテン語 temperāre（適切に整える）の語根に tempus（時）との意味的連関を読み取りうることを起点とし、ヴァロ『ラテン語論』（*On the Latin Language*）、キケロ『義務について』（*De Officiis*）が節制を時宜および季節への適切な対応と結びつけて論じている点を確認した。続いて、アンブロージョ・ロレンツェッティ（Ambrogio Lorenzetti）「善き政府の寓意」（*Allegory of Good Government*）フレスコ画における砂時計を持つ節制の擬人像、チェーザレ・リーパ（Cesare Ripa）『イコノロジア』（*Iconologia*）における手綱と時計を持つ節制像を比較し、節制が時の調整と不可分の徳として表象されてきた図像学的伝統を浮かび上がらせた。

第二に、『妖精の女王』第二巻第六・第七歌の精読を行った。テクストは A・C・ハミルトン（A. C. Hamilton）編のロングマン版（2001 年）に依拠し、フェドリアとマモンの場面を、対照的な時間性をめぐる寓意として読み解いた。フェドリアの「怠惰の湖」（Idle Lake）は自然の潮流すら届かぬ静止の場所として描かれており、彼女の修辞は時を引き合いに出しながら、実際には時間そのものを停滞させている。これを「方向を欠いた持続」として分析した。一方、マモンの洞窟では富が「またたく間に」（in twinckling of an eye）獲得されると語られ、鍛冶場では絶え間ない労働が描かれる。これを「圧縮され加速された時間」として捉えた。両極のいずれにも与せず、「飛び去る時を武に充てる」（spend his flitting houres in arms）と宣言するガイアンの姿勢を、時に対して適切に参与する節制の体現として位置づけた。

第三に、これらの読解をルネサンス期の時間文化の変容のなかに位置づけた。特にデイヴィッド・ランデス（David S. Landes）、ゲルハルト・ドールン＝ファン・ロッスム（Gerhard Dohrn-van Rossum）らの研究を用い、機械時計の普及、商業の拡大、労働規律の浸透が、循環的な中世的時間観から計量的・商品的な近世的時間観への転換を促した文化史的背景を確認した。あわせて、『時の廃墟』（*The Ruines of Time*）や『妖精の女王』第三巻アドニスの園における「時」の擬人像など他作品にも目を向け、第二巻の議論をスペンサー全体の時間意識のなかに位置づけた。さらに、マモンの鍛冶場の描写と金属精錬技法における温度・時間の管理との対応関係を、17 世紀の冶金術書ジョン・ペタス（John Pettus）『フレタ・マイナー』（*Fleta Minor*, 1683）の精錬手順に照らして検討し、寓意の背後に作動する精緻な時間的論理を明らかにした。

３．研究成果

本研究を通じて、おもに以下の三点について新たな知見が得られた。

第一に、フェドリアの場面が「方向を欠いた持続」としての時間的歪曲を寓意化していることを示した。フェドリアは表面上「すぐに」「ただちに」と機敏な応対を示すが、その目的地である怠惰の湖は風も潮も届かぬ静止の場所であり、自然な時の流れそのものが停止している。彼女は「時が満ちるまで」「季節がめぐるまで」と時の言葉を繰り返すが、当の世界には本来「時宜

を得た潮」（timely tides）など存在しない。これは時を装いつつ時を空無化する詐術にほかならず、ガイアンの「いささかも道を逸れる必要などなかった」（Me litle needed from my right way to haue straid）という怒りの言葉が、その欺瞞を鋭く突いている。ハミルトンはフェドリアの世界を「無時間的」と註解しているが、本研究はそれを単なる怠惰の場としてではなく、時の倫理的秩序そのものを掘り崩す能動的な力が働く場として捉え直した。

第二に、マモンの洞窟が「圧縮され加速された時間」として、これと対をなす歪曲を体現していることを論じた。マモンは「金は貴公の欠乏をたちどころに満たし」「またたく間に」剣も馬も王冠をも与えうると語り、忍耐を退け、何もかもを瞬時に手に入れさせるという論理を打ち出している。彼の鍛冶場では、火を起こす者、燃え尽きた炭を整える者、浮き滓を掬う者、溶湯をかき回す者が、際限なき労働に駆り立てられている。これは金属精錬という時の技芸――加熱と冷却、待機と再加熱の精密な反復――の似姿でありながら、その本来の時間的規律を歪めた姿でもある。後代の精錬書『フレタ・マイナー』が「精錬者は常にその時を遵守すべし」と説くごとく、冶金は本質的に時間管理の技術である。マモンの世界においては、その時間管理が「より多くを、より短時間で」生産するための搾取の論理に転化している。本研究はこの分析を通じて、マモンの「不正なる支配」（wrongfull gouernment）が単に道徳的・政治的不正にとどまらず、時間そのものを商品として従属させる「時間的不正」でもあることを論証した。

第三に、ガイアンの応答における節制の本質を再定義した。マモンに対しガイアンは、「武に、また勇ましき行いに、わが飛び去る時を費やすこそ我が選び」と答える。ここで用いられる「費やす」（spend）という動詞は、エリザベス朝期において時を一種の通貨として捉える商業的・帝国主義的語法と共鳴している。ガイアンは時の希少性と価値を認めたうえで、それを「適正な度量」（due measure）に従って生きる道を選択している。これにより節制は、怠惰でも加速でもなく、時を倫理的に生きる営みとして再定義された。本研究はこの読解により、フェドリアの「方向なき持続」とマモンの「持続なき圧縮」という両極のあいだに、ガイアンが体現する「測られた時の生」を位置づけ、スペンサーの描く徳の核心を「時への参与」として捉え直した。

総じて本研究は、『妖精の女王』第二巻における節制の寓意を、商業の拡大・労働の規律化・植民地経営の進展によって時が「貨幣」として扱われはじめたルネサンス世界――その時間倫理の問題系のなかに位置づけ直した。スペンサーの寓意は、帝国的欲望に対する倫理的批評であると同時に、近世における時間経験そのものをめぐる省察でもある。本研究はこの点を明らかにし、従来の帝国主義的読解、ならびに先行する時間意識論を、いずれも補完しつつ刷新する成果を示しえたと考える。

４．今後の展望

本研究で得られた知見をもとに、今後は以下の三方向への展開が見込まれる。

第一に、スペンサーの他作品における時間表象との比較研究である。本研究では『妖精の女王』第三巻アドニスの園における「時」の擬人像、ならびに『時の廃墟』に部分的に言及したが、『羊飼いの暦』（*The Shepheardes Calender*）、『ムタビリティ・カント』（*The Mutabilitie Cantos*）、

ソネット連作『アモレッティ』（*Amoretti*）に見られる季節・齢・記念日への意識など、スペンサーの作品全体を貫く時間意識の体系的検討は今後の課題である。第二巻における「時の統御」としての節制が、これら他作品においていかに変奏され、また反転されているかを跡づけることで、スペンサーの詩学全体を「時間倫理の詩学」として総合的に把握する道筋が開けると考える。

第二に、同時代英文学における時間表象との比較である。シェイクスピア（William Shakespeare）の歴史劇およびソネットにおける「時」の主題、フィリップ・シドニー（Philip Sidney）『アーケイディア』（*Arcadia*）における好機（kairos）の論理、フランシス・ベイコン（Francis Bacon）のエッセイにおける時間管理論など、エリザベス朝・ジェイムズ朝の文学・思想に見られる時間言説と本研究の成果を接続することにより、近世英国における「時の倫理」を文学史的に位置づけ直すことを目指す。

第三に、文学研究と時間論・労働史・植民地史との学際的対話である。ランデスやドールン＝ファン・ロッスムの時間社会史、E・P・トンプソン（E. P. Thompson）以降の労働規律と時間意識をめぐる議論、近年のポストコロニアル批評における植民地的時間性（colonial temporality）をめぐる諸論考などを取り込み、文学テクストを単なる文化的反映物としてではなく、新たな時間秩序の形成過程に介入する言説的実践として位置づける視座を発展させたい。

以上の展開を通じて、本研究は、ルネサンス文学研究に新たな分析軸を提供するとともに、文学・歴史・哲学を横断する「時の倫理」研究への寄与を期するものである。

５．参考文献

１．Berger, Harry, Jr. *The Allegorical Temper: Vision and Reality in Book II of Spenser's* Faerie Queene. Yale UP, 1957.

２．Campos, Edmund Valentine. “West of Eden: American Gold, Spanish Greed, and the Discourses of English Imperialism.” *Rereading the Black Legend: The Discourses of Religious and Racial Difference in the Renaissance Empires*. Edited by Margaret R. Greer et al., U of Chicago P, 2007, pp. 247–69.

３．Cicero. *De Officiis*. Translated by Walter Miller, William Heinemann, 1928.

４．Dohrn-van Rossum, Gerhard. *History of the Hour: Clocks and Modern Temporal Orders*. Translated by Thomas Dunlap, U of Chicago P, 1996.

５．Evans, Kasey. *Colonial Virtue: The Mobility of Temperance in Renaissance England*. U of Toronto P, 2012.

６．Hutson, Lorna. “Chivalry for Merchants; or, Knights of Temperance in the Realms of Gold.” *Journal of Medieval and Early Modern Studies*, vol. 26, no. 1, winter 1996, pp. 29–59.

7．Landes, David S. *Revolution in Time: Clocks and the Making of the Modern World*. Revised and enlarged ed., Belknap P of Harvard UP, 2000.

8．Pettus, John. *Fleta Minor. The Laws of Art and Nature in Knowing, Judging, Assaying, Fining, Refining and Inlarging the Bodies of Confin'd Metals*. London, 1683.

9．Quinones, Ricardo J. *The Renaissance Discovery of Time*. Harvard UP, 1972.

10. Read, David. *Temperate Conquests: Spenser and the Spanish New World*. Wayne State UP, 2000.

11. Ripa, Cesare. *Iconologia, or Moral Emblems*. Forgotten Books, 2018.

12. Spenser, Edmund. *The Faerie Qveene*. Edited by A. C. Hamilton, Longman, 2001.

13. ——. *The Ruines of Time*. *The Yale Edition of the Shorter Poems of Edmund Spenser*. Edited by William A. Oram et al., Yale UP, 1989, pp. 225–61.

14. "Temper." *The Oxford English Dictionary*, vol. 17, Clarendon Press, 1989, p. 745.

15. Varro, Marcus Terentius. *On the Latin Language*. Translated by Roland G. Kent, vol. 1, William Heinemann, 1938.

研究題目	連合学習に基づく自閉症スペクトラム障害診断モデルの開発
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	電気制御システム工学科・准教授　北村　拓也
分野	理工系
キーワード	人工知能，連合学習，医療診断

１．研究の背景と目的

現在，自閉スペクトラム症(ASD)や発達障害の診断には，医師による問診，行動観察，心理検査など，さまざまな評価を通じて長期間にわたる診察が必要とされている．しかしながら，これらの症例は早期に発見して適切な療育を行うことで，将来的な社会適応力の向上が期待できる．そのため，診断までの期間を短縮することが重要な課題のひとつとなっており，脳波(EEG)や患者の脳機能の状態を血流の状態を通して画像化した機能的磁気共鳴画像(fMRI)を用いて，深層学習によって診断する研究が注目されている．一方，近年注目されている深層学習は一般に，膨大な学習データが必要とするが，ASD に関するこれらのデータは現時点では少ない上，他機関間における共有が個人情報の観点から困難であることが大きな問題点として挙げられる。

この研究は，異なる複数の医療機関において，データの共有なしに連合学習により，全機関データを考慮した ASD 診断モデルの開発を目的とする．ここで，短期間での診断を可能とするため，画像データである fMRI データ，時系列データである EEG データを用いる．このシステムによって，各機関が持つデータが少数であったとしても，直接データを共有することなくモデルを作成できるため，高精度かつプライバシーにも配慮したシステムとなるといえる．また，1 機関あたりのデータ数が極めて少ないことも考えられるため，敵対生成ネットワーク (GAN) により，疑似的にデータを生成し，学習データとして加えた．提案手法の学習アルゴリズムを確立し，ASD に関するベンチマークデータを用いて，提案モデルの有効性を評価した．

２．研究方法

①ASD に関するデータのベンチマークデータの収集

本研究で用いる ASD に関する fMRI データと EEG データはそれぞれ，web 上に公開されている ABIDE データセット（図１），サウジアラビアの King Abdulaziz University 附属病院において収集された EEG データセット（図 2）である．これらのデータセットを本研究で開発したモデルに入力し，計算機実験を行った．

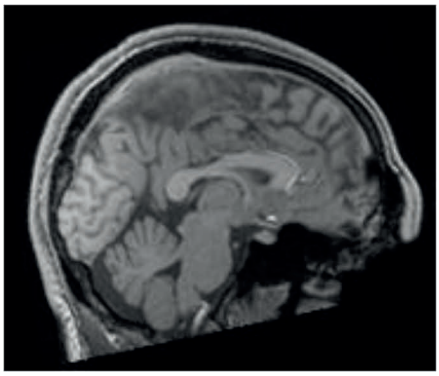


図 1. fMRI データ

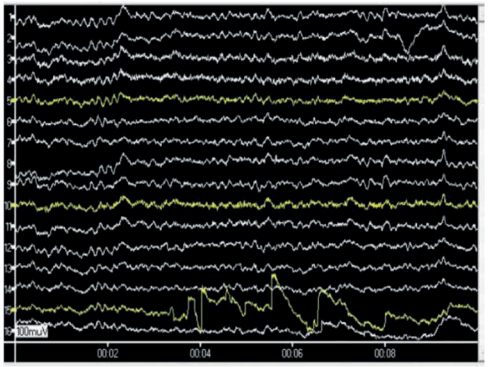


図 2. EEG データ

②EEG データのスペクトログラム化

本研究で用いるモデルは膨大な画像データを事前に学習した大規模事前学習済みモデルであるため，時系列データである EEG データは予め短時間フーリエ変換により，図 3 のようにスペクトログラム画像に変換する．ここで，事前に学習させている画像データは，ImageNet とよばれる自然画像などの物体認識用画像データであり，ASD とは一切関係がない．

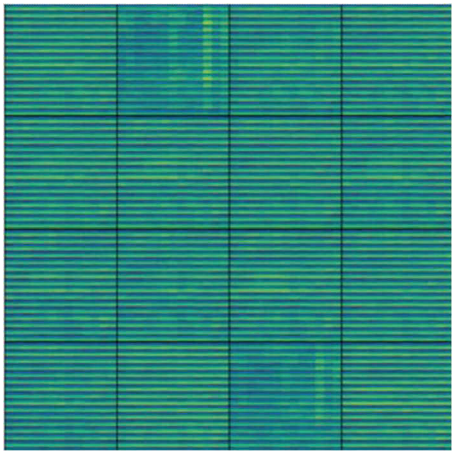
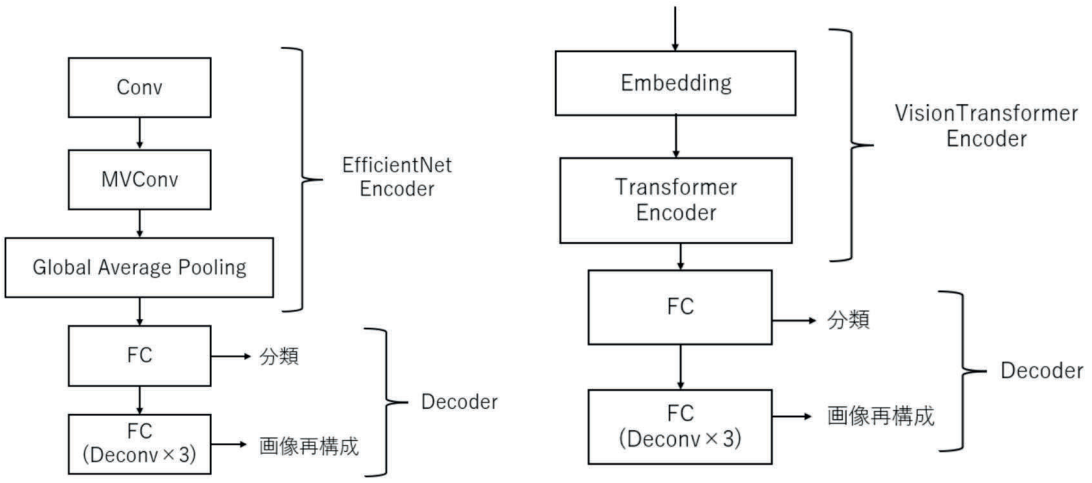


図 3. スペクトログラム（EEG）

③連合学習を用いた診断システムの実装

③-1. 事前学習済みモデルのファインチューニング

診断システムに用いる事前学習済みモデルとして，性能が安定して高い EfficientNetV2 と ViT を用いた．ファインチューニングする際，各モデルに対して図 4 のように出力層を取り除き，デコーダを取り付けることにより自己符号化器として学習させる．



(a) EfficientNEt　　(b) ViT

図 4. 事前学習済みモデルの構成

③-2. GAN による疑似異常データ生成

ASD に関する fMRI データや EEG データは現時点では少なく，膨大な学習データを必要とする深層学習において，極めて大きな問題となる．そこで，図 5 のような生成器と識別器をもち，真のデータと誤分類させるような偽データ生成を可能とする GAN により，疑似データを生成する．これから生成された疑似データを真のデータと共に図 4 の事前学習済みモデルに入力し，ファインチューニングさせる．

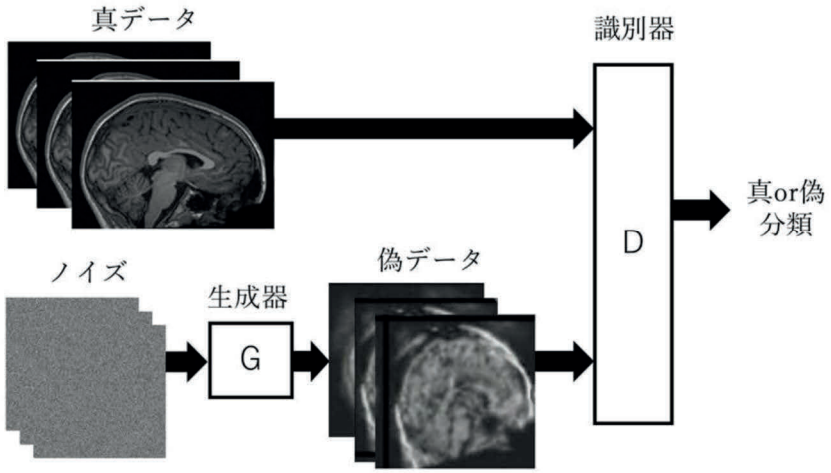


図 5. GAN

③-3. 連合学習による ASD 診断

各医療機関に対して，図 4 の事前学習済みモデルを配布し，これをベースモデルとする．このとき各機関では，それぞれの持つ ASD に関するデータから GAN により疑似データを生成しておく．図 6 のように各機関において，ベースモデルに対して疑似データを含めた学習データを入力し，更新されたモデルを集約した連合モデルを生成し，これを再度ベースモデルとして各機関に

配布する．この処理を複数回繰り返すことにより，各機関のデータを共有することなく，全データを考慮した診断モデルを構築でき，汎化能力の向上が期待できる．

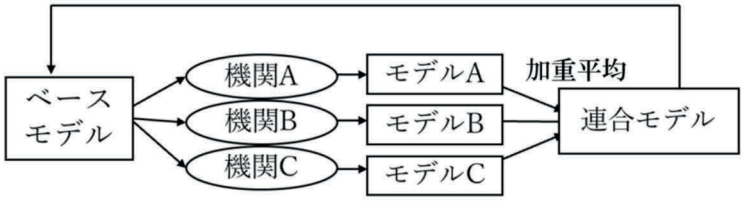
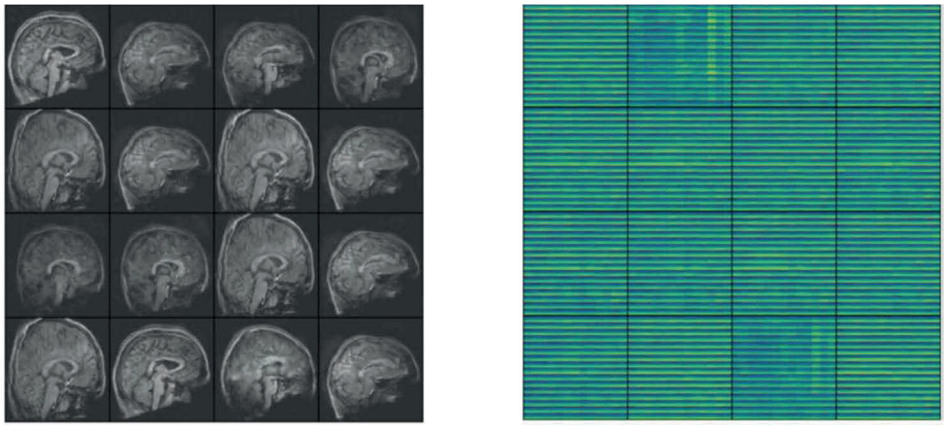


図 6. 連合学習モデルの構築

３．研究成果

①疑似データの生成

GAN による学習によって，図７に示す疑似データを生成した．これらのデータは，ASD に関係のないランダムなノイズデータを入力した結果であるが，fMRI，EGG データ共に極めて真のデータに近い疑似データとなったことが確認できた．



(a) fMRI データ　　(b) EEG データ

図 7. 生成された疑似データ

②連合学習モデルによる診断性能

前述のデータを用いて，計算機実験を実施し，それらの性能を Accracy と AUC と F 値を指標として，評価した．

②-1. fMRI データ

表 1. に fMRI データにおける計算機実験結果を示す．連合学習なしモデルと連合学習ありモデルを比較したとき，全体的に指標が向上していることがわかる．特に，データ拡張を導入したうえで ViT を用いた場合の連合学習の有無を比較すると，異常検知や医療診断において重要な指標である F 値が大幅に向上することが確認された．これらより，データ共有が困難である場合において，連合学習により全データを考慮できていることを示唆し，連合学習の有効性が確認できた．データ拡張においては，連合学習の有無に関わらず，データ拡張の有無を比較すると，ほとんどのモデルにおいて指標の向上が見られた．特に，ViT モデルにおいて，連合学習を導入し

た場合のデータ拡張の有無を比較すると，データ拡張と連合学習を併用したモデルの方がすべての評価指標が高く，全条件の中でも最も高い性能を示した．特にF1値の向上が顕著であり，クラス不均衡下における識別性能の改善が示唆される．以上より，データ拡張単体では限定的な効果に留まるものの，連合学習と組み合わせることで性能向上に寄与する可能性が示された．

表1．fMRIデータにおける性能比較

連合学習	データ拡張	Model	Acc	AUC	F1
なし	なし	EN	0.4444	0.4383	0.3333
		ViT	0.5000	0.5062	0.4000
	あり	EN	0.4706	0.4567	0.5714
		ViT	0.4265	0.5043	0.4800
あり	なし	EN	0.4984	0.5010	0.5124
		ViT	0.4927	0.4845	0.5586
	あり	EN	0.4989	0.4845	0.5748
		ViT	0.5022	0.5276	0.6036

②-2．EEGデータ

表2．にEEGデータにおける計算機実験結果を示す．表2より，連合学習なしモデルにおいては，データ拡張を導入することでENのF1値が大幅に向上しており，学習データの多様性の増加が分類性能の改善に大きく寄与していることが分かる．連合学習を導入した場合には，両モデルとも導入しなかった場合より高い性能を示し，特にF1値の向上が確認された．これは，複数機関のデータ分布を統合的に学習することで，特定データに偏らない特徴表現が獲得され，識別性能が安定したためと考えられる．さらに，連合学習とデータ拡張を併用した条件では，両モデルともに高い性能を示した．特にViTモデルはAccが全条件中で最高の性能を達成しており，両手法の併用が汎化性能の向上に有効であることが確認できる．以上の結果から，単一機関・少数データ条件では過学習の影響を受けやすい一方で，連合学習とデータ拡張を組み合わせることで，性能の偏りを抑制し，汎化性能を向上できることが示された．

表2．EEGデータにおける性能比較

連合学習	データ拡張	Model	Acc	AUC	F1
なし	なし	EN	0.5636	0.9042	0.4015
		ViT	0.7600	0.5062	0.6747
	あり	EN	0.8482	0.9204	0.9002
		ViT	0.8267	0.9393	0.4000
あり	なし	EN	0.7186	0.6952	0.8288
		ViT	0.7131	0.6847	0.8120
	あり	EN	0.8386	0.9159	0.8731
		ViT	0.8550	0.8853	0.9063

また，本手法で提案した論文は国内研究会である医用画像研究会（MI）に「GAN によるデータ拡張と連合学習を組み合わせた ASD 診断モデルの開発」[1]として投稿・発表している．

４．今後の展望

本研究では，データ拡張および連合学習を組み合わせた ASD 診断モデルを提案した．本手法では，GAN を用いた疑似データ生成により少数データ環境下での学習データ不足を補完し，さらに連合学習を導入することで，機関間でデータを共有することなく複数機関の情報を統合した診断モデルの構築を実現した．計算機実験の結果，データ拡張の導入により少数データ条件下での分類性能の向上が確認された．特に F1 値の改善が顕著であり，クラス不均衡環境下における識別性能の向上に有効であることが示された．さらに，連合学習を併用することで，各機関のデータ分布を考慮したモデル構築が可能となり，単一機関モデルと比較して汎化性能の向上および性能の安定化が確認された．これにより，医療データのように共有が制限される環境においても，高性能な診断モデルを構築できる可能性が示された．

今後の課題として，まず ASD 以外の神経発達症や精神疾患データへの適用可能性を検証し，本手法の汎用性を評価する必要がある．また，GAN による疑似データの品質評価指標の導入や，生成データが分類性能へ与える影響の定量的解析も重要である．さらに，連合学習における更新回数や統合手法の検討，学習安定性の観点からの最適化も今後の検討課題である．これらの課題に取り組むことで，本研究で提案した手法は，実臨床環境における ASD 早期診断支援システムとして発展することが期待される．

５．参考文献

１．向出凪緒，北村拓也，GAN によるデータ拡張と連合学習を組み合わせた ASD 診断モデルの開発，信学技報，vol. 125，no. 395，MI2025-83，pp. 88-91，2026 年 3 月．



Report of subsidized research 2026