

富山第一銀行奨学財団
助成研究報告書

2025



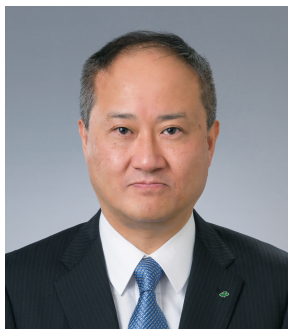
公益財団法人 富山第一銀行奨学財団



富山第一銀行奨学財団
助成研究報告書

2025

公益財団法人 富山第一銀行奨学財団



(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 2025」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学校・高等教育機関（高等専門学校・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、助成事業、顕彰事業を財団運営の三本柱として鋭意取り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、地域の更には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。

当財団設立以来の主な事業の概要

令和7(2025)年6月現在

1. 学生の皆さんへの奨学金の給・貸与事業（現在は大学・大学院生のみ）
昭和34(1959)年～
奨学生累計366名(内訳：大学生224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59校、助成額14,450千円
 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、富山短期大学、富山高等専門学校、高岡法科大学)
昭和59(1984)年～
延べ1,046研究、助成額536,500千円
 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
 - (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
・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 高山 信幸 氏
 - (4) 第四回(令和7年度)(2025年7月4日)
・特別賞：富山大学 准教授 歌 大介 氏
研究テーマ「慢性疼痛の病態メカニズム解析と新規治療薬・治療法の探索
— 疼痛時における脊髄後角でのニューロン活動の変化の
電気生理学的解析 —」
・奨励賞：富山大学 助教 楊 熙蒙 氏
研究テーマ「脳内の軸索再伸長によるアルツハイマー病の根本的治療法の開発」
- 以上

発刊に寄せて	2
--------------	---

富山大学

- 疎水的・静電・金属原子間の3つの分子間相互作用を利用した動的分子集合体の創生
学術研究部 理学系 講師 岩村 宗高 7
- 富山県の大気中における嫌気性芽胞菌の動態と健康影響ポテンシャルの解明
学術研究部 理学系 教授 田中 大祐 11
- サファイア鏡不純物の磁性による新規検出法の開発と重力波研究の精度向上
学術研究部 理学系 准教授 山元 一広 16
- データサイエンスに基づく非線形解析手法による老若男女入浴の自律神経活動評価の研究
学術研究部 工学系 教授 中島 一樹 26
- 道路構造物に埋設された鋼材の腐食を磁気で探る非破壊研究法の開発
学術研究部 都市デザイン学系 准教授 竜田 尚希 30
- 低体温症の臨床病理学的特徴とその背景疾患の解明
学術研究部 医学系 助教 一萬田 正二郎 35
- 髄膜を標的とした進行型多発性硬化症の治療法確立
学術研究部 医学系 助教 奥野 のり子 41
- XIAPを標的とした新規多発性骨髄腫治療の開発
学術研究部 医学系 講師 菊地 尚平 45
- 前頭葉-線条体神経ネットワークの行動決定における役割の解明
学術研究部 医学系 助教 瀬戸川 剛 50
- 血中ATP濃度を指標としたサルコペニア診断法の確立
学術研究部 医学系 助教 温井 孝昌 56
- 脱芳香族的ヨード環化を基軸とする高難度スピロ環合成法の開発
学術研究部 薬学・和漢系 准教授 沖津 貴志 60
- 腸肝連関に作用する中鎖脂肪酸の生活習慣病改善メカニズムの解明
学術研究部 薬学・和漢系 教授 中川 嘉 65
- 代謝異常関連脂肪肝MAFLDの治療に有効なシード化合物の探索を伝統生薬に求める
学術研究部 薬学・和漢系 助教 中嶋 優 75
- 化学物質による神経炎症の惹起を指標とした新たな神経毒性バイオマーカーの解明
学術研究部 薬学・和漢系 講師 平野 哲史 78

富山県立大学

- InPをチャネルとした電気二重層トランジスタの開発
工学部 電気電子工学科 准教授 清水 直 …………… 83
- 分散最適化をもちいた次世代電力系統の状態推定に関する研究
工学部 電気電子工学科 助教 阿久津 慧 …………… 89
- 赤外線サーモグラフィ法および打撃試験の併用による
鉄道橋合成桁支承部の欠陥評価手法の開発
工学部 環境・社会基盤工学科 准教授 内田 慎哉 …………… 95
- 全天候型ドローンを用いた降水粒子観測
工学部 環境・社会基盤工学科 講師 吉見 和紘 …………… 103
- 糖尿病治療薬の合成ステップに適用可能な糖転移酵素の探索と利用
工学部 生物工学科 助教 山口 拓也 …………… 111
- 高速深度推定に基づくドローンの障害物回避
情報工学部 知能ロボット工学科 講師 孔 祥博 …………… 116
- 確実な把持を実現するロボットグローブリハビリテーション学習システム
情報工学部 知能ロボット工学科 助教 アハメド アルマスリ …………… 120
- 富山県の農福連携事業活性のための
精神障害・知的障害に対応した半自動運搬機の開発と評価
看護学部 看護学科 教授 清水 暢子 …………… 123
- 富山県における「気になる妊婦」のアセスメント指標開発に向けた実態調査
看護学部 講師 西村 香織 …………… 130

富山国際大学

- 富山県におけるユニバーサルツーリズムの観光プログラムの実践と普及啓発に向けたシンポジウム開催
現代社会学部 現代社会学科 准教授 一井 崇 …………… 135
- 衛星データ等を活用した(気象)災害リスク監視のためのWebシステムの開発
現代社会学部 現代社会学科 教授 越智 士郎 …………… 140
- 富山県内地方議会の財政監視機能に関する研究 ～能登半島地震関連予算を事例として～
現代社会学部 現代社会学科 教授 佐藤 綾子 …………… 149
- インクルーシブ教育としての国語科教育の在り方
— 物語の授業における国語科教師の成長プロセスに着目して —
子ども育成学部 子ども育成学科 講師 岩崎 直哉 …………… 154
- 哲学対話の新しい評価方法の開発
子ども育成学部 子ども育成学科 講師 辻 和希 …………… 164

高岡法科大学

- 障害者権利条約が成年後見制度改正へ及ぼす影響
現 名古屋市立大学 人間文化研究科 人文社会学部 現代社会学科 准教授 渡部 朗子 …… 173
- 俳句の認知詩学 ―「間」のいい俳句の型―
現 金沢学院大学 文学部 文学科 准教授 向井 理恵 …… 183

富山短期大学

- エゴマ油による生体内トランス脂肪酸の分解促進
食物栄養学科 教授 竹内 弘幸 …… 191
- 外国人介護士による日本の介護技術・技能移転の可能性への探究
― 帰国後技能実習生へのインタビュー調査より ―
健康福祉学科 教授 小平 達夫 …… 199
- 栄養状態の良い異性を配偶者を選択する神経メカニズムの解明
食物栄養学科 准教授 川口 将史 …… 209

富山高等専門学校

- 富山県域のメソスケール降水現象の高度データ解析
電気制御システム工学科 助教 太田 守 …… 215
- 富山における舞台芸術の地域性に関する研究
現 宇都宮大学 共同教育学部 助教 久保 陽子 …… 222
- ナノ振動子の高感度化に向けた原子レベルでの動的挙動解明
：表面・内部改質の影響評価
電気制御システム工学科 准教授 多田 和広 …… 230
- 集積ソホロースを用いたTrichoderma reeseiのセルラーゼ産生誘導の検討
物質化学工学科 准教授 福田 知博 …… 233
- 富山県の物流課題の把握と消費者の理解促進を目的とした物流教材の検討
国際ビジネス学科 准教授 村山 雅子 …… 237

研究題目	疎水的・静電・金属原子間の3つの分子間相互作用を利用した動的分子集合体の創生
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部理学系・講師・岩村 宗高
分野	化学
キーワード	発光材料 分子集合体 金属錯体 金原子間相互作用

1. 研究の背景と目的

[Au(CN)₂]⁻は金原子の間に働く結合性の相互作用である金原子間相互作用により発光性の会合体を形成する。通常、[Au(CN)₂]⁻は水溶液中では基底状態においても2量体から5量体程度の様々な会合体が平衡状態にある。濃度を高くする、あるいは共存分子を添加することで会合を促進すると、吸収および発光スペクトルはレッドシフトする^[1-2]。このため、調色可能な発光デバイス、あるいは環境応答型の発光センサーとして興味の対象となり、多くの研究者に注目されている。また、光励起状態で金原子の間に化学結合が形成される性質から、化学結合時におこる分子集合体のダイナミクスを研究するモデルケースとして、先端的分子分光学の観測の対称となっている。^[3-5]最近、会合体の構造や会合度の平衡、および励起状態の発光特性をはじめとする性質が、溶液中に共存するさまざまな分子との疎水的、および静電的相互作用により大きく変化することが明らかとなった^[6-7]。共存分子が作用するとき、会合体の組成は複雑になることが予想されるが、励起状態で金原子に結合が形成された瞬間におこる金—金原子間伸縮振動にともなうスペクトルの変調を時間分解計測すると、会合体の構造や組成を決定することができる。我々は、このことに着目してこれまでジシアノ金会合体の2量体から5量体までの励起状態ダイナミクスを明らかにしてきた^[2-3, 8]。

2020年にLiuらは結晶構造およびNMR信号の濃度依存性の解析に基づきα-シクロデキストリン(CD)が[Au(CN)₂]⁻と1:1の化学量論比からなる包接錯体を形成することを報告している^[9]。またβ-およびγ-CDには二分子の[Au(CN)₂]⁻が包接されることも見出された。これは、CD内部が疎水的環境にあり、これにより疎水的性質を持つ[Au(CN)₂]⁻およびその会合体が内部で安定化するためと考えられる。本研究では、[Au(CN)₂]⁻およびCDが共存する水溶液の吸収、発光およびそれらの超高速時間分解スペクトルを計測し、CD内部における[Au(CN)₂]⁻会合体の性質とその励起状態ダイナミクスを明らかにした。

2. 研究方法

K[Au(CN)₂]とβ-CDを水に溶解させ、試料溶液とした。ピコ秒時間分解発光測定は研究室製の

TCSPC 装置を用いて行った。励起光は Ti^{3+} :サファイアレーザーの基本波(800 nm)の第三高調波(267 nm)を用いた。フェムト秒過渡吸収測定では、 Ti^{3+} :サファイア再生増幅器レーザー(800 nm)から光パラメトリック増幅器を用いて 1040 nm のパルス光を生成し、第二高調波発生を二回行い 260 nm に変換して励起光とした。

3. 研究成果

本研究では、 β -CD に包接された Au 2 量体の光励起ダイナミクスを観測するため、 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ と β -CD を共存させた水溶液においてピコ秒時間分解発光およびフェムト秒過渡吸収測定を行った。

図 1 に $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 5.0 mM と β -CD 2.5 mM を共存させた水溶液の吸収および発光スペクトルを示す。 β -CD を共存させると 250 nm にピークを持つ強い吸収が生じた。これは Au 2 量体の吸収に帰属される。266 nm で励起すると、Au 2 量体のリン光に帰属される 330 nm にピークをもつ発光が観測された。 β -CD が共存しない水溶液ではこれらの吸収・発光が観測されないため、包接作用によって Au2 量体の形成が促進されと考えられる。 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ と β -CD が共存する水溶液中において、250 nm における $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 2 量体(Au 2 量体)の吸収強度の濃度依存性を解析し、 β -CD に包接された Au 2 量体の吸光係数と生成定数を決定し

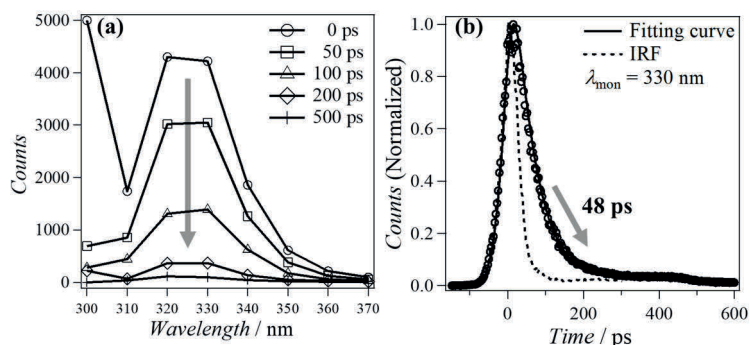


図 2. $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 、 β -CD 共存水溶液の(a)ピコ秒時間分解発光スペクトル (b)330 nm における発光減衰曲線 ($\lambda_{\text{ex}} = 267 \text{ nm}$, $\{[\text{Au}(\text{CN})_2]^- \} = 5.0 \text{ mM}$, $[\beta\text{-CD}] = 2.5 \text{ mM}$)

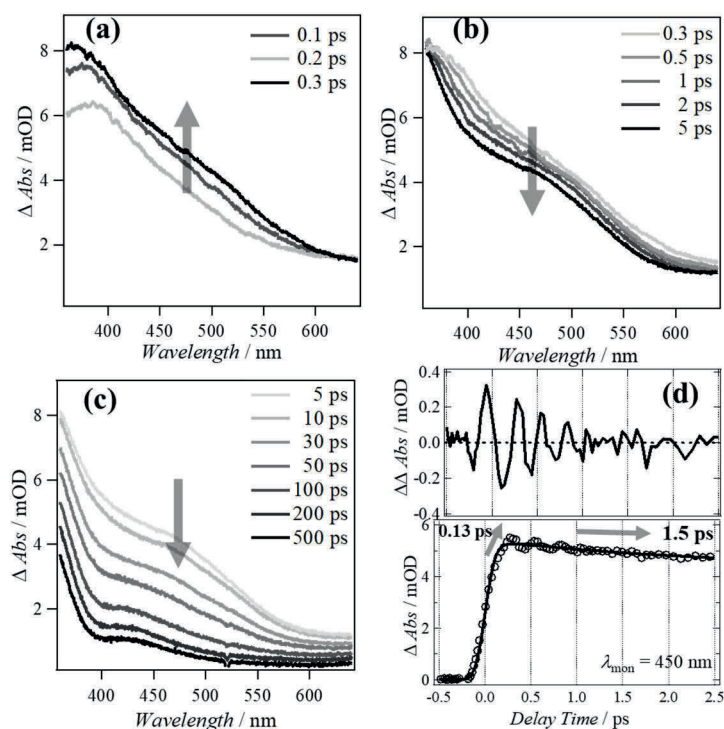


図 3. $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 、 β -CD 共存水溶液のフェムト秒過渡吸収スペクトル(a) 0.1-0.3 ps (b) 0.3-5 ps (c) 5-500 ps (d) 450 nm における吸収強度の時間変化と振動成分 ($\lambda_{\text{ex}} = 260 \text{ nm}$, $\{[\text{Au}(\text{CN})_2]^- \} = 5.0 \text{ mM}$, $[\beta\text{-CD}] = 2.5 \text{ mM}$)

た。

図2に267 nmで励起したときのピコ秒時間分解発光スペクトルを示す。励起直後、300 nmより短波長にピークをもつ発光が現れ、時間分解能以下の寿命で減衰した。また、320-330 nmに48 psの寿命をもつ発光が観測された。この発光の寿命は水溶液中での励起 Au 2 量体のリン光寿命(25 ps)[2]と比較して2倍長い。β-CDに包接されることで励起 Au 2 量体の無輻射失活が抑制され、長寿命化したと考えられる。

図3に260 nmで励起したときのフェムト秒過渡吸収スペクトル(図3a-d)と450 nmにおける吸収強度の時間変化(図3d)を示す。励起後0.3 psまでに360-600 nmの領域で吸収が増大した。その後5 psまでに370 nmより長波長で吸収が減少し、5 ps以降は全ての波長領域で吸収が減少した。吸収強度の時間変化は0.13 ps(立ち上がり)、1.5 ps、54 ps、1 ns以上(減衰)の4つの時定数で再現された。54 psの成分はリン光の寿命と対応することから T₁ 状態の寿命だと考えられる。0.13 psは S₁→T₁の項間交差に帰属した。水溶液中における励起 Au 2 量体は25 psで減衰することが報告されているが、構造変化の過程は観測されなかった[2]。β-CDに包接されたときに観測された1.5 psの成分はβ-CDに包接されることで生じた光励起による構造変形の過程と考えられる。1 ns以上の成分の帰属は不明だが、[Au(CN)₂]⁻とβ-CDからなる光化学反応生成物の寿命と考えている。また、励起から1 psまでの間に吸収強度の変調が確認された(図3d)。この変調成分の振動数は130 cm⁻¹であり、励起2量体におけるAu-Au間結合の伸縮振動数に帰属される[2]。一方、他の励起会合体の伸縮振動数は確認されなかった。この結果は、この水溶液中において励起 Au 2 量体のみが生成することを示す。


4. 今後の展望

今回、疎水的相互作用による2量体の分光情報の単離に成功した。このほか、疎水的でかつ正電荷を持つ界面活性剤などをもちいたジシアノ金会合体の発光増強作用などの成果を得ることができた。

金属原子間相互作用により生成する会合体は、ジシアノ金(I)錯体のほかにも、白金錯体や入り事務錯体をはじめとして多くのものが知られている。シクロデキストリンや界面活性剤のほか、様々な共存分子による分子集合体を、今回用いた時間領域の振動分光をはじめとする手法で励起会合体を同定し、これらの発光特性や励起状態ダイナミクスを明らかにしていく。

5. 参考文献

- [1] M. A. Rawashdeh-Omary, M. A. Omary, H. H. Patterson, J. John P. Fackler, "Excited-State Interactions for [Au(CN)₂]_N and [Ag(CN)₂]_N Oligomers in Solution. Formation of Luminescent Gold Gold Bonded Excimers and Exciplexes" *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 11237-11247.
- [2] M. Iwamura, R. Urayama, A. Fukui, K. Nozaki, L. Liu, H. Kuramochi, S. Takeuchi, T. Tahara, "Spectroscopic Mapping of the Gold Complex Oligomers (Dimer, Trimer, Tetramer, and Pentamer) by Excited-State Coherent Nuclear Wavepacket Motion in Aqueous Solutions" *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2023**, *25*, 966-974.

- 
- [3] M. Iwamura, K. Nozaki, S. Takeuchi, T. Tahara, "Real-Time Observation of Tight Au-Au Bond Formation and Relevant Coherent Motion Upon Photoexcitation of Au(CN)₂(-) Oligomers" *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 538-541.
- [4] K. H. Kim, J. G. Kim, S. Nozawa, T. Sato, K. Y. Oang, T. W. Kim, H. Ki, J. Jo, S. Park, C. Song, T. Sato, K. Ogawa, T. Togashi, K. Tono, M. Yabashi, T. Ishikawa, J. Kim, R. Ryoo, J. Kim, H. Ihee, S.-i. Adachi, "Direct Observation of Bond Formation in Solution with Femtosecond X-Ray Scattering" *Nature* **2015**, *518*, 385-389.
- [5] H. Kuramochi, S. Takeuchi, M. Iwamura, K. Nozaki, T. Tahara, "Tracking Photoinduced Au-Au Bond Formation through Transient Terahertz Vibrations Observed by Femtosecond Time-Domain Raman Spectroscopy" *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 19296-19303.
- [6] R. Wakabayashi, J. Maeba, K. Nozaki, M. Iwamura, "Considerable Enhancement of Emission Yields of [Au(CN)₂-] Oligomers in Aqueous Solutions by Coexisting Cations" *Inorg. Chem.* **2016**, *55*, 7739-7746.
- [7] M. Iwamura, K. Kimoto, K. Nozaki, H. Kuramochi, S. Takeuchi, T. Tahara, "Metal-Metal Bond Formations in [Au(CN)₂]⁻N (N = 3-5) Oligomers in Water Identified by Coherent Nuclear Wavepacket Motions" *J. Phys. Chem. Lett.* **2018**, *9*, 7085-7089.
- [8] M. Iwamura, R. Wakabayashi, J. Maeba, K. Nozaki, S. Takeuchi, T. Tahara, "Coherent Vibration and Ultrafast Dynamics Upon Bond Formation in Excited Dimers of an Au(I) Complex" *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2016**, *18*, 5103-5107.
- [9] W. Liu, L. O. Jones, H. Wu, C. L. Stern, R. A. Sponenburg, G. C. Schatz, J. F. Stoddart, "Supramolecular Gold Stripping from Activated Carbon Using α -Cyclodextrin" *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 1984-1992.

研究題目	富山県の大気中における嫌気性芽胞菌の動態と健康影響ポテンシャルの解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部理学系・教授・田中 大祐
分野	環境微生物学
キーワード	バイオエアロゾル, クロストリジウム属菌, スポロバイオータ

1. 研究の背景と目的

大気中に浮遊する生物粒子（バイオエアロゾル）は、ヒトの健康、農業、生態系などに影響を及ぼす可能性があるため、国内外で注目を集めている [1]。そこで、バイオエアロゾルについて「発生源－空間的および時間的分布－影響因子－健康リスク」の関連を理解することは重要である。

バイオエアロゾルの組成として、大気中には、細菌、真菌、ウイルス、花粉などの生物粒子が存在する。それらの粒径は、 $0.001\sim 100\ \mu\text{m}$ 程度である。バイオエアロゾルの発生源は多岐にわたり、河川水、海水、土壌、植物の葉の表面、動物の糞、人の活動、排水処理施設、堆肥施設などが含まれる。

嫌気性芽胞菌（クロストリジウム属菌, *Clostridium*）は、偏性嫌気性の芽胞を形成するグラム陽性細菌であり、土壌、水、ヒトおよび動物の消化管に広く分布している。いくつかの種は、ヒトおよび動物の重要な病原体であり、ガス壊疽、食中毒、破傷風、ボツリヌス症、偽膜性大腸炎などの感染症を引き起こすことが知られている。芽胞は、熱、乾燥、消毒薬などに対して極めて高い耐性を有する。近年、芽胞形成細菌の集団は、「スポロバイオータ」と称され、細菌叢における特異な役割とその重要性が注目されている [2]。しかし、クロストリジウム属菌は、嫌気性であり、大気中での存在量が少ないことから、その実態はほとんど解明されていない。

本研究では、大気中のクロストリジウム属菌の潜在的な健康影響と動態を解明することを目的とした。富山においてアンダーセンエアサンプラーを用いて大気試料を粒径別に採取し、それらの試料から培養法によってクロストリジウム属菌を単離した後、ドラフトゲノム配列を解析した。さらに、富山を含む国内各地での大気中のクロストリジウム属菌に関して、地域や季節による差異、発生源、およびヒトの健康への影響を検討することを目指した。

2. 研究方法

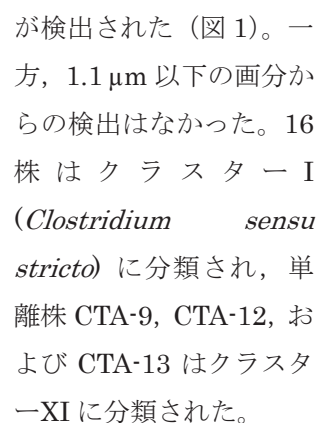
大気試料は、富山大学理学部の屋上において、2021 年 4 月から 2023 年 3 月の期間に、アンダーセンエアサンプラー（AN-200, 柴田科学）を用いて石英繊維フィルターに捕集した [3, 4]。

捕集したフィルターからは、脱気したクックドミート培地と変法 GAM 寒天培地を用いて嫌気培養を行い、クロストリジウム属菌を単離した。また、それらの細菌の細胞から熱水抽出法で

ドラフトゲノム解析は、ゲノム DNA 抽出に DNeasy Blood & Tissue Kit (Qiagen) を用い、MiniSeq (Illumina) で配列を取得した後、A5-miseq でアセンブルを行った。得られた配列から 32 個のマーカー遺伝子の連結配列を作成し、最尤法に基づいて系統樹を作成した。また、平均ヌクレオチド同一性 (ANI) 値およびデジタル DNA-DNA ハイブリダイゼーション (dDDH) 値を算出し、Type (Strain) Genome Server (TYGS) を用いてゲノムベースの分類を実施した。さらに病原性遺伝子の予測には病原因子データベース VFDB を用い、薬剤耐性遺伝子の予測には薬剤耐性データベース CARD および ResFinder を利用した。

細菌叢解析は、大気試料を捕集したフィルターから FastDNA SPIN Kit for Soil (MP Biomedicals) を用いてゲノム DNA を抽出した。細菌の 16S rRNA 遺伝子 V3-V4 領域を、プライマー 341F および 805R を用いて PCR 増幅し、MiSeq (Illumina) Kit v2 によりシーケンスを行った。得られた配列データは QIIME2 を用いて解析し、アンプリコン配列バリエーション (ASV) を生成した。その後、SILVA 138_99 データベースを用いて分類を行い、葉緑体やミトコンドリアに分類される ASV を除去した。統計解析には、R v4.2.3 を使用した。

富山県富山市の郊外において、アンダーセンエアサンプラーを用いて大気試料の粒径別サンプリングを実施した。培養法によりクロストリジウム属菌を検出した結果、19 株を確認した。空気力学的直径 2.1–3.3 μm のサイズ画分(芽胞の大きさ程度と推測される)からは8株(42.1%)



菌株のドラフトゲノム配列を用い、図 2 の系統樹作成と ANI および dDDH 解析した結果、7 種 13 株と新種の可能性がある 6 株が確認された。ヒトにガス壊疽や食中毒を引き起こす病原性菌種

12 富山大学 田中 大祐

である *Clostridium perfringens* (ウェルシュ菌) が最も多く検出され、多くの菌株が病原性遺伝子を保有していた。特に、*C. perfringens* ではガス壊疽に関連する α 毒素および θ 毒素／パーフリンゴリジン O をコードする遺伝子がほぼすべての菌株に認められ、その他の毒素遺伝子も多く確認された。また、家畜の腸疾患との関連が指摘される $\beta 2$ 毒素遺伝子を保有する菌株も確認された。抗生物質耐性遺伝子 (ARG) は約半数の菌株で確認され、*C. perfringens* の 1 株はテトラサイクリン耐性遺伝子、ディフェンシン耐性遺伝子、エリスロマイシン耐性遺伝子など、複数の ARG を保有していた。

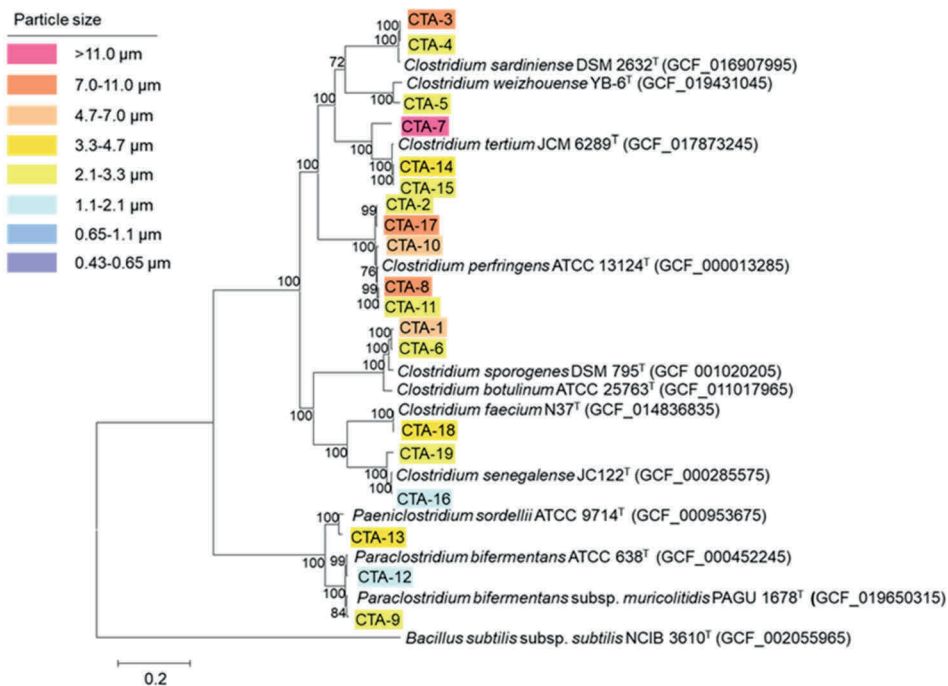


図 2. クロストリジウム属菌のゲノム配列上の 32 個のマーカー遺伝子の連結配列に基づく系統樹。

さらに、細菌叢解析により大気中の細菌群集におけるクロストリジウム属菌の存在割合を調べた (図 3)。本菌は粗大粒子側 ($>2.1 \mu\text{m}$) で 3.6%、微小粒子側 ($<2.1 \mu\text{m}$) で 2.3% 検出され、粗大粒子側では微小粒子側の約 1.6 倍と有意に高いことが確認された ($p < 0.05$)。この結果は、培養法による結果と類似した傾向を示した。

潜在的な空気感染性病原体の検出および特性評価は、これらの病原体による疾病の蔓延を防ぐ上で重要である。本研究は、嫌気性のクロストリジウム属菌が大気中の好气的条件下で輸送されること、さらにそれが人間の健康に潜在的なリスクをもたらし得ることを実証し、我々の知る限り初の研究である [4]。

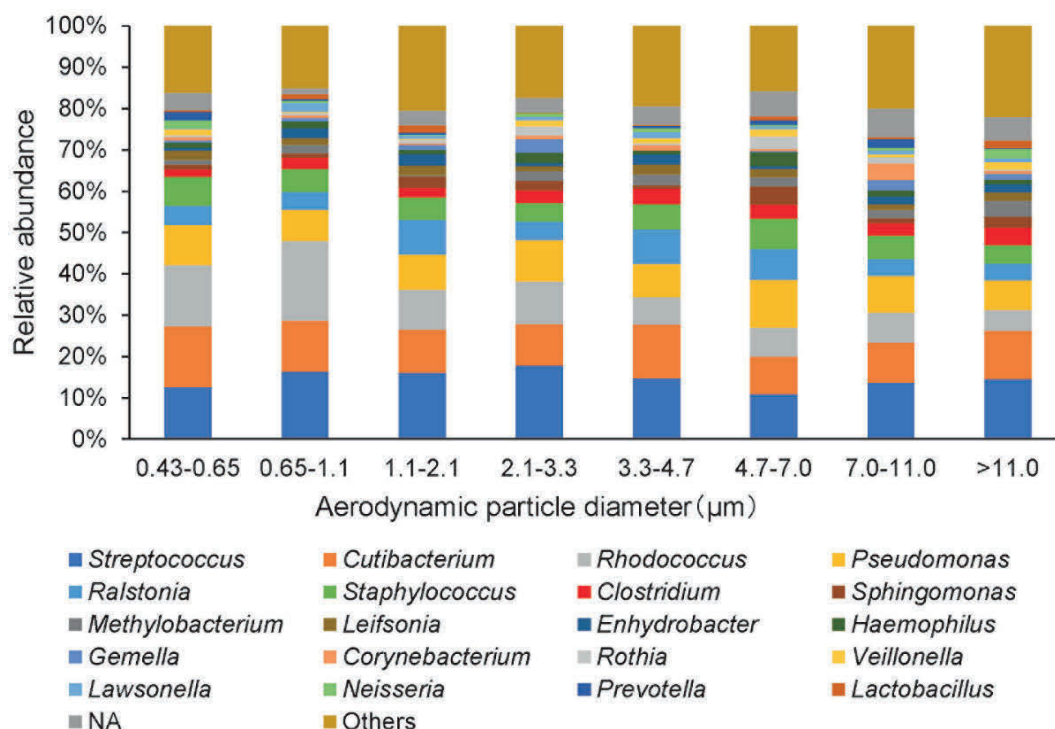


図 3. 細菌叢解析の属レベルでの結果。大気試料 12 回分を粒径ごとに集計した平均値を示す。

4. 今後の展望

本研究は、大気中の嫌気性スプロバイオータがもたらす潜在的な健康リスクを明らかにすると同時に、それらの予防と制御に向けた重要な知見を提供した。しかし、大気中の嫌気性スプロバイオータの時空間動態やその影響をさらに評価するためには、追加の研究が必要である。

今後は、大気から高頻度に検出され、健康リスクが示唆された *C. perfringens* について、国内外の多様な由来の菌株とのゲノム比較を通じて、健康への影響、発生源、および長距離輸送の可能性を引き続き検討する予定である。本研究の進展は、公衆衛生の向上に貢献するだけでなく、食品産業や、バイオエアロゾル研究の促進、バイオリソース構築にも寄与することが期待される。

5. 参考文献

1. Tanaka, D., and Maruyama, F. (2024). Unveiling microbial highways in the free troposphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 121, e2414774121.
2. Xu, M., Selvaraj, G. K., and Lu, H. (2023). Environmental sporobiota: Occurrence, dissemination, and risks. *Sci. Total Environ.* 869, 161809.
3. Tanaka, D., Fujiyoshi, S., Maruyama, F., Goto, M., Koyama, S., Kanatani, J. I., Isobe, J., Watahiki, M., Sakatoku, A., Kagaya, S., and Nakamura, S. (2020). Size resolved characteristics of urban and suburban bacterial bioaerosols in Japan as assessed by 16S rRNA amplicon sequencing. *Sci. Rep.* 10, 12406.

4. Seki, M., Iwamoto, R., Hou, J., Fujiyoshi, S., Maruyama, F., Furusawa, Y., Kagaya, S., Sakatoku, A., Nakamura, S., and Tanaka, D. (2025). Size Distribution and Pathogenic Potential of Culturable Airborne *Clostridium* spp. in a Suburb of Toyama City, Japan. *Microbes Environ.* 40, ME24078.

研究題目	サファイア鏡不純物の磁性による新規検出法の開発と重力波研究の精度向上
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部理学系・准教授・山元 一広
分野	理工系
キーワード	サファイア、不純物、磁性、光学精密測定。重力波

1. 研究の背景と目的

アインシュタインが予言した時空のさざ波である重力波は、2015 年の初検出以来、宇宙研究の新たな重要プローブとなっている(2017 ノーベル賞)。この新分野、重力波天文学、のさらなる充実のために世界的な重力波検出器の観測ネットワークの構築とその改良が急務となっている。また重力波検出で培われた技術は他分野にも応用されている。研究代表者が執筆者の一人である”Optical Coatings and Thermal Noise in Precision Measurement”(Cambridge University Press 2012) [1]によると重力波の技術が(時間標準や GPS に関わる)レーザー周波数安定化、量子光力学および共振器量子電磁気学(2012 年ノーベル賞)にも使われている。このような点からも重力波検出の技術向上が必要である。

富山大学から車で一時間程度の岐阜県神岡にある重力波望遠鏡(KAGRA)は重力波の国際観測網の重要な一員であり、装置のさらなる改善が急務である。改良の重要課題の一つは原理的雑音である量子雑音と熱雑音を同時に低減するための、鏡の光吸収低減である、その原因は鏡内の不純物と示唆されており、鏡内不純物の検出と同定が必要である。従来、X 線分析や電子スピンス共鳴等の一般的な方法が行われてきたが、KAGRA の鏡(20cm 程度、図 1)

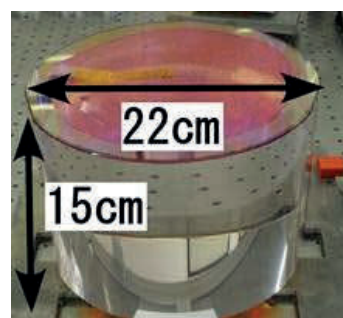


図 1: KAGRA サファイア鏡

において基材表面付近だけでなく内部まで検出可能な非破壊測定方法が望まれていた。我々は地球物理や低温磁性物理で用いられている精密磁化測定技術を基に、新規な測定方法を独自開発することを着想した(詳細を次の2段落に示す)。この新規の方法で不純物の種類・分布を探り、高品質鏡製作につなげることが本研究の目的である。

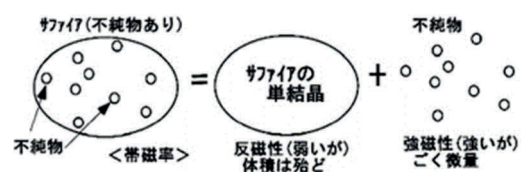


図 2: サファイア中の微量の強磁性不純物

山元(代表、2017 年富山大着任)は、酒井(分担)が長年富山大で研究してきた、岩石や考古遺物の残留磁化による歴史・地質時代の地磁気研究(Nature、2002 等)に注目した。この残留磁化用超伝導磁力計(酒井導入)は地層から得た長形状試料(直径 5cm、長さ数 m)内の磁化を測定できる。地層を得た試料内の残留磁化の空間分布を調べることによって、岩石ができたときの地磁気の大きさと向き、すなわち地磁気の履歴を明らかにできる。最近チバニアンという新しい地質年代

の名前がついたが、地磁気履歴の研究成果に由来する。富山大の残留磁化用超伝導磁力計の改良により、サファイア鏡サイズ試料の磁性不純物の分布も検討できると着想した（図2）。

また富山大の桑井(分担)を始めとする低温磁性の研究グループは、最先端の磁気特性精密測定システム(富山大学機器分析施設の MPMS)を用いる研究により国内外で高い評価を受けている。これを用いてサファイア試料の磁化の温度依存性を測定することで、サファイアとは異なる温度依存性をもつ不純物由来の磁化を評価し、不純物濃度と共に、原子1個の磁化(全角運動量量子数もしくは価数)の推定の可能性を調査した。これは光吸収との関係で重要である。さらに極限環境先進材料評価システム(富山大学機器分析施設の PPMS)にて極低温での磁場中比熱を測定することで不純物に関して同様な情報が得られないかを検討した。

2. 研究方法

まず意図的に不純物をドーピングしたサファイア試料を(KAGRA の鏡基材を納品した実績がある)信光社から購入した。ドーピングした不純物はCo、Ni、Cr、Mgである。ドーピングした量は桁でいうと100ppm から1%である。試料形状は2mm*2mm*10mmの直方体と直径20mm 厚さ9mmの円柱である。純粋なサファイアは無色透明であるが、いずれの試料も色がついており、不純物は光に十分影響を与えている。このような試料を測定して、不純物検出法の開発を行った。

測定方法は3つあるが担当者名とともに概略を説明する。

- (1) 残留磁化 (酒井 英男：富山大学理学部)：超伝導磁力計を用いて試料中の残留磁化を測定する。地球物理では地層中の残留磁化の分布から地磁気の履歴を調べているが、本研究では、試料内の残留磁化の分布を測定することで不純物の分布を測定することを試みる。試料としては大きめの円柱試料を用いた。
- (2) 磁化の温度依存性 (山元 一広：富山大学学術研究部理学系)：磁気特性精密測定システム MPMS を用いて試料の磁化率をおよそ2K から常温まで測定した。サファイア自体は反磁性でかつ温度依存性を持たない[2]が、不純物由来の磁性が常磁性もしくは強磁性の場合は温度依存性をもつため、区別できる。とくに低温では常磁性、強磁性が強くなるため、仮に不純物濃度が小さく常温でサファイアの反磁性しか見えなかったとしても低温にして見える可能性がある。温度依存性が測定できれば濃度だけでなく全角運動量量子数も決定できる[2]。これは光との相互作用を考えるうえで重要な情報である。試料は小さい直方体を用いた。
- (3) 磁場中の比熱の温度依存性 (桑井 智彦：富山大学学術研究部理学系)：試料に磁場をかけたうえで比熱の温度依存性を極限環境先進材料評価システム PPMS で測定した。サファイアの比熱は低温で温度の3乗に比例するが(デバイ比熱[2])、不純物が磁性をもつとその影響で比熱が変わる。この違いから濃度や全角運動量量子数を測定することができる、試料は(2)の磁化の温度依存性の後にカットしたものを測定した。

3. 研究成果

残留磁化、磁化の温度依存性、磁場中の比熱の温度依存性の順番に説明する。

(1) 残留磁化 (酒井) :

3-1. 概要

富山大学の超伝導磁力計 (図 3) を用いて試料中の残留磁化を測定した。地球物理では地層中の残留磁化の分布から地磁気の履歴を調べているが、本研究では、試料内の残留磁化の分布を測定することで不純物の分布を測定することを試みる。不純物ドーブサファイアの円板状試料 (直径約 2cm、厚さ 9mm 程) を用いて行った。研究で主に使う残留磁化用超伝導磁力計 (図 3) は、これより大きい試料 (6cm 径長さ 1m) にも対応できるが、試料は高価であり今回はこの大きさの試料で研究した。



図 3 : 残留磁化用 (パルス型) 超伝導磁力計と磁気シールド室内の各種装置。

3-2. 試料

研究には、純粋なサファイア (反磁性、帯磁率・負) に 100ppm から 1% 程度の磁性不純物 (Co、Ni 等) をドーブした 5 個 (5 種類) の試料を用いた。図 4 に各試料について、付けた番号とドーブ不純物を示し、写真を載せている。



図 4 : 試料 1: 青 (Co)、2: 黄 (Ni)、3: こげ茶 (Cr)、4: 緑 (Co)、5: 赤 (Cr+Ni+Mg)

3-3. NRM (元の残留磁化) の測定

5 個の不純物ドーブサファイア試料について、まず購入状態の残留磁化 (NRM) を測定した。今後、試料は、以下の様に称する (Co ドーブサファイア試料: Co サファイア)。図 5 には、各試料の残留磁化の方向をシュミットネット投影で示し、右の表に磁化の方向と強度を表している。

全試料で、磁化強度は非常に弱く測定精度の限界であった。その中では、Cr サファイアの磁化が強かった (3: こげ茶 (Cr) と 5: 赤 (Cr+Ni+Mg))。この磁化は、不純物サファイアが作られた時に獲得されていたと考えられる。サファイア作成時の高温で熱残留磁化 (TRM) が獲得されて磁化は強くても良い筈であった。しかし弱い磁化なのは、作

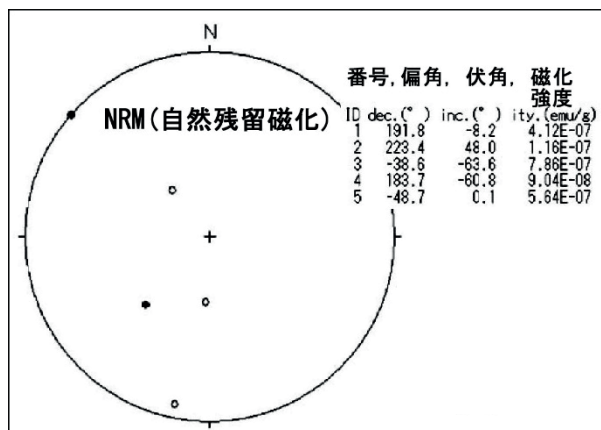


図 5 : 各試料の残留磁化の方向 (シュミットネット投影)。

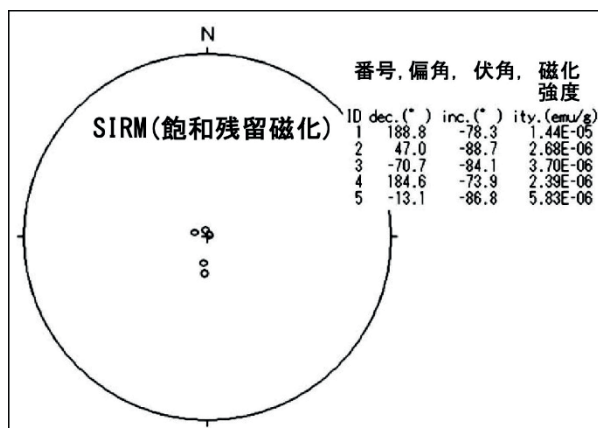
右は磁化の測定データ (方向と強さ)

1: 青 (Co)、2: 黄 (Ni)、3: こげ茶 (Cr)、
4: 緑 (Co)、5: 赤 (Cr+Ni+Mg)。

成時の炉は金属で覆われて、地磁気は遮蔽され、炉内の磁場が非常に弱くなっていることも原因と思われる (TRM の強度は周囲磁場の強さに比例する)。

3-4. パルス磁場を印加後の残留磁化

その後、各不純物サファイアに、パルス磁場を印加して、獲得された残留磁化を研究した。磁場には、0.5T(テスラ)と1.0Tを用いた。各印加磁場より、それぞれの不純物サファイアが獲得した残留磁化の強度は、ほぼ同じであった。このことは、各不純物サファイアの残留磁化は、0.5Tの磁場でほぼ飽和したことを示し、飽和残留磁化 (SIRM) になっていたと考えられる。



パルス磁場の実験により、各不純物サファイアがきちんとした残留磁化を獲得したことは、ドーブされた不純物の磁性は、常温では強磁性であることの確認になった。

図 6: 各試料のパルス磁場 (1.0T) 印加後の残留磁化の方向 (シュミットネット投影)。右は磁化のデータ (方向と強さ) を示す。1: 青 (Co)、2: 黄 (Ni)、3: こげ茶 (Cr)、4: 緑 (Co)、5: 赤 (Cr+Ni+Mg))

図 6 には、パルス磁場で獲得された各試料の残留磁化 (SIRM) の方向を、シュミットネット投影で示している。右の表には磁化の方向と強度 (単位質量での値) をまとめている。Cr サファイア (試料 3、5) の磁化は、NRM の段階でも強かったが (3-3 節)、同様に他試料より強い。またシュミットネット図で、各試料の磁化 (SIRM) の方向は図の中心 (鉛直方向) に揃った。これはパルス磁場を加えた方向であり、印加磁場により各試料はきちんと磁化を獲得したことを示している。

結果の検討

青色と緑色の Co サファイアの磁化

研究試料の Co サファイアには、青色と緑色の 2 種類があった。磁化強度をみると、図 5 の NRM の時から、Co 青 サファイア (番号 1) の方が Co 緑サファイア (番号 4) よりも 強かった。図 6 の SIRM では、Co 青サファイア (番号 1) の磁化は Co 緑サファイア (番号 4) より 5 倍以上強かった。

Cr サファイアの磁化

Cr サファイア (試料 3) にも残留磁化があり、強磁性を示した。磁化強度に着目すると、NRM (図 5) でも Cr サファイアの磁化は Ni サファイアより強く、図 6 の SIRM でも同様に強かった。本来、Cr やその酸化物は、常温では強磁性では無いことから、今回の Cr サファイアには 他の磁性不純物が入っている可能性がある。Co、Ni、Fe 等の混在の有無を調べる必要がある。

3-5. 帯磁率の測定

各サファイア試料について、MS-2 帯磁率計 (英) を用いて 常温での帯磁率 の測定も行った。結果は装置の限界の大きさの帯磁率であった。ただ表示は負を示した。これは、ppm オーダーの強磁性物質の大きな帯磁率は、サファイア (反磁性) の、負の帯磁率に隠れて見えないためと考えられた。これは次の磁化の温度依存性の測定結果と矛盾しない。

3-6. 交流消磁と保磁力の分析

各試料にパルス磁場 1.0T を加えて獲得された残留磁化(SIRM)について交流磁場による消磁の実験を行った。これにより、各試料の磁化の保磁力が検討できる。保磁力の指標の一つに MDF がある。これは、交流消磁で元の磁化の強さが半分になる時の消磁磁場の強さとして定義される。

Co 青サファイア(試料 1)と Co 緑サファイア(試料 4)について消磁結果(ザイダベルト図)から MDF を調べると、Co 青サファイアでは、80mT の消磁でも磁化は半分まで減っておらず、 $MDF > 80mT$ とわかる。一方、Co 緑サファイアの MDF は、40-50mT と読み取れた。同じ Co サファイアでも保磁力の大きさは異なったが、これは Co の全角運動量子数(もしくは価数)、酸化コバルトの状態の違いを表していると考えられる。

Ni や Cr サファイアでは、80mT までの消磁で磁化は十分に消磁された。Cr サファイア(試料 3)の MDF は 40mT 程、試料 5(赤(Cr+Ni+Mg)サファイア)の MDF は、40-50mT と得られた。これらの結果は、含まれた不純物の磁性粒子は異なることの証明になる。

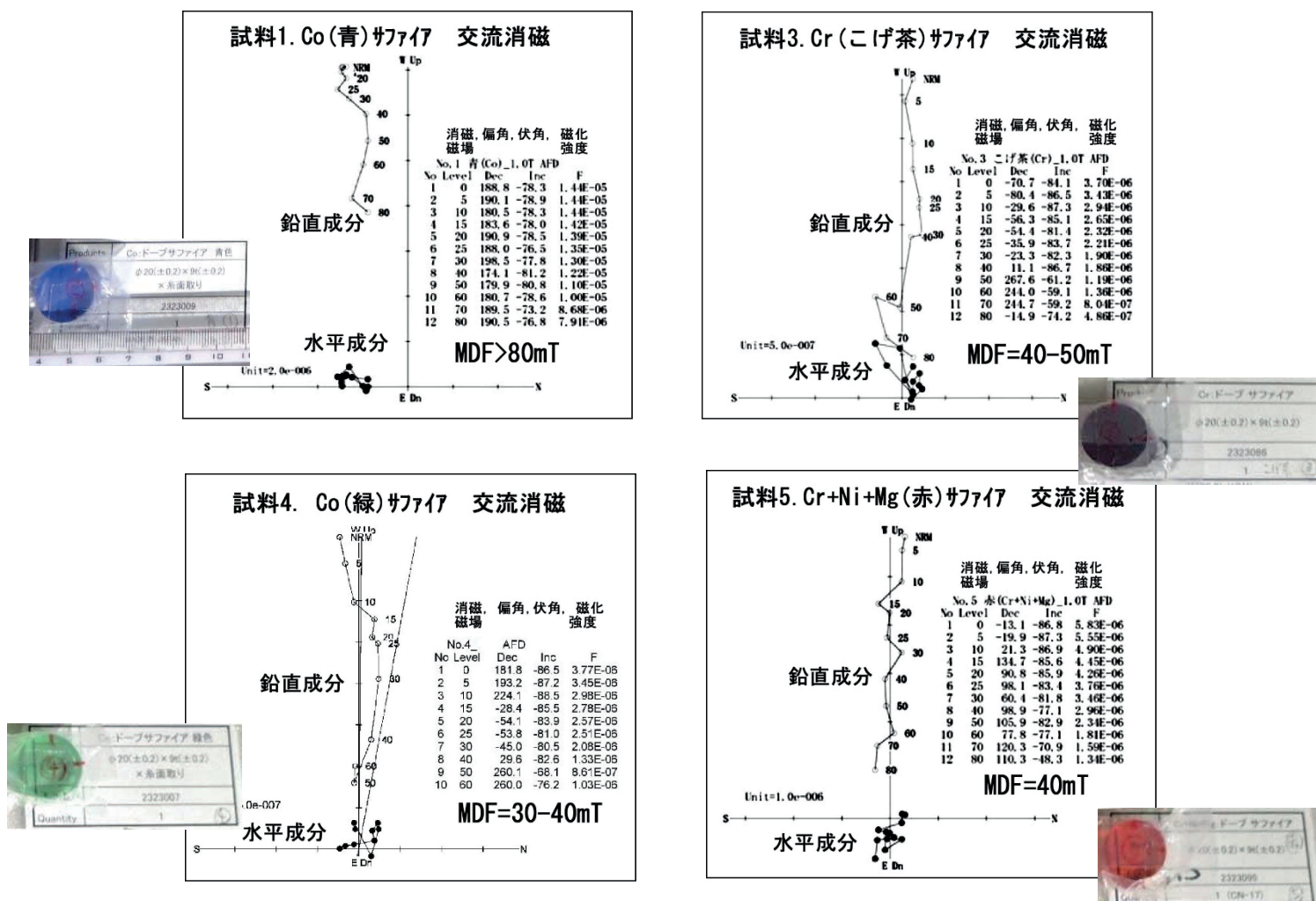


図 7: サファイア試料の交流消磁の例。

3-7. 不純物サファイアの残留磁化のまとめ

不純物として Co、Ni、Cr 等をドーピングしたサファイア試料の残留磁化を調べた。それぞれの不純物のドーピング量は 100ppm 程度である。

- (1) 製造された状態の各試料の磁化は非常に弱く、超伝導磁力計の測定限界に近かった。
- (2) 各試料について、1T(テスラ)の磁場印加により獲得された残留磁化(SIRM)は、超伝導磁力計で十分測定できる強さを持っていた。これは、100ppm オーダーの強磁性粒子(不純物)を含むサファイアの残留磁化は研究可能であることを示している(国内外で従来、研究例はない)。
- (3) 交流消磁で得られる保磁力の情報を、MDF を指標として調べた。各ドーピングサファイアの含有粒子による違いや、Co サファイアにおける、青と緑の色の違うサファイアの磁性の差等は、残留磁化の強度と共に交流消磁の MDF の特性からも検討できるとわかった。

3-8. 残留磁化による研究の今後行う方向性、方針

無定位磁力計または、生体磁化の研究のための超伝導磁力計(改良)の利用が検討できる。後者については、脳磁場の研究グループとの連携も可能と考えられる。

(2) 磁化の温度依存性 (山元) :
2mm*2mm*10mm のサファイア試料の 2K から 300K までの磁化の測定を富山大学機器分析施設の磁気特性精密測定システム MPMS (図



8) を用いて行った。図 8: 試料と測定装置 左上から右へ、1:青(Co)、2:黄(Ni)、3:こげ茶(Cr)。試料は以下の 5 (Cr)。左下から右へ、4:緑(Co)、5:薄こげ茶(Cr+Co)。右下が磁気特性精密測定システム MPMS。

1:青(Co)、2:黄(Ni)、3:こげ茶(Cr)、4:緑(Co)、5:薄こげ茶(Cr+Co)。濃度は 1、2、4 が数百 ppm、3 が 1%程度、5 は Cr が数百 ppm、Co が 1%程度である。印加磁場は 1T、2T、7T である。

常温付近では磁化はほぼ温度に依存しないが、低温になると温度依存性が見られた。サファイア自体は反磁性であること、反磁性は温度に依存しないこと[2]を考えると低温での温度依存性は不純物に由来すると期待できる。さらに常温付近で測定された磁化は温度依存性がないので常温ではサファイア反磁性が主要成分であるとして、全温度領域の測定値からこの常温磁化測定値をサファイアの反磁性として引いた。残差の温度依存性が調べたところ、いわゆるキュリー則(高温で温度に反比例し、低温では一定となる)に従った。このため不純物は常磁性をもつと考えた[2、3]。

以上を前提に測定結果を解析した。その主な結果をまとめる。

(a) Ni、Co 青、Co 緑に関してはそれぞれ 2 つの試料を測定した（計 6 つの試料）。同一ドーピングの 2 つの試料はそれより大きいバルクから切り出し、それらの間の距離は 30mm から 40mm 程度である。結果はほぼ一致しており（代表例として Ni の結果を図 9 に紹介する）、測定の再現性とこの程度の濃度で一様性が確認された。

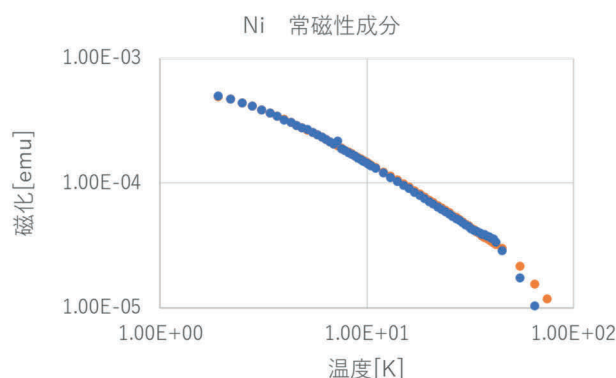


図 9: 2 つの Ni 試料の結果。青とオレンジが異なる試料を示しているがほぼ重なっている。

(b) Co 青、Co 緑、Cr+Co の磁化の温度依存性を比較した（図 10）。これらすべてに Co が入っているが、色はすべて異なっている（Cr+Co は薄こげ茶）。また Cr+Co においては Co は Cr より 2 桁程度濃度が大きい。まず共通点は低温では磁化は温度に依存せず、
高温では温度に反比例して
いることである。これから

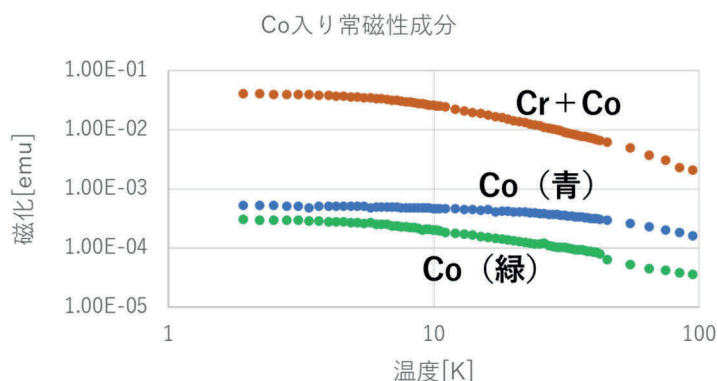


図 10 Co(青)、Co(緑)、Ce+Co に 7T の磁場をかけて 1.9K から 300K の間で磁化を測定した結果。

不純物成分はキュリー則にしたがっており[2]、常磁性である。温度依存性がかかる温度は試料によって異なる。これは全角運動量子数 J (価数と関係する) の違いと考えられる。Co(青)のみ温度依存性が変わる温度が高いがその分 J が大きい。これから求めた J の妥当性について現在検討中である。また残留磁化の測定でも Co(青)は Co(緑)より大きく消磁も困難であるので、Co(青)は他の試料と異なる。この J を正しいとすると、低温での磁化から不純物濃度を見積もることができる。その結果 Co(青)と Co(緑)の濃度は数 10ppm 程度、Cr+Co は数 1000ppm 程度であった。ドーピングした量に比べると（桁違いではないが）小さいが、ドーピングしたものがすべて取り込まれるわけではないことに留意すると深刻な矛盾ではない。

このように低温での測定により磁性由来の不純物が数 10ppm 程度の濃度でも検出できることがこの手法の優れている点である。なお Cr に関しては、測定は終え解析と検討を進めているところである。残留磁化の測定で他の不純物の存在が示唆されているのでその点も注意して進める。

(3)磁場中の比熱の温度依存性 (桑井): サファイアの比熱は低温で格子振動に由来の温度の 3 乗に比例する温度依存性を有するが (デバイ比熱[2])、不純物が磁性をもつとその影響で比熱が変わる。例えば常磁性不純物が印加磁場中に置かれると、磁気モーメントが影響を受けて量子状態

におけるエネルギー縮退が解かれ、いわゆるショットキー型の緩やかなカーブが比熱に現れる[2]。この比熱は対象となる磁気モーメントの大きさや、印加磁場の強さに依存する。この特性を生かし、磁場中比熱の測定を行うことで、磁気モーメントの大きさや不純物の量の算出ができるかを検証することにした。試料は(2)の磁化の温度依存性のあとさらに切りだし、質量 60.14 mg のものを使用した（切り出す前の質量はおよそ 160mg）。測定には富山大学共同利用施設の物理特性測定システム（PPMS）を用い 2~30 K の温度範囲、1 T 刻みで 0~9 T の磁場下で行われた。

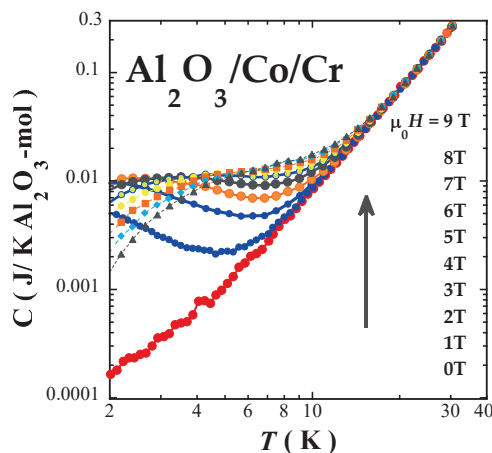
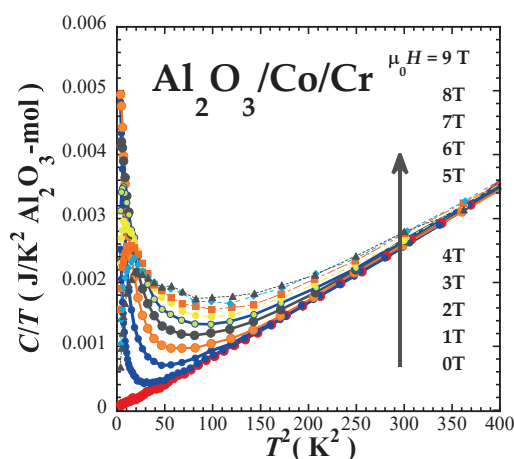
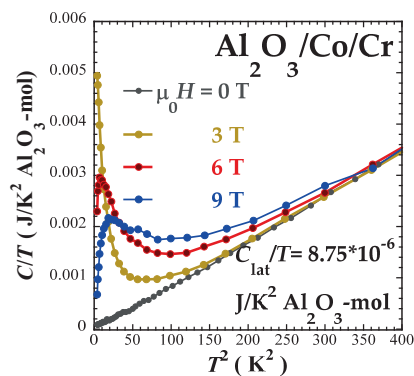


図 11：磁場中の比熱測定結果

測定された比熱の結果を図 11 に示す。縦軸は Al_2O_3 モル当たり (113.968 g/mol) に規格してある。無磁場の結果は Al_2O_3 の寄与のみと判断できる。磁場の印加に伴い、低温から比熱の盛り上がりが見測され、磁場の強さに伴い盛り上がりの中心が高温側へ移動していくことが判る。次に図 11 を横軸 T^2 、縦軸 C/T にして図 12、13 に示す。無磁場のデータは、測定の温度範囲内で直線的であり、デバイの T^3 則に従っていることが明らかである。直線の傾きからデバイ温度は約 1,000 K 程度と見積もられ、過去の報告と良い一致を示している。磁場を印加していくと低温の立ち上がりが系統的に際立ってきて、磁場により縮退の解ける所謂ゼーマン分裂の様相が明確になっていく。この結果を基に温度で積分することで、磁性不純物のもつエントロピーの算出が可能と判断できる。今回は低温での様相が明瞭に見える 9 T の磁場下での結果を解析した（図 14 を参照）。縦


 図 12：磁場中の比熱測定結果の $C/T-T^2$ プロット。

軸左側は格子比熱を差し引いた、Co（と Cr）の不純物寄与 C/T 、右側は計算された Al_2O_3 1 モル当たりのエントロピーである。9 T の印加磁場に対して、数 K 付近にピークがあり、概ね 15 K 以上では C/T の寄与はほぼなくなっている。算出されたエントロピーはこれに伴い、一定値に収束する傾向が確認できる。これは印加磁場により、不純物として含まれている磁性不純部の磁気モーメントが飽和したことを示唆している。


 図 13：代表的な磁場下での $C/T-T^2$ プロット。

この結果を基に今回は Co 不純物が定量的に Cr 不純物を

圧倒していることを考慮して Co 不純物のみの含有度を求める ことにした。Co の含有率を求めるには、ボルツマン定数、Co イオンの価数および含有量を決めるために、結果をアボガドロ数で除する必要がある。Co の取り得る価数は 2 価と 3 価であることが知られており、Co イオンに捕捉されている 3d 電子がその磁性を担い、

スピン角運動量 S と軌道角運動量 L 、および全角運動量量子数 J が決まると、エントロピー算出のための自由度が決定できる。ここでは不純物として Co イオンが局在していると考え、全角運動量量子数 J で規格することにした。

Co²⁺では $J = 9/2$ 、Co³⁺では $J = 4$ どころかも大きな差はない (自由度に係わる数値は $\ln 9$ と $\ln 10$)。結果を図 15 に示す。参考のためにスピン角運動量 S で算出した Co³⁺のケースも掲載した。これを見ると全角運動量量子数で見積もった Co 不純物の含有量は 0.1 %程度 であることが判る。仕込み量は Co 1.2 atm %なので、これに対して 1/10 程度になっているという結果が得られたことになる。一般に不純物として含有させる仕込み

値は最大値であり、引き上げ法によって試料を育成している際には、最大値より低くなることは理解できる。さらには今回測定した部位が引き上げプロセスの時間的・空間的な特性により濃度が微妙に変化することもあり得るため、いくつかの異なる試料の測定が必要かと考える。逆に、この程度の微量な含有量の磁性不純物の存在を磁場中比熱により検証ができるということも示せたと考える。

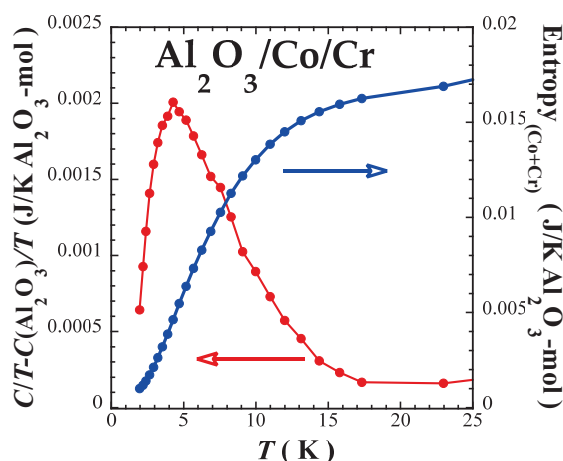


図 14: 測定結果から得た不純物によるエントロピー。縦軸左側 (赤マーカー) は格子比熱を差し引いた、Co (と Cr) の不純物寄与 C/T 、右側 (青マーカー) は計算された Al_2O_3 1 モル当たりのエントロピーである。

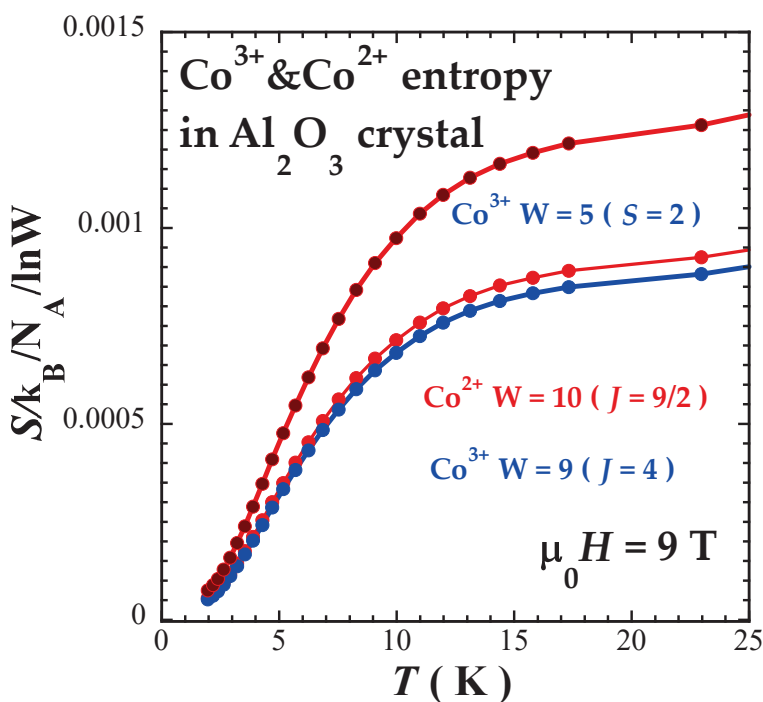


図 15: Co 含有量の見積もり。Fitting から 0.1%程度とわかる。

4. 今後の展望

今回サファイア中の不純物起源の磁性、とくに残留磁化、磁化の温度依存性、磁場中での比熱を測定し、不純物についての知見を得ることに、とくに数 10ppm の希薄な不純物の検出に成功した。

今後の方針は以下のようになる。

- (1) 大きな試料の測定：今回は方法の開発のため小試料で行ったが、本来の目的である大きな試料の測定を目指す。
- (2) 異なる方法間の首尾一貫性の確認：磁化の温度依存性と磁場中の比熱の温度依存性の結果（濃度、全角運動量子数）が一致するかを確認する。残留磁化とその他 2 つの方法（磁化及び比熱の温度依存性）は磁性の異なる面（前者は強磁性もしくはヒステリシス、後者は常磁性）を見ているので、整合性の確認が必要である。
- (3) Co (青)の測定：Co は試料によって色が異なる。さらに微量であっても他の不純物を含むかでも色が異なる。さらに測定した磁化の温度依存性が異なっており、とくに Co (青) は他と異なる特徴を持つ。他の方法も援用して研究を続ける。
- (4) 他の不純物の探索：残留磁化測定からドーブした以外の不純物が示唆されているため、探索する。
- (5) 他分野との連携：磁性の測定を利用している他分野も多い（脳磁場など）。それらの分野の測定方法を取り入れる。
- (6) 光吸収の測定：光吸収を測定して、不純物との対応をつける。

5. 参考文献

1. ” *Optical Coatings and Thermal Noise in Precision Measurement* ” (Cambridge University Press 2012)
2. C. Kittel, ” 固体物理学入門 (第 8 版) ” (丸善、2005)
3. 山元 一広、桑井 智彦、酒井 英男、” 重力波観測のための高性能鏡の磁性研究－性能向上のための新たなアプローチ ”、日本物理学会北陸支部特別講演会、富山大学理学部、2023 年 9 月 28 日

研究題目	データサイエンスに基づく非線形解析手法 による老若男女入浴の自律神経活動評価の 研究
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部工学系・教授・中島 一樹
分野	理工系
キーワード	入浴、自律神経活動、非線形解析

1. 研究の背景と目的

日本固有の文化である入浴は、身体を清潔にするだけでなく、自律神経の調整、精神的ストレスの軽減、免疫機能の向上、血流改善、基礎代謝・体内酵素の活性化など、さまざまな効果がある[1]。さらに毎日湯船に浸かる行為により、睡眠の質向上[1、2]、幸福度の向上、3年後の要介護状態になるリスク軽減などの効果が明らかになっている[1]。また、シャワー浴が一般的な海外でも、湯船に浸かる入浴がリラックスやストレスの解消手段として、IT 長者や石油王などから注目されている。本研究はデータサイエンスに基づく非線形解析手法により、老若男女を対象として入浴によるリラックス効果を定量評価することを目的とした。

自律神経活動を評価するためには、心拍、血圧、呼吸、体温などの生理量を測定し、詳細に解析することが重要である。これら生理量を測定するためには、各種の電極やセンサを身体に取り付けなければならない。また、測定装置も大がかりになる。一方、国内外で自律神経活動の評価は、心電図から得られる心拍間隔のゆらぎである心拍変動解析が広く用いられている。リラックス時には副交感神経活動が亢進するが、この場合、連続する心拍間隔のゆらぎが大きくなる。心拍変動解析では、特に時系列データのパワースペクトル解析による評価手法が広く用いられている。これは時系列データを周波数データに変換し、低周波数領域 LF (Low Frequency) と HF (High Frequency) のパワーを評価する方法である。LF は 0.04～0.15Hz の周波数帯で、交感神経と副交感神経の両方の活動を反映し、HF は 0.15～0.4Hz の周波数帯で、主に副交感神経の活動を反映するとされている。しかし、LF/HF 解析のような単純な線形解析手法では、自律神経活動の変化に対する感度が十分に高くないので、新たな解析手法が必要である。これまでに我々は、図 1 に示すように若年男性の夏季と冬季入浴の心拍変動時系列データのローレンツプロットを独自に発展させた非線形解析により、夏季より冬季の入浴後には副交感神経活動が亢進することの可視化に成功した。この手法では定量的な解析は容易でなかった。そこで心拍間隔のゆらぎを定量評価するため、本研究では新たに副交感神経活動の指標となる RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences) を算出し、老若男女の入浴による心拍間隔のゆらぎを解析し、副交感神経活動の変化を調査した。

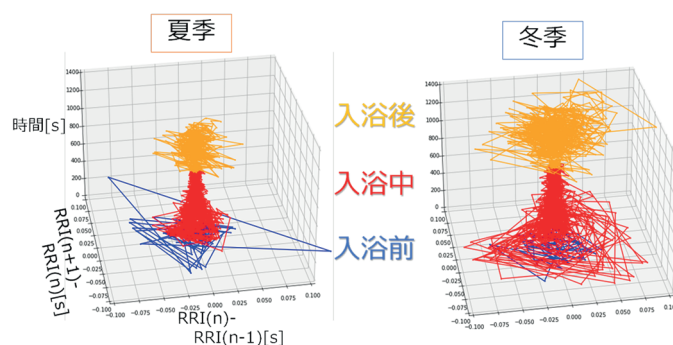


図1 入浴による副交感神経活動の変化

2. 研究方法

入浴計測を行った計測環境の概要を図2示す。本研究で使用した浴槽は一般住宅向けであり、外寸は $W \times D \times H = 160 \times 65 \times 57$ cm である。この浴槽の周りに温湿度維持のためビニールシートを張り、ビニールハウス（黒色点線部分： $W \times D \times H = 180 \times 160 \times 200$ cm）を構築した。浴室温を 25 ± 1 °C に保ち、浴槽に深さ 36 cm まで 40.0 ± 0.2 °C の湯を満たし、協力者を入浴させた。協力者は 25 ± 1 °C の室内で 30 分間の安静座位を維持した後に 15 分間入浴した。出浴後には 5 分間座位で回復させた。心電図は胸部、左右第 5 肋間の 3 か所に電極（レットダットモニタリング電極、3M）を取り付けて計測された。

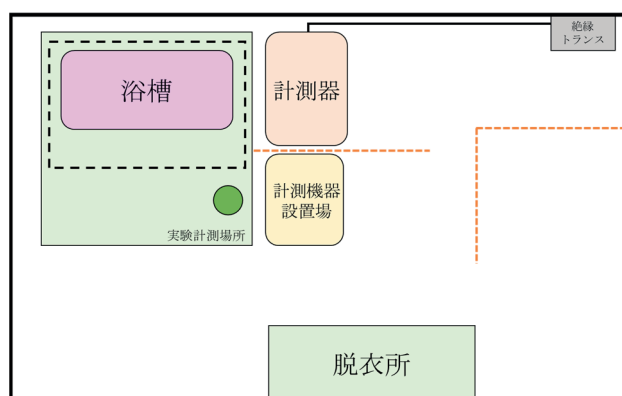


図2 計測環境の概要（上面図）

本研究は富山大学人を対象とし医療を目的としない研究倫理審査委員会からの研究実施の許可を得て、さらに協力者から書面によるインフォームドコンセントが得られた場合に計測を実施した。老若男女それぞれ1名が3回の計測に協力した。

3. 研究成果

全協力者とも入浴により心拍数は上昇し、出浴後は入浴前の安静期程度に回復した。ただし、男女とも若年者の心拍数変化は大きかったが、高齢者では心拍数変化が若年者よりも小さかった。そのため RMSSD についても、若年者では男性で約 40 ms、女性で約 30 ms の変化があったが、高齢者では男女ともに 10 ms 程度の変化しか得られなかった。

図 3 にリラックスに対応する副交感神経活動の指標である RMSSD の入浴による変化を示す。横軸は出浴時を基準とした時間、縦軸は入浴前の安静期を基準として正規化した RMSSD である。まず、若年者では男女ともに入浴直後から一過性に正規化 RMSSD が上昇し、その後、下降した。入浴 5 分後程度には 1.0 を下回り、出浴直前まで下降を続けた。出浴と共に正規化 RMSSD は上昇し、入浴前の安静期である 1.0 に戻ってきた。高齢者では若年者と同様のトレンドを示すが、正規化 RMSSD の変化は若年者よりも小さかった。男性は老若を問わず、安静期よりも出浴 5 分後までには正規化 RMSSD が 1.0 を超え、副交感神経活動が入浴前よりも亢進していることが明らかになった。一方、女性では老若を問わず安静期よりも出浴 5 分後までに正規化 RMSSD が 1.0 未満となった。

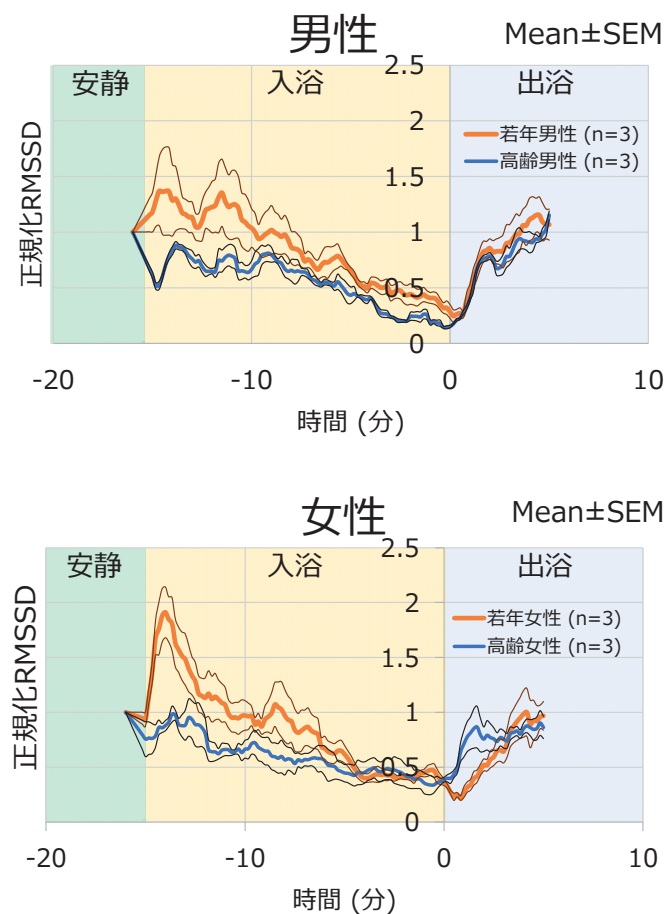


図 3 正規化 RMSSD の変化

これらの結果より、老若男女の入浴による副交感神経活動の差は、基礎代謝、体格指数や性差などの違いにより生じた可能性が考えられる。そのため、リラックスを得るための入浴条件は、老若男女で異なることが示唆された。

4. 今後の展望

本研究では老若男女の入浴による心拍間隔のゆらぎを解析し、自律神経活動の中でもリラックスに対応する副交感神経活動の変化を調査した。その結果、老若男女で反応の程度は異なったが、入浴により心拍数が一過性に上昇し、出浴後にはリラックスの状態に至ることが明らかとなった。生体には体温や血圧などにサーカディアンリズムによる変動もあるので、入浴時刻、入浴温度や入浴時間などの条件によっても、入浴によるリラックス効果は変化することが予想される。今後、被験者数を増加させ、この傾向が同様であるかを検証する必要がある。

5. 参考文献

1. 早坂信哉：最高の入浴法、大和書房、東京、2018
2. 西野精治：スタンフォード式最高の睡眠、サンマーク出版、東京、2017

研究題目	道路構造物に埋設された鋼材の腐食を磁気で探る非破壊研究法の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部都市デザイン学系・准教授・竜田 尚希
分野	土木工学、地盤工学
キーワード	土工構造物、補強土壁、腐食、維持管理、磁気

1. 研究の背景と目的

帯鋼補強土壁（テールアルメ）は 1963 年にフランスで開発された工法である。1974 年に日本で正式導入されて以降、数ある補強土壁の中では日本国内で最も多く採用されており、約 4.5 万件、壁面積 1300 万平方メートルの施工実績を誇る¹⁾。補強土壁は図-1 のように主にコンクリート壁面（コンクリートスキン）と金属製の補強材（ストリップ）で構成されている。帯鋼補強土壁の耐用年数は 100 年間を想定し²⁾、補強材には溶融亜鉛めっきが施されている。しかし、補強材は道路下の土中に設置されており、壁面はコンクリート製パネルで覆われていることから、外観からの近接目視による点検では補強材の腐食の状態を把握することは不可能に近い。事故を未然に防ぐという点からも補強土壁の補強材の変状を調べる新たな方法の開発は緊急性の高い課題であると考えられる。

道路構造物の維持管理では、点検、診断、措置の管理業務（メンテナンスサイクル）が必要である。これまでの補強土壁の崩壊では、構造物・路面に変形や亀裂等の変状が発生して緩やかに進行し、最終的に崩壊したとの報告が多い。また豪雨・台風時、降雨流入や地下水位の上昇で変状が急激に進行することもある。こうした状況で、補強土壁の崩壊を防ぐには、変状を初期段階で捉える必要がある。



図-1 補強土壁
（帯鋼補強土壁：テールアルメ）
（テールアルメ協会ホームページ³⁾より参照）

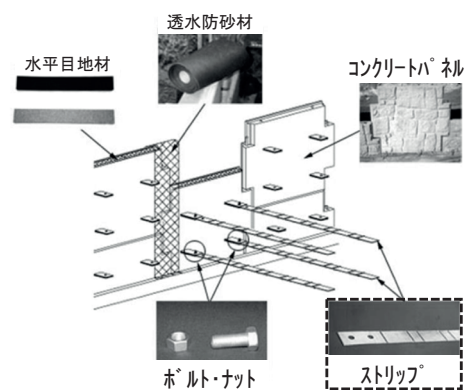


図-2 帯鋼補強土壁の構造
（テールアルメ協会ホームページ³⁾より
参照加筆）

補強土壁における補強材の状態調査として、従来、鉛直壁面に対してボーリング調査を行って土ごと補強材を取り出すことや、予め取り出すことを想定した調査用補強材を埋め込んでおき、それを取り出して調べる方法も試みられているが、土中から取り出すのは大掛かりとなり、また調査用補強材も全場所へは設置できず点検手法としては確立されていない。また非破壊調査として電気比抵抗探査も試みられたが、土の含水率変化の影響が大きく効果的でなかった。現状ではこうした調査手法と壁面変位の計測を組み合わせ、補強材のひずみや破断を間接的に予測しているが、点検手法としての有用性はあまり報告されていない。



図-3 補強材の腐食による崩壊(上)
帯鋼補強材の孔食の状況(下)

補強土壁は、日本に導入されて 50 年が経過しようとしている。この工法は多くの現場で利用されており、ストック量も膨大で、施工範囲は道路の延長として 1600km におよんでいる⁴⁾。図-3 は、数年前に富山市内で確認された約 40 年前に構築された補強土壁の補強材腐食で派生した崩壊である。国内の補強土壁に関して、このような事例が発生する前に対処できるように、腐食の危険箇所の判定修繕は喫緊の課題である。

そこで我々は、土中の金属(帯鋼)補強材の腐食を磁性で探る方法を考案した。補強鋼材が残留磁化を有する特性を利用して、腐食を効率良く把握する非破壊調査法の開発が本研究の目的である。地表・道路面から土中の鋼材の腐食が調査できると、土壁の健全度検証法として道路構造物のメンテナンスサイクルに役立ち、補修対策にも大きく貢献できる。富山大では優れた磁気探査の装置・技術を有し、遺跡、地質の調査で成果を挙げている。これを構造物点検に有用な方法に改良し、困難だった土中補強鋼材の腐食把握にもちいる研究は独自性が高く、また腐食・磁場の物理としても重要な研究となる。

2. 研究方法

研究は、補強材(鉄板)の磁気探査と鉄板の磁性研究からなり、鉄板の磁性については竜田他⁵⁾で一部報告している。今回は鉄板の磁気探査を中心に行った。鉄板の腐食に伴う磁性変化を非破壊で調べるために、光ポンピングセシウム磁力計を用いた(図-3)。この磁力計は磁場強度(全磁力)を高精度で測定でき、地磁気観測や土中異物探査で利用されている。上下センサを有し、上センサで主に環境磁場を測定し、下センサーで対象物の磁場を測定する。本研究では、両センサの測定値の差を用いるこ

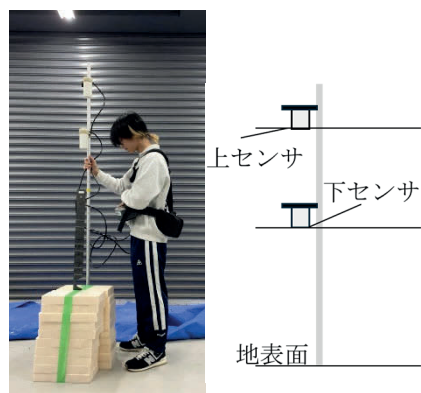


図-3 光ポンピング磁力計での測定

とで、土中の鉄板の磁場を測定した。研究対象である補強土壁は、壁表面のコンクリートパネルに鉄板が接続された複合構造物であることから、以下の手順で研究を行った。

(研究 1) 腐食を模擬 (削る等) した鉄板を用意した。そして鉄板を地表に水平 (図-4) と鉛直 (図-5) に置いた状態で磁場を測定することで、鉄板自体の磁場の変化を把握することとした。

(研究 2) 実際の現場で使用されるコンクリートパネルを用意し、パネル越しに鉄板端部の磁場を測定した。鉄板を接続せずにコンクリート

パネルのみの状態でまず測定し、鉄板を接続した状態での測定結果との差から鉄板の磁場を求めた。取付ける鉄板の枚数を増やして実際の現場の状態に近づけ、磁場の変化を検討した。

(研究 3) 地中 (深度 0.5m, 0.75m, 1.0m) に埋設した 12 枚の鉄板 (メッキ有無) について、磁気探査によって、1 年間での鉄板の磁性変化を調査した結果を整理した。

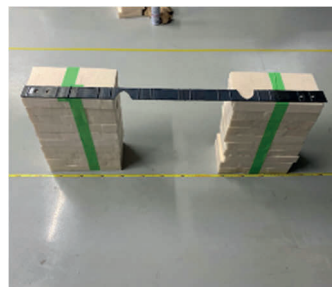


図-4 鉄板水平



図-5 鉄板鉛直

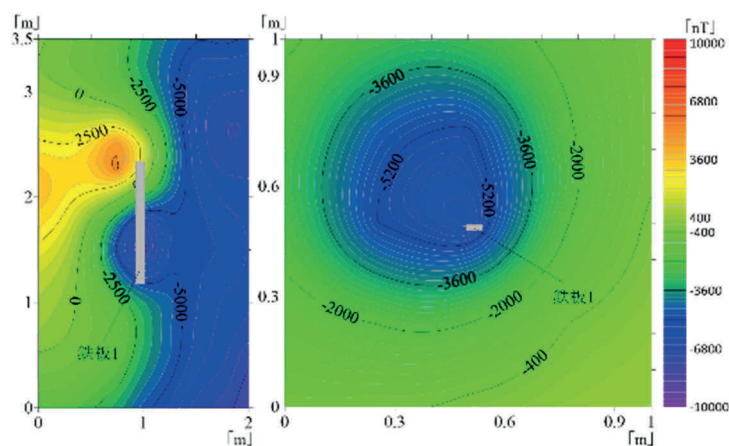


図-6 水平結果

図-7 鉛直結果

3. 研究成果

3. 1 鉄板がもつ磁場の測定結果

鉄板を地表面と水平に設置した状態 (図-6) と地表面と鉛直に設置した状態 (図-7) で鉄板周囲の磁場を測定した。測定結果では、共に鉄板の端部に磁場の極値が現れた。これは、鉄板が NS 極を持つ永久磁石となり周囲に磁場を発生している実証となった。実際の補強土壁に使用されている鉄板補強材も同様に磁場 (極値) の測定が可能であると考える。

3. 2 コンクリートパネルに接続した鉄板の磁場測定結果

コンクリートパネルに鉄板を接続した状態でコン

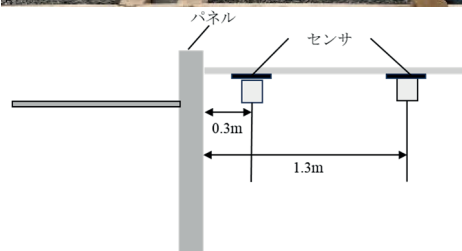


図-8 パネル越しの磁場測定状況条

クリートパネル越しに鉄板の磁場を測定した(図-8)。1枚取付けた結果(図-9)と4枚取付けた結果(図-10)では、共に極値を持つ明確な磁場分布が得られ、コンクリートパネル越しに鉄板の磁場測定が可能であることが確認できた。ただし取付け位置と磁場極値の位置が若干ずれており、より正確な測定(鉄板の状態変化のモニタ)の為にはさらに検討が必要である。

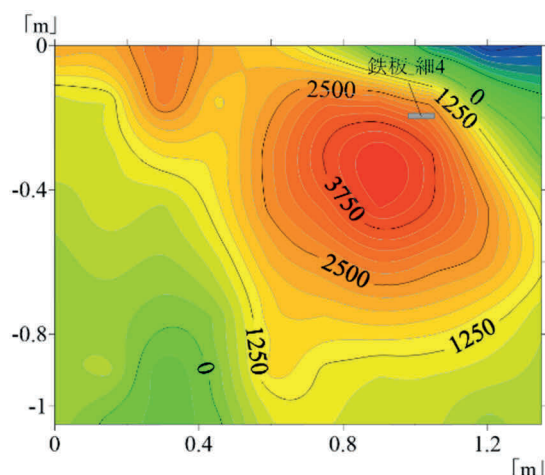


図-9 鉄板 1 枚の結果

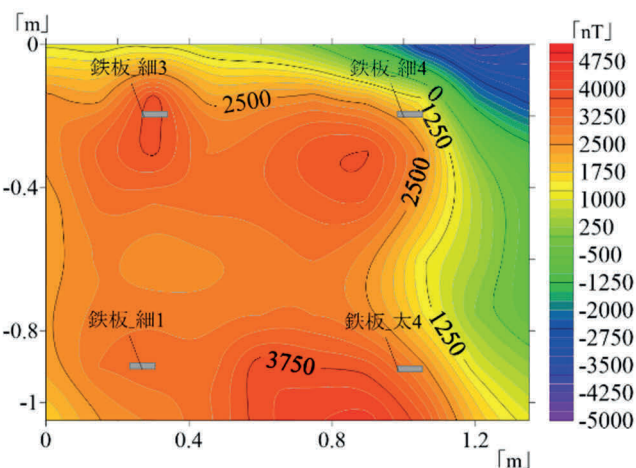


図-10 鉄板 4 枚の結果

3. 3 地中の鉄板磁場の測定結果

富山大学自然観察センターに埋設した鉄板に対して、地表面から磁場の計測(図-11)を長期間にわたり行っている。図-12 は 2022 年から 2023 年に行った計 4 回の測定結果の比較を示している。1 年間での変化は殆ど無く、地中の鉄板の腐食は進行しておらず、安定した磁場が計測できている。さらに計測を続けた後、掘り出して腐食状況を観察する予定である。

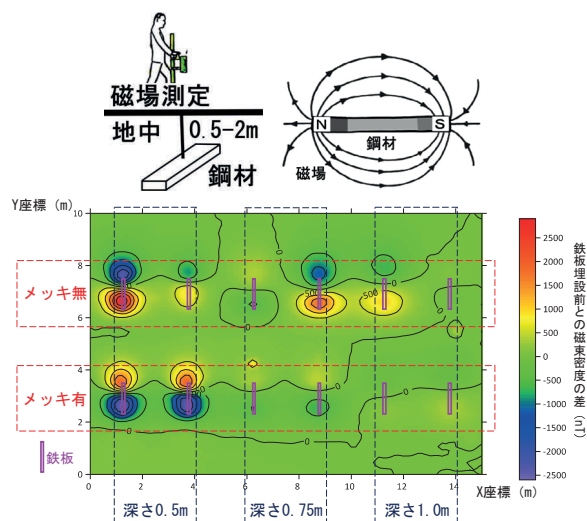


図-11 埋設された鋼材の磁場測定と磁場の分布

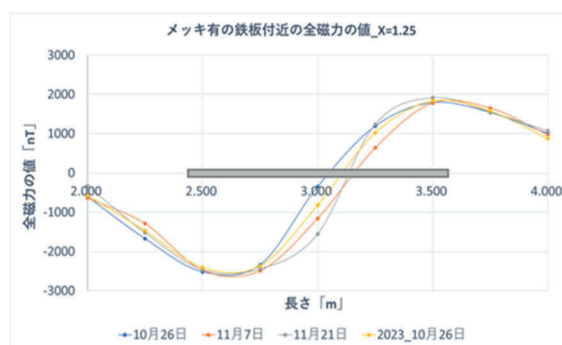


図-12 地中鉄板の磁場の長期計測結果
(2022 年 10 月～2023 年 10 月)

4. 今後の展望

補強土壁の鉄板補強材の磁気探査は有用で、コンクリートパネル越しでも磁場を明確に測定できるとわかり、鉄板の腐食(欠損)に伴う磁性変化を非破壊で調査できることが実証できた。また、鉄板の初期磁場をより安定化させるために、ソレノイドコイルを作製した。今後、ソレノイドコイルによって着磁された鉄板を使って更なる検証を行っていく。野外実験・腐食補強材の現場での研究も行い効率の良い調査法の開発につなげる。

5. 参考文献

- 1) 一般社団法人日本テールアルメ協会：<https://www.japan-ta.com/about.html>
- 2) 一般財団法人土木研究センター：補強土（テールアルメ）壁工法設計・施工マニュアル第3回改訂版（平成15年11月）P.283
- 3) ヒロセ補強土株式会社：https://www.hirosehokkyodo.com/guide/terrearmee/terrearmee_technicalinfomation.html
- 4) JFE 商事テールワン株式会社：<http://www.terrearmee.com>
- 5) 竜田尚希, 片山裕介, 酒井英男：金属材料の腐食を磁気探査で探る新規方法の開発, 第58回地盤工学研究発表会 12-11-3-07, 2023

研究題目	低体温症の臨床病理学的特徴とその背景疾患の解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・助教・一萬田 正二郎
分野	医学系（法医病理学）
キーワード	ケトアシドーシス，神経変性疾患，低体温症，認知症

1. 研究の背景と目的

本邦における冬季の低体温症は、圧倒的に高齢者に多いと報告されており¹，高齢化が急速に進行している現状を鑑みると，その対策は喫緊の課題である．富山県は，人口あたりの凍死者数が全国でも多い地域であり，今後も人口減少に伴い高齢化率のさらなる上昇が予想されている．以上のことから，本県においては今後も高齢者の低体温症による死亡が多く発生する可能性が高いと推測される．

致死的な低体温症例は，しばしば司法解剖の対象となるため，正確な診断に資する病理学的・法医学的所見の蓄積が重要である．また，予防の観点からは，低体温症の背景に存在するリスク要因の解明が極めて重要である．本研究では，低体温症に関する以下の2つの課題を明らかにすることを目的とした．

- ① 低体温症例では，血清中のケトン体が増加することが知られており，それに伴って，腎臓の尿細管基底部に空胞形成（basal vacuolization；BV）を認めることがある^{2,3}．しかし，低体温症例におけるBVの陽性頻度は報告によって大きく異なり，33～88%と幅がある⁴⁻⁶．加えて，本邦におけるBVの発現頻度はこれまで明らかにされていなかった．また，我々はBVの診断において，アディポフィリン（ADFP）に対する免疫染色が有用であることを報告したが⁷，この手法が低体温症例でも有効であるかは未検討である．
- ② 高齢者では，体温調節機能や認知機能の低下により，低体温症のリスクが高まると考えられており，その原因の一つとして神経変性疾患が挙げられる．しかしながら，低体温症の剖検例を対象に神経病理組織学的に詳細な検討を行った報告は非常に少なく，特に，これらの症例における神経変性疾患の重症度を，最新の国際的な神経病理学的分類に基づいて評価した研究は存在しない．したがって，低体温症に関連する正確な背景疾患は依然として不明であり，これはその予防や治療を進める上での障壁となっている可能性がある．

2. 研究方法

①の検討では，申請者の所属講座で2018年1月～2023年5月に施行された剖検例の内，死因が低体温症と判断された80症例の内，腎臓の評価が可能であった79例（女性36例/男性39例）．これらの症例において，症例の背景情報（年齢，性別，病歴，死亡場所（屋内/屋外）や，死亡時の気温など），血液検査所見（血清中 β ヒドロキシ酪酸 [BHB]の濃度），および病理組織学的所見（BVの有無）との関連性を検討した．なお，BVの有無は，ヘマトキシリン・エオジン染色，

アディポフィリンの免疫染色（使用抗体：clone 2C5H8, 1:500; Abcam, Cambridge, UK）および四酸化オスmiumによる後固定標本にて判定した。

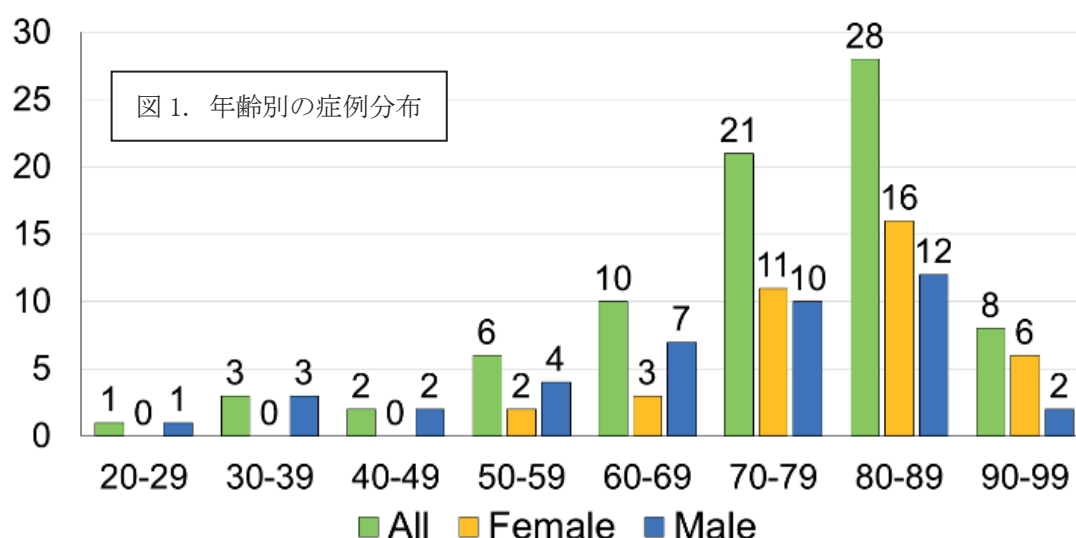
一方、②の検討では、申請者の所属講座で2011年1月～2024年3月に施行された連続法医剖検例で脳を含む全臓器の解析が可能であった2054例の内、死因が低体温症と判断された168症例（全体の8.2%）を対象とした。これらの症例において、症例の背景情報（年齢、性別、病歴）、血液検査所見（血清中のケトン体の濃度）、および病理組織学的所見との関連性を検討した。

3. 研究成果

①の検討結果：

Basal vacuolization of renal tubules in hypothermia: A comprehensive pathological study based on 79 forensic autopsy cases. Forensic Sci Int. 2024; 365: 112277.

・症例の臨床情報



本研究の結果、79 例の低体温症例において、女性は男性よりも有意に平均年齢が高かった。また、全体の 81%（64/79 例）が 65 歳以上であった（図 1）。低体温症の発生場所は、室内よりも室外での発生が多く、それぞれ 22 例と 57 例であった。低温暴露の原因としては、内因性疾患が 4 例、事故が 63 例、自殺が 10 例、原因不明が 2 例であった。事故による 63 例のうち、13 例では 1 つ以上の骨折を伴う外傷が認められ、そのうち 11 例では外傷によって行動不能となり、結果として低温に曝露されたと考えられた。Wischnewsky 斑は 34 例に認められ、19 例では明らかな矛盾脱衣が認められた。慢性アルコール依存症の既往および血中エタノールの検出はいずれも男性に限られていたが、これらの性差は統計的に有意ではなかった。スクリーニング毒物検査では 9 例が陽性であり、検出された薬剤はベンゾジアゼピン系薬剤 6 例、オピオイド 2 例、三環系抗うつ薬 1 例であった。しかし、詳細な薬物検査により、4 例ではベンゾジアゼピン系薬剤のみが検出され、いずれの症例においても致死濃度には達していなかった。

・病理組織学的所見

代表的な病理組織写真を図2に示す。また、結果のまとめを表1に示す。

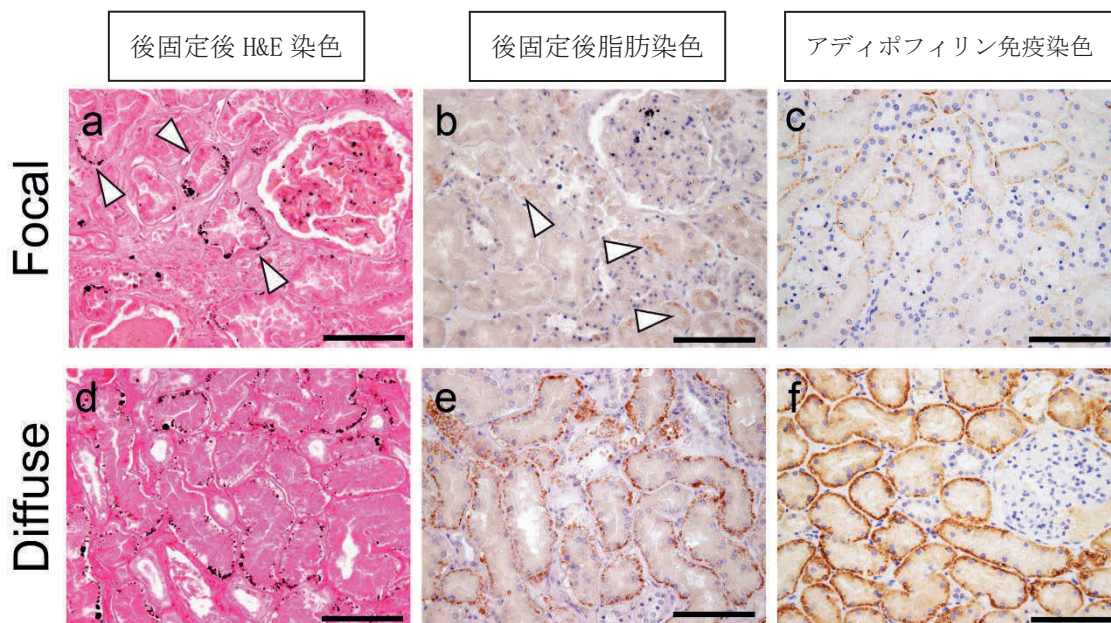


図2. 代表的な病理組織所見

Pathological findings		
Degeneration (N = 75, %)	Mild	68 (86)
	Moderate	10 (13)
	Severe	1 (1)
BV-positive (N = 75, %)	Focal	13 (16)
	Diffuse	13 (16)
	Positive ¹	4 (5)
FPD-positive (N = 75, %)		25 (32)
Adipophilin-IHC-positive (N = 75, %)	Focal	23 (29)
	Diffuse	12 (15)
OPD-positive (N = 50, %)	Focal	19 (38)
	Diffuse	8 (16)
Lipid staining-positive (N = 50, %)	Focal	21 (42)
	Diffuse	4 (8)

表1. 病理検討所見のまとめ

BVは局所的な(focal)パターンと、びまん性(diffuse)パターンに分けられた。ヘマトキシリン&エオジン(H&E)染色のみでは38%でBVを認めた。一方、ADFP免疫染色は44%でBVに矛盾しない免疫反応性を認めた。後固定標本では、約50%の症例で脂肪滴または脂肪的に一致したオスミウム顆粒沈着(OPD)を認めた。一方、全染色法を組み合わせた場合のBVの検出率は54%であったが、5例で明らかにBHB濃度が低く、偽陽性と考えられる症例が含まれていた。

・血清中 BHB 濃度と病理所見との関連性

血清中の BHB 濃度は 75 例で測定可能であった。以下に、検討結果をまとめた図を示す。

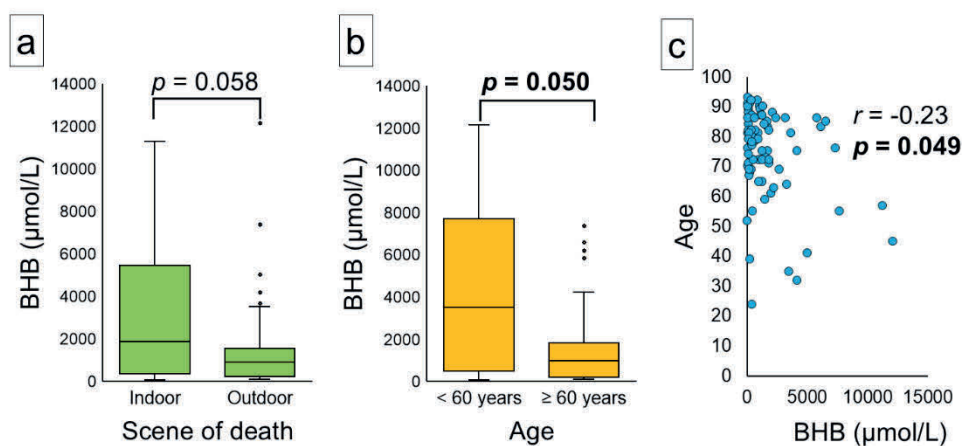


図 3. 血清 BHB 濃度の解析結果

屋外で死亡した症例は、屋内例と比較して BHB 濃度が低い傾向がみられた (図 3a)。また、60 歳未満と 60 歳以上の症例間で、BHB 濃度に有意な差を認めた (図 3b)。さらに年齢と BHB 濃度との間に、有意な負の相関を認めた (図 3c)。

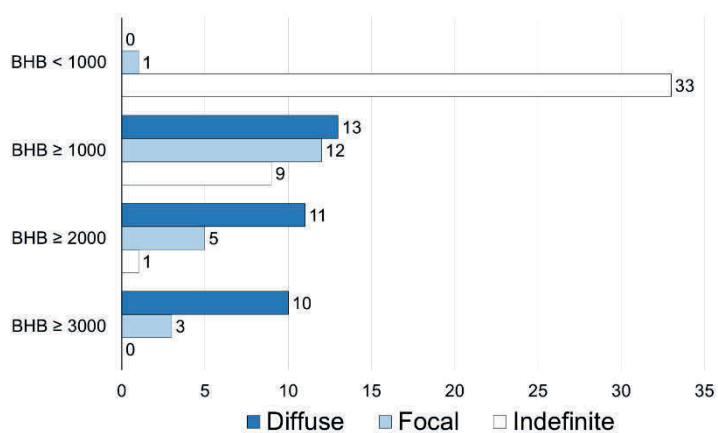


図 4. H&E 染色検体所見と血清 BHB 濃度との関連

H&E 染色検体における所見と血清 BHB 濃度との関連を図 4 に示す。H&E 染色で BV を認めた症例を検討したところ、BV 陽性の症例で有意に BHB 濃度が高く、1000 μmol/L 以下で陽性だった症例は 1 例のみであった (その 1 例も 900 台であった)。さらに、3000 μmol/L 以上では全例で BV が観察された。

・考察

既存の報告と一致して^{6,8,9}、BV 陽性例では BHB 濃度が高く、特にびまん性陽性例では一部陽性例と比較して有意に高値を示した。複数の染色法を併用した場合、低体温症例の約半数で BV の検出が可能であったが、非低体温症例において偽陽性が出現することがあり、診断精度の低下が懸念された。一方、H&E 染色にて BV を認めた症例では、ほぼすべての例において、致死性ケト

アシドーシスと矛盾しない血清 BHB 濃度が得られた。以上より、H&E 染色における BV の見逃しを防ぐことが最も重要であり、他の染色法は BV の存在を補強・確認する目的で用いるのが適切であると考えられた。

ADFP 免疫染色は、低体温症例における BV の証明にも有用であることが示された。脂肪染色には非パラフィン包埋材料が必要であるのに対し、ADFP 免疫染色はパラフィン包埋標本にも適用可能であるため、後方視的研究において有用性が高いと考えられた。ただし、変性が進行した腎組織では ADFP の免疫染色性が低下する傾向が認められたため、解釈には注意を要する⁷。

屋外死亡例や高齢者では血中 BHB 濃度が低い傾向がみられた。低体温症例においてケトン体が上昇する機序としては、低温環境に対抗するために生じる震え (shivering) による熱産生に必要なエネルギー源として脂質が利用され、結果としてケトン体が生成されることが考えられる。この点から、屋外死亡例では急激な体温低下により熱産生が追いつかず、結果としてケトン体の上昇が不十分であった可能性が示唆された。以上より、血中ケトン体濃度の測定によって、体温低下の進行速度を推定できる可能性があると考えられた。

さらに、致死的な低体温症例の多くが 65 歳以上の高齢者であったことが明らかとなった。高齢者では筋肉量および神経機能の低下により、震え (shivering) を介した十分な熱産生が困難となり、その結果としてケトン体濃度が上昇しにくいことが要因として考えられる。また、神経変性疾患に伴う認知機能や運動能力の低下により、低温環境からの逃避行動が障害されること、さらに自律神経機能の低下によって熱産生機能そのものが低下すること、低体温症の発症や致死化に関与している可能性がある。これらの点は、今後の重要な検討課題であると考えられた。なお、これらの所見に基づき、②の研究が着想された。


4. 今後の展望

現在、②の研究成果については英文誌に投稿中であり、今年度中の発表を予定している。そのため、現時点では詳細を公表することはできないが、神経変性疾患、特にアルツハイマー病が低体温症の背景因子となっていることが示唆された。

当講座ではこれまで、さまざまな神経変性疾患が高齢者の異常死の背景に存在することを明らかにしており、法医解剖例において神経病理を含む包括的な病理組織学的検討の重要性を継続的に発信してきた¹⁰⁻¹³。現在、富山県においては、高齢者による事故死の原因の一つとして、用水路への転落が特に多く発生しており、事故防止を目的とした広報・啓発活動が行われている (<https://www.pref.toyama.jp/1602/sangyou/nourinsuisan/nousonseibi/tochikairyokukaku/guideline.html>)。このような事例においても、神経変性疾患の関与が十分に考えられることから、今後は当講座で施行された用水路転落例について、神経変性疾患の病理学的背景を詳細に検討し、予防対策に資する情報の発信を行っていく予定である。

5. 参考文献

1. 日救急医学会誌 2013; 24: 377-389.

- 
2. Int J Leg Med. 2014; 128: 607-614.
 3. J Forensic Sci 2017; 62: 681-685.
 4. Forensic Sci Int. 2011; 206: e82-e84.
 5. Forensic Sci Int. 2004; 141: 131-135.
 6. Rom J Leg Med. 2017; 25: 152-157.
 7. Arch Pathol Lab Med. 2022; 146: 1102-1113.
 8. J Forensic Sci. 2017; 62: 827.
 9. J. Forensic Sci. 2017; 62: 921-925.
 10. Neuropathol Appl Neurobiol. 2015; 41: 893-905.
 11. Acta Neuropathol. 2017; 133: 809-823.
 12. Transl Neurodegener. 2023; 12: 16.
 13. Alzheimers Dement. 2024; 20: 5411-5420.

研究題目	髄膜を標的とした進行型多発性硬化症の 治療法確立
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・助教・奥野 のり子
分野	医学
キーワード	多発性硬化症 線維芽細胞 マクロファージ

1. 研究の背景と目的

多発性硬化症（multiple sclerosis : MS）は、主に中枢神経系における脱髄を特徴とする自己免疫性疾患であり、その中でも特に進行型 MS（progressive MS : PMS）は、発症機序が未だ十分に解明されておらず、治療法も限られているため、予後が不良である点が大きな課題となっている [1]。PMS の病態的特徴のひとつとして、病変が脳皮質、特に髄膜に隣接する皮質層に集中して出現する傾向があり、これは臨床的にも予後不良因子として知られている [2]。このことから、髄膜構造やその周辺細胞の関与が病勢進展において重要な役割を果たしている可能性が強く示唆されている。

しかしながら、従来の EAE（experimental autoimmune encephalomyelitis : 実験的自己免疫性脳脊髄炎）などの動物モデルでは、皮質病変の再現が困難であり、特に髄膜下皮質領域における持続的な炎症や脱髄といった PMS の特徴的病態を再現・解析することには限界があった [3]。そのため、この領域の病態理解や治療戦略の開発は大きく立ち遅れているのが現状である。

こうした背景のもと、申請者らは、Nestin プロモーター制御下で血小板由来増殖因子受容体（PDGFR） α 遺伝子を一時的にノックアウト（KO）するマウス（N-PR α -KO）を用いることにより、脳皮質に PMS 類似の持続性脱髄様変化、すなわち持続的な髄鞘形成不全巣（hypomyelination lesion）を誘導できることを見出した [4]。このモデルでは、特に髄膜に近接した皮質領域において、病理学的かつ時間的に持続する炎症性環境が観察され、PMS の病態を反映する貴重な動物モデルとして機能し得ることが示唆された。これまでの解析において、申請者らは、この病変部における border-associated macrophage（BAM）と髄膜線維芽細胞との間に見られる相互活性化が、炎症性微小環境の維持に寄与する可能性を見出した。

本研究では、このような BAM と線維芽細胞間のクロストークに注目し、その上流に位置するシグナル経路や転写因子レベルでの変化を包括的に解析することで、PMS の病態進展における根源的な分子メカニズムの解明を目指した。加えて、これらの細胞群を標的とした薬理的介入が、実際に病変形成や炎症の進行を抑制し得るかどうかを明らかにするため、複数の治療候補薬剤の投与実験を行い、皮質下病変の可逆性および治療可能性についても検証を行った。

2. 研究方法

本研究では、進行型多発性硬化症（PMS）における髄膜-皮質境界部の持続性炎症機構の解明および治療標的探索を目的として、以下アプローチを実施した。

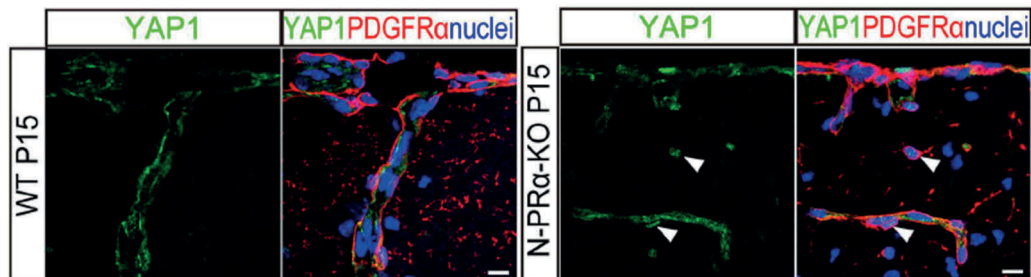
1. 動物：先述の N-PR α -KO を用い、大脳皮質における PMS 様の持続性低髄鞘化病変を誘導した。コントロールとして野生型のマウス(WT)を用いた。
2. In Silico 解析：N-PR α -KO3 個体および WT3 個体の脳皮質を、磁気分離法を使い PDGFR α で濃縮し、シングルセル RNA シーケンス (scRNA-seq) を実施した。データ解析は R および Seurat パッケージを用いて行い、細胞クラスタリングと遺伝子発現の比較解析を行った。
3. 免疫組織化学：マウス脳を 1%PFA により固定後、凍結包埋し、20 μ m の厚さに薄切した。これらの切片に対して、蛍光標識二次抗体を用いた免疫蛍光染色法を実施し、共焦点レーザー顕微鏡を用いて観察した。
4. 髄膜病変の最上流の変化として、神経幹細胞における Pdgfra 欠損の影響を評価する目的に N-PR α -KO 胎児由来の neurosphere を培養し、次世代シーケンス (RNA-seq) を実施した。
5. 線維芽細胞-BAM 間のシグナル伝達を阻害する目的で、髄腔内に CSF1R 阻害薬を投与した。

3. 研究成果

BAM と線維芽細胞の細胞間相互作用に関しては、申請者らのこれまでの研究において、CSF1 (colony-stimulating factor 1) および PDGF-B を中心としたシグナル伝達回路が両細胞間の相互活性化において重要な役割を担っていることが明らかとなっていた。こうした分子機構の解明に基づき、今回の研究では、さらに in silico 解析を組み合わせる解析を継続展開した。その結果、BAM と線維芽細胞の物理的・機能的相互作用において不可欠と考えられる細胞接着分子である Cadherin 11 および Integrin α 1 サブユニットの遺伝子発現が、特に N-PR α -KO に由来する線維芽細胞において顕著に上昇していることが確認された。これらの分子は、細胞間の直接的な接着と、それに伴うシグナル伝達の起点となる重要な因子であり、本研究における慢性炎症の維持機構に対する新たな洞察を与える結果となった。

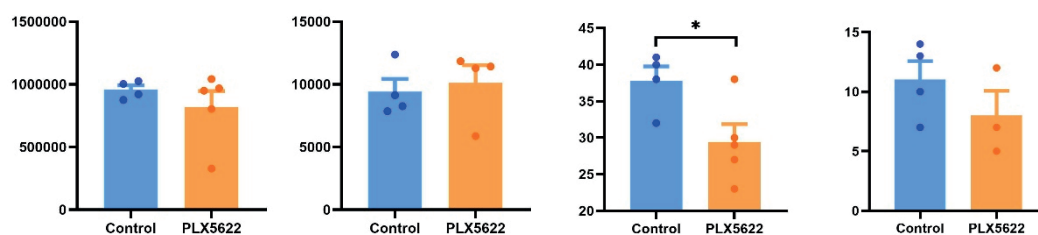
さらに、線維芽細胞側において、CSF1 の合成に関与する主要な転写因子のひとつである YAP1 (Yes-associated protein 1) および YAP1 と共に作用する TAZ の遺伝子も同時に誘導されていることが明らかとなった。これに加えて、免疫組織化学的手法により、YAP1 の細胞質から核内への移行が明瞭に観察されており、YAP1 の活性化が Cadherin 11 および Integrin α 1 の発現とともに、細胞間相互作用の上流に位置する重要なイベントであることを、蛋白レベルでも明確に示すこ

とがで
きた
(右図)。



加えて、本マウスモデルにおいて、病態の最も上流に位置すると考えられる、神経幹細胞における *Pdgfra* 欠損の影響を検討するため、N-PR α -KO 胎児由来の神経幹細胞から neurosphere を培養し、次世代シーケンス (RNA-seq) 解析を実施した。その結果、複数のミトコンドリア機能障害関連遺伝子や老化関連分子の発現が有意に上昇しており、これに対して幹細胞性維持や細胞増殖に関与する遺伝子の発現は抑制されていた。これらの結果は、神経幹細胞の機能低下や加齢様変化が病態形成に寄与している可能性を示しており、今後の研究において重要な治療標的となり得る領域である。

以上の分子・細胞レベルでの知見を踏まえ、BAM および線維芽細胞間の異常なシグナル伝達を治療的に抑制することを目的として、髄腔内に CSF1R 阻害薬を直接投与する治療実験を行った。その結果、ミクログリアにおいて有意な細胞数の減少が確認され、BAM も減少傾向を示したものの、アストログリオシスや線維化といった他の主要な指標には顕著な改善は認められなかった。これらの結果から、CSF1R シグナルの遮断は一部の病態改善には寄与しうるが、病変全体の可逆性には不十分であり、より根本的な分子機構、すなわち神経幹細胞機能の低下や老化と炎症の連関に着目した新たなアプローチが必要であることが示唆された。




(図左よりそれぞれ線維化、アストログリオシス、ミクログリア数、BAM 数の比較)

4. 今後の展望

1. 神経幹細胞の老化と炎症の関係の解明： *Pdgfra* 欠損により神経幹細胞で老化・ミトコンドリア障害関連遺伝子が上昇し、幹細胞性が低下することが明らかとなった。今後は、こうした上流の変化とマクロファージ系細胞の活性化との因果関係をより精密に検証し、加齢関連神経変性疾患の病態基盤の理解および治療戦略の開発につなげる。
2. YAP1-Cadherin/Integrin 経路の治療介入評価： BAM と線維芽細胞のクロストークにおける上流機構として、YAP1 の核移行と接着分子 (Cadherin 11, Integrin α 1) の発現上昇が同定された。これらを標的とした薬理的介入によって炎症や線維化の制御が可能となるかを検討する。
3. PMS 皮質病変モデルとしての展開： N-PR α -KO マウスモデルは、髄膜・皮質境界の持続性病変を安定的に誘導できる点で有用であり、髄膜由来細胞との相互作用を標的とした創薬評価系への応用が期待される。

5. 参考文献

- 
1. Feinstein A, Freeman J, Lo AC (2015) Treatment of progressive multiple sclerosis: what works, what does not, and what is needed. *Lancet Neurol* 14: 194-207 Doi 10.1016/S1474-4422(14)70231-5
 2. Lassmann H (2012) Cortical lesions in multiple sclerosis: inflammation versus neurodegeneration. *Brain* 135: 2904-2905 Doi 10.1093/brain/awt260
 3. Lassmann H, Bradl M (2017) Multiple sclerosis: experimental models and reality. *Acta Neuropathol* 133: 223-244 Doi 10.1007/s00401-016-1631-4]
 4. Hamashima T, Ishii Y, Nguyen LQ, Okuno N, Sang Y, Matsushima T, Kurashige Y, Takebayashi H, Mori H, Fujimori Tet al (2020) Oligodendrogenesis and Myelin Formation in the Forebrain Require Platelet-derived Growth Factor Receptor-alpha. *Neuroscience* 436: 11-26 Doi 10.1016/j.neuroscience.2020.04.001

研究題目	XIAP を標的とした新規多発性骨髄腫治療の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・講師・菊地 尚平
分野	造血器腫瘍
キーワード	多発性骨髄腫、アポトーシス

1. 研究の背景と目的

多発性骨髄腫（MM）治療は、プロテアソーム阻害剤やレナリドミド等の免疫調節薬（IMiDs）の導入により治療成績が著明に向上したものの、再発・難治例においては根治が困難な状況が続いており、新規治療戦略の確立が喫緊の課題である。MM 細胞は、その起源である形質細胞の生物学的特性に由来する強固な抗アポトーシス機構を有していることから、効率的なアポトーシス誘導経路の活性化が治療戦略の主軸となりうる。本研究では、アポトーシス促進シグナルの制御に関与し、カスパーゼ活性を直接的に抑制することで腫瘍細胞の生存維持に寄与する Inhibitor of Apoptosis 蛋白（IAP）に着目した。

IAP 阻害剤は、その作用機序から理論的に有望な治療標的として複数の臨床試験が実施されてきたが、期待された臨床的有効性は未だ実証されていない。MM においても、Chesi らによって報告された IAP 阻害剤 LCL161 を用いた第 II 相臨床試験では、十分な抗腫瘍効果が認められなかった。（文献 1）IAP 蛋白ファミリーのうち、cIAP1、cIAP2、XIAP はカスパーゼに対する直接的抑制作用を介してアポトーシス抑制機構において中心的役割を担っている。最近の知見では、特に XIAP の機能的重要性が示唆されており、アポトーシス抑制のみならず、炎症性シグナル伝達、ミトジェン活性化プロテインキナーゼシグナル（MAPK シグナル）の調節、さらには ER ストレス応答、酸化ストレス応答、DNA 損傷応答など多岐にわたる細胞機能に関与することが明らかになっている。

我々は、IAP 阻害剤である SMAC mimetics の分子構造と IAP 阻害活性および細胞増殖抑制効果の相関を比較検討した先行研究において、重要な知見を得た。すなわち、LCL161 等の単量体構造または二価構造を有する SMAC mimetics では XIAP 阻害効果および抗腫瘍効果が限定的であるのに対し、二量体構造を有する SMAC mimetic AZD5582 においては XIAP 阻害効果が観察され、アポトーシス誘導を介した細胞増殖抑制効果が認められた。この成果は、IAP 阻害剤単剤投与による、MM 細胞に対するアポトーシス誘導を介した増殖抑制効果を実証した初めての報告である。（文献 2）

本研究では、XIAP を中心的な分子標的として、XIAP 阻害活性を有する二量体構造の SMAC mimetic 「SM-164」を用いて、先行研究において観察された IAP 抑制効果および細胞増殖抑制効果の分子メカニズムを詳細に解析し、難治性 MM に対する新規治療モダリティとしての臨床

応用可能性を検証することを主たる目的としている。

2. 研究方法

本研究では、二量体構造を有する強力な Smac Mimetics である SM-164 (分子式:C62H84N14O6) を実験に使用した (Figure.1)。

実験材料としては、遺伝的背景や薬剤感受性が異なる多様な特性を持つ複数の MM 細胞株 (MM.1S、MM.1R、RPMI、IM-9、KMS-5、KMS-11、H929) を使用した。

細胞増殖抑制効果の定量的評価には MTT アッセイを用い、様々な濃度条件下での用量依存性および時間依存性を詳細に解析した。また、分子レベルでの IAP 阻害効果の評価には、Western Blotting 法を採用し、XIAPをはじめとする IAP ファミリータンパク質 (cIAP1、cIAP2 など) の発現量変化を解析した。さらに、アポトーシス誘導効果の詳細な評価においては、Western Blotting 法によるカスパーゼ活性化や PARP の切断などのアポトーシスマーカーのタンパク質レベルでの解析と、Annexin V-PI アッセイによるフローサイトメトリー解析を用いて行った。

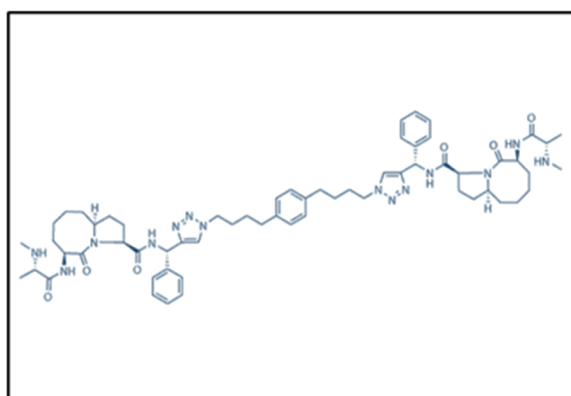


Figure.1

3. 研究成果

1) SM-164 による IAP 阻害効果

MM.1S 細胞株において IAP アイソザイムの発現変化を解析したところ、SM-164 は XIAP と cIAP1 の発現を抑制することが判明した (Figure.2)。SM-164 は、cIAP2 の抑制効果は十分ではなかった。この結果から、AZD-5582 と同様に SM-164 は、XIAP 抑制効果をもたらすことが示された。

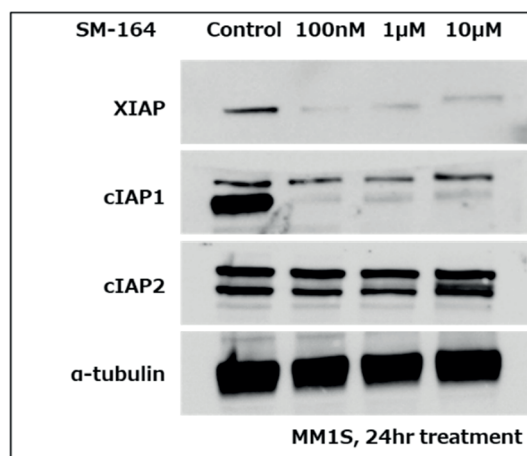


Figure.2

2) SM-164 による細胞増殖抑制効果

MM 細胞株における SM-164 の細胞増殖抑制効果を検討した結果、濃度依存的な増殖抑制効果が認められた (Figure. 3)。この結果により、AZD5582 同様 XIAP 阻害作用を有する SM-164 において、単剤での細胞増殖抑制効果が認められた。MM. 1S、MM. 1R、H929 細胞株は高い感受性を示したのに対し、KMS-5 細胞株は最大濃度 20 μ M でも IC50 値に達しない耐性を示した。

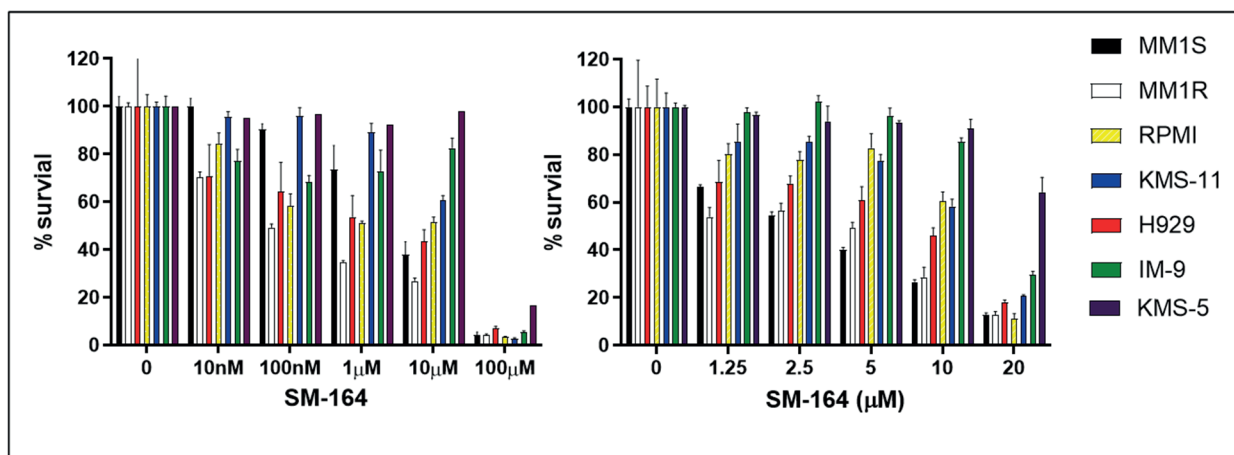


Figure.3

3) SM-164 によるアポトーシス誘導効果

細胞増殖抑制の作用機序を解明するため、Western Blotting 法と FACS 解析によりアポトーシス誘導効果を評価した。Western Blotting 解析では、濃度依存的に PARP と Caspase-3 の切断型が検出され、SM-164 の細胞増殖抑制効果がアポトーシス誘導を介することが確認された (Figure. 4)。また、Caspase-8 と Caspase-9 の切断型も濃度依存的に認められ、内因性・外因性の両経路でアポトーシスが誘導されることが示された。cIAP1 は Caspase-8 を、XIAP は Caspase-9 を抑制し、さらに両者は共通経路の Caspase-3、7 も抑制する。このことから、SM-164 による cIAP1 と XIAP の二重抑制が強力なアポトーシス誘導につながったと考えられた。

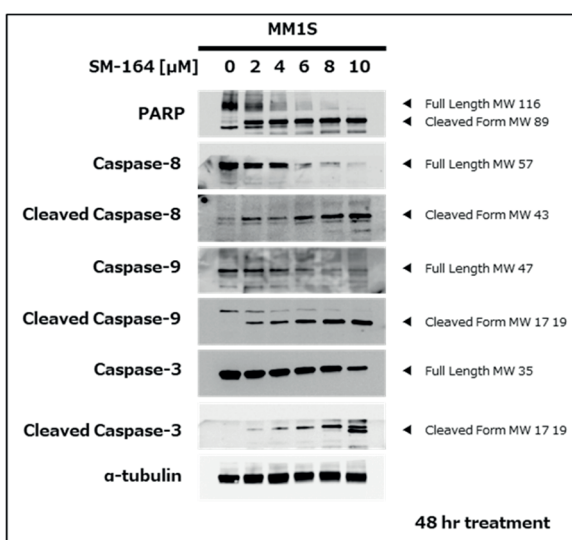


Figure.4

Annexin V-PI アッセイによる FACS 解析においても、SM-164 処理による濃度依存的かつ時間依存的なアポトーシス誘導が確認された (Figure. 5)。

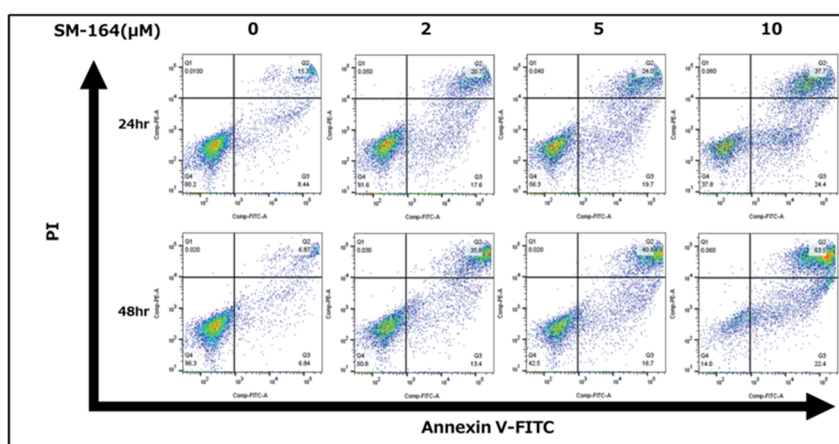


Figure.5

以上の結果から、Dimeric Smac Mimetics SM-164 は先行論文で報告した AZD-5582 と同様に、cIAP と XIAP の二重阻害により単剤で MM 細胞株に強力なアポトーシス誘導効果を示すことが実証された。

4. 今後の展望

1. MAPK シグナルにおける XIAP の関わるメカニズムの解明

近年、IAP が、カスパーゼ抑制以外のシグナル伝達に関与することが示されている。先行研究では、AZD5582 が MAPK の過剰活性化をもたらすことを示し、XIAP 阻害によりもたらされた MAPK の過剰活性化により腫瘍細胞のアポトーシス誘導が強化された可能性が示唆された。この生命現象を詳細に解明するため、MM 細胞株を用いたノックダウンアッセイおよび阻害剤を用いて、XIAP 阻害のもたらすシグナル変化を Immunoblotting および PCR アッセイを用いて検討する。

2. 既存治療薬との併用抗がん剤活性評価 (in vitro)

AZD5582 を用いた先行研究では、MM 既存治療薬であるプロテアソーム阻害剤カルフィルゾミブ、ボルテゾミブ、イキサゾミブ、HDAC 阻害剤であるパノビノスタット、殺細胞性化学療法剤メルファラン、ドキソルビシンのそれぞれと相乗効果が認められ、IAP 阻害剤のあらゆる機序の化学療法剤との併用療法における有用性が強く期待された。SM-164 においても同様の相乗効果がみられるかを細胞増殖抑制試験を行い検証する。

3. Dimeric IAP 阻害剤の抗がん剤活性および毒性評価 (in vivo)

MM 細胞株 MM1S を免疫不全マウスに皮下移植を行い、皮下腫瘍モデルを作成する。皮下腫瘍腫瘍径を経時的に測定し、抗がん剤活性を評価する。同時に、体重および血液検査を行うことで毒性評価を行う。また、腫瘍の病理標本作製し、免疫組織学的にアポトーシスを評価する。

5. 参考文献

1. Chesi M et al. Nature Medicine. 2016 ;22:1411-20
2. Kikuchi S, et al. Journal of Pharmacological Sciences. 2024 Jan;154(1):30-36

研究題目	前頭葉・線条体神経ネットワークの行動決定における役割の解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・助教・瀬戸川 剛
分野	神経科学
キーワード	意思決定、尾状核、前頭葉、サル、化学遺伝学

1. 研究の背景と目的

私たちは起きてから寝るまでの間、様々な場面において次にとるべき行動を選択し、遂行している。ある目標（報酬）に向けて、その目標を達成するために行動を起こすかどうかは、その目標の主観的な価値に依存する。つまり、目標である報酬の価値が自分自身にとって十分に大きいものであれば、報酬を得るまでに多少の労力がかかったとしてもその報酬を得るために行動を起こすし、逆に自分自身にとって価値が低いものであれば敢えて行動を起こすことはない。このような行動決定が適切に行われるためには、将来の報酬価値の正確な推定や、それらの情報を用いた選択行動への変換といった脳内神経基盤が必要となる。

前頭葉の損傷により適切な行動決定ができなくなることは多くの臨床研究によって報告されている（Fellows, 2011; Rudebeck and Rich, 2018）。また、サルを用いた実験において、報酬価値の推定には前頭葉の各領域が重要な働きを担っていることが分かっている（Padoa-Schioppa and Assad, 2006; Grabenhorst and Rolls, 2011）。加えて、これら前頭葉を薬理学的に不活性化すると報酬価値の低い選択肢を選んでしまうという非合理的な選択の割合が増加すること（Setogawa et al., 2019）や、電気刺激により選択行動が変化すること（Ballesta et al., 2020）が明らかになっている。さらに、報酬価値の情報から選択行動への変換には線条体に関わっていることが示唆されている（Samejima et al., 2005）。しかしながら、各脳領域の役割に関しては

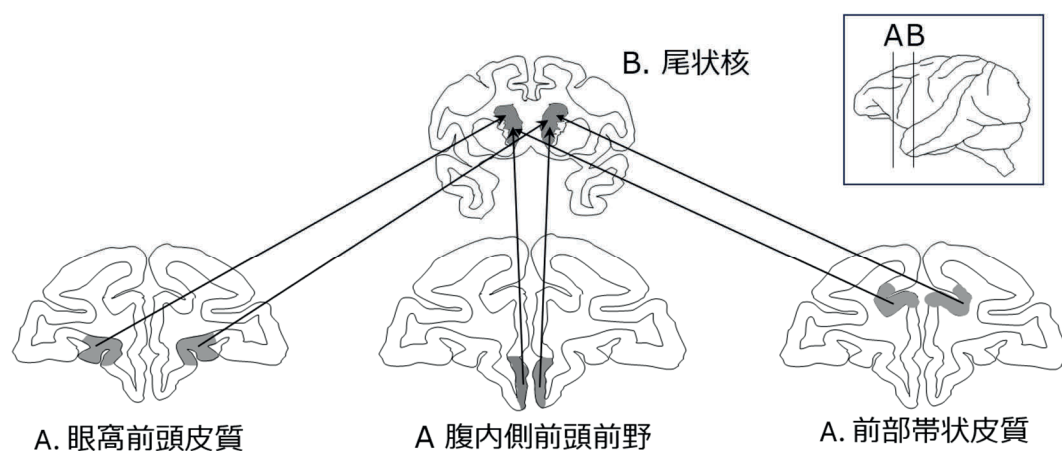


図1. 各領域の神経接続

上記のように盛んに研究が行われているものの、「行動決定に関わる情報が各脳領域でどのように処理されていき最終的な行動出力に至るのか」という神経ネットワークレベルでの研究は、手法的な限界からこれまでほとんど行われていなかった。近年、遺伝学的な手法が霊長類にも導入可能となったことで、この問題が解決されつつある。研究代表者は、各領域における機能および解剖学的な知見より、前頭葉から線条体への直接の神経投射が報酬の価値に基づいて「行動を起こすかどうか」を決めるために重要な役割を果たしているのではないかと仮説を立てた。本研究では、前頭葉の中でも特に行動決定に重要であり、かつ線条体の尾状核に強い神経投射を持つ眼窩前頭皮質、腹内側前頭前野、前部帯状皮質の3領域に着目した(図1)。これらの領域から尾状核への神経ネットワークの活動が行動決定にどのように寄与しているのかを明らかにするため、化学遺伝学的手法を応用してその機能を調査することを目的とした。

2. 研究方法

本研究のモデル動物には、前頭葉や線条体の構造、神経接続がヒトと類似しているニホンザルを用いた。また、特定の神経回路の活動を操作するために、化学遺伝学的手法の一つである Designer Receptor Exclusively Activated by Designer Drugs (DREADD)を導入した。

DREADDは、人工受容体である変異型ムスカリン受容体を強制発現させた神経細胞が選択的リガンド Deschloroclozapine (DCZ)により活性化されることで、発現している神経細胞を抑制(あるいは興奮)させる神経活動操作法である(図2)。

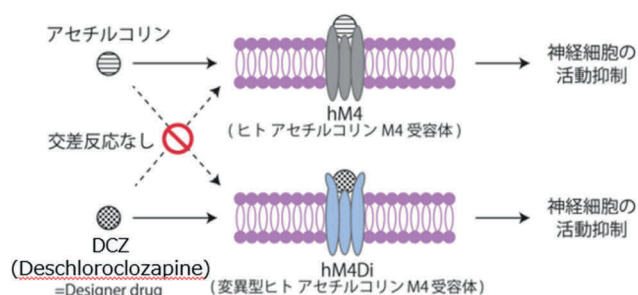


図2. DREADDによる神経細胞の活動抑制の仕組み

2頭のニホンザル(サルA、サルB)に以下の行動決定課題をトレーニングした。この課題では、4種類の画像と4段階の報酬量(水:1、2、4、8滴)を用いた。サルがモンキーチェア内の金属バーに触れることでいずれかの画像がモニターに提示された(図3)。各画像がいずれかの報酬量を表しており、報酬を得るためには画像提示中に同時に提示される簡単な色弁別試行を成功させる必要がある(中央の四角が赤色の間は金属バーに触れ続ける必要があり、四角の色が緑に変わったら1秒以内に金属バーから手を離すことで成功となる)。この色弁別試行の難易度はどの画像が提示された場合でも一定となっている。もし提示された画像(報酬量)に不服であれば、色弁別中に金属バーから手を離すことでその試行をスキップ(拒否)するこ

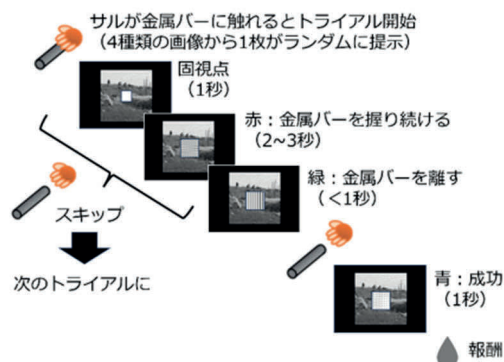


図3. 課題の流れ(報酬量1滴の例)

とができた。試行の成功・スキップに関わらず、次のトライアルは4種類の画像の中からランダムに選ばれた。つまりサルは、それぞれの画像刺激に対する主観的な報酬価値を基に、そのトライアルを完遂して報酬を得るか、もしくはスキップして次のトライアルに移行するかの行動決定を行わなければならなかった。課題の成績が十分に安定した後、両側の尾状核に逆行性ウイルスベクター (AAV2R hSynI-Flag-hM4D-IRES-AcGFP) を用いて抑制性の hM4Di-DREADD を導入した。その後、hM4Di-DREADD の発現が完了する6週間後に実験を開始した。

3. 研究成果

DREADD 導入前の行動課題トレーニングの結果、サルは得られる報酬量が少ない画像が提示された時ほどトライアルのスキップ率が高くなる傾向を示すことが示された (図4、サルAの行動成績の例)。この傾向は2頭のサルで共通していた。

ウイルスベクターの注入手術の際に、同時に微量のマンガンを用いてMRIの造影剤として注入し、手術後すぐにMRIを用いてウイルスの注入位置を確認した。その結果、どちらのサルも両側の尾状核にウイルスが注入できていることが確認された (図5、サルAの例。矢印の示す白い領域がウイルスベクターの注入範囲)。

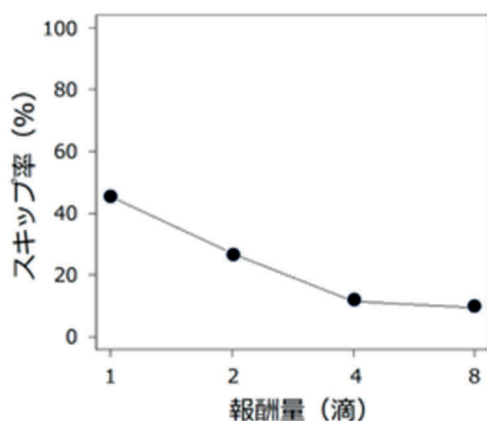


図4. 報酬量ごとのスキップ率

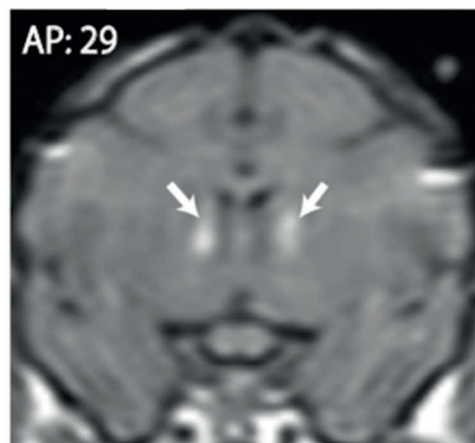


図5. ウイルスベクター注入位置

まず尾状核および尾状核へ投射する神経細胞を抑制した際にサルの選択行動が変化するかどうかを調べた。DREADDの選択的リガンドであるDCZを全身投与することで、一時的に尾状核および尾状核へ投射する神経細胞の活動を抑制し、その際の行動データをコントロールとして生理食塩水を投与した条件と比較した。その結果、DCZを投与した際の試行のスキップ率はコントロール条件と比べて低くなった (two-way ANOVA、[サルA] DCZ条件 vs コントロール条件: $p < 0.05$ 、[サルB] DCZ条件 vs コントロール条件: $p < 0.05$)。サルAでは報酬量が2滴、4滴、8滴のトライアルでDCZ投与によるスキップ率の低下が見られたが、サルBでは報酬量2滴のトライアルでのみスキップ率の低下が見られた。2頭のサルで差が見られたトライアルが異なっていたことは、それぞれのサルが異なった戦略に基づいて行動選択を行っている

た可能性を示唆している。次に、サルがスキップ（拒否）を行ったトライアルに着目し、画像の提示後に金属バーから手を離すまでの反応時間を解析した。スキップまでの反応時間はどちらのサルも DCZ 条件とコントロール条件の間に差はみられなかった。また、色弁別試行を成功させたトライアルに着目し、中央の四角が赤色から緑色に変わった後に金属バーから手を離すまでの反応時間も同様に解析した。その結果、サル B は DCZ 条件に比べてコントロール条件の反応時間が早くなったが、サル A は両条件の間に差はみられず、2 頭のサルで一貫した結果は得られなかった。これら反応時間の解析の結果より、DCZ 投与による尾状核および尾状核へ投射する神経細胞の活動の抑制はサルの運動には影響を与えていないことが確認された。

DCZ 投与によって上記のような行動選択の変化が生じた理由として、提示されたトライアルに対するサルの主観的な報酬価値が変化した可能性が考えられる。つまり、DCZ 投与による尾状核および尾状核へ投射する神経細胞の活動抑制が選択肢の正確な報酬価値計算に影響を与え、サルは直面しているトライアルの価値を通常よりも高く評価してしまい、その結果としてスキップ率が低下したのではないかと仮説を立てた。そこで、行動経済学で用いられる時間割引の概念を用いて、各トライアル（1、2、4、8 滴）に対するサルの主観的な報酬価値の推定を試みた。モデルフィッティングには以下の（1）指数関数割引モデルおよび（2）双曲関数割引モデルを用いた：

$$V' = \frac{R}{e^{k'}}$$

・・・ (1)

$$V' = \frac{R}{1 + e^{k'}}$$

・・・ (2)

V' は報酬価値の逆数、 R は報酬量、 k' は割引係数の逆数を示す。これらの式で計算された V' を用いて、以下のシグモイド関数でスキップ率を見積もった。

$$\text{スキップ率} = \frac{1}{1 + e^{(-a \cdot V' - b)}}$$

・・・ (3)

a と b は係数である。 V' は報酬価値の逆数であるため、値が小さくなるとそのトライアルに対する報酬価値が大きくなる、つまりスキップ率の低下に繋がると予測される。

まず、サルのスキップ行動をより適切に説明できるモデルを検討するため、指数関数割引モデルと双曲関数割引モデルの比較を行った。赤池情報量基準 (AIC: Akaike Information Criterion) でモデル選択を行った結果、式 (1) の指数関数割引モデルが、サルのスキップ行動をより適切に説明するモデルであることが示された。そこで、指数関数割引モデルを用い、サルの実際のスキップ行動に式 (3) をフィッティングし、尤度が最大となる割引係数の逆数 (k') の値を推定した。得られた k' の値を用いてサルのスキップ率を予測した結果を図 6 に示す。図のドットは実際のサルのスキップ率（青：DCZ 条件、赤：コントロール条件）を、線はモデル式により計算

されたスキップ率（青：DCZ 条件、赤：コントロール条件）である。

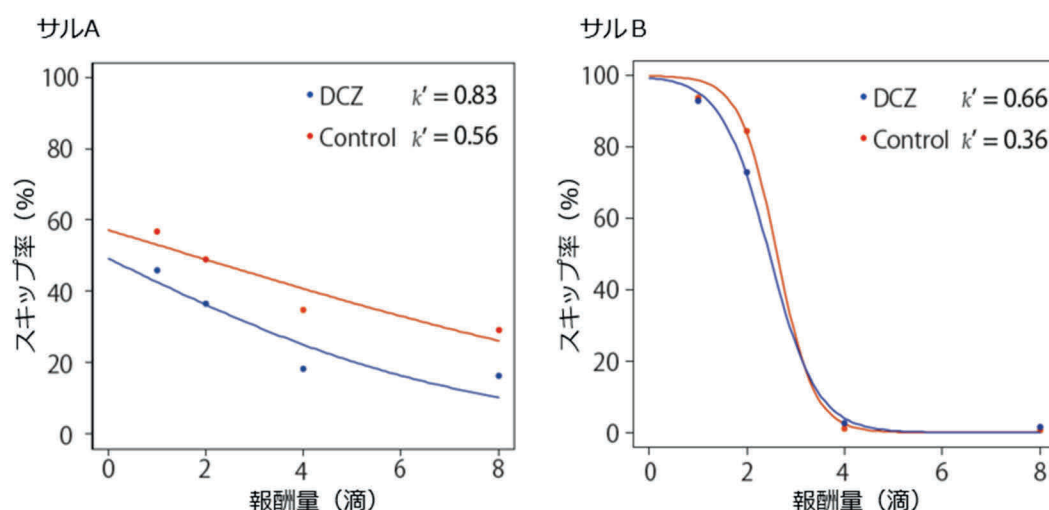


図6. 拒否率のモデルフィッティングの結果

見積もられた割引係数の逆数の値は、サル A の DCZ 条件では $k'=0.83$ 、コントロール条件では $k'=0.56$ 、サル B の DCZ 条件では $k'=0.66$ 、コントロール条件では $k'=0.36$ であった。どちらのサルにおいても、DCZ 条件における k' の値が高くなった。この結果は、DCZ 投与による尾状核および尾状核へ投射する神経細胞の活動の抑制が、サルの選択行動における報酬価値の計算に影響を与えたことを示唆している。具体的には、提示されたトライアルの報酬価値を本来よりも高く見積もってしまった結果、トライアルのスキップ率が低下した可能性がある。

次に、眼窩前頭皮質、腹内側前頭前野、前部帯状皮質のそれぞれの領域に対して DCZ を局所注入することで、各領域から尾状核へ神経投射のある細胞のみを抑制し、その際の行動課題の成績をコントロール条件と比較した。両側の眼窩前頭皮質と前部帯状皮質を一時的に不活化した場合は、コントロール条件との間にスキップ率やスキップまでの反応時間に差はみられなかった。一方、腹内側前頭前野を抑制した際には、DCZ の全身投与の際よりは効果は低いものの、コントロール条件と比較して有意な課題のスキップ率の低下がみられた。これらの局所注入の結果より、腹内側前頭前野・尾状核の神経回路が報酬価値に基づいて行動を起こすか否かを決定するために重要な役割を担っていることが示唆された。

4. 今後の展望

本研究では、行動選択に関与する神経ネットワークの一端を明らかにすることができた。この成果は、感覚入力から選択行動の出力に至る意思決定の全体像を解明するための重要な足掛かりとなる。今後は、本研究と同じ手法を用いて、線条体からの出力先についても調べていきたい。また、得られた神経ネットワークの知見をもとに新規の行動決定モデル式を構築し、その予測精度や生理学的妥当性を検証することで、行動選択の神経基盤に対する理解をさらに深めていく予定である。

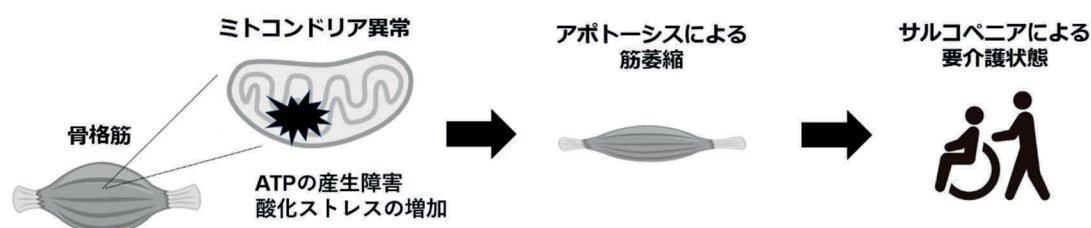
5. 参考文献

1. Fellows LK, Orbitofrontal contributions to value-based decision making: evidence from humans with frontal lobe damage. *Ann N Y Acad Sci.*, 1239:51-8 (2011)
2. Rudebeck PH, Rich L, Orbitofrontal cortex. *Curr Biol.*, 28(18):R1083-R1088 (2018)
3. Padoa-Schioppa C, Assad JA, Neurons in the orbitofrontal cortex encode economic value. *Nature*, 441(7090):223-6 (2006)
4. Grabenhorst F, Rolls ET, Value, pleasure and choice in the ventral prefrontal cortex. *Trends Cogn Sci.*, 15(2):56-67 (2011)
5. Setogawa T, Mizuhiki T, Matsumoto N, Akizawa F, Kuboki R, Richmond BJ, Shidara M. Neurons in the monkey orbitofrontal cortex mediate reward value computation and decision-making. *Commun Biol.*, 2:126 (2019)
6. Ballesta S, Shi W, Conen KE, Padoa-Schioppa C, Values encoded in orbitofrontal cortex are causally related to economic choices. *Nature*, 588(7838):450-453 (2020)
7. Samejima K, Ueda Y, Doya K, Kimura M, Representation of action-specific reward values in the striatum. *Science*, 310(5752):1337-40 (2005)

研究題目	血中 ATP 濃度を指標としたサルコペニア 診断法の確立
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部医学系・助教・温井 孝昌
分野	臨床医学
キーワード	ATP、サルコペニア、サロゲートマーカー

1. 研究の背景と目的

サルコペニアは加齢に伴う骨格筋量と筋力の低下であり、高齢化が進む本邦で今後患者数は増加すると予想される。サルコペニアによる移動能力の低下により死亡や要介護化のリスクが2倍になることから社会的な影響が大きく、診断や治療法の開発が急務である¹⁾。現状の診断基準では骨格筋量測定による筋萎縮の評価で確定診断に至るが²⁾、予防のためにはより早期診断が可能な検査法の開発が望ましい。筋肉はエネルギー消費の多い臓器であり、運動時に多量のATPをミトコンドリアで産生するが、加齢に伴う酸化ストレスの増加によりミトコンドリア異常が生じると筋細胞でのATP産生が低下し、筋細胞のアポトーシスが誘導される。加齢による筋組織でのミトコンドリア異常とATP産生障害はサルコペニア発症の一因と考えられている³⁾（下図）。



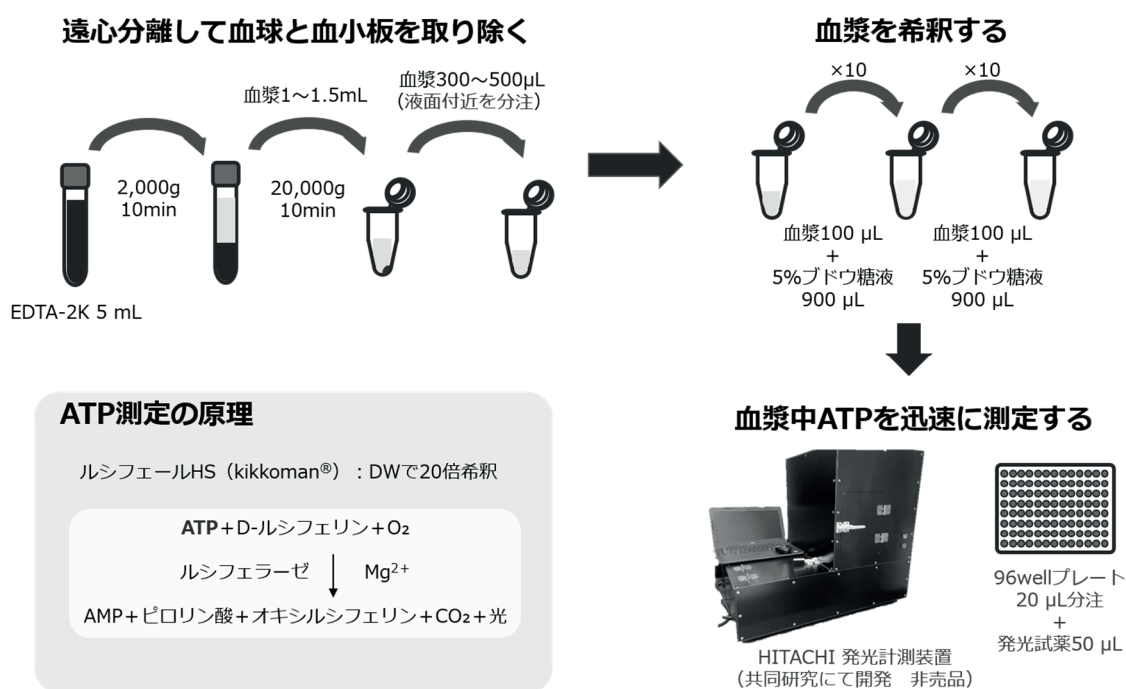
一方、筋肉から分泌される液性因子（マイオカイン）は脳保護作用を有しており、筋萎縮によりマイオカイン分泌が低下することでアルツハイマー病などの神経変性疾患の発症リスクが上昇する。神経変性疾患患者では運動機能の低下によりサルコペニア発症リスクが上昇することから、マイオカインは間接的にサルコペニア発症に予防的に作用している⁴⁾。筋肉のミトコンドリア機能の賦活化により代表的なマイオカインである脳由来神経栄養因子（BDNF; Brain-derived neurotrophic factor）や線維芽細胞増殖因子21（FGF-21; fibroblast growth factor-21）の分泌が上昇することが知られている⁵⁾。

以上より、筋肉におけるミトコンドリア機能障害はサルコペニア発症の主要因であることから、ミトコンドリア機能を反映する血中ATP濃度はサルコペニア診断の有用なサロゲートマーカーと考えられる。本研究は筋疾患（ミオパチー）患者を対象として、好気性運動負荷試験による血中ATP濃度の変化を測定し、血中ATP測定がサルコペニアを含むミオパチーの診断、治療効果判定に有用な手法であることを明らかにすることが目的である。

2. 研究方法

当院で入院加療された16歳以上のサルコペニアを含むミオパチー患者を対象として、エルゴメーターを用いた好気性運動負荷試験（15W、15分間）を行い、安静時、運動負荷開始後5分、10分、15分、20分、30分後の血漿を採取して -80°C で凍結保存した。

血漿中のATP濃度は臨床検査学講座で開発されたルシフェラーゼ発光反応を用いた装置で測定した⁶⁾。患者検体に発光基質であるルシフェリンと発光酵素であるルシフェラーゼを混注して発光量を測定した。発光量は検体に含まれるATPに比例するため、検体中のATPを定量することができる（下図）。



健常対照群、ミオパチー患者群において安静時、運動負荷後の血漿ATP濃度の中央値を算出し、それぞれの群において運動負荷後に血漿ATP濃度が有意に上昇するかを統計学的に解析する。また両群において、運動負荷前後での血漿ATP濃度の比（ATP上昇率）を算出して統計解析を行うことで、健常対象群とミオパチー患者群を鑑別できるATP上昇率のカットオフ値を明らかにする。

さらにサルコペニアの発症予防に関与しているとされるマイオカイン（BDNF、FGF-21）について、好気性運動負荷試験による血中濃度の変化を測定し、ATPとの相関があるか検討する。BDNF、FGF-21の測定はそれぞれMature BDNF ELISA キットワコー（Fujifilm wako）、Human FGF-21 ELISA Kit（R&D systems）を用いて行った。

3. 研究成果

健常対照 3 例、ミオパチー患者 2 例で好気性運動負荷試験を行い、血中 ATP 濃度を経時的に測定した。健常対照では運動負荷 15 分後に血中 ATP 濃度が平均 2.4 倍に上昇しその後も上昇を続けたが、筋疾患患者では平均 1.7 倍の上昇でありその後はほぼ横ばいで推移した（図 1）。また 1 例の筋疾患患者について治療前後で運動負荷時の血中 ATP 濃度の変化を比較したところ、血中 ATP 濃度の変化は治療後に健常対照と同様のパターンを示した（図 2）。

図 1 健常者と筋疾患患者の好気性運動負荷時血中ATP濃度変化率の比較

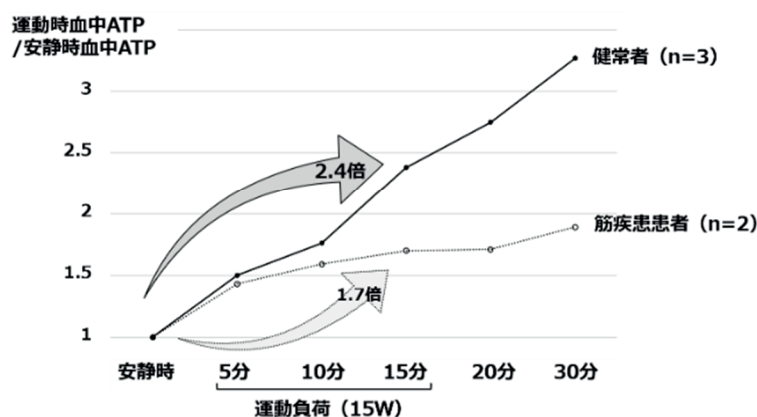
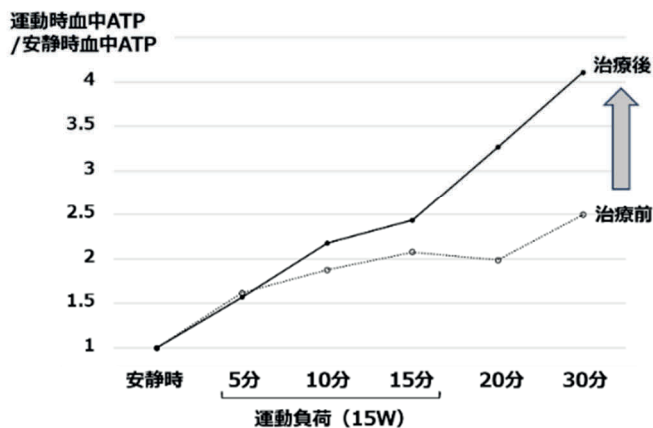


図 2 脂質蓄積性ミオパチー患者の治療前後における血中ATP濃度比の変化



また、既報告においてサルコペニア患者で血中濃度が低下しておりサルコペニアの発症に関与していると報告されている BDNF を測定したところ、健常者では運動負荷 15 分後に血中 BDNF 濃度が平均 2.8 倍に上昇しその後も上昇を続けたが、筋疾患患者では最大で 1.4 倍の上昇であり運動負荷試験中の濃度はほぼ横ばいであった（図 3）。また、筋疾患患者について治療前後で運動負荷時の血中 BDNF 濃度の変化を比較したところ、血中 BDNF 濃度の変化は治療後に健常対照と同様のパターンを示した（図 4）。一方、血中 FGF-21 については健常者、筋疾患患者いずれも、好気性運動負荷試験中の血中濃度はほぼ横ばいであった（図 5）。

図3 健常者と筋疾患患者の血中BDNF変化率

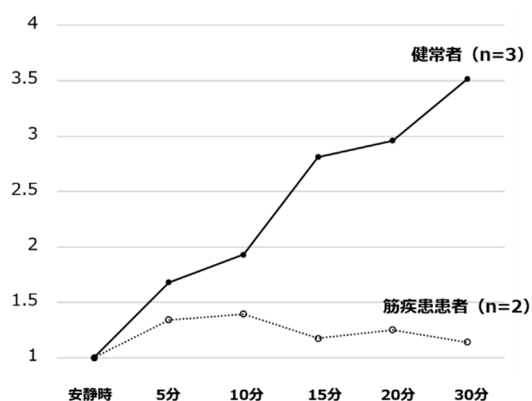


図4 脂質蓄積性ミオパチー患者における治療前後の血中BDNF濃度変化率

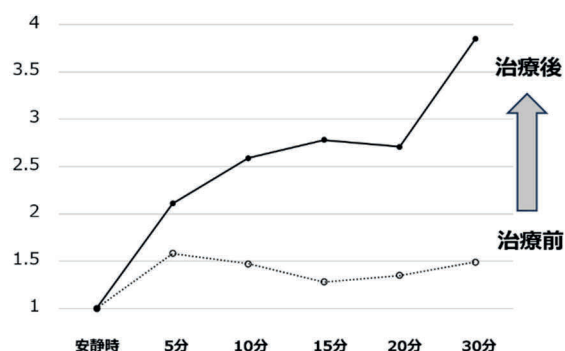
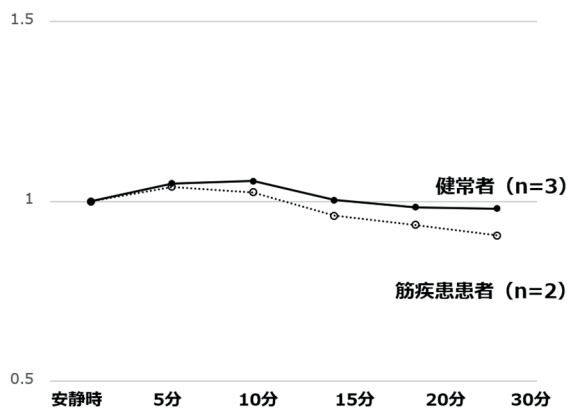


図5 健常者と筋疾患患者のFGF-21変化率



4. 今後の展望

少数例での予備研究ではあるものの、筋疾患患者において運動負荷時に血中 ATP 濃度および BDNF 濃度の上昇率が低下しており、治療後に健常対照と同様の上昇パターンに変化することが確認された。この結果は運動負荷時の血中 ATP 濃度測定が、サルコペニアを含む筋疾患の診断に有用なサロゲートマーカーであることを改めて示唆するものである。今後症例を蓄積することにより筋疾患患者を鑑別するためのカットオフ値の設定を行うことで、血中 ATP 測定のサロゲートマーカーとしての有用性が確立されると期待される。

5. 参考文献

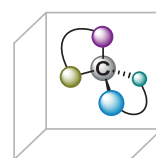
1. J Cachexia Sarcopenia Muscle 2012;12:30-38
2. J Am Med Dir Assoc. 2020; 21: 300-307.e2.
3. Exerc Sport Sci Rev. 2017; 45: 58-69
4. Int j Mol Sci. 2021; 22: 6479-6502
5. Sci Rep. 2022; 12: 18605
6. Luminescence. 2017; 32: 751-756

研究題目	脱芳香族的ヨード環化を基軸とする 高難度スピロ環合成法の開発
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・准教授・沖津 貴志
分野	有機合成化学
キーワード	スピロ環、脱芳香族化、ヨウ素

1. 研究の背景と目的

スピロ環は2つの環が1つの炭素原子で連結した8の字型の三次元分子骨格である (Figure 1)。医薬品は、受容体やタンパク質などの三次元空間を認識して結合するため、これらに適合する望みのスピロ環を合成する手法の開発は創薬において重要な課題である。実際に、スピロ環は生物活性天然物や医薬候補物質にもよくみられる基本骨格であり、スピロ環の合成例も多数報告されている。しかし従来法では合成の難しいスピロ環もあることから、それらを如何に合成するかが課題となっている。

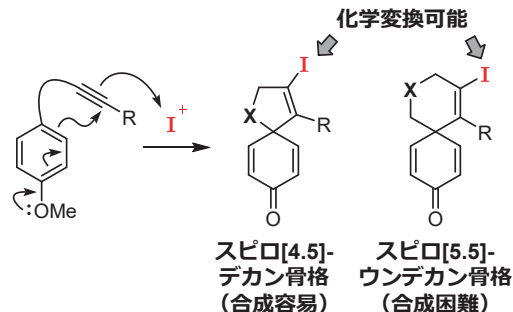
Figure 1. スピロ環



√三次元分子骨格
√天然物の基本骨格

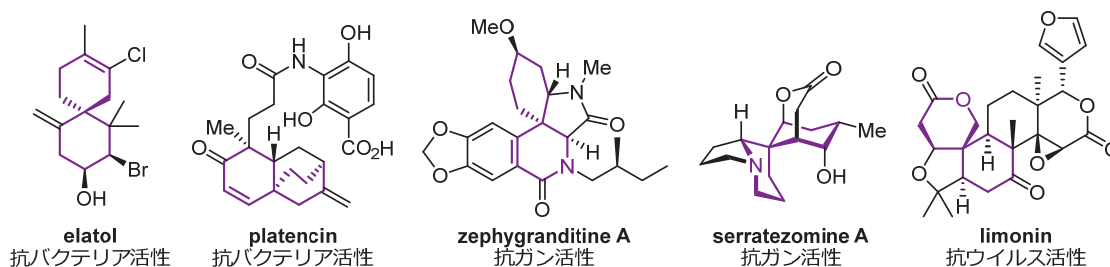
脱芳香族化反応は、入手容易な芳香族化合物の芳香族性を崩して三次元分子骨格へと直接変換できることから、天然物等の合成戦略のひとつとして近年注目されている。なかでも脱芳香族的ヨード環化は、環境にやさしいヨウ素反応剤を用いてベンゼン環の脱芳香族化とスピロ環化を同時に行えるだけでなく、次の化学変換に利用可能なヨウ素部位を有する生成物を与えるため、多官能性スピロ環を合成するうえで有用な反応である (Scheme 1)。

Scheme 1. 脱芳香族的ヨード環化



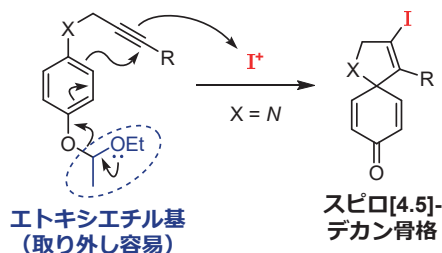
本反応で合成可能なスピロ環は、5員環と6員環が1つの炭素原子でつながったスピロ[4.5]デカン骨格が主である。これに対して、2つの6員環が1個の炭素でつながったスピロ[5.5]ウンデカン骨格は、生物活性天然物に含まれる重要な分子骨格であるにもかかわらず (Figure 2)、本反応を用いた合成例は特殊な出発原料を用いたものに限られており、合成困難であった。

Figure 2. スピロ[5.5]ウンデカン骨格を有する生物活性天然物

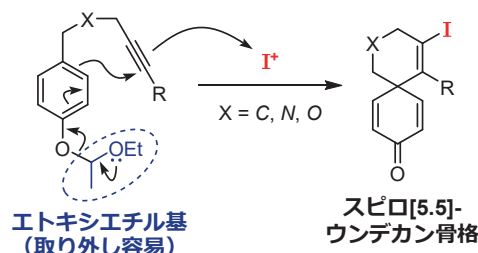


研究代表者はこれまでに、取り外し容易なエトキシエチル基を利用する脱芳香族的ヨード環化を独自に開発し、本手法がスピロ[4.5]デカン骨格を構築するうえで幅広い基質に適用可能であることを見出した (Scheme 2)。^{1,2)} そこで本研究では、これまで合成困難だったスピロ[5.5]ウンデカン骨格を本手法により合成することを目的とした (Scheme 3)。

Scheme 2. これまでの研究



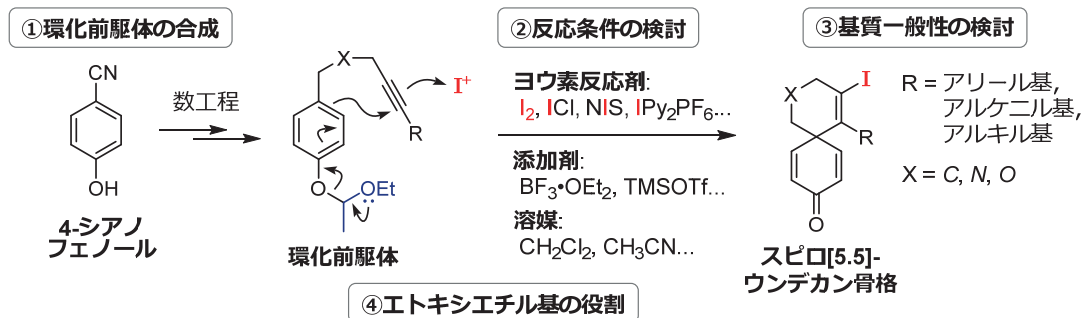
Scheme 3. 本研究



2. 研究方法

Scheme 4 に示す方法により研究を実施した。①エトキシエチル基を有する環化前駆体を、4-シアノフェノールから数工程で合成した。②環化前駆体 ($X = \text{NTs}$, $R = 4\text{-MeO-C}_6\text{H}_4$) を基質として、脱芳香族的ヨード環化の最適条件を探索した。特にヨウ素反応剤や添加剤、溶媒、反応温度を精査し、スピロ[5.5]ウンデカン骨格を最も収率よく与える反応条件を検討した。③見出した最適反応条件をもとに、基質一般性を検討した。主に、アルキンの置換基 R および反応部位をつなぐ X の種類が脱芳香族的ヨード環化に与える影響について調査した。④本反応におけるエトキシエチル基の役割を明らかにするため、エトキシエチル基の有無による比較実験を実施した。

Scheme 4. 研究方法

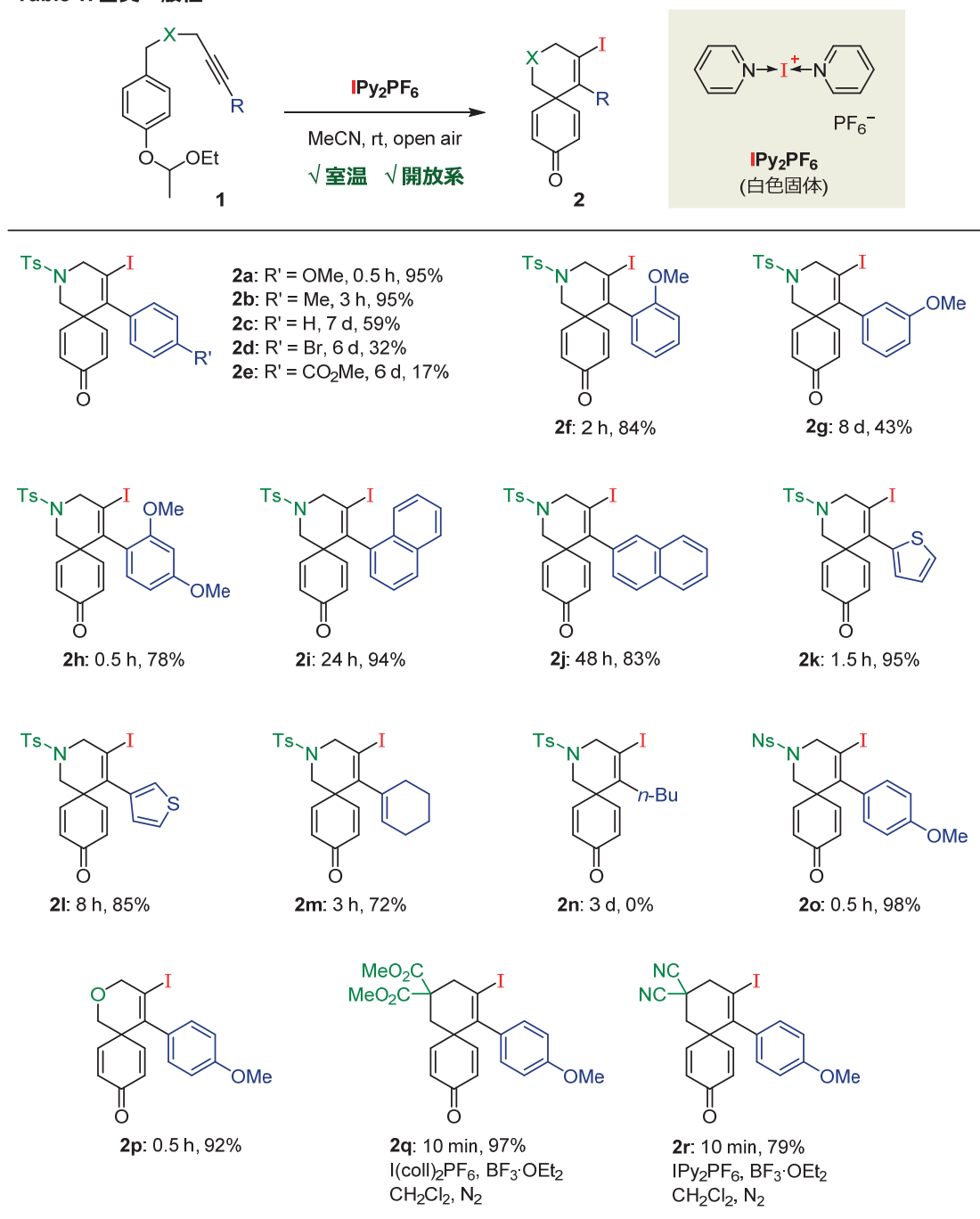


3. 研究成果

エトキシエチル基を有する環化前駆体 **1a** ($X = \text{NTs}$, $R = 4\text{-MeO-C}_6\text{H}_4$) を、ヨウ素反応剤に bis(pyridine)iodonium hexafluorophosphate (IPy_2PF_6)³⁾ を用いてアセトニトリル中室温で反応を行うと、脱芳香族的ヨード環化が進行し、アザスピロ[5.5]ウンデカン **2a** を 95%収率で合成できることを見出した (Table 1)。 IPy_2PF_6 は白色固体で取り扱いが容易である。本反応は厳密な脱水条件で行う必要はなく、開放系で実施してもスピロ環 **2** が得られた。したがって、本反応条件は反応操作の観点から実用性に優れている。アルキンの置換基 R はアリール基 (**1a-l**) やアルケニル基 (**1m**) の場合にはスピロ環 **2a-m** を合成できたものの、アルキル基 (**1n**) の場合は本反応に適

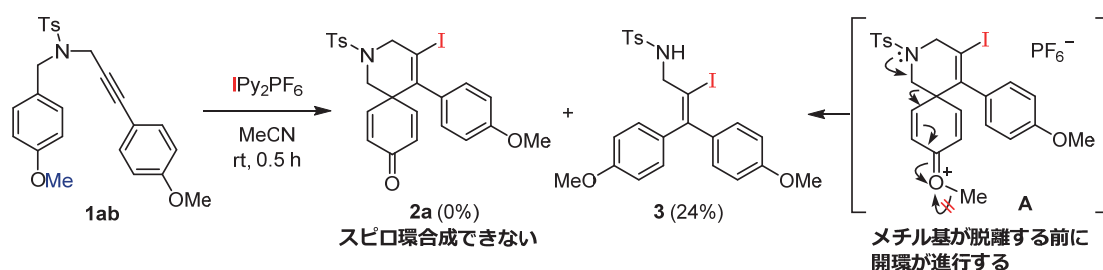
用できないことが分かった。反応部位をつなぐ X には、窒素原子 (**1a-o**) 以外に酸素原子 (**1p**) や炭素原子 (**1q-r**) の場合でも、反応条件の微調整が必要となったものの反応は進行した。このことから、本反応は基質一般性が高いといえる。

Table 1. 基質一般性

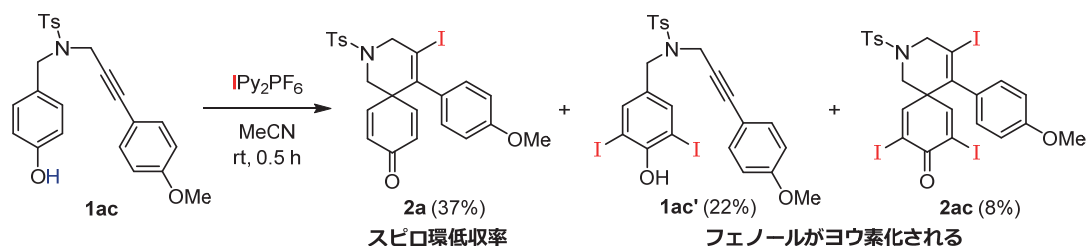


また本反応におけるエトキシエチル基の役割を明らかにするため、エトキシエチル基の有無による比較実験を実施した。エトキシエチル基の代わりにメチル基を有する基質 **1ab** で反応を行うと、望みのスピロ環 **2a** は全く得られず、スピロ環中間体 **A** のメチル基が脱離する前に開環した生成物 **3** が得られた (Scheme 5)。このことから、エトキシエチル基はメチル基に比べて良い脱離能をもつことが分かった。また、エトキシエチル基をもたない基質 **1ac** を用いた場合、望みのスピロ環 **2a** は低収率しか得られず、フェノールがヨウ素化された化合物 **1ac'** やそのスピロ環化体 **2ac** が得られた (Scheme 6)。すなわち、エトキシエチル基はフェノール部位のヨウ素化を抑える役割も担っていることが判明した。

Scheme 5. メチル基を有する基質の反応



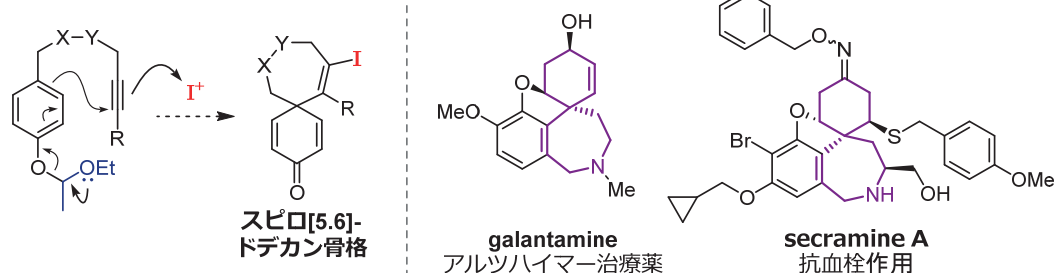
Scheme 6. エトキシエチル基をもたない基質の反応



4. 今後の展望

以上、脱芳香族的ヨード環化を基軸とするスピロ[5.5]ウンデカン構築法を開発した。⁴⁾ 今後は、本反応を利用して、スピロ[5.5]ウンデカン骨格を有する生物活性天然物 (Figure 2) を全合成したいと考えている。また、より高難度なスピロ[5.6]ドデカン骨格構築にも本手法が適用可能かを明らかにしたい (Scheme 7)。これが実現すれば、galantamine や secramine A のようなスピロ[5.6]ドデカン骨格を有する生物活性物質の合成と医薬への応用が期待できる。

Scheme 7. 今後の展望



5. 参考文献

- 1 . Okitsu T., Nakazawa D., Kobayashi A., Mizohata M., In Y., Ishida T., Wada A. *ipso*-Iodocyclization of Ethoxyethyl Ethers to Alkynes at the *ortho*-Position: An Efficient Synthesis of Functionalized Spiro Compounds. *Synlett*, 203–206 (2010).
- 2 . Okitsu T., Horike A., Shimazawa N., Wada A. A dearomative *ipso*-iodocyclization/desymmetrization sequence leading to optically active tricyclic piperazine scaffolds. *Org. Biomol. Chem.*, **18**, 3501–3511 (2020).
- 3 . Okitsu T., Yumitate S., Sato K., In Y., Wada A. Substituent Effect of Bis(pyridines)iodonium Complexes as Iodinating Reagents: Control of the Iodocyclization–Oxidation Process. *Chem. Eur. J.*, **19**, 4992–4996 (2013).
- 4 . Okitsu T., Koyama S., Yakura T. Construction of the Spiro[5.5]undecane Framework through Dearomative *ipso*-Iodocyclization of 5-(4-(1-Ethoxyethoxy)phenyl)-1-alkynes. *J. Org. Chem.*, **90**, 8439–8443 (2025).

研究題目	腸肝連関に作用する中鎖脂肪酸の生活習慣病改善メカニズムの解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・教授・中川 嘉
分野	代謝学
キーワード	中鎖脂肪酸、肥満、FGF21

1. 研究の背景と目的

現在、日本を含む世界各国で生活習慣病患者が増加しており、患者の QOL（生活の質）の低下や医療費の高騰が深刻な課題となっている。これらの問題の解決は喫緊の課題である。生活習慣病の発症は栄養の吸収と消費のバランスの崩れが、体内の過剰栄養蓄積を推し進め、肥満を惹起する。その後、動脈硬化、虚血性心疾患や脳血管障害、最終的には心不全や脳卒中、腎不全、肝がんなどの生死に係る重篤な病気を引き起こす。栄養代謝の中心臓器である肝臓に焦点を絞ると、食生活の破綻はアルコール性・非アルコール性脂肪肝から肝硬変へと進展する。さらに悪化すると肝がんに至るまで進展する。肝がんの主要な発症原因が、次第に脂肪肝や糖尿病などの代謝性疾患へと変化している。

CREBH は申請者が長年研究を重ねてきた脂質代謝、特に脂肪酸酸化、ケトン体合成を制御し生活習慣病の発症・治療に関連する転写因子である。CREBH は肝臓と小腸にのみ発現し、肝臓では脂質代謝を改善し、小腸では脂質吸収を抑制する。これら作用により腸肝連関を介し、全身性に脂質代謝の恒常性を維持することを明らかにしてきた。CREBH 過剰発現マウスでは肥満、脂質異常症、動脈硬化などの生活習慣病を改善し、逆に CREBH 欠損マウスではそれら病態を異常なまでに悪化させた(1-4)。

西洋型の食事や人体に含まれる飽和脂肪酸のほとんどは、トリアシルグリセロール (TG) と長鎖脂肪酸 (LCFA) (すなわち長鎖トリアシルグリセロール、LCT) から構成されています。対照的に、中鎖脂肪酸 (MCFA) を含む TG (すなわち中鎖 TG、MCT) ははるかに量が少ないです。MCFA は炭素尾部が短くサイズが小さいため、生理的 pH で高度にイオン化されており、LCFA よりも水性液体に溶けやすい(5)。これらの特性は、MCFA の消化、吸収、細胞代謝に影響を及ぼします。例えば、主にリンパ経路を介して LCT として全身循環に入る LCFA とは異なり、MCFA は消化後も大部分が非エステル化のままで、腸から門脈に吸収され、肝臓に送られます。この代替吸収経路こそが、MCFA を腸管吸収不良患者の治療における魅力的な食事療法戦略へと導いた原動力となった。

ヒトにおいて、MCT 摂取は満腹感の増加(6)、食物摂取量の減少(7)、食後代謝率の上昇(8)と関連付けられている。MCT 摂取はげっ歯類(9)とヒトの両方において体重減少と関連付けられている。さらに、MCT 摂取がインスリン感受性に及ぼす好ましい影響は、健常者(10)および 2 型

糖尿病患者(11)において報告されている。げっ歯類において、MCT 摂取は肝臓の脂肪蓄積に対する保護作用と関連付けられている(12,13)。エネルギーバランス、血糖値、および肝臓脂肪に対するこれらの報告された利点にもかかわらず、これらの効果の根底にあるメカニズムは不明である。

中鎖脂肪は摂取してから効率よくエネルギーとして利用されるため、脂肪として蓄積されない。そのため、医療現場・スポーツ分野における栄養補給や、機能性食品として生活習慣病予防などに利用されている。中鎖脂肪で見られる肝臓での脂肪分解促進、小腸での脂質吸収は CREBH で見られている生理的機能と同様である。それゆえ、中鎖脂肪の代謝改善効果が CREBH と関連する可能性が考えられる。また、CREBH はある種の脂肪酸により活性化される(14)。そこで、CREBH と中鎖脂肪の相互作用が CREBH を標的とした生活習慣病の新たな治療戦略の構築に発展させられると考えた。さらに、中鎖脂肪は肥満を積極的に改善することも知られているがその作用メカニズムは明らかになっておらず、本研究で、解明することで新たな生活習慣病の治療戦略を構築できる。

2. 研究方法

野生型マウスおよび Fibroblast growth factor 21 (FGF21) ノックアウトマウスにおいて、固形飼料、長鎖脂肪酸に富む高脂肪食 (LCFA HFD)、または中鎖脂肪酸に富む高脂肪食 (MCFA HFD) の摂取が、血糖値、肝臓遺伝子発現、FGF21、および肝臓脂肪含量に及ぼす影響を調査した。MCFA に富む油の単回経口投与が、循環血中 FGF21 および肝臓 Fgf21 mRNA 発現に及ぼす影響を評価した。LCFA HFD または MCFA HFD を摂取させた flag タグ付き CREBH ノックインマウスおよび肝臓特異的 CREBH ノックアウトマウスにおいて、活性型肝臓 CREBH および肝臓 Fgf21 mRNA 量をそれぞれ測定した。

3. 研究成果

3.1. 食事性 MCFA は高脂肪食関連脂肪肝を予防し、全身脂質恒常性維持に関連する遺伝子を調節する

食事性 MCFA 摂取の代謝への効果を検証するために、マウスに普通食(Chow)、45% LCFA を豊富に含む高脂肪食 (LCFA HFD)、または 45% MCFA を豊富に含む高脂肪食 (MCFA HFD) を 16 日間与えた (図 1A)。MCFA HFD のエネルギー含有量 (kJ/グラム) は、LCFA HFD と同じであった。LCFA HFD と比較して、MCFA HFD を摂取したマウスのエネルギー摂取量は同程度であったが、脂肪量の減少により体重は減少した。一方、除脂肪体重は LCFA HFD と MCFA HFD で同程度であった (図 1B~E)。Chow を与えられたマウスと比較して、MCFA HFD を与えられたマウスは、エネルギー摂取量、体重、除脂肪量および脂肪量は同様であった (図 1B~E)。ブドウ糖負荷試験において、グルコース投与後、MCFA HFD マウスは最も低いグルコース変動を示し、MCFA HFD マウスの全体的なグルコース処理能は Chow を与えられたマウスと同等であったが、LCFA HFD を与えられたマウスより優れていた (図 1F~G)。MCFA HFD マ

ウスは、Chow および LCFA HFD マウスと比較して、褐色脂肪組織へのグルコースクリアランスが増加した (図 1H)。マウスに MCFA HFD または LCFA HFD を 5 週間与えた結果、MCFA 摂取量の増加が肝臓形態に悪影響を及ぼすことは認められなかった (図 1I)。むしろ、LCFA HFD を与えられたマウスで観察された脂肪肝の発症を MCFA HFD は抑制した (図 1J)。MCFA は腸管から門脈に吸収され、まず肝臓を通過することが知られているため、全ゲノムトランスクリプトーム解析を用いて、食事性 MCFA が肝臓遺伝子発現に及ぼす影響を調べた。MCFA HFD 群と LCFA HFD 群の間で、2363 の転写産物の発現に差が認められた (図 1K)。MCFA HFD によって調節される 20 の転写産物が、分泌因子をコードする 18 の遺伝子にマッピングされていた (図 1L)。これらには、肝臓および全身の脂質恒常性の重要な調節因子である *Apoc2*、*Apoa4*、*Fgf21* が含まれていた(15)。

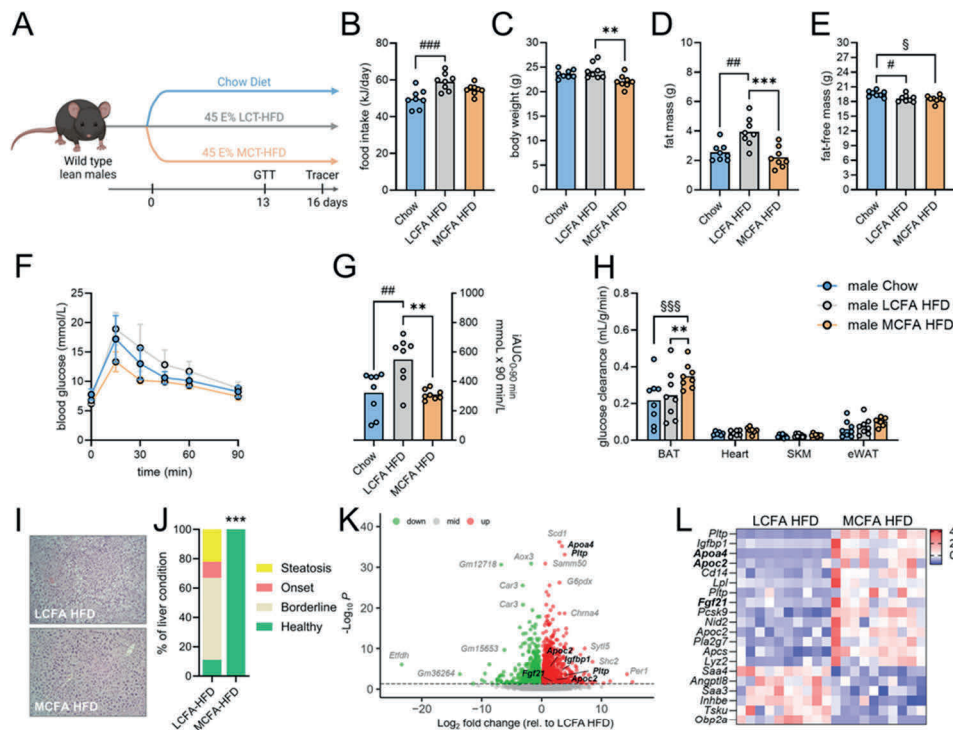


図1 食事性MCFAは雄マウスの血糖値を改善し、高脂肪食関連脂肪肝を予防し、全身脂質恒常性に関わる肝臓遺伝子を調節する。(A)研究方法の概略図。マウスに食事を与えてから16日後に測定した1日あたりのエネルギー摂取量(B)、体重(C)、脂肪量(D)、除脂肪量(E)。マウスに食事を与えてから13日後に実施した腹腔内ブドウ糖負荷試験(体重1kgあたりブドウ糖2g)(F)および曲線下増分面積(iAUC)(G)(B~G, n = 8)。マウスに食事を与えてから16日後に測定した表示組織のグルコースクリアランス(H)(n = 6~8)。食事を5週間摂取させた雄のC57BL/6Jマウスから4時間絶食後に採取した肝臓のH&E染色(I, n = 9の代表)および関連する脂肪変性状態のスコアリング(J, n = 9)。LCFA HFDとMCFA HFDで比較した肝臓の全ゲノムシークエンシングと、肝臓転写産物を示すボルケーノプロット(K)。分泌因子をコードする遺伝子(K, L, n = 10)。MCFA HFDとLCFA HFDの差については、**p < 0.01, ***p < 0.001。ChowとLCFA HFDの差については、#p < 0.05, ###p < 0.01, ####p < 0.001。ChowとMCFA HFDの差については、\$p < 0.05, \$\$\$p < 0.001。

3.2. MCFAの急性および慢性摂取は肝臓 *Fgf21* mRNA および循環血中 *FGF21* を増加させる

最近の研究結果は、*FGF21* が肝臓における過剰な脂肪蓄積に対する有望な治療選択肢となり得ることを示唆している(16)。qPCRにより、5週間のMCFA HFD摂取は肝臓 *Fgf21* mRNAの

増加を確認した(図 2A)。MCFA を豊富に含むオイルの単回投与は、肝臓における Fgf21 mRNA を 6 倍に増加させたが、褐色脂肪組織、白色脂肪組織、および腎臓には影響が見られなかった(図 2B)。mRNA への影響と一致して、血中 FGF21 は、MCFA HFD を摂取したマウスでは、LCFA HFD を摂取したマウスと比較して 4 倍増加した(図 2C)。Chow、MCFA HFD、または LCFA HFD を 16 日間摂取させたマウスでは、血中 FGF21 は MCFA HFD マウスで最も高かった(図 2D)。MCFA に富むオイルを 1 回経口投与すると、1 時間後には血中 FGF21 が 3 倍に増加し、4 時間後には FGF21 レベルはベースライン レベルに戻った(図 2E)。対照的に、LCFA に富むオイルを経口投与してから 24 時間後も、血中 FGF21 は影響を受けなかった(図 2F)。食事誘発性肥満(DIO)マウスでは、MCFA に富むオイルを経口投与すると、FGF21 レベルが 2.5 倍に増加し、1 時間後にはピーク レベル 10 ng/mL に達し(図 2F)、4 時間後にはベースラインに戻った。全体的に、MCFA 摂取は、急性期および長期曝露後の両方で、血中 FGF21 レベルの増加と関連した。

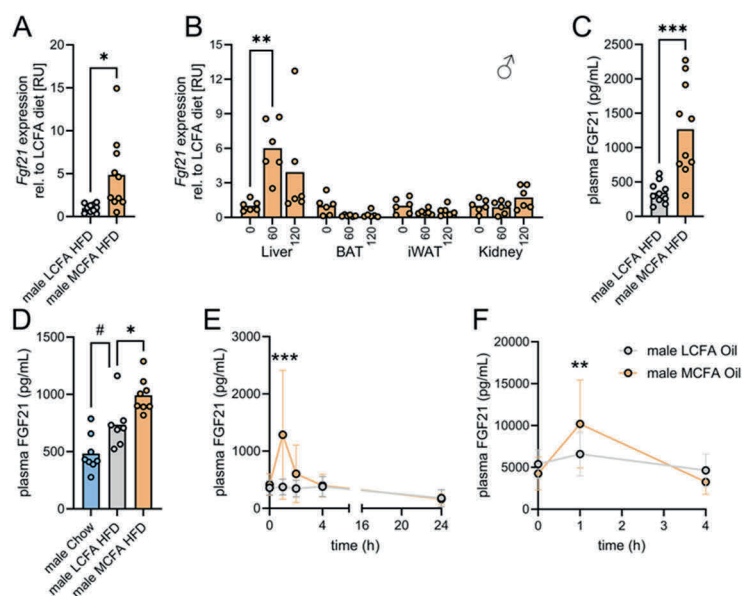


図2 MCFAの急性および慢性摂取は、雄マウスの肝臓Fgf21 mRNAおよび循環 FGF21を増加させる。食事を5週間摂取した雄マウスの肝臓FGF21 mRNA量(A; n = 10)、または200 μ Lの C8:0 MCFAに富むオイルを経口投与したマウスの組織におけるFGF21 mRNA量(B; n = 6)。食事を5週間摂取したマウス(C; n = 10)、食事を16日間摂取したマウス(D; n = 7~8)の血漿FGF21濃度。普通マウス(E; n = 10)、食事誘発性肥満マウス(F; n = 10~14)にコントロールとして200 μ Lの C8:0 MCFAに富むオイルまたはLCFAに富むオイル(コーン油)を経口投与したの血漿 FGF21 濃度。*p < 0.05、**p < 0.01、***p < 0.001。ChowとLCFA HFDの差については、#p < 0.05。

3.3. MCFA 誘導性肝臓 Fgf21 mRNA 増加には CREBH が必要

MCFA HFD を摂取したマウスの肝臓において、Apoc2、Apoa4、および Fgf21 mRNA が同時に増加したことは(図 1L)、肝臓に豊富に存在する転写因子である CREBH の活性上昇を示唆しており、CREBH は peroxisome proliferator-activated receptor α (PPAR α) と相互作用して FGF21 レベルを調節する(2,17)。この考えと一致して、MCFA HFD を摂取したマウスの肝臓では活性型 CREBH の存在量が増加していることが明らかになった(図 3A-D)。これは、肝臓に

における MCFA 関連タンパク質全体のアセチル化の増加を伴っていた (data not shown)。さらに、MCFA HFD は WT マウスの肝臓 Fgf21 mRNA を増加させたが、肝臓 Crebh を欠損した (Crebh LiKO) マウスでは MCFA HFD は Fgf21 の発現を誘導しなかった (図 3E、F)。Apoa4 mRNA レベルも WT マウスでは MCFA HFD とともに増加したが、Crebh LiKO マウスでは増加しなかった (図 3G)。肝臓 Apoc2 mRNA レベルは Crebh LiKO マウスでは全体的に低く、WT マウスと Crebh LiKO マウスの両方で MCFA HFD とともに増加したが、Crebh LiKO マウスでは増加の程度は小さかった (図 3H)。

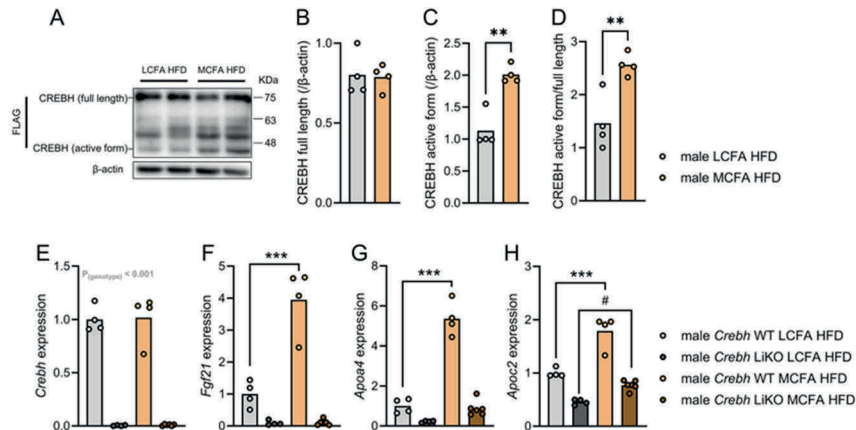


図3 雄マウスにおいて、MCFA誘導性肝臓Fgf21 mRNA増加にはCREBHが必要である。flagタグCREBHを発現するCrebhノックイン雄マウスに5週間、食事を摂取させた (B~D、n=4) 肝臓のウェスタンブロッティング (A)。(A) の全長CREBH (B) および活性CREBH (C) の定量。食事を5週間摂取させたCrebh野生型 (WT) または肝臓特異的Crebhノックアウト (LiKO) マウスの肝臓mRNA量 (E~H)。 $p < 0.05$ 。

3.4. FGF21 は食事性 MCFA による肝臓脂肪含量の低下に必要である

FGF21 とその類似体は、種を超えて肝臓および循環血中の脂質レベルを低下させることが示されている(18,19)。そこで我々は、肝臓における MCFA 関連の代謝改善効果に FGF21 が必要かどうかを調べ、エネルギーバランスと血糖値に関連するエンドポイントも評価した。Fgf21 野生型 (WT) および Fgf21 ノックアウト (KO) マウスに、MCFA HFD または LCFA HFD を 5 週間与えました。MCFA HFD では、LCFA HFD を与えられたマウスで観察された体重増加は見られなかった (図 4A)。MCFA HFD では、最初の数日間はマウスのエネルギー摂取量が低下したが、その後は同様の速度で増加した (図 4B)。体重増加の相違と MCFA HFD によるエネルギー摂取量の一時的な低下は、Fgf21 WT マウスと Fgf21 KO マウスで同程度に発生しました。MCFA HFD 食は、オスの Fgf21 WT マウスと Fgf21 KO マウスで耐糖能をほぼ同程度に改善した (図 4C~D)。MCFA HFD を摂取した Fgf21 WT マウスおよび Fgf21 KO マウスでは、空腹時血漿インスリン値 (図 4E) が約 80%低下した。MCFA HFD マウスでは、肝臓 Akt の Thr308 および Ser473 リン酸化が低下したが、遺伝子型による影響は認められなかった (data not shown)。全体として、MCFA の食事摂取は雄マウスにおいてエネルギー摂取量と体重を減少させ、血糖コントロールを改善するが、これらの効果には FGF21 は必須ではなかった。

雄の Fgf21 WT マウスでは、肝臓の TG 含有量は、LCFA HFD と比較して MCFA HFD で約 55% 低下した (図 4F)。対照的に、Fgf21 KO マウスでは、肝臓の TG 含有量は、MCFA HFD を摂取した Fgf21 KO マウスと LCFA HFD を摂取した Fgf21 KO マウスではほぼ同様でした (図 4F)。血漿の TG レベルも MCFA 摂取によって低下したが、この低下は Fgf21 WT マウスと Fgf21 KO マウスの両方で生じた (図 4G)。血漿の FA 濃度は、Fgf21 WT マウスでは LCFA-HFD と MCFA-HFD で同様だったが、Fgf21 KO マウスでは、MCFA HFD により循環 FA が約 25% 増加した (図 4H)。ケトン体である β -ヒドロキシ酪酸の血漿レベルは全体的に変化しなかった (data not shown)。肝臓 TG 含量への影響に関しては、雌マウスでも同様の結果が得られた。MCFA HFD は、Fgf21 WT マウスの雌マウスでは肝臓 TG 含量を低下させたが、Fgf21 を欠損する雌マウスでは統計的に有意な低下は見られなかった (data not shown)。興味深いことに、MCFA HFD は WT マウスの雌マウスでは血漿インスリン濃度を低下させたが、Fgf21 KO マウスでは低下しなかった (data not shown)。これは、食事性 MCFA が雌マウスのインスリン濃度を低下させるには、FGF21 が必要であることを示している。全体として、これらのデータは、雄マウスと雌マウスの両方において、食事性 MCFA が肝臓脂質含量を低下させるには、FGF21 が必要であることを示している。

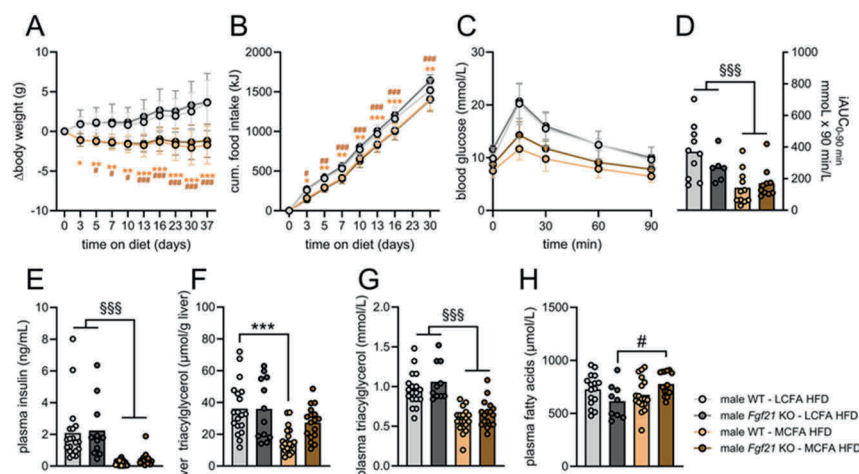


図4 雄マウスにおける食事性MCFAの肝脂肪低下作用にはFGF21が必要である。雄Fgf21 KOマウス (10~20週齢) とWTマウス (10~20週齢) に、食事を5週間与えた際の体重 (A) と摂餌量 (B) の変化。食事 (A~D, n=6~11) を与えてから4週間後にマウスに腹腔内ブドウ糖負荷試験 (ブドウ糖2g/kg体重) 血糖変動曲線 (C) とその曲線下増分面積 (AUC) (D)。食事を与えてから5週間後にマウスに4時間絶食させた後の血漿インスリン (E)、肝臓トリアシルグリセロール (F)、血漿トリアシルグリセロール (G)、および血漿脂肪酸 (H) (E~H, n=9~19) Fgf21野生型マウスにおけるLCFA HFDとMCFA HFDの差については、* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。Fgf21 KOマウスにおけるLCFA HFDとMCFA HFDの差については、# $p < 0.05$, ## $p < 0.01$, ### $p < 0.001$ 。食事による効果については § § § $p < 0.001$ 。

3.5. 食事性 MCFA は体重減少とは無関係に肝臓 TG を低下させる

MCFA HFD は LCFA HFD と比較してエネルギー摂取量が少なく体重が減少するため、これが代謝効果の一部に寄与していると考えられる。食事摂取量/体重依存的な肝臓 TG への影響を検証するため、食事誘発性肥満マウスに LCFA HFD、MCFA HFD、または LCFA HFD を MCFA

HFD と同量摂取させた (LCFA HFD PF) を投与した。LCFA HFD マウスと比較して、MCFA HFD と LCFA HFD PF はいずれも 22 日間で体重が 25%減少し (図 5A)、エネルギー摂取量も低下した (図 5B)。耐糖能は、LCFA HFD と比較して、MCFA HFD と LCFA HFD PF 投与後に同程度に優れていた (図 5C、D)。MCFA HFD を摂取したマウスは、LCFA HFD を摂取したマウスと比較して肝臓 TG が低かったが、LCFA HFD PF を摂取したマウスと比較しても同様であった (図 5E)。肝臓 TG は、LCFA HFD を摂取したマウスと比較して、LCFA-HFD PF 群で低い傾向にあった ($p = 0.058$) (図 5E)。肝臓グリセロール、血漿 TG、および血漿グリセロール値は、各食事群間で同様であった (図 5F~H)。これらのデータは、食事性 MCFA による肝臓 TG の減少が、体重減少のみによるものではないことを示している。

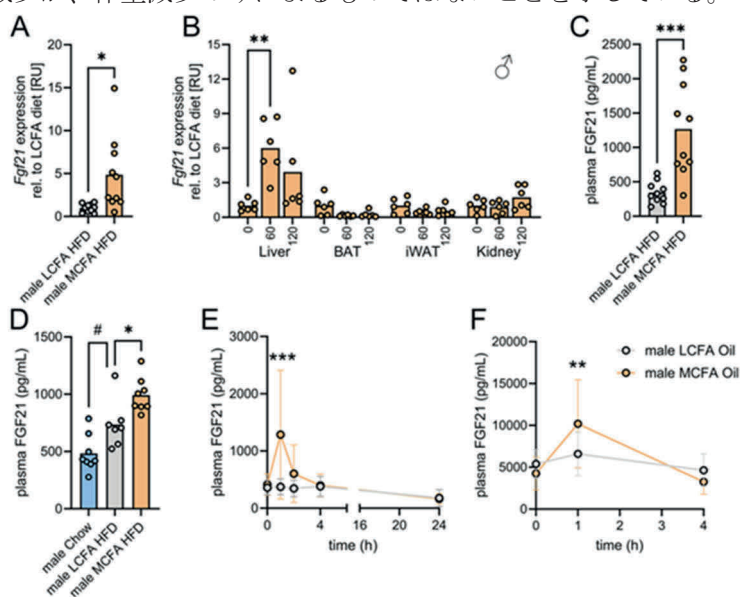


図2 MCFAの急性および慢性摂取は、雄マウスの肝臓Fgf21 mRNAおよび循環 FGF21を増加させる。食事を5週間摂取した雄マウスの肝臓FGF21 mRNA量(A; n = 10)、または200 μ LのC8:0 MCFAに富むオイルを経口投与したマウスの組織におけるFGF21 mRNA量(B; n = 6)。食事を5週間摂取したマウス(C; n = 10)、食事を16日間摂取したマウス(D; n = 7~8)の血漿FGF21濃度。普通マウス(E; n = 10)、食事誘発性肥満マウス(F; n = 10~14)にコントロールとして200 μ LのC8:0 MCFAに富むオイルまたはLCFAに富むオイル(コーン油)を経口投与したの血漿FGF21濃度。* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ 。ChowとLCFA HFDの差については、# $p < 0.05$ 。

本研究では下記の内容を明らかにした。MCFA HFD は、WT マウスにおいて耐糖能を改善し、褐色脂肪組織へのブドウ糖クリアランスを促進し、高脂肪食が誘発する肝脂肪変性症を予防する。これらの効果は、Fgf21 を含む CREBH 標的遺伝子 (Apoa4 および Apoc2) の肝臓での発現増加と関係している。食事性 MCFA の急性および慢性摂取はどちらも循環 FGF21 を上昇させる。MCFA HFD 摂取後の肝臓 Fgf21 mRNA 増加は活性肝臓 CREBH レベルの上昇を伴い、Crebh を欠損するマウスでは MCFA 誘発性肝臓 Fgf21 発現が阻害される。特に、雄および雌の Fgf21 野生型マウスに MCFA HFD を与えると肝臓トリアシルグリセロール (TG) レベルが低下するが、この肝臓 TG 低下効果は MCFA HFD を与えられた Fgf21 ノックアウトマウスでは鈍化する。MCFA HFD で観察された肝臓 TG レベルの減少は体重減少とは無関係である。

4. 今後の展望

本研究では、MCFA 摂取が Fgf21 発現およびその他の CREBH 標的遺伝子の発現上昇を引き起こすことを明らかにした。Fgf21 発現誘導は CREBH に依存していることを同定した。しかしながら、MCFA が CREBH-FGF21 軸を活性化するメカニズムについては依然として不明である。今後、MCFA が CREBH を上昇させるメカニズムを明らかにしていく予定である。現在までに、CREBH が PPAR α との相乗的相互作用を介して Fgf21 発現を誘導できること(3,20,21)、および Fgf21 を誘導するためには CREBH-PPAR α 相互作用に CREBH のアセチル化が必要であることが明らかになっている[53]。我々の結果から、食事の MCFA が細胞内タンパク質アセチル化を促進することを示しているが、これは MCFA によるケトン生成能の上昇が[12]過剰なアセチル CoA を産生することによるものと考えられる。そのため、MCFA による Fgf21 誘導に CREBH のアセチル化が必要かどうかを今後解析する予定である。

MCFA を比較的多く含む食事を用いたが、MCFA が少ない場合でも肝臓 TG 低下効果が得られるのか、また、これらの効果が FGF21 に依存するのかどうかはまだ明らかになっていない。そのため、このことに関しても解析を進めている。我々の実験では主に雄マウスで解析されたが、本研究で示されたすべての結果が雌雄に関係なく見られるかは未明であることであるから、雌マウスでの解析を進めており、雌雄に関係ない根源的なさようであるかを解析する予定である。

本研究の遂行にあたり、富山第一銀行奨学財団より多大なるご支援を賜りましたこと、心より御礼申し上げます。

おかげさまで、本研究成果は下記の学術誌に掲載される運びとなりました。

この場をお借りして、重ねて深謝申し上げます。

Cao, Y., Araki, M., Nakagawa, Y., Deisen, L., Lundsgaard, A., Kanta, J. M., Holm, S., Johann, K., Brings Jacobsen, J. C., Jahnert, M., Schurmann, A., Kiens, B., Clemmensen, C., Shimano, H., Fritzen, A. M., and Kleinert, M. (2024) Dietary medium-chain fatty acids reduce hepatic fat accumulation via activation of a CREBH-FGF21 axis. *Mol Metab* 87, 101991

5. 参考文献

1. Nakagawa, Y., Wang, Y., Han, S. I., Okuda, K., Oishi, A., Yagishita, Y., Kumagai, K., Ohno, H., Osaki, Y., Mizunoe, Y., Araki, M., Murayama, Y., Iwasaki, H., Konishi, M., Itoh, N., Matsuzaka, T., Sone, H., Yamada, N., and Shimano, H. (2021) Enterohepatic Transcription Factor CREB3L3 Protects Atherosclerosis via SREBP Competitive Inhibition. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol* 11, 949-971
2. Satoh, A., Han, S. I., Araki, M., Nakagawa, Y., Ohno, H., Mizunoe, Y., Kumagai, K., Murayama, Y., Osaki, Y., Iwasaki, H., Sekiya, M., Konishi, M., Itoh, N., Matsuzaka, T., Sone, H., and Shimano, H. (2020) CREBH Improves Diet-Induced Obesity, Insulin

- Resistance, and Metabolic Disturbances by FGF21-Dependent and FGF21-Independent Mechanisms. *iScience* **23**, 100930
3. Nakagawa, Y., Satoh, A., Tezuka, H., Han, S. I., Takei, K., Iwasaki, H., Yatoh, S., Yahagi, N., Suzuki, H., Iwasaki, Y., Sone, H., Matsuzaka, T., Yamada, N., and Shimano, H. (2016) CREB3L3 controls fatty acid oxidation and ketogenesis in synergy with PPARalpha. *Sci Rep* **6**, 39182
 4. Kikuchi, T., Orihara, K., Oikawa, F., Han, S. I., Kuba, M., Okuda, K., Satoh, A., Osaki, Y., Takeuchi, Y., Aita, Y., Matsuzaka, T., Iwasaki, H., Yatoh, S., Sekiya, M., Yahagi, N., Suzuki, H., Sone, H., Nakagawa, Y., Yamada, N., and Shimano, H. (2016) Intestinal CREBH overexpression prevents high-cholesterol diet-induced hypercholesterolemia by reducing Npc1l1 expression. *Mol Metab* **5**, 1092-1102
 5. Schonfeld, P., and Wojtczak, L. (2016) Short- and medium-chain fatty acids in energy metabolism: the cellular perspective. *Journal of lipid research* **57**, 943-954
 6. Norgren, J., Sindi, S., Sandebring-Matton, A., Kareholt, I., Daniilidou, M., Akenine, U., Nordin, K., Rosenborg, S., Ngandu, T., and Kivipelto, M. (2020) Ketosis After Intake of Coconut Oil and Caprylic Acid-With and Without Glucose: A Cross-Over Study in Healthy Older Adults. *Front Nutr* **7**, 40
 7. Van Wymelbeke, V., Himaya, A., Louis-Sylvestre, J., and Fantino, M. (1998) Influence of medium-chain and long-chain triacylglycerols on the control of food intake in men. *Am J Clin Nutr* **68**, 226-234
 8. Scalfi, L., Coltorti, A., and Contaldo, F. (1991) Postprandial thermogenesis in lean and obese subjects after meals supplemented with medium-chain and long-chain triglycerides. *Am J Clin Nutr* **53**, 1130-1133
 9. Kanta, J. M., Deisen, L., Johann, K., Holm, S., Lundsgaard, A., Lund, J., Jahnert, M., Schurmann, A., Clemmensen, C., Kiens, B., Fritzen, A. M., and Kleinert, M. (2023) Dietary medium-chain fatty acids reduce food intake via the GDF15-GFRAL axis in mice. *Mol Metab* **74**, 101760
 10. Lundsgaard, A. M., Fritzen, A. M., Sjoberg, K. A., Kleinert, M., Richter, E. A., and Kiens, B. (2021) Small Amounts of Dietary Medium-Chain Fatty Acids Protect Against Insulin Resistance During Caloric Excess in Humans. *Diabetes* **70**, 91-98
 11. Eckel, R. H., Hanson, A. S., Chen, A. Y., Berman, J. N., Yost, T. J., and Brass, E. P. (1992) Dietary substitution of medium-chain triglycerides improves insulin-mediated glucose metabolism in NIDDM subjects. *Diabetes* **41**, 641-647
 12. Baba, N., Bracco, E. F., and Hashim, S. A. (1982) Enhanced thermogenesis and diminished deposition of fat in response to overfeeding with diet containing medium chain triglyceride. *Am J Clin Nutr* **35**, 678-682

13. Leveille, G. A., Pardini, R. S., and Tillotson, J. A. (1967) Influence of medium-chain triglycerides on lipid metabolism in the rat. *Lipids* **2**, 287-294
14. Danno, H., Ishii, K. A., Nakagawa, Y., Mikami, M., Yamamoto, T., Yabe, S., Furusawa, M., Kumadaki, S., Watanabe, K., Shimizu, H., Matsuzaka, T., Kobayashi, K., Takahashi, A., Yatoh, S., Suzuki, H., Yamada, N., and Shimano, H. (2010) The liver-enriched transcription factor CREBH is nutritionally regulated and activated by fatty acids and PPARalpha. *Biochem Biophys Res Commun* **391**, 1222-1227
15. Nakagawa, Y., and Shimano, H. (2018) CREBH Regulates Systemic Glucose and Lipid Metabolism. *Int J Mol Sci* **19**
16. Chui, Z. S. W., Shen, Q., and Xu, A. (2024) Current status and future perspectives of FGF21 analogues in clinical trials. *Trends Endocrinol Metab* **35**, 371-384
17. Kim, H., Mendez, R., Zheng, Z., Chang, L., Cai, J., Zhang, R., and Zhang, K. (2014) Liver-enriched transcription factor CREBH interacts with peroxisome proliferator-activated receptor alpha to regulate metabolic hormone FGF21. *Endocrinology* **155**, 769-782
18. Flippo, K. H., and Potthoff, M. J. (2021) Metabolic Messengers: FGF21. *Nat Metab* **3**, 309-317
19. Chaffin, A. T., Larson, K. R., Huang, K. P., Wu, C. T., Godoroja, N., Fang, Y., Jayakrishnan, D., Soto Sauza, K. A., Sims, L. C., Mohajerani, N., Goodson, M. L., and Ryan, K. K. (2022) FGF21 controls hepatic lipid metabolism via sex-dependent interorgan crosstalk. *JCI Insight* **7**
20. Nakagawa, Y., Satoh, A., Yabe, S., Furusawa, M., Tokushige, N., Tezuka, H., Mikami, M., Iwata, W., Shingyouchi, A., Matsuzaka, T., Kiwata, S., Fujimoto, Y., Shimizu, H., Danno, H., Yamamoto, T., Ishii, K., Karasawa, T., Takeuchi, Y., Iwasaki, H., Shimada, M., Kawakami, Y., Urayama, O., Sone, H., Takekoshi, K., Kobayashi, K., Yatoh, S., Takahashi, A., Yahagi, N., Suzuki, H., Yamada, N., and Shimano, H. (2014) Hepatic CREB3L3 controls whole-body energy homeostasis and improves obesity and diabetes. *Endocrinology* **155**, 4706-4719
21. Ruppert, P. M. M., Park, J. G., Xu, X., Hur, K. Y., Lee, A. H., and Kersten, S. (2019) Transcriptional profiling of PPARalpha^{-/-} and CREB3L3^{-/-} livers reveals disparate regulation of hepatoproliferative and metabolic functions of PPARalpha. *BMC Genomics* **20**, 199

研究題目	代謝異常関連脂肪肝 MAFLD の治療に有効なシード化合物の探索を 伝統生薬に求める
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・助教・中嶋 優
分野	医薬系
キーワード	代謝異常関連脂肪肝(MAFLD), FIH

1. 研究の背景と目的

- ・文字は10ポイントの明朝体を使用してください。
- ・適宜図や表、グラフ等を用いて、分かりやすく記載してください。
- ・この報告書は、富山第一銀行奨学財団が発行する研究成果報告集に掲載するほか、財団のホームページに掲載します。
- ・全体として10頁以内で記載してください。
- ・事務局での編集や校正は行いません。作成された原稿がそのまま掲載されます。
- ・この報告書に使用する図表等について、他の著作物（学会等）で使用了ものを用いる場合、当該出版者（学会等）の著作権の取扱い・規定を必ずご確認ください。
- ・この報告書に掲載する報告について、当該著作物の図表等を他の著作物で使用する場合、富山第一銀行奨学財団に対し、使用の許諾申請を行う必要はありませんが、富山第一銀行奨学財団の研究助成による成果であることを記載してください。

代謝異常関連脂肪肝(MAFLD)は、過剰の脂肪が肝臓に蓄積することによって起こる慢性的な疾患であり、病態の進行によっては肝硬変や肝臓癌といった重篤な疾患を引き起こす。MAFLDの患者数は世界中で急速に増加しているが、既存の治療法は生活習慣の改善などに限定されており、根本的治療薬は未だ開発されていない。近年、MAFLDの発症に低酸素誘導因子抑制酵素(FIH)が関与することが明らかになった。FIHの選択的阻害剤を開発することができれば、MAFLDに対する根治治療薬の開発に繋がることが大いに期待される。そこで本研究では、MAFLDの根治治療薬の開発を指向し、日本の伝統生薬からFIH阻害剤の探索を図る。

2. 研究方法

当該研究は、MAFLD治療薬の開発に向けてFIH阻害剤の探索を日本の伝統生薬に求めるものである。この課題を達成すべく以下の研究方法を実施した。

① FIHに阻害活性を有する伝統生薬の探索

富山大学和漢医薬学総合研究所は、160種類の生薬抽出液及び漢方方剤抽出液のライブラリーを保有する。当該研究ではこのライブラリーを活用し、有機溶媒抽出物に対してFIH阻害活性試験を実施した。FIHが触媒する酵素反応ではコハク酸が生成されるため、FIH天然阻害

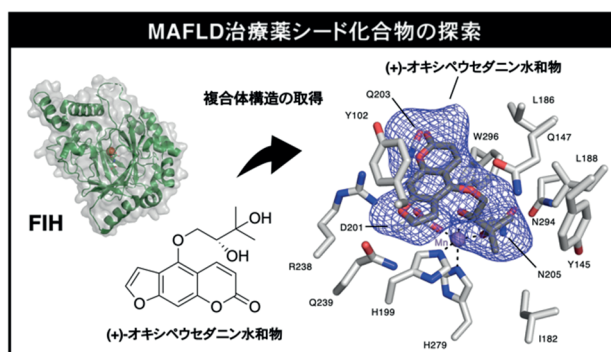
剤が存在する場合、コハク酸の生成は減少する。そこで、当該研究では、コハク酸の生成を指標とした比色法を使用して、FIH 阻害活性を示す化合物とその競合的阻害などの阻害様式を明らかにした。次に、ライブラリーの活性評価に基づいて、特に強力な FIH 阻害活性を示す生薬に対して、大スケールの抽出物を調整した。各種クロマトグラフィーを使用して、阻害活性を指標とした化合物の単離を実施し、NMR などの各種スペクトル分析にて化学構造を決定した。

②X 線結晶構造解析に基づく阻害活性機構の解明および細胞試験による脂質蓄積量の検証

FIH の阻害活性を有する天然物については、FIH との共結晶化法にて複合体 X 線結晶構造を取得することで、その阻害活性部位と相互作用様式を明らかにした。

3. 研究成果

FIH に対する阻害活性試験を富山大学和漢医薬学総合研究所が有する、生薬抽出液及び漢方方剤抽出液のライブラリーを対象に実施した。その結果、実に多くの生薬抽出液が FIH に対して阻害活性を示すことが明らかになった。特に、白芷（ビャクシ）として広く知られている多年草ヨロイグサ *Angelica dahurica* 根茎の抽出液が高い FIH 阻害活性を示した。白芷の主要成分はフラノクマリンであるが、FIH の阻害活性を示すという報告はない。そこで、白芷の抽出エキに含まれる化合物の単離精製を行い、NMR および HRMS 解析により成分の構造決定を行なった。単離された化合物群に対して FIH 阻害活性試験を実施した結果、既知のフラノクマリンであるオキシペウセダニン水和物が特に FIH 阻害作用を有することが明らかになった。また、X 線結晶解析による FIH とオキシペウセダニン水和物との複合体構造を取得することで、オキシペウセダニン水和物の側鎖の 2 つのヒドロキシ基が活性中心である 2 価金属イオンに配位することで、FIH の共基質である 2-オキソグルタル酸結合サイトを占有することを明らかにした。また、オキシペウセダニン水和物のベンゾフランモチーフが HIF-1 α の Asn803 の結合位置を占めることで、FIH による HIF-1 α の Asn803 の水酸化反応を阻害していることをも示した。この研究は、*A. dahurica* 由来オキシペウセダニン水和物が 2OG と HIF-1 α の両方と競合して HIF による酵素活性を阻害することを初めて明らかにしたものである。



4. 今後の展望

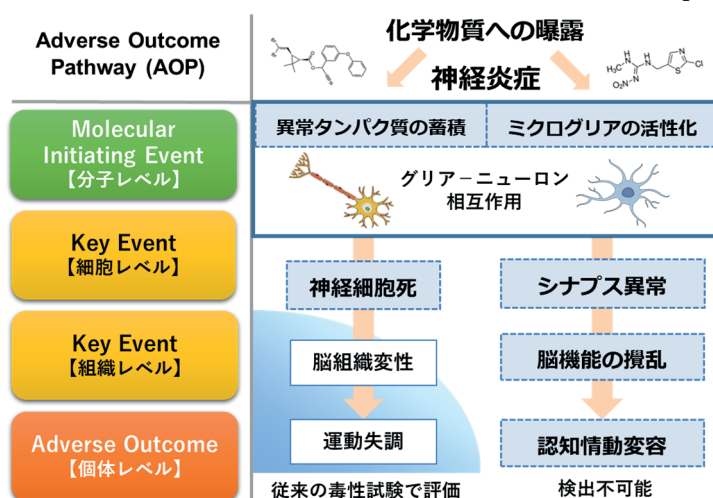
当該研究で明らかにした FIH 阻害活性を有するオキシペウセダニン水和物について、細胞試験およびマウスモデルを用いた機能検証を行う予定である。具体的には、オキシペウセダニン水和物による FIH の制御下にある遺伝子群の発現抑制や脂肪細胞への脂肪蓄積の減少といった生

理学的効果を評価し、FIH 阻害剤を介した MAFLD 治療薬候補としての有効性を検証することを計画している。さらに、本研究課題で確立した天然物スクリーニングおよび構造解析のアプローチは、白芷の成分に限定されず、他の多様な天然物資源にも適用可能である。このため、FIH 阻害活性を示す新たな天然物の発見を継続的に行い、それぞれの阻害活性機構を X 線結晶構造解析により分子レベルで明らかにしていく。これらの成果により、FIH に対して選択的に作用する天然物の結合様式が体系的に明らかになり、得られた構造情報を基盤とした合成的アプローチによる新規阻害剤の開発へとつながることが期待される。

研究題目	化学物質による神経炎症の惹起を指標とした新たな神経毒性バイオマーカーの解明
機関名	富山大学
研究代表者	学術研究部薬学・和漢系・講師・平野 哲史
分野	毒性学
キーワード	神経炎症、神経毒性、バイオマーカー

1. 研究の背景と目的

我々が日々曝露される化学物質の一部は種々の神経疾患の発症要因となり、グリアの活性化により生じる神経炎症は多くの疾患発症に共通する上流メカニズムとして注目を集めている。一方で、げっ歯類の病理解剖や肉眼行動観察を指標とする従来の神経毒性試験では、化学物質の神経毒性を細胞死の前段階で捉えることができず、グリアに対する作用を評価可能な項目が存在しない点が未解決課題となっている。申請者らはこれまでに、現行の農薬類を無毒性量以下の濃度で曝露したマウスは過剰なストレス応答等の神経細胞死を伴わない認知情動変容を示すことを明らかにし [参考文献 1. 2. 3.]、フェニルピラゾール系農薬のフィプロニル (Fip) の代謝物であるフィプロニルスルホン (FipS) がミクログリアの活性化を引き起こすことを見出した。そこで本研究では、化学物質曝露による新たな神経毒性の上流イベントとしてミクログリア-ニューロン間クロストークの攪乱に関する影響メカニズムの解析を行い、神経炎症の惹起を検出するための新規バイオマーカーを探索することを目的とした。



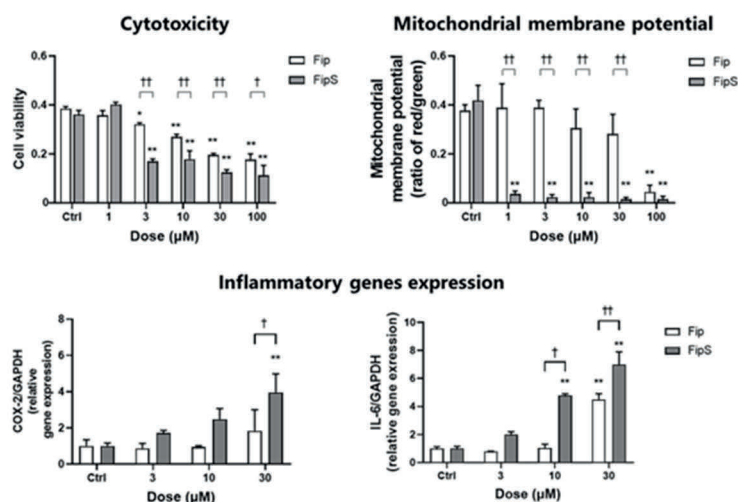
2. 研究方法

ヒト不死化ミクログリア HMC3 に Fip および FipS (1-100 μ M) を曝露後、細胞生存率および炎症性因子 (IL-6 等) の遺伝子発現変化を指標としてミクログリアの活性化を評価した。ヒト不死化ドーパミン作動性ニューロン LUHMES と HMC-3 の共培養モデルを作製し、ミクログリアの活性化がニューロンの神経突起伸長に及ぼす影響を評価した。超遠心法によるミクログリア由来エクソソームの回収を検討し、その性状および機能に関する解析を行った。JC-10 蛍

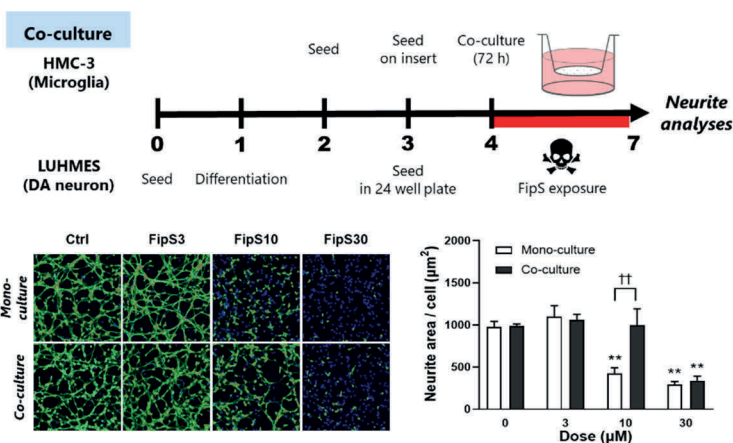
光色素および細胞外フラックスアナライザーを用いてミトコンドリア膜電位および代謝機能を評価した。培養上清から超遠心法によりエクソソームを精製し small RNA-seq 解析を行った後、mRNA との結合予測および統合ネットワーク解析を行った。

3. 研究成果

ヒト不死化ミクログリアである HMC-3 に 1-100 μM の Fip および FipS を曝露すると、濃度依存的な細胞生存性の低下、ミトコンドリア膜電位の低下、炎症性サイトカインである IL-6 や IL-1 β の mRNA 発現量の増加がみられ、体内主要代謝物である FipS ではそれらの作用がより大きくなることを明らかにした。また、FipS 曝露がミクログリアのミトコンドリアの代謝状態に及ぼす影響を細胞外フラックスアナライザーにより評価した結果、FipS は曝露直後において、プロトンリーク量の増加、ATP 産生量、最大呼吸商および予備呼吸商の低下を引き起こした。



次に、FipS によるミクログリアの活性化がニューロンに及ぼす細胞間相互作用を検証するため、ヒトドーパミン作動性神経モデルである LUHMES の単独および共培養モデルにおける神経突起の評価を行った結果、ニューロン単独培養における FipS 曝露は 10 μM 以上の濃度において

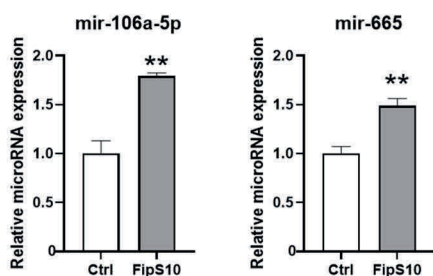


て神経突起面積を低下させた一方、ニューロン-ミクログリア共培養においては神経突起への作用が軽減したことから、FipS により活性化したミクログリアはニューロンへの神経毒性に対して保護的に働くことが示唆された。超遠心法を用いて回収したミクログリア由来エクソソームについて、各エクソソームマーカーの発現を確認した後、分化誘導中の LUHMES 細胞にエクソソームを曝露すると、細胞数に変化は見られない一方、神経突起面積の増加が再現された。



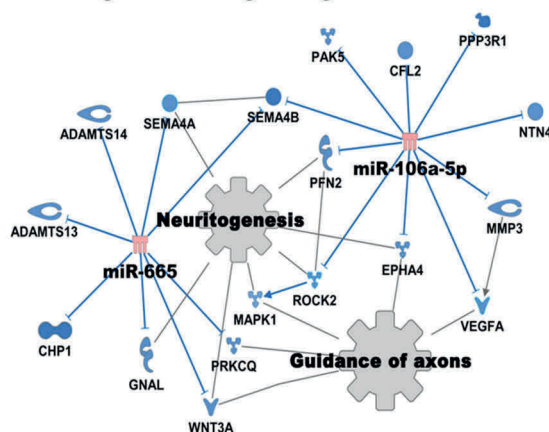
INGENUITY
PATHWAY ANALYSIS

- 29 **Up-regulated** microRNA
- +
• Target mRNA (**predicted to down**)



microRNA-mRNA Integrated network

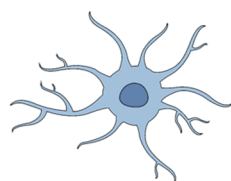
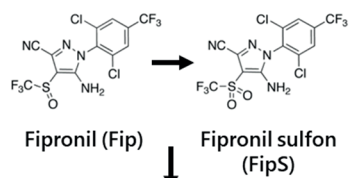
"Axon guidance signaling"



small RNA-seq 解析によりエクソソーム中に含まれる microRNA の網羅的発現解析を行い、FipS 10 μ M の曝露により 2 倍以上発現上昇した microRNA 29 種を同定した。これらの microRNA の標的として予測される mRNA のうち、「Axonal Guidance Signaling」のパスウェイに関するものに着目した統合的ネットワークを作製し制御的役割を果たす microRNA を同定した。定量的 RT-PCR によるバリデーションの結果から、新規バイオマーカーの候補となる microRNA として miR-106a-5p および miR-665 を見出した。

4. 今後の展望

本研究から、化学物質によるミクログリアの活性化がエクソソームを介して神経分化に影響を及ぼす新たなメカニズムが明らかになった。本研究により明らかになった新たなメカニズムやバイオマーカー候補は、中枢神経系に対する化学物質のリスク評価の高度化を通じて、動物実験の削減や環境負荷の低減に貢献することで持続可能な開発目標 (SDGs2, 12, 15 等) の達成に寄与することが期待できる。



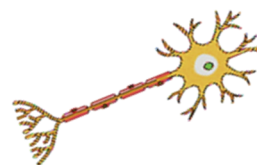
Microglial activation

- Viability
- Mitochondria function
- Inflammatory genes

Exosome



- miR-106a-5p
- miR-665
- etc.



Neuron development

5. 参考文献

1. Hirano T, Ohno S, Ikenaka Y, Onaru K, Kubo S, Miyata Y, Maeda M, Mantani Y, Yokoyama T, Nimako C, Yohannes YB, Nakayama SMM, Ishizuka M, Hoshi N. 2024. Quantification of the tissue distribution and accumulation of the neonicotinoid pesticide clothianidin and its metabolites in maternal and fetal mice. *Toxicol Appl Pharmacol.* 484:116847.
2. Kubo S, Hirano T, Miyata Y, Ohno S, Onaru K, Ikenaka Y, Nakayama SMM, Ishizuka M, Mantani Y, Yokoyama T, Hoshi N. 2022. Sex-specific behavioral effects of acute exposure to the neonicotinoid clothianidin in mice. *Toxicol Appl Pharmacol.* 456:116283.
3. Hirano T, Miyata Y, Kubo S, Ohno S, Onaru K, Maeda M, Kitauchi S, Nishi M, Tabuchi Y, Ikenaka Y, Ichise T, Nakayama SMM, Ishizuka M, Arizono K, Takahashi K, Kato K, Mantani Y, Yokoyama T, Hoshi N. 2021. Aging-related changes in the sensitivity of behavioral effects of the neonicotinoid pesticide clothianidin in male mice. *Toxicol Lett.* 342:95-103.

研究題目	InP をチャネルとした電気二重層トランジスタの開発
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・清水 直
分野	材料科学
キーワード	トランジスタ、イオン液体、化合物半導体

1. 研究の背景と目的

近年、イオン液体を用いた三端子素子である電気二重層トランジスタ（図1）の研究が、世界中で精力的に進められている。本研究では、これまで困難であると考えられてきた化合物半導体 InP をチャネルとした電気二重層トランジスタ（図1 参照）の開発、特にトランジスタ作製プロセスの最適化と、系統的な特性評価までを行うことを目標とした。

III-V 族化合物半導体を電気二重層トランジスタのチャネルとして利用することは以前から検討されてきた。しかしながら、チャネルとイオン液体界面のダングリングボンドの存在により伝導キャリアが捕獲されてしまうため、トランジスタとして動作させることは難しいと考えられており、電界により絶縁体から金属状態まで静電的に電荷を注入した例は無かった。申請者は、III-V 族化合物半導体が電気二重層トランジスタとして動作しない原因は、チャネル表面の物理的、化学的性質に起因するのではなく、電極と半導体界面（図1における、電極 D および S と InP との界面）の接触抵抗にあるのではないかと考えた。この仮定に基づき、電極材料の選択と素子作製プロセスを検討することで、これまで困難であった InP をチャネルとした電気二重層トランジスタの開発を行った。

2. 研究方法

本研究で InP をチャネルとした電気二重層トランジスタの開発を行うにあたり、素子作製から評価まで様々な実験を行った。本研究で用いた特に重要な研究方法として、電極材料の選定とアニール効果の検討、原子間力顕微鏡（Atomic Force Micrography, AFM）による電極表面状態の評価、電気二重層トランジスタの作製、トランジスタ特性の評価、の4点に分けられる。各項目について、以下に研究方法を述べる。

2-1) 電極材料の選定とアニール効果の検討

本研究で用いた InP 単結晶は、Fe をドーブした半絶縁性 2 インチウエハー（エムオー産業）を購入し、ダイヤモンドカッターで 5mm × 5 mm に切り出したものである。InP 半絶縁性ウエハーは、室温で $10^7 \Omega\text{cm}$ を超える高い抵抗率を有し、抵抗値はテスターでは測定できないほ

ど大きい。この半絶縁性 InP をトランジスタのチャネルとし n 型動作を実現させるにあたり、通常は Ti や Cr など、仕事関数の小さな金属を電極として採用する。これは、電極と半導体界面での低いショットキーバリア、もしくはオーミックコンタクトの形成を目的とするためである。しかしながら、半導体チャネルとして使用する InP は半絶縁性のためキャリアは少ないため、Ti や Cr をそのまま接合したのではショットキーバリアが大きく、ソース電極（図 1 の S で示した部分）からチャネルへ電子を注入することは難しい。そこで、先行研究を参考に電極材料の選定を行った。これまでに他グループによる InP の電気二重層トランジスタの報告は無いが、InP と金属の間で低い接触抵抗を実現する方法に関しては、系統的な研究がなされてきた[1-5]。様々な電極材料やその組み合わせが提案されてきたが、本研究では AuGe 合金（12% Ge by wt.）を用いてアニール処理を施すことでオーミックコンタクト、すなわち低い接触抵抗電極を有する電極の作製を目指した。Cr/Au 電極と AuGe/Ni 電極の比較、また AuGe/Ni 電極を用いた場合の電気抵抗のアニール時間依存性の比較から、最適な電極材料の選定を行った。

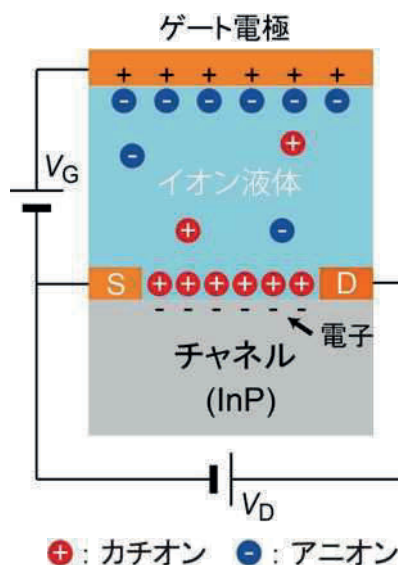


図 1: 電気二重層トランジスタの模式図。イオン液体がゲート絶縁体として用いられる。D はドレイン電極、S はソース電極 V_G はゲート電圧、 V_D はドレイン電圧を示す。

2-2) AFM による電極表面状態の評価

2-1)で述べたようにアニール処理により低い接触抵抗を有する電極の作製を行うが、このアニールの過程で、AuGe 電極と InP の間で化学反応が起こり、合金化が起こる。ここでの反応は主に電極と半導体の界面で起こるが、電極の厚さは 100~200 nm 程度と薄いため、反応が進むと電極全体の構造や表面状態にも影響を与える。アニール処理による化学反応の進展の程度は、光学顕微鏡や電子顕微鏡などの観察手法だけでなく、実際に電極の表面粗さや形状を定量的に評価できる原子間力顕微鏡（AFM）が威力を発揮する。InP の上に電極として成膜した AuGe 層と Ni 層の合計の厚み、またそれら電極の表面形状のアニール時間依存性について、AFM を用いた観察を行い、実際に高温アニールにより電極と半導体界面で化学的な反応が進んでいることを評価した。

2-3) 電気二重層トランジスタの作製

電気二重層トランジスタとは、電界効果型トランジスタ（いわゆる FET: Fiels Effect Transistor）の一種である[6]。通常の FET は、半導体チャネルとゲート電極の間に固体の絶縁膜を挿入した積層構造を有する。この絶縁膜は半導体チャネルに電界を印加するために必要で

ある。この固体の絶縁膜をイオン液体や電解質溶液で置き換えたものが、電気二重層トランジスタである。図 1 の模式図に示すように、半導体チャネルとゲート電極の間にイオン液体を挿入した構造を作る。その上で、ゲート電極とチャネル上のソース電極（図 1 参照）の間に正のゲート電圧 V_G を印加すると、ゲート電極表面にはイオン液体中の負イオンであるアニオンが、チャネル表面には正イオンであるカチオンが整列する。このとき、半導体チャネル内部の最表面では、カチオンに引きつけられた電子が整列する。すなわち、正電荷（カチオン）と負電荷（電子）の二重の層になっており、これは電気二重層と呼ばれる。この電気二重層の幅は 1 nm 程度であるが、静電容量の大きさが正負の電荷が相対する間隔の逆数に比例することに注意すると、大きな静電容量が実現されることがわかる。実際、電気二重層トランジスタにおける静電容量の値は、典型的には $\sim 10 \mu\text{F}/\text{cm}^2$ 程度であることが報告されており [7,8]、これは通常の固体絶縁体の静電容量の 100 倍程度大きい。そのため、外部電圧により半導体材料に静電キャリアを注入して物性測定などを行う場合には、低電圧で大きなキャリア密度を実現できるというメリットがある。

次に、InP をチャネルとする電気二重層トランジスタの作製プロセスの概略を説明する。購入した InP の 2 インチ基板を 5 mm x 5 mm 程度に分割した後、アセトンおよびエタノールに浸漬させそれぞれ 10 分間の超音波洗浄を行い、窒素ブローにより十分に乾燥させる。この基板に厚さが約 $3 \mu\text{m}$ となるように、ネガ型フォトリソ（ZPN1150、日本ゼオン製）をスピンコート法により塗布する。その後、90 °C のホットプレート上でバークし、レジストを固定する。この試料をマスクアライナ（ES410、ナノテック製）を用いて、フォトマスクを密着させてパターンの露光を行う。次に、110°C のホットプレート上でバークし、現像液（THMA 2.38% 水溶液）に 60 秒浸漬させて現像し、そして純水に 60 秒浸漬させて現像を停止させる。現像後の試料に抵抗加熱蒸着で AuGe を 140 nm、さらに電子ビーム蒸着で Ni を 35 nm 程度成膜し、リフトオフにより、InP 上に AuGe/Ni 電極が蒸着された状態にする。このあと、窒素ガス（もしくはフォーミングガス）をフローさせたランプ加熱炉

（MILA5000、アルバック理工）の中で、適当な時間および温度での高温アニールを行う。最後に、試料の電極およびチャネル部のみが露出し、残りはフォトリソで覆われている構造を作るために、改めて重ね合わせでのリソグラフィーを行う。これに、イオン液体（DEMETFSI、富士フィルム和光純薬）を適量塗布することで、電気二重層トランジスタの完成となる。

2-4) トランジスタ特性の評価

本研究では、トランジスタ特性の評価は、すべて $\sim 10^{-4}$ Pa 以下の真空中で行った。作製したデバ

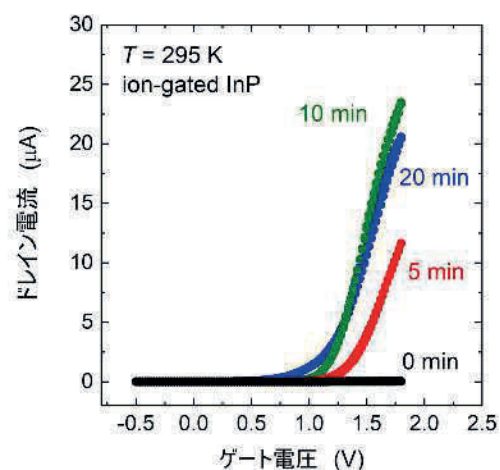


図 2: InP をチャネルとした電気二重層トランジスタの伝達特性の例。

イスを冷凍機のサンプルホルダーに取り付け、冷凍機内部を真空ポンプで排気する。評価測定を開始する前に、 $\sim 10^{-4}$ Pa 以下の真空中で 3 時間以上保持し、イオン液体を十分に脱気した。トランジスタ特性としては、室温での伝達特性、出力特性そして 2 端子および 4 端子法での電気抵抗の温度依存性の測定を行った。測定にはパソコンから測定用計測器を制御する自作のプログラムを用い、また半導体パラメータアナライザ (E5270B、キーサイト) と温度コントローラー (331 型、レイクショア社) をリモート制御し、測定データを自動で取得することで測定を行った。

3. 研究成果

3-1) 高温アニールによる接触抵抗の低下

InP をチャネル材料とする電気二重層トランジスタを作製するにあたり、様々な電極を用いたデバイスを試作した。その結果、AuGe/Ni を電極材料として用いた場合に、接触抵抗を抑えることができることを確認した。特に、電極作製後にアニール処理を施すことで、ゲート電圧印加時に流れるドレイン電流が増大する。図 2 (前ページ下部) は、AuGe/Ni 電極を用いた電気二重層トランジスタの伝達特性である[9]。アニール時間が 0 分の場合、ゲート電圧を印加してもドレイン電流は変化しないが、アニール時間を 5 分、10 分、20 分と増加させていくと、ゲート電圧が 1.0 V を超える辺りで、ドレイン電流が大きく増大することがわかった。このことは、AuGe/Ni 電極を用いてアニール処理を施すことで、InP 表面と AuGe が反応し、接触抵抗を下げるような化学的な反応が起こること、また電気二重層トランジスタに適した電極が作成できることを示す。また、アニールの温度および時間依存性を検討した結果、420 °C で約 20 分程度のアニール条件が適当であることがわかった。InP 上の電極作製に関する先行研究では、長くても数分程度のアニールしか行われていないが、本研究ではより長時間のアニールを系統的に行うことで、電気二重層トランジスタに適した電極が得られた。

また、原子間力顕微鏡による電極表面の観察をおこなったところ、アニール前後で大きな変化を観測した[9]。図 3(a)および(b)に示すように、アニール前の電極表面は一様に平坦であることがわかるが、アニールを施すことにより、電極全体に凹凸が観測されるようになる。これは、アニールにより電極金属と半導体が化学的に反応していることを示す。また、電極端周辺の高さプロファイルを図 3(c)に示すが、

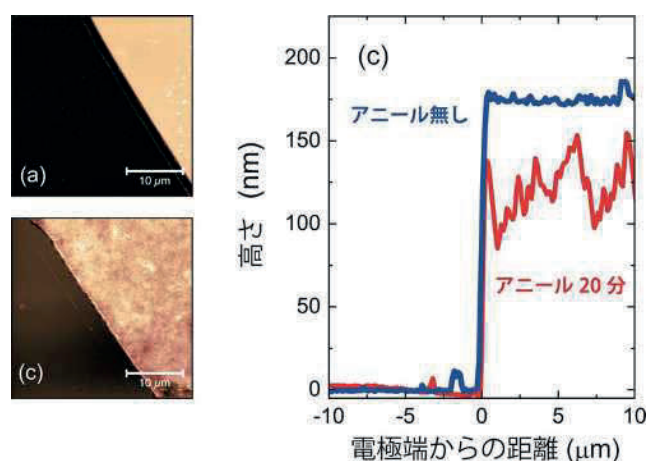


図 3: AFM による観察 (a)アニール無し。(b)アニール 20 分。(c) 電極端周辺の高さプロファイル。

20 分のアニールで、表面の平坦性が大きく変化していることがわかり、これはアニールによる電極と半導体との界面での化学反応の進行の程度を示している。

3-2) InP 電気二重層トランジスタの評価

3-1) で得られた結果を下に、InP をチャネルとした電気二重層トランジスタの作製を行い、300 K (約 27 °C) から 10 K (約マイナス 263 °C) までの低温領域において、トランジスタ特性および電気伝導特性の温度依存性の測定を行った。その結果、室温付近 (~300 K) だけでなく、10 K までの低温領域において低い接触抵抗を保つこと、またゲート電圧により高密度キャリア注入が可能であることがわかった。さらに、ゲート電圧を 1.2 V 程度印加することで、もともと絶縁体であった InP が、温度を下げるにしたがい電気抵抗が減少する金属的な電気伝導特性を示した。これは、外部電圧によって、InP を絶縁体から金属へ変化させることが可能であることを意味する。

4. 今後の展望

本研究より、InP をチャネルとした電気二重層トランジスタを動作させることに成功した。今後は、この電気二重層トランジスタ内における電極の接触抵抗を定量的に評価し、最適な電極材料の種類やアニール条件などを詳細に評価する必要がある。本研究では、これまで困難であると考えられていた化合物半導体の電気二重層トランジスタの作製に成功した。本研究における InP をベースとしたデバイスの作製はその第一歩であり、今後は他の様々な化合物半導体に拡張してゆきたい。近年、持続可能な社会の実現に向け、従来の半導体エレクトロニクスを超える様々な機能の創出を目指す上で、イオントロニクス研究の重要性が一層認識されるようになってきた。イオントロニクスとは「イオンの動きを利用したエレクトロニクス」の総称としての概念であり、リチウムイオン電池、全固体電池、抵抗変化メモリ、そして生体模倣素子や脳型デバイス他、多くの機能性デバイスが含まれる。近年、イオンと半導体界面を利用した新機能デバイスの研究が進んでいるが、チャネル材料がいくつかの材料系に限定されていた。本研究をさまざまな化合物半導体に適用することで、化合物半導体ベースのイオンデバイスがイオンと半導体界面の研究に用いることができるようになる。本研究をイオントロニクスの発展に繋げてゆく。

5. 参考文献

1. "Low resistance Ohmic contacts to n- and p-InP", E. Kuphal, *Solid-State Electronics* **24**, 69-78 (1981).
2. "AuGeNi Ohmic contacts to n-InP for FET applications", J. A. Del Alamo and T. Mizutani, *Solid-State Electronics* **31**, 1653-1639 (1988).
3. "Annealed AuGe based Ohmic contacts on InP with ion milling prior to metallization", J.

- Dunn and G. B. A Stringfellow, *Journal of Electronic Materials* **19**, L1-L3 (1990).
4. "Ohmic contacts formation on n-InP", J. Morais, T. A. Fazan, R. Landers, and E. A. S. Sato, *Journal of Applied Physics* **79**, 7058-7061 (1996).
 5. "Ohmic contacts for compound semiconductors", M. Murakami and Y. Koide, *Critical Review in Solid State and Materials Sciences* **23**, 1-60 (1998).
 6. "Endeavor of Iontronics: From Fundamentals to Applications of Ion-Controlled Electronics", S. Bisri, S. Shimizu, M. Nakano, and Y. Iwasa, *Advanced Materials* **29**, 1607054 (2017).
 7. "Gate-Optimized Thermoelectric Power Factor in Ultrathin WSe₂ Single Crystals", M. Yoshida, T. Iizuka, Y. Saito, M. Onga, R. Suzuki, Y. Zhang, Y. Iwasa, and S. Shimizu, *Nano Letters* **16**, 2061-2065 (2016).
 8. "Gate-Tuned Thermoelectric Power in Black Phosphorus", Y. Saito, T. Iizuka, T. Koretsune, R. Arita, S. Shimizu, Y. Iwasa, *Nano Letters* **16**, 4819-4824 (2016).
 9. "Electrically induced insulator-to-metal transition in InP-based ion-gated transistor", S. Shimizu, H. Shioya, T. Hatano, K. Miwa, A. Oiwa, S. Ono, *Scientific Reports* **14**, 30364 (2024).

研究題目	分散最適化をもちいた次世代電力系統の状態推定に関する研究
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部 電気電子工学科・助教・阿久津 慧
分野	理工系
キーワード	最適化問題, 分散化, 数値解析手法, 最尤推定

1. 研究の背景と目的

カーボンニュートラルの実現に向けて、分散型電源と呼ばれる自然エネルギーを利用した発電設備や定置型・移動型の蓄電池の活用が、国家的に推進されている。このような点的に導入される電力機器を適切に運用する技術が必須であり、そのための計画作成や状態観測・推定技術が重要である。例えば電線の電圧は、住宅間を繋ぐ電線の抵抗値などのパラメータに依存する。電線パラメータは、比較的新しい場合には公称的な値（カタログ値）から推測できるが、経年劣化によって変化することが考えられる。そして、実際のパラメータを計測するには、センサーを追加設置することが一般的である。一方で、センサーを追加せず、各機器や住宅の電力情報を集約し、中央集権的な情報処理によってパラメータを推定することも可能である。しかしながら、頻発しているネットワーク攻撃による電子データの漏洩など、サイバーセキュリティやデータプライバシーなどの視点から、中央集権型方策はのぞましくない[1]。そこで本研究は、局所的な情報交換および分散的な計算によって、電線パラメータの推定を実現することを目的とする。

2. 研究方法

住宅街を想定した電力系統を対象に、最適化問題の枠組みでパラメータ推定を定式化し、2つの方法で分散化する。また、シミュレーションにより動作検証を実施する。

【対象の定式化】

本研究では、一直線上に伸びる電線に、 n 軒の住宅が接続される配電系統を想定する。各住宅には、電力センサー、電圧センサーおよび位相角センサーが設置されており、自身の出力/消費電力および接続点での電圧・位相角が検出できるとする。Fig. 1 に対象系統の模式図を示す。



Fig. 1 : 対象とする配電系統

対象とする配電系統においては、以下の潮流方程式（電力、電圧および位相角の関係式）[2]が成り立つ．各記号の意味を Table 1 に示し、推定するパラメータを赤字にて強調する．

$$p_i = \sum_{j \in N_i^1} \left(G_{i,j} V_i^2 - V_i V_j (G_{i,j} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{i,j} \sin(\theta_i - \theta_j)) \right)$$

$$q_i = \sum_{j \in N_i^1} \left(-B_{i,j} V_i^2 - V_i V_j (-B_{i,j} \cos(\theta_i - \theta_j) + G_{i,j} \sin(\theta_i - \theta_j)) \right)$$

記号	意味	記号	意味
p_i	有効電力	$G_{i,j}$	住宅 $i-j$ 間の電線パラメータ（抵抗分）
q_i	無効電力	$B_{i,j}$	住宅 $i-j$ 間の電線パラメータ（リアクタンス分）
V_i	接続点の電圧	N_i^1	住宅 i に隣接する住宅の集合
θ_i	接続点の電圧位相角		

【対数尤度関数の導出と最適化問題による推定の定式化】

各住宅はノイズを含む電力を観測できるとする．有効電力に対するノイズを w_i^p ，無効電力に対するノイズを w_i^q とすると，有効電力の観測値は $z_i^p = p_i + w_i^p$ ，無効電力の観測値 $z_i^q = q_i + w_i^q$ となる．ノイズ w_i^p および w_i^q は，ガウスノイズであると仮定すると，それぞれの確率密度関数 $P(w_i^p)$ ， $P(w_i^q)$ は，以下のように記述できる．なお $(\sigma_i^p)^2$ ， $(\sigma_i^q)^2$ は分散をあらわす．

$$P(w_i^p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i^p} \exp\left(-\frac{(w_i^p)^2}{2(\sigma_i^p)^2}\right), P(w_i^q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i^q} \exp\left(-\frac{(w_i^q)^2}{2(\sigma_i^q)^2}\right)$$

有効電力に対するノイズと無効電力に対するノイズが独立であると仮定し，その同時確率分布から対数尤度関数を導出すると以下の式となる．

$$\log\left(\frac{1}{2\pi\sigma_i^p\sigma_i^q}\right) - \frac{(z_i^p - p_i)^2}{2(\sigma_i^p)^2} - \frac{(z_i^q - q_i)^2}{2(\sigma_i^q)^2}$$

対数尤度関数における第1項には，今回推定をしたい電線パラメータ $G_{i,j}$ ， $B_{i,j}$ は含まれていない．一方で，潮流方程式の右辺に電線パラメータ $G_{i,j}$ ， $B_{i,j}$ が含まれており，第2項の p_i および第3項の q_i に代入する．本研究では，簡単のために分散 $(\sigma_i^p)^2$ ， $(\sigma_i^q)^2$ は住宅によらず同じ値であると仮定し，最適化問題（最小化問題）として推定方法を定式化すると，次の式となる．

$$\min_{\substack{G_{i,j}, B_{i,j} \\ i \in N, j \in N_i^1}} \sum_{i \in N} \left(\sum_{j \in N_i^1} \left(G_{i,j} V_i^2 - V_i V_j (G_{i,j} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{i,j} \sin(\theta_i - \theta_j)) \right) - z_i^p \right)^2$$

$$+ \sum_{i \in N} \left(\sum_{j \in N_i^1} \left(-B_{i,j} V_i^2 - V_i V_j (-B_{i,j} \cos(\theta_i - \theta_j) + G_{i,j} \sin(\theta_i - \theta_j)) \right) - z_i^q \right)^2$$

subject to $G_{i,j} > 0, B_{i,j} < 0$

上記の最適化問題は，中央集権的に解くことと等価であるため，分散的な計算方法を考える．

【分散的な計算方法1：最適化問題の分散化と Jacobi 法による計算[3]】

$\mathbf{x}_{ij} = [G_{i,j} \ B_{i,j}]^T$ とし、上記の最適化問題の評価関数を各電線（住宅 $i-j$ 間）のパラメータについて分散化をする。したがって、分散化した最適化問題は以下の式となり、隣接する電線および関係する住宅の情報のみあれば計算できる。

$$\begin{aligned} \min_{\substack{G_{i,j}, B_{i,j} \\ i \in N, j \in N_i^1}} f_{ij}(\mathbf{x}_{ij}) + \sum_{k \in N_i^1} f_{ijk}(\mathbf{x}_{ij}, \mathbf{x}_{ik}) + \sum_{l \in N_j^1} f_{jli}(\mathbf{x}_{jl}, \mathbf{x}_{ji}) \\ \text{subject to } G_{ij} > 0, B_{ij} < 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ij}(\mathbf{x}_{ij}) &:= G_{i,j}^2(V_i^2 + V_j^2)(V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j \cos(\theta_i - \theta_j)) \\ &\quad + 2G_{i,j}\{V_i z_i^p(-V_i + V_j \cos(\theta_i - \theta_j)) + V_j z_j^p(-V_j + V_i \cos(\theta_i - \theta_j)) \\ &\quad + V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j)(z_i^q - z_j^q)\} \\ &\quad + B_{i,j}^2(V_i^2 + V_j^2)(V_i^2 + V_j^2 - 2V_iV_j \cos(\theta_i - \theta_j)) \\ &\quad + 2B_{i,j}\{V_i z_i^q(V_i - V_j \cos(\theta_i - \theta_j)) \\ &\quad + V_j z_j^q(V_j - V_i \cos(\theta_i - \theta_j) + V_i V_j \sin(\theta_i - \theta_j)(z_i^p - z_j^p))\} \\ f_{ijk}(\mathbf{x}_{ij}, \mathbf{x}_{ik}) &:= 2G_{i,j}V_i^2\{G_{i,k}(V_i^2 - V_iV_j \cos(\theta_i - \theta_j) - V_iV_k \cos(\theta_i - \theta_k) + V_jV_k \cos(\theta_j - \theta_k)) \\ &\quad + B_{i,k}(V_iV_j \sin(\theta_i - \theta_j) - V_iV_k \sin(\theta_i - \theta_k) + V_jV_k \sin(2\theta_i - \theta_j - \theta_k))\} \\ &\quad + 2B_{i,j}V_i^2\{B_{i,k}(V_i^2 - V_iV_j \cos(\theta_i - \theta_j) - V_iV_k \cos(\theta_i - \theta_k) + V_jV_k \cos(\theta_j - \theta_k)) \\ &\quad + G_{i,k}(-V_iV_j \sin(\theta_i - \theta_j) + V_iV_k \sin(\theta_i - \theta_k) - V_jV_k \sin(2\theta_i - \theta_j - \theta_k))\} \\ \mathbf{x}_{ij}^\# \text{ を分散化した最適化問題の局所最適解とする. } J_{ij}(\mathbf{x}_{ij}) &= f_{ij}(\mathbf{x}_{ij}) + f_{ijk}(\mathbf{x}_{ij}, \mathbf{x}_{ik}) + f_{jli}(\mathbf{x}_{jl}, \mathbf{x}_{ji}) \\ \text{とおくと, } \mathbf{x}_{ij}^\# \text{ が満たす 1 次の最適性条件は, 次の式となる.} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial J_{ij}(\mathbf{x}_{ij})}{\partial \mathbf{x}_{ij}} = \mathbf{0}_2$$

これは連立方程式であるため、Jacobi 法などの情報交換をもちいた計算方法により、分散的な計算が可能である。Jacobi 法とは、前回値との差分が設定値を下回るまで、下記 1-3 の手順を繰り返しおこなうことにより、計算機上で連立方程式を計算する一般的な方法である。

1. 隣接する電線の1ステップ前のパラメータ \mathbf{x}_{ik} , \mathbf{x}_{jl} の推定値を情報交換
2. その値を利用して自身のパラメータの推定値 \mathbf{x}_{ij} を更新
3. 隣接する電線の推定機構に情報交換

【分散的な計算方法2：集権的な最適化問題の Newton 法による計算とその分散化】

中央集権的な最適化問題の変数を $\mathbf{x} = [G_{1,2} \ B_{1,2} \ G_{2,3} \ B_{2,3} \ \cdots \ G_{n-1,n} \ B_{n-1,n}]$ とし、評価関数を $f(\mathbf{x})$ とおく。この評価関数 $f(\mathbf{x})$ の勾配ベクトル $\nabla f(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{2(n-1)}$ および Hesse 行列 $\nabla^2 f(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{2(n-1) \times 2(n-1)}$ は以下となる。なお $\nabla f(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^{2(n-1)}$ は、中央集権的な最適化問題の1次の最適性条件である。

$$\nabla f(\mathbf{x}) = \left[\frac{\partial f}{\partial G_{1,2}} \ \frac{\partial f}{\partial B_{1,2}} \ \frac{\partial f}{\partial G_{2,3}} \ \frac{\partial f}{\partial B_{2,3}} \ \cdots \ \frac{\partial f}{\partial G_{n-1,n}} \ \frac{\partial f}{\partial B_{n-1,n}} \right]^T$$

$$\nabla^2 f(x) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial G_{1,2} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{1,2} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{1,2} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{1,2} \partial B_{n-1,n}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{1,2} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{1,2} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{1,2} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{1,2} \partial B_{n-1,n}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial G_{2,3} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{2,3} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{2,3} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{2,3} \partial B_{n-1,n}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{2,3} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{2,3} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{2,3} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{2,3} \partial B_{n-1,n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial G_{n-1,n} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{n-1,n} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{n-1,n} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{n-1,n} \partial B_{n-1,n}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{n-1,n} \partial G_{1,2}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{n-1,n} \partial B_{1,2}} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{n-1,n} \partial G_{n-1,n}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{n-1,n} \partial B_{n-1,n}} \end{bmatrix}$$

上記の式をもちいて、下記の手順を繰り返すことで解を計算する方法は **Newton 法** と呼ばれ、計算機上での非線形連立方程式の計算にもちいられる一般的な手法である。

1. $d(a) = -(\nabla^2 f(x(a)))^{-1} \nabla f(x(a))$ を計算
2. $d(a)$ が設定した閾値を下回った場合、計算終了
3. $x(a+1) = x(a) + d(a)$ により推定値を更新

本研究では、 $\nabla^2 f(x(a))$ から電線 $i-j$ に関して必要な箇所だけを抜き出すことで、分散的な計算を実現する。各電線は自身のパラメータ $G_{i,j}$, $B_{i,j}$ と、住宅 i 側で隣接する電線のパラメータ $G_{i,k}$, $B_{i,k}$ および住宅 j 側で隣接する電線のパラメータ $G_{j,l}$, $B_{j,l}$ に関する箇所だけを抜き出せば良い。今回対象とする Fig. 1 に示す系統では、抜き出した行列 A_{ij} は次式となる。

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j} \partial B_{j,l}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j} \partial B_{j,l}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k} \partial B_{j,l}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k} \partial B_{j,l}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l} \partial B_{j,l}} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial G_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial B_{i,j}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial G_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial B_{i,k}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial G_{j,l}} & \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l} \partial B_{j,l}} \end{bmatrix}$$

また、 $A_{i,j}$ の逆行列を $C_{i,j}$ として、次のように定める。紙面の都合上、 c_{11} 等の各成分に対する計算式は省略する。

$$(A_{i,j})^{-1} = C_{i,j} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{bmatrix}$$

局所的な勾配ベクトルは、次式のように定める。

$$\mathbf{u}_{ij} = \left[\frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,j}} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,j}} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial G_{i,k}} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial B_{i,k}} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial G_{j,l}} \quad \frac{\partial^2 f}{\partial B_{j,l}} \right]^T$$

以上より、局所的な情報のみで推定値を更新する式は、次のようになる。

$$d_{i,j}(a) = [dG_{i,j}(a) \quad dB_{i,j}(a) \quad dG_{i,k}(a) \quad dB_{i,k}(a) \quad dG_{j,l}(a) \quad dB_{j,l}(a)]^T = \mathbf{C}_{i,j} \mathbf{u}_{i,j}$$

ただし、各電線は自身（住宅 $i-j$ 間）のパラメータのみ計算できればよいので、

$$\hat{\mathbf{C}}_{i,j} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \end{bmatrix}$$

をもちいて、 $\hat{d}_{i,j}$ を計算し、推定値を更新すればよい。

$$\hat{d}_{i,j}(a) = \begin{bmatrix} dG_{i,j}(a) \\ dB_{i,j}(a) \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{C}}_{i,j} \mathbf{u}_{i,j}$$

以上より、Newton 法にもとづく分散的な計算手順は以下となる。

1. $\hat{d}_{i,j}(a) = \hat{\mathbf{C}}_{i,j} \mathbf{u}_{i,j}$ を計算
2. $\hat{d}_{i,j}(a)$ が設定した閾値を下回った場合、計算終了
3. $x_{ij}(a+1) = x_{ij}(a) + \hat{d}_{i,j}(a)$ により推定値を更新

3. 研究成果

ここでは、2つの分散的な計算方法について、シミュレーション検証した結果を Fig. 2 および Fig.3 に示す。なお、真値への収束をまずは確認するため、ノイズはなしとした。詳細な条件は文献[4]を参照されたい。×が真値、△が集権的な方法、○が分散的な方法をあらわす。閾値は 1.0×10^{-5} とした。

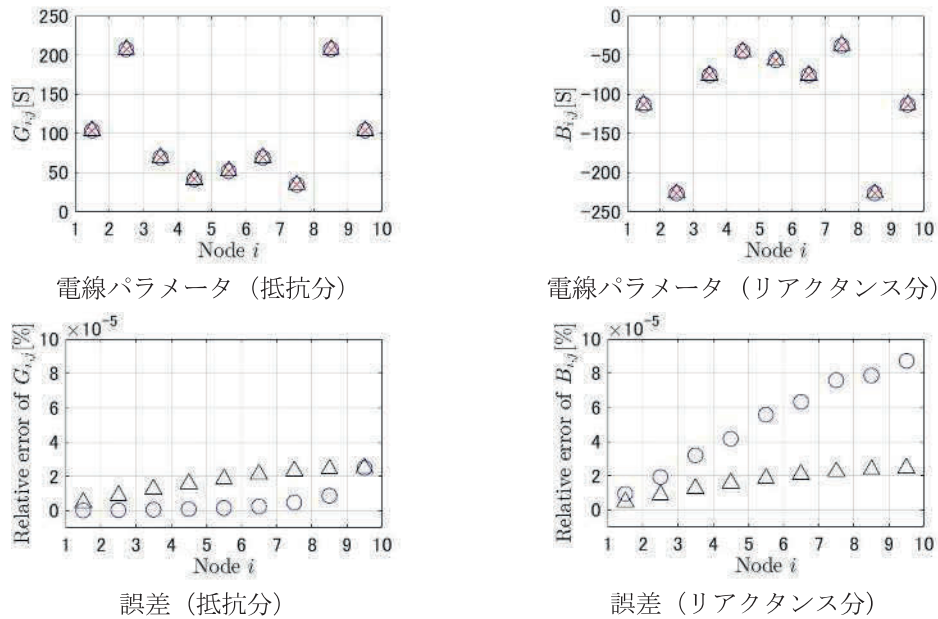
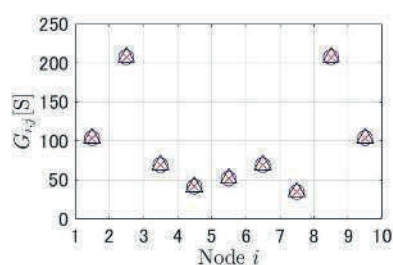
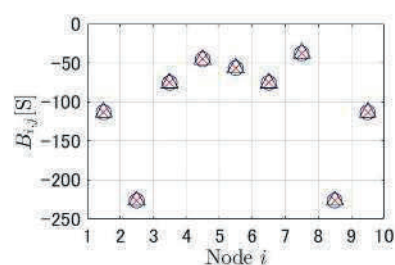


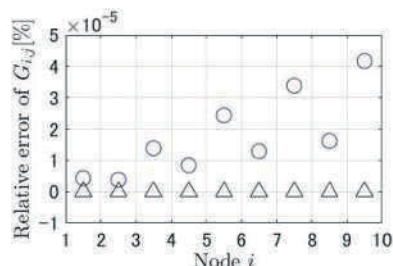
Fig. 2: Jacobi 法による計算結果



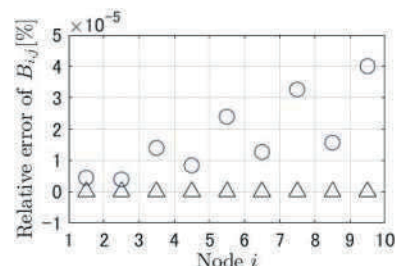
電線パラメータ（抵抗分）



電線パラメータ（リアクタンス分）



誤差（抵抗分）



誤差（リアクタンス分）

Fig. 3: 分散的な Newton 法による計算結果

Fig. 2 および 3 から、分散的な計算方法によっても、推定値が真値へ収束していることを確認できる。また、その誤差も非常に小さいことがわかる。なお、計算に必要な繰返し回数は Jacobi 法が 298 回、Newton 法にもとづく方法は 85 回であった。

4. 今後の展望

電線パラメータを分散的に推定する方法について、最適化問題および数値解析手法をもとに検討し、さらにはシミュレーションにより動作検証もおこない、真値への収束が確認できた。今後は、電力観測値にノイズがある場合での検証や、電力データの改ざんを検出する手法へ応用する予定である。

5. 参考文献

- [1]. 石井: 電力系統へのサイバー攻撃に対する分散型侵入検知, 計測と制御, Vol 53, No 10, pp.916-921 (2014)
- [2]. 加藤: 詳解 電力系統工学, 東京電機大学出版局 (2017)
- [3]. H. Ferraz *et. al* "Node Localization Based on Distributed Constrained Optimization using Jacobi's Method", *In the Proceedings of the 56th IEEE Conf. on Decision and Control* (2017)
- [4]. 北ほか: 配電線パラメータの分散型推定に関する考察, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, GS03-8 (2024)

研究題目	赤外線サーモグラフィ法および打撃試験の併用による鉄道橋合成桁支承部の欠陥評価手法の開発
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部 環境・社会基盤工学科・准教授・内田慎哉
分野	コンクリート工学
キーワード	鋼橋支承部, 空隙, 非破壊試験, 赤外線サーモグラフィ法, 打撃試験

1. 研究の背景と目的

ソールプレートとは、支承部において鋼橋の主桁の下フランジと上杓との間に配置される鋼板であり、荷重を主桁に均一に作用させる役割を担っている。このソールプレートと下フランジは、すみ肉溶接によって接合されている（写真1参照）。既往の研究¹⁾によると、支承の機能低下に加えて、溶接されたソールプレート・下フランジ間に空隙が存在すると、溶接部からの疲労き裂の発生寿命が著しく短くなることが明らかとなっている。現在、空隙への樹脂充填²⁾やタップボルトによる鋼板の締結³⁾といった予防保全対策が考案されており、これらを実施するためには、橋梁点検の際にソールプレート・下フランジ間の空隙の有無を把握することが重要となる。

現在行われている橋梁点検は、目視検査が主であり、必要に応じて触診や点検ハンマによる打音検査が行われている。しかし目視検査は、遠距離からの把握が難しく、触診・打音点検は、点検者の主観に頼るため精度にばらつきが生じる。また、測定データが残らない等の問題点を抱えている。したがって、現場において、定量的かつ簡便な点検手法の導入が望まれている。このような背景に対し、加速度センサを内蔵したハンマによる計測は、従来の点検ハンマと同様の手軽さで実施できるうえ、得られたデジタルデータによる定量的かつ客観的な評価が可能となる。

そこで本研究では、すみ肉溶接を省略したソールプレート・下フランジ間にスペーサーを設置して空隙を模擬した試験体を対象に、赤外線サーモグラフィ法および加速度センサを内蔵したハンマによる打撃試験を行い、空隙の有無が受信波形に与える影響について検討することを目的とした。なお、本報告書では、頁数の制約から、打撃試験の結果のみ記載することとした。



写真1 鋼橋支承部

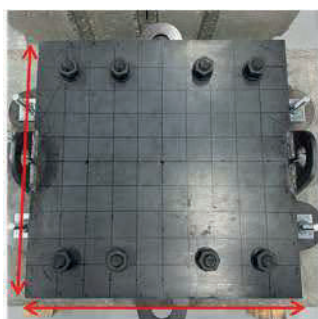
2. 実験概要

2. 1 試験体

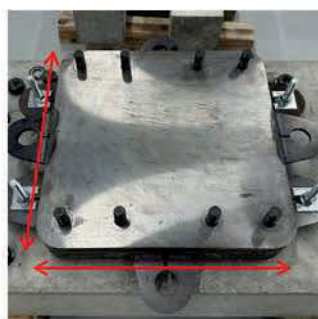
研究を実施するために、鋼橋支承部を模擬した試験体を用意した。概要を写真2に示す。
下フランジ（520 mm×520 mm×厚さ 12 mm）、ソールプレート（480 mm×480 mm×厚さ 28 mm）および鋼板（480 mm×480 mm×厚さ 50 mm）を高力ボルトで締結し、それをアンカーボルトでコンクリートに固定した。空隙は、厚さ 1.0 mm のシムリングを、ソールプレートと下フランジ間のボルトに通して設置することで模擬した（写真3）。ここで、空隙の大きさは、隙間ゲージにより測定した（写真4）。その結果、ソールプレートと下フランジ間には、概ね 0.80～0.90 mm の空隙が導入されていることを確認した。したがって、シムリングを設置したものは「空隙あり」、設置していないものを「空隙なし」の試験体と定義した。



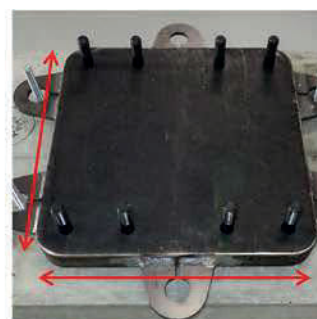
(a) 試験体の構成



(b) 下フランジ



(c) ソールプレート



(d) 鋼板

写真2 鋼橋支承部を模擬した試験体

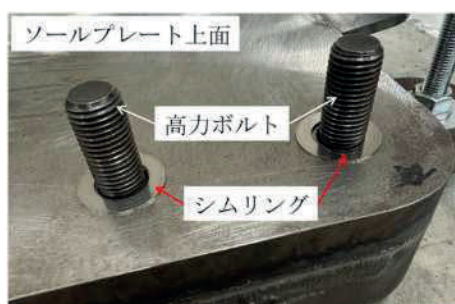


写真3 シムリングの設置状況

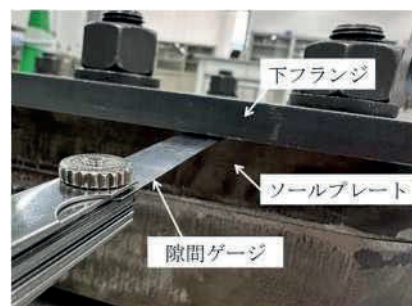


写真4 空隙の厚さの測定状況

2. 2 打撃試験

写真 5 に、打撃試験の状況を示す。本研究で使用したハンマには加速度センサが内蔵されており、総質量 1400 g である。加速度センサ内蔵ハンマでの打撃は、下フランジ上面とし、50 mm 間隔で行った（写真 5 に示す●印）。打撃により得られる波形は横軸：時間、縦軸：加速度の時刻歴波形となり、サンプリング時間間隔 $0.5 \mu\text{s}$ 、測定時間長 2 ms でデジタル化した後、PC に記録した。

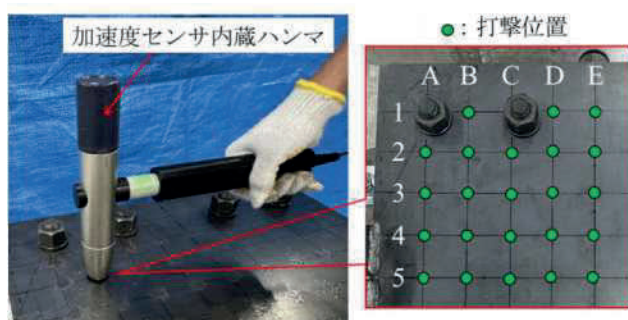


写真 5 打撃試験の状況

2. 3 実験結果および考察

(1) 受信波形の形状

「空隙なし」および「空隙あり」試験体において、各打撃位置をハンマで打撃した際の受信波形として代表的なものをそれぞれ図 1、図 2 に示す。「空隙なし」のケースでは、ピークが一つ

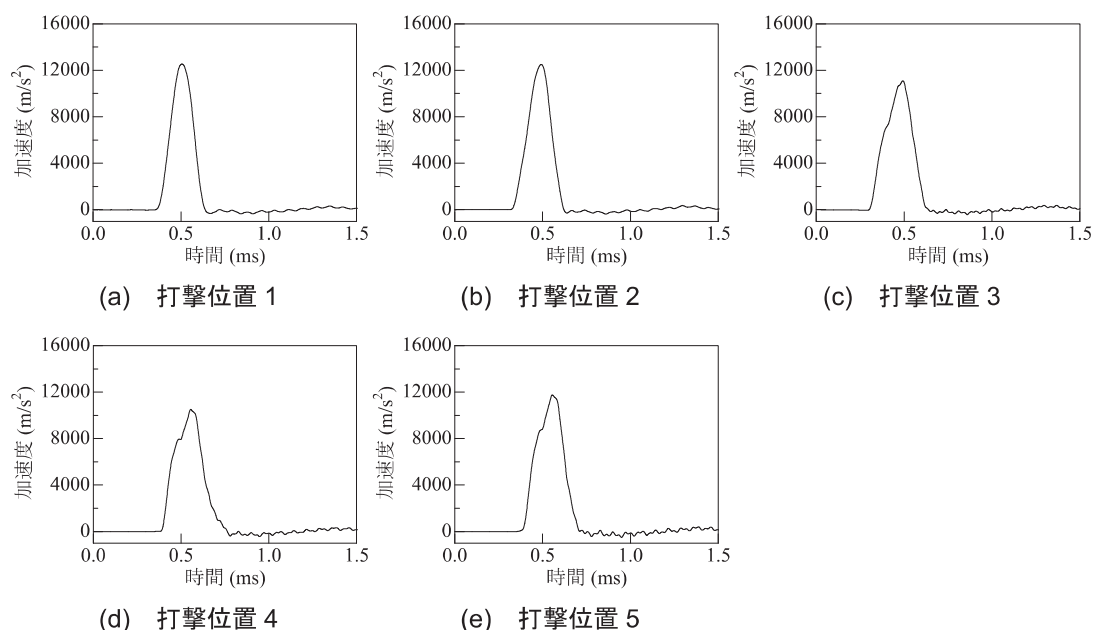


図 1 受信波形の例（空隙なし）

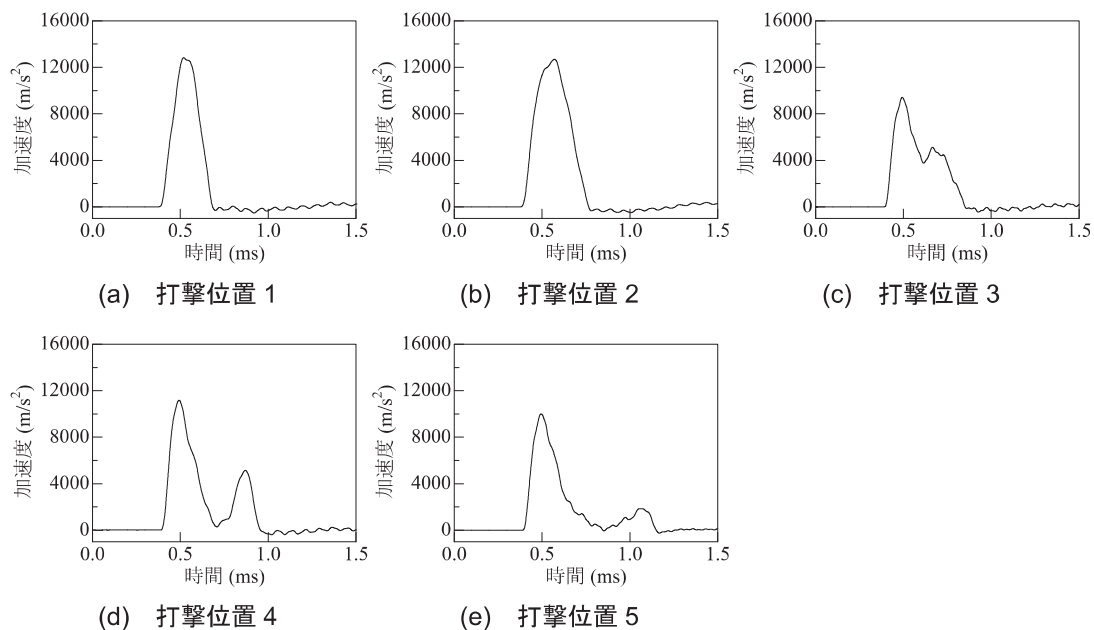


図2 受信波形の例（空隙あり）

で、概ね左右対称の波形（例えば、図1(a)）、およびピークが一つでピーク以前の前半部分がやや広がった形状（例えば、図1(e)）の受信波形となった。一方、「空隙あり」のケースでは、ピークが複数あり、かつ時間軸方向に幅の広い形状（例えば、図2(e)）になった。また、打撃位置3と5で比較すると、打撃位置5の波形の方が、時間軸方向に広がっていることがわかる。

「空隙あり」のケースでは、打撃箇所が高力ボルトから離れるほど、波形の裾野が広がる傾向にあった。このような受信波形が得られる理由について考察した。

「空隙あり」のケースでは、下フランジは高力ボルト締結部を固定端とした片持ち梁に近い構造となる。これを打撃すると、図3に示すとおり、下フランジには慣性による抵抗力が作用して、ハンマを押し戻す方向に慣性抵抗力が生じる。その挙動をハンマに内蔵した加速度センサで捉えると、図中の赤色の波形となる。打撃により下フランジはハンマに押されてたわみ変形を生じると同時に、その変形に対する抵抗力が作用してハンマを押し戻す方向のたわみ抵抗も生じる（図3中の青色波形）。その後、下フランジはもとの位置に戻ろうとするため、ハンマを押し戻す方向に復元力が生じる（図3中の緑色波形）。これらの下フランジの挙動を加速度センサが受信したことで、ピークが複数で時間軸方向に幅の広い波形が得られたと考えられる。なお、打撃位置がボルト（固定端）から離れるほど、下フランジにはより大きな変形（たわみ）が生じる。その結果、復元力が生じる時刻はたわみ抵抗が生じる時刻と比較してかなり遅くなり、たわみ抵抗による波形（図3中の青色波形）と復元力による波形（図3中の緑色波形）が分離（例えば、図2(e)）する。一方、「空隙なし」のケースでは、図4のとおり、打撃により下フランジが変形するが、ソールプレートと鋼板が下フランジと一体になって打撃力に対して抵抗するため、慣性抵抗力が支配的（図4中の赤色波形）となり、ピークが一つの受信波形（例えば、図1(a)）およ

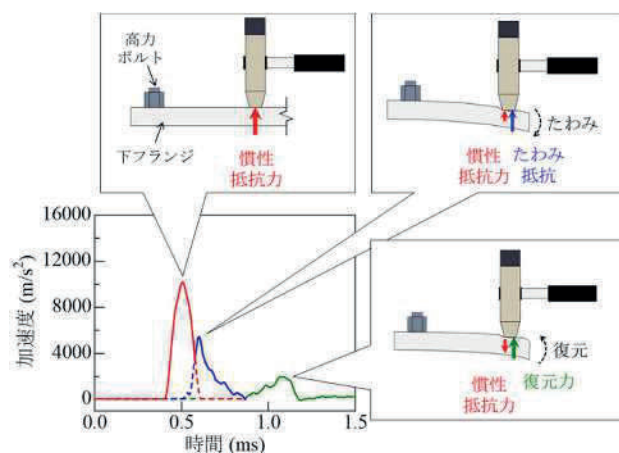


図3 受信波形と下フランジの挙動（空隙あり）

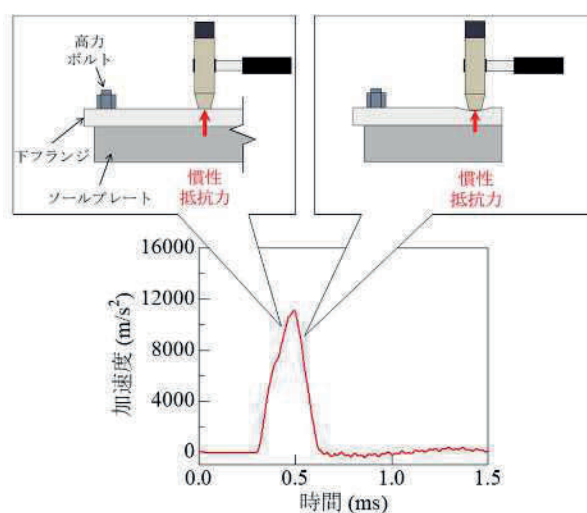


図4 受信波形と下フランジの挙動（空隙なし）

び(e)) となると考えられる。

以上より、受信波形の形状の変化に着目することで、ソールプレート・下フランジ間の空隙を非破壊で検出できる可能性があることがわかった。

(2) ピーク時間差

受信波形の結果から、ソールプレート・下フランジ間に空隙がないケースでは、下フランジの慣性抵抗が支配的となり、空隙があるケースでは、それに加えてたわみ抵抗・復元力といった応答が出現する。また、慣性抵抗に対して、たわみ抵抗・復元力は遅れて生じるため、本研究では、信号処理によりこれらの応答を分離（図5）したうえで、慣性抵抗による波形とたわみ抵抗による波形のそれぞれのピークの間隔をピーク時間差として定義し、これを算出することで、空隙の有無の定量的な評価を試みた。

ピーク時間差の算出方法を示す。まず、得られた受信波形の一つ目のピークまでの部分を抜き

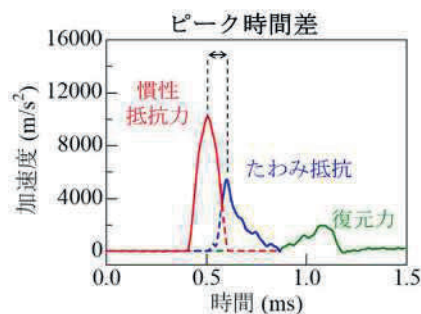


図5 ピーク時間差の定義

出し、そのピークを中心に左右対称に折り返すことで慣性抵抗力による波形が得られる。次に、受信波形から慣性抵抗力による波形を差し引くことで、たわみ抵抗および復元力による波形が得られる。得られた慣性抵抗力による波形とたわみ抵抗および復元力による波形を時間軸上に並べ、慣性抵抗力による波形を時間軸上で動かしながら、たわみ抵抗および復元力による波形との相互相関関数を算出する。この相互相関関数が最大となった時間をピーク時間差として算出した。

図6にピーク時間差の算出結果を示す。なお、図中に示したA-2、B-1、C-2などの表記は、それぞれAの列の打撃位置2、Bの列の打撃位置1、Cの列の打撃位置2を打撃したときの結果であることを示している（写真5参照）。図6より、空隙なしのケースでは、すべての打撃位置の

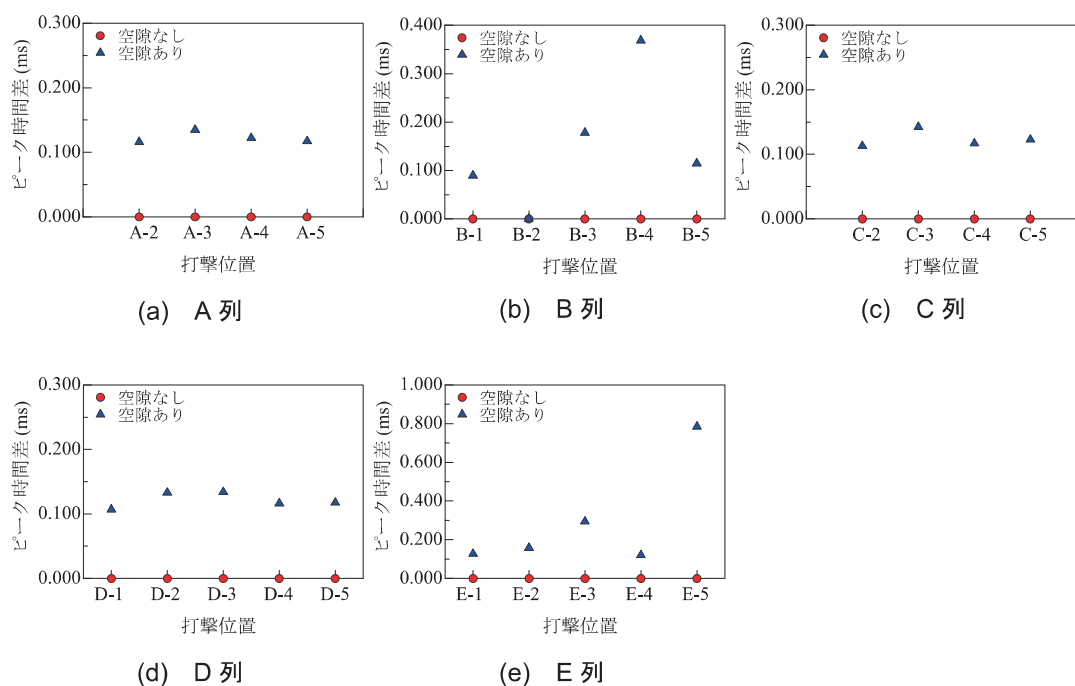


図6 ピーク時間差

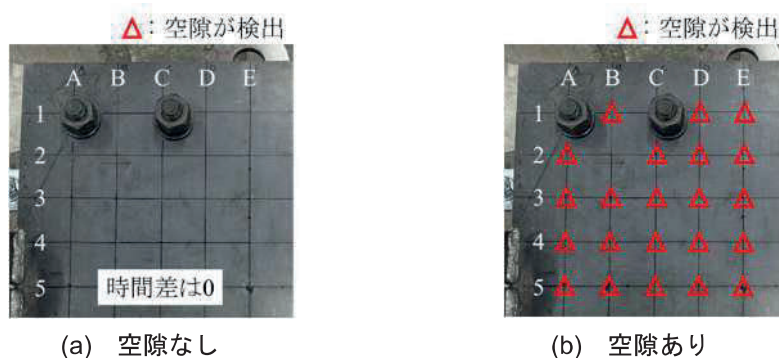


図7 ピーク時間差の算出結果

結果においてピーク時間差が算出されない(0 ms)ことがわかった。一方で、空隙ありのケースでは、B-2の打撃位置(図6(b)参照)を除き、すべての打撃位置の結果においてピーク時間差が算出された。また、算出されたピーク時間差に着目すると、概ね0.100~0.200 msの時間差となっている。これは、図5に示したとおり、下フランジの慣性抵抗力の波形に対して、たわみ抵抗による波形とのピーク時間差を捉えているものだと考えられる。一部、算出されたピーク時間差が大きくなるケースが確認された(例えば、図6(b)のB-4)理由としては、相互相関関数が波形後半に現れる復元力による波形のピークに強く反応したためだと考えられる。

以上より、ピーク時間差が算出された場合は、鋼板間に空隙があると判断することができる。ここで、下フランジの打撃位置とピーク時間差の算出の有無を図7にまとめた。図より、ピーク時間差の算出の有無に着目することで、鋼板間の空隙を検出できる可能性が示された。

3. まとめ

本研究では、すみ肉溶接を省略したソールプレート・下フランジ間の空隙の有無が加速度センサを内蔵したハンマによる打撃試験で得られる受信波形に与える影響について検討した。得られた結論を以下に示す。

- (1) 鋼板間に空隙がある場合は、ピークが複数あり、かつ時間軸方向に幅の広い受信波形となる一方で、空隙がない場合は、ピークが一つの波形形状となった。
- (2) ハンマに内蔵した加速度センサは下フランジの慣性抵抗力のほか、たわみ抵抗、復元力により生じる応答も捉えている。信号処理により、これらの応答を分離し、慣性抵抗力和たわみ抵抗との波形のピークの間隔をピーク時間差として定義し、これを算出した結果、空隙がない場合はピーク時間差が算出されず、空隙がある場合はピーク時間差が算出された。
- (3) 上記(1)、(2)より、ピーク時間差の算出の有無に着目することで、鋼板間の空隙を検出することができる。

4. 今後の展望

赤外線サーモグラフィ法の結果については頁数の制約から割愛したが、鉄道橋合成桁支承部

の欠陥評価への適用は困難であった。一方、打撃試験については、鋼板間の空隙を評価できることが明らかになったため、今後は、ソールプレート・下フランジをすみ肉溶接した試験体を対象として、空隙の検出を試みる予定である。

5. 参考文献

- 1) 舘石和雄，名取暢，三木千寿：プレートガーダー支承部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No.489，I-27，pp.167-176，1994.
- 2) 玉利仁，石川敏之，廣畑幹人，堤成一郎：樹脂充填によるソールプレートの溶接ルート部の疲労強度向上効果，鋼構造論文集，Vol.28，No.110，pp.51-60，2021.
- 3) 丹羽雄一郎：鋼橋支承部ソールプレート溶接部の疲労き裂に対する予防保全型維持管理手法に関する研究，名古屋大学大学院工学研究科，博士論文，2024.

研究題目	全天候型ドローンを用いた降水粒子観測
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部 環境・社会基盤工学科 講師 吉見和紘
分野	水工学・水文学
キーワード	降水粒子観測、全天候型ドローン、Rainscope

1. 研究の背景と目的

現在,我が国では様々な手法で気象観測が行われている.現在の代表的な気象観測手法として,気象レーダ,静止気象衛星,アメダス(AMeDAS),ラジオゾンデ,ウィンドプロファイラ(WPR)などが挙げられる¹⁾.それぞれの手法は観測対象および観測高度に応じて異なる特徴を有している.例えば,気象レーダは上空の降水粒子,降雨強度,風向・風速などを観測しており,アメダスは地上の気温,降水量,風向・風速,日照時間などを観測している.このように,気象観測には多様な要素が含まれるが,近年の豪雨の頻発やそれに伴う洪水,土砂災害が大きな問題となっている.これらの災害の被害を軽減する上で,「降水」に関する情報は重要であり,本研究では降水に着目する.例えば,地上の降雨は雨量計を用いて観測されている.雨量観測所は全国で約1,300か所あり,点的な観測を行っている²⁾.一方で,上空の降水は気象レーダ,ゾンデ,気象衛星などで観測されている.中でも気象レーダに関しては,気象庁所管のレーダー20基³⁾と国交省所管のレーダー65基⁴⁾が全国に配備されており,面的な観測を行っている.

以上のように,地上および上空における降水の観測は全国各地で行われている.しかしながら,これらの観測手法にはいくつか課題が挙げられる.気象レーダは,図-1に示す青色の枠で示されている領域を観測しており,

一般的に高度500mから15kmの範囲を観測している.気象衛星は,水色の枠で示されている領域を観測しており,様々な種類の衛星画像を用いて雲,風,降水などを観測する.また,ゾンデは,青色の実線に沿って地上から高度約15kmまでの気温,気圧,湿度,風向,風速などの気象情報を観測する.転倒ます型雨量計は,地上の観測点に到達した雨滴を観測する.これらの観測手法を組み合わせても,図-1の赤枠で示した高度0mから約500mの領域にお

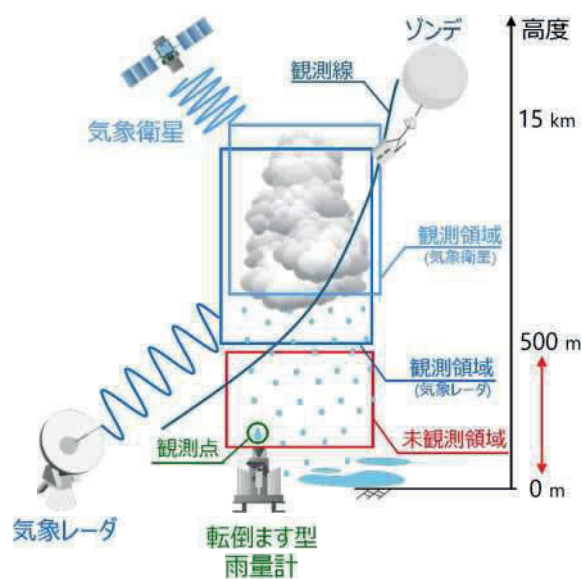


図-1 各気象観測手法の観測高度

いては、観測が十分に行えていないのが現状である。

本研究では、このような課題を解決する手法の確立を目標に、申請者らが開発した全天候型気象観測用 UAV（ドローン）：MARSHALL を用いた上空気象観測技術の実用性を検討する。具体的には、雨と雪を観測可能な北陸地域をフィールドに、ドローンによる降水粒子観測を実施し、上空気象データの信頼性を向上させる道筋をつけることを目的とする。ドローンが飛行可能な高度(高度 150m 以下)において、降水粒子(降雨)の画像と落下速度を観測する。撮影された粒子画像データを独自に開発したアルゴリズムで解析することで、落下する粒子の粒子径を算出し、雨滴粒径分布を求めることで、観測結果の妥当性を検証する。

ドローンを用いた気象観測は近年、様々な国や地域で実施されており、世界的にも注目されている気象観測手段になりつつある。一方で、既往研究では、気温、温度、気圧などの観測^{5),6),7),8),9)}は実施されているものの、降水粒子観測の実施例は報告されていない。

2. 研究方法

実験に使用した機器は背景で述べた MARSHALL(詳細は後述)を用いた。実験方法としては、地上でドローンを静止させた状態(地上測定)と空中でドローンをホバリングさせた状態(空中測定)で降水粒子の観測を行った。実験で得られるデータは、粒子画像と粒子のセンサ通過時間であるため、それらのデータに対して解析を行い、降水粒子の粒径および落下速度の算出を行った。地上で観測を行ったデータと空中で観測を行ったデータを雨滴粒径分布および雨滴粒径と

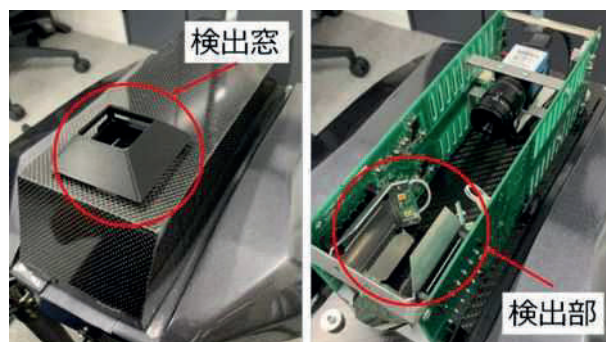


図-2 Rainscope の外観(左図)と内観(右図)

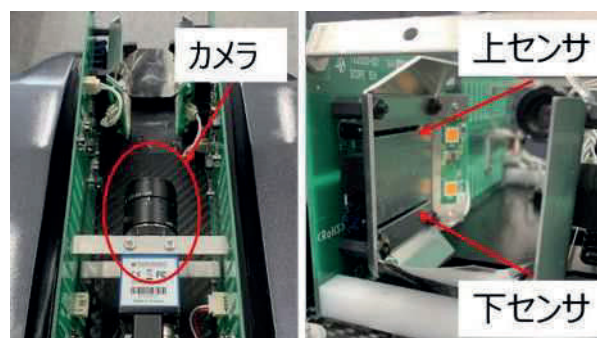


図-3 Rainscope 内部のカメラ(左図)とシャッターセンサ位置(右図)

表-1 Rainscope の仕様

項目	仕様
画像視野	32×24 mm
色調	モノクロ(モノクローム)
解像度	640×480 ピクセル
撮影間隔	0.2 秒
シャッター速度	19 μm秒
寸法	354(W)×150(D)×198.5(H) mm
重量	1100 g

落下速度の関係によって比較した。

MARSHALL は全天候型ドローンに Rainscope を搭載したものである。

Rainscope の外観と内観を図-2に、内部のカメラとシャッターセンサおよび粒子の通過時間を捉える上下センサを図-3に示す。図-2の赤枠で示した部分が降水粒子の検出領域であり、図-3左図の赤枠で示した部分が降水粒子を捉えるカメラであり、右図の矢印で示した部分が粒子の通過時間を捉える上下センサである。図-2左図の赤枠で囲われた検出窓に侵入した降水粒子が、図-3右図の中央を通過するとシャッターセンサが反応し、カメラのシャッターが切られる。その時の粒子画像とそれに対応するフラグ情報および降水粒子が上センサと下センサを通過した時間が観測データとして出力される。また Rainscope の仕様については表-1に示す。画像視野は $32\text{ mm} \times 24\text{ mm}$ であり、色調はモノクロ(モノクローム)、解像度は 640×480 ピクセルであり、撮影間隔は 0.2 秒である。この撮影間隔は最小で 0.2 秒であり、降水粒子が検出可能な最小間隔である。また、検出可能な粒子の粒径は 0.5 mm 以上である。観測された情報は Rainscope 内部に埋め込まれているログに記録される。Rainscope は無線送信機を備えているため、無線によって PC やスマートフォン等に接続し、観測の開始と終了の信号を送ることや、観測データの受信が可能である。重量は約 1100 g である。ドローンは全天候型ドローンを用いた(図-4)。全天候型ドローンの仕様については表-2に示す。このドローンはプロペラが8枚のオクトコプターである。重量は 8 kg 程度であり、風速 15 m s^{-1} 以上の風を受けても安定飛行が可能である。加えて、防水性能を有しているため、降雨時においても観測が可能である。ドローンのペイロードは 3.4 kg である。最高飛行速度は 10 km h^{-1} であり、最大飛行時間は状況によって異なるが最大で 20 分程度飛行が可能である。本研究で使用した機体は、株式会社フルテックより貸与されたものである。

次に、観測によって得られたデータの解析手法について概説する。



図-4 全天候型ドローン(Rainscope 搭載済み)

表-2 全天候型ドローンの仕様

項目	仕様
プロペラ数	8枚
重量	8.4 kg
寸法	高さ467 mm×軸間距離1224 mm
ペイロード	3.4 kg
最大飛行速度	10 km h^{-1} 程度
最大飛行時間	20 分程度
飛行可能風速	$18\sim 19\text{ m s}^{-1}$

これらの得られたデータについて、雨滴粒径分布および雨滴粒径と落下速度の関係によって結果を比較する。そのためには、降水粒子の粒径と落下速度が必要となる。しかしながら、観測で得られるデータは粒子の画像とそれに対応する粒子のセンサ通過時間であるため、これらのデータを用いて粒子の粒径と落下速度を算出する解析アルゴリズムを構築する必要がある。本研究では、この解析アルゴリズムを Python で実装し、粒子の粒径および落下速度を算出した。その解析アルゴリズムのフローを図-7 に示す。本フローでは、まず粒子画像に対して画像解析を

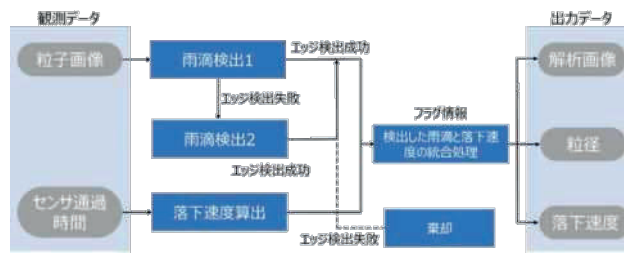


図-7 解析アルゴリズムのフロー

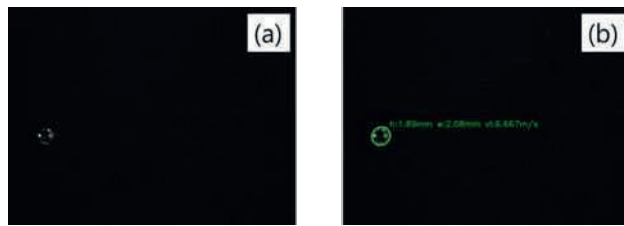


図-8 原画像(a)と解析後の画像(b)の一例

を行い、粒子のエッジ(輪郭)検出を通じて粒径を算出する。それと並行して、センサ通過時間のデータから粒子の落下速度を算出する。最後に、得られた粒径データと落下速度データをフラグ情報に基づいて統合処理を実施することで、解析画像、粒径データ、および落下速度データを出力として得る。

図-7 に示されている「雨滴検出1」と「雨滴検出2」は粒子のエッジ検出を行う画像解析アルゴリズムである。粒子画像のエッジ検出をまず、雨滴検出1で行い、これが成功し粒径が算出できれば落下速度との統合処理を行う。雨滴検出1においてエッジ検出が失敗した場合、雨滴検出2の画像解析アルゴリズムを用いて検出を行い、検出が成功すれば雨滴検出1と同時に落下速度との統合処理を行う。しかし、雨滴検出2においてもエッジが検出されなかった場合や、誤検出によって極端に粒子サイズが小さく、あるいは、大きくなってしまう場合は検出不可とした。解析前の原画像と解析後の画像の一例を図-8 に示す。(a)が原画像であり、(b)が解析後の画像である。図のように原画像の降水粒子に対してエッジを検出し、その情報から粒径を算出する。そして、その粒子に対してフラグ情報に基づいて落下速度の紐づけを行った。

3. 研究成果

地上測定と空中測定で降水粒子の粒径にどのような分布特性があるのかを確認するために、各測定方法の結果を雨滴粒径分布によって比較した。雨滴粒径分布とは、降雨中の様々な粒径の雨滴の数量分布を示すものである。主にレーダから取得される観測値の評価や、降水粒子を検出可能な観測機器による観測値の評価などに用いられる指標である^{11) 12) 13)}。雨滴粒径分布は、観測された n 個の粒子の落下速度を用いて以下の式(1)から求めることができる。

$$N(D) = \sum_{i=0}^n \frac{1}{V \cdot S \cdot T \cdot dD_i} \quad (1)$$

ここに、 $N(D)[\text{m}^{-3} \text{m}^{-1}]$ は単位体積あたりの粒径ごとの粒子数、 V は粒子の落下速度 $[\text{m s}^{-1}]$ 、 $S[\text{m}^2]$ は Rainscope の観測面積、 $T[\text{s}]$ は観測時間、 $dD[\text{mm}]$ は粒子の粒径を各クラスに分割した分割幅である。図-9 は、地上測定および空中測定の雨滴粒径分布を示した図である。横軸が粒子の粒径、縦軸が単位体積あたりの粒子数を示している。なお、縦軸は対数軸をとっている。図中の橙色で示す線が地上測定の結果であり、青色で示す線が空中測定の結果である。加えて、既往研究¹⁰⁾から類推することが可能な最大の雨滴粒径分布 $N_{\max}(D)$ および最小の雨滴粒径分布 $N_{\min}(D)$ を破線で示した。図-9 に示すように、地上測定および空中測定の分布形状としては、1.5 mm 程度の粒径の粒子が最も支配的であり、粒径が増大するにつれて、粒子数が減少するような概ね同じような減少傾向を示しており、視覚的に両者のデータは大きく乖離していない。この減少傾向は、一般的に示されている雨滴粒径分布の傾向と同様であり、降雨の事例などによって細部の雨滴粒径分布の形状は異なるが、4 mm 以下の粒径の粒子が大部分を占めることがほとんどである¹⁴⁾。また、若干の差異はあるものの、両方で類似した分布であり、特に粒径 1~4 mm 程度までの分布では、地上測定と空中測定の分布が非常に近い値を示しており、粒径ごとの粒子密度について良好な一致が見られる。また、両者の類似性を示す指標として示した既往研究¹⁰⁾から類推可能な範囲内に収まっており、両者の全降雨事例の平均値である 7.70 mm h^{-1} において現実的にあり得る範囲に分布が存在することが示され、ある程度の類似性もあると判断できる。

以上の理由から、雨滴粒径分布においては、地上測定と空中測定で類似した分布であり、分布の変動幅を考慮した範囲内に収まっていたた

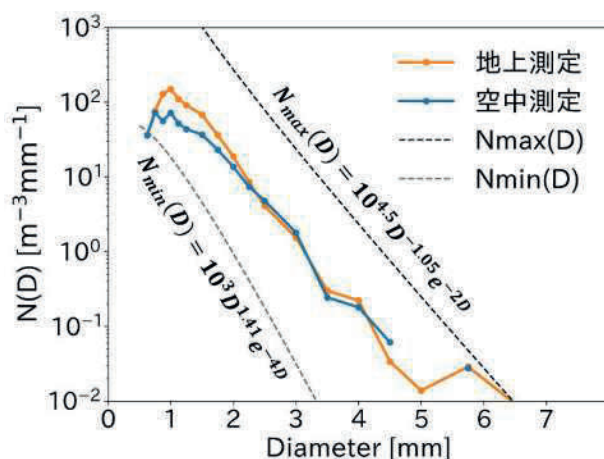


図-9 地上測定および空中測定の雨滴粒径分布

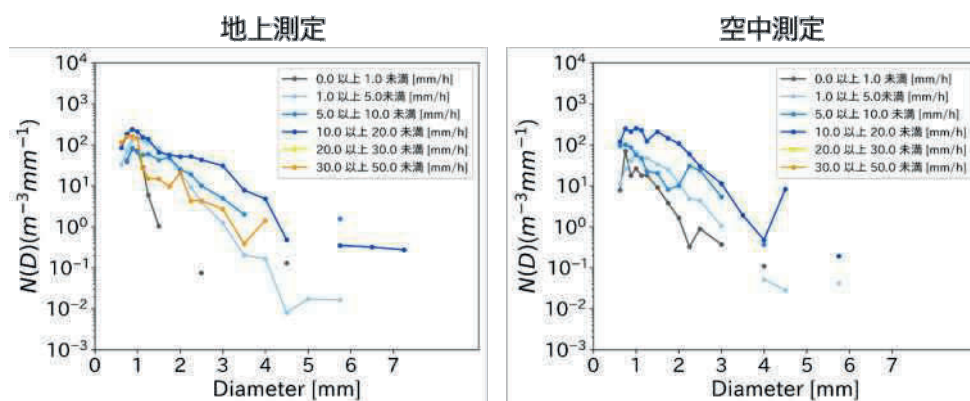


図-10 地上測定(左図)および空中測定(右図)の降雨強度ごとに分類した雨滴粒径分布

め、両者で同程度観測結果が得られ妥当であるといえる。

一方で、4 mm 以上の大粒径の領域では、両者に若干のばらつきが見られるものの、全体のオーダーは大きく変わらず、分布としては一致しているといえるが、空中測定において 5~6 mm の粒径クラスがほとんど観測されなかった点については、まだ多様な降雨事例に対して実験が行えていないことが可能性として考えられる。一般的に、降雨強度が強い降雨事例では大粒径の降水粒子が観測されやすいとされる。しかしながら、今回の観測事例のうち、10 mm h⁻¹ 以上の降雨事例でさえも、わずかにしか捉えられていないのが現状である。そのため、4 mm 以上の大きな粒径の降水粒子に関しては、観測データの網羅性が十分ではないといえる。

図-10 は「気象庁ホームページにおける気象情報の配色に関する設定指針¹⁵⁾」の降雨量の分類に基づいて、実験ごとの降雨強度からそれぞれの降雨強度の階級に雨滴粒径分布を分類した図である。左図が地上測定、右図が空中測定の降雨強度ごとに分類した雨滴粒径分布である。この図においても、前述したように 1.5 mm 程度の粒径が支配的であり、粒径が増大するにつれて粒子数が減少するような分布を示している。しかしながら、観測データの網羅性が十分ではないことがわかる。30 mm h⁻¹ 以上の降雨事例は稀であるが、地上測定においては、20.0 mm h⁻¹ 以上 30.0 mm h⁻¹ 未満の降雨事例、空中測定においては、20.0 mm h⁻¹ 以上の降雨事例が捕捉できていない。また、特に空中測定において顕著であるが、グラフにプロットされていない粒径のクラスがあり、これについても、大きな粒径の降水粒子が十分に観測できていないという点が示唆される。

4. 今後の展望

本研究で、降雨事例に網羅性が十分でないことや、解析手法に課題があることが示されたため、今後も継続して実験を行い、同時に解析手法の改善も行っていく。現在は降雨のみを対象としているが、降雪などの粒子に対しても観測が可能であるか検討していく予定である。また、より高高度で観測を行い、最終的には気象レーダの観測高度と同程度の高度まで飛行させて、観測データを比較する予定である。

5. 参考文献

- 1) 気象観測について、気象庁 https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku/weather_obs.html
2025 年 1 月 31 日閲覧
- 2) 地域気象観測システム（アメダス）、気象庁
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html>
2025 年 1 月 31 日閲覧
- 3) 気象レーダー、気象庁 <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>
2025 年 1 月 31 日閲覧
- 4) レーダ雨量計情報、国土交通省 https://www.mlit.go.jp/tec/tec_fr_000040.html
2025 年 2 月 27 日閲覧
- 5) 佐々木寛介、志村智也、井口正人、井上実：ドローンによる上空の風観測手法の検討、京都

大学防災研究所年報, B, 63, 282-290, 2020.

- 6) 巻俊宏, 山田大介, 増田殊大, 坂巻隆: マルチコプター型 UAV による風向風速計測手法の開発-機体姿勢およびピトー管による手法の検討-, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2018.
- 7) 村本幸央, 内田孝紀, 澁谷光一郎, 荒川弘之, 稲垣滋: 大型風洞設備を用いた UAV の風速センサとしての校正試験および風車後粒径測への適用に関する検討, 風力エネルギー利用シンポジウム, 42, 148-151, 2020.
- 8) 岸田岳士, 小野浩己, 小林謙仁, 佐藤歩: 気象観測 UAV, ラジオゾンデによる高層気象の同時観測, 日本風工学会年次研究発表会・梗概集, 2022.
- 9) 石原宙, 舘山一孝, 佐藤トモ子, 小林一人: 陶器の斜里における上位層気候の発生状況の調査-ドローンを用いた鉛直気温分布の観測手法の確立-, 日本雪氷学会誌, 80, 213-226, 2018.
- 10) 沖大幹, 虫明功臣: 雨滴粒径分布データを用いたレーダ換算定数の同定, 水工学論文集, 37, 9-14. 1993.
- 11) 山田正, 日比野忠史, 志村光一, 蓑島弥成, 鈴木敦: 雨滴の衝突による雨滴粒径分布の高度変化を考慮したレーダ雨量計の精度向上に関する研究, 土木学会論文集, Vol.628, 1-20.1999.
- 12) 坂西研二, 麓多門, 大脇良成, 菅原和夫: Disdrometer を用いた雨滴粒径分布と運動エネルギーの測定, 農業土木学会論文集, Vol.204, 119-125, 1999.
- 13) 山田正, 日比野忠史, 鈴木敦, 蓑島弥成, 中津川誠: 新しいタイプのレーザー雨量計の開発とこれも用いた降雨の雨滴粒径分布の観測, 土木学会論文集, Vol.539, 15-30, 1996.
- 14) 阿久津博, 山田朋人: 降水粒子の粒径分布特性, 土木学会北海道支部平成 23 年度論文報告集, 68, 2011.
- 15) 気象庁ホームページにおける気象情報の配色に関する設定指針, 気象庁
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/colorguide/HPColorGuide_202007.pdf
2025 年 1 月 31 日閲覧.

研究題目	糖尿病治療薬の合成ステップに適用可能な糖転移酵素の探索と利用
機関名	富山県立大学
研究代表者	工学部生物工学科・助教・山口拓也
分野	酵素工学、生化学
キーワード	酵素、糖尿病治療薬、化学-酵素合成法

1. 研究の背景と目的

ナトリウム・グルコース共輸送体 (SGLT)-2 阻害薬は、リンゴなどに含まれる天然配糖体フロリジンをもとに開発され、日本では 2014 年に糖尿病治療薬として認可された配糖体型医薬品である。SGLT2 は近位尿細管に局在し、原尿から血液へグルコースを再吸収する。その機能が SGLT2 阻害薬によって阻害されると、尿中にグルコースが排泄され、血糖値が低下する。これまでに 7 種の SGLT2 阻害薬が糖尿病治療薬として承認されている。しかし、化学合成による糖の導入は保護-脱保護プロセスを伴う多段階の反応が必要でありかつ位置選択性に課題があるだけでなく、金属触媒など毒性の高い試薬が用いられる。近年、医薬品合成プロセスにおける環境負荷を低減するため、温和な条件で位置・立体選択的な反応を触媒する酵素を医薬品の合成プロセスに導入する例が増加している[1]。

UDP-グルコシルトランスフェラーゼ (UGT) はUDP-糖から糖を糖受容体へと転移する反応を触媒する酵素である。UGT は幅広い生物から見出され、微生物および植物由来 UGT は可溶性酵素であるが、動物由来 UGT は膜結合型酵素である。その多くが特化代謝産物の生合成に関わっており、基質特異性が高いとされているが、広基質特異性の UGT も見出されている。これらの UGT は様々な天然配糖体の酵素合成に利用されている。このことから、SGLT2 阻害薬の糖導入反応に UGT を利用することで、反応ステップおよび環境負荷の低減につながると着想した。

本研究では 2019 年にインドで上市されたレモグリフロジンエタボネート (RemoE) を標的化合物として選択し、本化合物の糖導入反応に適切な UGT の選抜と、合成法を開発した (図 1)。

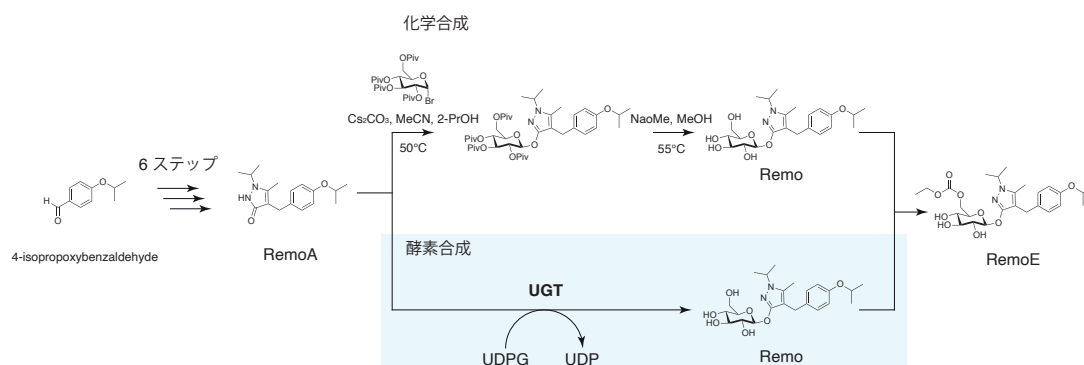


図 1. RemoE 合成経路への酵素反応の導入

2. 研究方法

2-1 化学合成

基質レモグリフロジンアグリコン (RemoA) および生成物レモグリフロジン (Remo) を既報に従って化学合成した[2]。

2-2 Remo 合成反応を触媒する UGT の選抜

本研究室保存の植物および微生物由来 UGT 発現プラスミドで形質転換した大腸菌 BL21(DE3) を TB autoinduction 培地で培養することで発現を誘導した。培養後、菌体を超音波破碎し、遠心分離によって得られた上清を無細胞抽出液 (CFE) とした。

CFE を RemoA および UDP-glucose (UDPG) 存在下で反応し、酵素反応液を超高速液体クロマトグラフィー (UPLC) 分析に供することで活性を評価した。

2-3 Bs3009GT と GmSUS の発現と精製

N 末端 His タグ融合タンパク質として組換え Bs3009GT を発現し、精製酵素標品を得た。形質転換体を TB autoinduction 培地で培養することで発現を誘導した。培養後、菌体を超音波破碎し、遠心分離によって CFE を得た。CFE をニッケルアフィニティークロマトグラフィーに供することで Bs3009GT 精製酵素液を得、以降の検討に使用した。

2-4 RemoA のシクロデキストリン (CD) による包接

各 CD 水溶液における RemoA の溶解度を求めることにより包接条件を検討した。反応条件は先行研究 [3] を参照した。

2-5 酵素法による Remo 合成

反応スケールを 100 mL にするにあたり、反応容器を 300 mL ナスフラスコに変更し、反応液を 30°C、スターラーにて一晩攪拌することで酵素反応を行った。生成物を抽出し、有機層を無水 MgSO₄ にて乾燥、濃縮後、カラムクロマトグラフィーに供し、生成物を NMR により確認した。

3. 研究成果

植物および微生物由来 UGT を N 末端 His タグ融合タンパク質として大腸菌で発現し、これらの Remo 合成活性を評価した (図 2-A)。その結果、1 種の植物由来 UGT および 5 種の微生物由来 UGT が Remo 合成反応を示した。このうち、*Bacillus subtilis* NBRC3009 由来 UGT (Bs3009GT) が最も高い活性を示したことから (図 2-B)、以降の実験に用いた。

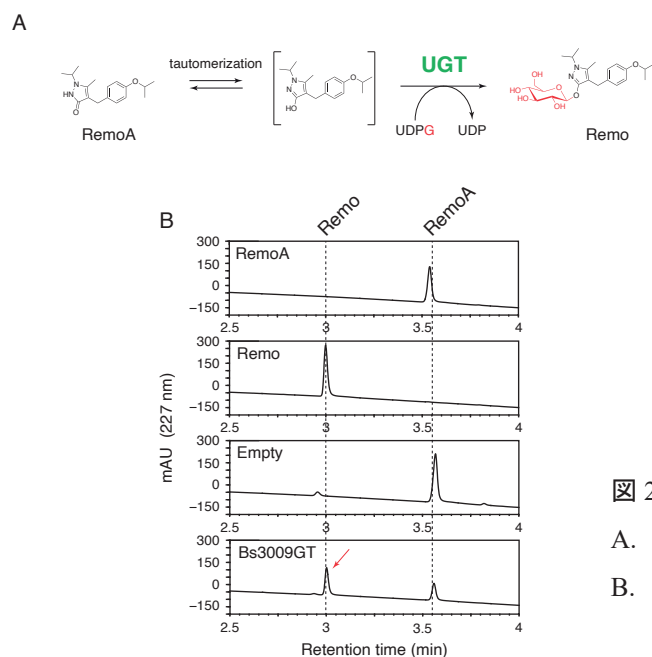


図 2. Remo 合成反応を触媒する UGT の探索

A. UGT が触媒する Remo 合成反応

B. Bs3009GT による Remo 合成反応の検出

Bs3009UGT の Remo 合成における、至適 pH・温度が与える影響を評価した (図 3)。本酵素の至適 pH は Bicine-NaOH バッファー中、pH 8.5、至適温度は 30°C であり、至適条件下における比活性は 0.39 U/mg であった。

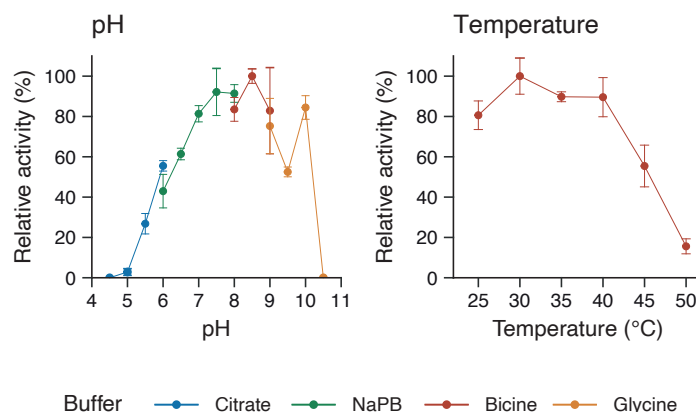


図 3. Remo 合成反応における Bs3009GT の至適 pH および温度

また、RemoA が難水溶性であることから、基質濃度 1 mM (10% DMSO) からは反応液中において析出が認められた。さらに、反応液中の DMSO 濃度 10% 以上では著しく活性が低下したことから、本酵素が DMSO 耐性でないことが示唆された。このことから、基質を DMSO に溶解して Remo 合成に用いることは困難であると考えられた。そのため、根本的な配糖体生産効率の向上のためには、反応液における RemoA の溶解性を向上させること、または二相系などの特殊な反応条件を確立することが必要であると考えた。

本研究では、CD を用いた基質の包接による水溶性の向上を検討した。CD にはそのグルコース数や修飾基の種類によって、化学特性の異なるものが存在する。そこで、RemoA の包接に適した CD を探索するため、各種 CD およびその誘導体の水溶液を調製し、RemoA を添加した後、70°C にて 1 時間反応させることで包接を行った。反応液の遠心上清中の RemoA 濃度を測定し、包接の評価を行った結果、CD 非存在下においては上清中に RemoA を検出できなかったのに対し、methyl- β -CD (M- β -CD) においては約 25 mM と最も高い包接能を示した。RemoA の水溶性をさらに向上させるため、M- β -CD 濃度および RemoA 濃度を検討したところ、500 mM M- β -CD 水溶液中、包接効率 $\geq 99\%$ にて 100 mM RemoA 溶液を調製することに成功した。以降の実験では、M- β -CD 包接錯体 (M- β -CD / RemoA) を酵素反応基質として用いることとした。

次に、Remo 合成反応において糖供与体として用いる UDPG は極めて高価な化合物である。その使用量を低減するためにスクロース合成酵素 (GmSUS) による UDPG 再生系とカップリングした Remo 合成反応系を構築した (図 4-A)。まず、GmSUS による UDPG 再生系共存下における UDPG 濃度について検討を行った。Bs3009GT のみの反応系では UDPG を基質濃度と等モル以上必要としていた。しかし、GmSUS の共存下において UDPG 濃度を基質濃度の 1/150 量まで削減した場合も、Remo への変換率 93% を達成した。加えて、UDP は UDPG よりも約 3 倍安価である (Cayman chemical での価格)。そこで、GmSUS 共存下において UDPG を UDP に置き換えた場合も、同様の Remo 変換率を示した (図 4-B) ことから、以降の反応には UDP を用いた。

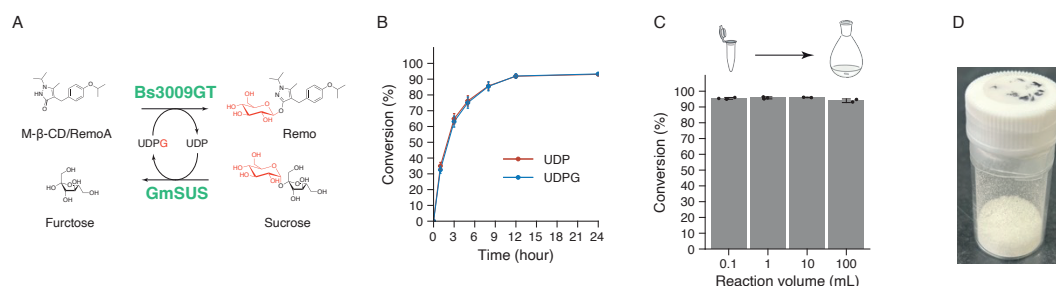


図 4. UDPG-再生系とカップリングした Bs3009GT による Remo 合成

- A. UDPG 再生系とカップリングした Bs3009GT による Remo 合成反応
- B. UDPG 再生系共存下における Remo 合成反応の経時変化
- C. 反応液量の検討
- D. 酵素合成した Remo

UDPG 再生系共存下の Remo 合成反応系を確立できたため、反応のスケールアップを検討した。スケールアップに伴い、反応容器を 1.5 mL チューブから 300 mL ナスフラスコに変更したが、30 mM M- β -CD / remogliflozin aglycone を基質とした酵素反応による Remo 合成は変換率約 95% で変化はなかった (図 4-C)。また、100 mL スケール (RemoA: 0.87 g) で酵素反応を行った反応液から生成物を抽出・精製することにより、単離収率約 85%にて Remo を 1.08 g 得た (図 4-D)。また、酵素反応抽出物を用い、Remo のエトキシカルボニル化反応を行うことで RemoE へ導くことに成功した。

4. 今後の展望

本研究では UGT を用いることで、化学合成と比較して温和で省ステップな Remo の合成に成功した。さらに、Remo のエトキシカルボニル化反応についても、リパーゼによる酵素反応への置き換えが可能であると考えられる。今後は、リパーゼを用いた反応の検討を進めることで、より一層環境負荷の低減を図った合成プロセスの構築を目指す。

5. 参考文献

1. France SP, Lewis RD, Martinez CA. The evolving nature of biocatalysis in pharmaceutical research and development. JACS Au. 2023;3: 715–735. doi:10.1021/jacsau.2c00712
2. Kobayashi M, Aina T. An efficient and practical synthesis of remogliflozin etabonate, a potent inhibitor of low-affinity Na⁺-dependent glucose co-transporter (SGLT2). Heterocycles. 2018;96: 733. doi:10.3987/com-18-13881
3. Oktay AN. Insights to the phase solubility diagrams of flurbiprofen with inclusion complex. J Res Pharm. 2021;25: 196–208. doi:10.29228/jrp.10

研究題目	高速深度推定に基づくドローンの障害物回避
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・孔祥博
分野	画像処理
キーワード	深度推定, ドローンの障害物回避

1. 研究の背景と目的

近年、ドローンはますます普及しており、市場規模も年々拡大している。ドローンの有望な応用分野としては、物流、警備、空撮、測量、設備点検、農業、災害救助などが挙げられる。様々な種類のドローンの中でも、小型ドローンは機動性が高く、コンパクトかつ軽量であるため、屋内や複雑な環境での飛行に適している。自動車や航空機などの有人機とは異なり、無人のドローンは操縦者を必要とせず、自律飛行の商用化が進められている。自律飛行を実現するためには、衝突回避機能が不可欠であり、重要な課題の一つとされている。

従来の衝突回避手法では、距離センサが用いられてきた。たとえば、長距離の検出が可能な LiDAR (Light Detection and Ranging) が採用されている[1]。また、深度カメラやステレオカメラにより距離を認識する方法も使用されている[2]。一方、これらの高性能センサは、小型ドローンにとっては重く、価格が高く、消費電力も大きいいため、搭載には不向きである[3]。たとえば、文献[4]で使用されている ZED ステレオカメラは、重量が約 159g、価格が約 449 ドルであり、小型ドローンに不向きである。

そこで、本研究では深度センサを使用せず、単眼カメラからの画像のみを用いて深度を推定し、自律飛行を実現することを目的とする。具体的には、障害物の回避を目標とし、初期実験として屋内環境での実証を行う。本実験では、図 1 に示す Tello[5]を使用する。Tello は Ryze 社によって開発された小型プログラマブルドローンであり、手頃な価格からホビー用途やプログラミング教育用として広く使用されている。Tello は重量 80g、サイズ 98×92.5×41mm で、モノクロカメラを搭載しており、視野角 82.6 度、720p の解像度で 30fps の映像を撮影可能である。専用バッテリーにより、約 13 分間の連続飛行が可能である。本研究は、小型ドローン Tello でも実行できる深度推定による障害物回避の開発を目的とする。



図 1 小型ドローン Tello

2. 研究方法

本研究では、単眼深度推定モデルである MiDaS[6]を用いる。MiDaS は、KITTI データセット、NYUDv2、MegaDepth、3D ビデオなど、複数の異なるセンサから得られた多様なデータセットを組み合わせで学習された深度推定モデルである。MiDaS では、遠いピクセルほど高い値、近いピクセルほど低い値で表現される。本研究で使用する深度画像のサイズは 256×144 ピクセルである。

これらの深度画像は、障害物回避のために図 2 および図 3 のように複数の領域に分割される。図 2 では、画像の中央を基準として、上部、下部、左側、右側、および中央の 5 つの領域に分割する。各領域のサイズは 85×48 ピクセルである。図 3 では、画像の最左部 1/8 および最右部 1/8 の 2 領域に分割されており、それぞれの領域のサイズは 32×144 ピクセルである。

ドローンを起動し、前方に設置された単眼カメラから RGB 画像を取得する。このとき、取得した RGB 画像は MiDaS によって深度画像へと変換される。また、飛行を中止したい場合は、PC のコマンドプロンプトで実行中の処理を終了することで、フレーム取得が停止し、ドローンは着陸する。

ドローン前方の障害物検出は、図 2 の中央領域におけるピクセル値の平均によって判定される。中央領域の平均値が閾値を上回る場合は「障害物なし」、下回る場合は「障害物あり」と判定される。障害物が検出された場合、図 2 の上部・下部・左側・右側の各領域の平均ピクセル値を取得し、5 領域の中で最も平均値が高い領域を選択し、その方向へドローンを移動させる。

一方、前方に障害物がない場合は、前進を行う。ただし、壁との衝突を回避するかどうかを、図 3 の左端 1/8 および右端 1/8 の平均ピクセル値をもとに判断する。左端 1/8 領域の平均値が閾値を下回る場合、ドローンは時計回りに 5 度回転し前進する。右端 1/8 領域が閾値を下回る場合は、反時計回りに 5 度回転し前進する。この処理はフレームごとに繰り返される。

提案するアルゴリズムは、シミュレーション環境および実環境の双方で評価実験を実施した。実験の仕様は以下の通りである：

CPU : Intel Core i7-13700F

GPU : NVIDIA GeForce RTX 4070

RAM : 80GB

シミュレーションには AirSim を使用し、障害物を配置した状態で 500 回の飛行試験を実施した。閾値を変化させつつ、障害物を回避しながらゴール地点へ到達できた場合を「成功」と定義

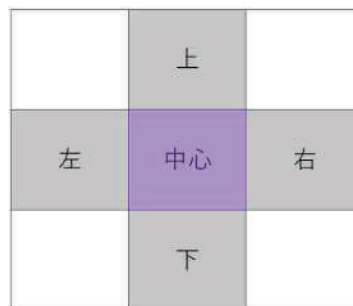


図 2 五領域の定義

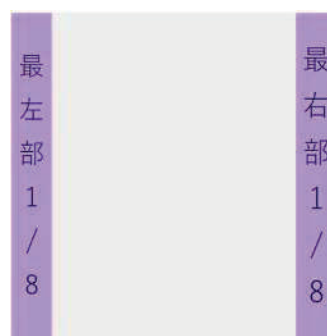


図 3 左右領域の定義

した。離陸位置は毎回ランダムに設定される。

Tello は Wi-Fi 経由で PC と接続され、公開されている API を用いて遠隔操作が可能である。PC は Tello からカメラ画像およびセンサデータを受信し、それらを画像処理・データ処理に用いて、Tello の移動指示を計算し、コマンドとして送信する。

実環境での評価では、建物内の廊下に障害物を設置。障害物 A の大きさは縦 36cm×横 40cm, 障害物 B および C の大きさは縦 42cm×横 40cm である[I1]。

3. 研究成果

【シミュレーションの実験結果】

表 1 に示すように、閾値を 120, 130, および 140 に設定した場合、成功率は 90%を超え、平均飛行時間は約 33 秒であった。一方、閾値を 150 に設定すると、成功率は 90%を下回り、他の閾値設定時と比較して平均飛行時間が約 5 秒長くなった。飛行時間が大幅に延びた主な要因は、回避アルゴリズムが左右の回避領域間を交互に繰り返し移動する動作を行ったためである。これにより、閾値 150 の設定時に外れ値の件数が最も多くなり、それに伴って平均飛行時間も最長となった。

【実環境の実験結果】

表 2 によると、飛行速度が 10cm/s または 20cm/s の場合、ドローンは障害物 A, B, C を回避し、廊下を進行することに成功した。一方、飛行速度が 30cm/s または 40cm/s に増加した場合には、障害物 B と衝突した。実環境での衝突パターンとしては、動体ブレによって平均ピクセル値の精度が低下する場合や、シミュレーションで確認された図 9 および図 10 のような状況が挙げられる。なお、実機における深度画像のフレームレートは、2～3FPS であった。

本研究は、シミュレーション環境で回避性能を評価した結果、提案手法が既存の手法よりも優れた回避性能を示した。研究成果は国内会議[D1]と国際会議[I1]で発表した。

障害物回避の性能を更に向上させるため、発展課題として、ドローンのカメラから撮影した画像からの物体検出の軽量化の研究も行った。提案法は、精度を保ちつつ、軽量化を実現した。研究成果は国内会議[D2]と国際会議[I2][I3]で発表した。

【研究成果・国内会議発表】

[D1] 東内元気, 嶋田知泰, 孔祥博, 富山宏之, " 単眼深度推定と二値領域解析に基づく小型ドローンの障害物回避手法," 情報処理学会組込みシステム研究会, 2024 年 11 月。

[D2] 巖海旻, 孔祥博, 汪峻丞, 富山宏之, " 自律飛行ドローンのための高性能かつ軽量の物体検出手法," 情報処理学会組込みシステム研究会, 2024 年 11 月。

表 1 異なる閾値における障害物回避

閾値	120	130	140	150
成功率(%)	97.4	90.0	97.2	84.4
飛行時間(秒)	33.2	33.7	33.5	38.3

表 2 異なる速度における障害物回避

飛行速度 (cm/s)	10	20	30	40
衝突回避	○	○	×	×

【研究成果・国際会議発表（査読あり）】

- [I1] Genki Higashiuchi, Hiroki Nishikawa, Xiangbo Kong, Hiroyuki Tomiyama, "Obstacle Avoidance using Monocular Depth Estimation for Small Drone Tello," International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers, and Communications, July 2024.
- [I2] Haimin Yan, Juncheng Wang, Xiangbo Kong, Hiroyuki Tomiyama, "YOLO-UTS: Lightweight YOLOv5 for UAV Traffic Monitoring and Surveillance," IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, October 2024.
- [I3] Haimin Yan, Juncheng Wang, Xiangbo Kong, Hiroyuki Tomiyama, "YOLO-ELD: Efficient and Lightweight Detection for UAV Aerial Imagery," IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, October 2024.

4. 今後の展望

今後の課題としては、使用した障害物回避アルゴリズムの評価に焦点を当てる予定である。深度画像を利用したドローンの障害物回避に関するアルゴリズムについては、十分な比較検証がなされていないのが現状である。そのため、既存の深度画像を用いたアルゴリズムを再現し、衝突率を比較することで、アルゴリズムの最適化を図る予定である。

5. 参考文献

- [1] Y. Hou, Z. Zhang, C. Wang, S. Cheng, D. Ye, "Research on Vehicle Identification Method and Vehicle Speed Measurement Method Based on Multi-rotor UAV Equipped with LiDAR." IEEE International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering, 2020.
- [2] J. Borenstein, Y. Koren, "The Vector Field Histogram-Fast Obstacle Avoidance for Mobile Robots." IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 7, no. 3, 1991.
- [3] T. Shimada, H. Nishikawa, X. Kong, H. Tomiyam, "Pix2pix-Based Monocular Depth Estimation for Drones with Optical Flow on Airsim." Sensors, vol. 22, no. 6, 2022.
- [4] D. Ma, A. Tran, N. Ket, R. Yanage, P. Knight, K. Joglekar, N. Tudor, B. Cresta, S. Bhandari, "Flight Test Validation of Collision Avoidance System for a Multicopter Using Stereoscopic Vision." International Conference on Unmanned Aircraft Systems, 2019.
- [5] <https://www.ryzerobotics.com/jp/tello> [Accessed: 2025/1/31]
- [6] R. Ranftl, K. Lasinger, D. Hafner, K. Schindler and V. Koltun, "Towards Robust Monocular Depth Estimation: Mixing Datasets for Zero-Shot Cross-Dataset Transfer." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 44, no. 3, pp. 1623-1637, 2022.

研究題目	確実な把持を実現するロボットグローブリハビリテーション学習システム
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・助教・アハメドアルマスリ
分野	リハビリテーション工学、ロボティクス、福祉工学、ヒューマンインタフェース
キーワード	ロボティックハンドグローブ、自己校正、圧力センサ、人工ニューラルネットワーク、把持力評価、キャリブレーションデバイス、リハビリ支援、ワイヤレスセンシング

1. 研究の背景と目的

この研究は、人工知能（AI）を活用した自己校正機能を備えたロボティックハンドグローブを開発し、上肢のリハビリテーションの効率化と、在宅での自立支援を目的としています。上肢機能の障害は、脳卒中や外傷後の後遺症として多く見られ、日常生活動作（ADL）に深刻な影響を及ぼします。これに対応するためのグローブ型の装具や運動支援機器は、リハビリテーション分野で広く利用されており、なかでもロボティックハンドグローブは、手の動きを補助し、筋力回復や神経再教育を促す重要な技術の一つです。

近年、手の麻痺を有する患者が増加する一方で、療法士の数が不足しており、患者が自宅でリハビリを継続できる技術の開発が求められています。特に、握力やその制御能力の回復に焦点を当てた支援デバイスは、使用者の QOL（生活の質）向上に直結します。

申請者はこれまでに、図 1 に示すような力センサを搭載したグローブを用いて、AI による動的な把持力の校正システムを構築してきました。このシステムは、トレーニング中に使用者が物を握る際の力をリアルタイムに計測し、適切なフィードバックを返すことで、より効率的で確実なトレーニングを実現します。

申請中の研究では、従来のように収集データから力信号を再構成する手法ではなく、AI による自己校正アルゴリズムを活用することで、より効率的なリアルタイム解析を可能とし、誤差の少ない正確な把持支援を実現します。さらに、ワイヤレスによるセンサデータの取得・処理により、使用者への即時フィードバックと意思決定の迅速化が図られ、トレーニングの質が大幅に向上することが期待されます。

2. 研究方法

研究を実施するために、3D プリンタで製作した柔軟な素材のグローブに、各指の先端部に圧力センサを配置し、さらに空気圧制御可能なバルーンアクチュエータを統合したソフトロボティックハンドグローブを設計・製作します。この構造により、握力の補助だけでなく、感覚の取得および制御も可能となります。

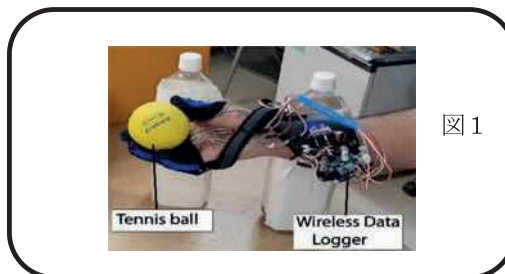


図 1

センサで取得したデータは、**Feed-Forward Back Propagation Network (FFBPN)** と呼ばれる 3 層構造のニューラルネットワークモデルによって解析されます。このモデルは、大量の事前学習データに基づいて各指の力加減を予測し、正確なフィードバックを実現します。

さらに、ユーザーとシステム間の情報をスムーズにやり取りできる**ヒューマンインタフェース (HMI)** を開発し、画面上に把持力やセンサ出力を視覚化してリアルタイムに提示することで、使用者の自発的な動作学習を支援します。

この一連の技術によって、ユーザーはトレーニング中に自らの力加減を学習し、反復によってより確実に安全な把持動作を自然に習得できる環境を提供します。

3. 研究成果

研究の結果、開発したグローブ、圧力センサ、アダプター回路、およびワイヤレスデータロガーを統合することで、図 2 に示すようにに把持メカニズムの感覚的側面を高精度で評価できることが確認されました。

具体的には、AI による自己校正機能を搭載したウェアラブルロボティックハンドグローブシステムを構築し、その実効性を検証するために 2 種類の実験を実施しました。実験内容は、(1) 異なる重さのプラスチックボトルの把持、(2) テニスボールの圧縮という現実的なタスクに基づいており、把持力の変化とその制御精度が評価されました。

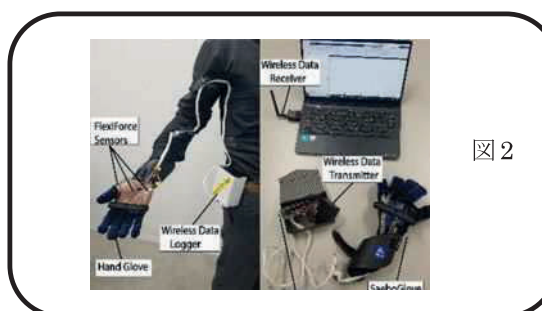


図 2

その結果、従来の方法と比較して、各指にかかる把持力をより正確に推定できることが明らかになり、またワイヤレスセンサデータ送信機能によって、AI アルゴリズムによるリアルタイム処理と意思決定の迅速化が可能であることが実証されました。

このことは、今後の実装において、在宅リハビリ支援ツールとしての実用性を高めるとともに、医療現場や介護現場での導入にもつながると期待されます。

4. 今後の展望

今後は、キャリブレーションデバイスを備えたロボティックハンドグローブを用いて、より高精度な把持力評価を可能にする技術へと進化させていきます。

圧力センサと人工ニューラルネットワークを活用した自己校正機能により、時間経過によるセンサドリフトや、個人差に起因する指の位置のばらつきといった誤差要因をリアルタイムに補正します。これにより、毎回一定した測定精度を保持し、使用者ごとに最適化されたフィードバックを提供することが可能になります。

また、このシステムは今後、リハビリテーション分野にとどまらず、農業や製造分野での把持・搬送作業への応用も視野に入れて開発を進めます。富山県の地域課題である高齢化や農業の担い手不足に対し、こうした支援技術の導入が有効な解決策となることが期待されます。

5. 参考文献

1. Molla, M.K.I., Ahamed, S., Almassri, Ahmed, Wagatsuma, H. " Classification of Motor Imagery Using Trial Extension in Spatial Domain with Rhythmic Components of EEG. " Preprints 2023, 2023071973. (査読有)
2. Almassri, Ahmed, K. Koyanagi, C. Wada, K. Horio and W. Z. Wan Hasan, "Development of a Robotic Hand Glove System for Secure Grasp with AI Wireless Sensor Data," in the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA 2023), pp. 669-674, 2023. China. (査読有)
3. Almassri, Ahmed, N. Shirasawa, H. Wagatsuma, etc " Artificial Neural Network Approach to Guarantee the Positioning Accuracy of Moving Robots by Using the Integration of IMU/UWB with Motion Capture System Data Fusion," Sensors, vol. 22, 15 5737, 2022.(Q1 ISI, Scopus & PubMed) (査読有) doi.org/10.3390/s22155737
4. Almassri, Ahmed, W. Wan Hasan, C. Wada, and K. Horio, " Evaluation of A Commercial Force Sensor for Real Time Application," ICIC Express Letters, Part B: Applications An International Journal of Research and Surveys, vol. 11, p. 421-426, 2020. (Q4 Scopus) (査読有) DOI: 10.24507/icicelb.11.05.421
5. Almassri, Ahmed, W. Wan Hasan, S. Ahmad, S. Shafie, C. Wada, and K. Horio, "Self-calibration algorithm for a pressure sensor with a real-time approach based on an artificial neural network," Sensors, vol. 18, 2561, 2018. (Q1 ISI & Scopus) (査読有) DOI: 10.3390/s18082561

研究題目	富山県の農福連携事業活性のための 精神障害・知的障害に対応した 半自動運搬機の開発と評価
機関名	富山県立大学
研究代表者	看護学部 看護学科・教授 清水 暢子
分野	公衆衛生看護学
キーワード	農福連携、精神障害・知的障害、半自動運搬機、アパシー

1. 研究の背景と目的

ソーシャルインクルージョンは、「全ての人々を孤独や孤立、排除や摩擦から援護し、健康で文化的な生活の実現につなげるよう、社会の構成員として包み支え合う」という理念である。地域における共生社会の実現に向けて障害者自立支援法（平成17年）が施行され、障害者の地域生活と就労を進め、自立を支援する方針が打ち出されている。一方、農業分野では高齢化と後継者不足から担い手が減少している。この状況から、農林水産省は農業と福祉が連携して障害者の農業法人での雇用、または障害福祉事業所での作業に農業を取り入れるための「農福連携」の取組を推進している（農福連携推進ビジョン 令和元年6月4日）。近年、農業分野においては、AI(Artificial Intelligence)やICT(Information and Communication Technology：情報通信技術)を活用し生産性を飛躍的に高める「スマート農業」が推進され、規模拡大した農業経営の労務や経理等の頭脳・管理業務をAI,ICT技術が担うことで農家の担い手不足を補い、収益を上げている（農林水産省、2020）。しかし、効率性や利便性だけを追い求める事が農業の魅力につながるのか。農福連携で得られるメリットとして、農家側では社会貢献によるQOL（Quality of Life）向上や、人と人との交流が盛んになり地域活性化につながることを挙げ、障害者側では①障害者の作業能力を考慮した仕事設計が可能、②自然のなかに身を置くことで身体的・精神的にプラスの効果を得られる等を挙げている（農福連携推進ビジョン 令和元年6月4日、Shimizu 2023）。そこで、申請者らはICT技術を活用し知的障害・精神障害があっても達成感、満足感の得られるスマート農業と農福連携の融合を目指す。まずはその第一弾として、知的・精神障害があっても自立して農作業ができる農作業機器の開発を行う。

本研究の目的は、実際に作業を行う知的障害および精神障害のある利用者と、施設支援員とともに、理解が難しく困難な作業を単純化し、安全でありながら使用者に達成感・満足感をもたらす方法で農作業機器を改良することである。現在流通している農作業用運搬機は、主に健常者向けに設計されており、障害者にとっては運転操作が複雑で扱いが難しい。また、動作音が大きく、音に敏感な発達障害者にとっては恐怖の対象となることもある。こうした障害特性に対応可能

な自動運搬機の開発を本研究では目指した。「重労働」と「操作の難しさ」を解消するために、人の単純な動作、たとえば指一本でひもを引くだけで操作ができるような、まるでペットを操るかのような感覚で扱える半自動運搬機を開発した。その設計にあたっては、前後・左右の移動操作、速度調整、安全性、耐久性、そして畑のような不整地でも使用可能な汎用性に配慮した。特にサツマイモの収穫作業を想定し、以下のような課題に対応する機構の設計および改良を重ねた。① 足回りの減速機構部、② 左右方向の指示および回転操作部、③ 操作ワイヤの戻りや操作性を改善する直線変位センサ部、④ バック（後退）機能の検討、⑤ 荷崩れ防止用の荷台、これらの改良は、実際に機器を使用する利用者や支援員の意見を取り入れながら進めた（写真 1）。



写真 1. 現在開発中の半自動運搬機

2. 研究方法

1. 研究方法 ・ 準実験研究デザイン

1) 研究対象者

富山県内の就労継続支援 B 型事業所に通所中の発達障害、精神障害、知的障害の診断を受けた利用者 6 名であった。全員が男性であった。

	性別	年齢	障害名
1	男性	20 代	精神障害（統合失調症・不安障害）
2	男性	10 代	知的障害（療育手帳 A）
3	男性	10 代	知的障害（療育手帳 B）
4	男性	60 代	知的障害（障害程度区分 2）
5	男性	20 代	知的障害（療育手帳 B）
6	男性	20 代	精神障害・知的障害（自閉スペクトラム障害）

2) 障害者による身体動作にあわせた運搬機の操作を支援するための機械改良の提案

本研究者が障害者施設の生活指導員、施設利用者（精神障害・知的障害のある人）とともに、現在本研究者が開発中の半自動運搬機の操作性、安全性、安定性、危険性について評価を行った。また、障害者が操作しやすい体の動きに合わせ、操作と動きの「半自動運搬機操作マニュアル」を作成、直進、左折、右折、後進、静止操作を本体に伝える方法に問題はないかを確認した。また、緊急停止機能を装着し、障害者がひもをひっぱり過ぎて、停止できないなどの想定される危険な動きを行った際に、緊急停止ボタンを押して機械を止めることができるかどうかを確認した。

3) 半自動運搬機操作前後の障害者の意欲と脳活性の測定

施設の利用者のうち同意が得られた研究対象者に本研究で開発した自動運搬機 A の操作方法を紹介し、操作に慣れてもらった。その後、A：砂利道と B：あぜ道（畑通路用のデコボコな歩行路）とで、半自動運搬機の操作を行ってもらった。その際に意欲に関して、「アパシースケー

ル (Apathy Scale)』で運搬機操作実施前後に測定した。また、やる気を示す前頭前野部位の脳内活性を Near-infrared spectroscopy: NIRS (近赤外線分光法) にて測定した。

4) 通常の業務で利用する A: 砂利道と B: あぜ道で運搬機を使用しながら足裏加圧バランスを測定

研究対象者の A と B でそれぞれ普通歩行、半自動運搬機使用中の重心移動に問題が無いか、足裏加圧計を使用して測定を行った。※いずれも担当の就労支援員 (又は施設スタッフ) と看護職が付き、研究対象者への負担が過剰にならないこと、研究対象者により作業量が偏らないことに注意し、またその日の体調を見ながら作業の采配を行った。

5) 倫理的配慮

本研究対象者は全員、研究参加前に、研究者から本研究の主旨、目的の説明を文書と口頭で受け、参加同意をした後に本研究に参加した。人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針とガイダンスに則り、研究者の所属する倫理審査委員会の承認を得た後 (看護第 R6-34 号) に本研究を実施した。

3. 研究成果

1) 障害者による身体動作にあわせた運搬機の操作と操作方法の理解度



図 1. 半自動運搬機操作マニュアルを作成

障害のある人の理解度にあわせた「半自動運搬機」の説明書を作成し、また実際にそれを用いながら試験運用とその手順を施設指導員とともに利用者に実施した。①対象者全員が、A (砂利道)、B (あぜ道) どちらの路面でも問題なく操作でき、100kg のサツマイモを積載しての運搬にも成功した。②操作に自信のある利用者は、運搬機を見ずに前

図 2. 安全動作スイッチを改良

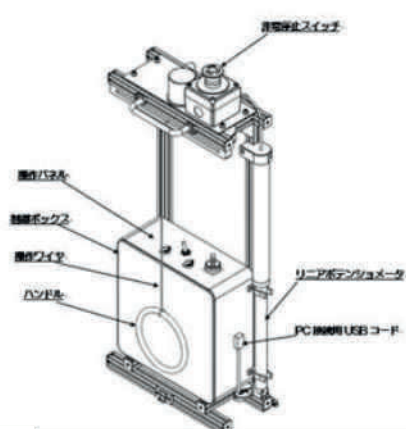


図 3. 動作をわかり易く説明



写真 2. 問題なく操作できる人は進行方向を見て歩く



写真 3. 操作に自信がない人は進行方向を背にして歩く

を向いて歩くことができたが、操作に不安のある利用者は、運搬機から目を離せず、後ろ向きで歩く傾向が見られた(写真 2.3)。

2) 障害者による身体動作にあわせた運搬機の操作と意欲(アパシー)と脳活性の結果

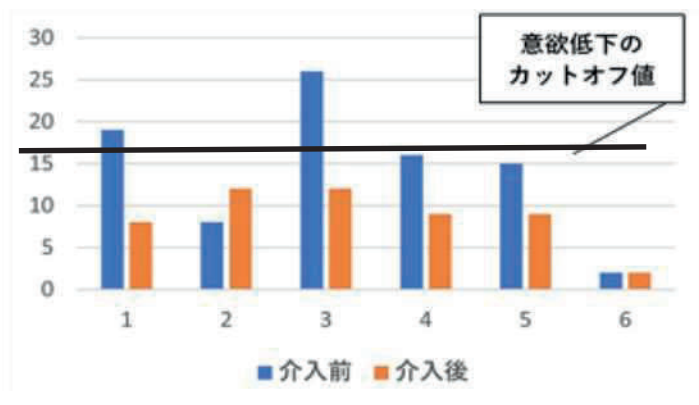


図 4. 意欲低下尺度の変化

アパシースケールにおいて、16 点以上が「意欲低下」と判断される中、6 名中 3 名が操作前に意欲低下状態であったが、運搬機操作後には全員が意欲低下を脱し、4 名が操作前よりも意欲が向上した(図 4)。

前頭前野酸素化ヘモグロビン濃度変化量

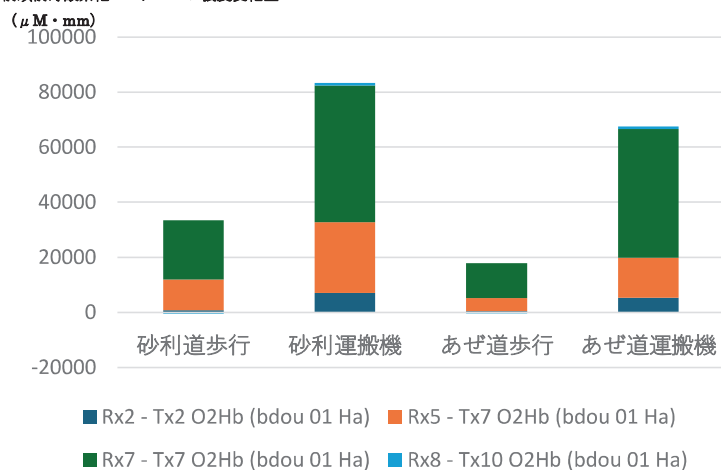


図 5. 運搬機使用時の脳活性(酸素化ヘモグロビン濃度)の変化

運搬機を使用した歩行と、使用しない通常歩行とを比較した脳活性の測定では、砂利道、あぜ道ともに、運搬機を使用していない時よりも、4 カ所の脳部位で酸素ヘモグロビン濃度の向上が見られた(図 5)。これは何も使用せずに農作業中の歩行時よりも、操作を行う事で明らかに脳の活性を促す事が示された。これも意欲の向上に関与していると推測された。

4) 障害者による身体動作にあわせた運搬機の操作中の足裏加圧の変化

図 6. 運搬機操作中の足裏加圧変化(安定歩行者の加圧変化)

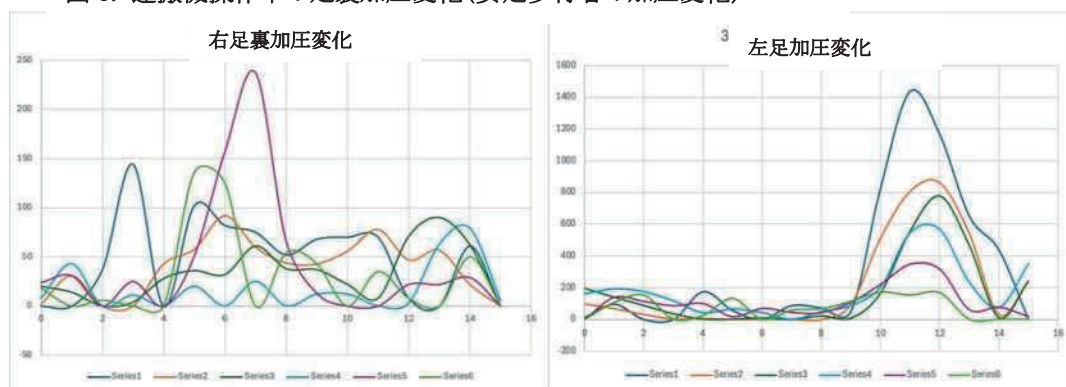
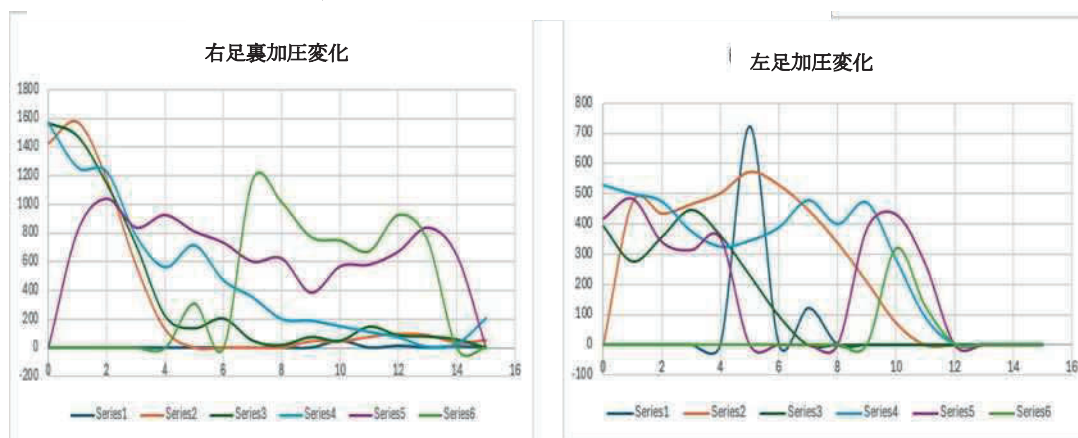


図7. 運搬機操作中の足裏加圧変化(不安定歩行者の加圧変化)



半自動運搬機使用中の歩行時足裏加圧変化を測定した結果、安定した機械操作ができる障害者は、足裏全体の加圧も分散せずに一部に集中して加圧されているのに対し、運搬機使用中の歩行が不安定な障害者の歩行時の足裏加圧は足裏全体に加圧部位が分散しており、歩行が不安定な状態であることが測定結果からもうかがえた（図 6.7）。これらの足裏加圧変化から転倒リスクの予測ができると考えられ、事前に歩行時の足裏加圧を測定することによって、表面的には伺えない転倒リスクの発見と、加圧が安定するまでの運搬機走行練習が必要である。

結論

本研究では、障害のある人に合わせた「半自動運搬機」の設計と活用に関する実践的検証を行い、以下の点が明らかとなった。

1. 操作性の有効性

全対象者が砂利道・あぜ道という不整地においても 100kg の荷物を積載した状態で、安全かつ円滑に半自動運搬機を操作・運搬できた。これは、機械の基本設計および操縦系統が利用者の特性に適応していることを示すものである。

2. 心理的要因と操作行動の関連

操作に自信のある利用者は前方を見ながら歩行するのに対し、不安のある利用者は運搬機を常に視認し、後退歩行を選択する傾向が見られた。これは、操作への安心感と歩行姿勢の間に密接な関連があることを示唆している。

3. 個別支援の必要性

特に発達障害のある利用者において、歩行時の足裏加圧パターンに特徴が見られ、転倒リスクの兆候が認められた。これに対しては、指導員との連携による個別的な注意喚起と使用時配慮が有効であった。

4. 意欲へのポジティブな効果

アパシースケールにより操作前に意欲低下が見られた利用者でも、運搬機の操作後には全員の意欲が改善され、うち 4 名は顕著な意欲向上を示した。これは作業への参加感や達成感が精神的活性化に寄与する可能性を示す。

5. 神経生理学的・身体的変化の観察

脳活性（酸素化ヘモグロビン濃度の上昇）や足裏加圧分布の変化から、運搬機使用が利用者の認知的活性および身体的安定性に影響を与えていることが確認された。特に、不安定な歩行を示す利用者では足裏全体に加圧が分散し、動揺性が推測された。

4. 今後の展望

本研究により、障害のある方に対する半自動運搬機の導入は、操作性・安全性の面で十分な有効性を持ち、心理的・生理的側面においてもポジティブな影響をもたらす可能性が示唆された。これらの知見を踏まえ、今後は以下のような展開が期待される。

まず、利用者の操作に対する安心感をさらに高めるため、機器に視覚的・聴覚的フィードバック機能を付加するなど、インターフェースの改良が求められる。特に操作に不安を抱える利用者に対しては、運搬機の挙動が直感的に理解できるような設計と、段階的な操作訓練を組み合わせることで、自立的な操作を支援していく必要がある。次に、歩行特性や身体バランスに課題のある利用者に対しては、個別のリスクアセスメントを行い、転倒予防のための支援体制を強化することが重要である。足裏加圧分布の計測や歩行パターンの観察を継続的に実施し、必要に応じて補助具の活用や介助者の配置を検討するなど、安全性への配慮をさらに高めていきたい。

また、本機器の操作によって利用者の意欲が向上した点に着目し、運搬作業を単なる移動手段としてだけでなく、就労訓練や社会参加の一環として活用する可能性も検討すべきである。作業を通じた達成感や自己効力感の向上は、障害のある方のQOL向上に資するものであり、日中活動支援や就労支援プログラムとの連携も視野に入れた運用が望まれる。さらに、脳血流変化など生理的指標に基づいた介入効果の評価を今後も継続することで、利用者にとって過度な身体的負担とならない適切な使用頻度や時間の設定が可能となる。個々の身体的・認知的特性に応じた作業設計の確立が今後の課題である。

最後に、本研究で得られた成果を他施設や地域活動に応用し、福祉機器としての半自動運搬機の標準的な活用モデルを確立していくことが期待される。多様な障害特性への対応を可能とする柔軟な運用指針を整備し、全国的な普及・展開に向けた実践研究を重ねていきたい。

5. 参考文献

1. 農林水産省農村振興局都市農村交流課. 農林水産省における農福連携の推進について.
「令和元年6月 農福連携等推進ビジョン（概要）資料1.」
2. Shimizu, N., Ohe, S., Asano, K., & Ishida, M. (2024). Effects of a One-Day Experiential Sheep-Rearing Experience on Motivation, Anxiety, and Frontal Lobe Brain Activity in Patients with Chronic Psychiatric Disorders: A Crossover Pilot Study. *Psychiatry International*, 5(2), 134-153.
3. 大江真吾, 清水暢子, 石田元彦. 農業機械操作時の知的障害者および発達障害者が抱く困難

- 性と機械操作への思い. 北陸公衛会誌 50 : 11-22, 2024.
4. 山口修平. (2011). 神経疾患におけるアパシーの神経基盤. 認知神経科学, 13(1), 15-21.
 5. 大江 真吾, 知的障害者および発達障害者の刈り取り機操作における走行方向補正システムの効果検証. 看護理工学会誌.12 (2024-2025).
 6. Nobuko Shimizu, Chika Yamazaki, Keigo Asano, Shingo Ohe, Motohiko Ishida, Non-Randomized Controlled Trial Examining the Effects of Livestock on Motivation and Anxiety in Patients with Chronic Psychiatric Disorders. SAGE Open Medicine, 11,91(IF:2.3)(2023)
 7. Nobuko Shimizu, Takako Yamada, Nobuyuki Honda, Miyako Mochizuki, Mayumi Kato, Noboru Hasegawa, Hunsa Sethabouppha, Nattaya Suwankruhasn and Chalinee Suvanayos, Qualitative Study on Important Elements of Life for Japanese and Thai Older Adults, Journal of Ageing and Longevity, (1), 11-32(2023)
 8. 清水暢子, 山崎智可, 石田元彦, 浅野桂吾 農福連携（石川ラム）畜産型ヒツジ飼育事業の実施と評価～知的障害のある人への前頭葉機能に与える影響の検討～北陸公衆衛生学会誌, 47, No2, 25-35(2021)
 9. 長井彩夏、清水暢子、農福連携事業を推進するために必要な就労継続のための支援の検討, 北陸公衆衛生学会誌 Vol47. No2, 46-53. (2020)
 10. 尾田まどか、清水暢子、石川県能登地域での「畜産型農福連携」を推進していく上で必要な事の検討～精神障害のある人への理解に焦点をあてて～北陸公衆衛生学会誌 Vol47 No1, 14-22.(2020)

研究題目	富山県における「気になる妊婦」のアセスメント指標開発に向けた実態調査
機関名	富山県立大学
研究代表者	看護学部・講師・西村 香織
分野	ライフサイエンス/生涯発達看護学/助産学/母性看護学
キーワード	気になる妊婦、アセスメント項目、内容妥当性、助産師、保健師

1. 研究の背景と目的

本研究は、富山県内の分娩取扱施設の助産師および母子保健課の保健師を対象とした質問紙調査研究であり、富山県内における気になる妊婦のアセスメント指標の開発に向けてアセスメント項目を精選することを目的とする。

令和4年度、富山県の出生数は6,022人、合計特殊出生率は過去最少の1.46¹⁾となり少子化が進んでいる。また、3世代同居率は減少し、単独世帯や夫婦と子どもからなる世帯が多い現状にある²⁾。富山県の共働き率は全国平均を上回る就業率の高さである³⁾。働くことを望む女性が社会で活躍しながらも子育てをしたいと思える環境作りが求められている。これらの状況を背景として、子育て支援・少子化対策の一層の充実を図るため、各市町村において子育て支援が実施されている。その一環として、平成29年度に富山県内に産後ケア施設が複数開設され、母親たちが医療機関退院直後に家庭に戻ることが不安な場合や、育児へのサポートを受けたい場合に利用可能な、産後の母親の育児負担に着目した支援が実施されてきた。

一方で、子育て前に着目した支援も重要とされている。令和2年度には、新たな基本計画として「次世代に繋ぐとやまっ子みらいプラン」が策定された。また、富山市では出産・子育て応援における「伴走型相談事業」および「経済的支援」を実施している。具体策として、妊娠届け出時の妊婦への面談や、出産応援ギフト配布などの機会を通して、支援が必要な妊婦を継続支援へとつないでいる。WHOでは4回以上の妊婦健康診査が推奨されているが⁴⁾、富山県では助成が受けられる。このように、妊娠期に妊婦と対面する機会を活用し、妊娠期からの切れ目のない支援を目指している。

切れ目のない支援について、日本では、助産師と保健師の2つの職種が妊婦支援の中心を担っている。現在、出産後の養育について出産前からの支援が特に必要と認められる妊婦を特定妊婦と定義しスクリーニングが実施されている。特定妊婦は、養育支援訪問事業ガイドラインの中で、妊娠期から支援が必要な対象を、若年、経済的問題、妊娠葛藤、母子健康手帳未発行・妊娠後期の妊娠届、妊婦健康診査未受診、多胎、妊婦の心身の不調と定めている⁵⁾。先行研究では、産後に児童虐待の可能性が高い特定妊婦の特徴と関連要因について、妊婦健康診査の未受診が挙げられている⁶⁾。精神障害、10代の妊娠、多胎、妊娠葛藤、妊婦健康診査の遅れ、未受診のある妊婦538件のうち、71件が児童虐待防止委員会の介入、55件が児童相談所の介入を受けたことも

報告されている⁷⁾。また、精神障害、低年齢、未受診・初診の遅れなどの因子は不適切な保育の重大なリスク要因となっている⁸⁾。これらより、特定妊婦の一部の要件と虐待は関連があり、支援の優先度の高い妊婦となっていると考えられる。

一方、本研究で対象とする特定妊婦以外の支援が必要な妊婦の判断については、各保健医療福祉施設が独自に判断している。本邦では、支援が必要な妊婦のスクリーニング項目を作成している医療施設のうち83.8%が、支援が必要な妊婦として、「何となく気になる」を項目化し、独自のアセスメントシートを用いて妊婦をスクリーニングしており⁹⁾、臨床ではこれらの何となく気になる妊婦を「気になる妊婦」と呼んでいる。先行研究においても看護師が感じる気になる妊婦は、各自の経験知により導き出されており¹⁰⁾、気になる妊婦の定義はなく、気になるという事象は、病院で働く助産師間でも、地域で働く保健師間でも共通して解釈できるものとして言語化されていない。研究者はこれまでに、富山県内の妊婦の支援に携わっている助産師および保健師にインタビュー調査を行い、先行研究と合わせて気になる妊婦のスクリーニングのためのアセスメント指標の開発に向けて、アセスメント項目の抽出を試みた。これをもとに「気になる妊婦」のアセスメント指標を開発し、富山県が全国の先駆けとなりスクリーニングの実施を目指す。

2. 研究方法

研究を実施するために、内容妥当性検証の体系的アプローチ¹¹⁾を参考に概念枠組みの決定¹⁰⁾、先行研究および質的記述的研究¹²⁾から気になる妊婦アセスメント項目45項目の作成を行った。45項目を4名のエキスパートに提示し、気になる妊婦のアセスメント項目の妥当性を確認した。エキスパートによる評価では、4人の場合、I-CVI および CVI は1であるべきとされることからこの基準を満たすものを妥当性ありとした。45項目すべてにおいて、妥当性が確認できたため45項目を用いて質問紙調査によるアセスメント項目の内容妥当性とツール全体の妥当性の検討を行った。

研究対象者は、研究協力施設の母子保健部門または看護部門の責任者の承認が得られた分娩取り扱い施設16施設、母子保健担当課22施設に勤務し、妊婦の支援に携わっている助産師、保健師とし、計114名に依頼した。気になる妊婦と気づくには、看護の経験知が必要であることより、Benner 看護論において中堅看護師は4年目以上であることから、妊婦の支援に携わっている経験年数が4年以上の者とし、3年未満は除外した¹³⁾。

データ収集期間は2024年10月～11月であった。調査方法は郵送による無記名自記式質問紙調査であった。調査内容は、研究対象者の基本属性として、年齢、職種、勤務場所、看護職経験年数、妊婦の支援に携わっている経験年数、1カ月あたりの妊婦の対応件数の6項目と、アセスメント45項目の内容妥当性である。内容の妥当性をリッカート4件法で回答を求めた。

分析方法はCVIの計算にはI-CVIとS-CVIを求めた。先行研究では、優れた内容妥当性を持つ尺度と判断されるためには、I-CVIが0.78以上、S-CVI/Aveが0.90以上の項目で構成されることが推奨される¹⁴⁾ことから、この基準をみたすものを妥当性があるとした。分析はIBM SPSS Statistics Ver29を使用した。

倫理的配慮として、郵送した研究対象者の依頼文書に、研究目的、研究方法、研究協力に関する自由、研究を拒否した場合も不利益がないこと、研究の公表に関することについて記載した。研究協力への同意は回答と郵送をもって同意とする旨を明記した。研究の実施にあたっては所属機関の倫理審査委員会の承認を得て実施した（倫理審査承認番号 R6-8）。

3. 研究成果

配布した 114 部の質問紙のうち、74 名（回収率 64.9%）より回答を得、3 名は看護師としての経験年数が 3 年未満であったため、除外した。71 名のうち、全項目に回答があったものは 68 名（59.6%）であった。本研究ではこの 68 名を分析データとした。

1) エキスパートによるアセスメント項目の内容妥当性の検証

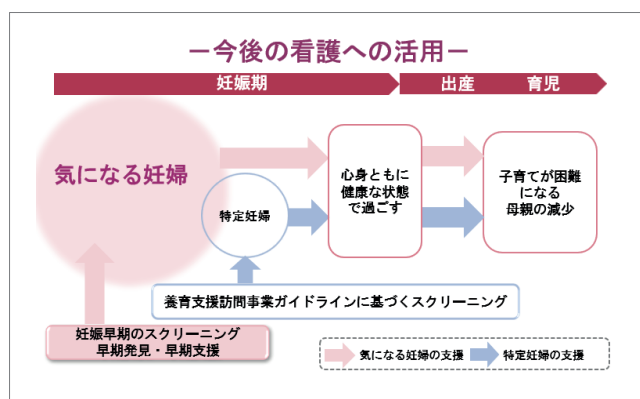
4 名のエキスパートナースによる内容妥当性は 45 項目すべてにおいて I-CVI は 1 であった。

2) 質問紙調査による内容妥当性の検証

研究対象者の属性は、助産師 40 名、保健師 28 名であった。看護師経験年数は 17.6 ± 8.1 年、母子の支援に携わった経験年数は 14.3 ± 6.9 年であった。本研究における 45 項目の項目ごとの内容妥当性について 45 項目全体の S-CVI は 0.873 であった。内容妥当性として I-CVI が 0.78 に満たなかったものは 4 項目であった。I-CVI が 0.78 に満たなかった 4 項目を除外した 41 項目全体の S-CVI は 0.897 であった。内容を検討し、表現や内容が類似しているもの、意味が捉えにくい項目を修正、除外した結果、最終的に 39 項目（表 1）が得られ、39 項目全体の S-CVI は 0.90 で妥当性の高い結果が示された。

4. 今後の展望

今回、富山県の助産師と保健師が気になる妊婦を把握するための、気になる妊婦の 45 項目のアセスメント案を作成し、内容妥当性の確認をするために、10 年以上の経験を有する助産師、保健師を対象に検証を行い、I-CVI、CVI により内容妥当性が確認できたので、アセスメントツール案として、妊婦支援に携わっている助産師、保健師を対象



とした質問紙調査を行い、I-CVI の結果に基づき、項目の削除および表現の修正を行い、最終的に内容妥当性のある 39 項目のアセスメントツールを作成した。今後は、これをもとに全国の助産師、保健師計 2000 名を対象に調査を実施し、実用化に向けてアセスメント指標を完成させていく。アセスメント指標の活用により、妊娠早期から気になる妊婦を継続支援へとつなぎ、母親が産後の子育てを心身ともに良好な状態で過ごし、子育てが困難になる母親の減少につなげることができると考える。

表1 気になる妊婦アセスメントツール調査票 39 項目

	気になる妊婦アセスメントツール 39 項目	表現の修正項目
脆弱な家族機能	①夫に怯えている様子が1回1回伺いを立てる ②医療者の質問に妊婦より先に付き添いの家族が答える ③会話中に実母の顔を見てから答える ④両親との関係性が悪く家族に信頼できる人がいない ⑤夫や実母に自分の思いを言いづらい ⑥ステップファミリー、シングル、若年妊婦で家族関係が複雑で家族に頼れない ⑦SNSで知り合って相手のことをよく知らない間に妊娠した ⑧家族がいても1人で育児をする時間が多いことが想定される ⑨育児上の相談をする人が家族の中ではないことが想定される ⑩妊婦の家族が高齢であり両親のサポートが得られない ⑪無職、生活保護の受給、服装の汚れから経済的に生活が困窮していると予想される	
社会的孤立	⑫自宅の環境や実家など、自分の身の上のことを深掘されることを拒否するような雰囲気がある ⑬行政に來たがらないし、つないでほしくない様子がある ⑭医療介入拒否の既往や医療機関のサポートを受け入れたくない様子がある	* *
社会生活に適応しにくい特性	⑮文字の書きぶりや、ネット検索して書く様子から知的な面に特性がある ⑯理解力が乏しく会話中に何度も同じことを話す必要がある ⑰椅子にじっと座って待てず落ち着きのない行動がみられる ⑱会話中に何度も同じことを繰り返し聞いて固執する ⑲洋服の乱れや汚れがあり整容行動がとれていない ⑳些細な質問があまりにも多く1つ1つ確認する ㉑書籍に載っていないことが起こるなど想定外のことに動揺しやすい ㉒断定できる理由がないがあれもこれも心配になる ㉓話ながら涙する ㉔視線が合わない ㉕質問に対する応答がない ㉖会話がかみ合わずコミュニケーションがとりづらい ㉗無表情 ㉘発言が極端にネガティブ	*
妊娠による心身の変化への不適応	㉙慢性疾患合併妊婦であり妊娠・出産・育児の経過の中で、疾患の悪化が懸念される ㉚高齢妊婦であり妊娠経過に伴う身体への負担や、産後の身体の回復の遅れ、メンタルの落ち込みが懸念される ㉛精神疾患の既往や落ち込みやすい素因があり産後うつなど精神状態の悪化が懸念される ㉜精神疾患があるが未治療または自己中断している ㉝妊娠が分かった時に、困った、特に何も思わなかったなど嬉しい以外の気持ちがある ㉞パートナーが妊娠を受け入れていない ㉟自分の身体をいたわる行動がとれず、妊婦としての自覚が乏しい ㊱妊娠中の胎動が不快であるとか、かわいくないといった胎児への負の発言がある ㊲妊婦からたばこのにおいがする ㊳感情の起伏や気分に変化がある ㊴妊婦からアルコールのにおいがする	

*は表現に修正のあった項目

5. 参考文献

- 1) 厚生労働省(2023), 令和4年度人口動態統計(確定数)の概況.
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei22/>
- 2) 厚生労働省(2023), 令和4年国民生活基礎調査の概況.
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/dl/14.pdf>
- 3) 国勢調査(2022), 「就業状態等基本集計」富山県の結果について.
<https://www.pref.toyama.jp/1117/keizaigepo/20220915-3.html>
- 4) 公益社団法人 日本WHO協会(2021), 妊産婦死亡を防ぐ世界目標.
New global targets to prevent maternal deaths, World Health Organization
- 5) 厚生労働省(2009). 養育支援訪問事業ガイドライン.
URL: <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kodomo/kosodate08/03.html>
- 6) 吉岡京子, 笠原由美, 神保宏子, 他(2016). 産後児童虐待の可能性と高いと保健師が判断した特定妊婦の特徴とその関連要因の解明. 日本公衆衛生看護学会誌, 5, 66-74.
https://doi.org/10.15078/jjphn.5.1_66
- 7) Sakai, S., Nagamitsu, S., Koga, H., Kanda, H., Okamatsu, Y., Yamagata, Z., & Yamashita, Y. (2020). Characteristics of socially high-risk pregnant women and children's outcomes. *Pediatrics International*, 62, 40-145. <https://doi.org/10.1111/ped.14058>
- 8) Suzuki, S. (2022): Appropriate support for "specified expectant mothers". *JMA Journal*, 5(1), 17-22. <https://doi.org/10.31662/jmaj.2021-0165>
- 9) 岡野あすか, 玉上麻美(2021). 産科医療施設における支援を要する妊婦のスクリーニング方法の実態. 母性衛生, 61, 554-563.
- 10) 西村香織, 北島友香, 工藤里香, 松井弘美(2022). 看護者が感じる気がかりな妊婦の概念導出, 日本母性看護学会誌, 22(2), 1-8.
- 11) Yusof MSB (2019): ABC of content validation and content validity index calculation. *Education in Medicine Journal*, 11, 49-54.
<https://doi.org/10.21315/eimj2019.11.2.6>
- 12) Nishimura K, Okamoto R, Omote S, et al (2024): Pregnant women of concern as identified by proficient and expert midwives and public health nurses. *Journal of Wellness and Health Care*, 48, 13-26.
- 13) Benner P (2001): From novice to expert: Excellence and power in clinical nursing practice (Commemorative ed.). Addison-Wesley Publishing Company.
- 14) Polit DF, Beck CT, Owen SV (2007): Focus on research methods: Is the CVI an acceptable indicator of content validity? Appraisal and recommendations. *Research in Nursing & Health*, 30, 459-467. <https://doi.org/10.1002/nur.20199>

研究題目	富山県におけるユニバーサルツーリズムの観光プログラムの実践と普及啓発に向けたシンポジウム開催
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・准教授・一井崇
分野	観光学、社会学
キーワード	ユニバーサルツーリズム、観光プログラム

1. 研究の概要

本研究は、ユニバーサルツーリズム(Universal Tourism、以下 UT)対象者向けのモニターツアーを実施し、富山県内の観光事業者にとって汎用可能な UT 観光ツアー造成のノウハウを整理するとともに、UT の実践的な課題や可能性をシンポジウムを通じて観光事業者らと共有し、富山県における UT の更なる普及啓発を目指してきた。UT に関する知見を導出するために実施したモニターツアーでは、UT 対象者の中でも観光時により多くの困難性を抱えると想定される視覚障害者のグループを対象に 2025 年 1 月 25 日～26 日の 1 泊 2 日で立山町にて実施した。また、UT 観光プログラムの発表を兼ねたシンポジウムについては、UT の普及啓発と富山県の観光 PR を兼ね、より発信力の高い首都圏(東京富山会館)にて 2025 年 2 月 22 日に開催した。【①研究課題の学術的重要性】、【②研究課題の独創性】については、UT をテーマとする実践的な課題を理論的に考察し、実践と理論の両面から UT の更なる深化につなげている研究はまだ少ない。そのため、本研究における成果は今後の UT の普及・啓発に貢献する実践となり得る、独自性の高いものと位置付けられる。【③研究課題の波及効果】については、視覚障害者に対象を絞り、実施した観光プログラムがほとんどなく、視覚以外の五感を研ぎ澄ますことで富山県内観光地のコンテンツを新たに活用できるという観点から造成された観光商品もほとんど見受けられない。その点で、本研究の成果は UT の実用化に向けた基礎研究・実践として富山県にとどまらず、観光業界への示唆を富山県から発信できる効果が期待される。【④研究課題の地域性】について、申請者自身のこれまでの富山県における調査や実践から導き出されたのは、富山県が UT と非常に親和性の高い自然資源、文化資源を有しているということである。急速に進む高齢化や障害者の社会参加の進展、言語や宗教、文化的背景の異なるインバウンドの復調などを見据え、本研究成果は今後の富山県の新たな観光振興の重要な視点となる。

2. 研究方法

本調査研究の主体となる本学所属の学生らと共に UT に関する基礎知識や実践から得られる分析視角をゼミ活動を通じて醸成してきた。その上で、視覚障害者のニーズに即したモニターツアーを造成し、その知見を導出するため参加者に対するアンケート調査(聞き取り調査)を行った。また、本研究の成果発表および有識者を交えたシンポジウムでは、首都圏の観光事業者や視覚に障害のある一般の方にも参加いただき、意見交換を行った。さらに、これらの研究成果は今後、フィールドワークを実施した立山町・商工観光課や富山県内の観光事業者らとも共有する予定である。

3. ①研究成果(亜細亜大学との合同フィールドワークとシンポジウム開催)

【亜細亜大学との合同フィールドワーク：2024年8月28日～31日、於立山町】

亜細亜大学の学生15名と富山国際大学の学生5名に指導教員2名、全盲の文化人類学者の広瀬浩二郎先生の計23名で立山町でのフィールドワークを実施した、学生たちは3グループに分かれ、「越中瀬戸焼」「立山信仰」の2つのテーマでそれぞれ体験プログラムを行い、それを踏まえて得られた2つのテーマの魅力や課題を各班毎にまとめ、4日目の最終日には富山国際大学にてフィールドワークの成果を各班毎に発表し、得られた成果を共有した。また、9月以降は月1回のペースでオンラインでの合同ミーティングを開催し、2月の成果発表会に向けて各班オリジナルの立山町の観光振興プログラムを作成していった。

【合同フィールドワーク・成果発表会：2025年2月22日、於東京富山会館】

9月以降、立山町の観光課題の解決に向けて「越中瀬戸焼」「立山信仰」の2つのテーマを活用した各班オリジナルの観光プログラムを首都圏の観光関連事業者に対し、発表した。3つのプログラムはそれぞれ「キャンピングカーとデジタルスタンプラリーを活用し、『日常を豊かにする旅』『境界を越える交流』を目指し、越中瀬戸焼で五感を紡ぐ旅』『Enjoy Life』をキーワードに『擬死・再生・充電』をテーマとする旅」であり、高評価が得られた。



【立山町での越中瀬戸焼の作陶体験の様子】



【立山町でのeバイクを使った実地調査】



【学生による成果発表会の様子(東京富山会館)】



【成果発表会終了後の集合写真】

3. ②研究成果(富山県外の視覚障害者を対象としたモニターツアー造成)

立山町・芦峯寺を中心に「越中瀬戸焼」「立山信仰」をテーマとしたこれまでのフィールドワークの集大成として、事業化を見据え、県外の視覚障害者を対象としたモニターツアーを2025年1月25日～26日の1泊2日で実施した。県外からは、全盲の文化人類学者である広瀬浩二郎先生を含む視覚障害者5名と介助者1名、学生サポーター4名、研究代表者を含むその他3名の計13名で実施した(主な行程は文末を参照)。

初日は、立山信仰の拠点であった芦峯寺で現地ガイドの案内のもと立山信仰にまつわる当時の衣装を身にまとい、関連施設を周遊した。案内については、目の見えない人にいかに立山信仰の歴史や周辺景観、文化的背景を伝えるかが重要であったが、現地ガイドの創意工夫により、音や手触りなど視覚以外の感覚を使って理解できるような内容であった。また、2日目の午前中は約430年以上の歴史をもつ越中瀬戸焼の陶芸体験を学生サポーターの手を借りながら、視覚障害者自ら作品を制作した。さらに、芦峯寺の宿坊に伝わる伝統料理を視覚障害者自身が実際に調理、試食し、味覚や触覚で体感できるプログラムを試み、参加者に好評であった。

なお、立山町におけるフィールドワーク、立山町でのモニターツアー、東京富山会館での成果発表会の様子は本学ホームページや地元新聞紙に掲載された。その詳細および執行予算内訳については下表にまとめた。



【雄山神社境内で大灯籠に触れる参加者】



【閻魔堂で野生動物の毛皮に触れる様子】



【千寿窯での越中瀬戸焼・陶芸体験】



【宿坊料理「焼き付け」の調理体験】

研究成果一覧	学会発表、新聞掲載		
	【新聞掲載】 ◆富山新聞「立山の文化体験」(2024年8月30日付朝刊) ◆北日本新聞「立山信仰 触れて体感」(2025年1月26日付朝刊) ◆富山新聞「立山町の魅力 触って楽しむ」(2025年1月26日付朝刊) ◆北日本新聞「立山町の観光 学生が提案」(2025年2月23日付朝刊)		
予算内訳	区 分	執行額(円)	備 考
	【旅費】(学生5名+教員1名)	256,700	成果発表会(東京)
	【モニターツアー経費】	195,700	立山町にて実施
	【体験参加費】(学生5名分)	13,750	ダイアログ in サイレンス
	【物品費など】	33,850	会場費、備品など
	合計	500,000	

4. 今後の展望と課題

今回のFWで得られた成果をもとに、次年度も引き続き立山町におけるフィールドワークを実施する予定である。今後の展望として、まずはこれらの研究成果について学術的な考察を進めることである。その成果については、2025年度の日本観光学会で研究発表を行い、他の研究者と成果を共有すると共に学術論文としてまとめる予定である。また、県外の視覚障害者を対象に実施したモニターツアーを通じて得られた知見については、今後の事業化を見据えて課題を整理するとともに、地元自治体の関係者らと協議を進めたい。さらに、立山町あるいは県内別地域でも同様のモニターツアーを実施し、富山県の潜在的な自然資源、文化資源を活用した新たな観光スタイルを模索していきたい。

今後の課題としては、主に以下の2点が挙げられる。1点目は、「費用の問題」である。学生のフィールドワーク、視覚障害者を対象としたモニターツアーを通じ、若手観光人材の育成やモニターツアーの事業化を見据えた知見を導出するためには学生やモニターツアー参加者の費用負担をできる限り軽減する措置が必要となる。また、視覚障害者をはじめ観光に際し、何らかの困難を抱える旅行者をサポートする体制整備も必要となる。実証研究にかかる費用、それを踏まえ実施する着地型観光商品造成のための環境整備など、誰がどのような形で一定の経費を負担していくのか(参加者が100%経費を負担する場合、価格に転嫁され、参加費用が高額になる)、議論が必要となる。UTの事業化は、当事者の外出機会や余暇保障にとどまらず、社会的困難を抱える人々への理解醸成にもつながる。2点目は、「着地型観光の担い手」の問題である。今回のモニターツアーでは、これまでのフィールドワークを通じて知り合った現地関係者の方々(ツアーガイド、陶芸家、料理アドバイザー)の協力に支えられ、視覚に障害のある参加者のツアー後のアンケートからはツアーの内容に対する高評価が得られた。視覚障害者にとどまらず、今後、言語や宗教、文化的背景の異なるインバウンドへの対応、視覚以外の各種障害や高齢者など多様な旅行者のニーズに対応できる着地型観光の担い手を継続的に育成し、雇用機会をどのように

創出していくのが観光振興を見据える上で大きな課題となる。残されたこれらの諸課題については、引き続きその解消に向け調査研究に取り組んでいく。

5. 参考資料：視覚障害者を対象としたモニターツアーの行程表

	日付	行程	食事
1	1/25 (土)	<p>【JR 富山駅・新幹線改札口集合(11:30)】 富山駅発(12:00)→貸切バスにて、立山町へ移動…</p> <p>→「はづき」にて昼食(和定食)… (12:45～13:45) →立山信仰の拠点・芦峯寺にてガイドツアー… (14:15～16:00) →グリーンパーク吉峰にチェックイン (16:30頃)</p> <p>※チェックイン後は、大浴場(温泉)入浴などでリラックス ※夕食は、18:30 から宴会場にて季節の会席料理</p>	<p>朝：－</p> <p>昼：定食</p> <p>夕：○</p>
2	1/26 (日)	<p>※朝食(7:30～)</p> <p>宿出発(8:45)→貸切バスにて、千寿窯へ移動… →千寿窯にて「越中瀬戸焼・陶芸体験」 (9:00～11:30) →グリーンパーク吉峰にて「ます寿司」のご昼食 (12:00～13:00) →立山信仰の宿坊に伝わる伝統料理教室・試食(グリーンパル)… (13:15～15:15) →バスの車中にてモニターツアーの振り返り (15:15～16:15) →JR 富山駅前着 ※着後、駅周辺にてお買い物後、解散。 (16:15～16:45)</p>	<p>朝：○</p> <p>昼：ます 寿司</p> <p>夕：－</p>

研究題目	衛星データ等を活用した(気象)災害リスク監視のための Web システムの開発
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・越智士郎
分野	空間情報学
キーワード	防災、気象災害、人工衛星降水量マップ

1. 研究の背景と目的

近年、豪雨災害や猛暑・天候不順による農作物への影響など、異常気象や地球温暖化に関連する気象災害が増加し、その報道も多い⁽¹⁾。2023年7月14~16日の秋田豪雨、2024年9月21~24日の能登半島豪雨などが記憶に新しい。地球温暖化は、地球の平均気温の長期的な上昇傾向を示すものであるが、それに関連し、極端な高温や大雨など異常気象の発生頻度の増加につながっていると考えられている⁽²⁾。

気象災害を予測する上で、気象データの観測は欠かせない。現代ではビッグデータとスーパーコンピュータを活用し、以前と比較して、より正確な気象予測が可能となった。また、そうした成果を利用したビジネスも拡大している。日本においては、気象データの観測は、アメダス(AMeDAS: Automated Meteorological Data Acquisition System)と呼ばれる気象観測所(点)が全国に約1,300か所(約17km間隔)設置され、自動的に、降水量、気温、風速、積雪(一部地域)などが自動的に観測、収集され、気象予測にも利用されている⁽³⁾。また、全国に約20か所設置されている気象レーダーは、地上からレーダー(マイクロ波、電波)を発射し、反射する電波を解析することで、雨雲の位置や動き、雨や雪の強さを観測しており、国土のほぼ全域をカバーしている⁽⁴⁾。

一方、世界に目を向けると、気象災害は世界各地で頻発化しているものの、天気予報を含め、気象災害を予測するための気象データは地球規模では不足している⁽⁵⁾。地球温暖化研究の分野においては、大気、水、エネルギー循環を理解するうえで、全球スケールでの気象データの観測・収集は重要であり、これまで約30年間にわたり、地球規模の降水量の把握のため、日米欧が中心となり、人工衛星を利用した降水観測が行われてきた⁽⁶⁾。衛星観測による降水量の観測(推定)技術は、当初は空間分解能、時間分解能ともに粗く、地球環境研究の補助的な役割に過ぎなかったが、近年の技術的進歩により、空間分解能で0.1度四方(赤道付近で約11km四方)、時間分解能で30分~1時間、しかも観測後1時間前後で速報データがインターネットで公開されるなど、データの精度、利便性が向上した。それに伴い、サイエンスとしての利用から、防災、水資源管理など実利用にも期待が寄せられている。JAXA(宇宙航空研究開発機構)は東京大学などと共同で、「Today's Earth」と呼ばれる陸域水循環シミュレーターを開発し、水災害の監視・予測や水資源管理のための研究プロジェクトを実施している⁽⁷⁾。

本研究では、「Today's Earth」でも利用されているJAXAが開発した衛星観測による降水デ

ータ(通称 GSMaP)を用い、主に 2024 年の能登半島豪雨を事例として取り上げ、データの特徴を理解するとともに、将来、グローバルスケールで、気象災害(主に豪雨)の予測可能性について考察した。

2. 研究方法

2.1 使用データ

SPPs(Satellite Precipitation Products)とは、人工衛星のデータを用いて解析した地球上の降水量データセットの総称で、そのいくつかはインターネット上で無償公開されている。JAXA が開発している GSMaP(Global Satellite Mapping of Precipitation, 衛星全球降水マップ)や NASA(アメリカ航空宇宙局)が開発している IMERG(Integrated Multi-satellite Retrievals of GPM, マルチ衛星統合降水量推定)などがある⁽⁸⁾。両者とも、降水量の観測(推定)には、複数の静止衛星(高軌道衛星：高度約 36,000km、一般に気象衛星と呼ばれる)と、複数の地球周回衛星(低軌道衛星：高度約 800km)のデータ(画像)を併用する。高軌道衛星(気象衛星)は雲や水蒸気の分布や温度が観測でき、空間分解能(空間解像度)は比較的粗い(ひまわり 9 号では 0.5~2km)が、時間分解能(観測間隔)は高い(ひまわり 9 号では半球領域を 10 分間隔、日本周辺領域は 2.5 分間隔)。静止衛星は、例えばひまわり衛星の場合、日本を中心とした地球の半球面しか撮影できないため、全球でデータを取得するためには、米国や欧州で運用されている気象衛星のデータと統合する必要がある。低軌道衛星に搭載される降雨観測センサは、水蒸気(雨や雲)から放射されるマイクロ波を観測し、その分布や雨の強さ、速度、海面温度など様々な情報が取得できる。JAXA が運用する GCOM-W 衛星は、空間分解能が 5~50km(観測波長により異なる)で、2 日間で全球をカバーする範囲を観測する。同様の低軌道衛星を欧米の宇宙機関も複数運用しており、互いにデータを共有し、複数の機関が独自の SPPs を作成、公開している。

IMERG と GSMaP のどちらも、データ公開のタイミングや地上観測データを用いた補正の有無、日次データや月次データなど編集の種類により複数のプロダクトが存在する⁽⁹⁾。各プロダクトの特徴を表 1 にまとめた。

表 1 SPPs の主なプロダクトの特徴

名称	遅延	時間解像度 (最小)	空間解像度	観測範囲
IMERG-E	4時間	30分	0.1度	Global
IMERG-L	14時間			
GSMaP-Now	0.5時間	1時間		北緯60度～ 南緯60度
GSMaP-NRT	4時間			
GSMaP-G/NRT				
GSMaP-MKV	3日			
GSMaP-G	3日			

2.2 GSMP の特徴

GSMP の精度に関し、信頼性については以下の指摘がなされている⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。

- ①降水パターンをよく再現している。
- ②GSMP の降水精度は、他の衛星データセットと同程度であり、特に夏季の降水検出率が高い。
- ③冬季(12～2 月)の降水量を過小評価し、夏季(6～8 月)を過大評価している。
- ④夏季の誤差の原因として、赤外画像データの補間方法が考えられる。
- ⑤冬季の誤差の原因として、積雪の影響、低層の降水の観測が難しいことなどが考えられる。
- ⑥精度のばらつきに地域性がある。例えば、米国西部より東部の方が精度が高い。
- ⑦精度の地域性の原因として、地形による影響や、補正用の地上観測点の偏在が考えられる。
- ⑧ポストリアルタイム製品(IMERG-F および GSMP-Gauge)が最も精度が高い。

本研究では、先行研究で最も信頼性が高いとされた GSMP-G(ver.8)の日次データおよび月次データを用いることとし、1998 年 1 月 1 日～2024 年 12 月 31 日までの 27 年間(324 か月、9862 日)のデータを利用して以降の分析を進めた。「GSMP-G」は、世界の気象機関などが各国各地に設置する気象観測の雨量計(Gauge)による観測データを用いて、補正を行ったものである。観測後約 3 時間後にインターネットに公開される時間毎の「GSMP-NRT(リアルタイムデータ)」に比べ即時性に劣るものの、「リアルタイムデータ」より精度がよく、予報の観点から、「GSMP-G」を使用することとした。データが以下のサイトでユーザ登録することでダウンロードサイトから入手できる：<https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMP/registration.html>。

3. 研究成果

3.1 月次降水データの評価

GSMP のオリジナルデータは、1 時間毎の降水強度(単位は[mm/hr])で示される。空間解像度は東西方向、南北方向ともに 0.1 度(赤道付近で約 11km)で、データ範囲は西経 180 度～東経 180 度。画像サイズは 3600 カラム×1200 行。データタイプは 4 バイト実数(float)である⁽¹³⁾。

JAXA は時間毎データを編集し、日次データおよび月次データを作成し公開している。日次データ、月次データともに、データの単位は[mm/hr]である。そのため日降水量、月降水量に変換するには、それぞれ 24(時間)、720(時間、ひと月 30 日の場合)を乗じる。

富山県全体をカバーする領域は、図1に示した黒色で塗りつぶされた領域(46画素)である。図中の赤い画素は、富山地方気象台を含む画素である。画素値に各月の時間数(1か月が30日の月は720時間、28日の月は672時間)を乗じることで月降水量が算定できる。図2は、富山気象台を含む赤色の画素の月別降水量(衛星データによる推定値)の27年間の月別平均値と、気象庁が公表している富山の月間降水量(30年の平均値)⁽¹⁴⁾と比較したものである。全体的に、月降水量のパターンはよく再現されているものの、年間を通して GSMaP は観測値を過小推定していることがうかがえる。先行研究から、衛星観測による降水量推定は夏季の降水が過大推定される傾向があるとの指摘があったが、今回の分析ではその傾向は見られなかった。ただし、先行研究では時間降水強度についての指摘であり、本稿での値は月平均降水量を対象にしたものであるため比較の対象は異なる。また、富山における冬季の降水量の多くは降雪と考えられる。GSMaP の降雪量の推定に関しては、先行研究において、過大評価されることが指摘されているが⁽¹⁵⁾、この点においても本研究での結果は逆の傾向を示した。

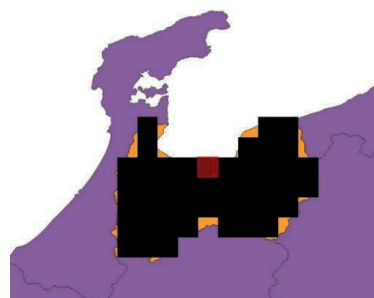


図1. 富山県をカバーする画素

続いて月平均降水強度の27年間のトレンド分析を行った。27年間のデータをプロットし Microsoft Excel を使って回帰直線を求めた(図3)。回帰直線はわずかながら増加傾向を示すが、有意性(5%)は棄却され、統計学的には増加傾向は認められなかった。

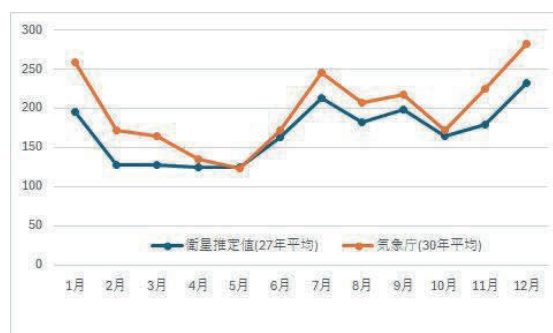


図2. 気象データ(気象庁)と衛星による推定値の比較(単位[mm/月])

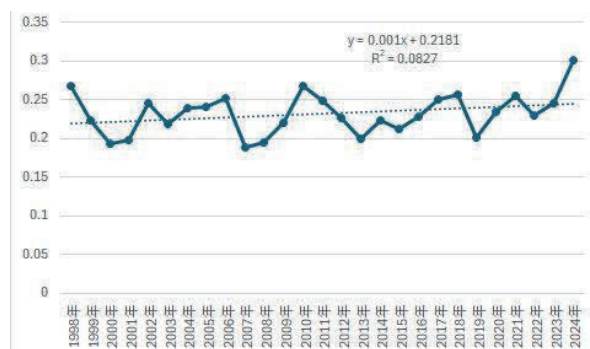


図3. 衛星データによる富山県全体の時間降水強度[mm/hr] 年平均の27年間の変化

3.2 日次降水量データ

日次データは、27 年間、約 9,862 件のデータが対象とした。本稿では豪雨災害につながるような豪雨イベントが空間解像度 0.1 度の日次データから見つけることができるか、という点に着目してデータを分析した。「災害級の豪雨」を判断するため、2024 年 9 月に発生した「令和 6 年能登豪雨」をとりあげ、石川県珠洲市を含む画素(ピクセル)値と富山空港を含む画素値を比較することとした。

気象庁の報告書によると、9 月 21 日 09 時 07 分に石川県能登に顕著な大雨に関する気象情報を発表している⁽¹⁶⁾。10 時 50 分には輪島市、珠洲市、能登町に大雨特別警報を発表している。報告書に記載されている時刻は日本標準時であるため、GSMaP で使われている世界標準時(UTC)は、この時刻より 9 時間前の時刻となる。GSMaP は 2024 年 9 月 21 日のデータを分析対象データとし 9 月 22 日のデータを参考データとした。

図 4(a)(b)はそれぞれ 2024 年 9 月 21 日と 9 月 22 日(豪雨翌日)の GSMaP 画像である。能登半島北部の広い範囲で数値は 5[mm/hr]を超えている。珠洲市周辺の画素(黄色四角、以下「珠洲」とよぶ)を示すピクセル値は 9.0[mm/hr]である。日雨量に換算すると 215[mm/day]となる。同日の富山空港周辺の画素(赤色四角、以下「富山空港」とよぶ)は 2.9[mm/hr]で、日雨量に換算すると約 70[mm/day]となる。翌日の 22 日の 2 地点の降水強度はそれぞれ 0.7[mm/hr]と 0.3[mm/hr]で、日雨量に換算するとは、約 17[mm/day]、7[mm/day]となり急激に低下する。

図 5 は「珠洲」と「富山空港」における時間降水量の日平均(単位は[mm/hr])を時系列で示したものである。また、図 6 は「珠洲」「富山空港」それぞれの時間降水量[mm/hr]の日平均値 9,862 件の箱ひげ図である。箱ひげ図の上端の「ひげ」は四分位範囲(25%~75%)を IQR としたときの第三四分位+1.5*IQR を示し、それを上回るデータを特異値として○印で個別に示している。

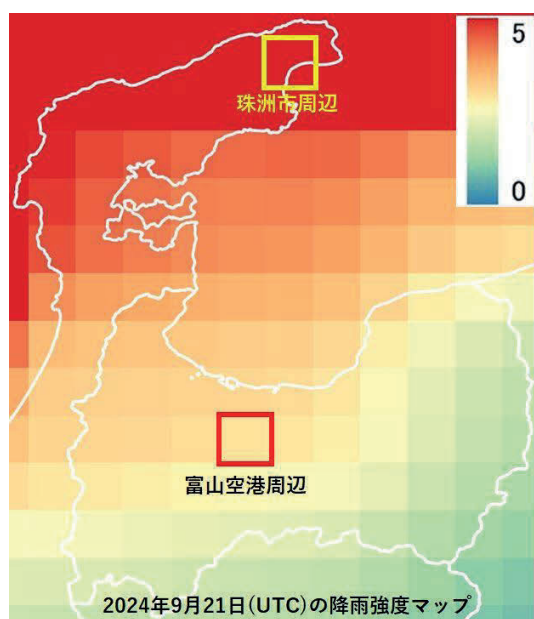


図 4(a) GSMaP・2024 年 9 月 21 日

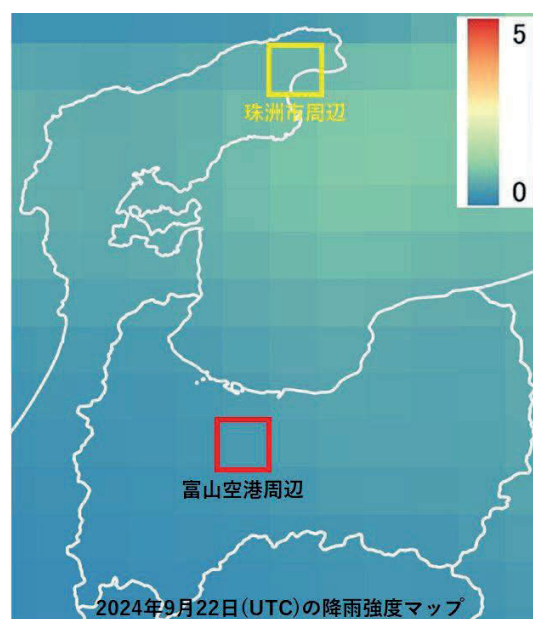


図 4(b) GSMaP・2024 年 9 月 22 日

「富山空港」で最も高い数値(ID 番号 9256)は、2023 年 5 月 7 日に記録された 7.3[mm/hr]で、日雨量に換算すると 175[mm/day]となる。2 番目(ID 番号 9645)は 5.7[mm/hr]で日換算で 136mm となる。一方、「珠洲」の最高値(ID 番号 265)は 1998 年 9 月 22 日に記録された 13.2[mm/hr]で日換算で 316[mm/day]であった。2024 年 9 月の豪雨災害では、2024 年 9 月 20 日記録された 9.5[mm/hr](日雨量 227[mm/day])で、27 年間で 2 番目の高い値であった(ID 番号 9760)。図 5.でとりあげた 2024 年 9 月 21 日は 4 番目に高い数値であった(ID 番号 9761)。「富山空港」での最大値 7.3[mm/hr]より大きい値は「珠洲」では 5 件記録されており、2 位の 5.7[mm/hr]より大きい値は「珠洲」では 9 件であった。「珠洲」は「富山空港」より豪雨のイベントにより頻繁に見舞われていることになる。ちなみに、「珠洲」で最大値を記録した 1998 年 9 月 22 日は、大風 7 号により、石川県梯川などで洪水被害が発生しているが、この台風では近畿地方(紀伊半島)でより甚大な被害をもたらしている⁽¹⁷⁾。また「富山空港」で最大値を記録した 2023 年 5 月 7 日は富山での 24 時間降水量として 5 月の観測史上最大(当時)として記録されている⁽¹⁸⁾。

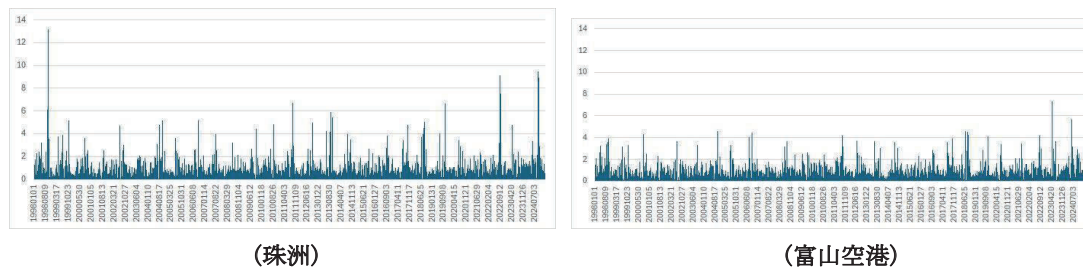


図 5. 時間降水量(mm/hr) 日平均値(27 年間)

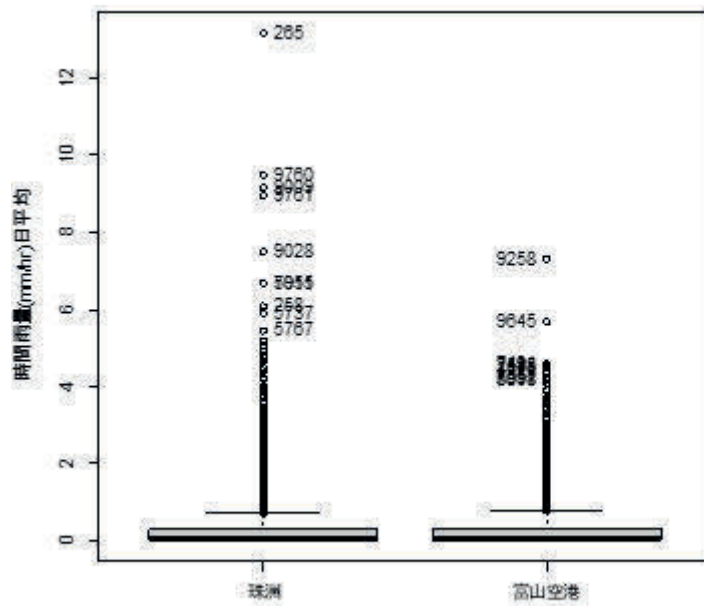


図 6. 時間降水量(mm/hr) 日平均値(9,862 件)の箱ひげ図

気象学や水文学の分野では、ある降水イベント（例えば日降水量 100mm）が平均的に何年に一回起きるかを表した値を「再現期間」と呼び、ある再現期間に一回起こると考えられる降水量を「確率降水量」と呼んでいる⁽¹⁹⁾。確率降水量は地域、地点により異なる。つまり、豪雨に見舞われる確率は地域によって異なる。また、地域によって地形や外水(集水域)、排水能力は異なるため、どの程度の大雨で災害(内水氾濫、外水氾濫)が発生するかを一概に求めることはできないが、地域毎に過去の降水イベントを分析することにより、地域で水防災を考える情報を提供することは防災上有効な情報と考えられる。衛星観測による降水量データ(SPPs)は、日本においては、アメダス観測の空白地地域(主に中山間部、富山県では県東部の山間部など)のデータを補間する。また、世界的には、気象データが不足する地域での気象災害(豪雨災害や洪水など)の防災情報として有効である。

4. 今後の展望

本研究は、人工衛星データを用いて推定される降水量データセット(SPPs)の一つである「GSMaP-G」を使って、豪雨災害など気象災害を検知、予測する手法の開発およびその情報発信のための Web システムの開発を目指した。本報告では、地域(富山県)や地点(珠洲市、富山空港)を絞って、システム開発に向けた試験的な分析までにとどまった。月次データの降水パターンの再現性は比較的高く、今回の分析では実測値に対して過小推定する傾向が見られたものの、27 年間にも及ぶ長期間のデータを利用することで水資源管理や農作物の作況への影響を評価する指標となりうることを示唆された。また日次データにより、豪雨災害をもたらすような降水イベントを感知できると考えられる。「GSMaP-NRT(リアルタイム)」データより素地性は劣るものの、より精度の高い「GSMaP-G」を使ことにより、3 日前での予測を念頭に、早期警戒につながるようなデータ利用の方法を考えたい。また、今回は時間データについては分析を行わなかった。時間データは 27 年間でおよそ 24 万個の画像データを処理することとなる。ビッグデータに対応するデータ処理手法についても検討を続けたい。

5. 参考文献

1. 国土交通省,「気候変動に伴う災害の激甚化・頻発化」,<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r03/hakusho/r04/html/nj010000.html> (参照日 2025-06-04)
2. 江守正多,「異常気象と地球温暖化の関係について」、地球環境研究センター(国立環境研究所), <https://www.cger.nies.go.jp/ja/news/2013/130911.html> (参照日 2025-06-04)
3. 気象庁,「地域気象観測システム(アメダス)」,
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/amedas/kaisetsu.html> (参照日 2025-06-04)
4. 気象庁, 気象レーダー,<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html> (参照日 2025-06-04)

5. 文部科学省,「地球観測・予測データの利活用による SDGs への貢献に向けて」,
https://www.mext.go.jp/content/20230131-mxt_kankyou-000027310_2.pdf (参照日 2025-06-04)
6. 宇宙航空研究開発機構,「全球降水観測(GPM)計画」,
https://www.eorc.jaxa.jp/GPM/index_j.html (参照日 2025-06-04)
7. 宇宙航空研究開発機構,「Today's Earth(TE)」,
https://www.eorc.jaxa.jp/water/index_j.html (参照日 2025-06-04)
8. Ziteng Zhou et al., Comprehensive evaluation of latest GPM era IMERG and GSMaP precipitation products over mainland China, Atmospheric Research Vol.246, 2020 :
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105132>
9. Wenchao Ma et al., A New Generation of Hydrological Condition Simulator Employing Physical Models and Satellite-Based Meteorological Data, Earth and Space Science, 11(11), 2024: <https://doi.org/10.1029/2023EA003228>
10. Xiaoyu Lv et al., Evaluation of GSMaP Version 8 Precipitation Products on an Hourly Timescale over Mainland China, Remote Sensing, 16(1), 2024
<https://doi.org/10.3390/rs16010210>
11. Jiayong Shi et al., Statistical Evaluation of the Latest GPM-Era IMERG and GSMaP Satellite Precipitation Products in the Yellow River Source Region, Water, 12(4), 2020 : <https://doi.org/10.3390/w12041006>
12. Yudong Tian, Evaluation of GSMaP Precipitation Estimates over the Contiguous United States, J. of Hydrometeorology, 11(2), 2010:
<https://doi.org/10.1175/2009JHM1190.1>
13. JAXA、Data Format Description for Global Satellite Mapping of Precipitation Microwave-IR Combined Product(GSMaP_MVK) and Gauge-calibrated Rainfall Product(GSMaP_Gauge),Ver.8:https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/document/new/DataFormatDescription_MVK_RNL_v8.0000.pdf (参照日 2025-06-04)
14. 気象庁,「富山(富山県)平年値(年・月ごとの値)主要要素」,
https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/view/nml_sfc_ym.php?prec_no=55&block_no=47607 (参照日 2025-06-04)
15. 内海信幸他,グリーンランド南部の積雪面マイクロ波特性と GSMaP 降雪量へ影響,土木学会論文集 B1(水文学),Vol.78(2),523-528,2022: https://doi.org/10.2208/jscejhe.78.2_I_523
16. 気象庁,「圧と前線による大雨 令和6年(2024年)9月20日~9月22日」
https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/jyun_sokuji20240920-0922.pdf (参照日 2025-06-04)
17. 国土交通省,「水害と治水事業の概要(抜粋)梯川水害」
https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/pdf/kakehashiga

wa44-5-4.pdf (参照日 2025-06-04)

18. 富山県、「定例記者会見[令和 5 年 5 月 10 日(水曜日)]」,
<https://www.pref.toyama.jp/kensei/governor/kishakaiken/r05nendo/050510.html> (参
照日 2025-06-04)
19. 気象庁、「確率降水量とは」, [https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/exp_qt.](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/riskmap/exp_qt.html)
html (参照日 2025-06-04)

＜謝辞＞

本研究で使用した「GSMP データ」は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)より提供を受けました。感謝申し上げます。

研究題目	富山県内地方議会の財政監視機能に関する研究 ～能登半島地震関連予算を事例として～
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・佐藤綾子
分野	地方議会、公会計、地方財政
キーワード	地方議会、予算・決算、富山

1. 研究の背景と目的

我が国の国・地方の負債総額は1,262兆円（2023年度末）にのぼり、財政健全化が喫緊の課題である。このような状況下において、少子高齢化にともなう社会保険費の増大という構造的な歳出圧力に加え、新型コロナウイルス感染症、自然災害、地政学リスクなど緊急的な歳出増に限られた資源で対応するためには、政策の優先順位の決定ならびに予算執行の監視は極めて重要であり、地方自治体においてその役割を担うのは地方議会である。

新型コロナウイルス感染症の対応にあたって、一部の地方議会では、多くの住民が影響を受ける感染症や災害時こそ、住民の意見集約に議会が貢献すべきであるとの問題意識のもと、予算審議で議会が積極的に意見を表明するケースもみられたが、そのような例は稀である。そこで本研究では、能登半島地震に関する補正予算における地方議会のかかわりを調査し、地方議会による財政監視機能の課題につき考察する。

2. 研究方法

予算・決算における地方議会のかかわり方を研究するにあたっては、公会計研究において進められてきた議会による財務情報活用プロセスに関する研究の視点が有用である。しかしながら、先行研究の多くは決算審査など、政策PDCAにおける全体予算・決算を対象としている。そのため、本研究では、まず、新たに発生したイシューに対峙する際の財務情報活用研究に関する視点を先行研究をもとに整理する。そして、能登半島地震後の議会のかかわりについては、能登半島地震に関する予算はいまだ執行中のものも多く、2024年度の決算審査が終了していないことから、震災直後の補正予算過程を対象として調査、考察する。

3. 研究成果

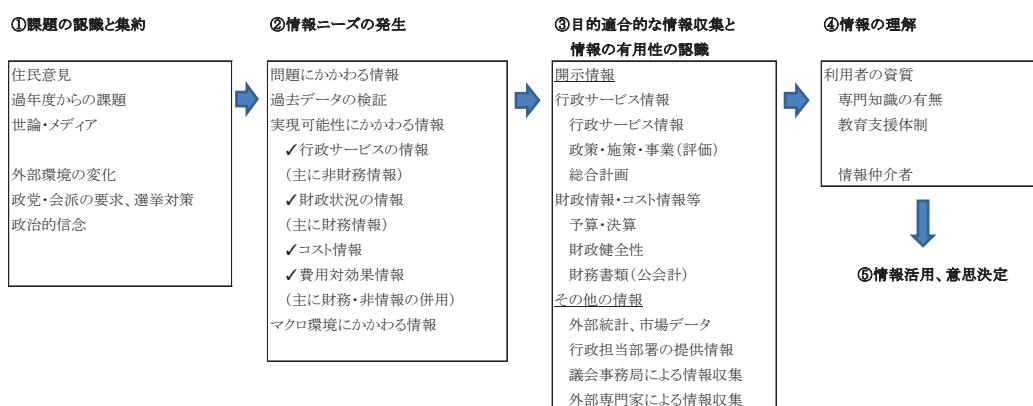
(1) 災害時の財務情報活用においても制度的課題検討の余地

議会における財務情報活用プロセスは、①アジェンダの発生と情報ニーズの認識、②情報の有用性の認識、③情報の理解、④情報の活用に分けることができる。これは政策PDCAの過程と連動するものである。そして、このプロセスで財務情報の利用に影響を与える要因は、外的要因（課題の発生、課題の大きさ、政治環境等）、制度的要因（予算・決算の審議体制、行政から議会へ提供される情報の目的適合性等）、内的要因（考え方、情報の理解力など情報利用者に帰す

るもの)に大別することができる。なかでも、行政と議会の財務情報活用の違いが顕著なのは内的要因であり、それは課題(以下、イシュー)の認識の段階で大きな影響を及ぼす(Sato 2023)。これに対して、特定のイシューを対象としない、財政全体に対する評価、すなわち決算審議における財務情報の利用に関してみるならば、議会に提供される財務情報の目的適合性や理解可能性が重要な要素となっている(柴・佐藤 2018)

このように、これまでの研究では、議会における予算・決算情報の活用に関し、イシュー型では内的要因が、全体型では制度的要因が大きいとしてきた。しかし、災害対応など緊急性が高いイシューに関しては、首長による専決処分による予算が大半であることをふまえると(佐藤 2021)、議会が関与することが難しい制度的要因についても、いまいちど検討する必要がある。

図表 1：地方議会における財務情報活用プロセス



出所：佐藤 (2020)

(2) 歳入予算見通しの難しさに課題

2024年1月2日に能登半島地震が発生したのち、被災した自治体では3月末に向けて2023年度の補正予算と2024年度の予算が同時に編成される事態となった。そのため、時間的制約と、国や県からの財源見通しという2点において、歳入予測がきわめて難しいことが、予算過程における議会関与の余地を大きく狭めている。

図表2、3は県内で被災規模の大きかった高岡市および氷見市の2024年1～3月決算の補正予算を、そして図表4は同時期の富山県の能登半島地震支援関連の補正予算を示している。ここからわかる通り、高岡市、氷見市とも財源は、基金からの繰入および国、県からの支出金に依存している。ここで、これらのタイミングにつき整理すると、国では1月9日に能登半島地震支援のために予備費から47億4千万円を支出することを閣議決定している。そして、同月26日には、能登半島地震の被災者への支援策「被災者の生活となりわい支援のためのパッケージ」に使う予備費1,553億円を閣議決定した。これに続いて富山県は1月に1回、2月に4回の補正予算を組んでおり、それらが両市の歳入予算に反映されているが、これらが極めて短期間に進められている^{注)}ため、首長の専決処分で議会には事後報告となっている。過去の災害を見ると、東日本大震災は3月と年度末に発災しており、行政は国の支援決定を見越して予算案を準備し、

国の財源措置と自治体の予算編成がほぼ同時進行している。その後続く激甚災害においても同様の手法がとられている。このように、一刻も早い支援提供のための時間的制約、国・県などの財源の制約から、議会が予算の情報を共有し、審議することは極めて困難な状況にある。

図表2：高岡市一般会計補正予算（2024年1～3月）（千円）

年月日	号	専決処分	歳入		金額	歳出		金額	補正額
			款	項		款	項		
2024/1/5	第6号	専決処分	繰入金	基金繰入金	500,000	土木費		500,000	500,000
						道路橋りょう費		(470,000)	
						河川費		(30,000)	
2024/1/22	第7号	専決処分	国庫支出金	国庫補助金	500,000	総務費	総務管理費	30,450	1,048,000
			県支出金		235,050	民生費		537,100	
				(県負担金)	(13,600)	社会福祉費		(523,500)	
				(県補助金)	(221,450)	災害救助費		(13,600)	
			繰入金	基金繰入金	162,850	衛生費		135,000	
			市債	市債	150,100	環境衛生費		(35,000)	
						清掃費		(100,000)	
						農林水産業費		3,000	
						土木費		192,050	
						土木管理費		(108,940)	
						公園費		(27,000)	
						住宅費		(56,110)	
						教育費		150,400	
						小学校費		(99,100)	
						中学校費		(37,100)	
						特別支援学校費		(4,200)	
						社会教育費		(1,000)	
						保健体育費		(9,000)	
2025/2/2	第8号	専決処分	寄付金	寄付金	100,000	民生費	社会福祉費	60,000	100,000
						土木費	住宅費	40,000	
2025/3定例会						教育費		298,459	-84,694
						総務費		258,717	
						土木費		128,968	
						農林水産業費		-37,744	
						衛生費		-52,316	
						商工費		-82,247	
						民生費		-598,531	

出所：高岡市財政資料をもとに著者作成

図表3：氷見市一般会計補正予算（2024年1～3月）（千円）

年月	歳入		歳出	金額	補正額
	款	金額	款		
1月補正 (2024.1.9)	国庫支出金	152,500	総務費	76,000	1,000,000
	県支出金	214,000	民生費	36,000	
	繰入金	425,059	衛生費	355,000	
	繰越金	208,441	土木費	494,500	
			教育費	8,500	
			予備費	30,000	808,293
2月補正 (2024.2.5)	国庫支出金	141,790	総務費	128,453	
	県支出金	202,268	民生費	135,250	
	繰入金	163,235	衛生費	114,514	
	繰越金	301,000	農林水産業費	5,000	
			土木費	64,000	
			消防費	2,000	
			災害復旧費	359,076	297,813
3月補正 (定例会)	寄付金	315,626	民生費	216,549	
	繰入金	73,751	総務費	179,772	
	地方交付税	53,364	農林水産業費	59,513	
	県支出金	25,708	商工費	13,386	
	その他	-170,636	その他	-171,407	

()内は記者会見発表日。

出所：氷見市財政資料をもとに著者作成

図表 4: 富山県の能登半島地震関係補正予算 (2024 年 1～3 月)

(単位: 百万円)

2023年1月補正 (1/12専決処分) 11,226 ・災害公共事業、県単独の災害復旧、県有施設(学校、警察含む)の災害復旧 ・県被災者生活再建支援補助金、知事見舞金 ・石川県へのDMAT等派遣 等
2023年2月補正① (2/6専決処分) 6,855 ・なりわい再建支援、漁船・漁具、農業者・農業用施設、商店街の復旧支援、 北陸・とやま応援事業 ・生活福祉資金、災害援護資金 等
2023年2月補正② (2/26冒頭提案) 1,935・災害公共事業、直轄災害復旧事業、県単独の災害復旧、県有施設の災害復旧
2023年2月補正③ (3/7追加提案) 1,570 ・県被災者生活再建支援補助金(追加)、浄化槽補助 ・社会福祉施設、深層水施設の復旧支援 ・県有施設の災害復旧 ・石川県への支援 ・寄附金積立て 等
2023年2月補正④ (3/19追加提案) 2,815・直轄災害復旧事業費負担金、港湾施設特別会計への繰出金 ・北陸・とやま応援事業
2023年度計 24,401 【財源】 国支出金 11,530 地方債 9,445 その他 510 一般財源 2,916

出所: 富山県「令和6年能登半島地震関連予算額」
 (<https://www.pref.toyama.jp/documents/46204/0702jishinkankeiyosan.pdf>) より抜粋

4. 今後の展望

これまで地方議会において、財務情報を有効に活用し、財政監視機能を高めるためには、地方議員のニーズに適合的な情報提供や、議員の理解可能性を高めることが重要としてきた。しかしながら、能登半島地震のような災害時においては、時間的制約や、財源見通しが地方議会による予算審議の障壁となっている。新型コロナウイルス問題を機に、議会のオンライン開催を可能にするなど、多くの地方議会がイシューへの早期対応を可能とする体制を構築している。しかしながら、国・県の財源措置、予算編成、予算執行が極めて短期間で行われることをふまえると、この過程で議会が監視機能を十分に発揮することは容易ではない。そうであるならば、むしろ、議会も行政同

様、先を見越した動きが求められるのではないだろうか。甲府市では、新型コロナウイルス感染症問題にあたり特別委員会を立ち上げた。そこでは、財源見通しは不透明であるものの、住民の意見の集約をすすめ、その優先順位を行政に提示した。そして議会を通年開催することにより、これらの政策の実現を推進した（佐藤 2020）。さらに、これらの案が次の予算に反映されるか、そして予算がどのように執行されたのか決算で検証することにより、議会の監視機能を発揮した。東日本大震災、新型コロナウイルス感染症などにおいては、大型の財政出動がなされたが、その後、会計検査院により資金使途が適切ではないケースがいくつも指摘されている。その背景には、災害直後の短期間の予算編成のひずみもあるものと思われる。財政監視機能というと決算審査を連想しがちだが、予算と決算は表裏一体である。このような状況を生じさせないためにも、予算の段階から、議会が住民の意向を反映させる仕組みを構築することが望まれる。

注) 能登半島地震関連予算における国・石川県・同県基礎自治体の関係については武田（2024）に詳しい。

5. 参考文献

1. 佐藤綾子（2020）「地方議会における財務情報ニーズの重要性—甲府市議会新型コロナウイルス感染症対策特別委員会の事例」『産業経理』VOL.80No.3、pp.53-67。
2. 佐藤綾子「予算・決算における議会からの意思表示」『地方議会人』第52巻7号 pp.50-53。
柴健次、佐藤綾子（2018）「地方議会の財務報告活用にかかわる実態調査」『現代社会と会計』第13号、pp.11-27、関西大学大学院会計研究科。
3. 武田公子（2024）「能登半島地震発災から半年間の自治体財政—国・県・市の予算編成から見えること—」金沢大学経済学経営学系 Discussion Paper Series No.88。
4. Sato, A. "Utilization of financial information at Local Councils and behavior of Council members" Paper presented at the 19th Biennial CIGAR Conference 29th June, 2023, Waseda University, Tokyo."

研究題目	インクルーシブ教育としての国語科教育の在り方 —物語の授業における国語科教師の成長プロセスに着目して—
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・講師・岩崎直哉
分野	教師教育
キーワード	国語科 インクルーシブ教育

1. 研究の背景と目的

学級内には様々なニーズを持った子どもたちがいる。学力的発達、精神的発達における差異は、まさに十人十色である。文部科学省（2022）は、通常の学級に在籍する発達障害の可能性のある特別な教育的支援を必要とする児童生徒は 8.8%であると報告している。これは 30 人学級では約 3 人に相当する数である。そのような現状で、学校現場でも「障害者差別解消法」に基づいたインクルーシブ教育の在り方が模索されている。「合理的配慮」による一斉指導の中で、様々なニーズを持つ子どもの学びをも保障する教師の力量が求められる。

そのような現状を受けて、富山県でも「新富山県 教育振興基本計画」（富山県・富山県教育委員会：2019）において、「基本施策 3 子どもの健やかな成長を支え元気を創造する教育の推進」

(3) として、「特別支援教育の充実」を挙げている。ここでは、「個別の教育的ニーズに応じた適切な指導・支援を提供できる、多様で柔軟な仕組みの整備」と「共生社会の形成に向けて、インクルーシブ教育システムの理念が重要であり、特別支援教育を着実に進めていくこと」が課題とされる。また、富山県教育委員会は「富山県公立学校の教員等の資質向上のための指標」を策定し、「教諭の資質向上のための指標」の一つとして、全教諭に「特別支援教育 インクルーシブ教育」に関する資質の向上を求めている。

これらの社会的要請、今後の教師教育の方向性に鑑みて、本研究課題の追究が地域の研究課題解決への一助となると考える。実際に学校現場で起こっている事象、行われている教育活動を当該の実践者とともに分析する活動を通して、インクルーシブ教育の在り方を研究し、その成果を広く共有したい。

本研究では、とりわけ言語教育の要となる国語科教育の分野において、教師がどのように授業観を変容させていくのかに着目する。

国語科教育界では、通常学級に在籍する発達障害児・学習障害児への支援の在り方についての研究は極端に少ない。また、特別支援教育では、言語発達に遅れの見られる児童・生徒への教育の在り方が中心的に議論されてきた。ただし、それは特別支援という形で通常学級の外で行われること、あるいは、対象児の学習を補う形で個別指導という形で行われているのが一般的である。国語科教育は、特別な支援を要する子どもへの指導を特別支援教育に「丸投げ」（原田：2017）してきたという指摘さえある。住田（2020）は、この現状を「特別支援教育と国語教育研究が、それぞれその守備範囲としてきた問題領域の「間」に、ほぼ手付かずの「空白」地帯が生まれて

いる」と述べている。研究代表者と共同研究者（河崎美香）は、この「空白」に着目し、通常学級における国語科授業の中で起こっているインクルーシブをめぐる実態を捉え、授業の在り方を考察してきた（岩崎・河崎（2023a）岩崎・河崎（2023b））。本研究も、その一環として、インクルーシブな国語科授業をめざすとき、教師はどのように授業観を変容させていくのかを明らかにする。

また、本研究では、とりわけ物語の読解指導に重点を置く。これまでの共同研究の成果も物語の読解指導に焦点を当ててきた。物語の授業ならではの、子どもたちのそれぞれの参加の仕方があることと、それが教師の授業観に影響されることが確認された。物語を読むことの授業をインクルーシブ教育の観点から捉え直すことで、ますます多様化する子どもたちを包み込む授業論を提案できるのではないかと考える。

2. 研究方法

本研究では、実際に通常学級における国語科授業を参観し、教師の授業行為によって、様々なニーズを抱える子どもたちを含む学級全体が、どのように学習活動へと参加していくのかを捉える。研究期間を通して、授業者の授業観がどのように変わっていくのかを分析する。

2. 1 調査期間

2024年6月21日～2025年3月31日

2. 2 調査対象

授業実践は、富山県内公立小学校5年教室で行われたものである。授業実践者は、当該年度より対象学級を担任する新卒3年目の若手教員（以下、Y教諭）である。

2. 3 調査の概要

調査期間にわたり、対象学級で行われた全4単元の物語の授業を参観し、調査導入時・調査終了時及び授業実践の前後において、授業実践者へのインタビューを全10回行った。

国語科教育を専門とする研究代表者は、授業実践前には単元指導計画の作成を支援し、授業実践後に実践者へのフィードバックを行った。研究共同者は、インタビューを担当し、1回につき、約30分程度のインタビューを行った。

表1 調査の概要

期日	授業実践	インタビュー調査
2024. 6. 21		導入時インタビュー
2024. 7. 9		実践①前インタビュー
2024. 7. 16 -2024. 7. 18	実践①（全2時間） 「ちいちゃんのかげおくり」	
2024. 7. 26		実践①後インタビュー
2024. 9. 26		実践②前インタビュー
2024. 10. 4 -2024. 10. 24	実践②（全2時間） 「たずねびと」（全8時間）	

2024. 11. 18		実践②後インタビュー
2024. 12. 10		実践③前インタビュー
2024. 12. 11 -2024. 12. 19	実践③（全6時間） 「やなせたかし アンパンマンの勇気」	
2024. 12. 20		実践③後インタビュー
2025. 3. 3		実践④前インタビュー
2025. 3. 14 -2025. 3. 17	実践④（全7時間） 「大造じいさんとガン」	
2024. 3. 31		実践④後インタビュー
2024. 3. 31		終了時インタビュー

2. 4 調査データの収集

授業実践の参観には、複数台のビデオカメラで教師の授業行為と子どもの学習行為を記録した。また、子どもたちにはペアで一台のボイスレコーダーを設置して、対話やつぶやきなどの音声記録した。全10回のインタビューはすべて文字化して、逐語データとして残した。

2. 5 倫理的配慮

研究代表者らが所属する組織における倫理申請委員会に諮り、研究における倫理的配慮を行った。調査開始前には、研究の意図と方法を対象者及び所属校の校長に説明し、同意を得た。また、当該学級の保護者に向けて書面にて同意を得た。研究データの管理を徹底し、個人が特定できない形でその成果を発表することとする。

3. 研究成果

本稿では、一連の研究成果の概要を示す。調査導入時・調査終了時のインタビューを比較して、調査期間において、確認される調査対象者の授業観の変容プロセスについて報告する。インタビュー内容は、共起ネットワーク分析により、その概観を捉えたうえで、M-GTAによって、そのプロセスを詳細に分析する。

3. 1 共起ネットワーク分析

調査導入時及び調査終了時のインタビューデータを比較し、その変容を見るためにKH Coderにより共起ネットワーク図を生成した（図1・図2）。

調査導入時（図1）では、各ノードが独立的に配置され、サブグラフ間の距離が均等に保たれている。一方で、調査終了時（図2）では、エッジの数が増え、複数のサブグラフが絡み合うことで、ネットワーク全体が複雑な構造になっている。特に、「発問」「子供」「子」「反応」「聞く」「気づく」などを媒介にして、授業について語られることが多くなっている。これは、「発問」などの教師の授業行為と「反応」「気づく」などの子どもの捉えを重ねることで、授業の現象をより多面的・多角的に捉えようとする授業観に変容が見られた結果であると考えられる。このことについて、より詳細にその変容プロセスを捉えるために、以下では、グラウンデッド・セオリー・アプローチ（木下，2003）による分析の結果を示す。

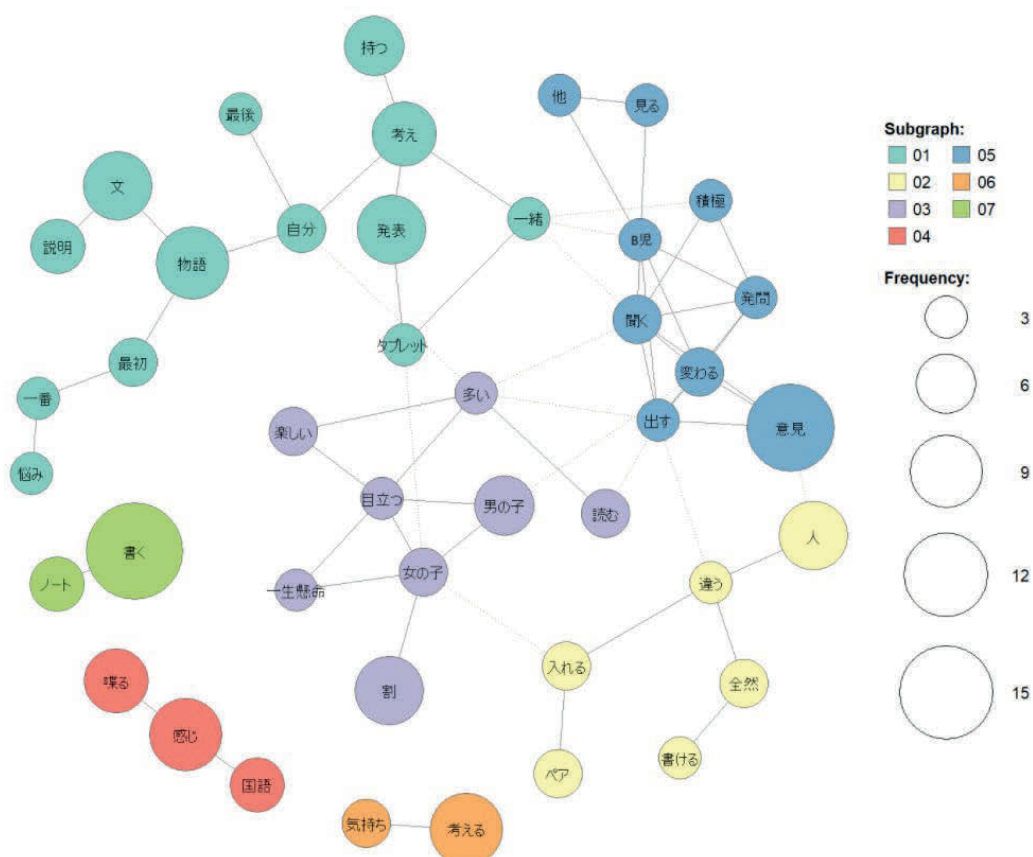


図1 調査導入時：共起ネットワーク図

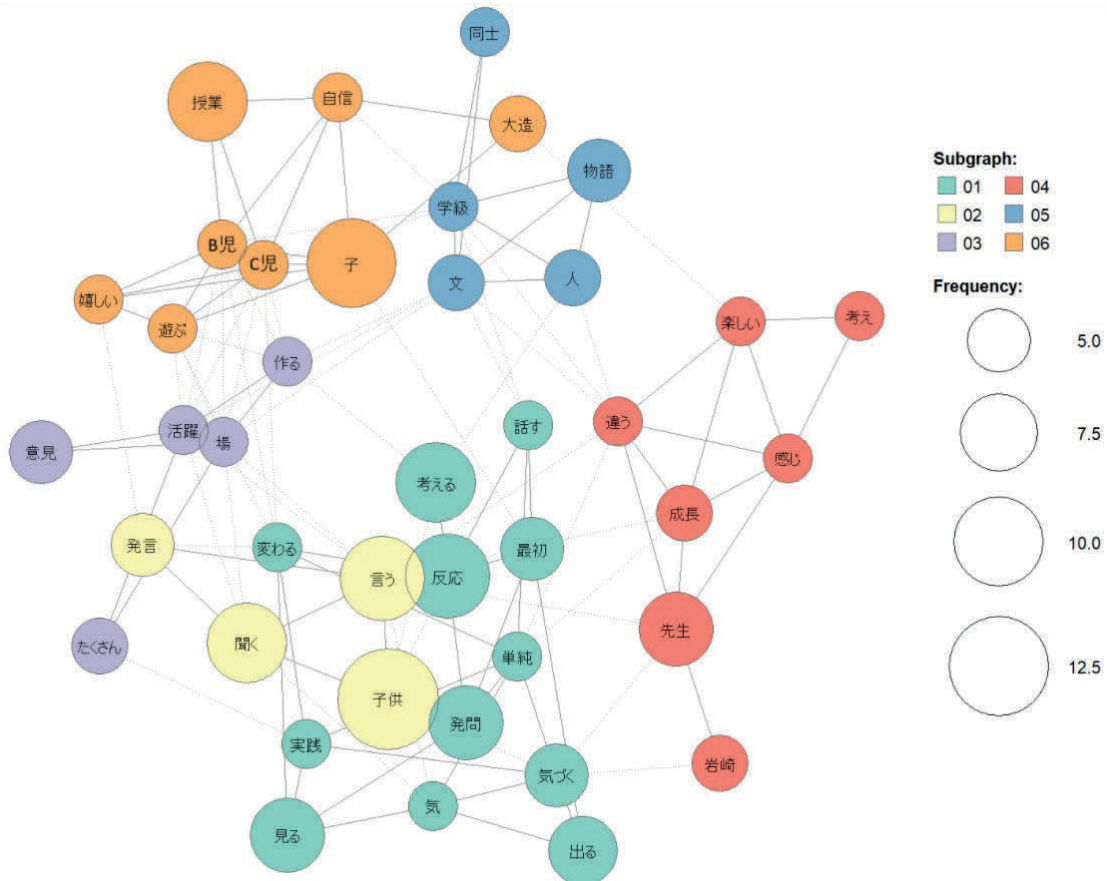


図2 調査終了時：共起ネットワーク図

3. 2 グラウンデッド・セオリー・アプローチ

3. 2. 1 分析方法とその選択理由

インタビューの逐語録の分析手法として、修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチ（以下、M-GTA）を用いた。M-GTAは質的研究法の一つである。今回、分析対象とする物語の授業における国語科教師の成長プロセスは、教師の授業観というような本人の認識や感情の動きなどの直接見えにくい現象とその変容のプロセスを分析するものであり、その変化は教師と学級の子どもおよび都度助言を行ったメンター（研究代表者）との相互作用によって導かれる。よって、変化のプロセスを分析するのに優れた特性を持つM-GTAを用いた。

3. 2. 2 M-GTAによる分析の手順

M-GTAは、質的データを継続的に確認しながら分析概念を生成し、複数の概念間の関係を解釈・統合し、最終的に結果図を作成する手法である。このプロセスが第三者から見て明確であること（以下、透明性）が、M-GTAにおいて重視される。本研究では以下のように、3つの手順に沿って逐語録を分析した。分析テーマは、「教師の授業観の変容プロセス」である。

手順①インタビューデータを読み進めながら、分析テーマに照らして関連箇所に着目し、具体例を説明するための概念を生成する。できあがった概念は、データを解釈して得られる仮説的なもので、一定程度の現象の多様性を説明できる。概念を生成する際には分析シートを作成し、概念名、定義、最初のヴァリエーションなどを記入する。次に、生成された概念間の関係を検討し可視化する。概念の内容や相互関係をさらに検討し、複数の概念を統合した下位カテゴリー、さらにその上位概念に該当するカテゴリーを生成する。

手順②これらのカテゴリー間の関係性を踏まえ、ヴァリエーションを見比べながら分析結果をまとめ、時系列による変容プロセスの筋に沿って結果図を作成する。

手順③結果図を参照しながら、授業観の変容プロセスを文章化する。

3. 2. 3 分析結果の厳密性

分析結果の厳密性を確保するため、以下の取り組みを行った。

- ・インタビューデータの範囲を明確にしながら、類似例や対局例を検討しつつ、概念の意味と名称を丁寧に精査した。また、各概念を生成するたびに、その都度、理論的飽和に達しているかどうかを判断した。
- ・ヴァリエーションから概念を生成する段階（手順①前半）は研究分担者が担当し、概念名や定義を記載する分析シートの作成を含む段階（手順①後半）以降は、筆頭研究者と研究分担者が協働で分析を進めた。軸となるカテゴリーや概念間の関係性を整理・構造化していく手順②③においては、分析の妥当性を検証するためのすり合わせ（トリアングレーション）を行い、調査前後にそれぞれ5回ずつ、トータル20時間の検討を実施した。さらに、概念の生成から結果図の作成に至る全過程（手順①②③）において、研究代表者と研究分担者による共同検討を5回行い、トータル9時間をかけて分析結果の厳密性を確保した。

3. 2. 4 インタビューデータの概念、カテゴリー

3. 2. 2の手順に従って、ヴァリエーションから概念、下位カテゴリー、上位カテゴリーへとボトムアップで分析を進め、「教師の授業観の変容プロセス」を明らかにした（表2）。

表2 インタビューデータの概念、カテゴリー

上位カテゴリー	下位カテゴリー	概念	定義
教師の理想	目指す子どもの参加スタイル	全体の前で自分の考えを表明できる子ども	自分の考えをもち、それを話す・書く・入力するなど多様な方法で表現できる子ども
		互いの意見を聞き合える子ども	発表や書くこと以上に、子どもが互いの意見を温かく聞き合える子ども
	目指す授業像	自分の考えがもてる授業	子どもが自分の考えをもって参加できる授業
		分かる楽しさを実感できる授業	子どもが「そういうことか。分かることは楽しい」と実感し、学びを舌痛から楽しい経験へと捉え直すことへの変化
		学級づくりにつながる授業	学習のねらいに加えて、子ども同士の関係づくりや学級づくりを重視した授業の捉え方
子どもの捉え	学習態度	国語に対する消極的・否定的姿勢	子どもが国語科の学習に対して「わからない」「できない」と感じたり、消極的・否定的な姿勢を示したりする心理的な抵抗や自信のない姿
		受け身の学習姿勢	自発的な発言や主体的な関わりをほとんどせず、授業を「他人事」のように傍観する姿
		儀礼的通過の欠如による防衛的姿勢	コロナ禍の影響で、通過儀式を経験しないまま成長してきたことにより、他者との関わりにおいて自己防衛的な態度が顕著に現れている姿
		内的思考・話す・書くことの苦手さ	自分の考えを形成することや、それを言語化して話す・書くという表出が困難な状態
		表層的視写による学習参加の誤認	単に写すことが授業への参加だと勘違いし、黒板を書き写すことに集中し、それだけで授業に参加したつもりになっている姿
		授業中の落ち着きの形成と逸脱行動の減少	授業中に立ち歩きやおしゃべりなど落ち着かない行動が少なくなってきた状態
		主体的学習姿勢	はじめは単に見ているだけだった子どもが、授業を楽しめるようになり、授業内容を自分ごととして捉え、自ら関わり、他者と学びを共有しようとする姿
		授業中の落ち着きの形成と逸脱行動の減少	授業中に立ち歩きやおしゃべりなど落ち着かない行動が少なくなってきた状態
	読み方	叙述に即さないで読む姿	教科書を十分に読み込まず、思いついたことを直感的に発言し、発言内容が読解に基づいた理解や深い思考を伴わない読み方
	話し方	思いつきによって話す姿	発言したいという強い欲求に突き動かされ、文脈や周囲の意見とは関係なく思いつきや感情に基づく発言
		内発的動機によって話す姿	「知りたい」「伝えたい」という内発的な関心を原動力から自らの発言
	聞き方	考えながら聴く姿	他者の発言を積極的に聴き理解しようとする態度の形成と理解の深化と密接な関連性
	反応の仕方	発問による子どもの反応の差異	教師の発問の内容や質によって、子どもの反応や関心の度合いが変わり、理解の深さや発言内容に違いが生じること
	A児の見取り	A児の実態	よく話し、鉛筆を弄ぶ授業中の様子。自己肯定感の著しい低さ
		A児の成長	児童が自分の努力と成長を実感することで、自己評価が向上していくプロセス
	B児の見取り	B児の実態	発問や他児の意見に対する反応のよさ・授業の不参加・離脱行動、読み書きの苦手さ、整理整頓の苦手さ
		B児の成長	国語の授業に積極的に参加し、その学びの様子から他者からの承認を得ることで、自己肯定感が形成された変容
	C児の見取り	C児の実態	内的動機づけに基づく追究姿勢、興味のない授業内容に対する顕著な不参加態度、書字の極端な苦手さ、日常生活能力の弱さ・感情コントロールの未熟さ
		C児の成長	多面的な視点で物事を捉え、他児の考えをつなげて発言できる姿 授業参加を通じた自信の獲得
	外国籍児童の見取り	外国籍児童の実態	日本語不理解による物語の読み取りの難しさ
		外国籍児童の成長	対話における不安を払拭し助け合う姿、発言の整理力と振り返り記述力の向上
授業行為	教師の関わり方	子ども参加促進のための教師の巻き込み支援	主体的に発言しない子どもが多い状況で、教師が子どもの参加を引き出そうと懸命に働きかけ、発言や行動への関与を促進しようとする努力や工夫
	教師の教示	教師主導型支援	教師が授業の進行や内容をコントロールし、段落や場面ごとに説明しながら学習参加を促す支援
	発問	子どもの反応を促す発問	子どもの理解や行動を変化させたり、学習意欲を向上させたりする発問
		目的に即した発問の設計	授業のねらいや育てたい読解力に応じて、意図的に構成される発問
	子ども同士の関わらせ方	発問の失敗経験と省察	発問の失敗や成功を教師が振り返り、子どもの可能性に気づき、指導に活かそうとする姿
		ICT活用による発言機会の拡張	タブレット等のICTを用いて子どもが互いの意見を視覚的に共有し、口頭での発表が苦手な子どもも自分の考えを表現できるようにする参加支援の方法
		ペアワークによる思考形成の支援	子ども同士の少人数の対話的な関わりを通じて、考えを深めたり自信を持たせたりし、思考や意見の表出を促進する関わらせ方の工夫
	子どもの考えの受容と理解	気づき促進の衝動と焦りによる意見聴取の不十分さ	多くの気づきを与えようとするあまり指導が詰め込み型になり、子どもの意見を十分に聞く余裕がなくなる状態
		教師の子ども発言理解の深化	教師が子どもの発言を軽視や雑音としてではなく、意味ある表現として捉え直し、耳を傾けることで子ども理解を深めわうとしていくプロセス
教師の心情	悩み	子どもの無関心に対する無力感	授業中に子どもが発言せず、反応や関心が見られない状況に直面したときに、指導の効果が見えず、自分の働きかけに対して無力さや落胆を覚える教師の心理的苦悩
		発問設計への困難感	子どもの思考や反応を引き出すために、どのような発問や仕掛けを構成すればよいかを模索する中で、授業設計に対して難しさや迷いを感じる教師の心情
	達成感	子どもの成長実感によるもの	自己肯定感が低かった子どもが積極的に発言したり、鋭い発言を示すようになる姿を目の当たりにし、教師が指導の成果を実感し得る満足感や喜び
		保護者からの評価に基づくもの	保護者からの肯定的な評価や感謝の言葉を受け取ることで、自身の指導の価値を再認識し、励まされることによる満足感
		授業改善ができた自己成長の実感によるもの	助言者からのフィードバックを受け、授業に即座に反映させて子どもの活躍を引き出すことができた経験から得られる自己成長と指導力向上の実感
その他	メンターの存在	メンターの役割	経験や視点を共有し助言を通して教師を下支えるメンターの伴走の支援の価値づけ
	物語のもつ特殊性	子どもによる物語の難しさおよび	子どもによる物語への苦手意識と、物語を通じて生まれる活躍の場と尊重の態度

「反応の仕方」「A児の見取り」「B児の見取り」「C児の見取り」「外国籍児童の見取り」「教師の関わり方」「教師の教示」「発問」「子ども同士の関わらせ方」「子どもの考えの受容と理解」「悩み」「達成感」「メンターの存在」「物語のもつ特殊性」である。

上位カテゴリー「教師の理想」には、「目指す子どもの参加スタイル」と「目指す授業像」が含まれる。「子どもの捉え」には、「学習態度」「読み方」「話し方」「聞き方」「反応の仕方」「A児の見取り」「B児の見取り」「C児の見取り」「外国籍児童の見取り」が含まれる。

また、「授業行為」には、「教師の関わり方」「教師の教示」「発問」「子ども同士の関わらせ方」「子どもの考えの受容と理解」が位置づけられる。「教師の心情」は「悩み」と「達成感」によって構成され、「その他」として「メンターの存在」と「物語のもつ特殊性」が挙げられる。

これらのカテゴリーと概念の階層構造を図式化したものを結果図（図3）に示す。

3. 2. 5 Y教諭の授業観の変容プロセス

Y教諭の授業観の変容プロセスを結果図（図3）に示す。

まず、【教師の理想】の大きな転換を起点とし、図においては時系列に沿って前後に配置した。Y教諭の授業観の変容に大きな影響を及ぼしたのは、【子どもの捉え】と【授業行為】であり、これらを図の中心に位置付けた。これらの要素は、Y教諭の授業実践において相互に作用し、変化を促進させる重要な役割を果たした。

【子どもの捉え】と【授業行為】は相互に密接に関連し、影響を及ぼし合いながらダイナミックに展開する様子を示すため、双方向の矢印で表現した。特に、【子どもの捉え】における「聞き方」の変容が、【教師の心情】における「達成感」に影響を与えていた点が重要であり、矢印を長くし、直接それぞれの要素に接続した。これにより、授業観の変容における因果関係をより明示的に表現した。

また、【その他】として分類できなかった「メンターの存在」や「物語教材の特殊性」については、下位カテゴリーのまま示し、Y教諭の授業を支える要素として図の下部に配置した。

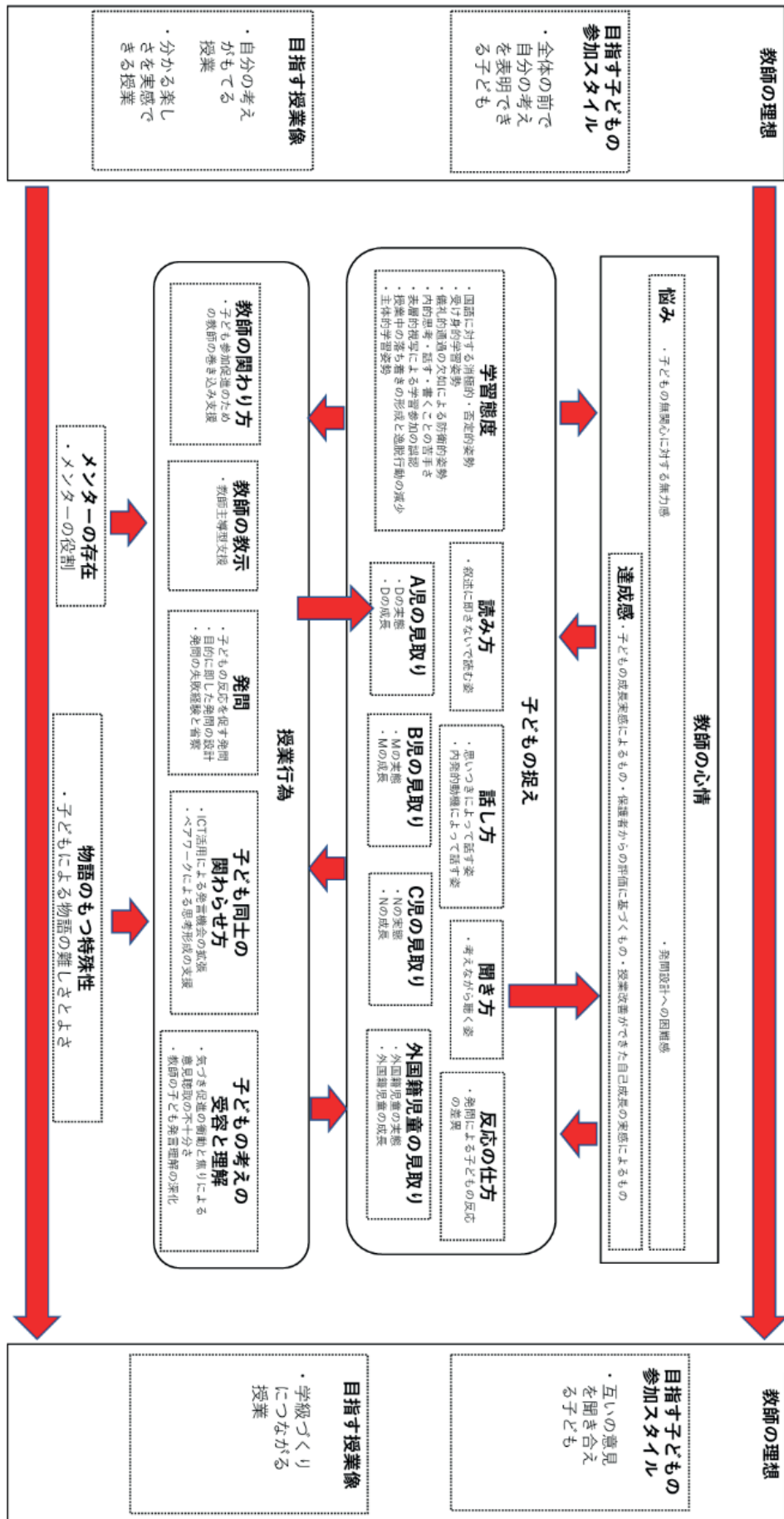


図3 教師の授業観の変容プロセス

3. 2. 6 考察

本研究は、M-GTAを用いて、教師の授業観の変容プロセスを質的に明らかにしたものである。変容の出発点にあるのは、Y教諭の中にある【子どもの捉え】の再構築であった。当初は、子どもたちの「国語に対する消極的・否定的姿勢」を見取り、「受け身的学習姿勢」を問題視されていた。また、「表層的視写による学習参加の誤認」など、授業への参加が見かけ上であり、内面では学びが起きていない事実「子どもの無関心に対する無力感」を抱かれていた。さらに、「叙述に即さないで読む姿」「思いつきによって話す姿」といった子どもたちの読み方や話し方、「内的思考・話す・書くことの苦手さ」などの国語学力の欠如に対する不安が吐露された。

こうしたY教諭の授業観を揺さぶったのが、逸脱や予想外の反応を示す特定の子どもたち(A児、B児、C児、外国籍児童)の存在であった。「Aの実態」「Bの実態」「Cの実態」「外国籍児童の実態」では、形式的にも表面的にも授業に参加することが難しい子どもの姿が語られるが、「Aの成長」「Bの成長」「Cの成長」「外国籍児童の成長」では、それぞれの子どもが授業に参加していることが語られ、それが自己肯定感や自信の向上、また他者との関係性の変容につながったことが語られた。また、そのような【子どもの捉え】の変容は、特定の子どものみならず、学級全体の捉えに及び「主体的学習姿勢」の変容や「内発的動機によって話す姿」などを認めるようになった。さらに、それらの変容は「子どもの反応を促す発問」「目的に即した発問の設計」「発問の失敗経験と省察」といった自らの「発問」という【授業行為】との相互作用として捉えるようになった。「教師の子ども発言理解の深化」が起こることで、「気づき促進の衝動と焦りによる意見聴取の不十分さ」「発問設計への困難感」という、より高次な新たな課題が【教師の心情】として語られるようになる。

以上のように【子どもの捉え】と【授業行為】の相互作用的な見方が重視されるようになったが、そのような見方が重視される過程には、子どもの内面世界や価値観を媒介にして、子ども同士の共感・葛藤・理解が顕在化する「物語のもつ特殊性」、また、教員経験のある研究者の助言が、Y教諭自身の省察を促した「メンターの存在」などが、重要な要因として働いていることも確認された。

以上のように、特定の子ども(A児・B児・C児・外国籍児童)の存在を起点に、【子どもの捉え】や【授業行為】を省察することで、Y教諭の授業観が更新されたことが確認された。Y教諭は、当初は、教師が進める授業の中で、子どもがどの程度発言できるかということが授業の成否の判断基準としていたが、次第に子どもと子どもがどのようにつながるかという関係性を重視する授業観へと変容していったと考えられる。子どもの声により敏感になり、子どもが発言することよりも、ある子どもの発言を他の子どもがどのように受け止めているのかにより関心を寄せるようになっていく。このことは、【教師の理想】の変化に顕著に表れている。Y教諭の授業観の変容のプロセスからは、授業を通じて、子どもと共に成長しようとする意識が高まり、内省的で共感的な教師像が浮かび上がってくる。

4. 今後の展望

本稿では、表 1 のような調査の全行程のうち、調査導入時と調査終了時のみを分析した結果を報告した。結果は以上の通りであるが、これを足掛かりとして、今後より詳細な分析を行う。具体的には、上述した授業観の変容が、いつ・どのような経験を契機としているのかを明らかにする必要があると考える。各実践前・実践後のインタビュー内容を分析することで、授業観が変容する契機となった経験を紐解いていくことができる。また、そのうえで、授業データ（動画あるいは音声データ）を抽出し、実際の授業のどのような事実が授業観の変容に影響を及ぼしたのかを分析する。それらの成果は随時、富山国際大学研究紀要に発表する。

5. 参考文献

1. 岩崎・河崎（2023a）「インクルーシブな読解指導 ―国語教育学と特別支援教育の間に広がる「空白」地帯を考える―」全国大学国語教育学会編『国語科教育研究 第144回 島根大会研究発表要旨集』pp.67-70
2. 岩崎・河崎（2023b）「物語の読解指導における「参加」とは何か」全国大学国語教育学会編『国語科教育研究 第145回 信州大会研究発表要旨集』pp.67-70
3. 木下康仁（2003）『グラウンデッド・セオリー・アプローチの実践 質的研究への誘い』弘文堂
4. 木下康仁（1999）『グラウンデッド・セオリー・アプローチの実践 質的実証研究の再生』弘文堂
5. 住田勝（2020）「国語教育の多層性②国語教育研究が視野の外においてきたヒト・コト・モノ ―コーディネーターから―」全国大学国語教育学会編『第144回 2020年春期大会（オンライン）研究発表要旨集』pp.115-118
6. 原田大介（2017）『インクルーシブな国語科授業づくり』明治図書

研究題目	哲学対話の新しい評価方法の開発
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・講師・辻和希
分野	教育学
キーワード	哲学対話、グループ・ダイナミクス

1. 研究の背景と目的

本研究の目的は、哲学対話によって学級集団内がどのように変化したかを評価する方法を開発することである。近年、日本においても「哲学対話」に対する認知が徐々に高まりつつある。哲学対話は、子どもの批判的思考とケア的思考の両方を育成し、より包摂的で内省的な教室環境を形成することに寄与すると期待されている。実際に哲学対話をカリキュラムに取り入れることで得られる効果が報告され、国内でもカリキュラムに取り入れる学校も出てきた。

哲学対話の普及が進む一方で、いくつかの課題も残されている。その一つが、その効果をどのように測定するかという課題である。哲学対話の有効性を評価することは、その普及において重要な課題である。中学校や高等学校の教員に哲学対話を紹介する際には、しばしばその評価方法について質問されることがある。そのため、信頼性のある評価指標の開発が不可欠である。哲学対話の効果を客観的に評価する尺度を確立することは、実証的な裏付けを提供するだけでなく、教員側の不安を払拭する助けにもなる。

リップマン (Lipman, 2003) は、探究の共同体においては「批判的思考」「ケア的思考」「創造的思考」の三つの思考が育まれ、これらが多元的思考の発達にとって基礎となると述べている。本研究では、特に批判的思考とケア的思考の二つを、哲学対話によって育成される主要な能力として焦点をあてる。本研究では、「Q—U」と呼ばれる心理アセスメントツールに着想を得た、新たな評価方法を提案する。その評価方法では、批判的思考力とケア的思考力に関して平均以下の能力を示す生徒を対話に「未成熟」な状態、平均を上回る能力を示す生徒を対話に「成熟」した状態と分類する。したがって、本研究のもう一つの目的は、批判的思考とケア的思考の「平均値」を明確にすることである。

本研究が批判的思考とケア的思考に焦点を絞った理由は二つある。第一に、本研究に協力した中学校では、いじめの予防策として子どもたちが関係性を構築することを重視しており、これら二つの思考の育成が特に有用と筆者が考えたからである。第二に、創造的思考を評価するには三次元グラフの作成とその解釈といったより複雑な分析手法が必要となる。その場合、教室の変化を「容易に」評価できる方法ではなくなり、学校現場での取り扱いが難しくなる。以上の理由から、本研究ではこの二つの思考能力の発達に焦点を当てて、評価方法を開発した。

2. 哲学対話の評価方法に関する先行研究

これまでも哲学対話の「効果」を評価しようとする研究は存在している。たとえば、Gregory

らによる『Philosophy for Children: Practitioner Handbook』(2008)では、小学生を対象に、推論力と探究力の獲得が哲学対話の主な効果とし、それらの評価が行われている。対話そのものの内容も評価対象となり、対話が深まっていくことも哲学対話の効果の一つとされている。Clegghorn (1988)の評価方法では、子どもたちが対話および探究の能力を身につけたかどうかに焦点が置かれている。Wartenberg (2014)なども、対話的・探究的能力の育成とその評価について報告している。

また、哲学対話が認知能力に与える影響を検討し、それを評価した研究もある。Trickey & Topping (2013)は、「認知能力テスト (CAT)」を用いて、子どもの認知能力を評価し、哲学対話が言語的および非言語的能力の向上に効果的であると報告している。Fairら (2015)は、毎週実施された探究型の哲学の授業が、子どもたちの認知能力を高める可能性があるという。ただし、目に見える変化が生じるまでには、最低でも24週間にわたる継続的な指導が必要であるという。また、その変化は非常に緩やかであると報告している。

別の観点から注目すべき研究として、Delbari, Shamir, Naeini (2020)の調査がある。これは、教員へのインタビューと質問紙調査に基づき、P4wCの期待できる効果を調査した研究である。そのなかで、「自らの感情を認識し、それを建設的行動に変えること」が、哲学対話に期待される効果として挙げられている。哲学対話が子どもの情動面に与える影響は心理学的手法によっても分析されており、自己肯定感の向上が報告されている (Trickey & Topping, 2006)。

以上のように、哲学対話は、認知面、情動面で多様な効果がある。Ab Wahabら (2022)は、多岐にわたる哲学対話の効果を(1) 高次思考スキル、(2) 安心できる環境、(3) 教養ある生徒、(4) 討論における民主性、(5) 教室における思考の文化、の五つに分類している。

一方で、哲学対話の有効性には限界があると指摘する声もある。塚原・江口 (2019)は、哲学対話の目的が「哲学的思考」と「共同体感覚」の育成にあるとするならば、それらは「探究の共同体」という文脈依存の能力であり、評価は困難であると主張する。そして、教師がどのような共同体を育てたいかという信念と連動して、共同体そのものの成長を評価する必要性を強調している。

以上、哲学対話の効果に関する選考研究を外観してきた。認知面、情動面で効果が期待できるなかで、共同体の成長、個人の成長を往還的に評価する方法の開発が期待されていることがわかった。

本研究は、個人と共同体を往還する新たな評価方法に関して、基礎的な研究に位置付けられるであろう。本研究では、哲学対話の効果を、①批判的思考とケア的思考の育成、これらの思考の獲得による、②共同体をより成熟した対話集団へと変容させる、という二つにあると想定する。

哲学対話のファシリテーターは、この二つの効果を肌感覚で実感しているかもしれない。しかし、こうした変化は緩やかに進行するため、明確な変化が生じるには時間をかけた対話の継続が必要となる (Fair et al., 2015)。そのため、進行中のプロセスにおいては、哲学対話の効果が直ちに可視化されるとは限らず、哲学対話に初めて関わる者にとっては、その効果に対する不確かさが障壁となる。

したがって、哲学対話の導入初期の段階では、時間をかけた中での微細な変化を認識・理解することが重要である。こうした変化を的確に捉えることができれば、ファシリテーターは対話グループをより適切かつ効果的に導き、より深い関与と意味のある対話を促すことができる。

3-1. 学級集団アセスメントツール「Q-U」

Lipman (2003) によれば、「探究」という概念は本質的にコミュニティの中に位置づけられるものである。つまり、何かを「探究する」という行為はコミュニティの中で行われる。仮に、一人で研究をしようとする、それは、同じ分野の研究者コミュニティの中で行われているものであり、実質的には一人の活動ではない。しかし、すべてのコミュニティが探究的であるとは限らないとリップマンはいう。あるコミュニティは伝統的な信念によって結びついているかもしれないし、別のコミュニティは共通の価値観によって特徴づけられているかもしれない。たとえば、宗教や民族集団が挙げられる。つまり、コミュニティは、探究的なものと非探究的なものに分類される。

公立学校を例に考えてみると、子どもたちは伝統的な信念、あるいは、イデオロギー的なつながりを考慮されることなく、一つの教室にまとめられる。それゆえに、学校に集められた子どもたちはコミュニティですらない場合もある。群衆である子どもたちに、適切な教育を施していくにあたって、教師はクラス集団の状態を評価する必要がある。

心理学、特に社会心理学における多くの研究は、集団の文脈において個人の行動がどのように生まれ、発展するのかを探究してきた。Lewin の「グループ・ダイナミクス」の概念は、コミュニティとその構成員との間の相互作用を理解するための基盤的な枠組みを提供する。本研究の着想源となった Q-U は、このグループ・ダイナミクスの研究を発展させたものである。

Q-U とは、日本の心理学者である河村茂雄によって開発された、教室内のグループ・ダイナミクスを評価するための心理的アセスメントツールである。信頼性の高い測定方法として認められており、日本全国の学校で広く使用されている。

河村 (2006) によれば、Q-U は不登校の予防、いじめの早期発見、教室の混乱の緩和に特に有効であるとされる。Q-U は、学級満足度を測定するための質問紙と、学校生活への意欲を測る質問紙の 2 つから構成されている。学級満足度は「承認」と「被侵害」という 2 つの観点から評価される。生徒自身の自己評価に基づいて、クラス集団の状態が判断される。本研究では、生徒による自己評価を通して、クラス集団の状態を把握するこの手法を、哲学対話の評価に応用した。これは、哲学対話における自己評価の先行研究が豊富に存在すること、そしてその蓄積を活用できると考えたためである。

Q-U では、生徒個人の自己評価からクラス集団全体の評価を行う。たとえば、「運動・勉強・係の仕事・趣味などでクラスの人に認められていますか？」や、「失敗したときにクラスの人に励まされることがありますか？」といった質問は、「承認」の度合いを測るために用いられる。一方で、「クラスの人にいやなことを言われたり、からかわれたりしてつらいことがありますか？」や、「クラスの人に暴力をふるわれてつらいことがありますか？」といった質問は、「被侵害」の

度合いを測るために使われる。これらの回答は数値化され、全国平均との比較を通じて分析されることで、教師にクラス集団の改善点に関する有益な情報を提供する。

まず、自己評価の結果は図1に示されるように、4つの象限に分類される。

「承認」の得点が高く、「被侵害」の得点が高い生徒は「侵害行為認知群」とされる。ここに分類される生徒は教室での生活に強い満足感を抱き、集団の中に自分の居場所を見つけている。

一方で、「承認」も「被侵害」も高い得点を示す生徒は「侵害行為認知群」に分類される。このグループには、いじめやからかいなどを経験しているが、対人関係や社会的な文脈に対して敏感である生徒が含まれる可能性がある。

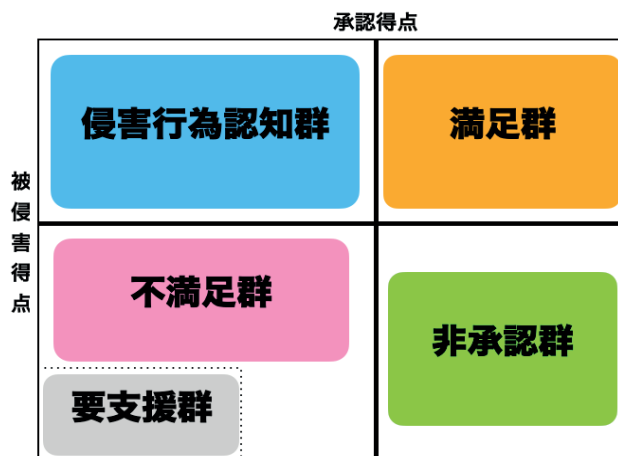


図1 Q-Uマトリクス (出典：河村 (2006))

承認得点と被侵害得点が共に低い生徒は「非承認群」に分類される。このカテゴリーに属する生徒は、いじめや被害を受けているわけではありませんが、クラス内での所属感の形成に困難を抱えている可能性がある。

最後に、承認得点が低く、被侵害得点が高い生徒は「不満足群」、特に深刻な場合には「支援要群」に分類される。このカテゴリーに属する者は、深刻ないじめやからかいを経験しているリスクが高く、強い不安感を抱いている可能性がある。

学級集団を評価する際には、その学級の生徒の多くがどの群に所属しているかを確認している。生徒の多くが「満足群」あるいはその近辺に分布している場合、そのクラスは「満足型」のクラスと評価できる。学級ではルールが内在化し、生徒たちが親和的な関係を構築できているクラスである。

しかし、「満足群」と「非承認群」に多くの生徒が分布しているような「管理型」の学級の場合、最適な人間関係が十分に築かれていないことが示唆される。このようなクラスでは、一部の生徒が積極的に発言する一方で、失敗への恐れから沈黙している生徒も存在する。より親和的な学級環境へと育むためには、生徒同士がお互いを認め合い、仲間からの承認感を得られるような支援が不可欠になる。

他方、「満足群」と「侵害行為認知群」に多くの生徒が分布しているクラスは、明確な学級ルールが確立されていない可能性がある。一見すると、このようなクラスは活発で魅力的に見える。しかし、注意深く見ると、他者の話を聞くことが苦手で、自己中心的な行動が目立つ傾向がある。このような場合、学級内のルールを明確にし、協力的な雰囲気醸成する必要がある。ルール違反に対しては叱るなどの是正措置をとる一方で、ルールを守る生徒には称賛を通して肯定的な行動を強化することが重要とされる。

以上、Q—U の概要を見てきた。Q—U は、学級集団の評価を可能にし、教師が学級全体あるいは個別の生徒に対して適切な支援を行うための有益な指針を提供する。しかし、Q—U は哲学対話に特化して設計された評価方法ではない。したがって、Q—U の結果を哲学対話のファシリテーションの改善に直接的に役立てることはできない。Q—U を参考にしつつ、哲学対話の特性に合わせた評価の手法を新たに開発する必要がある。

3-2. 探求の共同体の評価方法の開発

哲学対話の評価は、その本来的な目的と矛盾する可能性があると言われてきた。この懸念は、評価という行為が本質的に、特定の目標を設定し、その目標に対する現在の状態を測るプロセスであることに由来する。このような過程は、哲学的探究の核心である自由で探究的な性質を損なう恐れがあるというものである。言い換えれば、目標を設定することは、哲学対話の柔軟性を失わせ、予定調和的な話し合いに変える危険性を孕んでいるということである。

しかし、哲学対話が、探求的、創造的である限り、評価という行為が哲学対話の根本目的に反するわけではない。探求的で創造的な対話を可能にするためには、根拠を示す、論理的に話す、鋭い質問をするという「対話スキル」が必要になる。こうしたスキルをもつ参加者によって構成される集団は、探究の共同体と変容する。

こうした対話スキルに関する目標を明確にし、それを評価することは、哲学対話の目的と矛盾するどころか、むしろ整合的であるとさえいえる。実際、過去の研究では、こうしたスキルの評価や自己評価のための具体的な基準が提案されてきた。ただし、こうした先行研究の多くは、学級集団のグループ・ダイナミクスを評価する方法を欠いている点が課題であった。

『Philosophy for Children: Practitioner Handbook』（Gregory et al., 2008）には、教師が学級集団を評価するための基準が紹介されている。その基準を見てみると、「コミュニティはよく論理的に思考できていたか？」というような評価項目が挙げられている。これらの評価は、経験豊富なファシリテーターや教師であれば活用できるだろう。しかし、その評価はファシリテーターや教師の主観的な解釈に左右されることもある。

そこで本研究では、Q—U を基盤とした探求の共同体の評価方法を開発・提案する。この方法では、生徒自身による自己評価に基づいた「集団評価」を導入する。そのようにすることで、初心者のファシリテーターにとっても、集団の状態を把握しやすくなる。本研究で開発された評価方法は、参加者自身による批判的思考およびケア的思考の自己評価を基に、集団の状態を測定できるように設計した（図2）。

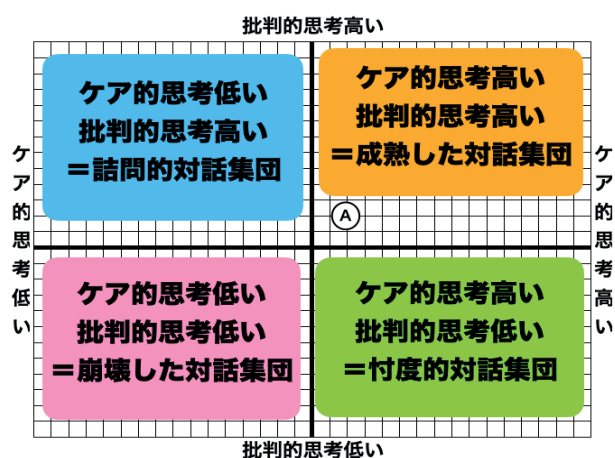


図2 探求の共同体 評価マトリクス（筆者作成）

この評価では、参加者は自分自身の批判的思考やケア的思考に関する一連の質問に答える形式で自己評価を行う。質問はなるべくわかりやすい内容で構成され、質問への回答に参加者が過度な負荷を感じずに自己評価を行えるようにした。回答は5段階評価で記入する。質問の内容は以下の通りである。

＜批判的思考を計測する質問項目＞

- ① 言葉の意味、定義を意識しながら対話ができる。
- ② 根拠や理由を挙げて自分の意見を言える。
- ③ 抽象的な話を具体的な話にして考えることができる。
- ④ 他人の意見に反論できる。
- ⑤ 他人の意見のいいところ、改善すべきところを言うことができる。
- ⑥ 対話を通して、新しい考えや価値観を自分の考えに取り入れることができる。
- ⑦ あたりまえなこと、前提となっていることを一度問い直す姿勢がある。

＜ケア的思考を計測する質問項目＞

- ① 他人の話に積極的に質問することができる。
- ② 話せていない人に話を聞いたり、質問したりすることができる。
- ③ 誰もが話しやすい雰囲気を作ろうとしている。
- ④ 自分とは異なる考え方や価値観を受け入れることができる。
- ⑤ 問いやテーマに関してグループ全員で考えていこうという意識をもっている。
- ⑥ 知らないこと、わからないことに関しては、素直に「知らない」、「わからない」と言える。
- ⑦ テーマになっていることに関して、自分の経験と結びつけて話すことができる。

本研究は、参加者一人ひとりが適切な対話スキルをもてば、対話の質が向上し、集団が「成熟した対話集団」へと変容するという仮説に基づいて行った。そのため、本研究で開発された評価指標は、学習者が身につけたスキルを測定することを目的として設計されており、「～できるかどうか」という観点を中心に質問項目を採用した。

3-3. 中学校での評価の実施

開発した手法を用いて、岐阜県内のH中学校で、哲学対話と評価を実際に行った。はじめに、全校生徒を対象に、質問項目を用いて、対話スキルに関する予備調査を実施した。評価方法には5段階リッカート尺度を用いた。批判的思考とケア的思考のそれぞれに七つの質問が用意され、各思考に関する自己評価の合計は最大で28点になる。対話前のアンケートの有効回答数は合計335件であった。批判的思考の平均合計得点は18.72点、ケア的思考の平均得点は19.56点であった。得られた平均値は、評価マトリクスのX、Y座標軸の交点として用いた。その後、各学年

1 クラスずつ、合計 3 回の哲学対話を実施した。3 回の対話終了後、再度、同じ質問紙を対話に参加したクラスに配布し、事後調査を行った。

図 3 と図 4 は、クラス A の対話経験前と 3 回の対話経験後のアンケート調査の結果である。これをみてもわかるように、対話経験前のクラス A は、生徒が四つの集団に分散していることが見て取れる。一方で、3 回の対話を経験したあとでは、平均値に近づいた生徒、成熟した対話集団に所属する生徒の数が増えたことが見て取れる。それゆえに、3 回の哲学対話は、生徒たちの批判的思考、ケア的思考を育成し、学級集団を「成熟した対話集団」に導きつつあることがわかる。

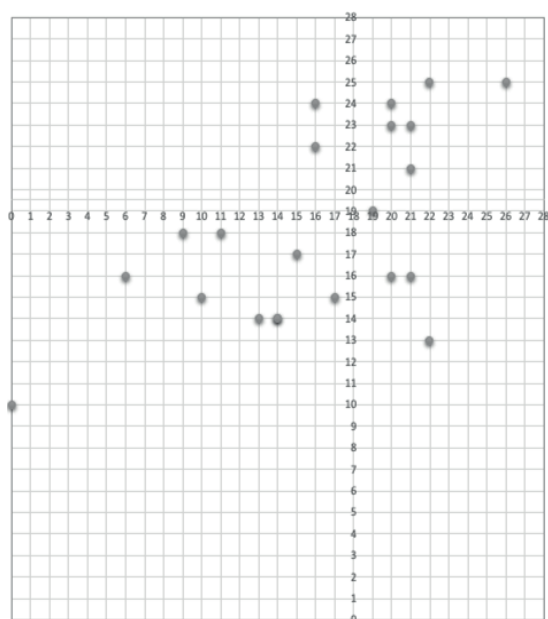


図3 クラスA（対話経験前）

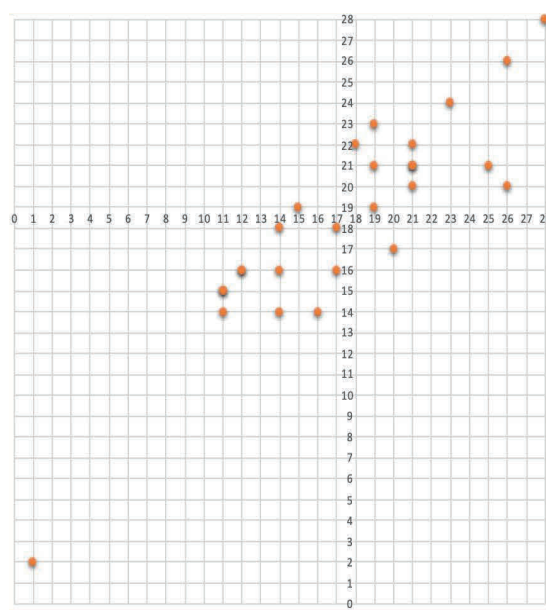


図4 クラスA（対話3回経験後）

4. 考察

本研究では、Q—U に着想を得た評価手法を開発し、哲学対話を通じたクラスの変化を評価した。その結果、3 回の哲学対話を経て、成熟した対話に参加する生徒の割合が増加したことが確認された。ファシリテーターとして参加し、観察していた立場からも、クラス A の生徒が、当初は対話にぎこちない様子であったが、3 回目の対話後には、質問をしたり意見を述べたりする姿勢が見られた。

本研究で開発した新たな評価手法は、共同体の状態を視覚的に示すことが可能であり、ファシリテーターが適切な支援方法を判断する際の参考資料として活用できる。たとえば、クラス A には批判的思考およびケア的思考のスキルが平均を下回る生徒が多く存在することが示されている。この結果から、成熟グループと未成熟グループの間に分断が生じ、すべての生徒によって探求の共同体を形成することが難しいことが予想される。加えて、両指標において特に低いスコア

を示す生徒が1名見られた。この生徒が対話の中で孤立しないよう、ファシリテーターはケア的な姿勢を生徒たちに育むような支援を検討することが望まれる。

5. おわりに

本研究で提案した評価手法は、個人レベルおよびコミュニティレベルにおける微細な変化を可視化することを可能にする。こうしたグループ・ダイナミクスを明確にすることで、ファシリテーターは今後の対話セッションに向けて適切な支援戦略を判断・実行することが可能になる。

本研究においては、今後、以下の四つの課題がある。第一の課題は、平均値の算出に用いたサンプル数が比較的少ない点である。この問題に対処するため、今後も継続的にデータを収集し、より正確かつ信頼性の高い数値を得る必要がある。本調査は中学生を対象に実施された。しかし、評価手法の精度を高めるためには、より幅広い年齢層からの回答を収集することが求められる。

第二の課題は、本評価手法に基づいてファシリテーションをどのように改善するかという点である。どのようなファシリテーションの改善が、どのように共同体、個人に影響を与えるかを調査することで、この評価方法がはじめて有意義なものになる。

第三の課題は、本研究で観察された生徒の変化の効果に関するものである。対話を通して自分の能力を批判的に評価する生徒も出てくるであろう。つまり、いままで「論理的に考えることができる」と思っていたのが、対話を通して、「いままでの考え方は論理的ではなかった」と考えるようになるということである。その結果、当初は自己評価が高かった生徒が、再度、自己評価をした際には自らの高すぎた評価を見直す場合もある。この場合、生徒の自己評価の変化が、わかりやすく右肩上がりに変化するわけではないようにも思える。この点を、どのように評価するかを検討する必要がある。

第四の課題は、自己評価が生徒自身の認識に依拠している点であり、過大評価や過小評価が起こる可能性がある点である。これに対処するためには、自己評価に加えて、教師による評価やピア・レビュー（他者評価）を組み合わせる手法を探ることが有効ではないかと予想している。

以上の課題に関して、今後の研究の中で継続してその解決に取り組んでいく予定である。

6. 参考文献

1. Ab Wahab M.K., Zulkifli H. & Abdul R.K. (2022, October 31). Impact of Philosophy for Children and Its Challenges: A Systematic Review. *Children*, 9(11):1671. <https://doi.org/10.3390/children9111671>
2. Cleghorn, P. (1988). *Thinking Through Philosophy*. (Book1), Educational Printing Services.
3. Delbari, S., Shamir, A., & Naeini, M. (2020, March). Philosophy of Education for Elementary Children Considering the Role of Social Intelligence. *Iranian Journal of Educational Sociology*, 3, 189-202. DOI: 10.52547/ijes.3.1.189.
4. Fair, F., Haas, L. E., Gardosik, C., Johnson, D. D., Price, D. P. & Leipnik, O. (2015).

- Socrates in the schools from Scotland to Texas: Replicating a study on the effects of a Philosophy for Children program. *Journal of Philosophy in Schools*, 2 (1), 18-37.
5. Gregory, M. (Ed.). (2008). *Philosophy for Children: Practitioner Handbook*.
 6. Lewin, K (1951). *Field Theory in Social Science*, Harper & Row Publishers.
 7. Lipman, M., Sharp, A. M., & Oscanyan, F. S. (1980). *Philosophy in the Classroom*, Temple University Press.
 8. Lipman, M. (2003). *Thinking in Education*, Cambridge University Press.
 9. Topping, K.J., & Trickey, S. (2007a). Collaborative philosophical enquiry for school children: Cognitive effects at 10-12 years, *British Journal of Educational Psychology* 77, 271-288.
 10. Topping, K.J., & Trickey, S. (2007b). Collaborative philosophical enquiry for school children: Cognitive gains at two-years follow-up, *British Journal of Educational Psychology*, 77, 787-796.
 11. Trickey, S., & Topping, K. J. (2006). Collaborative Philosophical Enquiry for School Children: Socio-Emotional Effects at 11 to 12 Years. *School Psychology International*, 27(5), 599-614.
 12. Trickey, S., & Topping, K.J. (2013). Assessing the Outcomes of Philosophical Thinking with Children. In Goering, S., Shudak, N.J., & Wartenberg, T.E.(Eds.) *Philosophy in Schools: An Introduction for Philosophers and Teachers* (pp. 288-298). Routledge.
 13. Wartenberg, T. (2014). Assessing an Elementary School Philosophy Program. *Thinking: The Journal of Philosophy for Children*, 20 (3-4), 90-94.
 14. Kawamura, S. (2006). *Introduction to Q-U for Classroom Development: A Guide to Using the Enjoyable School Life Questionnaire*, Toshobunka (in Japanese).
 15. 河村茂雄 (2006) 『学級づくりのためのQ・U入門：楽しい学校生活を送るためのアンケート活用ガイド』 図書文化
 16. 河野哲也・得居千照 (2017) 「子どもの哲学の評価法について：理論的考察と江戸川区立子ども未来館での実践を踏まえた提案」『立教大学教育学科研究年報』 60,41-55,<https://cir.nii.ac.jp/crid/1390853649716054272>,<https://doi.org/10.14992/00014492>
 17. 塚原健太・江口建 (2019) 「哲学対話の評価論構築に向けて ― 教育評価論をひらく ―」『帝京大学ラーニングテクノロジー開発室年報』 第 16 巻, 69-76.

研究題目	障害者権利条約が成年後見制度改正へ 及ぼす影響
機関名	名古屋市立大学（元高岡法科大学）
研究代表者	人間文化研究科・人文社会学部現代社会学科准教授・渡部朗子
分野	民事法学
キーワード	成年後見制度 障害者権利条約 意思決定支援 ドイツ世話法

1. 研究の背景と目的

この研究は、障害者権利条約で規定されている内容が、成年後見制度改正に対してどのように影響を及ぼすかを検討することを目的としている。

障害者権利条約第12条は法の下での平等を定めており、第3項で加盟国に対して「障害者が法的能力を行使する際に必要となる支援へのアクセスを提供する」義務を課している。この結果、本人に対して意思決定ができないことを前提に代理・代行決定をする従来の制度（成年後見制度）から、本人には意思決定をする能力があることを前提に、その能力を発揮するために必要な支援を行い、本人が自ら意思決定をするために必要な支援（意思決定支援）を提供する制度への転換が求められている。

国連障害者委員会は2022年、第1回対日審査における総括所見の中で、障害者権利条約で規定されている内容を実現するために民法の改正と意思決定支援の仕組みの設置を求める勧告をした。

わが国の成年後見制度の現状に対しては、①本人の判断能力が回復しない限り利用をやめることができない、②成年後見人等には包括的な取消権、代理権があり、本人の自己決定が必要以上に制限される場合がある、③本人の状況の変化に応じた成年後見人等の交代が実現せず、本人がそのニーズに合った保護を受けることができない、④任意後見契約の本人の判断能力が低下した後も適切な時期に任意後見監督人の選任申し立てがされないことが指摘されている。これらの指摘と障害者権利委員会の総括所見を受けて、令和6年2月に法制審議会に諮問がされたことから、現在成年後見制度は見直しが行われている。

令和7年6月には中間試案が公表され、法案提出へ向けての対応が進められている。現時点（令和7年7月）では意思決定支援に関連する事項として、成年後見人等の職務及び義務について、成年後見人等が本人の意思を尊重することの内容（例えば、本人に必要な情報を提供し、本人の意思を把握することなど）を明確にすることを引き続き検討するとしている。このような状況を踏まえたうえで、障害者権利条約で提唱された意思決定支援と成年後見制度との関係を検討する。

2. 研究方法

研究を実施するために、まず障害者権利条約第 12 条の規定に基づき意思決定支援の内容を整理する。次に、意思決定支援を法制度化するために必要な法的要素を調査する。そして、意思決定支援をわが国と同じ法体系において民法の規定の中で反映させたドイツの世話法（ドイツの成年後見制度）から示唆を得て、わが国の成年後見制度改正において意思決定支援を導入するために必要な法的要素を考察する。

(1) 障害者権利条約を検討する理由

成年後見制度改正の議論の中で、障害者権利条約により提唱された意思決定支援に関する議論を検討する理由は、民法第 4 条以下に規定されている行為能力制度の存廃に関わるからである。現行の行為能力制度は、本人（成年後見人制度の対象者）の能力を制限することにより本人を保護する。本人の能力を制限する方法として、本人に保護機関（成年後見人、保佐人、補助人）をつけ、保護機関に代理権、同意権、取消権を認める。これは取引において本人だけでなく、本人と取引をする相手方を保護するためである。

しかし、このように本人の能力を制限することは、本人の意思決定をするための能力を否定することになるので、障害者権利条約の趣旨に反することになる。そこで、現在の能力を制限する制度を改正して、本人の意思決定を支援するための制度を新たに設ける必要がある。新たな制度を制定する際には、従来の行為能力制度を廃止するのか、現行制度を存続させながら代理権、同意権、取消権が認められる範囲を縮小するのか、意思決定支援を民法の規定に反映させるために必要な法的要素と規定内容は何かが問題になる。

以上の問題意識から、①意思決定支援を法制度化するために必要な法的要素と、②意思決定支援の趣旨を民法で規定したドイツの世話法を調査、研究することによりわが国への示唆を得ることとする。

(2) 障害者権利条約第 12 条

① 概要

2006 年に採択された障害者権利条約により、意思決定支援の考え方が規定され、代行決定の全面禁止が強く打ち出された。これは国連障害者権利条約が①本人の法的能力に対して不必要な偏見を取り除くこと、②本人に対する代行決定のパターナリスティックな形式を避けること、③本人の自律的な意思決定を支援すること、④本人の能力に対して差別的な推定をしないようにすること、⑤他人が本人の同意なしに介入しないようにすることを目標としているからである。

障害者権利条約は、代行決定の代わりに援助または支援付きの意思決定（意思決定支援）を勧め、障害者は能力を有することの推定と、障害者に対する最小限の制限の原理の重要性を強調する。第 5 条は、法の下での平等と差別の禁止を保障することを規定している。第 12 条は法的能力に関して規定しているが、従来の代行決定から援助・支援付きの意思決定へ移行していること

を象徴しているため、障害者権利条約の中心といわれている。国連は締約国に対して、代行決定制度から意思決定支援制度への完全移行を要求しており、従来の制限行為能力制度における法定代理権、取消権といった代行決定を含む制度を全廃して、意思決定支援制度を新たに創設することを勧告している。そして、締約国の条約の実施状況をモニタリングするために国連が設立した障害者権利委員会は、障害者権利条約における法的能力及び意思決定支援の考え方を明らかにするために、2014年一般的意見第一号を採択した。

②一般的意見第一号における指摘

障害者権利条約第12条各項に対する一般的意見第1号の内容を概観する。

i 本人の法的能力

障害者の権利に対して、法の下での平等の観点から、障害者は法的能力を有することを確認する。法の下での平等は、権利行使に不可欠な人権擁護の基本的な一般原則である。障害者権利条約第12条は障害のある人の権利を新たに付け加えることはせず、法の下での平等を確保するために締約国が考慮しなければならない要素について述べていることを強調している。

第12条は即時に実施する義務の対象であるとしている。締約国は、法律のすべての分野において、障害のある人の法的能力の権利が、他の人と不平等に制限されないことを保障しなければならない。従来は後見制度や精神保健法など代理人による意思決定制度のもとで法的能力の権利が否定されてきたが、このような差別的な方法は廃止されなければならない。したがって、障害のある人は、法的能力、すなわち投票する権利、婚姻をして家族を形成する権利、性と生殖の権利、親権、親密な関係と治療に同意する権利、自由権を行使することが障害のない人と同様に認められる。

ii 法的能力を行使するための支援者の義務

一般的意見第一号では、法的能力に関して、「法的能力には、権利所有者になる能力と、法の下での行為者になる能力が含まれる」として、権利能力と行為能力が含まれることを明らかにした。また、「法的能力と意思決定能力は異なる概念」であり、意思決定能力が十分ではないことを理由に法的能力が否定されてはならず、障害者権利条約第12条は、法的能力の行使における支援の提供を義務づけるものであるとする。

行為能力は「障害のある人が、しばしば否定され、あるいは制限される」要素であり、「障害のある人の財産の所有は法律で認められているが、その売買に関する行動は必ずしも尊重されていない」状況を指摘したうえで、法的能力を行使するためには権利能力と行為能力を切り離すことはできないとする。

iii 意思決定支援

法の下での平等のもとで認められる権利は、代行決定から支援された意思決定への移行を意味する。第12条第3項では、締約国に対して、障害のある人がその法的能力の行使に当たり必要とする支援にアクセスすることができるようにする義務があることを認めている。締約国は、障害のある人の法的能力を否定することを避けなければならない、むしろ、障害のある人が法的能力

のある決定を下せるようになるために必要と考えられる支援へのアクセスを提供しなければならない。

障害者権利条約第 12 条 3 項では意思決定支援を定義づけてはいないが、例えば、障害のある人は、一人またはそれ以上の信頼のおける支援者を選び、特定の種類の意思決定に関わる法的能力の行使を支援してもらうことや、ピアサポート、当事者活動の支援を含む権利擁護、あるいはコミュニケーション支援など、他の形式の支援を求めることができるとする。これには、理解しやすい様式での情報の提供や専門の手話通訳者の提供を義務づけるなど、ユニバーサルデザインとアクセシビリティに関する措置も含まれる。

iv 本人の意思の選好の尊重

障害者権利条約第 12 条 4 項は、締約国に対し、法的能力を行使するための適切かつ効果的な保護措置を創設することを義務づけており、これには不当な影響からの保護を含めなければならない。

相当な努力が行われた後でも、個人の意思と選好を決定することが実行可能ではない場合、「意思と選好の最良の選択」から「最善の利益」の決定にとって代わる必要がある。そして、「第 12 条第 4 項は、法的能力の行使を支援するシステムになくってはならない保護措置の概要を説明して」おり、「第 12 条第 4 項は、第 12 条の他の部分及び条約全体とあわせて理解されなければならない。」とする。このように、本人にとっての「最善の利益」ではなく、本人の「意思と選好の尊重」により本人の意思決定が最優先されることが条約全体の指針となることを示した。

v 法的能力の行使

障害者権利条約は締約国に対し、金融及び経済的問題に関して、障害のある人の権利を他の者との平等を基礎として確保するために、立法上、行政上、司法上及びその他の実践的な措置を含む方策をとることを義務付けている。これまで障害のある人は、障害の医学モデルに基づき、金融及び財産に関わることを否定されてきた。障害のある人の金融問題に対する法的能力を否定するこのようなアプローチは、第 12 条第 3 項に従い、法的能力を行使するための支援に置き換えられなければならない。

③ 一般的意見第一号で示された締約国の義務

障害者権利条約第 12 条では、締約国に対して次の義務があることを指摘している。

i 意思決定支援と法的能力

意思決定支援とは、意思決定能力が十分ではない人が、可能な限りいつでも自ら意思決定ができるように支援を提供する手順のことである。意思決定支援の根本原理は、「本人が補助（assistance）と支援（support）があれば自ら意思決定をすることができるのなら、本人に代わって、誰も他の人を意思決定のために任命してはならない」ということである。意思決定支援の内容は、障害者権利条約においては直接定義づけられていないが第 12 条第 3 項に根拠をおく。本人が適切な支援を受けることにより、自らの生活に対して意思決定をする能力を有することになるならば、その意思決定に対して適切な支援が提供されなければならない、その支援の結果

としての本人の決定は尊重されなければならない。障害者権利条約はこの権利を最も明らかに表現したものである。

とくに締約国に義務づけていることは、他の人との平等を基礎として、「障害者がその法的能力の行使に当たって必要とする支援を利用する機会」を提供することである。したがって、「意思決定支援」は「法的能力の行使を支援する」一つの構成要素となり、意思決定支援をする人はまた、支援を受ける人が法的能力を行使するための支援をすることにもなるのである。さらに障害者権利委員会は「意思決定支援は多くの形式を採用することができる。意思決定を支援する人は、支援を受ける人の意図を他人に伝え、または支援を受ける人の近くでその選択を理解することを支援する。支援をする人は、重度の障害を持つ人もまた生活における歴史、利益そして目的をもち、法的能力を行使することが可能であることを他の人が明確に理解するために支援するのである」と指摘している。一般的意見第一号では意思決定支援の形式に必要な条件を例示している。そして、障害のある人が法的能力を行使するときには、障害のある人の権利、意思及び選好を尊重した支援を提供する義務があることを明示している。

ii 代行決定制度の廃止

代行決定は、例えば、居所、医療または財産に関する決定に対して、意思能力が十分ではないと考えられる人の代わりに意思決定をする人との約束である。障害者権利委員会は、一般的意見第一号の中で代行決定制度を定義している。

障害者権利委員会は、「代行決定制度の継続と並行して、意思決定支援が発展することは、障害者権利条約12条の解釈に十分に当てはまることにはならない」としているので、この障害者権利委員会が定義した代行決定制度に当てはまらない形での意思決定支援を行うことになる。国連は締約国に対し、従来の制限行為能力制度における法定代理権、取消権といった代行決定を含む制度を全廃して、意思決定支援制度を新たに創設することを勧告している。最後の砦としての代行決定制度を残すことは、締約国の解釈宣言によっても認められない。

しかし、代行決定を行うこと自体をまったく否定しているわけではない。一般的意見第一号でも、「著しい努力がなされた後も、個人の意思と選好を決定することが実行可能ではない場合、『意思と選好の最善の解釈』が『最善の利益』の決定にとってかわらなければならない。」として、意思決定支援をしても本人が意思決定をすることができない場合は、最善の利益に基づく代行決定を認めている。

(3) 意思決定支援を法制度化するために必要な法的要素

意思決定支援を法制度化するために、世界各国の法改正機関が審議、検討したうえで報告書を公表している。本研究では、アメリカ、イギリス、カナダ、オーストラリアの法改正機関の報告書の内容を検討した文献を手掛かりにした。報告書では法制度化に必要な要素が明らかにされた。

意思決定支援を法制度化するために必要な法的要素として、①意思決定支援に関する一般原則を規定上明らかにする必要があること、②意思決定権は支援対象者（本人）にあること、③正

式な任命方法により意思決定支援者という領域を法的に認めること、④意思決定支援者に明確な権限を与えること、⑤意思決定支援者に立法上の義務を課すこと、⑥意思決定支援に関する公的な教育の必要性を認識すること、⑦本人に対する虐待・搾取への対応を法制度化すること、が指摘された。

これらは、意思決定支援は従来の代理意思決定モデルからの大きな逸脱であるという事実を認識したうえでの指摘である。そのため、実際には必ずしも報告書の内容を十分に反映しない形での法改正がされた国もある。意思決定支援を法制度化することの難しさを物語る。

(4) ドイツ世話法の改正点の概要

① 必要性・補充性の原則の明示 (BGB1814 条)

ドイツ世話法においては、従来から必要性・補充性の原則が導入されていたが、世話人は必要な場合に限り選任することができることを条文で明示した(必要性の原則、BGB1814 条 3 項)。また、本人の事務が任意代理人による支援などすでに世話以外の支援により十分に対応できている場合には、世話人は選任されない(補充性の原則、BGB1814 条 3 項)

②被世話人の希望の優先

ドイツ世話法においてすでに被世話人の希望を尊重することは強調されていたが、被世話人の希望を優先することを世話法の中心的な基準として、世話人の選任 (BGB1816 条 2 項)、世話人の職務遂行 (BGB1812 条 2 項)、裁判所による監督 (BGB1862 条 2 項) など新たな規定により明らかにした。

③配偶者の健康管理に関する相互代理権制度の新設 (BGB1358 条)

意識喪失や病気により配偶者が健康管理に関する事務を処理できない状態となった場合に、6 か月間の期間限定で医的侵襲行為に対する同意や拒否、入院契約を行う等のための法定代理権を他方配偶者に与える制度を新設した。

④世話の引き受け義務 (BGB1819 条)

世話裁判所に選任された者は、原則として世話を引き受ける義務を負うことが明示された。

⑤世話人の義務、被世話人の希望に関する規定の制定 (BGB1821 条)

世話人の義務に関しては旧 BGB1901 条に規定があったが、被世話人の自己決定が最優先されることを明確にすることと、障害者権利条約第 12 条の趣旨を反映するために旧 BGB1901 条を廃止して新たに設けられた。世話人の行動の基本原則を定めた規定であることから、「世話法のマグナ・カルタ」と呼ばれる。

(5) 本人の希望と世話人の義務

本人の希望と世話人の義務を定めた BGB1821 条は、世話人の義務を定めた旧 BGB1901 条を廃止して新たに規定されたものであり、世話法における世話人の基本的な義務を定めている。被世話人の自己決定が最優先されることを明確にすることと、障害者権利条約第 12 条に規定されている趣旨を実施する内容が規定されていることから、ドイツ世話法のすべての改革の中核で

あると考えられている。ここでは、障害者権利条約第12条の規定内容をどのように実施しているのか、旧 BGB1901 条の改正点に触れながら BGB1821 条を概観する。

① BGB1821 条の概要

BGB1821 条では、第1項で①被世話人が自らその事務を法的に処理することを支援する、②必要な限りで第1823条に基づいて代理権を行使する、と必要性の原則を遂行する方法を示している。第2項では、被世話人にとっての客観的な幸福よりも、被世話人の希望を優先することを規定する。第3項は、被世話人の状況により、被世話人にとって危険がある場合には、被世話人の希望を遵守することに限界があることを説明している。第4項は、被世話人の希望を確認できないときに、被世話人の推定意思を確認する方法を標準化している。第5項では、世話人に対して被世話人との個人的な接触を義務づけている。第6項は、世話人は被世話人に対して可能なりハビリテーションに貢献することが示されている。

② 世話人の職務と意思決定支援

BGB1821 条第1項は、世話人の職務として、被世話人が自らその事務を法的に処理することを支援することを求めている。これは世話人が被世話人に対して意思決定支援を行うことを規定しており、障害者権利条約第12条第3項の規定内容に適合させるための規定である。そのため、世話人はまず被世話人が意思決定をするための支援をしなければならない。被世話人への支援は、被世話人が外部からの支援を必要とする限り、被世話人に最も適した援助を選択、手配するために、被世話人に支援を提供することを意図している（必要性の原則）。ただし、世話人は BGB1823 条に基づいて、必要な限りで被世話人に対して代理権を行使することができる。代理権の行使は、代理以外の方法では十分な支援ができない場合に限って認められる。本条における代理権の行使は、必要な場合に限り、被世話人の意思、希望、それに代わる以前に表明された意思や推定される意思に従って、対外的に被世話人の権利を主張する支援手段となる。そのため、代理人による意思決定というよりは、被世話人による意思決定を支援する意味になる。

③ 被世話人の希望

BGB1821 条2項は、被世話人の自己決定を尊重することが保証されることが実現されることがドイツ世話法全体の中心にあることを明らかにしている。旧 BGB1901 条2項においても被世話人の個々の主観的な幸福は、被世話人の希望、考え、選好に基づくものでなければならず、客観的に見て被世話人にとって幸福かどうかの問題ではないということはずでに理解されていた。しかし、旧 BGB1901 条2項の規定のままでは世話人やその他の関係者が、「被世話人の福祉」を根拠にして、被世話人の客観的な利益に基づいた決定をする危険性があった。このように「被世話人の自己決定」よりも世話人等が考慮する「被世話人の福祉」が優先される可能性がある状況は、「最善の利益」に基づいて判断されることにもつながるため、障害者権利条約第12条に抵触する。そこで旧 BGB1901 条2項を改正して、新たに BGB1821 条2項により被世話人の希望を最優先することを明らかにした。

④ 被世話人の希望に従う義務の制限

BGB1821 条 3 項は、世話人が被世話人の希望に従う義務は無制限ではないことを示した。すなわち、世話人は被世話人の希望に従うことによって、被世話人の身上または財産が著しく危険にさらされ、被世話人が病気や障害のためにこの危険を認識できない、または危険を認識してもその認識に従って行動できない場合、または世話人に期待できないときは、被世話人の希望に従う必要はない。世話人に期待できないときは、被世話人は、世話人に対して無理な負担をかけるような行き過ぎた行動を要求することはできないこと、また被世話人の自傷行為に加担したり支援したりしなくてもよい、ということである。

⑤ 被世話人の推定意思

BGB1821 条 4 項は、世話人が BGB1821 条 3 項によって被世話人の希望に拘束されない場合、または世話人のあらゆる努力にもかかわらず被世話人の希望を確認することができない場合、世話人は被世話人の推定意思に頼らなければならないことを規定している。推定意思に関して従来は、旧 BGB1901a 条、旧 BGB1901b 条のリヴィングウィルに関してのみ規定されていたので、医療に関する希望のみが対象となっていた。今回の改正により、医療に関する決定に限定されず、すべての被世話人の行動に対して適用されることが明らかになった。被世話人の推定意思は、被世話人の以前の発言、倫理的または宗教的信念、その他の個人的な価値観を考慮に入れて、個々の主観的な推定意思を探求し、決定されなければならない。

⑥ 世話人と被世話人との接触・協議の義務

BGB1821 条 5 項は、世話人は、被世話人との個人的な接触を維持し、定期的に被世話人の個人的な印象を得て、被世話人の事務について話し合う義務があることを規定している。これは世話の中核領域からの法的義務であり、単なる推奨ではなく、個人的な世話を提供する義務を規定している。これは非常に個人的な性質のものであるため、他の人に委任することはできない。世話人としての法的義務を果たすためには、被世話人との個人的な接触や定期的な会議が不可欠な前提条件となる。実際に連絡を取る必要がある頻度は、個々のケースによって異なる。被世話人が個人的な接触を明らかに拒否している場合は電話や電子メールなど、直接接触しない形で対応することは認められている。しかし、被世話人とのコミュニケーションが取りづらい場合や、面会する具体的な理由がない場合でも、世話人が定期的に個人的な印象を得ることで、被世話人の生活状況や、施設に入居している場合は入居状況について被世話人の印象をつかみ、変化を察知できるようにしなければならない。

⑦ 被世話人へのリハビリテーション

BGB1821 条 6 号は、被世話人へのリハビリテーションの義務を規定した。これは旧 BGB1901 条 4 項第 1 文に規定されていた内容を改正したものであるが、世話人選任のきっかけとなった病気や障害に関する医療の領域でのみ適用があると誤解されてきた。そのため改正法では、医療

上のリハビリテーションのみを示すのではないことを明らかにした。世話人は、世話が必要となっているすべての原因を排除するために積極的に取り組む必要がある。

3. 研究成果

障害者権利条約第12条の趣旨を反映させるために、ドイツは世話法を改正した。ここから示唆を受けることは、成年後見制度自体は存置しながらもドイツ世話法の適用を最小限にする内容を条文で規定したことである。

まず必要性の原則、補充性の原則を条文上規定してドイツ世話法の適用を最小限にすることを明らかにした（BGB1814条）。そして世話人（わが国の成年後見人にあたる）は、被世話人（わが国の被成年後見人にあたる）が法的能力を行使するために必要な支援をすること（BGB1821条1項）と、被世話人の希望を実現するために法的な支援をすること（BGB1821条2項）を義務づけた。これらの義務規定は、障害者権利条約第12条2項、3項の内容を反映させたものである。世話人の代理権も被世話人の意思を法的に有効に実現するための支援として行使される（BGB1821条1項、BGB1823条）。

ただ同時に、被世話人の希望に応じる必要がない場合も規定している（BGB1821条3項）。そして、被世話人の希望が確認できないときは被世話人の推定意思を探究して実現しなければならないことも明文化している（BGB1821条4項）。世話人は、被世話人の希望や状況を十分に把握する必要があるため、被世話人との個人的な接触を義務づけている（BGB1821条5項）。また、医療に限らないリハビリテーションに関する規定を設けた（BGB1821条6項）。世話人が被世話人を支援するために、何をどこまで行使すればいいか、その義務内容を条文上明らかにしているところは非常に参考になるところである。

4. 今後の展望

わが国では成年後見制度の適用を最小限にすることで、意思決定支援の趣旨を反映させるという視点から議論されることはなかった。今後はこのような視点から成年後見制度を検討する必要がある。このような視点が、行為能力制度の存廃や本人と相手方の取引にどのように関わるかを検討することを今後の課題としたい。

現在公表されている中間試案に対するパブリックコメントを踏まえて、令和8年3月に最終法案が提出される予定である。法改正の動向を注視しながら検討を進めることにしたい。

5. 参考文献

本稿は、本研究助成により発表することができた研究成果に基づいてまとめたものである。

1. 渡部朗子「意思決定支援に必要な法的要素」高岡法学 43号（高岡法科大学法学会）17-46頁（2024年12月）。
2. 渡部朗子「意思決定支援の法制度化ードイツ世話法を手がかりにしてー」高岡法科大学紀要（高岡法科大学図書館運営委員会）第36号193 - 212頁（2025年3月）。

【参考資料】民法（成年後見等関係）等の改正に関する中間試案に関する参考資料（法務省）より一部抜粋（https://www.moj.go.jp/shingi1/shingi04900001_00295.html）

主な検討事項

法定後見の開始の要件及び効果等、法定後見の終了等

- ▶ 判断能力が回復しない限り利用をやめることができない。
- ▶ 成年後見人の包括的な代理権等により本人の自己決定が必要以上に制限される。

○ 法定後見の開始の要件及び効果等

- 甲 案 現行の後見・保佐・補助の三類型の開始の要件を基本的に維持しつつ、後見の対象者は保佐・補助も利用できるようにするなどの修正をする案
- 乙 1 案 ①判断能力が不十分である者、②特定の事項について保護する必要、③原則として本人の同意を要件として、**成年後見人等に当該本人に必要な特定の事項について代理権・取消権を（個別に）付与する類型**の法定後見を開始する案
- 乙 2 案 **乙 1 案の類型に加え**、①判断能力を欠く常況にある者、②保護する必要を要件として、**成年後見人等に一定の権限（現行の成年後見人の包括的な代理権等よりも狭い権限）を付与する類型**の法定後見を開始する案

○ 法定後見の終了

法定後見の開始において保護する必要を要件とする場合には、判断能力が回復したときでなくても、**保護する必要がなくなったときに法定後見を終了する案**（法定後見の開始において保護する必要を要件としない場合には、判断能力が回復したときに限って法定後見を終了する案）

○ 法定後見に関する期間

- 甲 案 期間を設けない
- 乙 1 案 家庭裁判所が**法定後見を開始する際に期間を定め、その更新がない限り、期間満了時に法定後見を終了する案**
- 乙 2 案 **成年後見人等に家庭裁判所に対して定期的に法定後見の要件の存在について報告することを義務付けた上で、要件がなくなったときは法定後見を終了させる案**

主な検討事項

成年後見人等の解任（交代）等

- ▶ 本人のニーズに合った成年後見人等が選任されるために本人の意見を重視すべきことを明確にすべき。
- ▶ 成年後見人等の交代が実現せず、本人がそのニーズに合った保護を受けることができない。
- ▶ 成年後見人等の権限の行使によって本人の自己決定権が必要以上に制限される。

○ 成年後見人等の選任

- ・ **本人の意見を重視すべきであることを明確に**することを引き続き検討

○ 成年後見人等の解任（交代）

- 甲 案 現行法の解任事由（不正な行為、著しい不行跡など）を維持する案
- 乙 案 現行法の解任事由がない場合であっても、本人の利益のために特に必要がある場合を念頭に、**新たな解任事由**を設ける案

○ 成年後見人等の職務及び義務

- ・ 成年後見人等が**本人の意思を尊重することの内容**（例えば、本人に必要な情報を提供し、本人の意思を把握することなど）を**明確に**することを引き続き検討

任意後見人の事務の監督開始の申立権者等

- ▶ 適切な時機に任意後見監督人の選任申立てがされない。

○ 任意後見人の事務の監督の開始

- ・ **本人が任意後見契約の際に公正証書において指定した者に申立権を認める**など任意後見人の事務の監督を開始する申立権者の範囲について引き続き検討

その他の検討事項

成年後見人等の報酬

家庭裁判所が本人の財産の中から相当な報酬を与えることができるとのルールを維持しつつ、家庭裁判所が相当な報酬を判断するに当たって**成年後見人等が行った事務の内容などが考慮要素であることを明確に**する案を引き続き検討

研究題目	俳句の認知詩学—「間」のいい俳句の型—
機関名	金沢学院大学（元高岡法科大学）
研究代表者	文学部文学科・准教授・向井理恵
分野	認知言語学
キーワード	俳句の間、切れ、参照点構造、捉え方

1. 研究の背景と目的

同じ世界を描いているのに、言葉の選択一つで、聞き手に伝達される情報の内容や量が変わってしまうことは、誰もが日常的に経験することであるが、言葉の選択そのものが非常に重要で、その選択を誤ると時に命取りにさえなってしまうのが「詩」という言語である。たった17音から成る俳句の場合、その傾向は極めて顕著で、言葉の選択や語順自体が句を「詩」たらしめていると言っても過言ではない。投句の添削の際、たった一つの「てにをは」が変わるだけで、句が一変することがあるが、まさに「詩」に命を吹き込んだ瞬間と言えるだろう。また、同じ句でも鑑賞者がどのように読むかによって、句の世界がまるで別物になってしまうことも興味深い。そのとき、認知的には何が起きているのだろうか。

本研究の目的は、感動に寄与する俳句を認知言語学的観点から整理し、詠み手（読み手）が、「身体」から「言葉」への encode、「言葉」から「身体」への decode がスムーズに実行できるような「間」のいい俳句の型」を分類・記述することである。今回は特に俳句の「切れ」に焦点を当て、さまざまな「切れ」を内包する句を認知言語学の「捉え方（construal）」の観点から分析を行った。なお、本報告書の内容は、この度の助成を受けて研究発表した向井（2025）を、本報告書の形式に合わせて修正したものである。

2. 研究方法

向井（2019）においては、俳句の2つの型（一物仕立てと取り合わせ）が内包する「間」について、オリジナルの句とそこから部分的に変更した句を材料に、Langacker の参照点構造や認知モード（中村, 2009 他）といった方法論を援用し分析を行ったが、本研究でもひきつづき参照点構造による記述を採用し、さまざまな「切れ」を内包する型を分析した。

一般に「切れ」は、直前の言葉を強調すると言われるが、認知的には連続する参照点構造を切り、ドミノン内での停滞によって生じる「焦点化（focusing）」や「際立ち（prominence）」が関わっていると言えよう（向井, 2019, 2024）。さらに、「切れ」は、ドミノンの外から新たに開始される概念化を断絶するのではなく、前のドミノンへとダイナミックに融合していく働き（「力動性（dynamicity）」）を持っている。この融合とそれに向かう心的動きは、「切れ」によって生じた「間」の正体であると考ええる。

石田波郷の「女来と帯纏き出づる百日紅」という句で、参照点構造で描く「力動性」について見てみよう。夏の昼下がり。女性が訪ねてきて、慌てて帯を腰に巻き、身なりを整えて玄関のド

アを開けると、百日紅が見えたのであろう。それがそのまま作者のときめきと重なる句である。この句を参照点構造で描くと図1のようになる。

「女来と」→「帯纏き出づる」までは参照点構造でつながるが、「百日紅」は「帯纏き出づる」のドミニオン (D_2) からは外れる。これが「切れ」で、ここではささやかな「異化作用」を生じる。そのあと、「百日紅」のドミニオン (D_3) に、「女来と帯纏き出づる」を見出すことができる。女を応対した玄関先から、百日紅の花が見えたのだらうと、予想することができるからである。「夏には百日紅が咲いている」という身体経験があるからこそ、急な来客に身支度を整える作者の視線に自らを重ね合わせ、読者の目にもその花の赤が明るく映ったのであろう。過去の身体経験によるアブダクション推論が起こるとき、ドミニオン (D_3) で全てのドミニオンが融合する。これが「高次の同化」であり、「間」の動きである (向井, 2019, 2024)。

(1) 女来と帯纏き出づる百日紅 波郷

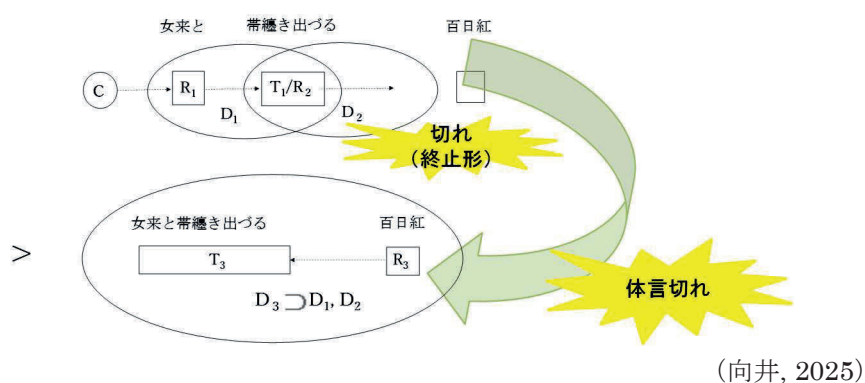


図1 「切れ」の認知的はたらきの一例

3. 研究成果

3.1. 「切れ」の強弱とドミニオンの大小

今回新たに分析した型は、「や・・・体言切れ」の型、「や・・・けり」の型、季重なりの3つの型であるが、無論、焦点化されるものが複数あると、句の主題がぼやけ、句の調べも損なわれてしまう。一般に、句中に動詞が複数あったり、季語が複数あったりすること (季重なり) が避けられる所以である。しかし、以下に示すように、切れの強弱の調和がバランスよく保たれている句もあれば、成功している季重なりの句もある。(2)は季重なりの名句の例を、表1は句中に複数の切れがある型 (の是非) を示している (長谷川, 2012)。

- (2) a. 目には青葉山ほととぎすはつ松魚 素堂
b. 両の手に桃とさくらや草の餅 芭蕉

表1 句中に切れが複数ある型の例

好ましさ	型と例句
○	「や・・・けり」 降る雪や明治は遠くなりけり 中村草田男
△	「や・・・かな」
×	「かな・・・けり」
○	「や・・・体言切れ」 花ちるや瑞々しきは出羽の国 石田波郷
○	「体言切れ・・・けり」 槇の空秋押移りゐたりけり 石田波郷

(2a)の重心は「はつ松魚」に、(2b)の重心は「草の餅」にあるが、季重なりでも、どの季語に重みを置くかが明確であれば、焦点はぼやけない。また、「切れ」の強弱の差を生じる「や」と「けり」や「体言切れ」と「や」・「けり」の共起は許容されても、強弱の差をあまり生じない「や」と「かな」や、「かな」と「けり」の共起は、許容度が低くなる。また、あえて弱い「切れ」を生じさせることで、口調をよくし、滑らかな調べを出すこともある。定型詩では、概念内容（意味極）だけでなく、調べ（音韻極）とのバランスも重視されるのである。

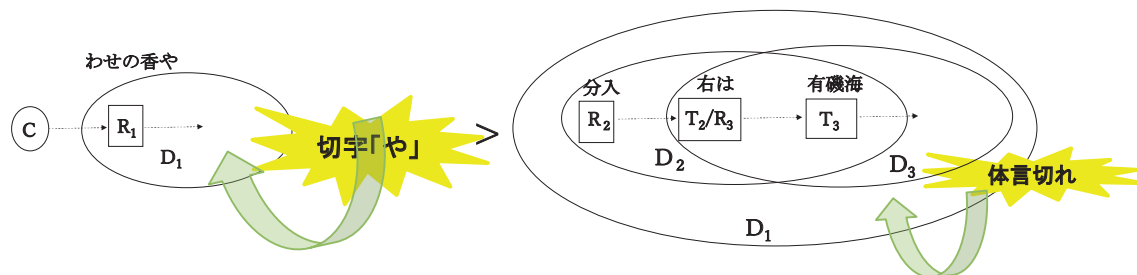
ここでは、句中に切れが複数ある型のうち、前述の3つ（「や・・・体言切れ」、「や・・・けり」、季重なりの句）を参照点構造で示し、ドミニオンの大きさは「切れ」の大きさや時間的な近さと相関し、より大きなドミニオンが他のドミニオンを包括し融合することを主張する。

(3) 「や・・・体言切れ」

わせの香や分入右は有磯海 芭蕉

この句は「わせの香や」で切れる。この「や」は、同じ一つの場面を描いているので、一物仕立ての「や」（口あひの「や」）ということができる。この切れによって、概念化者は「わせの香」ドミニオンの中でしばし佇み、早稲のかぐわしい香りを嗅ぐ。つづく「分入右は有磯海」という概念化は、この「わせの香」ドミニオンの中でなされる。最後の「体言切れ」は「有磯海」を焦点化し、青い海の色、波の音を喚起させる。

切れの強弱を比べた場合に、口あひの「や」と体言切れでは、前者のほうが強いのであるが、五七五と時間的に展開していく場合、時間的に近いものは、今まさにその時を占めているので、その意味で、強い力を持っているし、特に句末の「切れ」は切字の有無にかかわらず、句全体の余韻を残す。句末において「わせの香」ドミニオンと、「有磯海」ドミニオンのどちらが大きいかは検討の余地があるが、全てのドミニオンが融合する心的動きはあると考える。



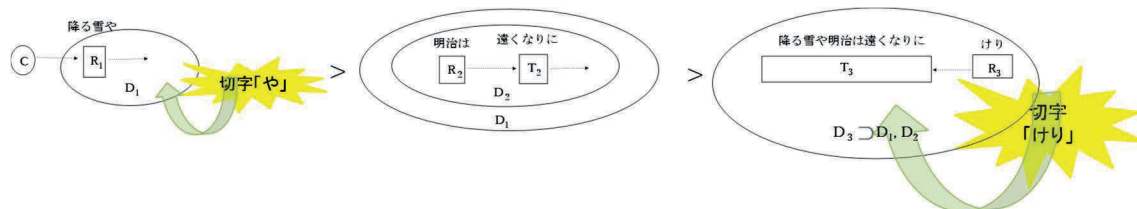
(向井, 2025)

図2 「や・・・体言切れ」の認知図の一例

(4) 「や・・・けり」

降る雪や明治は遠くなりけり 中村草田男

この句は「降る雪や」の「や」で切れる。この切れによって、概念化者は「降る雪」ドミニオンの中でしばし佇み、「よく降る雪だな」と空を仰ぐ。つづく「明治は遠くなりけり」という概念化は、この「降る雪」ドミニオンの中でなされる。目の前に降りしきる雪を仰ぎながら、「明治も遠くなってしまったなあ」という感慨が浮かんでくる。最後の切字「けり」は、一番強い切字であるが、句全体を包み込み焦点化する強さがある。句末ということもあいまって、強い切れの「けり」のドミニオン (D₃) が、全てのドミニオンを包括する。この句は目の前の現実の世界と、心の世界を取り合わせているので、取り合わせの「や」となる。



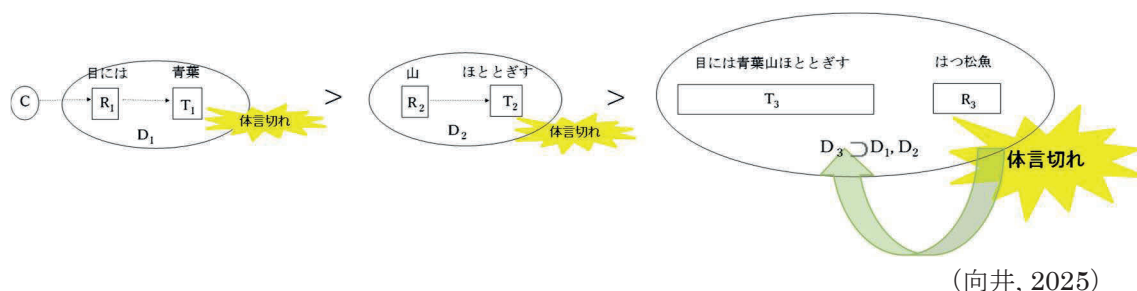
(向井, 2025)

図3 「や・・・けり」の認知図の一例

(5) 季重なり

目には青葉山ほととぎすはつ松魚 素堂

この句には3つの季語があるが、3つが並列されているのではなく、主眼は初鰹にある。初夏の食べものである初鰹(味覚)をたたえるために青葉(視覚)と時鳥(聴覚)を添えている(長谷川, 2012)。「目には青葉」でいったん切れ、視覚が活性化する。「山ほととぎす」で聴覚が活性化する。2回切ることで生まれる対句のリズムも、添え物としてのまとまり感を出している。「はつ松魚」は味覚を刺激するが、今度は参照点になって、そのドミニオン (D₃) の中に「目には青葉山ほととぎす」を見出す。「はつ松魚」の美味しさを引き立たせるために添えられた、視覚と聴覚だからである。この最後の体言切れのドミニオンは、句末の切れということもあいまって、全てのドミニオンを包括し融合する。



(向井, 2025)

図4 季重なりの認知図の一例

3.2. 「切れ」によるカットの切り替え

ここまで「切れ」による世界観の強弱を参照点構造で記述してきたが、次に、「切れ」により生じる世界観の中身について見ていきたい。「切れ」によるカットの切り替えは、詠み手（読み手）の場面内での身体感覚を浮かび上がらせる効果がある。(6)の例に見るように、特に2つの題材を詠み込む「取り合わせ」の句の場合、異なる身体感覚を呼び起こすことによって、場面の臨場感が増す。

- | | | |
|-------|----------------|------|
| (6.a) | 鮎ずしや彦根の城に雲かかる | 蕪村 |
| b. | 紺絋春月重く出でしかな | 飯田龍太 |
| c. | 秋風や模様のちがふ皿二つ | 原 石鼎 |
| d. | 木枕のあかや伊吹にのこる雪 | 丈草 |
| e. | 灰汁桶の雫やみけりきりぎりす | 凡兆 |
| f. | 古池や蛙飛こむ水のおと | 芭蕉 |

(6.a-d)では、人事と自然が対比されているが、(6.a)の場合、特に目の前にある食べ物と遠くの雄大な景色という具合に遠近が際立っている。また、(6.d)では垢と雪が比喩的に重ねられている。(6.e-f)では、現実と心の世界が対比されている。ここでは、特に(6.f)について詳細に見ていこう。

芭蕉のこの有名な句もある読みをすると、ダイナミックに句が破れる。長谷川（2005）の解釈は以下である。「蛙が水に飛び込む音がした。古池が心に浮かんだ」。出来事の発生順とは逆に、心に浮かんだ驚きを最初にもってきている。「や」の切れによって、異なる次元のもの、すなわち、現実世界と心の世界を身体化させる契機をつくっている。この型は、先述した「や・・・体言切れ」の型であるが、心の中の「古池」ドミニオンと、現実世界の「水の音」ドミニオンとが融合している。この2つの身体感覚は、2つのメンタルスペースの融合と考えることができるだろう。詠み手と同じように身体をもった読み手が句の世界に臨場してアブダクション推論しつつ、句の世界を身体化している。

3.3. 詠み手の賭けと読み手の鑑賞、そのインタラクション

一方で、詠み手によって課される上記のような「切れ」（という「捉え方」）を、読み手のほうが読み損ねたり、創造的な読みができないと、間抜けな句になったり、小さい句になってしまうが、このことは「捉え方」が単なる「言語表現」で完結しないことを表す。読み手の知識や人生経験、感性ともブレンドし、句の鑑賞が行われるのである。

(7.a-b)の例では、句中の「切れ」を読み込まないことで、句のもつ深淵に到達できる。(7.c)は一物仕立てではなく取り合わせとして読むことで、(7.d)は下敷きになった和歌を創造的に読み込むことで、句が大きくなる（長谷川, 2012）。

- | | |
|--------------------|------|
| (7) a. 秋深き隣は何をする人ぞ | 芭蕉 |
| b. 六月の女すわれる荒庭 | 石田波郷 |
| c. 桜貝大和島根のあるかぎり | 川崎展宏 |
| d. ゆきくれて雨もる宿や糸ざくら | 蕪村 |

ここでは、(7.a)と(7.d)の例について詳細に見ていこう。(7.a)は一字だけ変更した句との対比で見えていく。

- | | |
|--------------------|----|
| (8) a. 秋深き隣は何をする人ぞ | 芭蕉 |
| b. 秋深し隣は何をする人ぞ | |

オリジナルの a の句には、句の前後の切れはあるが、句中の切れはない。しかし、長谷川(2012)によると、b の句のように誤って覚えてしまっている人が多いのだという。a は一つの素材を詠んだ一物仕立ての句であるが、b は「秋深し」でいったん切れる、「秋深し」と「隣は何をする人ぞ」を取り合わせた句である。句中に切れを読み込むかどうかで、句が全く別物になってしまう。長谷川(2012)によると、(8.b)の句の解釈は次のようになる。間違えて覚えている人が多い中、(9.a)の解釈は一般的であろうが、(9.b)になると「詩」からは程遠いものになる。

- | |
|------------------------------------------|
| (9) a. 秋もすっかり深まったなあ。隣の人はいったい何をしているのだろうか。 |
| b. 秋も深まったなあ。隣の人が何をしようと思ったことではない。隣は隣。私は私。 |

一方で、芭蕉が詠んだ「秋深き」の句の解釈はというと、以下のようになるという。

- (10) しんと静まって物音一つ立てない「秋深き隣」。芭蕉は耳を澄ませながら隣の人は何をしているのだろうと、その「秋深き隣」にそっと心を寄せている。(中略) 隣というと、壁一枚挟んだ隣の部屋、路地一つ隔てた隣の家のことですが、「秋深き隣」といわれると、一枚の壁の向こうに果てしない宇宙が広がっている、そんな感じがしませんか。芭蕉はその静かな宇宙

に耳を傾けている。この句の「隣」はただの「お隣」ではなく、そんな秋深き宇宙なのです。
(長谷川 (2012: 140))

このように、「き」と「し」、このたった一字の違いによって、句が全く別物になってしまう。それ自体で一つの雰囲気をもつ単独の言葉を味わうか、ささやかな異化作用をもった、単語と単語の合成による概念化を味わうかということであろうが、どう読むかは、読者の感性によるところが大きい。

(7.d)の句の下敷きになった和歌とは、次の平忠度の歌である。

(11) 行き暮れて木のしたかげを宿とせば花やこよひのあるじならまし 平忠度

「旅の一日が暮れようとしているのに宿も見つからない。この桜の木の下で寝ることになれば、花が今宵の主になるだろう」という句であるが、忠度の句を創造的に読むこむことができるか否かで解釈は次のように変わるという (長谷川, 2012)。(12.b)が、本歌取りの解釈である。

(12) a. 旅人が歩いているうちに日が暮れてしまった。やっとのことで宿を借りることができたのはいいが、何と雨漏りがする。外を眺めると、庭には糸桜(枝垂桜)があつて、今を盛りと咲き誇っている。その糸桜に見とれて旅の疲れも雨漏りのこともしばし忘れるのだった。

b. 旅の一日が暮れてしまつて、あの忠度の歌の旅人を気取つて糸桜の下で旅寝をするようになった。ところが、雨が降り出すと困ったことに、この花のお宿は糸桜の枝を伝つて雨が漏る。やれやれ。

a の解釈と b の解釈では、「雨もる宿や」のあとの句中の切れの解釈がそれぞれ異なる。a の解釈では、「行き暮れて宿を借りたら雨漏りする宿だった。その庭に糸桜がある」ということであるから、「ゆきくれて雨もる宿や」と「糸ざくら」の取り合わせの句になる。一方、b の解釈では「雨もる宿」は「糸ざくら」のことであるため、この句は一物仕立てになる。

また、季語が動くか否かでも大きな違いがあるという。a の解釈では、「糸ざくら」は「糸ざくら」である必然性はなく季語が動くが、b の解釈では、「糸ざくら」=「雨もる宿」であるため、「糸ざくら」という季語は動かない。

上記のように、意味と形式のペアリングが緊密でない詩の世界では、作者の「詠み」を鑑賞者がそのとおりに「読む」という保証はない。その意味で、作者は一種の「賭け」に出ていると言える。また、作者が意図しない読みを鑑賞者が創造的に行うことができることも、詩の鑑賞の妙味であろう。「捉え方」の観点で言えば、そこには作者の「詠み」と鑑賞者の「読み」が融合し生まれる、間主観的な「間」(「力動性 (dynamicity)」)がある。

4. 今後の展望

以上、本稿では、俳句の「切れ」に焦点を当て、概念化者に身体化を促す俳句の特徴の一端を「捉え方 (construal)」の観点から記述してきた。「切れ」は、認知的には連続する参照点構造を切り、ドミニオン内での停滞によって生じる「焦点化 (focusing)」や「際立ち (prominence)」が関わっており、句中で切れた場合も、ドミニオンの外から新たに開始される概念化を断絶するのではなく、前のドミニオンへとダイナミックに融合していく動き（「力動性 (dynamicity)」）がある。句中に「切れ」が複数ある句や季重なりの句で成功している句は、「切れ」の大きさや時間的な近さと相関するドミニオンどうしが包括関係にあり、より大きなドミニオンが他のドミニオンを包み込み、1つに融合することでバランスを保っていることを主張した。また、「切れ」は場面での身体感覚の移りを表し、句の表す場面に概念化者を臨場させることも見た。論理や理屈で感覚どうしをつなぐのではなく、両者を切り、上記で見た「切れ」のはたらしに委ねることで、場面への臨場感を高めている。最後に、意味と形式の結びつきの緩い「詩」であるからこそ、そこには、「詠み」と「読み」の融合（力動性）が起こり、読み手の知識、人生経験、感性が、概念内容と交わることが必然であることも確認した。

今後の課題は、概念化者に身体化を促す句のさまざまな特徴と「捉え方 (construal)」との関わりをより多く記述し、「間」のいい俳句の型の分類を進めていくことである。具体的には、句の語順と「際立ち (prominence)」、句のリアリティと「詳述性 (specificity)」、句のオリジナリティと「選択 (selection)」、「パースペクティブ (perspective)」などの関係性について詰めていきたい。

5. 参考文献

1. 長谷川 耀 (2005) 『一億人の俳句入門』 講談社, 東京.
2. 長谷川 耀 (2012) 『一億人の「切れ」入門』 角川学芸出版, 東京.
3. Langacker, Ronald W (2015) “Construal,” *Handbook of Cognitive Linguistics*, eds. by Ewa Dąnbrowska and Dagmar Divjak, 120-142, De Gruyter Mouton, Berlin.
4. Mukai Rie (2019, August) A Cognitive Linguistic Approach to *Ma* in Japanese Haiku, Poster session presented at the Fifteenth International Cognitive Linguistics Conference, Kwansei Gakuin University, Hyogo.
5. 向井理恵 (2024) 「AI 俳句の認知言語学的一考察」『日本認知言語学会論文集』 24, 124-136.
6. 向井理恵 (2025) 「俳句の「切れ」と「捉え方」」『日本認知言語学会論文集』 25, 494-500.
7. 中村芳久 (2009) 「認知モードの射程」『「内」と「外」の言語学』 坪本篤朗・早瀬尚子・和田尚明 (編) 開拓社, 東京.

研究題目	エゴマ油による生体内トランス脂肪酸の分解促進
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	医薬系
キーワード	生活習慣病、食事、トランス脂肪酸、ラット

1. 研究の背景と目的

トランス脂肪酸は、加工油脂や一部の天然油脂に含まれる脂肪酸であり、構造中にトランス型の二重結合を持つことから、摂取による心臓病リスクの上昇が問題視されている。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摂取に起因する心疾患で死亡していると推定しており、摂取量の削減が国際的に強く推奨されている¹⁾。しかし、日本国内では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。

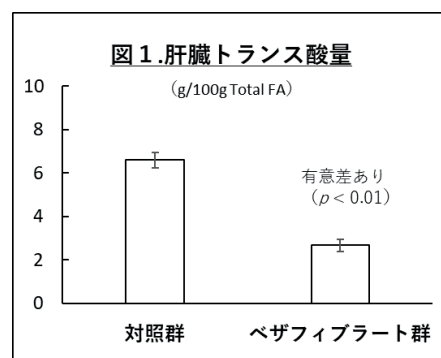
このような背景を踏まえ、本研究では”体内でのトランス脂肪酸分解の促進”という新たな視点に基づくアプローチを試みた。トランス脂肪酸は、主に脂肪酸の代謝を担うミトコンドリアでは分解されにくいことが知られているが、脂肪酸の一部は、もう一つの分解器官であるペルオキシソームでも代謝される。特に、n-3 系脂肪酸である α -リノレン酸は、ペルオキシソームの脂肪酸分解活性を高めることが申請者のこれまでの研究により明らかとなっている²⁾。そこで本研究では、 α -リノレン酸を豊富に含むエゴマ油の摂取により、ペルオキシソーム活性が上昇し、体内のトランス脂肪酸分解が促進されるかどうかについて、動物実験により検証を試みた。

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、エゴマの栽培・加工・販売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、エゴマ油の健康機能、特に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、地域ブランドの価値向上と消費促進につながる可能性がある。

エゴマ油に加えて、n-3 系脂肪酸を多く含む魚油についても同様の効果を評価した。富山県は日本有数の漁業県であり、魚に豊富に含まれる n-3 系脂肪酸である DHA や EPA は、栄養機能の面でも注目されている。地域資源としての魚介類由来脂質の健康機能を科学的に評価することは、地域の特性を生かした研究としても意義深いと考えた。エゴマ油と魚油の両者を比較検討することにより、n-3 系脂肪酸の摂取がトランス脂肪酸代謝に及ぼす影響をより包括的に明らかにすることが可能となる。

本研究の実施にあたっては、先行して実施したベザフィブラートを用いた予備実験の知見が着想の根拠となっている。ベザフィブラートはペルオキシソーム増殖因子受容体（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活性化する薬剤である。トランス脂肪酸を多く含む食餌を与えたラットにベザフィブラートを投与した結果、肝臓及び脂肪組織中のトランス脂肪酸蓄積量が有意に低下することを確認した(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寄与する可能性を示唆しており、今回の栄養学的介入研究に強い裏付けを与えるものであると考えられる。



以上のように、本研究は、トランス脂肪酸対策としての栄養学的アプローチに新たな視点を提供するものであり、同時に富山県の特産資源であるエゴマ及び魚介類の健康価値を明らかにすることで、地域の産業振興にも貢献するものであると考えられる。

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を得た後に実施した。

(1) 動物実験及び飼育

3週齢の雄性 Wistar 系雄ラットを3日間固形飼料で予備飼育した後に実験に用いた。21匹のラットを対照食群、エゴマ油食群、魚油食群にランダムに分けた。飼育室の環境は、温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $55 \pm 15\%$ 、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。対照食は、AIN-93G 組成に5%菜種部分水素添加油脂(トランス脂肪酸42%)を加えたものをベースに、対照食にはひまわり油を10%、エゴマ油食にはエゴマ油(α リノレン酸60%)を10%、魚油食にはマグロから抽出した魚油(EPA8%及びDHA29%)を10%さらに添加した。4週間の試験食投与期間の最終日に解剖を行った。飼育期間終了前、3日間の糞を採取した。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で開腹し、血液、肝臓、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し、 -80°C にて冷凍保存した。その他の分析用サンプルは、分析まで -20°C にて冷凍保存した。

(2) 分析方法

肝臓、脂肪組織、腎臓及び糞中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)にて抽出した。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、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測定した。キャピラリーカラムは、GLサイエンス社製 TC-70 (内径 0.25mm ×長さ 60m 、膜厚 $0.25\mu\text{m}$)、ガスクロマトグラフは、島津製作所の GC-2010 Plus を用いた。

肝臓を Kim らの方法³⁾により、ホモジナイズした後に、Lazarow の方法⁴⁾により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。3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 飼料組成（1 kg 中）

	対照食	エゴマ油食	魚油食
コーンスターチ	197.356	197.356	197.356
カゼイン	240	240	240
α化コーンスターチ	132	132	132
ショ糖	100	100	100
セルロース	50	50	50
AIN-93G 塩混合物	42	42	42
AIN-93G ビタミン混合物	12	12	12
L-シスチン	3.6	3.6	3.6
重酒石酸コリン	3.0	3.0	3.0
TBHQ	0.044	0.044	0.044
大豆油	70	70	70
部分水素添加油脂*	50	50	50
試験油脂	100	100	100
合計	1000	1000	1000

3. 研究成果

(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。終体重及び肝臓重量は、対照食群と比較して魚油食群で有意に高い値を示した。飼料摂取量は、群間で有意な差はなかった。

(2) 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 3 に示した。肝臓中のトランス脂肪酸量は、対照群と比較してエゴマ油食群で有意に高く、魚油食群で有意に低い値を示した。エゴマ油食群の肝臓トランス脂肪酸量は、魚油食群に比べて有意に高い値を示した。脂肪組織中のトランス脂肪酸量は、対照群と比較してエゴマ油及び魚油食群で有意に高い値を示した。腎臓中のトランス脂肪酸量も、対照食群と比較してエゴマ油食群で有意に高い値を示した。

表 2 体重、飼料摂取量、臓器重量及び糞の重量

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
初体重 (g)	64±7	64±5	64±6
終体重 (g)	195±15 ^a	206±15 ^{ab}	216±6 ^b ↑
摂取量 (g/日)	10.8±0.6	10.8±0.7	11.4±0.4
肝臓 (g)	8.0±1.1 ^a	8.8±0.8 ^{ab}	9.4±0.3 ^b ↑
腎臓 (g)	1.4±0.2	1.5±0.1	1.6±0.1
脂肪組織 (g)	3.7±0.6	3.2±0.5	3.5±0.4
糞 (g)	2.7±0.2	2.4±0.2	2.7±0.4

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。

表 3 肝臓中、脂肪組織及び腎臓中のトランス脂肪酸量

	対照食群	エゴマ油食群 (mg/g)	魚油食群
肝臓	2.8±0.2 ^b	3.1±0.2 ^c ↑	2.4±0.2 ^a ↓
脂肪組織	54.2±2.0 ^a	60.2±5.0 ^b ↑	61.0±1.7 ^b ↑
腎臓	3.1±0.5 ^a	4.0±0.7 ^b ↑	3.7±0.5 ^b ↑

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。

(3) 各臓器中の主な脂肪酸組成

肝臓中の主な脂肪酸の組成を表 4 に示した。対照群に比べてエゴマ油食群の 18:1 トランス型脂肪酸及びトランス型脂肪酸合計の組成割合は有意に高い値を示した。一方、対照群に比べて魚油群のトランス型脂肪酸合計の組成割合は有意に低かった。18:1 (トランス型) 脂肪酸の組成割合は、対照食群と魚油食群の間で、有意な差は認められなかった。

脂肪組織中の主な脂肪酸の組成を表 5 に示した。対照群に比べてエゴマ油食群の 18:1 トランス型脂肪酸及びトランス型脂肪酸合計の組成割合は有意に高い値を示した。魚油食群においても、対照群に比べて 18:1 トランス型脂肪酸及びトランス型脂肪酸合計の組成割合は有意に高い値を示した。

腎臓中の主な脂肪酸の組成を表 6 に示した。18:1 トランス型脂肪酸及びトランス型脂肪酸合計の組成割合は、対照群とエゴマ油食群との間に、有意な差は認められなかった。対照食と魚油食群との間にも、有意な差は観察されなかった。

(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 7 に示した。肝臓中のペルオキシソーム β 酸化の比活性は、対照群と比べてエゴマ油食群で有意に高く、対照群及びエゴマ油群と比較して魚油食群で

有意に高い値を示した。全肝臓の β 酸化能も比活性と同様に、対照群と比較してエゴマ油食群で有意に高く、魚油食群ではさらに有意に高い値であった。

(5) 血清脂質濃度

血清脂質濃度を表8に示した。総及びLDL・コレステロール濃度は、対照群と比較してエゴマ油食群及び魚油食群で有意に低い値を示した。LDL/HDL・コレステロール濃度比及び中性脂肪濃度も、同様に対照群と比較してエゴマ油食群及び魚油食群で有意に低い値を示した。

表4 肝臓の主な脂肪酸組成

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
16:0	15.6±1.0 ^b	14.6±0.7 ^a ↓	17.7±0.8 ^c ↑
18:0	10.3±1.1 ^a	11.7±0.7 ^b ↑	10.4±0.6 ^a
18:1 (トランス型)	3.0±1.2 ^a	3.3±0.4 ^b ↑	3.0±0.3 ^a
18:1 (シス型)	30.5±2.5 ^b	12.4±0.5 ^a ↓	11.9±0.9 ^a ↓
20:4 n-6	12.3±1.3 ^c	9.2±0.5 ^b ↓	6.3±0.5 ^a ↓
22:6 n-3	3.3±0.4 ^a	3.8±0.1 ^b ↑	16.1±0.3 ^c ↑
トランス型合計	4.8±0.4 ^b	6.1±0.4 ^c ↑	4.4±0.2 ^a ↓

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。脂肪酸は、炭素数：二重結合数の形式で表記した。

表5 脂肪組織中の主な脂肪酸組成

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
16:0	12.4±0.7 ^a	16.7±2.1 ^b ↑	22.0±0.9 ^c ↑
18:0	2.9±0.1 ^b	2.7±0.1 ^a ↓	3.7±0.2 ^c ↑
18:1 (トランス型)	5.4±0.1 ^a	6.0±0.5 ^b ↑	6.7±0.1 ^c ↑
18:1 (シス型)	54.1±0.5 ^c	23.8±0.3 ^a ↓	24.4±0.3 ^b ↓
22:6 n-3	0.0±0.0 ^a	0.2±0.1 ^b ↑	9.1±0.7 ^c ↑
総トランス型合計	6.2±0.1 ^a	7.2±0.6 ^b ↑	7.6±0.1 ^c ↑

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。脂肪酸は、炭素数：二重結合数の形式で表記した。

表 6 腎臓中の主な脂肪酸組成

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
16:0	19.9±7.3 ^{ab}	17.3±0.9 ^a	19.1±1.2 ^b
18:0	16.8±5.8	15.2±0.5	15.0±0.7
18:1 (トランス型)	3.0±1.2	3.3±0.4	3.0±0.3
18:1 (シス型)	22.6±9.7 ^b	10.5±1.0 ^a ↓	10.3±0.6 ^a ↓
20:4 n-6	27.7±9.7 ^c	17.9±1.3 ^b ↓	15.3±1.8 ^a ↓
22:6 n-3	2.1±0.7 ^a	2.4±2.1 ^b ↑	6.4±2.0 ^c ↑
トランス型合計	3.1±1.3	3.6±0.5	3.2±0.3

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。
脂肪酸は、炭素数：二重結合数の形式で表記した。

表 7 肝臓中のペルオキシソーム β 酸化能

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
		(nmol/min/mg protein)	
比活性	7.9±2.1 ^a	9.2±0.8 ^b ↑	12.7±1.2 ^c ↑
		(μmol /min/liver)	
全肝臓活性	8.1±0.7 ^a	11.7±1.3 ^b ↑	17.9±2.1 ^c ↑

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。

表 8 血清脂質濃度

	対照食群	エゴマ油食群	魚油食群
		(mg/100mL)	
総コレステロール	78.0±8.0 ^b	62.7±5.2 ^a ↓	58.9±6.4 ^a ↓
LDL-コレステロール	4.3±0.8 ^b	3.1±0.4 ^a ↓	2.7±0.5 ^a ↓
HDL-コレステロール	33.1±2.4 ^{ab}	36.4±2.6 ^b	31.3±2.5 ^a
(LDL-/HDL-比)	(0.13±0.02 ^b)	(0.09±0.02 ^a ↓)	(0.09±0.02 ^a ↓)
中性脂肪	176±68 ^b	87±25 ^a ↓	102±30 ^a ↓

異なる上付き文字を付与した平均値間に有意差あり。矢印は、対照群との検定結果を示す。

(6) 考察

本研究では、エゴマ油及び魚油摂取が、ラットにおけるトランス脂肪酸の分解促進に及ぼす影響を検討した。エゴマ油に豊富に含まれる α-リノレン酸によるペルオキシソーム β 酸化能の上

昇に伴い、トランス脂肪酸分解が促進されると事前の仮説において予想した。しかし、実験の結果では、肝臓中のトランス脂肪酸量は魚油群で有意に減少した一方、エゴマ油群ではむしろ有意に増加していた。さらに、脂肪組織及び腎臓においても同様にエゴマ油群でトランス脂肪酸量が増加しており、仮説は支持されず逆の結果となった。

この結果は、複数の要因による可能性が考えられる。まず、脂肪酸代謝においては、各脂肪酸の構造による酵素親和性の違いや、競合的阻害の影響がある。 α -リノレン酸は、ペルオキシソーム β 酸化を促進するものの、同時にトランス脂肪酸との代謝競合を生じ、結果としてトランス脂肪酸の分解が抑制された可能性がある。一方で、魚油群では肝臓中のトランス脂肪酸量が有意に減少しており、DHA や EPA などの高度不飽和脂肪酸が、トランス脂肪酸の代謝促進に寄与している可能性がある。これらの脂肪酸は PPAR α のリガンドとしても知られており⁵⁾、ペルオキシソーム活性をより強く誘導した結果、分解活性がより高まったと考えられる。

β 酸化活性の結果からは、エゴマ油及び魚油いずれの群でも対照群に比べて有意に活性が上昇しており、n-3系脂肪酸を多く含むエゴマ油や魚油の投与によりペルオキシソーム機能が活性化されたことが確認された。したがって、今回観察されたトランス脂肪酸の蓄積は、単純な分解能の低下ではなく、吸収・分布・代謝全体を含めた複合的要因の結果であると推察される。

今回の研究は、エゴマ油によるトランス脂肪酸代謝促進という仮説を直接的に支持する結果とはならなかったが、脂質代謝における脂肪酸種間の相互作用や組織特異的な取り込み・代謝の可能性を示唆する貴重な知見を提供するものである。また、魚油に含まれる n-3系脂肪酸の機能性について、トランス脂肪酸代謝の観点からも新たな視点を与える結果となった。

一方、本研究において、エゴマ油及び魚油の摂取が血清中の総コレステロール、LDL-コレステロール、LDL/HDL-コレステロール比、及び中性脂肪濃度を有意に低下させたことは、n-3系脂肪酸の既知の健康機能（脂質代謝改善作用）が確認されたことを意味する。これは、エゴマ油や魚油が心血管疾患リスク低減に貢献する可能性を再確認するものであり⁶⁾、地域資源としてのエゴマや魚介類の健康価値を示す重要な成果である。

4. 今後の展望

本研究では、エゴマ油及び魚油の摂取がペルオキシソーム β 酸化能を高める一方で、エゴマ油群では臓器中のトランス脂肪酸量が予想に反して増加するという結果が得られた。今後は、脂肪酸の種類による代謝酵素への影響や吸収・分布のメカニズムを分子レベルで解明する必要がある。特に、PPAR α や肝臓内脂質代謝経路の遺伝子発現評価を通じて、脂肪酸の代謝動態における競合や選択性の解明が求められる。トランス脂肪酸の体内動態を詳細に追跡し、n-3系脂肪酸が代謝経路全体に及ぼす影響を包括的に解析する必要がある。また、摂取量や試験期間の変更など、実験条件の調整も検討課題である。将来的には、ヒトでの食後試験や長期摂取試験による臨床的検証を行うとともに、富山県の地域資源であるエゴマ油や魚油の健康機能を科学的に裏付けることで、地域産業との連携や食育への応用を図っていただけることを期待している。

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. 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.
4. Lazarow P. B. (1981). Assay of peroxisomal beta-oxidation of fatty acids. *Methods in enzymology*, **72**, 315–319.
5. Grygiel-Górniak B. (2014). Peroxisome proliferator-activated receptors and their ligands: nutritional and clinical implications--a review. *Nutrition journal*, **13**, 17.
6. Bertoni, C., Abodi, M., D'Oria, V., Milani, G. P., Agostoni, C., & Mazzocchi, A. (2023). Alpha-Linolenic Acid and Cardiovascular Events: A Narrative Review. *International journal of molecular sciences*, **24** (18), 14319.
7. Mozaffarian, D., & Wu, J. H. (2011). Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: effects on risk factors, molecular pathways, and clinical events. *Journal of the American College of Cardiology*, **58** (20), 2047–2067.

研究題目	外国人介護士による日本の介護技術・技能移転の可能性への探究 —帰国後技能実習生へのインタビュー調査より—
機関名	富山短期大学
研究代表者	健康福祉学科・教授・小平達夫
分野	人間科学・産業組織心理学
キーワード	帰国後介護技能実習生 技能・技術移転 低次学習 高次学習

1. 研究の背景と目的

小平（2021）は、ベトナム人介護技能実習生の特色ある国際労働移動システムを解明した。その後、特色ある国際労働移動システムにて来日したベトナム人介護技能実習生にフォーカスを当て、彼らは金銭的インセンティブのみならず非金銭的インセンティブも求めていることが判明した（小平 2022）。非金銭的インセンティブにはキャリア開発支援も含まれている。そして、これまでの外国人介護士に関する研究は、日本国内の介護人材不足、つまり、自国の介護人材不足のみに焦点が当てられることが多く、送出し側である相手国にある課題、問題に意識を向けてこなかった。

現在、介護人材の送り出し国での課題・問題として、“ケアドレイン”、“ナースドレイン”、“ブレインドレイン”があり、国際問題となっている。つまり、“看護・介護人材”を送り出す国々では、人材が国外に流出し、送出し国の医療体制に大きな影響を及ぼしているのである。日本に多くの介護人材を送り出している国としてフィリピンがある。私立フィリピン病院協会のチャン会長は、海外での賃金や就業環境の良さを求めて、国を去る医療職が後を絶たず、多くの病院での医療職が不足し、5年間で1,000カ所の私立病院が閉鎖に追い込まれたことを指摘している。

受入れ国である日本は、上記の送り出し国の現状を顧みず、自国の人材不足のみに目を向け、自国の安定のみを追求する姿勢で、現在のグローバル社会において、果たして“あるべき姿”であろうか。送出し国と受入れ国、今後、双方にとってWin-Winの関係性が永続的な国際労働移動において重要である。つまり、“介護人材の還流”である。

現在、日本に介護人材を最も送り出している国はベトナムであり、その多くが看護師資格（医療従事証明書）を保有している。ベトナムは2017年に高齢化社会を迎え、2033年に高齢社会に突入する。ベトナムは高齢化社会から高齢社会に至るまで16年と、日本の24年間と比べると、日本より高齢化のスピードは早い。

「技能実習制度」のベースにあるのは、“技術・技能移転”であるが、これまでの多くの職種においては、現実として“技術・技能移転”が実現していないケースが多い。つまり、“制度と実態との乖離”である。

これからますます高齢化が進むベトナムにおいて、日本に対する“介護の技術・技能の移転”に対する期待は高くなると推察する。このような状況で、日本側は自国の介護人材不足の解消のみならず、送出し国であるベトナムの高齢化にも意識を向ける必要がある。

介護技能実習生の来日第1陣が一昨年ごろより技能実習の期間満了（技能実習1号、2号）を

迎えている。帰国を望まず日本に留まるケースが多い事実が、筆者のインタビュー調査で明らかになっているが、少数であるが3年間の技能実習が修了し帰国する技能実習生が一定数存在する。

技能実習制度は、「人材育成を通じた開発途上地域等への技能、技術又は知識の移転による国際協力を推進することを目的とする」ものであり、実習生を受け入れた日本側の法人は、帰国後の就職にまで関与するという意識が必要である。まずは、技能実習生の帰国後の技能移転の現状を明らかにしてみたい。

帰国後の技能実習生の技能移転や技術移転の状況として、厚生労働省(2018)の調査結果報告では、「技能実習の技術移転はある程度進んでいる」というおざなりな報告結果が出されている。その一方で、日本で学んだことが母国の仕事で活かされていないという問題が指摘されている(守屋, 2018)。

西川(2018)は、主に製造業で技能実習を行ない帰国した技能実習生250人を対象に、電話による追跡調査を実施した。電話調査の結果、現地製造業での就業は限定的であることと、製造業就業者の所得が非製造業就業者より高いにもかかわらず、あえて非製造業を選択していることを指摘している。つまり、技能移転の目的とは裏腹に、現実には、技能移転が進んでおらず、政府の報告書とは相反する結果が見て取れるのである。

岩下(2018)は、ベトナム人技能実習生へのインタビュー調査を実施し、塗装業で技能習得をしたが、思い描いていたような仕事ではなく、帰国後には役に立たないという悟りの気持ちで、日本語の学習に傾注したというインタビュー結果を報告している。日本で学んだことが帰国後に役に立ったかという質問に対して、回答者20名全員が役に立たなかったという結果を報告している(岩下, 2018)。同様に、総菜製造業で働くベトナム人技能実習生8名を追跡し、帰国後に同業種への就業希望は一人もいなかったという報告もある(見館他, 2020)。

この2つの調査から、技能実習の目的は形骸化しており、その本来の目的を明らかに満たしていないことがわかる。技能実習は単なる出稼ぎ、あるいは海外生活の機会と捉えている人が多いのが実情であり(宮谷, 2021)、送出側や受入側だけでなく、当事者本人ですら、その目的をはき違えている様子が見えてくる。ここに、技術・技能移転に横たわる根本の問題が浮かび上がってくるのである。

狭義の技術移転にはかかわらない日本語能力や日本での労働経験を、成果と見る考え方が支配しているようである(見館, 2020)。インドネシア人帰国生に対するインタビュー調査では、技能移転を実現する機会がなく、後輩の技能実習生を育成する日本語教師となっていることがあげられている(木元他, 2018)。研修で学んだ技能よりも、日本人とのつながりや日本語力の方が重要な役割を果たしているというインタビュー結果もある(Tran, 2015)。タイ、ラオス、ベトナムの帰国者や関係機関のインタビューでは、日本人の勤勉さや品質意識(Ratnayake & De Silva, 2018)や「日本語」「日本のマナー」「日本の仕事の方法」を修得した点を評価している(岩下, 2108)。

“技能実習生のキャリア教育”というキーワードで論文検索すると、日本語教育や日本語能力の

修得についてしか検出されない。したがって、技能実習制度の本来の目的から外れていることは明らかである。

一方では、トヨタ社内の技能移転（藤原, 2003, 公文, 2016）も、ケースとして取り上げられている。また、日本への入国前にベトナムで現地教育を行い、日本国内で表装技術の本格的技能実習を行った後、帰国後に身に付けた技能・技術を活用できるよう現地法人を立ち上げ、技能実習生を社長として採用し、技能・技術移転を展開している事例報告（宮谷 2021）がある。農業分野においては、現地ベトナムに日越共同経営による農業の拠点センターを開設し、帰国後の技能実習生が就業しており、現地職員に有機農法の教育を行っている愛媛県内の地域協同組合の事例もある（二階堂 2019）。

上述の通り技能実習制度のほとんどの職種が技能・技術移転が行われていない中、介護技能実習修了者（1号、2号）が今後増加する中で、今後技能実習制度に代わり、新たな制度に移ろうとも、日本で修得した技能・技術が母国で活かせることは、真の国際貢献を果たすことにつながり、今後の持続可能な介護人材の還流には重要であると考ええる。

これまでの帰国後の介護留学生や EPA を対象にした研究は見られるが、帰国後の介護技能実習生を対象にした研究はほとんどなく、新奇性があり、日越両国にとって重要なテーマである。

今回の研究では、日本で介護技能実習生として3年間滞在した後、ベトナムに帰国した技能実習生の実態を明らかにし、日本の介護技術・技能移転の可能性を探りたい。

2. 調査概要と分析方法

2.1 対象者

本調査は、2024年9月にベトナム ハノイにて半構造化インタビュー法にて対面方式で行った。インタビュー対象者は日本で介護技能実習を修了した5名とし、表1に協力者の概要を示した。今回のインタビューは、一部、職場を通じての依頼であるため、断りにくい状況であり、また社会的望ましさの表出が推察される。社会的な望ましさが出ないように、個人が不利益になるインタビュー内容は他言されない旨を説明した。

インタビュー対象者は全員が20代、性別は男性2名、女性3名、日本での滞在期間は3年から5年で5名全員が技能実習（1号）、技能実習（2号）を修了している。実習法人形態は社会福祉法人が3名、社会医療法人が2名、実習施設はショートステイが1名、デイサービス・特別養護老人ホームが2名、急性期病院が2名であった。ベトナムでの現在の仕事は、介護・日本語教師が3名、介護士が1名、ITエンジニアが1名であった。Cは介護士としてハノイのデイサービスにて勤務している。また、Eはハノイ市内にて日本企業を顧客とするIT企業にてITエンジニアとして勤務している。論者はこれまでベトナム人技能実習生44名に対して入国時より3年間継続的にインタビューを行っていた。今回のインタビュー対象者のDとEはその44名のうちの2名である。DとEに関しては2年ぶりのインタビューとなった。Eは来日3年目にて日本語能力試験1級（N1）を取得した唯一の技能実習生であった。また、Dはベトナムに帰国後に日本語能力試験1級（N1）を取得している。

Eの現況についてももう少し触れると、現在、日本企業が顧客のため2時間時差のある日本時間

に合わせた勤務形態で、IT 業界の進歩は早く、多忙を極める中でも日々新たな知識の修得が求められている。日本での技能実習生として支払われた給料より格段に高く、日本を離れる時は IT エンジニアとして再来日の意思表示をしていたが、現在はハノイで IT エンジニアとして働くことを希望していた。

ベトナムに帰国後の技能実習修了者 5 名のうち介護に関連する仕事に就いたのは 4 名で、うち介護士として働いていたのは 1 名であった。

今回のインタビュー対象者 5 人全員が、来日前に介護技術・スキル、介護の知識をある程度身につけていた。A、B、C の送出し機関は、ハノイに高齢者施設、日本語学校を有しており、来日までの期間、ハノイの高齢者施設にて介護士として従事していた。また、D、E もハノイで日本の社会医療法人で組成されたコンソーシアムが運営する介護教育機関にて日本人介護士の指導の下、来日までに介護初任者研修修了レベルに到達していた。

表1 ベトナム人介護技能実習経験者概要

ID	年代	性別	実習都道府県	日本での滞在期間（内訳）	実習法人形態	施設	現在の仕事
A	20代	女性	群馬県	5年(技能実習3年+特定技能1号2年)	社会福祉法人	ショートステイ	介護・日本語教師
B	20代	男性	群馬県	4年(技能実習3年+特定技能1号1年)	社会福祉法人	デイサービス・特養	介護・日本語教師
C	20代	男性	群馬県	4年(技能実習3年+特定技能1号1年)	社会福祉法人	デイサービス・特養	介護士
D	20代	女性	大阪府	3年(技能実習3年)	社会医療法人	急性期病院	介護・日本語教師
E	20代	女性	大阪府	3年(技能実習3年)	社会医療法人	急性期病院	ITエンジニア

2.2 調査方法

個別及びグループで対面式にてインタビューを実施した。インタビューでは、先ず事前に目的、面接者、質問形式、所要時間、プライバシーの保護に関する倫理的配慮について説明し、IC レコーダーによる録音とノートへの筆記の同意を求め、全員より同意を得た。インタビュー終了後、逐語録を作成した。

2.3 倫理的な配慮

研究協力の依頼に際しては、研究の趣旨を口頭にて説明した。研究協力は任意で、自由意志であること、研究協力者は研究へ拒否をした場合でも不利益を受けることなく、いつでも中止できること、個人特定がされないことを説明し、同意を得た。また、面接時の録音記録と得られたデータは特定のメモリへ保存し、研究中は鍵のかかるキャビネットに保管すること、研究終了後、データの破棄及び録音記録の消去、記録物はシュレッダーにて破棄すること等を口頭にて説明し、同意を得た。尚、本研究は、研究者所属の倫理審査を受け、承認を得て実施した。富山短期大学倫理委員会（承認番号 R6-1）。

2.4 分析方法

分析手法には佐藤（2008）の「事例-コード・マトリックス」を援用した。佐藤（2008）の「事例-コード・マトリックス」は、調査協力者が語った出来事をマトリックスで整理しながら集約し、再文脈化する手法である。佐藤（2008）の手法は、調査協力者と出来事の 2

側面から一つのマトリックス表で整理していくことが可能であるため、調査協力者の語る話題が人によって異なる5名のデータであっても、関係性のある要素を抽出することが可能である。手順はまず、インタビューデータをオープンコーディングしコードを作成、直接的、間接的に技術・技能移転に関するコードを抽出した。次に「事例-コード・マトリックス」を作成してコードを整理し、分類されたコードを集約してカテゴリーを生成した。

3. 結果

コードを整理し、分類されたコードを集約してカテゴリーを生成した結果、11のカテゴリーが生成された(表2)。

【入国前の介護学習】

前述の通り、今回のインタビュー対象者5名は入国前に一定の介護技術・スキル・知識を身につけて来日しており、入国前の介護学習の有用性について言及していた一方、ベトナム人経営の施設で介護を学んだ技能実習生は、ベトナムと日本の介護業務の範囲ややり方の相違により、困惑する発言があった。

【日本の介護への高い評価】

日本の高い介護技術を実習先にて目の当たりをすると共に、日本人介護士による利用者への丁寧な対応も目の当たりにし、日本の介護に高い評価を示した。

【満足度の高い技能実習】

技能実習生は実習先にて高い日本の介護技術を日本人介護士より丁寧かつ熱心に教授され、高い満足感を示した。また、帰国後、介護教育者として今後日本に行く技能実習生へ教授する立場になり、改めて日本での技能実習に高い満足感を示した。一方で、彼らが技能実習生として教わる一方ではなく、彼らが主体的となって活躍できる役割を得ていた。

【介護保険制度の高い評価】

技能実習は、“技術・技能”移転を図ることが重点におかれているが、日本の自立支援介護の基底となっている「介護保険制度」について理解すると同時に高く評価をしていた。

【介護施設へのイメージアップへの意欲】

ベトナムは家族介護が基本であり、高齢者施設に対するイメージはよくない。しかしながら、日本の介護保険制度に基づいた日本の介護の考え方、施設運営、施設、サービスを理解している技能実習生より介護施設に対するイメージアップを図りたい意欲が示された。

【介護の魅力】

技能実習において、利用者、患者からの感謝の言葉、利用者とのふれあいの中で“介護職”の魅力を感じていた。また、利用者の状態改善に直接的にかかわれることにも魅力を感じていた。

【教育者としての使命感】

帰国後、これから日本行く技能実習生に日本語及び介護の教育者として活躍している姿があった。彼らは送出す側としての育成責任感を自覚しており、教育者としての使命感を持っていた。

【介護福祉士資格の取得希望】

帰国後、介護士及び日本語・介護の教員全員が、介護福祉士資格を高く評価し、取得を希望し

ていた。中には、再度日本に戻って、介護福祉士資格試験の受験を計画しているケースもあった。

【介護士としての自己実現】

1名であるがベトナムのデイサービスの現場で彼は技能実習での経験を活かして介護士として勤務していた。現場のベトナム人介護士への指導的役割、利用者家族からの相談対応としての役割があり、介護現場で介護士として信頼を得て、承認欲求、自己実現欲求が満たされていた。

【介護士としての再来日の願望】

機会があれば再来日し、再び介護士として働くことを希望していた。また、前回とは異なる地域での勤務や日本文化の理解促進も望んでいた。

【高齢者への肯定的認識】

ベトナムは敬老思想が強く、高齢者に対して愛情深い国民性である。高齢者をありのままに受け止め、高齢者と関わることで自己成長に繋げる姿があった。

4. 考察

インタビュー対象者5名全員が来日前にベトナムにて介護の技術・技能、知識を学んで来日している。国際労働移動の受入国への異文化適応プロセスの研究では、畠中他（2014）は、心理的適応（心の健康、精神的安定）→社会文化的適応（職場適応等）→自己実現的適応（充実感、職業人としての有意義感）という適応プロセスを経過すると言及している。また、小平（2024）はD, E 他42名の日本での異文化適応プロセスで心理的、社会文化的適応、自己実現的適応が同時に進行する「異文化適応同時モデル」を導出しており、ベトナムと日本の介護業務の範囲、やり方に相違はあるものの、A, B, Cの日本での概ね円滑な介護現場への移行から判断すると、来日前の介護教育が日本での早期職場適応に繋がっていると推察できる。

ベトナムの介護施設での介護業務の範囲とやり方と日本の介護施設での相違に戸惑いを示すケースがあったが、来日前にベトナム側でベトナムと日本の介護業務の範囲ややり方の相違について事前に理解を促す取組が必要であると共に日本側もそれぞれの国の文化に基づく考えややり方があることを理解を示すことも求められると考える。

技能実習では日本の高い介護技術力を目の当たりにする中で、実習現場での日本人スタッフの丁寧で熱心な指導に感謝すると同時に彼らが活躍できる役割も与えており、技能実習に対して高い満足感を示した。経営学の組織学習の学習形態に関する研究において、“低次学習（ルーティン業務、単なる行為の繰り返し）”と“高次学習”（その背後にある価値観・文化・パースペクティブの変容）の概念がある（Argyris and Schön, 1978）。技能実習生は単に3介助（入浴介助、排泄介助、食事介助）のみならず、日本の介護現場で介護士としての心構えを獲得し、介護士としての自覚をもち、“考える機会”が与えられていた。つまり、“低次学習”と“高次学習”が技能実習に取り入れられており、伊丹・加護野（2003）は“低次学習”と“高次学習”両方の重要性を指摘している。

また彼らは、単に3介助（入浴介助、排泄介助、食事介助）に目を向けるのではなく、高齢者介護の基底にある「介護保険制度」にも興味関心を示しており、日本の介護を俯瞰的に捉えており、「介護保険制度」の重要性を理解していた。

一方では、“介護”の概念がベトナムでは広く一般に認知されておらず、ひと昔の日本のように“家族介護”が一般的であり、ベトナムでは介護施設に対するイメージはよくない。そのよう中、技能実習を通して日本の自立支援介護の理念を理解し、日本の介護を実践した結果、ベトナムでの介護の概念の浸透、価値観の転換（パラダイムシフト）を図ろうとしていた。技能実習を通して、介護士としてのアイデンティティが確立されたのだが、このアイデンティティの確立は日本の介護現場の介護士の教育成果であると推察される。ベトナムの医療系大学の教員インタビューで、日本の介護技能実習への期待として、“介護職としてのプライドの醸成”に言及しており（小平, 2024）、まさにその期待に応えたものである。

ベトナムで日本に送り出す技能実習生に日本語と介護の技術・スキル、知識を教授している技能実習修了者3名のうち、1名は日本語能力試験1級(N1)、もう2名は日本語能力試験2級(N2)を取得しており、日本で身につけた介護の技術・技能、日本語能力を積極的に活用していた。彼らの教育者としての使命感は強く、より質の高い技能実習生を送り出されることに期待ができる。一方では、デイサービスの介護士として日本で修得した介護技術・技能、知識を活用して、ベトナムの職員への指導や利用者の家族からの相談業務を行っており、日本での技能実習を修了した介護士として職場の介護士や利用者の家族からの信用を得ていた。先行研究にある通りこれまで日本での技能実習経験があまり活かされないという問題が指摘され続けていた中で、技能実習制度の本来の目的である「技能・技術移転」と介護士として“自己実現”が果たされている事例は希少であるが、今後の“人材還流”に繋がる第1歩となった。

帰国後も介護に関わる仕事に従事しているA、B、C、D全員が、介護福祉士資格の取得を希望し、Dは介護福祉士資格取得のための具体的な計画を立てていた。現時点では介護福祉士資格を有するベトナム人介護士はベトナムにあまりいないと推察されるが、日本国内では2023年度より外国人介護士（技能実習生、特定技能1号）の介護福祉士資格取得者が増加傾向になる。数年後には介護福祉士資格を有するベトナム人介護士の帰国が増加すると考えられ、その結果、現在の無資格の彼らよりも介護福祉士資格を有する専門性の高い介護士の価値が高まるであろう。

また、介護福祉士資格を有する帰国者の増加は、ベトナムの介護の質の向上につながるものであり、A、B、C、Dが今後のキャリアを考えると介護福祉士資格の取得を希望することは理解できる。

日本国内の施設・病院では日本での滞在を希望する外国人介護士への介護福祉士資格の支援を行っているが、国際貢献的視点から今後は帰国を考えている外国人介護士に対しても介護福祉士資格取得のサポートが求められると推察する。

また、A、B、Cは機会があれば日本で再度、介護士として従事することを希望している。今後、日本に再来日することも考えられ、介護福祉士資格があればベトナムと日本を往還することが可能となる。そうすると、帰国を希望している外国人介護士の介護福祉士資格の取得のための法人サポートは国際貢献のみならず日本にとっても有益である。

カテゴリーとして、「高齢者への肯定感」が抽出されたが、奥村（2015）は大学生の高齢者に対する肯定的感情は発達過程における高齢者との関わりと深く影響していることに言及してい

る。ベトナムにおける敬老思想に基づく幼少期からの高齢者との関わりが「高齢者への肯定感」に影響を及ぼしていると推察される。高齢者への敬う気持ちは介護の実践として表出されることが期待される。

5. 結論

技能実習制度の目的である「技術・技能移転」を達成するには、まずは日本で修得した技術・技能を母国で活かせる“場”が求められる。これまで多くの職種では、その技術を活かせる“場”がほとんどなかった。介護の場合、ベトナムは“家族介護”であり、介護保険制度は当然整備されておらず、ハノイ、ホーチミンに高所得者向け施設が数カ所にある程度である。

しかしながら、ハノイで日系企業が高齢者向け介護施設の開設を予定しており、ここ数年での日系企業による高齢者向け介護施設の増加が見込まれており、日本の介護技術・技能を修得した技能実習修了者へのニーズと期待は高まると推察される。

一方では、ベトナムはすでに高齢化社会を迎えており、介護士 (nhan vien cham soc) という職業が新しく位置付けられ、ベトナム政府は高齢社会に向けて動き出している。

本研究の結果と考察より、日本の介護技術・技能移転には、①日本の介護現場に円滑に移行できるように来日する前に母国での介護教育を受け、②技能実習期間では技能実習と日本の介護への高い評価が求められ、低次学習と高次学習の双方が実践されていた。その結果、技能実習生修了者はベトナムで介護士または介護の教育者を選択していた。

また、インタビューでは介護福祉士資格取得に対しての彼らの高いニーズがあった。これまでは日本に中長期の滞在を希望する外国人介護士が介護福祉士資格を希望する事例が多かったが、帰国後も介護士としてのキャリアを望むのであれば、日本での滞在期間内での介護福祉士資格取得を提案したい。

最後に、介護士として求められる資質として“高齢者への肯定的認識”は国を問わず求められるであろう。

以上の調査・研究結果より、下記の「介護技術・技能移転モデル」が導出された。介護技術・技能移転は、彼らの来日前から開始しているである。

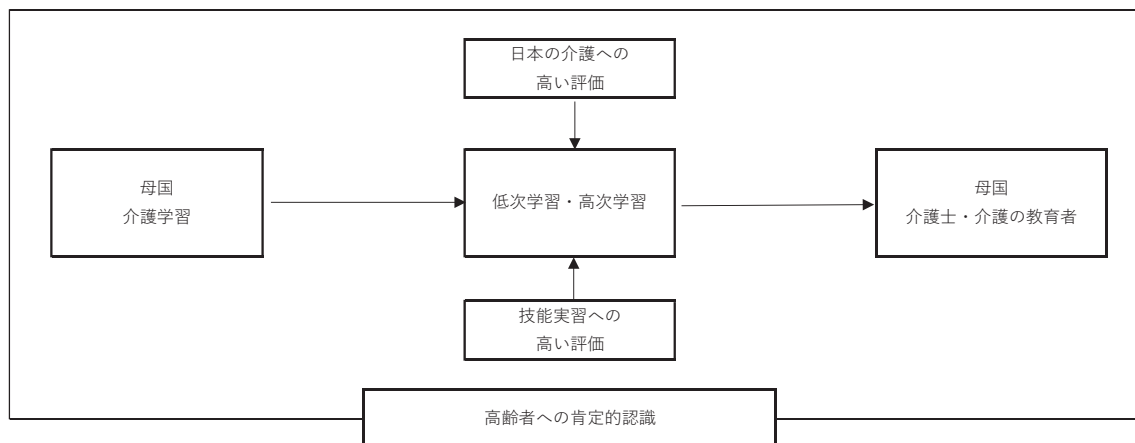


図1 介護技術・技能移転モデル

表2 カテゴリーと抽出されたコード

NO	カテゴリー	抽出されたコード
1	現地での介護学習	<ul style="list-style-type: none"> ・ 送出し会社には老人ホームがあるので介護の仕事を理解することができた。(A) ・ 日本に行く前に老人ホームで介護の仕事していたので、大丈夫でした。(B) ・ 日本に行く前に老人ホームで介護の仕事ができたことは本当によかったです。(B) ・ 日本に行く前に実習した方が本当にいいですね。(B) ・ ベトナムで介護の仕事をしていたので、日本でも次に何をするのか分かった。(B) ・ ベトナムにいる時に介護の仕事していたので、日本では簡単に介護ができました。◎ ・ 日本のやり方とベトナムのやり方は違いますので、それで少し慣れる時間が必要でした。1カ月半ぐらい日本のやり方を覚えるのに時間がかかった。日本とベトナムのやり方の違いは、ベトナムではおむつ交換の時、お湯を使って先ずは拭いたが、日本ではそうしなかった。褥瘡の処置が違っていた。ベトナムの老人ホームでは褥瘡の薬を塗ることができたが、日本では介護士はできない。それがよくなかったです。(A) ・ ベトナムの老人ホームでは褥瘡の薬を塗ることができるが、日本の介護士はそれができない。(B)
2	日本の介護への高い評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本人の考え方や日本のやり方が分かりました。ベトナムに帰国しても日本の介護技術を使うことができる。日本の介護技術はいいと思いました。(A) ・ ベトナムのスタッフと日本のスタッフの考え方は違います。日本の介護士は、優しく丁寧に、順番に仕事をする。そして、高齢者に詳しく説明します。相手が分かるまで説明します。(B)
3	技能実習への高い評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本人の職員は優しく、一生懸命教えてくれました。日本人職員は分かるように説明してくれました。本当にありがたかったです。(A) ・ 自分は先輩になり、ベトナムの後輩に介護の技術だけでなく日本の文化も教えました。(A) ・ 日本の介護技術をベトナムに持って来たら、役に立ちますね。最初、自分は介護の仕事を選んだ時はあまり分からなかったですが、今、介護の教育を担当して、学生に教える時、本当に日本で勉強した経験はよかったですし、大事ですよ。(B) ・ 日本での4年間の経験で今ベトナムで介護の仕事をしています。そして、多くの日本での経験が生きています。食事介助、車いすからベッドへの移乗介助、トイレ誘導、トイレ介助、お風呂介助が役に立っている。(C) ・ IUCで3年間仕事をしました。介護補助の仕事でしたが、とても勉強になりました。今、3年間学んだことを活かして仕事しています。(D) ・ 日本で仕事ができていることが今に繋がっている。日本で仕事ができていることに満足しています。とても満足しています。(D) ・ 私とCさんのアイデアで利用者さんと花や野菜を植えたりして、皆さんが感謝してくれました。(D)
4	介護保険制度の高い評価	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本は法律で利用者を守っているのいいと思います。日本人の考え方、日本の介護には理由があるのでいいと思います。(A) ・ 日本のいいところはデイサービスと特養老人ホームと別れている。状態が違う人たちがベトナムと違って別れている。(B) ・ 日本には介護の法律があります。ベトナムには介護の法律がありません。将来ベトナムは日本の介護の法律を取り入れたらいいと思います。日本のおお寄りみんないい生活をしているから。ベトナムではお金持ちでないと老人ホームに入れないです。日本には介護保険があります。(B)
5	介護施設へのイメージアップへの意欲	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベトナムでは老人ホームに入ること、入れることはあまりよくないという考えです。ベトナムでは老人ホームにいいイメージがありません。老人施設はいいところです。老人施設のイメージを変えたい。利用者さんにとっていいところです。日本でもベトナムでも介護施設で働きたいと思う人は少ないと思います。若い人が活躍できます。(C)
6	介護の魅力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 「ありがとうございます」と感謝してくれます。魅力だと思います。(D) ・ 利用者の経験したいろいろな話を聞けることが魅力だと思います。男性、女性より人生の話を聞けました。利用者は豊富な経験があります。(A) ・ 利用者さんがここで毎日一緒に運動などして元気になる姿、元気になっていく姿を見ると嬉しくなります。これが介護の魅力です。(C)
7	教育者としての使命感	<ul style="list-style-type: none"> ・ いい介護技能実習生を育てて、日本に送り出すことです。(B) ・ 去年の7月にベトナムに戻って、教えた技能実習生が今月日本に行きます。将来成長して戻って来てくれたら、ベトナムの将来に役に立ちます(B) ・ これからベトナムの実習生は増えますから、知識がないと大変だと思います。(B) ・ いい介護技能実習生を育てて、日本に送り出すことです。(D)
8	介護士としての自己実現	<ul style="list-style-type: none"> ・ ベトナムで介護の仕事ができて嬉しいです。(C) ・ ベトナムでは利用者さんの家族は介護について分からなく、私に相談してくれます。嬉しいです。(C) ・ ベトナムの職員に日本の介護を教えています。(C) ・ 将来ベトナムで介護施設を作りたいと思っている。(C)
9	介護福祉士資格の取得希望	<ul style="list-style-type: none"> ・ また行く機会があれば、介護福祉士の勉強をして、取得したいです。(A) ・ また行く機会があれば、介護福祉士の勉強をして、取得したいです。(B) ・ また行く機会があれば、介護福祉士の勉強をして、取得したいです。(C) ・ また行く機会があれば、介護福祉士の資格を取得したいです。3年間の勤務実績があるので、日本で実務者研修を受けて、2年後に国家試験を受験したいです。(D)
10	介護士としての再来日の願望	<ul style="list-style-type: none"> ・ チャンスがあればあれば日本に行きたいですね。また介護の仕事をしたいです。利用者の笑顔を見たら、自分も嬉しくなります。(A) ・ チャンスがあればあれば日本に行きたいですね。また介護の仕事をしたいです。また、違う地域で働きたいです。文化を知りたいです。(B) ・ チャンスがあればあれば日本に行きたいですね。また介護の仕事をしたいです。(C)
11	高齢者への肯定的認識	<ul style="list-style-type: none"> ・ おじいちゃん、おばあちゃんは可愛いです。認知症の人は私にとって可愛かったです。(A) ・ 利用者の多くは80歳以上で経験豊富です。いろいろな話を聞くことができます。認知症の人もあります。本当に大変ですが、92歳の利用者さんが三味線よく人がいました。とても話が面白い。いろいろな教えてくれました。将棋も教えてもらい、将棋をしました。将棋の本をくれました。違うおじいさんとしたら、勝ちました。お祭りの話も聞きました。いろいろなことを利用者さんから教えてもらえるのが嬉しいです。(B) ・ 利用者はいろいろな経験を持っていて、利用者と話したら、いっぱい知識を得ることができます。(A) ・ 日本のおじいちゃんおばあちゃんはとてもかわいいです。(D)

「抽出されたコード」内の()は発話者を示す

参考文献

- Argyris, C. and Schön, D. A. (1978). *Organization learning :A theory of action perspective*. Reading: Addison-Wesley.
- 伊丹敬之・加護野忠男, 2003. 『ゼミナール経営入門 (第3版)』東京: 日本経済新聞社.
- 岩下康子, 2003. 「技能実習生の帰国後キャリアの考察—ベトナム人帰国技能実習生の聞き取り調査を通して—」広島文教女子大学『広島文京女子大学紀要』53巻. p33-43.
- 奥村由美子・久世淳子, 2015. 「大学生の高齢者への肯定的感情と高齢者イメージとの関連」. 日本心理学会第79回大会発表論文集. p994.
- 木元茜・東弘子・藤倉哲郎, 2018. 「日本語教師になる元技能実習生の現状—インドネシア人技能実習生の帰国後のキャリアから問う技能実習制度」愛知県立大学、『紀要. 地域研究・国際学編』50号. p105-129.
- 公文 溥, 2016. 「技能の国際移転: タイ・トヨタの教育訓練機関のケース」法政大学社会学部学会『社会志林』63巻3号. p33-58.
- 小平達夫, 2021. 「介護技能実習制度に伴う外国人ケア労働者の日本社会への流入」. 富山大学大学院人文社会科学研究科修理論文. p25-28.
- 小平達夫, 2024. 「介護技術・技能移転を目的とした外国人介護士のキャリア形成の研究—ベトナム人介護技能実習生とベトナム・日本の視座—」. 立命館大学大学院人間科学研究科人間科学専攻博士課程後期課程博士論文
- 二階堂裕子, 2019. 「外国人技能実習制度による国際貢献に向けた課題—ベトナムにおける農業分野の技能移転の可能性—」. 日本社会分析学会『社会分析』No. 17. p47-61.
- 西川直孝, 2018. 「ベトナム人帰国技能実習生の就業状況に関する研究—就業選択行動と所得を中心に—」. 移民政策学会 2018年度年次大会抄録
- 畠中かおり・田中京子・光吉仁哉, 2014. 在日外国人介護士候補者の異文化適応—三層構造モデルに基づく縦断的事例の分析—. 岡山大学大学院社会文化科学研究科紀要 37巻. 67-75.
- 藤原あさひ, 2003. 「Instructors in Technology and Skill Transfer Knowledge: Expatriate Employees in a Japanese Automobile Corporation」愛知学泉大学『経営研究』17巻1号. p109-128.
- 見館好隆・河合晋・竹内治彦, 2020. 「技能実習生のキャリア形成モデルの提案—阻害要因の解決を視座したM-GTA分析を通して—」日本ビジネス実務学会、『ビジネス実務論集』40巻. p11-22.
- 宮谷敦美, 2021. 「ベトナムと日本をつなぐ建設技能実習生の人材育成に取り組む実践者」. 共生の文化研究, 第15号. p147-154.
- 守屋貴司, 2018. 「外国人労働者の就労問題と改善策」日本労働研究雑誌. p30-39.

研究題目	栄養状態の良い異性を配偶者を選択する 神経メカニズムの解明
機関名	富山短期大学
研究代表者	食物栄養学科・准教授・川口将史
分野	栄養学・行動生態学・神経解剖学
キーワード	配偶者選択・摂取エネルギー量・間脳

1. 研究の背景と目的

日本では若年女性で痩せの割合が高く（厚生労働省, 2020）、エネルギー摂取量の不足や栄養バランスの欠如が生殖に及ぼす影響が問題になっている（谷内・曾根, 2013）。痩せの女性が妊娠した場合、低出生体重児が生まれるリスクが高くなる。低出生体重児は、胎児期に経験した低栄養状態に伴うエピジェネティックな変化により、少ないエネルギー摂取に適応した体質を獲得している。ところが誕生後は富栄養の環境に置かれることが多く、II型糖尿病などの生活習慣病に罹患しやすくなる（Barker & Osmond, 1986）。

このように、より生存に適した子孫を多く残すため、生殖では親個体の栄養状態の良さが重要な要素となる。このため動物は、栄養状態の良好な異性を配偶者を選ぶ傾向にある。女性の理想体型に関する調査でも、男性はふくよかな女性を好む傾向にあることが報告されており、配偶者選択において栄養状態が基準の一つになっていると示唆される（國本ら, 2017）。しかし、雄が配偶者選択を行う時、雌の栄養状態をどのように識別し、相手に応じて求愛と威嚇のどちらの行動を選択するか、その神経メカニズムの全容を解明した研究はこれまでにない。そこで本研究では、ハゼ目小型魚類のヨシノボリをモデル動物とし、摂餌量を人為的に減らした雌を提示した際に、雄が求愛特異的な行動要素を示す回数が減るのか検証した。また、感覚入力に応じた行動選択を司る間脳領域の候補を探索するため、ヨシノボリの間脳領域の地図を作成した。これらの解析を通じて、雄が雌から得られる感覚情報に応じて適切な行動を選択するまでの神経メカニズムの全容解明を目指すことが、本研究の目的である（図1）。

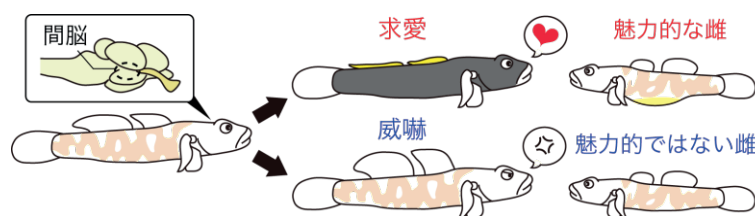


図1 本研究の目的
(モデル図)

2. 研究方法

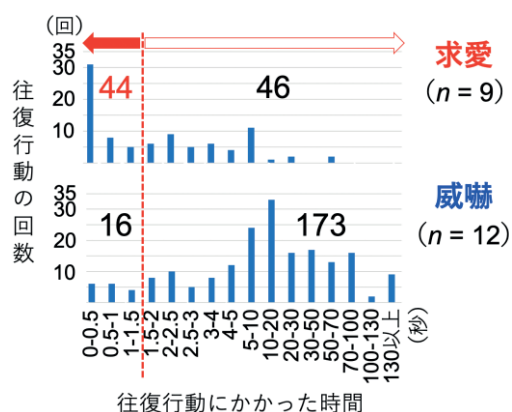
繁殖期のヨシノボリの雄を30 cm水槽の中で営巣させ、雌一匹を投入した際に雄が示す行動を上方と前方から30分間ビデオ撮影した。雌が雄に追従して巣に入った場合、雄が求愛行動を示したとみなし、この行動が見られなかった場合、雄が威嚇行動を示したとみなした。雌は二群

に分け、繁殖期に十分餌を与える群と 1 匹あたりの摂餌量を半分に減らした群とした。各雌は雄に提示して行動を観察した後写真撮影し、外見の変化を経時的に記録した。

ヨシノボリの脳を 30 μm の厚さでスライスし、Nissl 染色によって細胞構築を観察した。また、脳内因子の mRNA の分布解析には、DIG ラベルした cRNA プロブと NBT/BCIP による *in situ* ハイブリダイゼーション法を用い、ニュートラルレッドで対比染色を行った。免疫染色には DAB を用い、Nissl 染色で対比染色を行った。

3. 研究成果

営巣中の雄が雌の傍を離れてから再び傍に戻ってくる往復行動に要した時間と回数を測定した。その結果、求愛中の雄群では威嚇中の雄群に比べて、1.5 秒以内に雌の傍に戻ってくる行動に有意に偏った (図 2, カイ二乗検定)。そこで、1 個体ずつ 30 分間に 1.5 秒以内の往復行動を示した回数を集計した。その結果、個体レベルにおいても求愛中の雄の方が、1.5 秒以内の往復行動を行う回数が有意に多かった (図 3)。威嚇中の雄は、巣に近づく侵入者に警戒しても、時間が経つと傍を離れて巣に戻る。一方、求愛中の雄は、雌を巣に誘うために巣に向かうが、雌が追従していなければすぐ雌の傍に戻り、雌の気を惹く動作を継続する。このことから、1.5 秒以内の往復行動の多さは、雄の求愛に対する熱心さの指標としても有用であると考えられた。



体色の明るさが雄の求愛行動を惹起する可能性は高いと考えられる。また、ヨシノボリの雄は視覚刺激に応じて雌のコンディションを判断し、求愛と威嚇の行動選択を実行していると考えられた。ハゼ目魚類では、視覚情報が入力する終脳領域が複雑に区画化されており (Kawaguchi et al., 2019)、網膜、中脳視蓋、間脳、終脳と続く視覚路の神経核それぞれにトポグラフィックマップがあることが報告されている (Hagio et al., 2021)。このため、ヨシノボリでも視覚情報処理に関わる脳構造が非常に発達していると考えられる。

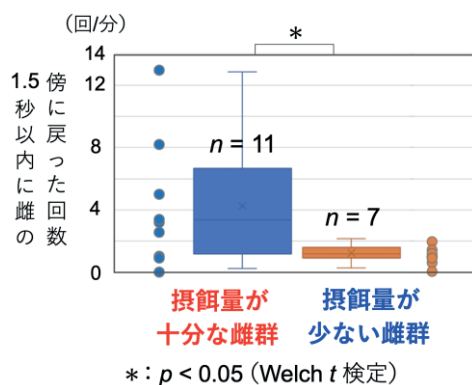


図4 雌の摂餌量による雄の往復行動の比較

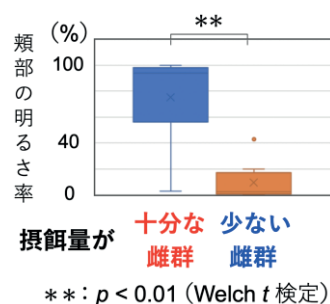


図5 雌の摂餌量による体色の比較

間脳は終脳と中脳・後脳の間の中継核であり、情報交通のハブとして機能している。間脳には腹側視床・背側視床・手綱核・視蓋前域などが含まれており、腹側視床と背側視床は *arx* 遺伝子の発現の有無で区別されている。ヨシノボリでも *arx* 陽性の腹側視床に相当する神経核 (VM) が同定された。VM の腹外側部 (VMvl) には TH 免疫陽性のモノアミン作動性ニューロンが分布しており、A13 ドーパミン作動性細胞群を含む不確帯 (ZI) に相当する領域であると考えられた。また、VM の背外側部で背側視床に接する領域 (VMdl) には *arx/dlx2/vglut2* 陽性の興奮性細胞群が分布しており、外側膝状体腹側部 (vLGN) に相当すると考えられた。ZI は獲物に関連した多くの感覚信号を統合し、強い食欲的動機付けに基づいた狩猟行動の惹起に関与する (Zhao et al., 2019) 一方、ZI 吻側部にある GABA ニューロンは防衛行動に関与する (Chou et al., 2018)。vLGN は視覚的な脅威に対してフリージングと逃亡のどちらの行動を選択するかを調節する (Salay & Huberman, 2021)。このように、感覚情報の入力に応じた適切な行動選択に関わる ZI や vLGN に相同と思われる神経核が、ヨシノボリの間脳において同定された (図 6)。

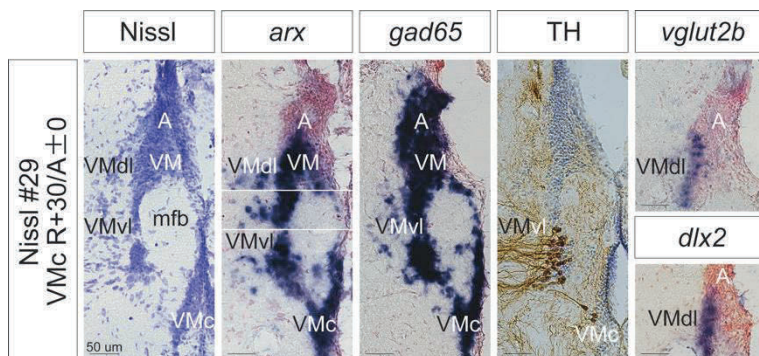


図6 ヨシノボリ間脳の組織染色の結果

arx, *gad65*, *vglut2b*, *dlx2*

青 : mRNA の分布

赤 : 対比染色

TH 茶 : タンパク質の分布

青 : 対比染色

以上の解析から、摂餌量が不十分なヨシノボリの雌は雄からあまり熱心に求愛されないため、繁殖競争にとって不利に働くことが示唆された（図 7）。また、ヨシノボリの雄は雌の体色の明るさという視覚情報に基づいて相手のコンディションの良さを判別し、相手に求愛するか威嚇するかの行動選択を実行していると考えられた。加えて、哺乳類において感覚入力に伴う適切な行動選択の実行に関与する間脳領域（ZI や vLGN）の相同領域と思われる神経核を、ヨシノボリの間脳に見いだすことができた。今後、異性の栄養状態に基づく行動選択を実行する脳の働きを明らかにする上で、単純な構造の脳を持つ魚類は優れた実験モデルになることが期待される。

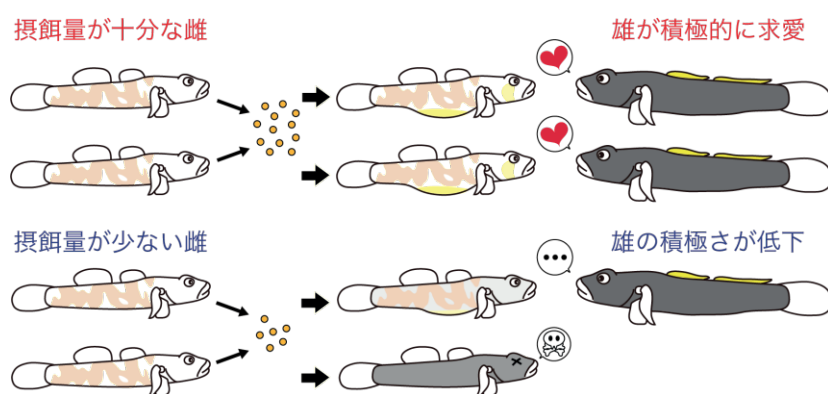


図 7 雌の摂餌量による雄の反応のまとめ

4. 今後の展望

今回の研究から、栄養状態の整っていない女性は、異性からあまり魅力的に見られない可能性が示唆された。近年、妊娠後に栄養状態や体重管理を始めるのでは遅いと指摘されており、妊娠前からの健康管理（プレコンセプションケア）の重要性が注目されつつある（渡邊・川村, 2022）。特に、まだ妊娠を意識していない若年層に対する食教育の一環として、高校生向けのプレコンセプションケアに関する講義が一定の成果を挙げている（古川ら, 2021）。今回の研究成果は、若年女性に対して自身の食習慣を見直し、十分な栄養摂取に意識を向けさせる食教育において、栄養学の分野の話題の一つとして参考になるかも知れない。

また、今回の研究では若年女性の痩せに注目したが、最近では男子高校生の痩せも増加傾向にあり（文部科学省, 2021）、エネルギー摂取量が不十分な若年日本人男性の増加が問題視されている。マウスやメダカなどのモデル動物を用いた実験から、慢性的にエネルギー摂取量が不十分な雄では、生殖に対する意欲が低下することが報告されている（Inaba et al., 2016; Hasebe et al., 2016）。近年の日本人男性には、恋愛にあまり積極的でない「草食男子」が増加しているが（森岡, 2011）、こうした行動変容の背景には食生活の変化が影響しているのかも知れない。今後、食生活のどのような変化が男性の生殖意欲の低下を引き起こすのかを明らかにするため、ヨシノボリの雄の摂餌量や餌に含まれる栄養成分に対する介入実験を展開していく予定である。

5. 参考文献

1. Barker D.J.P., Osmond C. (1986) Infant mortality, Childhood nutrition and Ischaemic heart disease in England and Wales. *Epidemiology* **327**, 1077-1081
2. Chou X.L. et al. (2018) Inhibitory gain modulation of defense behaviors by zona incerta. *Nature Communications* **9**, 1151
3. Hagio H. et al. (2021) Afferent and efferent connections of the nucleus prethalamicus in the yellowfin goby *Acanthogobius flavimanus*. *Journal of Comparative Neurology* **529**, 87-110
4. Hasebe M. et al. (2016) Female-specific glucose sensitivity of GnRH1 neurons leads to sexually dimorphic inhibition of reproduction in medaka. *Endocrinology* **157**, 4318-4329
5. Inaba A. et al. (2016) Neuropeptide Y signaling in the dorsal raphe nucleus inhibits male sexual behavior in mice. *Neuroscience* **320**, 140-148
6. Kawaguchi M. et al. (2019) Atlas of the telencephalon based on cytoarchitecture, neurochemical markers, and gene expressions in *Rhinogobius flumineus* [Mizuno, 1960]. *Journal of Comparative Neurology* **527**, 874-900
7. Salay L.D., Huberman A.D. (2021) Divergent outputs of the ventral lateral geniculate nucleus mediate visually evoked defensive behaviors. *Cell Reports* **37**, 109792
8. Zhao Z.D. et al. (2019) Zona incerta GABAergic neurons integrate prey-related sensory signals and induce an appetitive drive to promote hunting. *Nature Neuroscience* **22**, 921-932
9. 川那部浩哉, 水野信彦 (1989) 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚 (山と溪谷社)
10. 國本あゆみ 他 (2017) 大学生男女の BMI と体型不満-シルエットを用いたボディーイメージの相違-. 日健教誌 **25**, 74-84
11. 厚生労働省 (2020) 令和元年 国民健康・栄養調査の結果の概要.
12. 谷内洋子, 曾根博仁 (2013) 健常妊婦における栄養と妊娠経過に関する中間解析. 栄養学雑誌 **71**, 242-252
13. 古川洋子 他 (2021) 高校生に向けてのプレコンセプションケア実践とその評価. 人間看護研究 **19**, 1-9
14. 森岡正博 (2021) 「草食系男子」の現象学的考察. *The Review of Life Studies* **1**, 13-28
15. 文部科学省 (2021) 令和2年度 学校保健統計調査の公表について.
16. 渡邊香織, 川村千恵子 (2022) 就労女性のプレコンセプションケアの現状と栄養摂取状態との関連性. 日本母性看護学会誌 **23**, 17-24

研究題目	富山県域のメソスケール降水現象の高度データ解析
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・助教・太田 守
分野	電波科学, 統計的機械学習
キーワード	降水現象, 粒径-落下速度分布, 潜在ディリクレ配分法

1. 研究の背景と目的

近年, 気象災害は年々その頻度と規模が増加しており, 人的被害が深刻な社会問題となっている. 降水解析は防災を目的とした高精度な気象予報のために重要である. 電磁波によるリモートセンシングは, 広い空間の物理量を推定する有効な手段の一つであるが, 電磁波散乱特性が降水粒子種によって大きく異なることが高精度な降水強度推定の妨げになっている. このために, 気象観測データから降水種を自動判別し, 降水種ごとの電磁波散乱特性を活用した降水強度推定が望まれる. 本研究では, 地上で得られる降水粒子の粒径-落下速度分布 (PSVD) の観測データに潜在的ディリクレ配分法 (LDA) を適用し降水種ごとの物理諸量の定量化を行った.

2. 研究方法

本研究では, 気象観測機器として富山高等専門学校本郷キャンパスの屋上に設置してある Parsivel を使用した. Parsivel は図 1 に示すように降水粒子粒径と落下速度をレーザー光により測定する. また, Parsivel の諸元は表 1 の通りである.

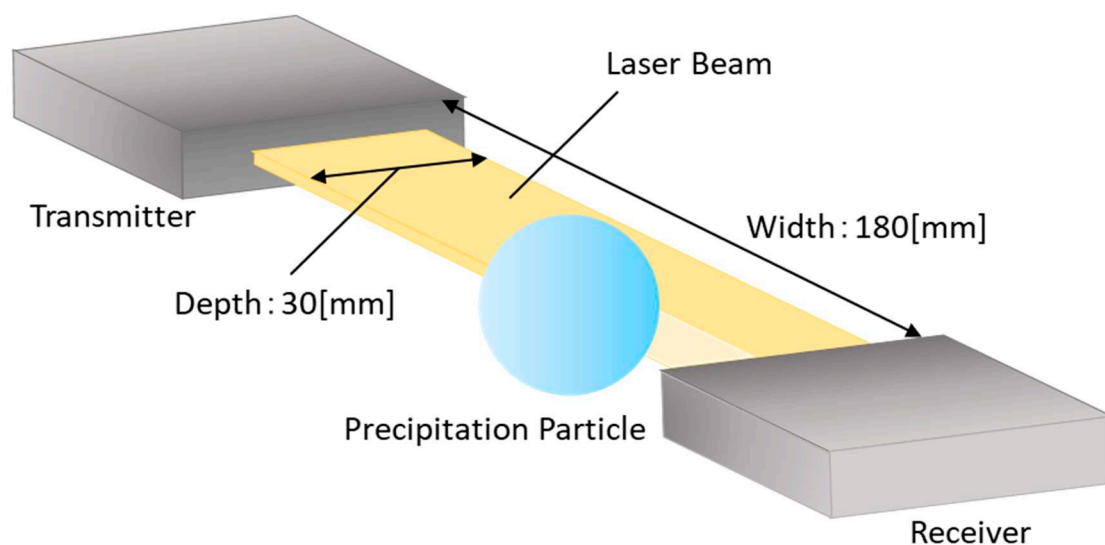


図1 Parsivel の観測原理

表1 Parsivel の諸元

パラメータ	
最小粒径分解能[mm]	0.125
最小速度分解能[m/s]	0.100
測定間隔[sec]	60
波長[nm]	780
測定面積[cm ²]	54.0

図2はParsivelにより得られた粒径-落下速度分布(PSVD)である。横軸が粒径、縦軸が落下速度を表している。色の違いは粒子数を示しており、赤や黄色の領域ほど粒子数が多いことを意味する。粒径が小さい場合、落下速度も遅い傾向にある。雨粒などは粒径が大きくなるにつれて落下速度も速くなる。粒径が大きいが落下速度が遅い降雪粒子も存在する。これらの情報を活用することで、降水粒子の特性を詳細に分析し、降水種の分類が可能になる。

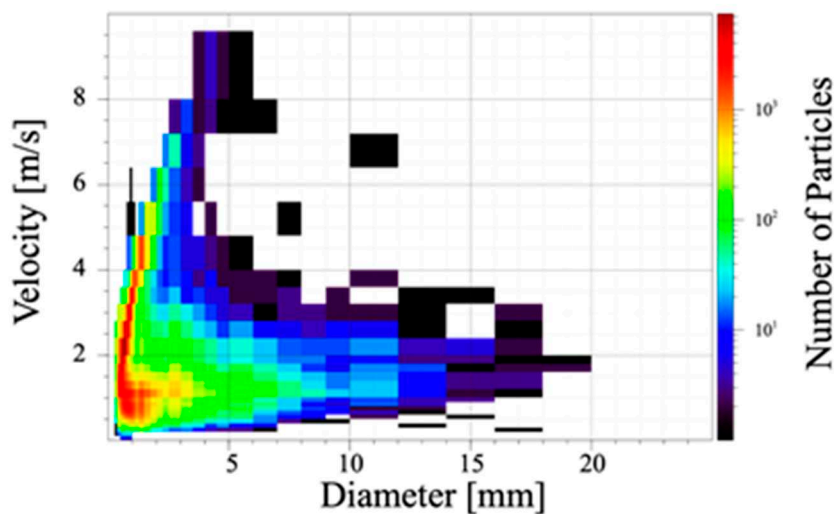


図2 降水粒子の粒径-落下速度分布

図3はドップラーレーダで観測されたドップラースペクトルから降水種を自動判別する人工知能を用いた従来システムである。このシステムではオートエンコーダで特徴を抽出しその特徴ベクトルをニューラルネットワークで分類することで降水種の確率を推定する仕組みになっている。これは地上の降水種を判別するように学習されたもので上空の降水種分布を判定するものではないため改善の余地がある。本研究では地上の降水粒子のPSVDをLDAを用いて解析する。

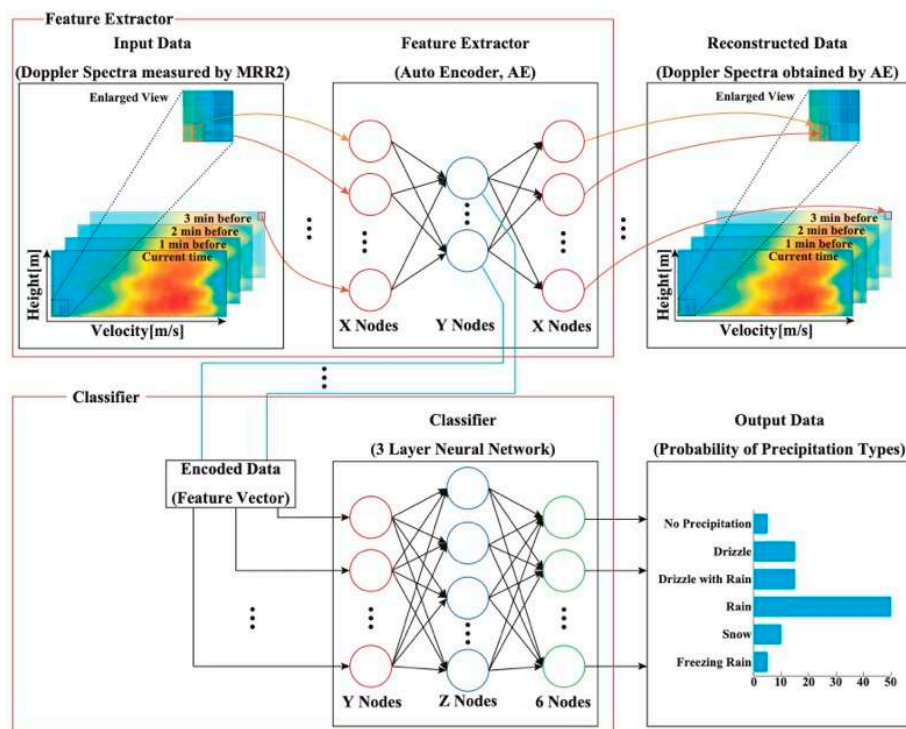


図3 従来の地上での降水種判別システム

潜在ディリクレ配分法 (LDA) とは、文書データのクラスタリングに用いられる確率的推論手法の一つである。文書は単語の出現数によって特徴づけられ、それぞれの単語に対してトピックが割り当てられる。すなわち各文書データを複数のトピックに自動分類することが可能である。本研究では、LDA を、PSVD を推定するために使用する。文書データを1分間の観測 PSVD として、単語とトピックはそれぞれ PSVD の各ビンと降水種に対応している。LDA のマルチトピックの特性から複数の降水種が混在しているデータの自動分類も可能である。さらに、LDA は、特異モデルであるが、学習理論において重要なパラメータである実対数閾値と多重度が解明されている[1]。このため恣意的なアプローチに頼ることなく特異ベイズ情報量基準(sBIC) [2]を用いて降水種の総数をデータから客観的に自動決定することができる。sBIC とはモデル選択に必要な周辺尤度を近似したものを指す。周辺尤度とはある仮定のもとで観測データはどの程度の確率で得られているのか、その確率のことを言う。LDA によるクラスタリングによって降水種ごとのレーダ反射因子と降水強度の関係 (Z-R 関係) を推定することができる。

3. 研究成果

2024 年 1 月 12 日から 2024 年 1 月 13 日に Parsivel で観測されたデータを LDA により解析した。図 2 は当該時間帯の PSVD であり、総粒子数は 416,453 個であった。また降水強度の時系列プロット、またそれに対応する Parsivel が出力した地上観測におけるウェザーコードを出力した (図 4, 図 5)。ウェザーコードは赤色が雨、黄色が雪のコードである。横軸が時間を表して

いる。縦軸は赤色のレインコードの場合、0で降水なし、1で雨、2で霧雨、-1で雨雪を表している。また黄色のスノーコードの場合、0で降雪なし、1で雪、2であられ、-1で雨雪を表している。なお、ウェザーコードの推定アルゴリズムは非公開となっている。図5のウェザーコードを見ると雨が降り続いていることがわかる。また図6のウェザーコードを見ると丸の付いている時間帯でレインコードとスノーコードが混在している。この日は雪と雨が降っていたことがわかる。

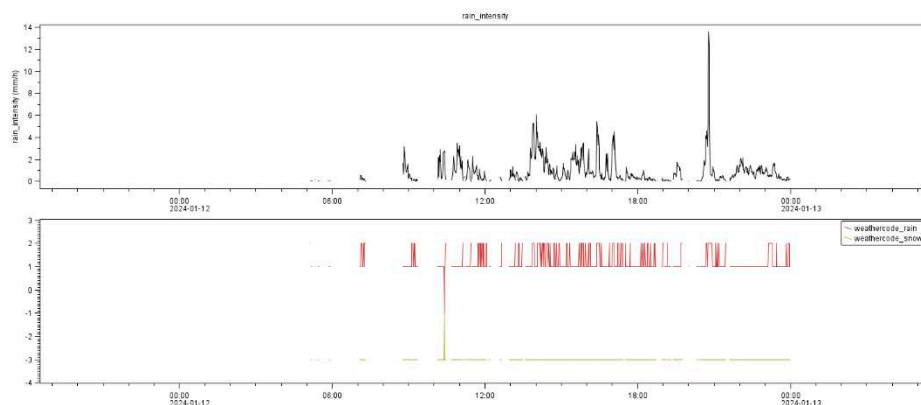


図4 降水強度，雨雪の時系列プロット（2024/01/12~01/13）

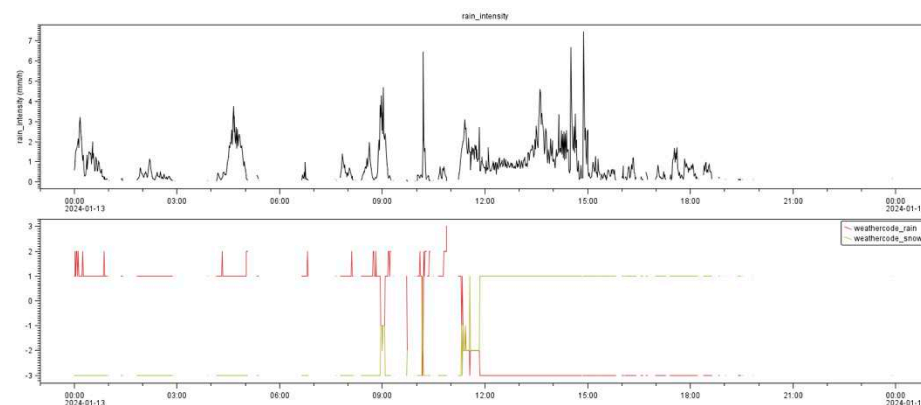


図5 降水強度，雨雪の時系列プロット（2024/01/13~01/14）

sBIC を用いてクラスターの最適数を決定できる。図6は横軸をトピック数(降水種数)，縦軸をsBICにとったグラフである。これをみるとsBICが最大となる最適なクラスター数が2であることがわかる。

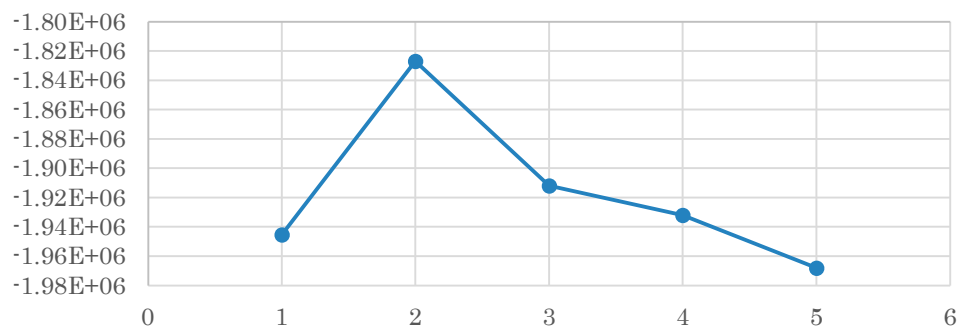


図6 LDAの特異ベイズ情報量基準(sBIC)

図7と図8はsBICより導出した、最適なクラスタ数である2とした場合のLDAによるPSVDの解析結果を示す。この観測期間では雨滴と雪片が降っていたことがわかっているため雨のクラスタ、雪のクラスタに分かれたものと考えられる。

図7のクラスタ1は落下速度が速く、粒径が小さいため雨であることがわかる。また図8のクラスタ2は落下速度が遅く、粒径が大きいため雪であることがわかる。

Particle Size-Velocity Distribution

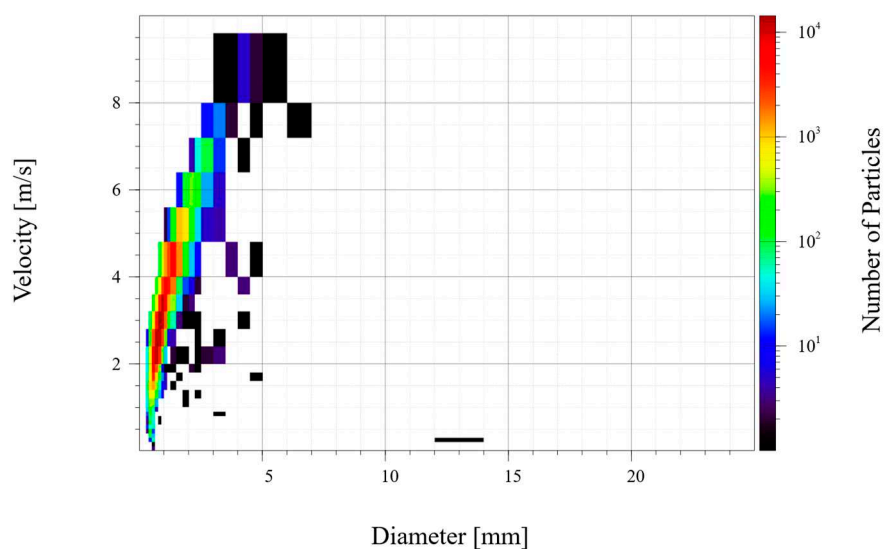


図7 推定されたPSVD (クラスタ1:雨)

Particle Size-Velocity Distribution

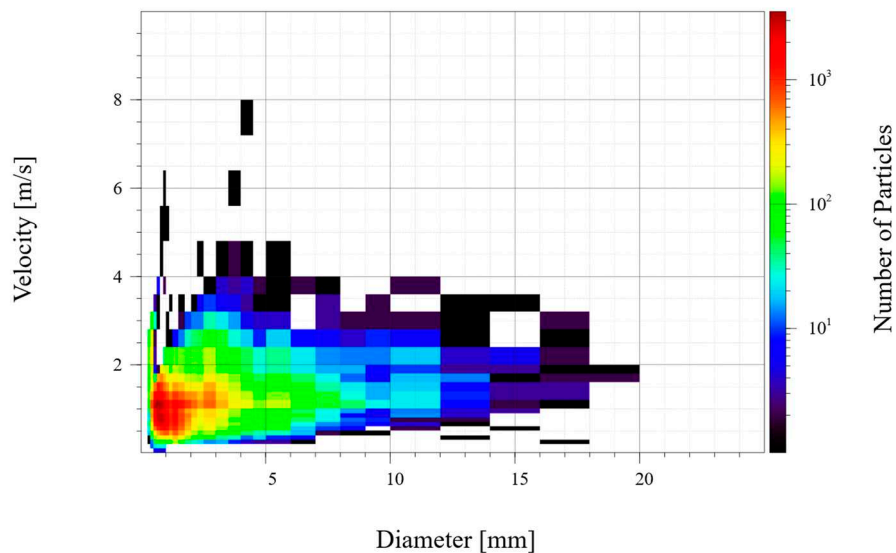


図 8 推定された PSVD (クラスタ 2 : 雪)

図 9 は先ほどの 2 つの降水種の PSVD から算出された降水種ごとの速度分布の特徴を示している。横軸が速度、縦軸がドップラースペクトルを示している。ピークが高速域に集中している青色の折れ線グラフはクラスタ 1 である雨のドップラースペクトル、ピークが低速域に集中している緑色の折れ線グラフはクラスタ 2 である雪のドップラースペクトルを表している。このグラフから降水種ごとに異なる落下速度分布を持つことが確認できる。上空の高度ごとのドップラースペクトルが得られるドップラーレーダと組み合わせることで降水種の識別や降水強度の高精度な推定が可能となる。

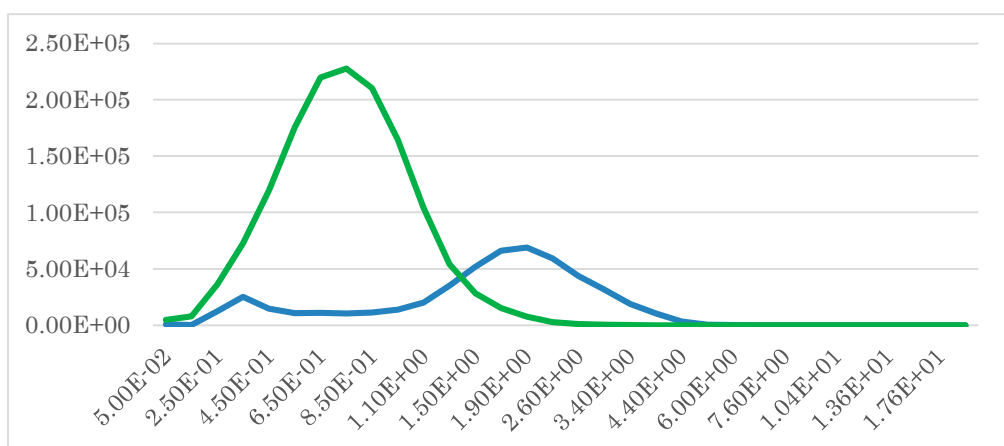


図 9 各降水種の PSVD から算出したドップラースペクトル

4. 今後の展望

今後の課題はドップラーレーダの観測データを用いた上空の降水空間分布の推定と全期間の降水データへの LDA の適用である.

5. 参考文献

- [1] Hayashi, N., (2021). The exact asymptotic form of Bayesian generalization error in latent Dirichlet allocation, *Neural Networks*, 137, 127-137.
- [2] Drton, M., & Plummer, M., (2017). A Bayesian information criterion for singular models, *J. R. Statist. Soc. B*, 79(2), 1-38.

研究題目	富山における舞台芸術の地域性に関する研究
機関名	現 宇都宮大学 元 富山高等専門学校
研究代表者	共同教育学部・助教・久保陽子
分野	日本近現代文学
キーワード	演劇・地域・鈴木忠志・タニノクロウ

1. 研究の背景と目的

本研究は、富山という地域性を活かして活動している劇団やプロジェクトを対象として、その活動の特質を明らかにすることを目的とする。

近年、地方演劇祭の開催をはじめ地方から演劇文化を発信する新たな試みがある。その一例として富山市出身の劇作家タニノクロウは、オーバード・ホールとタッグを組み、地域密接型の数々の試みを展開している。また、演劇を地方へと展開した先駆けとして、これまでの都市一極集中型の演劇に異を唱え利賀村を拠点に活動する鈴木忠志が主宰する SCOT がある。富山から全国へ、あるいは世界へと発信しているこれらの演劇人の活動について、その活動を整理したうえで、富山という場が、いかなる創造を促しているのか、物語においていかに機能しているのかを創作方法と作品分析を通して明らかにする。これにより地域から演劇を発信することの意義を探り、また地元における演劇の＜公共性＞について考える一助とする。

2. 研究成果

2-1. タニノクロウのローカルの試みとグローバルへの展開¹

富山市出身の劇作家・演出家のタニノクロウは、ローカルとグローバルで活躍する演劇人である。彼が主宰する劇団庭劇団ペニノの初海外公演となった台湾公演を皮切りに世界各国の演劇祭に招聘され、2021 年からはフランスのジュヌビリエ劇場のアソシエイト・アーティストでもある。他方、富山市にある劇場オーバード・ホールでは地元を巻き込んだ地域密着型の公演も精力的に行い、2022 年からは富山市政策参与として演劇人の視点から地元を盛り上げる。

国内外で活躍するタニノとオーバード・ホールがタッグを組んだ「タニノクロウ×オール富山」は、地元の人を対象にスタッフやキャストをオーディションで募り、地元の飲食店等とコラボレーションを行うなど地元を巻き込む試みである。「オール富山」は、2019 年「ダークマスター 2019 TOYAMA」（2003 年、下北沢駅前劇場初演）、2020 年「笑顔の砦 '20 帰郷」（2007 年、下北沢駅前劇場初演）、2024 年「ニューマドンナ」（オーバード・ホール初演）と既に三作品を数えている。富山を舞台に書き下ろされた新作「ニューマドンナ」では、物語の背景におかれた雪が、登場人物の行動を決定づける重要な要素であるとともに、立山が降らす雪が恵となる一方で災害

ともなり得るように、「破滅」と「浄化」へと導くものとなっていることを既に指摘した²。対して、既発表作品の再創造（＝リクリエーション）である「オール富山」の第一弾「ダークマスター」が、地元を舞台にいかに改変され、それを地元の観客がいかに受容したのかを、地元新聞での劇評や関連企画として開催されたレビュー講座の参加者の劇評から調査を行った。

「ダークマスター」は、とある定食屋に入った若者が、マスターに代わり小型イヤホンから聞こえる店のマスターの指示で料理を作り、店を繁盛させていくという筋で、狩撫麻礼の短編漫画を原作として創作された³。2003年に下北沢駅前劇場で初演されて以降、国内外で上演を重ねている。リクリエーションという作業によって書き加えられてきたのは、変わりゆくあるいは失われつつあるローカルの風景である。2016年の大阪公演では、舞台をあべのハルカスが建設され再開された大阪阿倍野に移し、新たに中国人の再開発業者を登場させた⁴。そして2019年には、富山市中心部の定食屋を舞台に書き換え、衰退する商店街で奮闘するマスターの姿を描いた「ダークマスター 2019 TOYAMA」が上演された。ちなみに地元富山の商店街を取材して書かれた山内マリコの小説『メガネと放蕩娘』（文藝春秋、2017年）は、さびれた商店街の復興に奮闘する姉妹たちの物語であり、ともに衰退する地元の商店街の姿を作品に描きこんでいる。

演劇のリクリエーションに際して、富山在住・出身であることを条件としてオーディションでキャストを募り、公募スタッフが美術制作を行い、舞台とコラボレーションした実際の店舗では物語の中のメニューとして登場する「立山ライス」が提供された。こうした試みは、潜在的な観客にアプローチし演劇の間口を広げる試みであると同時に、ローカルのリアルな姿を追求するものである。美術スタッフが製作した精緻な美術も、舞台上実際に音や匂いを立てて作られる料理も、富山市街でコーヒー屋を営む六渡達郎氏が演じるマスターも⁵、地元の人には聞き馴染みのある交差点の信号音やライトレールの走行音も⁶、そして富山ゆかりのキャストが話す富山弁も、ローカルのリアルの創出に寄与するものである。しかしながら「リアル」さはかえって地元の現実を知っている観客に違和感をもたらしめている。

定食屋を繁盛させることで、まちなかに再びにぎわいを取り戻そうと執念を燃やすマスター。あくまで物語を進めていく上での設定にすぎないのだろうが、果たしてそんな気概のある店主が、シャッター通りと化した富山の中心商店街に実在するのだろうか。現実を知る地元民として、そこにリアルさが感じられなかった時、夢から覚めた気がした。⁷

リアルの追求は現実社会と舞台を限りなく接近させるようであり、その一方でリアルを追求すればするほど、逆にリアルとの差異が浮き彫りになる。舞台の違和感はたちまちフィクションに転じる。現実の記憶と再現された舞台、このあわいに起こる科学反応を引き出しながら、変わりゆくローカルの風景を寂れゆく商店街という問題を絡め取りながら表出した。

他方、本作ではもう一つのリアル、テクノロジーを介在した身体のリアルへの追求がある。観客はイヤホンを装着し実際に俳優が演じるマスターの声を、若者さながらに聞くという仕掛けである。マスターから指令を受け、しかしながら自らは行動しない観客という集団を代表して、

俳優がマスターの指令を遂行する。俳優はマスターと観客とを二重に代行する身体となり、三位一体の劇空間が創出する。イヤホンから聞こえるマスターの声によって、舞台の出来事は観客の出来事にもなる。〈いま・ここ〉にいるリアルな身体感覚が、現実と虚構を結びつける。

この身体のリアルを深化させたのが、タニノの新作「Maître obscur」（2024年9月19日～10月7日まで、国立演劇センタージュヌビリエ劇場（T2G））で、本作はフランス語で上演され現地の俳優・スタッフとの「2年間にわたる濃密なコラボレーションを経て」⁸公開された。本作にオブザーバーとして関わり、また「タニノクロウ×オール富山」のプロジェクトを企画・運営するオーバード・ホールの福岡美奈子氏によると「当初『ダークマスター』のリメイクを想定していたが、長い創作期間を持ったことで、新作を書き上げるに至った」⁹という。

『Maître Obscur』は『ダークマスター』のテーマを根底に持ちながら、近年大きく進化したAIとその進化が社会に与える影響を踏まえ、近未来的な視点から人間の存在を探究する作品として創作されることとなった。舞台となるのはAIが管理する施設で、犯罪歴や精神的疾患のある参加者（俳優）が人間らしいコミュニケーションを学ぶ様子が描かれる。施設管理者は声とモニターで参加者に指示を出し、同時にヘッドホンを装着した観客一人ひとりに直接声が届く。¹⁰

ともに狩撫麻礼の漫画からインスピレーションを受けているものの、「ダークマスター」から「Maître obscur」へといかに作品が換骨奪胎され、ローカルからグローバルへと展開されるのかを現地で実際に観劇し、調査を行った¹¹。本作は、生成AIの登場以降、人間とAIとの境界がますます曖昧になっていく中で、リアルとは何かを突きつける。部屋の天井に吊るされたモニターは家の中を監視するだけでなく、時折別の映像を映し出す。現実のダンスシーンと連動し、ダンスの映像が映し出され、鳥たちが囀り朝を告げる映像は、この家に掛けられた鳩時計とリンクしている。しかし、現実では男が一人できこちないダンスを踊るのに対し、モニターではペアでダンスを優雅に披露する幸せそうな老夫婦が映し出され、現実と映像はずれている。モニターでは鳥たちが心地よく囀り機敏に動いているのに対し、現実の鳩時計は何ともチープで単調だ。映像の方がはるかにリアルで、理想を実現している。

このようにテクノロジーが隆盛する社会における「リアル」の揺らぎをみせながら、一方で、AIには代行できない観客の原始的な感覚や知覚に大いに訴えかけるものでもあった。暗闇の客席で、観客はイヤホンの音に集中する。声は、観客に聴覚の情報を頼りにイメージすることを要請する。観客は想像力のたくましさを認識すると同時に、音のみでは聞き分けられない微妙な差（水か湯か）を提示されることで、認知力の危うさも知らしめられる。このマスターと観客との想像力の綱引きは、そのまま舞台でも展開していく。イヤホンから聞こえるコツコツと響く足音から想像する人物とは異なり、幕が開き部屋に入ってくるのはスニーカーを履いた地味な女性である。このように、本作では想像力あるいは認知の誤謬が絶えず演出されている。

演劇は俳優の演技をきっかけにした観客イリュージョンで成立するものであり、そうした観

客の想像力を巧みに操作しながら、この想像力の綱引きとそのズレによって示されるのは、私のリアルな感覚の不確かさである。「ダークマスター」の富山版が、地元の商店街の風景を描き込み、原作にはなかった衰退する商店街で奮闘するマスターの物語へと改訂され、ローカルのリアリティを写し取ったのに対し、「Maitre obscur」では、原作からテクノロジーの部分を発展させ、「私」の存在や身体の不確実性を問う一方で、AI には代行できない観客の原始的な感覚や知覚に大いに訴えかける普遍的な演劇作品として転生させている。社会の局所を精密にリアルに描き取り社会が直面する問題を掬い上げることと、テクノロジーが介入する身体のリアルな感覚を追求すること、一見すると関心のベクトルが異なる 2 つであるが、そこにはタニノの「リアル」への追求が共通してみられる。

2-2. 鈴木忠志の日本／人論の変遷

1960 年代のアングラ演劇の旗手の一人である鈴木忠志は、早稲田小劇場の演出家として出発し、国内外に活動の場を広げていく中で、利賀に拠点を移し前代未聞の演劇活動を開始したのは 1976 年である。鈴木作品において利賀という場が創作に与えた影響を探るために、鈴木が追求し続けている日本／人論に着目した。1991 年に利賀野外劇場で初演されて以降、繰り返し上演されている SCOT の代名詞ともいえる「世界の果てからこんにちは」と、利賀以前の初期の代表作「劇的なものをめぐって・Ⅱ」（1969 年初演、早稲田小劇場）には、ともに作中に岡潔のエッセイ「日本人のこころ」『太陽』（1969 年 1 月）が引用される。しかしながらこれら 2 作品において、岡のエッセイが置かれる文脈は異なっている。このことを起点に作品における日本／人論の描出のされ方に着目し、利賀以前と以降の変化を明らかにすべく、まずは「劇的なものをめぐって・Ⅱ」のテキスト分析を行った¹²。

本作は、俳優の身体を舞台に現前させることで人間の存在や演劇そのものを問うた作品として、これまで様々に言及、論究がなされてきた¹³。鈴木は「むしろ作家の言葉のほうがこの俳優のために必然的に用意されていたと思われるほどに逆転するところが演技」¹⁴とし、戯曲に従属する俳優ではなく、俳優の身体の実在性を戯曲によって支えるという逆転を図り、語られる台詞を従来の文脈からずらすことで異化し、戯曲の意味を変更する。そのため、用いられた戯曲の言葉はあくまでも「劇的なもの」を現出させるために「偶然」に寄せ集められた布石にしか過ぎないとされ、見過ごされてきた¹⁵。しかしながら、本作は身体を中心においた演劇論を扱った作品である一方で、鈴木が述べるように「日本人の情動的心性」をテーマとし¹⁶、台本の解説には「情念」の語も使用され、それらを舞台に現出させることが企図されている。

日本人の「情念」を現出させるのに用いられている先行テキストは、鶴屋南北の「桜姫東文章」＜岩淵庵室の場＞、「隅田川桜御所染」＜妙亀庵の場＞、「阿国御前化粧鏡」＜元興寺の場＞、泉鏡花「湯島の境内」、「化銀杏」である。先行テキストの構造を分析した渡辺保は一連のテキストの道筋が「さまざまな設定を生きながら、人間の恋の執着の恨みを一つの形として描いている」こと、また清玄と清玄尼殺し、お蔦とお貞の別れが「対照」をなしていると指摘する。しかしながら「細密な構成はいわばこの舞台の隠された設計図であって、その設計図の上に建てられた建

築こそが鈴木忠志の目指したもう一つの物語」とし、「そういう分析よりもそこに生きている人間の情熱の激しさが問題なのである」と、テキストの意味や構成を土台として屹立する「情熱の激しさ」を持つ俳優の实在こそが重要だと述べる¹⁷。

しかしながら「情念」というテーマを考える上で、これらのテキストの言葉や構造が作品に及ぼす影響は少なくない。南北作品の引用を見ると、白石が演じる清玄（「桜姫東文章」）と清玄尼（「隅田川桜御所染」）はともに「清玄」と作中で呼ばれるものの、別のテキストの登場人物で別の物語を背景に持っている。清玄や桜姫という呼称から物語のつながりを求めれば、そこに筋の一貫性が見いだせないため、観客は混乱する。そもそも「男前の衣装を着た白石加代子が登場する」（ト書き）という男の清玄と、出刃包丁を研ぐという演出によって「女の怨念」（解説）を印象付けられた清玄尼では性別も異なる。しかしながらこれらの戯曲の言葉から浮かび上がるのは、白石が演じる清玄／尼は、僧や尼になっても恋の未練を断ち切れず、破戒と道理ではわかっていながらも、熾烈な恋情をほとばしらせる登場人物である。

むろんこれらはもとの戯曲の文脈では演じられない。それは泉鏡花の「湯島の境内」が引用された場面で顕著であり、ここではお蔭を演じるだけでなく、お蔭に感情移入し物語世界に没入していく白石＝長屋の狂女の姿も現出する仕掛けになっている。お蔭は別れを切り出され、「男に憧れて死んで見せるわ」と命を捨てようとするも、動揺しながらも気丈に振る舞い「肯分けて」いくが、耐え忍ぶお蔭の「情念」と、そのお蔭に感情移入していく白石の演技への陶醉が重ね合わされる。この場面では三本の鎖が白石の手首にはめられ、早瀬を追おうとすると鎖が張り詰め、「あきらめられない」という台詞とともに鎖が床にたたきつけられることで、運命に拘束されたお蔭の不自由さも視覚的にあらわされる。他方、原作では美しい月が印象的に場面を彩る「湯島の境内」から座敷牢へ変換され、「芝居狂ひ」（解説）の狂女が物理的にも心理的にも捕らわれていることが示唆される。原作にあっては男女2人の台詞のかけあい、白石の1人語りへと変更されたことにより、お蔭の烈情を内面に抱え込みながら、独自の内面世界に囲いこまれていく白石の、しかしながらその抑圧から噴出する内面の激しさが表現されているのである。

こうして先行テキストである戯曲の言葉は、演技をする白石というずらされた文脈との間で、耐え忍び、抑圧、拘束されながらもそこに熾烈な感情を内包させた身体を現出させ、「情念」のほとばしりを舞台に放出させる。しかしながら、白石の身体を中心に構成されていた舞台は、後半になると白石の相手役となる男性登場人物の存在が前景化されていく。その最たる場面が、白石＝清玄尼がこと切れた後に登場する「赤禪の男」が岡潔「日本人のころ」を語る9場である。マントに高下駄で軍帽姿の「赤禪の男」が「日本民族というものの、現世を越えた实在を信じている」と述べ、「神々の共通点は、天照大御神を主神と仰ぐことと、万世一系の皇族」として、日本の自然や歴史の美しさを褒めたたえる。これまでの先行テキストが命を賭した男女の恋の「情念」を描く場面であったのに対し、この場面は異質でいささか浮いているようにも思われる。むろん斎藤偕子がいう「白石が演じる女たちの情念の対極としてある男性たちの思想を表している」¹⁸のであろうし、渡辺がいう「女性の嫉妬が男性の国家への忠誠心と同位に比較され」¹⁹る「批評精神」をみることもできる。女の個人的な感情と男の国家的な思想は、ここでは妄執

という共通点で結び合わされる。先行テキストによって表出されてきた日本的な「情念」はここに来てその内実が変容し、そうした心性を潜在的に持つことの危うさをつきつけられる。

ここで語られる台詞は、それがいくら威厳を保ち立派に着飾った姿で登場したところでマントを脱げば「赤禪の男」のように、その台詞の滑稽さを示すものである。それは演出意図からも明らかで鈴木は「自立性の微弱な言葉や、現代では陳腐で、意味の希薄だと感じられる言葉は、おゝむねからだの言葉である。その言葉を補助線にして、俳優は今はじめて出現する、ある状態を生きること。つまり、具体性を附与する」（解説）と述べる。時代錯誤的な国粋主義者の言葉は、歴史的文脈から切り離された際、その意味は「陳腐」で「希薄」とし、発せられる言葉の意味が空転すればするほど身体の実在があらわになるというわけである。真面目に語れば語るほど身体を上滑りする滑稽さが演出されており、当然この言葉は、「原初的であるよりも狂信的な何かを表すパロディ」²⁰と受け止められるものであった。

岡のエッセイは、「其の一・染替再顔見世」（1971年初演、早稲田小劇場アトリエ）に登場し、利賀での初公演となった「宴の夜・一」（1976年、利賀山房）²¹や、そして現在「はてこん」の通称で長年上演され続け SCOT の代名詞的作品ともなった「世界の果てからこんにちは」にも取られ、鈴木が追求する日本人論の中軸になっている。荻部直は岡の「日本人のころ」に「意識されたアナクロニズム」をみる一方で、「しかし岡潔の言葉には、日本主義者の妄想として片づけてしまうには惜しいような迫力がある。鈴木は他面でそうとらえていたと思われる」と指摘している²²。実際に、戦前から戦後にかけての日本の歴史意識を批評的に扱った「世界の果てからこんにちは」では、「異化」ではなく「迫力」を持った言葉として、空襲をイメージさせる花火の演出を伴い「慄然」とさせるものへと変容していたことが渡辺の劇評からもうかがえる。

現代から見れば一種異様な国粋主義に見えるだろうが、この「日本の男」と言葉は、私たち戦前の教育を受けた人間には当たり前のことであって、楠父子の話などだれでも知っているものであった。それがいま、ここでこのように「日本の男」という形をとってあらわれることに私はあらためて慄然とした。その結果、日本は戦争に突入する。「海ゆかば」が歌われ、花火が戦争の砲火を表現して、周囲に襲いかかる。それでも「日本の男」はさらに過激な主張を繰り返す。それが観客に戦争をまざまざと体験させる。²³

このように「世界の果てからこんにちは」の岡の言葉は、もはやパロディとして笑うことのできない、その言葉通りに受け止めざるを得ないものへと変容している。女の「情念」と並置され、対照されることで、批評されていた岡の言葉は、戦前から戦後にかけて日本を統べる国家＝「日本の男」の妄信として笑うことのできない、リアリティを持つ言葉として響くものとなった。興味深いことに 1998 年の利賀フェスティバルでは「男の理屈」三部作と銘打たれ、「世界の果てからこんにちは」はその 1 つとして上演されている²⁴。早稲田小劇場という小空間で、女の「情念」を抱えた白石の身体のエネルギーが舞台空間に充満していた「劇的なものをめぐって・Ⅱ」とは異なり、日本の原風景の残る利賀において、野外劇場という自然の空間に突如あらわれる戦

争を想起させる花火の演出と相まって、岡の言葉は男の論理として戦後の日本の歴史意識を問うものへと変更された。他方、「劇的なものをめぐって・Ⅱ」で試みられた女の「情念」と戦争との関連については、「トロイアの女」（岩波ホール、1974年）や「からたち日記由来」（利賀山房、2014年）などに引き継がれていくことになる。

3. 今後の展望

富山と演劇を考える上で、本研究では富山という地域性と関わりが深い二人の演劇人に着目した。タニノ作品には、「故郷・富山県に。／宇奈月温泉と八尾の町に。／北陸新幹線の開業により消失した多くの生命に。」²⁵と明記された「地獄谷温泉無明ノ宿」（2015年初演、森下スタジオ・Cスタジオ初演）がある。今後は本作を通じてさらに富山という地域性の特質の描かれ方を明らかにしていきたい。また鈴木作品においては、利賀で生まれた作品である「世界の果てからこんにちは」について、野外劇場における自然の借景をはじめとした野外という空間から、作品について考えていきたい。

また本研究で扱えなかったものの、富山という地で演劇活動を行っている集団や富山出身の演劇人、富山ゆかりの作家²⁶、演劇作品における富山という表象など、富山と演劇との関わりは広範な広がりを見せる。本研究が富山と演劇をより多角的に捉える研究の一助となれば幸いである。

4. 注

1. タニノ作品については拙論「タニノクロウ「Maitre obscur」におけるリアルの追求―「ダークマスター」からの系譜」『群峰』10号（2025年4月）と内容の重複があることを断っておく。
2. 拙論「疲弊するマドンナたちの浄化と再生―タニノクロウ×オール富山 3rd『ニューマドンナ』」『群峰』第9号（2024年3月）
3. 2000年にコミックビームにて連載。原作・狩撫麻礼／作画・泉晴紀「ダークマスター」『ダークマスターオトナの漫画完全版』（KADOKAWA,2018年）参照。
4. 高野しのぶ・河合祥一郎「演劇時評」『悲劇喜劇』（2017年5月）参照。
5. 吉田真梨「スクエア六渡達郎さん 53歳「ダークマスター」主役のコーヒー屋店主」『朝日新聞』（朝刊、富山、2019年3月17日）
6. 関連企画として開催されたレビュー講座の参加者の劇評では、「記憶に深く刻まれた「音」が物語世界に「一体感」をもたらしたとある。R.O（富山県富山市）「知っていること」の功罪」オーバード・ホールHP、2019年4月25日「お知らせ」、「タニノクロウ×オール富山「ダークマスター 2019 TOYAMA」」レビューをご紹介します。」にて掲載。HALL <https://www.aubade.or.jp/topics/news/%E3%82%BF%E3%83%8B%E3%83%8E%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%82%A6%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%83%AB%E5%AF%8C%E5%B1%B1%E3%80%8C%E3%83%80%E3%83%BC%E3%82%AF%E3%83%9E%E3%82%B9%E3>

%82%BF%E3%83%BC-2019-toyama%E3%80%8D/（最終閲覧日 2025 年 6 月 26 日）

7. 注 6 に同じ。

8. Japan Foundation 国際交流基金の 2024 年 9 月 4 日の X のポスト。

9. 福岡美奈子「第 1 回報告書事業の立ち上げ」『令和 6 年度舞台芸術国際共同制作事業プロセスオブザーバー報告書』（独立行政法人国際交流基金（JF）、2025 年 3 月 27 日）

10. 注 9 に同じ。

11. 本作は 2025 年 2 月 21 日より国際交流基金舞台公演オンライン配信プロジェクト「STAGE BEYOND BORDERS」で配信されている。<https://www.youtube.com/watch?v=w0c266HEplk>（最終閲覧日 2025 年 6 月 26 日）

12. テキストの引用は「決定版台本劇的なものをめぐって・Ⅱ」『劇的なものをめぐって—鈴木忠志とその世界』（工作舎、1977 年）による。鈴木 of 解説の引用もここからである。

13. 『劇的なものをめぐって—鈴木忠志とその世界』（工作舎、1977 年）には、「資料『劇的なものをめぐって』をめぐって」として、一九七〇年から七五年までの国内外の劇評四五本が所収され、上演当時から反響の大きさを伺わせる。

14. 鈴木忠志『鈴木忠志演劇論集内角の和・Ⅰ』（自立書房、1973 年）pp.22-23

15. 例えば、大笹吉雄「意味を放射する肉体のよじれ」『演劇界』（1970 年 6 月）では「これら新劇や歌舞伎や新派と呼ばれる先行作品群」は「一人の女優の实在のために、いわば人身御供されるにすぎない」とある。引用は注 12 と同じ。

16. 鈴木忠志『『劇的なものをめぐって・Ⅱ』について』注 12 に同じ。

17. 渡辺保『演出家鈴木忠志その思想と作品』（岩波書店、2019 年）pp.33-34

18. 斎藤偕子「鈴木忠志決定版・台本「劇的なものをめぐって・Ⅱ」『20 世紀の戯曲—現代戯曲の展開』（社会評論社、2002 年）

19. 注 17 に同じ。p50。引用は「其の一・染替再顔見世」（1971 年初演、早稲田小劇場アトリエ）を論じた部分であるが、ここで用いられた岡「日本人のころ」と南北「阿国御前化粧鏡」が後に決定版台本における 9・10 場になっている。

20. 注 18 に同じ。

21. 森秀男「宴の夜」『現代演劇まるかじり 芝居小屋の 18 人』（晶文社 1983 年）←『新劇』（1976 年 11 月）に、岡潔「日本人のころ」の引用があったとある。

22. 荻部直「＜日本＞の果てまで連れてって—現代演劇と伝統一」『思想』（2024 年 8 月）

23. 注 17 に同じ。pp.181-182

24. 杉田欣次・向井嘉之『鈴木忠志と利賀村世界演劇の地平へ』（能登印刷出版部、2021 年）p152

25. タニノクロウ『地獄谷温泉無明ノ宿』（白水社、2016 年）

26. 拙論「劇評イキウメ『奇ッ怪小泉八雲から聞いた話』における怪との距離」『へるん倶楽部』第 22 号、（2024 年 12 月）

研究題目	ナノ振動子の高感度化に向けた原子レベルでの動的挙動 解明：表面・内部改質の影響評価
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・多田和広
分野	ナノ物理
キーワード	ナノ振動

1. 研究の背景と目的

ナノ振動子は、振動を介して、質量や力学的変位など様々な微小物理量を高感度に検出できることから NEMS (Nanoelectromechanical Systems) センサーの主要な要素として期待されている。その感度は、振動子自身の質量の軽量さと大きく関係するため、構造の微細化とナノマテリアルの利用が有効であることが示されている。また、振動子センサーの感度を示す Q 値は、振動子の表面改質やひずみ印加により向上することが報告されている。しかし、これらのアプローチを利用したナノ振動子の高感度化が実証されているものの、その背景にあるメカニズムの多くが未だ解明されていない。本課題は、申請者が開発に携わってきた加工プロセス・加工形状を厳密に再現できる荷電粒子ビームプロセスシミュレータを、ガス吸着およびイオンドープによる表面・内部改質プロセスへと拡張し、現実とほぼ同等の形状・原子配列を持つナノ振動子をモデル化することによって、ナノ振動子の振動特性に及ぼす、ビーム加工形状およびガス吸着・イオンドープによる表面・内部改質のそれぞれの影響とそれらが複合した影響について解析し、ナノ振動子の動的挙動のメカニズムを原子レベルから解明し、高感度化に向けた学理構築を目指すものである。

2. 研究方法

本研究では、ナノスケールにおける振動素子の高感度化を目指し、原子レベルの構造改質が振動特性に与える影響を解析することを目的とした。特に、表面終端の違いおよび周期的な表面形状の導入が、共振周波数やエネルギー損失特性にどのような変化を及ぼすのかについて検討を行った。計算手法としては、古典分子動力学シミュレーションを用いた。シリコン原子で構成されるナノ構造体に対し、計算シミュレーションの初期段階で構造緩和を実施し、次に外部からの変形を加え、最終的に自由振動させることで時間応答を記録した。得られた時間変位データは高速フーリエ変換により周波数スペクトルに変換し、共振周波数や Q 値、半値幅といった特性量を評価した。表面終端については、化学的に安定な元素による終端処理を施した構造と、別種の元素で終端処理した構造を比較対象とした。また、表面改質構造として、周期的な凹凸を導入したモデルを複数設計し、周期の数や形状、構造厚さなどをパラメータとして、振動応答の変化を詳細に追跡した。計算においては、反応性ポテンシャル (ReaxFF) を用いて原子間相互作用を精密に再現した。また、構造と剛体圧子との非結合相互作用については、より計算効率に優れた汎用ポテンシャル (LJ ポテンシャル) を適用した。全体として、精密な原子配置と温度制御を実現しながら、ナノ構造における自由振動挙動の解析を行った。

3. 研究成果

解析の結果、表面終端の種類や表面構造の形状が、ナノ構造の振動特性に明確な影響を及ぼすことが示された。特に、表面を安定化させる終端処理を行った場合には、振動の減衰を抑制する効果が顕著に現れ、 Q 値の向上と共振周波数の増加が観察された。これは、終端元素によって表面のダングリングボンドが効果的に抑制され、全体の構造剛性が高まったことによるものと解釈される。一方、周期的な表面凹凸構造を導入した場合、構造の厚みが薄い条件では、周期構造の有無によって振動応答に明瞭な差が生じた。具体的には、構造の表面に凹型または凸型のパターンを形成したことで、応力の集中や分散の仕方が変化し、結果として振動の安定性や減衰特性に違いが生じた。とくに凹型構造は、局所的な歪みが内部に及びやすく、振動モードの整合性が高まることで、エネルギーの損失が抑制される傾向が見られた。また、終端処理と周期構造のいずれもが、単独で振動特性を改善する効果を持つことが示されたが、将来的にはこれらを組み合わせることで、さらに高性能なナノ振動子の設計が可能になると考えられる。

以上の結果は、ナノ構造の表面処理および形状設計が、微細振動素子の高感度化において有効な手法となりうることを原子レベルの視点から示すものである。

4. 今後の展望


今後の研究では、まず終端元素の種類をさらに多様化し、それぞれが振動挙動に与える効果の体系的理解を進めていく必要がある。例えば、より電気陰性度の高い元素や、異なる結合性を有する元素を導入することで、表面の電子状態変化と機械的剛性の関係をより詳細に解明できると考えられる。また、周期構造の設計についても、単純な凹凸形状にとどまらず、複雑な3次元パターンや非対称構造、さらには異方性を持たせた設計など、多様な表面改質の可能性を模索していくことが重要である。こうした設計が振動特性のチューニングに与える影響を数値的に明らかにし、設計指針として体系化していくことが期待される。

さらに、シミュレーションで得られた知見を実験的なナノ加工技術と照らし合わせることで、理論と実験の両側面からの理解を深化させることができる。例えば、イオンビームやプラズマ処理などの表面改質手法との対応や、ナノインデンテーションによる局所的な機械特性の検証を通じて、シミュレーション結果の妥当性を実証することが望まれる。

最終的には、ナノ振動子が用いられるセンシングデバイスの応用分野（例えば質量センシングやフォースセンシング）において、必要とされる性能要件（感度、応答速度、熱安定性など）を満たすための最適な構造設計が可能となるよう、シミュレーションの汎用化と実装性の高い知見の蓄積を進めていきたい。

5. 参考文献

1. X. L. Feng, R. R. He, P. D. Yang, and M. L. Roukes et al., “Very high frequency silicon nanowire electromechanical resonators,” *Nano Letters*, vol. 7, no. 7, pp. 1953–1959.
2. H. Shimizu, J. J. Delaunay, R. Kometani, S. Warisawa, S. Ishihara: “Evaluation of resonance



characteristics change of silicon resonators due to surface treatment”, Japanese Journal of Applied Physics ,vol 49,no 6 ,pp.13 (2010)..

3 . K. Yoon *et al.*, “Atomistic-Scale Simulations of Defect Formation in Graphene under Noble Gas Ion Irradiation,” *ACS Nano*, vol. 10, no. 9, pp. 8376–8384.

研究題目	集積ソホロースを用いた <i>Trichoderma reesei</i> のセルラーゼ産生誘導の検討
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・福田 知博
分野	高分子化学
キーワード	ソホロース、糖クラスター、 <i>Trichoderma reesei</i>

1. 研究の背景と目的

近年、化石燃料に代わる代替燃料としてバイオマスエタノールが注目を集めている。バイオマスエタノールは植物から生産される再生可能な化合物であり、大気中の二酸化炭素量をニュートラルに保つことができる。バイオマスエタノールの生産は現在、主としてグルコースのアルコール発酵で行われており、そのグルコースは可食性バイオマスであるデンプン質の酵素分解で得られている。しかし、デンプン質を含む作物は食用用途とも競合するため、非可食性バイオマスを非可食性バイオマスである木材や稲わら等に含まれるセルロース等の多糖類を分解してグルコースを得る試みが注目されている。非可食性のセルロースからグルコースへの変換は、主として酸加水分解法と酵素分解法で現在行われているが、酸加水分解法は加熱硫酸を用いるため環境負荷が極めて高く、環境にやさしい酵素分解法がSDGsの観点から期待されている。

酵素分解法で用いるセルラーゼ酵素は、糸状菌 *Trichoderma reesei* (*T. reesei*) が産生するものが一般的に用いられている。セルラーゼのセルロース分解速度は、アミラーゼのデンプン分解と比べると非常に遅いため、セルロースのグルコース変換には多量のセルラーゼが必要となる。そのため、*T. reesei* に遺伝子改変を加えることでセルラーゼ酵素の高生産株や高活性株を作る研究も行われているが、遺伝子組み換えを施した菌を大量生産して汎用的に用いるのは環境リスクが極めて大きいといえる。一方、この *T. reesei* は特定の分子が近傍に存在することにより、セルラーゼ産生能を増加する現象が知られており、特にグルコース 2 分子が β 1-2 結合したソホロースは高いセルラーゼ産生誘導能を持つと報告されている (図 1) [1]。近年ではソホロースの誘导体やソホロ脂質を用いてセルラーゼ産生能を向上させる試みも行われており [2]、構造改変により産生能が増加する例も確認されている。

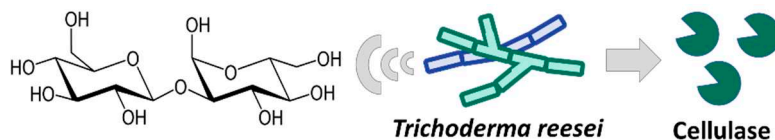


図 1 ソホロースとセルラーゼの関係

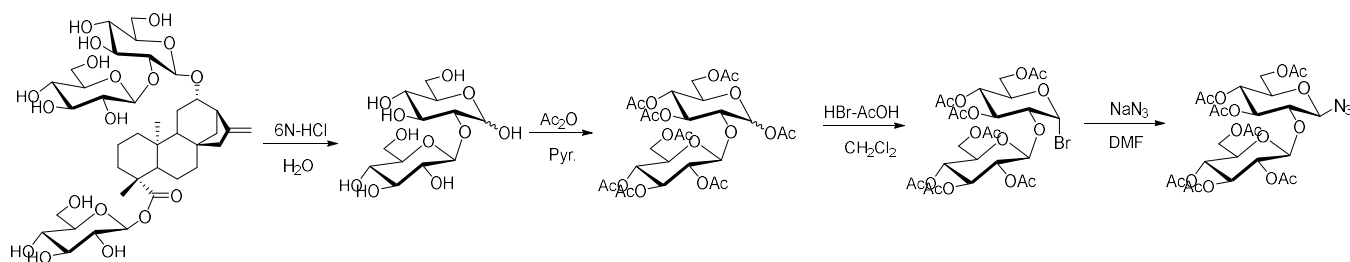
糖鎖は、細胞壁や細胞膜等に存在する分子であり、生体内ではリガンドとして働くことでレセプターとなるタンパク質やウイルス、菌等との間に相互作用を持つことが知られている[3]。この相互作用は、リガンド分子の多価集積化により強まることが知られており (糖クラスター効

果)、細胞分化や病気の感染などの自然現象はこの相互作用シグナルによって制御されている[4]。この糖クラスター効果にもとづき、様々に糖を集積したクラスターを人工的に設計した材料はバイオマテリアル等としてこれまで数多くつくられてきたが[5]、これまでにソホロースを集積しクラスター化した研究はなく、集積ソホロースを作成して *T. reesei* のセルラーゼ産生誘導能を調べることを本研究の目的とする。

2. 研究方法

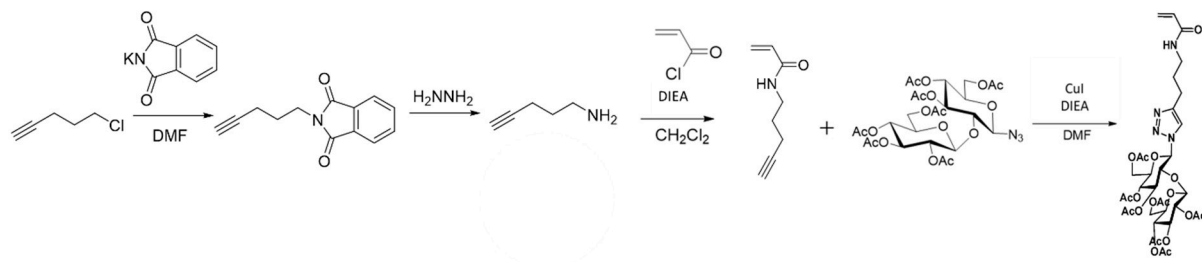
本研究は、集積ソホロースのクラスター添加により *T. reesei* のセルラーゼ産生能がどのように変化するかを明らかにするため、種々の糖密度でソホロースを担持する高分子を合成し、合成した糖鎖クラスターを用いた *T. reesei* のセルラーゼ誘導能評価および *T. reesei* に対する分子認識能を調べることにした。

ソホロースは、試薬として購入する場合非常に高価であることから、ソホロースを含有する化合物であるステビオシドから抽出することとした。ステビオシドを酸加水分解した後活性炭カラムにて夾雑物を粗く分離した後、粗ソホロースを無水酢酸でアセチル化しシリカゲルカラムクロマトグラフィーにて、アセチルソホロースを単離した。アセチルソホロースは臭化水素で1 α 位を臭素で置換した後に、アジ化ナトリウムを反応させ、再結晶をおこなうことにより 1 β -アジド化アセチルソホロースを合成した(スキーム 1)。



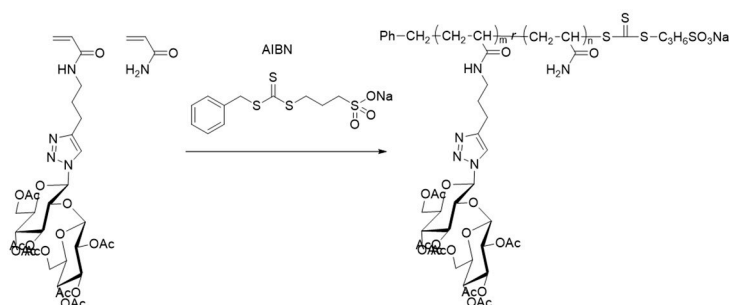
スキーム 1 1 β -アジド化アセチルソホロースの合成

5-クロロ-1-ペンチンに対してフタルイミドを反応させ、ヒドラジンで分解することにより 1-アミノ-4-ペンチンを合成した(スキーム 2)。この 1-アミノ-4-ペンチンと塩化アクリロイルとを反応させて得られるアルキンモノマーと、先程合成した 1 β -アジドアセチルソホロースとを銅(I)触媒存在下で 1,3-Huisgen 付加 (クリックケミストリー反応) させることで、アセチルソホロースモノマーを合成した。



スキーム 2 アセチルソホロースモノマーの合成

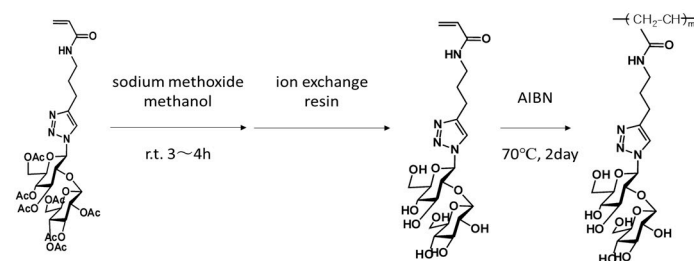
得られたアセチルソホロースモノマーは、開始剤 *N,N*-アゾビスイソブチロニトリルおよびトリチオエステル型の可逆的付加開裂連鎖移動(RAFT)剤と共に *N,N*-ジメチルアセトアミドに溶解した後重合管に詰め、凍結脱気した後封管して 70℃



スキーム 3 アセチルソホロースポリマーの合成

で 1 日攪拌してラジカル重合を行った(スキーム 3)。得られた重合物はヘキサン溶媒中で遠沈して回収精製を繰り返した。また、同様の手法でアクリルアミドをモノマーとして加えることでアセチルソホロースモノマーの共重合も行った。

ソホロースモノマーは、アセチルソホロースモノマーをナトリウムメトキシドで pH 11 としたメタノール溶液に加え脱保護を行った後に中和し減圧濃縮することにより合成した。ソホロースモノマーは開始剤 4,4'-アゾビス(4-シアノ



スキーム 4 ソホロースポリマーの合成

吉草酸)、RAFT 剤と共に水/ジメチルスルホキシド=1/1(vol)に溶解した後、重合管に詰めて凍結脱気後に封管し 70℃で 2 日攪拌しラジカル重合を行った(スキーム 4)。また、こちらもアクリルアミドとの共重合も行った。

T. reesei のセルラーゼ産生誘導の確認は、*T. reesei* が含まれる PDB 液体培地中に集積ソホロース等加えて振盪し 1 日培養した。この液体培地をろ過滅菌した後、セルラーゼ酵素が上清を粗酵素溶液としてセルロースろ紙に加え 30℃で数日間振盪し、分解反応を行った。その後残渣セルロースろ紙を洗浄した後にろ紙の重量を測定する。これにより各ソホロースクラスターが *T. reesei* に対して、どのようなセルラーゼ産生誘導能を示したかを間接的に評価する。

3. 研究成果

ステビオシドからアセチルソホロースは収率 30.7%で得られ、このアセチルソホロースから収率 27.4%で 1-アジド化アセチルソホロースが得られた。それぞれの化合物は ^1H -NMR により再結晶化で得られた 1-アジド化アセチルソホロースは β 体であることが確認された。また、研究の結果、5-クロロ-1-ペンチンから 1-アミノ-4-ペンチンは 54.3%で得られ、1-アミノ-4-ペンチンか

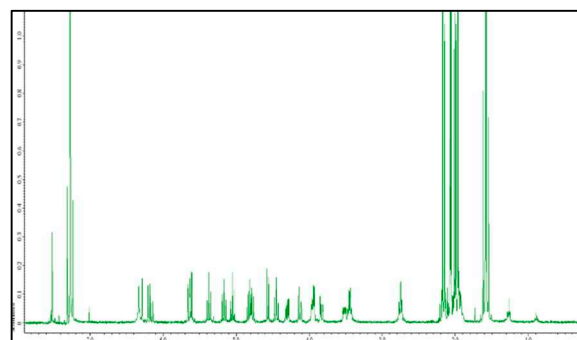


図 2 アセチルソホロースモノマーの NMR スペクトル

らアセチルソホロースモノマーは 24.8%で得られ、 $^1\text{H-NMR}$ からもその合成が確認された(図 2)。

アセチルソホロースモノマーの RAFT 単独重合は、10, 30, 50, 100 量体となるように重合を行ったが、 $^1\text{H-NMR}$ 測定の結果、いずれも重合が進行しないことがわかった。また、合計 100 量体となるようアクリルアミドとの共重合反応をアセチルソホロースモノマー/アクリルアミド=50/50、25/75、10/90 (mol)となるように行ったが、ほとんど反応が進行しないことがわかった。

続いて、立体障害を下げるために脱保護をおこなったソホロースモノマーについても同様の重合度を目指して RAFT 単独重合を行ったが、多少反応は進んだものの、目標の重合度には到達しないことがわかった。さらにアセチルソホロースモノマーと同様に合計 100 量体となるようアクリルアミドとの共重合反応を行ったところ、ソホロースモノマー/アクリルアミド=25/75 および 10/90 (mol)ではほぼ仕込み比通りに高分子化されることがわかった。

合成した集積ソホロースを用いてセルロース分解試験を行った所、誘導物質無しの場合やソホロース添加と比べて、集積ソホロースはセルロース重量減少を若干ではあるが増加させる結果が見られた。しかしながら、得られた集積ソホロースの量が少なかったことで実験結果の再現性を得るには至っていない。また、測定系におけるセルロース重量減少幅が全体的に予想より小さく、より明確な実験結果を得るための実験系の最適化を行う必要もあることがわかった。

4. 今後の展望

本研究では集積ソホロースを得るために、ステビオシドからソホロースを担持するビニルモノマーを合成し、その重合特性を明らかにした。今後より多くの集積ソホロースを合成することにより集積ソホロースの *T. reesei* のセルラーゼ産生誘導能の解明が期待される。

T. reesei セルラーゼ産生誘導機の解明は、増産や利便性の改善に繋がり、高価なソホロースの糖鎖効率を最大限に上げ、*T. reesei* 由来のセルラーゼを安く大量に生産し、非可食バイオマスからのバイオエタノール生産の効率化に繋がることが期待される。また、*T. reesei* は他にも様々な分解酵素や変換酵素を生産することで知られ、ソホロース以外の糖類でも同様の酵素産生誘導が起きることが知られている。本研究活動により糖鎖クラスターを用いた酵素産生誘導が確立できれば、セルラーゼ以外にも機能性酵素を増産できる可能性があり、次世代バイオマスエタノール生産のみならず様々な原薬中間体やバイオプラスチック等の生産へ繋がることも期待される。

5. 参考文献

1. D. Sternberg, G. R. Mandels, *J Bacteriol.* **139**, 761–769 (1979).
2. T. T. Huang, J. M. Wages, *Enzyme Microb. Technol.* **85**, 44–50 (2016).
3. J. J. Lundquist, E. J. Toone, *Chem. Rev.* **102**, 555–578 (2002).
4. T. Fukuda, E. Matsumoto, S. Onogi, Y. Miura, *Bioconjug. Chem.* **21**, 1079–1086 (2010).
5. Y. Miura, Y. Hoshino, H. Seto, *Chem. Rev.* **116**, 1673–1692 (2016).

研究題目	富山県の物流課題の把握と消費者の 理解促進を目的とした物流教材の検討
機関名	富山高等専門学校
研究代表者	国際ビジネス学科・准教授・村山 雅子
分野	社会科学
キーワード	物流課題、物流リテラシー、消費者意識

1. 研究の背景と目的

物流は生産者と消費者をつなぐ流通活動の一部として重要な役割を担っている。日本の物流政策は政府が定める「総合物流施策大綱」に沿って行われている。総合物流施策大綱は1997年に最初に策定され、その後4年ごとに策定されており、総合物流施策大綱（2017年度～2020年度）¹⁾において重要な課題の一つに「物流を担う人材の確保・育成、物流の社会的役割等に対する認知度の向上」が示された。これを受けて平成29年に小・中学校の学習指導要領が改訂された際に社会の学習指導要領に「物流」に関する内容が記載された²⁾。高等学校の学習指導要領は、平成30年の改訂時に社会科目（公民および地理）³⁾に同様に「物流」に関する記述がされた。高等学校商業科では、従来から物流に関連する科目の一つである流通が学習内容として構成されており³⁾、標準的な教科書（商品開発と流通、ビジネス基礎）⁴⁾があるが、その学習内容は流通活動の中でも商流（商学）に関するものが多くを占めており、物流分野に関する記述はほとんどない。このように物流教育の必要性については高まっているものの、物流は範囲が広く、また学問分野としては歴史が浅いことから、総合的かつ体系的に教授するための教材やカリキュラムはまだ十分に整備されていない。

物流には労働者不足や費用面など多くの課題がある一方、消費者にとって物流は商品購入の際のサービスの一環として捉えられており、消費者の物流に対する理解不足が物流の課題解決が難しい一因となっている。生産者と消費者をつなぐ重要な役割を担う物流分野における問題点・課題について、消費者の理解を促進することが必要である。

これまでに消費者が物流における問題点を理解することで状況が改善された一例として、宅配便の再配達がある。2017年10月に国土交通省が宅配便の再配達率のサンプル調査⁵⁾を実施し、その結果について報道などを通じて広く公表されたことにより、再配達の割合が多く物流事業者のコストや労働時間の増加につながる問題について消費者の理解が進んだ。国土交通省はこの調査を2017年以降、年に2回実施しており、2017年10月の調査では再配達率が15.5%だったのに対し、2023年10月の調査では11.1%まで減少している。宅配便の取扱個数が2017年度は42.5億個だったのに対し、2022年度50.6億個まで増加しているにもかかわらず再配達率が減少していることから、消費者の問題点に対する理解が状況改善の一因となったことが考えられる。

このように物流分野における課題解決のためには、消費者が物流の基礎知識と物流の課題への理解を深めることが有効であり、そのための汎用的な物流教材の検討が必要である。

また、問題点や課題には地域による特性があり、問題・課題解決の優先順位も異なることが考えられる。富山県では人口減少、過疎地域の増加が懸念されており、これに伴う労働力不足や輸送費用の増加が問題点・課題の一つとして考えられる。

このような背景から、本研究では消費者の物流課題への理解促進を目的とした物流教材について検討することを目的とした。

2. 研究方法

本研究では、まず物流分野の近年の課題や取り組みを整理した上で、富山県の物流に関する問題点・課題を明らかにするため、アンケート調査および聞き取り調査を実施した。これらの調査結果をふまえて、消費者の理解促進を目的とした物流教材について検討した。

2.1 資料調査

資料調査を行い物流分野における近年の課題や取り組みについて整理した。

2.2 アンケート調査

物流の課題認識を多角的に把握するため、物流事業者および物流利用者を対象に自由記述形式のアンケート調査を実施した。物流の問題と課題、物流利用者または消費者の理解を促進したい物流課題や現状、利用者から物流事業者への要望について自由記述形式で質問した。得られた回答について定性的な分析を実施し、内容に応じて分類した上で、共通する傾向および相反する視点を抽出・整理した。

2.3 聞き取り調査

富山県内の事業者を対象に、アンケート調査では把握しきれない定性的情報を補完するため、物流業務に従事する担当者に聞き取り調査を実施した。聞き取り調査では、業務上の物流課題認識、改善に向けた提案や要望、具体的な工夫や対応策などについて自由回答形式で意見を収集した。得られた回答内容について主旨を要約した記録を作成し、それらを体系的に整理・分析することにより、定性的な傾向の把握を試みた。

2.4 物流教材の検討

これらの調査結果をふまえて、一般消費者に対して物流に関する問題点および課題への理解を促進することを目的とした啓発教材の在り方について検討した。消費者にとって理解しやすく、かつ行動変容を促す物流教材を検討した。

3. 研究成果

3.1 資料調査

物流分野における近年の課題や取り組みについて資料調査を行い、内容を整理した。前述の通り日本の物流政策は、総合物流施策大綱に基づき推進されている。現在は2021年6月に閣議決定された総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）⁶⁾に沿って施策が実施されている。この大

綱では今後取り組むべき施策として次の3点を示している。

1. 物流DXや物流標準化の推進によるサプライチェーン全体の徹底した最適化（簡素で滑らかな物流の実現）
2. 時間外労働の上限規制の適用を見据えた労働力不足対策の加速と物流構造改革の推進（担い手にやさしい物流の実現）
3. 強靱性と持続可能性を確保した物流ネットワークの構築（強くてしなやかな物流の実現）

本研究では特に消費者との関連が深い、2.「時間外労働の上限規制の適用を見据えた労働力不足対策の加速と物流構造改革の推進（担い手にやさしい物流の実現）」に焦点をあてる。

総合物流施策大綱では各施策の目的の達成状況を定量的に把握するための指標（KPI：重要業績評価指標）が設定されている。代表的なKPIの一例を表1に示す。

表1. 総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）の代表的な指標（KPI）

	指標名	目標値（2025年度）
1.	トラックの積載効率	50%
2.	宅配便の再配達率	7.5%程度
3.	トラック運転に従事する若年層（15歳～29歳）の割合	全産業の割合まで引き上げる
4.	物流のおかれている現状や課題に対して問題意識を持っている消費者の割合	100%
5.	「担い手にやさしい物流」を実践している消費者の割合	80%

出典：国土交通省，総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）⁶⁾より作成

トラックの積載効率は、2019年度の37.7%から2025年度50%まで向上させることを目標にしている。トラックの積載効率は2010年以降40%未満の低い水準で推移している⁷⁾。積載効率が低いとトラックは空きスペースが多い状況で走行する状態となり、同一貨物量を運ぶのに必要な便数が増加し、輸送コストやドライバーの労働負荷、環境負荷がいずれも増大し非効率な輸送となる。

トラックの宅配便の再配達率は近年減少傾向にあり2020年度には約10%まで低下したが、さらなる削減が必要であり、2025年度には7.5%まで引き下げることを目標としている。

トラック運転に従事する若年層（15歳～29歳）の割合は、2020年時点で10.3%と全産業の同年代の割合16.6%より低い水準にあり、2025年度には全産業の割合まで引き上げることを目標としている。

物流の現状や課題に対して問題意識を持つ消費者の割合については、2025年度に100%とすることを目標としている。国土交通省の調査（2022年）⁸⁾では、物流に対する印象や課題の認知度について、約8割の消費者が物流を意識したことがあり、物流は身近な存在であることが示

されたものの、物流の課題に対する認知度は約 5 割にとどまった。しかし一旦課題を認識すると、約 9 割がその課題への取組の重要性を理解するという結果となった。このように、消費者の理解を促進することが、物流分野における課題・問題点の改善につながると言える。

物流における労働力不足が深刻化する中、2018 年に働き方改革関連法が改正され、2024 年 4 月から自動車運転業務の時間外労働の上限規制が適用された。併せて、貨物自動車運送事業法に基づく改善基準告示も改正され、トラックドライバーの拘束時間等の基準が見直された。これらの制度改正に対して十分な対応がなされなかった場合、2030 年度には全国レベルで輸送能力が約 34% (9 億トン相当) 不足するとの試算もあり⁹⁾、輸送力不足により物流の停滞が生じる可能性があるとして、こうした懸念は「2024 年問題」として社会的な関心を集めた。

国内貨物輸送における自動車輸送の分担率は、重量ベースで 90%以上、トンキロベースで 50% 超と高い割合を占めており、自動車輸送は国内貨物輸送において重要な役割を担っている (図 1, 図 2)。そのため、輸送能力の不足は、単なる物流の遅延にとどまらず、国内の物流インフラ全体の機能低下を招く可能性がある。具体的には、原材料や部品の納入遅延により製造業の生産計画に支障が生じる、小売業では在庫切れや欠品の発生により販売機会を喪失するといったサプライチェーンの混乱、長距離輸送の困難化により地方への配送が遅延・停止し地域間の物流格差拡大や経済的損失が懸念される。その影響は企業間の物流だけでなく、消費者生活にも及ぶ。たとえば、生鮮食品や日用品の供給遅延、宅配サービスの品質低下、配送料の上昇などが想定され、日常生活の利便性や安定性が損なわれる可能性がある。このように、自動車輸送の機能低下は、経済活動のみならず生活全体に波及する深刻な課題である。

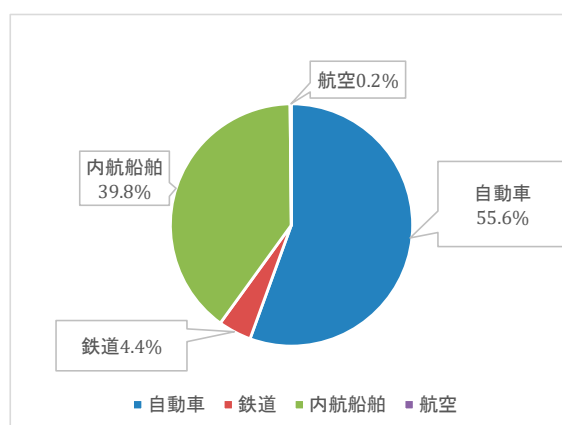
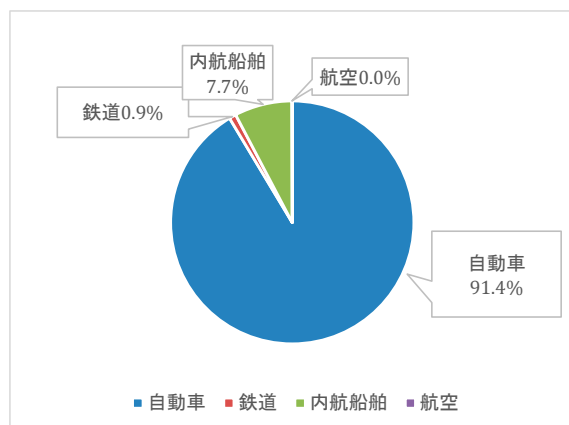


図 1. 国内貨物輸送機関別分担率（重量ベース） 図 2. 国内貨物輸送機関別分担率（トンキロベース）
出典：総務省統計局，日本の統計 2024，「輸送機関別輸送量」¹⁰⁾から作成

また、富山県の運輸業・郵便業の年代別就業者構成を調査した (図 3)。富山県の運輸業・郵便業では、平成 22 年には 35～39 歳が最多であった就業者数が、令和 2 年には 45～49 歳が最多となっている。この 10 年間で就業者の年齢分布が全体的に高年齢寄りに移行しており、就業構造における高齢化が進んでいることがうかがえる。特に、35～39 歳の就業者数は平成 22 年

と比べて令和2年には大幅な減少がみられる。

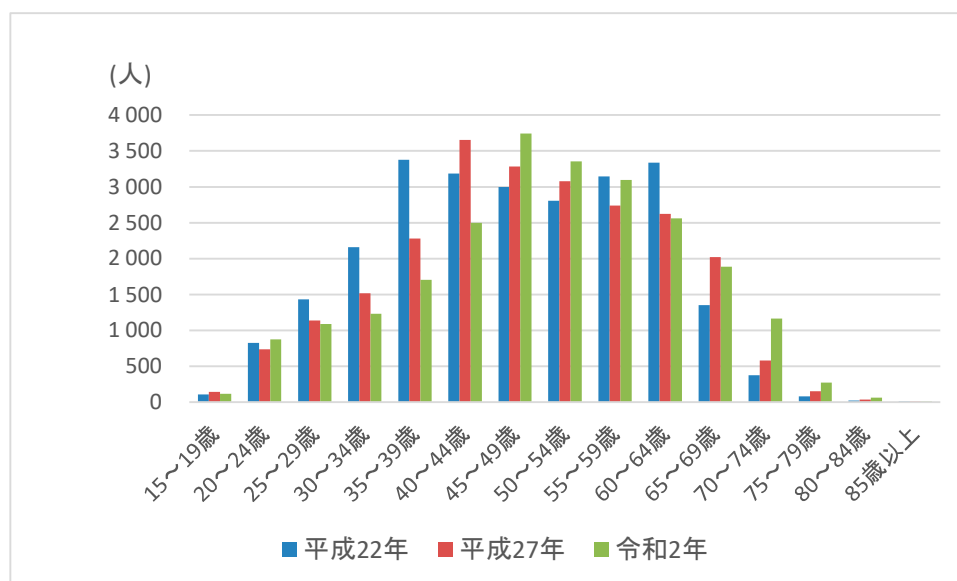


図3. 富山県の運輸業・郵便業の5歳階級別就業者の推移¹⁾

出典：富山県 HP, 「産業別、5歳階級別就業者の状況」, 令和5年 富山県統計年鑑から作成

このように、労働力不足への対応、物流の効率化と標準化の推進、消費者意識の向上、就業者の高齢化対策を進めることが、今後の物流構造改革における課題である。

3.2 アンケート調査

物流の課題認識を多角的に把握するため、物流事業者および物流利用者を対象に自由記述形式のアンケート調査を実施した。アンケートの質問項目は次の6項目である。

- (1) 物流を利用する、または提供する場面において、これまで問題や課題があると感じたことはありますか？
- (2) 顧客や消費者に物流に関して知っておいて欲しい、理解があると良いと考える事がありますか？
- (3) 物流事業者・運送事業者に知っておいてほしい、理解があると良いと考える事や、期待するサービスはありますか？
- (4) 一般的な知識として、消費者に物流の課題や問題に関して知っておいて欲しいと考える事がありますか？
- (5) 物流2024問題が懸念されていますが、2024年4月以降、影響はありましたか？
- (6) 物流や運送を利用する際、または提供する際に相手の理解が得られず困った事がありますか？

得られた回答について定性的な分析を実施し、内容に応じて分類した上で、共通する傾向および相反する視点を抽出・整理した。

質問1「物流・運送の利用または提供に関して経験した課題」については、以下の5点に分類された。①配達時間や宅配ボックスの空き不足等による受取環境とのミスマッチ、②追跡情報の遅延による再配達や判断ミスの発生、③配送中の破損等を巡る責任、荷扱いや梱包品質の不透明性、④2024年問題・人手不足・価格制度などの構造的課題、⑤地域ごとの対応差による納期・業者選定の負担である。

質問2「消費者に知っておいてほしい・理解があると良いこと」では、①天候や災害による遅延への理解、②物流コスト上昇の背景への認識、③「送料無料」表記や過剰なサービス期待への違和感、④過剰梱包と環境負荷への問題意識、⑤発注側の協力姿勢への期待といった視点が挙げられた。

質問3「物流事業者への期待や伝えたいこと」では、①配達時間・安全性への配慮、②荷扱いの丁寧さと梱包再利用への期待、③配達員の接客や対応姿勢に対する評価と要望、④輸送効率化に向けた制度的・技術的提案、⑤価格体系・サービス内容の透明性向上などが確認された。

質問4「消費者に知っておいてほしい物流の課題」では、①人手不足と労働環境への理解、②天候や交通事情に起因する配達遅延への配慮、③過剰サービスや再配達への問題意識、④高速料金制度の見直しなど運行効率を妨げる制度的な課題、⑤発注側の早期発注や荷量調整への協力の必要性が確認された。

質問5「物流2024年問題による影響」では、影響の有無およびその内容に関して多様な意見が示され、①影響は軽微もしくは見られないとする回答と、それに伴う定期購入や計画的発注といった工夫、②納期遅延や製造工程への影響、③物流コスト上昇に対する一定の受容と適切な情報発信の必要性、④郵便物・集荷の遅延や配送トラブルを含むサービス品質の変化、⑤宅配ボックス等の代替手段の有効性が確認された。

質問6「物流・運送において相手の理解が得られず困った経験」では、全体として「特に困ったことはない」との回答が多く見られた一方で、①値上げ理由の説明に苦慮するなどコスト説明の難しさ、②荷扱いなどのサービス品質のばらつき、③業務指示の違いによる現場での調整負担、④定期便における納期の認識相違が確認された。また、⑤顧客との信頼関係が、トラブル予防につながっていることが示唆された。

本アンケート調査から、物流の利用・提供の立場において課題や意識の違いが明らかとなった。物流現場における受取環境の制約や情報提供の遅延、荷扱いの品質や責任所在の不明確さなどの課題が複合的に存在していることが確認された。

一方で、消費者の立場からは、配送の遅延要因やコスト構造への理解、「送料無料」表記や過剰なサービス水準に対する違和感、環境負荷への懸念など、サービスの背後にある課題への一定の問題意識も見られた。また、物流事業者に対しては、安全性・応対品質・輸送効率・価格の透明性といった幅広い期待が示された。

さらに、物流 2024 年問題に対する影響や対応については、計画的発注や宅配ボックスの活用など、利用者側の工夫も一定程度進んでいる一方で、納期遅延やコスト上昇といった実務的な影響もみられた。加えて、理解不足に起因するコミュニケーション上の困難さや、信頼関係の重要性が課題・対応の両面で指摘された。

3.3 聞き取り調査

富山県内の製造・運輸関連事業者 3 社を対象に、物流業務に従事する担当者への聞き取り調査を実施した。本調査は物流現場における課題の実態や各事業者の対応、制度改正の影響および今後の展望を定性的に把握することを目的とした。

調査の結果、3 事業者すべてに共通して、労働力不足、若年層の採用・定着の難しさやドライバーの高齢化が課題として挙げられた。特に中型免許保持者の減少や AT 限定運転免許取得者の増加は、将来的に社内輸送体制の維持に支障をきたすおそれがある。

また、荷主との関係性による交渉力格差や、納品先の荷受け体制の未整備、荷役作業の責任所在の不明確さ、荷待ち時間の長さといった物流現場における基本的な課題も挙げられた。さらに、輸送費や原材料費、包装資材やエネルギーコストの上昇が続く中で、製品価格に物流コストを組み込むことや運賃の取引条件の見直しに対する柔軟な対応が必要とされている。

加えて、富山県では製造業が多く、県内外へ多くの製品が供給されているが、往復の輸送量が不均衡であることから、長距離輸送では運賃負担が大きく、特に中小企業では輸送効率化への対応が難しい面があることも課題として挙げられた。

一方で、2024 年の法改正により、書面による契約の義務化、労働時間に関する規制等が施行されたことで、取引先との交渉環境に一定の変化が生じているとの評価がある。また、国の関係省庁が実施する勉強会や定期的なアンケート調査等を通じて、制度に対する現場の理解や実務対応が一定程度進展していることが確認された。

各社の実務上の工夫としては、自社トラックを活用した工場間移動や回収物流の運用、製品の特性・用途に応じた専用梱包材の導入、人材確保に向けては、ドライバー教育の実施や資格取得支援制度を活用した人材育成に加え、他業種における定年退職有資格者の雇用が挙げられた。

本調査から、物流現場が抱える多くの課題は、事業者単独での対応だけでは解決が困難であり、消費者や取引先の理解と協力が不可欠であることが明らかとなった。納品先における受入体制の整備は、物流の円滑化に直結する。荷下ろしの案内不足や担当者不在により、再配達や誤配などの非効率が発生しており、荷待ち時間の削減や事故防止の観点からも、荷受け側の協力が不可欠である。また、精密機器などを取り扱う場合、梱包箱のわずかな傷や凹みでも返品・交換が求められる事例があり、輸送業者・製造業者ともに大きな負担となっている。輸送品質の向上と利用者満足のバランスをとるには、リスクの共通理解が求められる。さらに、燃料費や梱包資材の価格上昇に伴う運賃改定や製品価格の調整については、発注者側も適正な価格交渉と価格受容が必要である。特に、短納期や柔軟な納品対応を求める取引先においては、労務環境や輸送体制への影響も踏まえた受発注設計が望まれる。

物流の制約や構造に対する認識を共有し、過度な即時性や利便性のみを追求するのではなく、消費者を含むすべての関係者が、物流サービスの構造や制約に対する理解を深め、物流現場での工夫や取り組みに対して理解と協力を示すことが必要である。

3.4 物流教材の検討

これらの調査結果をふまえて、消費者に物流の問題点・課題への理解を促進するための教材の検討を行った。これまでの調査から、次の課題が明らかとなった。

1) 物流現場では、荷待ち時間、再配達、誤配など非効率な業務が発生しており、その背景には、納品先の受け入れ体制の不備や案内不足が存在する。

2) 梱包資材や燃料費の高騰により、運賃改定や製品価格の見直しが避けられない状況にありながら、価格受容に対する消費者・発注者側の理解は十分とはいえない。

3) 利便性や即時性を過度に求める意識は、労働環境や物流品質に影響を及ぼしており、消費者側の協力的な姿勢が求められている。

これらの課題に対応するには、消費者が物流サービスの成り立ちや現場の制約を理解し、物流に対する理解と協力の重要性について認識を深めることが不可欠である。

そのためには、次のような要素を盛り込んだ啓発的かつ共感的な教材の開発・活用が有効と考える。

- ① 物流の基本的な仕組みとその担い手の役割（例：ドライバー、倉庫作業員、事務スタッフ等）
- ② 物流現場で発生する課題とその背景（荷待ち、誤配など）
- ③ 消費者の行動が物流負荷に与える影響（過度な短納期配送の要求、再配達依頼など）
- ④ 持続可能な物流に向けた協力行動の例（受取時間の指定、柔軟な納期の受容など）
- ⑤ 共感を促す事例紹介（現場で働く人の声や努力、トラブル対応の現状など）

教材の形態は、広く一般消費者を対象とする点をふまえ、イラストを用いたリーフレットや動画コンテンツが有効と考えられる。具体的には、①短時間で内容を把握できること、②視覚的に関心を引きやすく、かつ理解しやすい表現であること、③手に取りやすく、掲示にも適したサイズであること、④小売業者と連携し、店頭掲示やレジ付近での啓発POPとして展開しやすいことが挙げられる。また、動画コンテンツについては、SNS等を活用することで、より幅広い層への情報発信が可能になる。特に若年層や視覚的メッセージへの反応が高い層への効果が期待できる。

4. 今後の展望

本研究では、物流分野における近年の課題や取り組みについて資料調査、アンケートおよび聞き取り調査を実施し、定性的に分析し整理した。物流分野では多くの課題があり、これらの解決

のためには消費者や荷主の理解と協力が不可欠である。消費者は物流に関する課題を具体的に認識することで、課題解決のための取組みの重要性に対する理解が深まることから、啓発用教材の整備は有効な手段となる。

今後は、定量的な調査を通じて、物流課題の中でも特に解決への期待が高い項目や、消費者の理解と協力が重要とされる内容について把握したい。その上で、教材として取り上げる具体的なテーマの選定を行い、リーフレット形式の教材が理解促進に与える効果について検証したい。

5. 参考文献

1. 国土交通省『総合物流施策大綱（2017年度～2020年度）』2017年，
URL: <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/butsuryu03100.html>
2. 文部科学省『小学校・中学校学習指導要領 社会編（平成29年告示）』2017年，
URL: https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1384661.htm
3. 文部科学省『高等学校学習指導要領 地理歴史編・公民編・商業編（平成30年告示）』2018年，URL: https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1407074.htm
4. 実教出版編集部『商業科教科書（ビジネス基礎・商品開発と流通）』（2022, 2023年），実教出版，URL: <https://www.jikkyo.co.jp/book/detail/>
5. 国土交通省『宅配便の再配達率サンプル調査について』2024年，
URL: https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/re_delivery_research.html
6. 国土交通省『総合物流施策大綱（2021年度～2025年度）』2021年，
URL: <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/butsuryu03100.html>
7. 経済産業省・国土交通省・農林水産省『我が国の物流を取り巻く現状と取組状況』2022年9月，URL: <https://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/freight/content/001514680.pdf>
8. 国土交通省『物流に対する消費者意識に関するアンケート』2022年，
URL: <https://www.mlit.go.jp/monitor/R3-kadai01/17.pdf>
9. 国土交通省『物流の2024年問題について』2023年6月，
URL: <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001620626.pdf>
10. 総務省統計局，『輸送機関別輸送量』，日本の統計2024，
URL: <https://www.stat.go.jp/data/nihon/index1.html>
11. 富山県ホームページ，『産業別、5歳階級別就業者の状況』，令和5年 富山県統計年鑑，
URL: <https://www.pref.toyama.jp/sections/1015/lib/almanac/index.html>

*Report of
subsidized research
2025*

