

青山学院大学

# 総合研究所報

第31号



2024年1月

青山学院大学総合研究所

AOYAMA GAKUIN UNIVERSITY RESEARCH INSTITUTE

学校法人青山学院は、青山学院大学における教育・研究との有機的な関係のもとに、広く学術を統合し、社会と学術文化の進展に寄与することを目的として、大学に総合研究所を設置する。

# 《 目 次 》

巻 頭 言 .....	所長 小西 範幸.....	1
I. 研究ユニット活動報告および研究成果		
1) 研究ユニット活動報告		
国際秩序変容の構造とメカニズム：ネットワーク・アプローチによる実証分析 .....		4
コーポレート・ディスクロージャーの総合的研究 .....		4
新奇低次元トポロジカル物質の開発とその次世代超低消費電力スピン素子応用 .....		5
〈人間以上〉の想像力と語り——環境人文学の研究教育基盤形成に向けて .....		6
留学生就職支援を目的とする ICT を用いたビジネス日本語教育の実証的研究 .....		7
住宅政策・構想が地域社会に与える影響に関する史的研究 .....		8
国連 PKO の文民に対する暴力抑制効果—ジェンダー多様性の役割 .....		9
日本の教育における伝統思想とキリスト教学校の攻防 .....		9
体力や健康の維持増進に向けた電気刺激を用いた受動的トレーニングの開発 .....		10
無線システムの運用環境改善に向けた電波吸収・シールド技術の開発 .....		11
人口動態の変化が家計のエネルギー消費に与える影響：Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM) による予測 .....		12
19・20世紀のフランス文学とオペラ .....		13
ミクロとマクロの境界における心臓における発生から修復機能の解明 .....		14
聖書における「和解」の思想 .....		15
現実世界の公共財における動態解析と実験室実験による社会的ジレンマ研究の新たな展開 .....		16
2) 研究ユニット研究成果（総括・要約）		
研究成果刊行報告論集		
『新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開』		
（新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開） .....		17
『超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓』		
（超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓） .....		24
『鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究』		
（鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究） .....		31
『渋谷 - 青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究』		
（渋谷 - 青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究） .....		37
『プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開』		
（プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開） .....		47
『渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究—クラスキノ城跡の発掘調査を中心に—』		
（渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究—クラスキノ城跡の発掘調査を中心に—） .....		49
『AI, BIG Data, VR を利用した英語教育』		
（AI, BIG Data, VR を利用した英語教育） .....		56
『国際貿易と国内政策：貿易、政府調達、産業政策の相互作用』		
（国際貿易と国内政策：貿易、政府調達、産業政策の相互作用） .....		60
II. アーリーイーグル研究支援制度活動報告 .....		65
III. SDGs 関連研究補助制度活動報告 .....		93
IV. 研究ユニット資料 .....		101

# 巻 頭 言

総合研究所所長 小 西 範 幸

青山学院大学では全学的な視野に立った統合的な研究事業を行うために、2018年4月に統合研究機構を設置し、総合研究所は、この統合研究機構の中に位置づけられるようになりました。本研究所の目的は、青山学院大学の研究を推進する拠点となり得る優れた研究の支援を行い、その研究力をもって国際社会のサステナビリティに貢献することです。

総合研究所の活動の中心にあるのが「研究ユニット」と呼ばれる共同研究への支援です。一人でも申請することは可能ですが、その殆どは学内外の研究者による共同研究です。本学の教員に加えて、第一線で活躍する学外の研究者を交えて組織される「研究ユニット」は、3年程度をかけて、人文科学、社会科学、自然科学に及ぶ幅広い分野の研究となっていて、分野横断の研究も散見されます。その「研究ユニット」は、予算規模によって分けられる一般研究に加えてキリスト教文化研究があります。総合研究所では、年一回の定期刊行物として『総合研究所報』および『NEWS SOKEN』を発刊しています。本号の『総合研究所報』には、2022年度に研究を行った15のすべての研究ユニットの活動報告と、2022年度に研究成果を刊行した8つの研究課題が紹介されています。

本研究所の重要な使命は、若手研究者の育成です。「アーリーイーグル研究支援制度」は、博士後期課程学生、助手、および助教の若手研究者の育成と研究活動の活性化を促すことを目的としています。そのため、最先端あるいは斬新な研究分野に果敢に取り組む若手研究者を支援しています。本号では、2022年度の「アーリーイーグル研究支援制度」から21人の採択者の活動報告が掲載されています。

本研究所のもう1つの重要な使命は、国連が採択したSDGs（持続可能な開発目標）に関連した研究に対して支援を行うことです。本学には、当該研究に取り組んでいる教員が数多く在籍しているため、これまで個人レベルで行われてきた当該研究について、大学全体の研究として位置づけ、青山学院大学全体で貢献が可能なように支援を行っています。本号では、2022年度に「SDGs 関連研究補助制度」からの採択者の研究課題が7つ紹介されています。

加えて、本研究所では、「基盤研究強化支援推進プログラム」の制度を設けています。本プログラムは、科学研究費などの外部の競争的資金の獲得を通じての本学の学術研究の発展を促すことを目的とした制度です。

SDGsの達成に向けて、将来世代の便益を最大化するための複合的な価値を実現する経済社会の変革が不可欠となっています。それには、人文・社会科学から自然科学に亘る「総合知」の創出と分野横断的な知見が必要である中で、総合研究所は、新しい時代の課題に果敢に取り組むべく数多くの研究プロジェクトを支援しています。引き続きの皆様のご協力、並びにご支援をよろしくお願い申し上げます。

# I. 研究ユニット活動報告および研究成果

# 1) 研究ユニット活動報告

## 国際秩序変容の構造とメカニズム：ネットワーク・アプローチによる実証分析

ユニットリーダー 林 載桓

### 1. 研究の目的と進捗状況

本研究の目的は、ネットワーク分析の視点と手法を用いて、国際秩序の構造と変容のメカニズムを明らかにすることである。具体的には、異なる地域や政策領域において形成されてきた国家間のつながりの構造を「可視化」すること、また、その変化をもたらしている主たる要因とメカニズムを解明することを目指している。その際、本研究は、ネットワーク科学（network science）の理論とデータ解析の手法が、これらの目的を達成する上で有効かつ斬新なツールを提供するという理解を共通の基盤としている。こうした問題意識の下、初年度における本研究ユニットの活動は次の2点に重点を置いて行われた。第一に、ネットワーク科学の基本的な考え方、ならびにその国際関係論との接点や応用の可能性についてメンバー全員の理解を深めることである。第二に、各メンバーが入手・活用可能なデータに基づき、国家間つながりの構造と変容に関する予備的研究を進めることである。そのため、外部研究者の講演を主とする研究会を開催し（3回）、国際関係論におけるネットワーク科学の応用の可能性と課題について全体議論を重ね、理解を深めてきた。

### 2. 研究活動を通じて得られた知見と成果の発信

初年度の研究活動を通じて得られた学術的知見は次の2点である。第一に、ネットワーク科学で国際関係を分析する利点の一つは、ミクロ（国家をはじめとした個別アクターの行動）とマクロ（国家間関係の構造と秩序）のつながりを深くかつ体系的に理解することを可能にするということである。これまでの国際秩序の分析も「ミクロ的基礎付け」を重視してきたものの、それを合わせるだけではマクロ・レベルの変化を捉えきれない。ネットワーク科学では、ミクロの主体は各ノード（点）になり、それらのノードがリンクの構造を通じてさまざまな相互作用を起こし、ネットワーク全体に影響を与える形で、ミクロとマクロのつながりを捉えることが可能である。第二に、ネットワーク科学の国際関係への応用はまだ途上にあり、たとえば解析可能なデータの収集や因果推論等に関連するいくつかの課題を抱えていることである。このような知見は各メンバーの成果物（業績表を参照）に反映されており、国内・国外の関連学会での報告を通じて対外発信を行なってきている。

### 3. 研究経費の使用

研究経費の使用にあたっては、初年度におけるメンバー個人の使用額の限度を30万円とし、追加費用については、ユニット・リーダーとの事前相談を経て配分額を決めるようにしている。なお、リサーチ・アシスタント（RA）による研究支援体制を構築し、メンバーによる研究費の申請・使用の事務手続きを補助している。

## コーポレート・ディスクロージャーの総合的研究

ユニットリーダー 小西 範幸

### I. 知見と貢献

初年度の研究では、1990年代から始まっている英国でのコーポレートガバナンス改革の全体像を明らかにした。そこでは、会計、内部統制、保証に分けて、その変遷と内容についての検討を行った。会計、内部統制、保証について、其々の研究領域に知見の深い研究担当者が毎月開催される研究会を通して連携を図ったことで、コーポレートガバナンスの本質を明らかにすることができた。

英国では、コーポレートガバナンス改革の一体的な推進を可能せしめるのは、ソフトロー（「コーポレート

ガバナンスコード」と「ステewardシップコード」)とハードロー(会計、内部統制、保証に関わる諸規則)との有機的な連携が図られているためであり、加えて、当該基準等設定主体の改編をもって実効性の向上を図っていることを解明した。そこでは、サステナビリティ情報の開示は必然的なものであって、環境情報をはじめとした近年に注目を浴びている ESG 情報を中心としたサステナビリティ情報の開示のためだけの会計、内部統制、保証等の改革ではないことを突き止めた。

日本においても「コーポレートガバナンスコード」と「ステewardシップコード」を公表しており、2022年度の研究から得た知見は、現在、企業会計審議会の内部統制部会が令和4年12月に公表した「財務報告に係る内部統制の評価及び監査の基準並びに財務報告に係る内部統制の評価及び監査に関する実施基準の改訂について(公開草案)」に対して、当該部会の委員に名を連ねている本構成員から、一定の貢献を示している。

## II. 成果と展望

ESG 情報を中心としたサステナビリティ情報の報告基準が国際的な機関、例えば、国際サステナビリティ基準審議会(ISSB)や欧州財務報告諮問グループ(EFRAG)から公表されている等、サステナビリティ情報の開示に向けての取り組みが促進している。それに関してアメリカ会計学会(AAA)での研究報告等を参考に予定であったが、コロナ禍のため学会参加を断念したために旅費等が未消化になっている。また、インタビュー調査とアンケート調査の実施を延期したため、これに関する関連経費が未消化であり、次年度以降に実施する。

2022年9月5日(月)に関西学院大学で開催された日本監査研究学会第45回全国大会において、「サステナビリティ情報と会計・保証・ガバナンスの展開」という題目で、本構成員からは、小西(青山学院大学)、小俣(明治大学)、柿崎(明治大学)、坂根(長崎県立大学)、平田(神奈川大学)、そして上利(金融庁)が共同で研究報告を行って、当該研究報告書(中間報告書)を公表した。

## 新奇低次元トポロジカル物質の開発とその次世代超低消費電力スピン素子応用

ユニットリーダー 春山 純志

当初の研究目的は、二次元トポロジカル絶縁体(TI)の量子スピンホール効果(QSHE)における一次元ヘリカルエッジスピン流を外部電場などで制御し、エッジ上に積層した磁性体の磁化を磁場無しで室温高効率反転するメモリ素子など室温動作・次世代超低消費電力トポロジカルスピン素子を創製、その基本動作を実現し高温 QSHE に関する多様な知見を得ることであった。そのために、(1) 原子層半導体へのレーザー光描画で創製する室温二次元 TI 相、(2) 原子層六方晶窒化ホウ素(hBN)/SrTiO<sub>3</sub>(STO) 基板上に積層したグラフェンでの高温二次元 TI 相、の2つの系を提案した。このうち本年度は、後者で大きな成果を得ることが出来た。

STO 基板は高誘電率を持ち、低温でも量子誘電相出現によりその高誘電率が保持されるため全温度で高誘電率が基板裏からのバックゲート電圧(Vbg)で制御可能という特徴を持つ。更に高質量のため、強いスピン軌道相互作用(SOC)を持つ。グラフェンは軽元素炭素からなるため本来 SOC を持たないが、今回単原子層 hBN を STO 基板上に貼りその上にグラフェンを積層することで、まず基板の SOC の近接場によりゼロ磁場でグラフェンに二次元 TI 相と QSHE を誘起することに成功した。更に Vbg を印加して基板高誘電率を最大値に制御すると、磁場印加で量子ホール TI (QHTI) 相が出現することを発見した。

QSHE は二次元 TI 相の周辺エッジにゼロ磁場で出現するヘリカルエッジスピン流(反対方向に伝搬する反平行な2つのスピン流)に起因するが、トポロジカルに保護されているため試料に存在する欠陥や不純物の影響を全く受けないという特異な性質を持つ。一方で QHTI 相は印加磁場下で発生する QHE が2個重なって出来、そのエッジスピンが反平行であるという QSHE に似た特徴を持つが、そのスピンはトポロジカルには保護されていない。今回この2つの量子相が、磁場有無に応じて1つのグラフェンで共存することを世界で初めて明らかにした。

この結果を用いると印加磁場・Vbgに応じて、トポロジカル保護有無のエッジスピン流を自在に切り替えでき、新たなスピンメモリ素子を創製出来る。この成果は現在 **Nature Communications** で審査中である。

研究ユニットとしては、特にチームメンバー・北野が所有する低温物性測定装置を本予算で改修し、連携・共有することで、上記現象発見に大きな効果をもたらすことが出来た。本年度購入予定だった低温物性測定装置が、急激な円安のために当初本計画申請時に比べ400万円近い損が出るため総研事務に相談のうえ購入を見合わせた。そこで本予算の一部を活用し上記旧低温装置を補修し大きな成果を得たものであり、チーム内の誘発的連携をまさに活用できた。その意味で予算も効果的に使用されている。

本成果は、上記したように世界トップレベルの学術誌の1つである **Nature Communications** で現在審査中であり、受理されれば世界に向けて青山学院の研究を大いに発信できる。更に既に次年度大きな国際学会からの招待講演依頼が来ており、トルコで5月に開催されるスピンに関する学会、9月にバルセロナで行われるナノテクノロジーの学会への Keynote speaker としての参加を既に受諾している。国内では②品物理学会などで講演を行って発信している。

## モア・ザン・ヒューマン 〈人間以上〉の想像力と語りー環境人文学の研究教育基盤形成に向けて

ユニットリーダー 結城 正美

### 研究目的の進展

昨年度提出した申請書に記載した通り、研究初年度にあたる2022年度は「個人研究第I期」として、ユニットメンバー各人が、以下の通り、それぞれの課題について個人研究をおこない、研究会で進捗状況を共有した。

課題A．土地の記憶と物語（鳥越、西本、松井）

課題B．廃棄と廃墟化（佐藤、結城）

課題C．ナラティブの非人間的転回（マクレディ、結城）

本研究においては、文献読解が重要な作業となる。その進捗状況は、口頭発表や書評に示されている通りであり、各課題の遂行状況は概ね良好である。

また、環境人文学の教育プログラムに関して、本学文学研究科英米文学専攻（連絡教員：結城）、立教大学異文化コミュニケーション研究科（同：奥野克巳教授）、明治大学理工研究科総合芸術系（同：管啓次郎教授）との単位互換に基づく「環境人文学プログラム」（博士前期課程）の実現可能性について、三大学三専攻で協議を開始した。

### 新たな学術的知見の創出

本研究ユニットのメンバーは、2021年度本学人文科学研究所プロジェクトとして始動した「AGU 環境人文学フォーラム」（以下、「フォーラム」と略）の創設メンバーでもあり、フォーラムで年間10回程度開催している研究会に参加している。そこで得た他分野＝多分野の知見を参照し、各人が担当課題の研究において、専門分野の積極的な逸脱と学際的な視点に基づき人文知のとらえ直しをおこなっているところである。

### 構成員相互の研究活動

本研究ユニットメンバーは日常的に電子メールや対面でやりとりをしており、その過程で研究に関する情報共有もおこなっている。また、前述したフォーラムの活動への参加を通して、環境人文学に関する共通理解を形成している。

### 研究経費の使用

初年度にあたる2022年度は、主に研究遂行に必要な図書購入に研究費用をあてたが、年度途中から国内外の移動が比較的自由になったこともあり、研究遂行上必要な研究会や調査等のための出張もおこなった。



## 情報発信

本研究ユニットメンバー各人が、それぞれの専門分野での学術的活動（論文・エッセイ・書評執筆、口頭発表等）を通して、「人間以上（more-than-human）」という概念を参照した学術知の再調整に接続するかたちで情報発信をおこなった。

また、昨年度提出した申請書に、「同一大学の教員による環境人文学プロジェクトは国内では例がなく、本研究によって環境人文学の研究環境が整備され、それが将来的に教育プログラムの構築につながれば、国内での稀有な事例となる」と記したが、この点について、さらに踏み込んだかたちで、『思想』（岩波書店）2022年11月号の「環境人文学」特集で論じ（「3. 学会発表、研究論文等公表状況」の業績6）、本学の取り組みについても紹介した。

## 留学生就職支援を目的とする ICT を用いたビジネス日本語教育の実証的研究

ユニットリーダー 田中 祐輔

本研究では、本学留学生や国内大学の留学生が在学期間中を通して高度なビジネス日本語コミュニケーション力を段階的に修得することができる ICT を用いた仕組みを構築することを目的に、（1）ビジネス現場における言語実態調査によるコーパスの構築、（2）コーパスに基づくオンデマンド学習用映像教材の開発に取り組み、調査分析と実証研究を行っている。

今年度の研究は、当初の予定通り進められ、研究目的に沿って着実に進展している。具体的には、コーパス作成のための言語調査に加え、高い専門性と高い日本語能力を持つ高度外国人材の育成と日本企業への就職促進のための ICT を用いた教育研究に取り組み、ビジネス日本語能力を育成するための5種類のテスト形式のオンデマンド型メディアコンテンツを開発した。また、青山スタンダード科目である留学生向け日本語科目の受講生向け学習サポートとして試用を行なった。

当該オンデマンド型メディアコンテンツは「PART 1 言語知識」「PART 2 情報把握読解」「PART 3 聴解」「PART 4 実務処理」の四つのパートで構成される。開発に伴う研究経費は、主に本システムのコンテンツ制作にあてられ、文部科学省の受託事業などの業務を請け負う業者により、質の高いコンテンツ（音声付きオンデマンド型メディアコンテンツ）が制作された。予定されていた数のコンテンツ制作、および、音声収録が実施でき、経費の効率的かつ効果的な運用ができたものと考えられる。研究成果は『青山スタンダード論集』（『青山スタンダード論集』（18）3-16 2023年1月）に発表し、新たな学術的知見として、（1）ビジネス日本語教育の背景と課題、（2）課題解決のためのオンデマンドビジネス日本語メディアコンテンツの開発、（3）ビジネス日本語メディアコンテンツのアーカイブを用いた青山スタンダード科目における実践と手法に関わる知見が得られた。

情報発信としては、上述の論文発表に加え、二つの発表、2の教材に得られた知見を反映し、日本語教育の展開に資する発信を行った。有能な外国人材を日本の企業と社会へ受け入れる上で最大の障壁の一つは、業種や業界ごとに特徴の異なる日本語ビジネスコミュニケーション力である。しかし現状、日本国内で学ぶ留学生や海外の外国人材は、日本企業での就業前に高度な日本語コミュニケーション力を修得する機会がほとんどなく、日本企業は高度な専門性と能力を持つ外国人材を獲得する機会を失うという悪循環に陥っている。こうした問題を解決する上で役立つ学術的知見を今後も発信すると共に、国内外で利用可能な教材やコンテンツ開発を通し、我が国の外国人材獲得や日本語の発信という課題解決、および、我が国の大学のプレゼンス拡大に資する活動に取り組みたいと考えている。

以上、今年度の研究では、コロナ禍で混迷を深める世界情勢と熾烈さを増す人材獲得競争の中で、我が国の外国人材受け入れ課題の解決を可能とする“グローバルな人材育成と人材獲得環境の創出”が急務となっている状況を踏まえ、留学生へのビジネス日本語教育の強化と日本企業への就職促進のための ICT を用いた教育研究に取り組み、課題解決に向けた考察を行った。

# 住宅政策・構想が地域社会に与える影響に関する史的研究

ユニットリーダー 永山 のどか

## 【研究活動】

2022年度は、住宅保障に関する日独間の理念・制度の違いの要因と、その違いが地域社会の存続に与える影響を、歴史研究として分析することを課題として、以下の点を明らかにした。

**【永山】** 第二次大戦後、西ドイツでは、社会的住宅建設という形で幅広い層への住宅建設助成が本格化した。これは、戦後の深刻な住宅不足を解決する、という社会政策的な意味を持っていた。当時の連邦経済省や被追放民・難民・戦傷者担当省の報告書を分析した結果、住宅助成は、労働力確保や合理化促進等の点で、西ドイツ政府が「社会的市場経済」の経済理念のもとで経済運営を円滑に進めるための重要な政策でもあった点が明らかになった。また、労働者の確保と関連する形で被追放民・東独難民のための住宅助成もなされたが、東独難民の場合、その住宅は1950年代前半から半ばにかけて、特定の地区に集中して供給され、東独難民向け住宅地区が形成された。永山は、ドイツ・シュツットガルトを事例に、東独難民向けにつくられた市営住宅の住民の流動性の度合いと、その住民の出入りの実態や住民の職業分布の変遷を分析した。

**【木下】** 近世日本では、洪水や地震、火災、火山噴火といった大規模災害で人びとが主屋を失ったとしても、公権力たる個別領主や幕府はその再建を保障しようとはせず、村人たちの支援もせいぜい小屋掛けレベルであって、罹災家屋の復興は、基本的に市場任せであったことが判明した。そうした「自助」的な住宅保障は、近代以降も引き継がれ、岐阜県民の4分の1が家を失った1891年の濃尾地震のときですら、政府が用意したのは短期的な食糧支援と小屋掛け程度の住宅提供にすぎなかった。そうした「小屋」は、特段、大工などの職人の手を借りずとも、村人たちの手だけで建て得るものであり、1950年代の村落部でも、火災の罹災家族に対して6坪程度の小屋を村人たちが「共助」で用意している事例が確認できる。1927年に住宅調査を実施した大阪市社会部が、「住宅問題を等閑に附する」「伝統的国民性」を嘆いたのは、故なきことではなかったのである。

**【黒石】** 戦前から戦後にかけての住政策や住宅思想における公営住宅の位置付け、福祉の概念やコミュニティ概念と住宅計画の関係性の歴史などについて、既往研究のレビューを中心におこなって、現代の住宅問題との関係性を探った。また、2023年2月には、米軍占領期に占領政府の指導で行われた日本の住宅復興と生活文化復興事業、都市の地域コミュニティ再建の政策やメディアの役割の調査を、米国で行った。

## 【研究ユニット構成員相互の有機的な連携、研究活動】

本岡拓哉氏、佐藤和宏氏、平山洋介氏、後藤広史氏の講演会を開催しただけでなく、ドイツ・ビーレフェルトの住宅協同組合 Freie Scholle の Anne Lichte 氏にインタビューをして、住宅組合におけるソーシャルワーカーの活動についての知見を深めた。

## 【研究経費の使用】

メンバーによる、海外での資料収集のための渡航費用、外部研究者と zoom でつなぐことによる講演会の実施、そのテープ起こし、書籍購入などに研究費を使っており、効率的・効果的に使用されている。

## 【情報発信】

ユニットメンバー3名を含む構成員で青山学院大学公開講座「戦後の地域社会は多様性を受け入れてきたのか」を実施した。

## 国連 PKO の文民に対する暴力抑制効果—ジェンダー多様性の役割

ユニットリーダー 佐桑 健太郎

- 当プロジェクトは、国連平和維持活動の女性要員比率が紛争地の平和と安定にどのように影響するかを実証的に分析するという当初の目的に沿って着実に進展している。まず、計画通りに初年度は数量データの収集・成型と初期分析を中心に進めてきた。これまでに政策的な因果効果を推定する分析を行った。その一方で、国連担当者などへのインタビューや現地調査は、新型コロナウイルス感染症の拡大により海外渡航が難しくなったことから、現地の調査会社を通じて行う予定である。
- 国連 PKO のうち警察部隊（機動隊含む）の女性要員の増加が紛争地域での市民に対する暴力を減少させる影響を持つことが、新しいデータの分析を通じて改めて確認できた。その一方で、より厳密な因果推論を行うことで、軍事部隊における効果は疑わしく、「ジェンダー多様性が平和をもたらす」と決めてかかることには危うさが伴うという政策的蛾にも得られた。これは、これまで地域研究の文献にみられるエピソードとも整合的であり、学術的・政策的な意義が大きいため、今後さらに精査する必要がある。
- ユニットは佐桑（リーダー）、田中（坂部）の2名およびリサーチアシスタント（研究補助のアルバイト）の体制で、データ分析と実証研究の統括、事例研究、データ収集と成型を行う、それぞれの研究上の強みを生かした分業体制になっている。
- 前述のようにインタビューや現地調査が延期になっていた状況であるため、研究経費はリサーチアシスタントのアルバイト代の支払いが大部分を占めている。データ収集や成型作業は分析に欠かせず、分析を担当するユニットリーダーの作業効率を大きく高めるので、効果的な研究費の使途だと言える。また、必要に応じて書籍なども購入している。
- これまで、学会発表を中心に情報発信を行ってきた。2022年10月には日本政治学会で論文を発表した。加えて2023年3月の International Studies Association 年次大会（国際学会）でも発表した。また、成果は2本の英文論文にまとめ、国際学術誌への投稿を目指している。

## 日本の教育における伝統思想とキリスト教学校の攻防

ユニットリーダー 森島 豊

本年度は大体毎月一回の研究会を行い、外部ゲストへのインタビューと今後の予定を含め合計13回活動を実施しており、継続的な研究活動と構成員相互の内容共有ができ、当初の研究目的に沿って着実に進展している。

研究活動における新たな学術的知見について、我々の想定以上に日本の宗教政策が浸透しており、戦後のオールドリベラリストの世代まで伝統的日本精神すなわち国体思想を相対化することができていないことが分かった。たとえば、賀川豊彦や日本基督教団は日本の国体護持のために積極的な働きを担っていた。また、近年公開された侍従長田島道治の『拝謁記』を通して、無教会の影響を受け後にカトリックで洗礼を受けた天野貞祐が昭和天皇と宮内庁からの影響によって修身化復活の発言をしていたことも判明した。現在、道徳の教科化を実現した貝塚茂樹は、天野貞祐を高く評価し、彼の方針に戻ることに一環として道徳教科化を実現した。

今後必要になることは、日本の伝統思想を相対化できた世代がオールドリベラリストの次世代（戦後民主主義世代）であり、彼らの取り組みの意義を再検討する必要がある。今回インタビューに成功した関田寛雄氏は昨年召されたので、我々のインタビューは遺言のようなものとなった。このインタビューも成果物の出版に収める予定である。

また、次年度の公開講演会として国家神道の戦後への影響を研究している島蘭進氏、元文科省事務次官の前川喜平氏に講演していただくことも決定した。

最初に述べたように、研究ユニットは毎月一度の頻度で研究会を重ねており、構成員相互の有機的な連携が保たれている。また、研究会ではそれぞれの調査報告や意見交換がなされており、活発な研究活動が展開され

る組織となっている。

研究費について、欧米の宣教師たちに与えた思想史的影響などについての資料調査として一名の旅費を執行する予定である。またインタビュー記事の文章化や資料を収集データ化するためアルバイトを雇用し、研究実施に必要な資料収集が進められている。総じて2022年度も研究経費は効率的・効果的に使用されている。

情報発信について、紀要論文や執筆活動、また講演会等によって研究成果を発信している。

## 体力や健康の維持増進に向けた電気刺激を用いた受動的トレーニングの開発

ユニットリーダー 小木曾 一之

### ○研究の進展状況について

昨年度までに実施した実験のデータをまとめた論文を現在、国際誌に投稿している（査読中）。夏休み明けからは、昨年度の実験データも踏まえ、電気刺激（EMS）を用いた受動的トレーニングのメカニズムを探る実験（EMS強度や運動速度に対する酸素摂取量や心拍数などの生理学的な変化を明らかにする実験）を開始した。実験は12月に終了し、現在は得られたデータの分析を行っている。また、実験データに基づき、企業と共同開発していたトレーニング機器のプロトタイプも3月末には完成した。2023年度からは、千葉県にある病院とも協力し、様々な状況下にある人々を対象に、開発した機器を用いてトレーニングを行い、より多くのデータを収集しながら、その詳細なトレーニング効果を探っていく予定である。また、トレーニング実験を行いながら、開発した機器の更なる改良も進めることになっている。

### ○新たな学術的知見の創出や特記すべきこと

昨年度および本年度に実施した結果（本年度分はまだ詳細に分析できていない）から、EMSを筋に与えながらの受動的運動は以下のような特徴（可能性）を持つことが明確になった。

1. 随意的な努力を必要とせず、楽かつ簡単に短期間で筋力を向上させることができる
2. 随意的運動中には増加する酸素摂取量、心拍数、血圧、自覚的運動強度、ストレス値などを有意に増加させない（急激な生理学的変化を伴わない安全かつ楽な運動である）
3. 日常生活における運動を容易にする（歩く・階段を上ることが楽になった・速くなった等）
4. 緻密に運動を制御しなければならない多関節運動の能力を直接向上させることはない

これらの知見は、EMSを筋に与えながらの受動的運動が生活の中での運動を習慣化させるきっかけとして有効であり、その後、様々な多関節運動を同時に取り入れていくことが体力や健康の維持増進に大きく貢献することを示唆している。

### ○研究ユニット構成員相互の有機的な連携と活発な研究活動の展開について

研究の進捗状況について議論するとともに、実験も連携をとりながら積極的に実施している。

### ○研究経費の効率的・効果的な使用

研究経費は、現在までに設備備品としてEMSと連動した新しいトレーニング機器の開発・製作に使用しているとともに、8月終わりにスペインで開催された国際学会（European College of Sport Science）で研究発表するために使用した。

### ○情報発信

まだ論文発表を行っていないため、学会発表として一部分の発信しか行っていないのが現状である。今後は、論文発表を行うとともに、開発した新しいトレーニング機器の市販化も予定されているため、様々な場所で本研究の成果を発信していきたいと考える。

# 無線システムの運用環境改善に向けた電波吸収・シールド技術の開発

ユニットリーダー 黄 晋二

## レーザ誘起法でポリイミドに作成した炭素系導電膜を用いた電波吸収体（黄、須賀）

抵抗膜と金属板を1/4波長隔てて配置した1/4波長型電波吸収体が広く知られており、この抵抗膜をパッチに分割してパターン配列した薄型電波吸収体が提案されている [1]。この薄型電波吸収体の実現には比較的低い面抵抗値を持つパッチを狭い間隔で配列する必要がある。我々はこのパッチを高精度でパターン生成可能な Laser Induced graphene [2] を用いたスクエアパッチアレー薄型電波吸収体について検討した。

図1にスクエアパッチアレー電波吸収体の構造を示す。一例として中心周波数10GHzで垂直入射に対して無反射となるよう本電波吸収体は設計されている。同図に示す様に、本構造は厚さ125 $\mu\text{m}$ のポリイミドに生成された面抵抗値15 $\Omega/\text{sq.}$ 、一辺7mmのスクエアパッチを1mmの間隔をあけて配列したパッチアレーと金属板を裏打ちした厚さ1mmのポリカーボネート板で構成されている。

本研究では、波長445nmの可視光レーザ加工機を用いスキャン速度350mm/min、出力0.54Wのレーザをポリイミドに照射することで炭素系導電膜のパッチアレーを作製した。また、レーザを一定方向にスキャンするラスタ加工を用いるため、作製したパッチはスキャン方向に依存した異方性を持つ可能性がある。図2に作製したパッチアレーを示す。同図に示す様に、150mm角のポリイミドに13 $\times$ 13のパッチアレーを作製した。van der Pauw 法による等方性薄膜とみなして測定したパッチの面抵抗値の平均は14.1 $\pm$ 0.5 $\Omega/\text{sq.}$ であった。

図3に作製した電波吸収体の反射特性の測定結果を示す。ここで、レーザのスキャン方向に対し、入射電界が平行及び垂直の偏波を矩形ホーンアンテナより垂直入射している。また同図にはパッチの面抵抗値を14.1 $\Omega/\text{sq.}$ とした場合の電磁界シミュレータによる反射特性の解析結果も示している。同図から入射電界の方向によってピーク周波数が5%異なっており、作成したパッチの異方性を確認した。また、測定結果とシミュレーション結果が概ね一致し、レーザで作製した導電膜によってスクエアパッチアレー薄型電波吸収体を実現できることを示した。

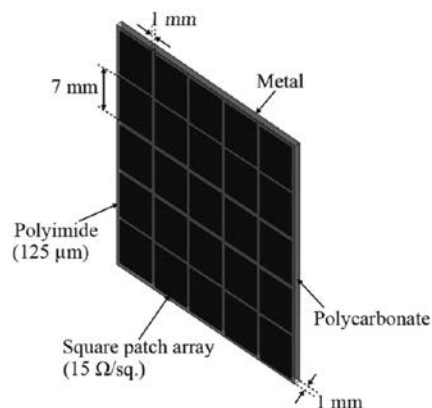


図1 電波吸収体の構造

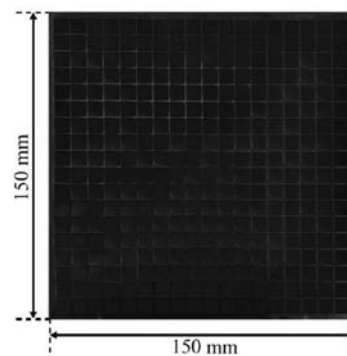


図2 作成したパッチアレー

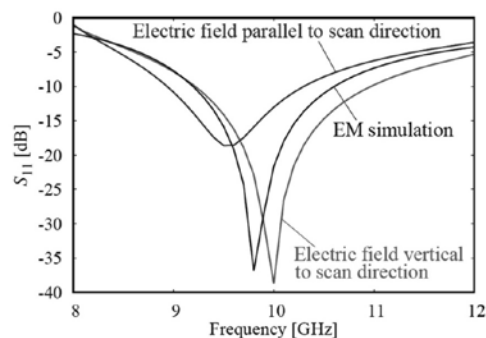


図3 作成した電波吸収体の反射特性

## 平板の容量変動に強い電界結合型ワイヤレス送電シミュレーション（松本）

電界結合型のワイヤレス送電は次回結合型と比べて安価で軽いという特徴があるが、平板容量の変動に弱いデメリットがある。本研究では平板電極の前後にLCL補償回路を設置することで、平板容量の変動に強い電界結合型のワイヤレス送電が実現できることをシミュレーションにより確認した。

図1に検証した回路図を示す。C<sub>0</sub>は送電用の平板電極の静電容量を表しており、その前後にLCL補償器が設置されている。なお一部インダクタはLに統合され示している。これらの値は以下の式によって決定される。

$$C_t = \frac{2}{2\omega^2 L_t}, C_r = \frac{1}{2\omega^2 L_r}, L = L_t + L_r + L_e$$

この回路の入力インピーダンス  $Z$  は

$$Z = \frac{4\omega^2 L_t^2}{2j\omega L_e + \frac{2}{j\omega C_e} + \frac{4\omega^2 L_r^2}{R_L}}$$

であらわされる。この時、 $L_t=L_r$  として

$$\frac{4\omega^2 L_r^2}{R_L} \gg 2\omega L_e - \frac{2}{\omega C_e}$$

が成立するとき、近似的に  $Z=R_L$  となり、 $Z$  は平板容量  $C_e$  に依存せず、 $C_e$  の変動による影響を抑制することができる。

回路解析ソフト PSIM を用いて  $C_e$  を変動させてシミュレーションを行った。比較のため LCL 補償回路の代わりに直列共振補償回路を使用した場合における結果も示す。条件は

$L_t=L_r=2\mu H$ 、 $L_e=5\mu H$ 、インバータ駆動周波数 6.78MHz、入力電圧 250V とし、受電側に整流器と 50Ω の負荷を接続した。図 2 より 80-110pF において LCL 回路を用いない場合は出力が最大値に対して 10% 以下になってしまうのに対し、LCL 回路を用いることで変動を 4.8% に抑えることができた。効率においても  $C_e$  の変動による影響を明らかに低減できることを確認した。なお  $L_t=L_r$  をさらに増加させることによって、より変動を抑えることができるが、 $C_t$  や  $C_r$  に生じる電圧が非常に高くなることに注意する必要がある。

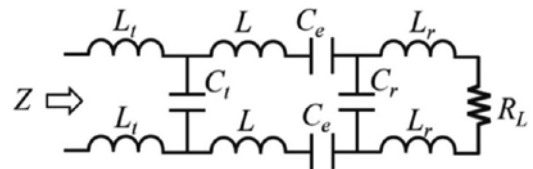


図 1 LCL 補償回路及び平板電極

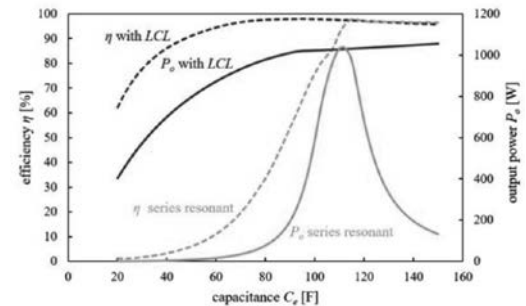


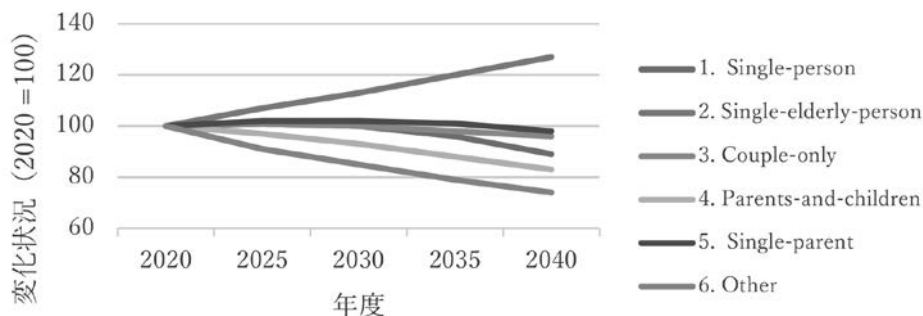
図 2 平板容量に対する効率及び出力電力

## 人口動態の変化が家計のエネルギー消費に与える影響：Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM) による予測

ユニットリーダー 松本 茂

2021年に公刊した論文 (Inoue, Matsumoto, and Mayumi, IJEPS 2021) では、人口の高齢化が家計のエネルギー消費に及ぼす効果が、純粋な高齢化効果、世帯の小規模化効果、世代交代の効果の3つに分けて分析できることを示し、過去の家計のエネルギー消費データを用いてそれらの効果の定量評価を行った。2022年度は、この分析手法に人口の将来推計を組み合わせることで、高齢化に伴い家計のエネルギー消費がどの様に変化していくかを予測した。夏から秋にかけて、この予測結果 (Inoue, Matsumoto, and Mayumi, 2022) を国際学会で報告し、研究者から様々なコメントを貰うことができた。それらを踏まえて2022年冬からは論文の改定を行っている。データ整備に予想よりも多くの時間を要したため、論文の投稿が当初の予定よりも半年程遅れてしまったが、春までには完成論文を英文査読誌に投稿したいと考えている。

なお、上述のデータ分析を通して、高齢化によるエネルギー消費の変化が地域間および世帯間で大きく異なる



家計のエネルギー消費の将来予測 (世帯別)

ることが確認されている。世帯別の比較結果を下図に示している。

これまでの調査からデータの整備と変化の多様性の確認ができたので、現在は2つの方向に分析を拡張している。一つ目はデータの可視化を目的としたGISデータへの落とし込みである。GISによる可視化を行い、それを既存の地理情報と組み合わせることで、新たな知見が得られる可能性が期待できる。この作業は主として高橋が担当しているが、松本・井上・眞弓と高橋で何度か打ち合わせを行い、連携して作業をしている。二つ目はMuSIASEMの適用である。眞弓が夏にバルセロナ自治大学を訪問し、Giampietro博士と我々のデータベースの活用方法について相談を行った。同博士に2023年3月に青山学院に滞在して貰い、具体的な作業を進めた。

最終成果物として2024年度に英文書籍を刊行したいと考えている。2023年3月には、メンバー同士で相談をして書籍の章立てを決めた。

## 19・20世紀のフランス文学とオペラ

ユニットリーダー 和田 恵里

本年度は研究会3回がいずれもオンラインで開催された。

「第4回研究会」[4月9日(土)]では「19・20世紀のオペラの変貌と受容・グランド・オペラからドビュッシーまで」をテーマとし、2名の講師が講演した。和田章男(大阪大学名誉教授)は、「ブルーストのオペラ受容——人間的あまりに人間的」という題で、ブルーストの『失われた時を求めて』の「パリの物売りの声」と称される挿話において、ドビュッシーの『ペレアスとメリザンド』とムソルグスキー『ボリス・ゴドゥノフ』が引き合いに出される点に注目し、19世紀におけるフランス音楽へのヴァーグナーの影響とその後のポスト・ヴァーグナーの流れがどのような形でブルーストの小説に反映されているかを緻密な資料分析によって論じた。稲田隆之(武蔵野音楽大学)は「グランド・オペラの定型化と定型としてのグランド・オペラ——バルザック『ガンバラ』とマイヤベーアからヴァーグナーへ」と題し、グランド・オペラの定型について論じた。まずグランド・オペラの定型の形成に大きく関与することになったジャコモ・マイヤベーアと台本作家ウジェーヌ・スクリーブを取り上げて、グランド・オペラ特有のドラマトゥルギーを検証し、スクリーブがかたち作った「well-made play」の型と19世紀オペラのドラマトゥルギーにとって重要な現象である「タブロー」の関係について論じた。また、グランド・オペラのドラマトゥルギーと美学がヴァーグナーにどのように影響を及ぼしたのかなど、詳細な調査にもとづいた知見が披露された。

第5回研究会[7月30日(土)]では安川智子(北里大学)が「ポール・デュカスの《アリアーヌと青ひげ——1900年代のメーテルランク受容と管弦楽法》と題して、デュカスの音楽劇《アリアーヌと青ひげ》(1907年オペラ・コミック座初演)にみられる新たな管弦楽作品やバレエ、音楽劇へとつながる先駆的要素について論じた。この作品の台本を提供したメーテルランクをはじめ、ヴァーグナー、ドビュッシーとの関係、さらにはストラヴィンスキーとの関係をも踏まえ、デュカスから新たな時代へと開かれる管弦楽作品(劇、バレエ、舞踏、交響詩などの管弦楽、オペラ、オラトリオまでを含む)の出発点としてこの音楽劇を捉えることで、その独自性について意欲的な論考が展開された。レヴィ＝ストロースがヴァーグナー研究から類推して打ち立てた神話と音楽の関係を応用し、象徴的引用をも組み合わせて、オペラ全体を分析・解釈するという画期的な方法論が提示された。

第6回研究会[12月17日(土)]では、ユニット・リーダーの和田恵里が「フロマンタル・アレヴィの《ユダヤの女》とマルセル・ブルースト——《ユダヤの女》の成立・解体・再生」という題で発表した。19世紀の代表的グランド・オペラの一つである《ユダヤの女》のプロットは、哲学者ヴォルテール、シェークスピア、ウォルター・スコット、ヴィクトル・ユゴーなど複数の作家の作品を源泉とし、オペラがその源泉から引き継いだユダヤ人に関する紋切り型が、ブルーストの小説においては解体され、さらに反ユダヤ主義がホモフォビアと交換可能なものと示唆されていることから、《ユダヤの女》の引用は人種あるいは同性愛といった問題を

喚起するのみならず、社会への複眼的思考へと読者を導く1つの符牒として機能していることを考察した。

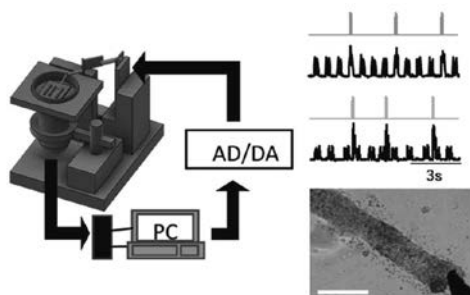
以上の研究会には発表者、客員研究員を含むユニットメンバーに、林信蔵（福岡大学）、中村翠（京都市立芸術大学）、成田麗奈（東京藝術大学）を加えた10名が参加し、毎回、活発な質疑応答がなされた。

2023年1月21日（土）には研究会の集大成としてシンポジウム「文学と音楽のポリフォニー——近現代のフランスオペラをめぐる」がオンライン会議システムを併用して開催された。19世紀のグランド・オペラから近年の《死神だまし》（2017）にいたる近現代のフランスオペラに、音楽と文学の2つの視点から光を当てることを目的とした本シンポジウムには、会場では約15名、オンラインでは約30名の参加があり、フランス文学と音楽学の研究者が出会うことで、互いに新たな地平へと導かれ、研究方法について意見交換することができた。また2023年度中に成果報告論集が刊行される予定である。

## ミクロとマクロの境界における心臓における発生から修復機能の解明

ユニットリーダー 三井 敏之

人類への奉仕として医療に貢献すべく基礎的な心臓と血管に関する未解明の機能を解明することが本研究の目的である。具体的にはダイナミカルな心臓の物理的な動きを、細胞単位のマクロスケールから臓器としてのマクロスケールまで、直接観測を軸に観測する。そして、外的環境の変化を与えて、多階層のスケールで細胞から臓器の形態の応答を調べる。結果については、心臓疾患との関係を探査する。そして、応用として期待することは、心臓疾患の治療への新たな見地を与えること、心臓発生と先天性心疾患との相関から、心疾患の起源や未病の可能性を探査することである。この目的のために、2021年度から2022年度にかけて、観測系の装置の開発・改良を行ってきた。共焦点という断面を細胞レベルで観測することが可能になり、また、直接刺激を与える装置も開発した。刺激にはリアルタイムフィードバック機構を追加した。この機能を含む刺激を心臓に与えるのは筆者が知る限り世界で初めてのことである。このフィードバックは、経時的に変化する心臓の拍動間隔や、不整脈を機会に急にずれる拍動のタイミングをカメラで観測して、自動で刺激のタイミングも変える機能である。スキーマティック図を示す。そして、この装置の特徴を十分に活かした研究成果が2022年度に得られた。ゼブラフィッシュ（小型魚類）の心臓と血管形成時の剪断応力については、特に心臓の発生と力学的応力の関係を示すことができそうである。



2022年度における研究成果は、計画通り外的刺激による線維芽細胞の筋線維芽細胞への分化の誘導について、刺激のタイミングによる違いを発見できたことである。臨床の応用としては心臓の拍動の動きに反するような力学的刺激（ストレス）が疾患の前兆として、線維芽細胞の筋線維芽細胞への分化を引き起こすと言える。フィードバック機構が機能して、また、下地をソフトマテリアルであるPDMSにして細胞培養を行ったことで、心臓内における細胞の振る舞いを平面上の培養で再現できたことで、興味深い結果を得ることができた。2022年度には、最新のデジタル顕微鏡を購入して、解像度の高い動画から、心筋細胞の集合体の拍動解析ができた。また、筋線維芽細胞への分化の確認は、この分野のスタンダードではあるが、一次および二次抗体を用いて細胞を蛍光免疫染色をして、それを共焦点顕微鏡により観測することにより得られた。また、ゼブラフィッシュだけではなく、古代魚ポリプテルスセネガルス（シロウナギ）の心臓の剪断応力の精査も行い、心臓における進化と発生の関係について、心臓の場所による応力の違いから、心臓が高等に進化した理由を導ける可能性もある。2022年9月の第69回応用物理学会秋季学術講演会では、2件の口頭発表と、2件のポスター発表を行った。11月の生物物理学会では6件のポスター発表を行った。3月の応用物理学会では1件の口頭発表と、2件のポスター発表を行った。



## 聖書における「和解」の思想

ユニットリーダー 左近 豊

継続申請時に審査員の先生方からいただいたコメントを踏まえて、本研究が、ポストコロナ時代への貢献となるよう、各メンバーが新しい課題を念頭に置いて、研究活動を続けてきた。COVID-19感染状況の緩和に伴って藤原メンバーが10月～12月にかけて特別研究期間を用いてヨーロッパにて、また左近メンバーが3月に米国にて研究者との対話および資料収集に赴き、論文執筆に資する研究を進める運びとなった。

藤原教授は、聖書的和解の神学的位置づけおよび、聖書的和解と社会に関する研究を担当すべく、スペイン、フランス、トルコ、英国にある諸修道院を訪ねて滞在し、インターネットの情報には開示されない諸情報を修道士らとの対話と資料収集を通して入手し、「和解をもたらす共同体と霊性」を育ててきた修道院の伝統を探求した。これについては論文にして発表する予定である。加えて、学会発表、研究論文においてロシアによるウクライナ侵攻に関する神学的論考を、本研究プロジェクトの一環で行った。

左近教授は、2023年3月16日～23日にかけて米国シカゴとミシガンにて、シカゴ大学オリエン特研究所にて資料収集し、続いて旧約聖書神学の領域において現代を代表する神学者 W. ブルッゲマン名誉教授をミシガンの Traverse City に訪ねて対談を行った。旧約聖書における「和解」の意義について意見交換をし、その内容については刊行物に掲載する予定である。このほか、昨年度の研究発表における旧約聖書における「和解」の語彙の不在に関する議論の検証を行い、これまで看過されてきた新たなヘブライ語における「和解」の語彙についてヘブライ語  $\text{הַלֵּל}$  の D-Stem (Piel, Hitpael) 「(怒りを) 和らげる」をも考察の対象とすることを提案する研究を公にした。

今年度は、昨年度の旧約聖書神学領域の充実に引き続いて、新約聖書神学の領域の研究の充実をはかった。新約聖書分野を担う河野メンバーと大宮メンバーがそれぞれに研究会にて発表を行い、更に、新約聖書学の領域においてパウロ書簡研究の泰斗である辻学教授（広島大学）を招いての公開講演会、および『使徒パウロの神学』『NTJ 新約聖書注解ガラテヤ書簡』の著者である浅野淳博教授（関西学院大学）を特別講師に招いての特別講演を3月上旬に開催し、当研究の充実と青山学院大学の研究プロジェクトの対外的貢献をなしてきた。

河野研究員は、7月5日に、「パウロにおける『和解』—神による『愛敵』としての和解とその継承」と題して研究発表を行った。前年度の左近教授の発表を踏まえて、パウロの「和解」の語彙論的アプローチからパウロの生涯を文脈とする「和解」理解について考察した。ここでは、かつて教会の迫害者であったパウロが異邦人への使徒として召された恵みに「和解」の原点を見出す視点を提示した。すなわち神の主導による「愛敵」の実践、さらには神の側からの「和解」と「赦し」に示されたパウロの神との「和解」が、かつて迫害した教会との「和解」をもたらす、教会の指導者たちの「赦し」につながることを示すものであった。神による「和解」はパウロのアイデンティティを根底から造り変える出来事であり、これをパウロが想起しながら、「和解の使者」として歩みを全うしたことを明らかにした。

大宮教授は、12月8日に「新約聖書に記されたイエスの教えと受難物語における『和解』」と題する研究発表を行った。昨年度の自身の研究を発展させたもので、パウロの「和解」とは異なる福音書における「和解」理解、すなわち「大胆な歩み寄り」としての「和解」理解について一層深められた論考を明らかにした。今回の研究発表では「主の祈り」における「われらの罪を許す如く、われらの罪をも赦したまえ」についてマタイ版とルカ版の語彙を丁寧に分析し、「負債の免除」「過ちの赦し」「罪の赦し」「贖罪と和解の関係性と位置づけ」について考察をした。その結果、「主の祈り」は直接的に「和解」に言及はしていないが、「和解」と密接に関連する「罪の赦し」について「負債免除」との関連を示唆していること、さらに「罪の赦し」は「贖罪」なしに成立しうること、その上で十字架に「贖罪」と「和解」見る視点について、新たに受難物語に注目する必要性を提示する有益なものであった。

# 現実世界の公共財における動態解析と実験室実験による社会的ジレンマ研究の新たな展開

ユニットリーダー 清成 透子

本研究ユニットは、匿名化社会において如何にして協力的な社会の形成・維持が可能か、という問いに挑むために、1) 現実の情報化社会特有のコミュニティに関するデータ解析、ならびに、2) これまでの社会的ジレンマ研究から得られた理論的予測や1) によって得られた知見をもとに、実験室内で作り上げた人工的集団を用いた協力的集団形成の実証的検証の2つを行うことを目的としている。2022年度は最終年度であり、本研究ユニットが取り組んできた活動の集大成に向けた取り組みを行った。本研究は1) の目的のため、株式会社オプテージが運営している格安スマホサービス mineo (マイネオ) の提供する「フリータンク」という顧客同士が協力しあうことで通信パケット量を公共財化するサービスに関するデータ解析を行ってきた。ただし、新型コロナウイルスのパンデミック開始後は、外出自粛等によってモバイルデータ通信量が大きく影響を受け、パンデミック前との単純な比較が困難な状況に陥った。繰り返し襲いかかる大きな感染の波やその時々の政策による人々の行動制限など、未だ混乱の渦中であり、この時期に何らかの断定的な結論を導くことは困難だと言わざるを得ない。したがって、本研究ユニットでは、2021年度に引き続き2022年度も1) に関しては時期尚早な結論を短期間に下すよりは、パンデミック前の平時におけるデータをより丹念に解析することで一般的傾向性を見出す作業を中心に行い、そこから得られた成果を論文化する作業を中心に進めてきた。具体的には、フリータンクの行動履歴データを用いて、ユーザーの行動タイプの変化を検討したところ、年々一方的にタンクアウトするだけのフリーライダーが増加していることがわかり、実験室内で観察されるような公共財ゲームにおけるレモン市場化が現実の社会的ジレンマ状況でも発生していることが明らかにされた。そこで、実際の通信パケット量の提供および引き出し双方の行動履歴データの解析を通して、規則性を見出した後、得られた分布がどのような行動パターンによって生み出されるのかを検討するシミュレーション実験を実施した結果、ごく一部のユーザーによってフリータンクが維持されているメカニズムも併せて明らかとなった。また、タンクインを促す介入策の効果を検討した結果、災害発生時に被災ユーザーに向けて開放される災害支援タンク情報が、必要性への気づきを高め、その結果、タンクイン行動の増加に一定の効果があることが示唆された。2022年度にはこれらの成果をまとめた論文2本が査読付き学術誌と紀要に採択されており、現在もう1本の論文文化作業が進んでいる。2) に関しては、パンデミック前の対面実験で得られたデータとパンデミック中のオンライン実験で得られたデータとの間に生じた不整合の原因究明に努めた。経済ゲーム実験では、参加者の意思決定の匿名性保持が重要であるが、オンライン実験では匿名性の確保が様々な進行上のトラブルを生み出すことが2年間の取り組みで明らかになった。現在まだ解析作業中だが、オンラインと対面という環境の違いに関するデータの蓄積は今後の経済実験ゲーム研究領域の発展にとっても重要である。実験で得られた知見の整理を行った上で、学術論文化する作業と同時に、これまでの1) と2) の成果を併せて最終的な研究成果をとりまとめた刊行物を作成する予定である。

## 2) 研究ユニット研究成果 (総括・要約)

### 一般研究 B ユニット

研究課題：新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開

ユニットリーダー：武内 亮

### 研究成果報告論集

『新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開』

執筆者：武内 亮 鈴木 正 田邊 一仁

#### 1 研究総括

特定の波長の光を照射すると蛍光を放出する分子を蛍光分子という。蛍光分子には様々な用途があるので、新規蛍光分子の創出には物質科学から生命科学まで大きな波及効果を及ぼす。本プロジェクトは、有機合成化学、物理化学、chemical biology を専門とする教員がそれぞれの専門分野を生かしながら共同研究を行い、新規蛍光分子を創出することを目的として発足した。

多環式芳香族炭化水素 (PAHs) は、その特徴的な電子的性質や光学的性質のために近年精力的に研究が進められ、液晶や導電材料や太陽電池への応用が進められている。多環式芳香族炭化水素の一つであるフルオランテンは、ナフタレン環とベンゼン環を含む特徴的構造を有しており、興味深いことに、生物活性化合物にもその構造は見られる。フルオランテン誘導体の一つである FLUN-550 が蛍光プローブとして応用できることが報告されている。また、フルオランテン骨格を基盤とする TPFSPSO<sub>2</sub> が深青色の蛍光を示し、溶液状態でもフィルム状態でも高い蛍光量子収率を示すことが報告されている。フルオランテンの中の炭素原子が窒素原子に置換したものはアザフルオランテンと呼ばれる。遷移金属触媒による [2+2+2] 付加環化反応は原子効率的な芳香環及び芳香族複素環構築法である。武内らは、これまでにイリジウム触媒が [2+2+2] 付加環化反応に有効であり、様々な芳香族化合物及び芳香族複素環化合物の合成を報告してきた。本研究ではイリジウム触媒による 1,8-dialkynyl naphthalenes とニトリルの [2+2+2] 付加環化反応を用いたアザフルオランテン acenaphtho [1,2-c] pyridin の合成を確立し、得られたアザフルオランテンの蛍光特性を明らかにし、さらに細胞実験を用いて蛍光分子プローブとしての応用の可能性を示した。本研究の成果を以下に示す。

アザフルオランテンの一つである indeno [1,2,3-ij] isoquinoline の合成には Pschorr 環化反応が用いられている。一方、本研究で標的とするアザフルオランテンである acenaphtho [1,2-c] pyridine の合成は、その光物性が注目されているにも関わらず、極めて限られている。これまでに報告されている acenaphtho [1,2-c] pyridine 合成法としては、量論量のヨウ素を用いる親電子環化反応、ジヨードナフタレンの鈴木宮浦カップリング/C-H アリール化連続反応、Isocyanoacetates と 8-(alkynyl)-1-naphthaldehydes の [1+2+3] アルドール環化反応が報告されている。これらは量論量の反応であり、触媒的合成法の開発には未だ至っていない。本研究では、1,8-dialkynyl naphthalene とニトリルとの付加環化反応による効率的合成を検討した。その結果、この環化反応には、従来から開発を続けていたイリジウム錯体/diphosphine 触媒系が有用であることを見出した。脂肪族ニトリル及び芳香族ニトリルからは高収率でアザフルオランテンが得られた。また、シアナミドとの反応で得られるアザフルオランテンが強い蛍光特性を示したことから、グラム単位の大量合成法を確立し、新規蛍光分子としての検討を進めた。

芳香族ニトリルおよび脂肪族ニトリルとの付加環化反応で得られるアザフルオランテンの蛍光スペクトルの形状と蛍光量子収率に大きな違いは見られなかった。シアナミドとの反応で得られるアミノ基を有するアザフルオランテンは高い蛍光量子収率を与え、発光極大吸収は 50 nm レッドシフトしたことは注目に値する。モルホリノ基を有するアザフルオランテンの蛍光収率は 27% と 31% であった。ピリジン環にアミノ基を導入する

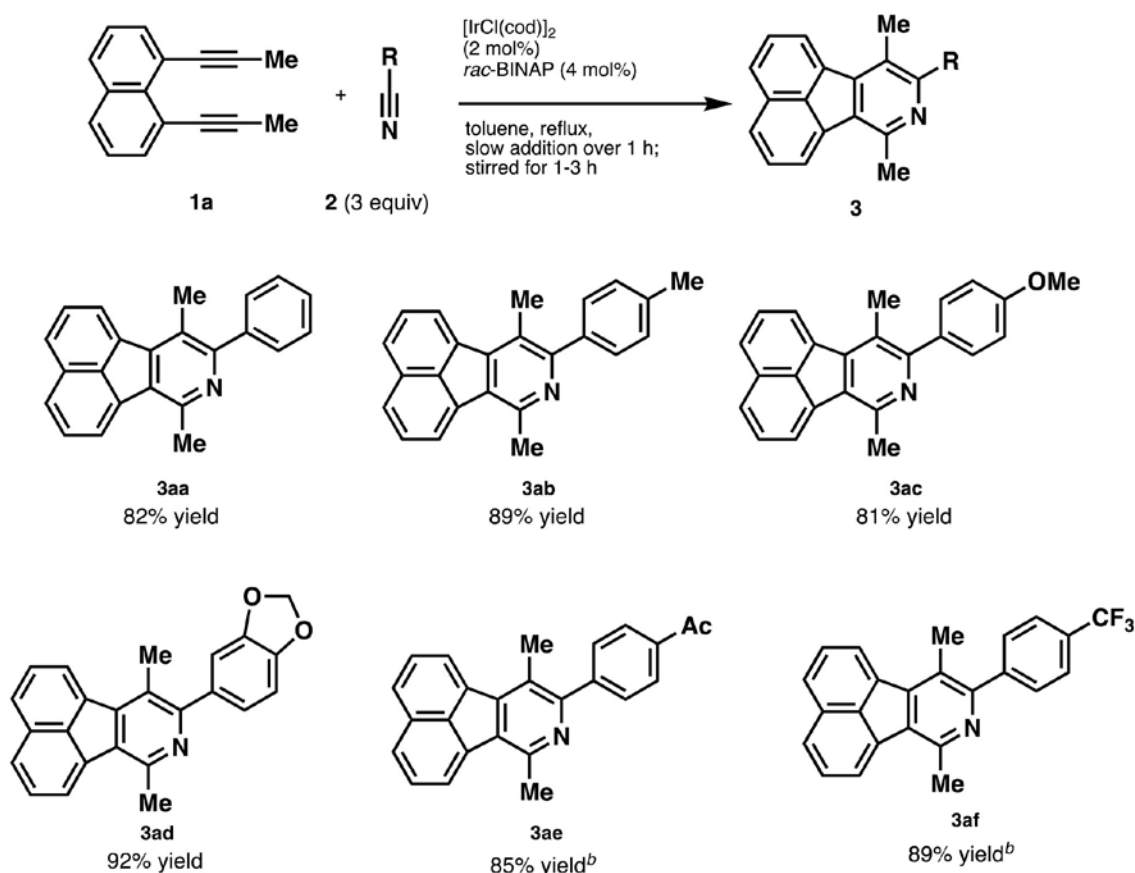
ことにより蛍光量子収率の向上が見られたので、種々のアミノ基を有するアザフルオランテンの合成を試み、それらの蛍光特性を調べた。種々のアミノ基を有するアザフルオランテンの励起状態の知見を得るために、蛍光スペクトルを種々の溶媒中で測定した。溶媒の極性が増加するにつれて長波長シフトすることから、蛍光を発する励起状態が分子内電荷移動 (CT) 性を持つことが示唆された。量子化学計算により調べた、励起状態の電子分布の偏りからも分子内電荷移動 (CT) 性が示唆された。

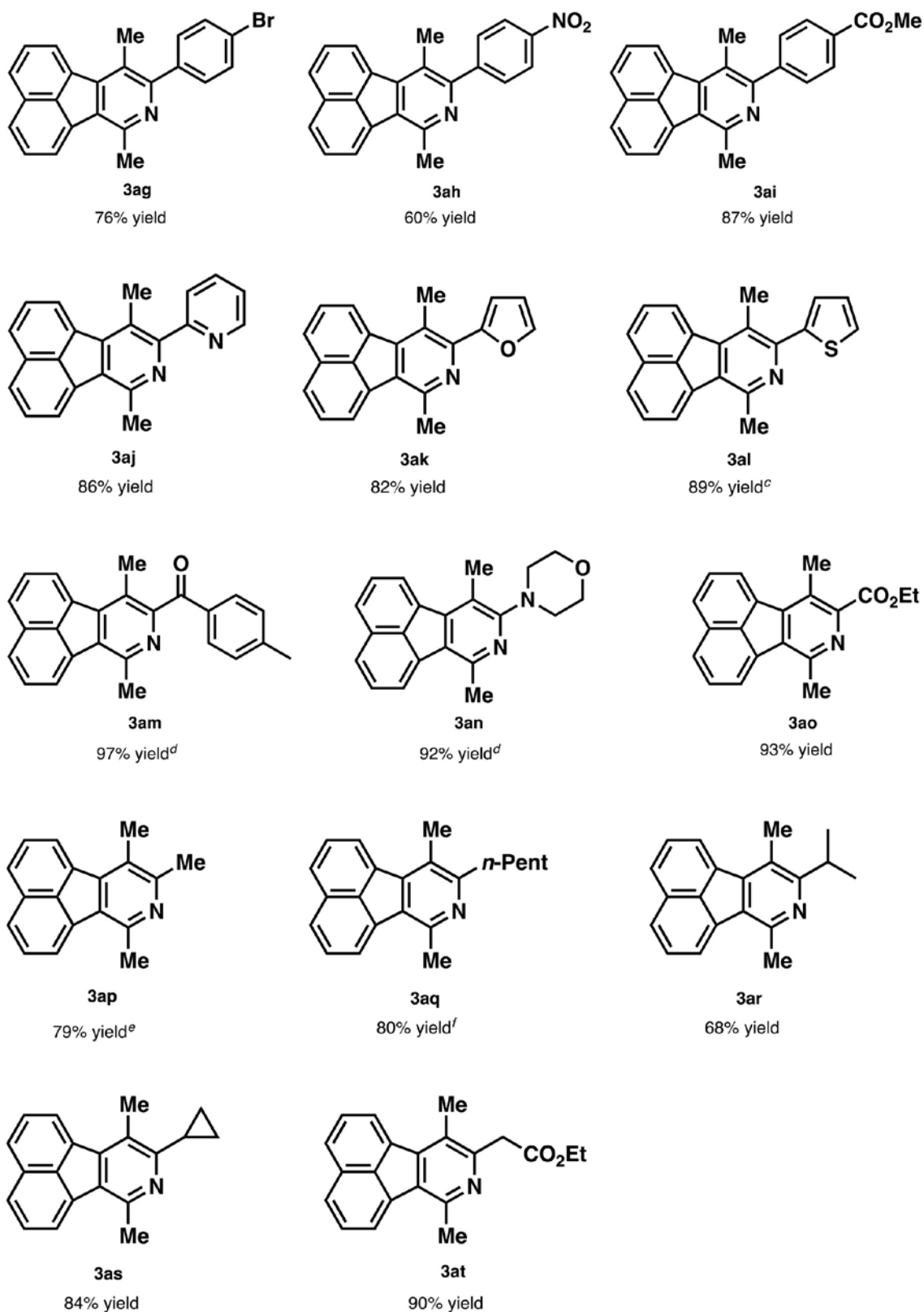
ヒト乳がん細胞株 SK-BR-3 を用いて、アザフルオランテンの生体内での機能を評価した。細胞を 10  $\mu$ M アザフルオランテンを投与し、60 分間培養した。その後細胞を洗浄し、共焦点顕微鏡で観察した。アザフルオランテンで処理した細胞は蛍光発光を示したことから、用いたアザフルオランテンはすべて細胞に速やかに取り込まれたことがわかった。すなわち、アザフルオランテンが生細胞機能を可視化する蛍光分子プローブとしての、潜在的可能性を有することを明らかにした。これらの知見は新規蛍光物質の合成とその応用に貢献するものである。

本研究を支えて頂いた本学総合研究所の皆様に、メンバーを代表して厚く御礼申し上げる。

## 2-1. 要約：武内 亮

ジイン **1a** を用いて、ニトリルの適用範囲を検討した。結果を Chart 1 に示した。メチル基やメトキシ基などの電子供与基を有する芳香族ニトリルもアセチル基やトリフルオロメチル基などの電子吸引基を有する芳香族ニトリルも用いることができ、良好な収率で対応する生成物が得られた (81-92% yields, **3ab-3af**)。さらに、プロモ基、ニトロ基、エステル基は、反応条件下で共存することができ、高い官能基許容性を有する反応であることがわかった (60-87% yields, **3ag-3ai**)。ピリジン環、チオフェン環、フラン環などの芳香族複素環ニトリルとの反応からも良好な収率で対応する生成物が得られた (82%-87% yields)。アシルシアニド、シアナミドなどのニトリル炭素に官能基が結合したニトリルは高い反応性を示し、対応する生成物が 92%-97% 収率で得られた (**3am-3ao**)。脂肪族ニトリルも反応に用いることができた (68-90% yields, **3ap-3at**)。生成物の収率は芳香族ニトリルとの反応に比べて若干低下した。シクロプロピルニトリルは他の脂肪族ニトリルとの反応に比べて良い収率であった。





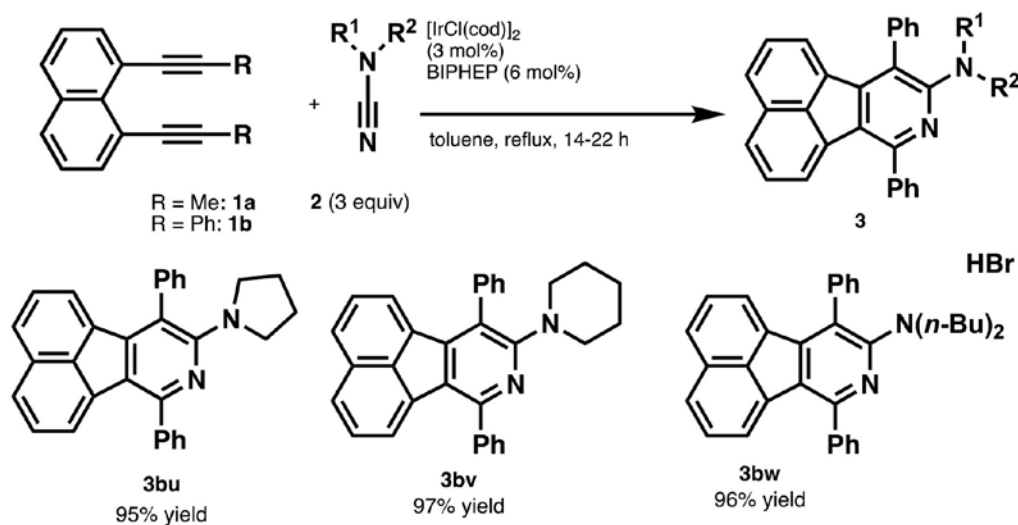
**Chart 1** [2+2+2] Cycloaddition of methyl-substituted diyne **1a** with nitriles **2a**.

<sup>a</sup>A solution of **1a** (0.5 mmol) in toluene (1 mL) was added to a solution of **2** (1.5 mmol), [IrCl(cod)]<sub>2</sub> (0.01 mmol), rac-BINAP (0.02 mmol), and toluene (1.0 mL) over 1 h under reflux, and the vessel was washed with toluene (1 mL).

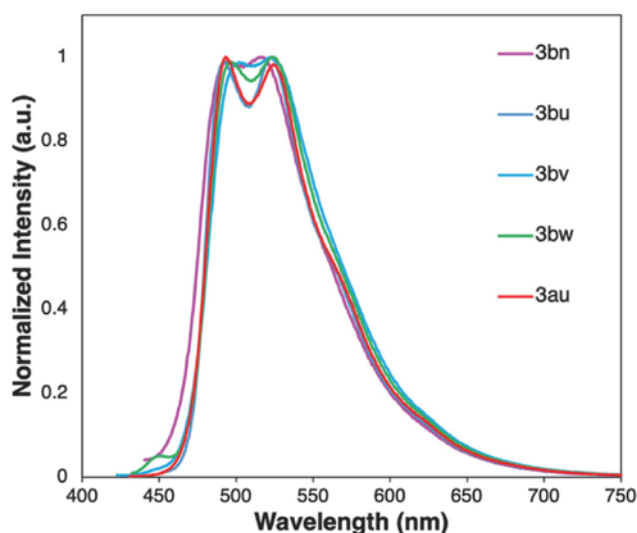
The resulting solution was stirred for 1-3 h. Yields are isolated yields.

<sup>b</sup>BIPHEP was used. <sup>c</sup>**2** (4.0 equiv) <sup>d</sup>**2** (2.0 equiv). <sup>e</sup>**2** (10 equiv). <sup>f</sup>**2** (5.0 equiv).

シアナミドとジイン**1a**及び**1b**との反応は3 mol%  $[\text{Ir}(\text{cod})\text{Cl}]_2$ と6 mol% BIPHEP存在下トルエン還流条件下で良好に進行し、種々のアミノ基がピリジン環に置換したアザフルオランテンが得られた (Chart 2)。ピロリジン環、ピペリジン環、ジブチルアミノ基、メチルフェニルアミノ基、インドリン環を有するアザフルオランテンが高収率で得られた (88-97% yield, **3bu**, **3bv-3by**, and **3au**)。



**Chart 2** Synthesis of amino-substituted azafluoranthenes by [2+2+2] cycloaddition of diene **1** with cyanamides **2**.<sup>a</sup> Reaction conditions: **1** (0.5 mmol), **2** (1.5 mmol),  $[\text{IrCl}(\text{cod})]_2$  (0.015 mmol), BIPHEP (0.030 mmol), toluene (3 mL) under reflux for 19 h. Yields are isolated yields. <sup>b</sup>A solution of **1a** (0.5 mmol) in toluene (1 mL) was added to a solution of **2u** (1.5 mmol),  $[\text{IrCl}(\text{cod})]_2$  (0.02 mmol), *rac*-BINAP (0.04 mmol), and toluene (1.0 mL) over 1 h under reflux, and the reactor was washed with toluene (1 mL). The resulting solution was stirred for 1 h.



**Fig. 1** Normalized fluorescence spectra of **3bn** (purple line;  $\lambda_{\text{ex}}=407$  nm), **3bu** (blue line;  $\lambda_{\text{ex}}=443$  nm), **3bv** (sky blue line;  $\lambda_{\text{ex}}=414$  nm), **3bw** (green line;  $\lambda_{\text{ex}}=423$  nm), **3au** (red line;  $\lambda_{\text{ex}}=420$  nm) in cyclohexane solution ( $5 \times 10^{-6}$  M) at 25 °C.

**Table 1** Photophysical properties of representative amino-substituted azafluoranthenes.<sup>a</sup>



Entry	Compound	Absorption $\lambda_{\max}$ (nm) <sup>b</sup>	Fluorescence (nm) <sup>b</sup> (nm) <sup>c</sup>	$\Phi_F$ <sup>d</sup> (nm) <sup>c</sup>
1	<b>3bn</b>	230, 323, 407	491, 518 (407)	0.31 (440)
2	<b>3bu</b>	231, 325, 443	492, 522 (443)	0.67 (440)
3	<b>3bv</b>	230, 324, 414	499, 523 (414)	0.39 (440)
4	<b>3bw</b>	231, 324, 423	497, 524 (423)	0.44 (440)
5	<b>3bx</b>	230, 325, 420	488, 516 (420)	0.22 (440)
6	<b>3by</b>	232, 335, 455	507, 535 (455)	0.39 (440)
7	<b>3au</b>	229, 301, 343, 361, 420	494, 524 (420)	0.51 (440)

<sup>a</sup>Measured in cyclohexane at 25 °C. <sup>b</sup>At  $5 \times 10^{-6}$  M. <sup>c</sup>Excitation wavelength. <sup>d</sup>Standard for the determination of quantum yields: Fluorescein.

これらのアザフルオランテンの吸収スペクトル、蛍光スペクトル及び蛍光量子収率を測定した。Figure 1にシクロヘキサン中の**3bn**, **3bu**, **3bv**, **3bw**の蛍光スペクトルを示した。これらは同様の蛍光スペクトルを示した (entries 1-4, Table 1)。ピロリジン環が置換した**3bu**が最も高い蛍光量子収率であった (67% quantum yield, entry 2)。一方、アミノ基に芳香環が置換した**3bx**と**3by**の蛍光量子収率は低下した (22% and 39 quantum yield, entries 5 and 6)。ピリジン環にメチル基が置換した**3au**とピリジン環にフェニル基が置換した**3bu**では、**3bu**の蛍光量子収率の方が、**3au**の蛍光量子収率よりわずかに高かった (51% versus 67%, **3au** and **3bu**)。

## 2-2. 要約：鈴木 正

励起状態の知見を得るために、**3bz**, **3bu**, **3bv**, **3bw**, **3au**の蛍光スペクトルを種々の溶媒中で測定した。アザフルオランテン**3bu**, **3bv**, **3bw**, **3au**の蛍光スペクトルは溶媒に依存したが、**3bz**は溶媒の影響を受けなかった。例えば、溶媒をシクロヘキサンからアセトニトリルへ変えると、**3bu**の蛍光のピークは490nmから545nmにシフトした。溶媒の極性が増加するにつれて長波長シフトすることから、蛍光を発する励起状態が分子内電荷移動 (CT) 性を持つことが示唆される。溶媒は**3bu**の蛍光量子収率にも影響を与えた。トルエン中で最も高い蛍光量子収率76%を示した。**3bu**, **3bv**, **3bw**, **3bz**, **3au**のLippert-MatagaプロットをFig. 2に示す。**3bu**, **3bv**, **3bw**, **3au**の $\Delta\bar{\nu}$ 値は溶媒極性パラメーター $F(\epsilon, n)$ に対して線形に増加した。一方**3bz**では $\Delta\bar{\nu}$ 値は $F(\epsilon, n)$ に対して、ほとんど一定の値であった。Lippert-Matagaプロットから基底状態と励起状態の双極子モーメントの差を見積ったところ、**3bu**では7.19D、**3bv**では7.52D、**3bw**では7.37D、**3au**では5.87D、**3bz**では0Dであった。アミノ基がピリジン環に置換していない**3bz**では基底状態と励起状態の双極子モーメントの差はほとんどないことがわかった。アミノ基が置換した**3bu**, **3bv**, **3bw**, **3au**では基底状態と励起状態の双極子モーメントの差は6~7.5Dであることから、アミノ基がピリジン環に置換していることが蛍光特性に必要なことは明らかである。

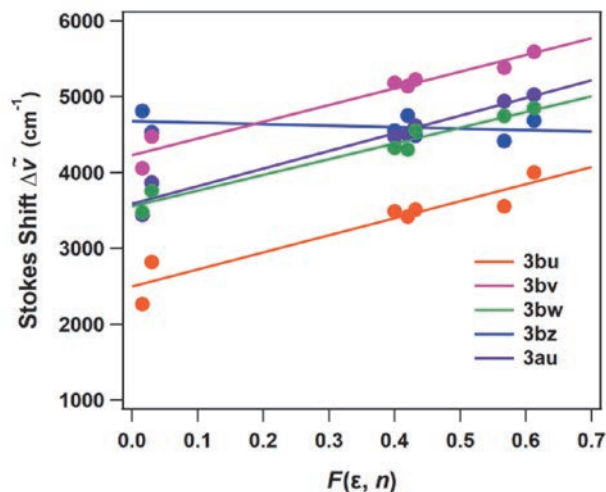


Fig. 2 Lippert-Mataga plots of 3bu, 3bv, 3bw, 3bz, and 3au.

基底状態における最適化した分子構造、分子軌道及び遷移エネルギーを量子化学計算により求めた (PCM/B3LYP/6-311G (d,p) and time-dependent DFT (TD-DFT))。Fig. 3 に3bu, 3bv, 3bw, 3bz, 3au の HOMO, LUMO とシクロヘキサン中での HOMO-LUMO 遷移エネルギーを示した。第一励起一重項 ( $S_1$ ) 状態は HOMO から LUMO への遷移に対応する  ${}^1\pi\pi^*$  状態である。3bu, 3bv, 3bw, 3bz, 3au においては、HOMO は 9 位に置換したアミノ基からアザフルオランテン骨格まで広がっているが、LUMO はアザフルオランテン骨格にのみ広がり、9 位に置換したアミノ基には広がっていない。つまり、3bu, 3bv, 3bw, 3au の  $S_1$  状態は、分子内電荷移動による大きな双極子モーメントをもつと推測される。これらのことは、Lippert-Mataga プロットの結果と一致する (Fig. 2)。9 位に置換基を持たないアザフルオランテン 3bz では、 $S_1$  状態において双極子モーメントの変化は見られない。これは、HOMO と LUMO 共にアザフルオランテン骨格に広がっており、電子分布に偏りは見られないためである。3bz の LUMO はアザフルオランテン骨格に局在化しているが、HOMO はアザフルオランテン骨格と 7 位と 10 位に置換した 2 つのフェニル基に広がっている。3bu, 3bv, 3bw において、HOMO と LUMO 共に 7 位と 10 位に置換した 2 つのフェニル基に分子軌道が広がっていないのは、9 位に置換したアミノ基との立体反発のために、7 位と 10 位に置換した 2 つのフェニル基がアザフルオランテン骨格に対して直交しており、フェニル基の自由回転が制限されているためと考えられる。

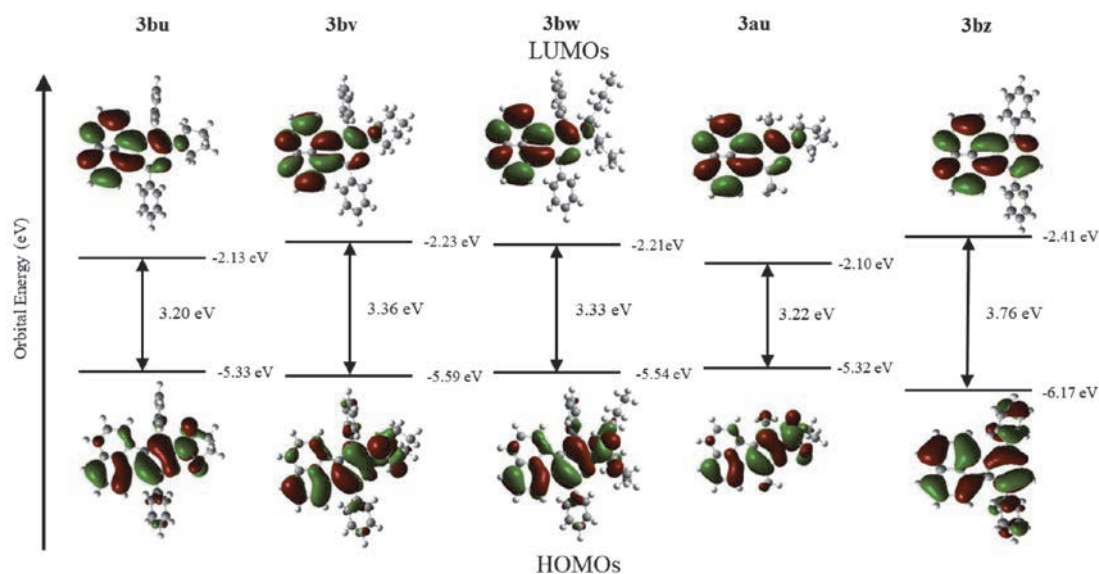


Fig. 3 The HOMOs and LUMOs of 3bu, 3bv, 3bw, 3au, and 3bz. The energy gaps between HOMOs and LUMOs are also described.



### 2-3. 要約：田邊 一仁

ヒト乳がん細胞株 SK-BR-3 を用いて、アザフルオランテンの生体内での機能を評価した。強い蛍光発光特性を示す **3bu** と **3au** を用いた。また、参照化合物としてアミノ基が置換していない **3bz** を用いて細胞実験を行い、**3bu** と **3au** の機能を比較した。まず各化合物の細胞毒性を調べた。SK-BR-3 細胞に対して様々な濃度の **3bz**, **3bu**, **3au** を投与した後、細胞を24時間培養し、細胞生存率を計測した。これらアザフルオランテン化合物は 10  $\mu$ M 濃度条件下で投与しても、ほとんどすべての細胞が生存したことから、これら3つのアザフルオランテンは細胞実験を実施した濃度範囲では、ほとんど毒性を示さないことがわかった。

次に、これらのアザフルオランテンを生きた細胞を対象とした蛍光プローブとして活用できるか検討した。細胞に 10  $\mu$ M アザフルオランテンを投与し、60分間培養した。その後細胞を洗浄し、共焦点顕微鏡で観察した。Fig. 4A に見られるようにアザフルオランテンで処理した細胞は蛍光発光を示した。このことから、用いたアザフルオランテンはすべて細胞に速やかに取り込まれたことがわかった。また、これら化合物の蛍光発光は励起波長により異なる挙動を示した。**3bz** は励起波長 405 nm でわずかに発光するが、より長い波長である 488 nm の励起波長では、ほとんど発光を示さなかった。一方、**3bu** と **3au** は励起波長 405 nm, 488 nm 共に蛍光発光を示した。また、**3bu** は **3au** より強い蛍光を示した。**3bz** と比較して、**3bu** と **3au** が長波長側でも蛍光発光を示したことは、アザフルオランテンの9位に置換したアミノ基の効果と考えられる。細胞中で **3bu** が最も強い蛍光を示すことは注目に値し、生体への応用が容易な蛍光プローブとしては **3bu** が最も適切であることを示している。

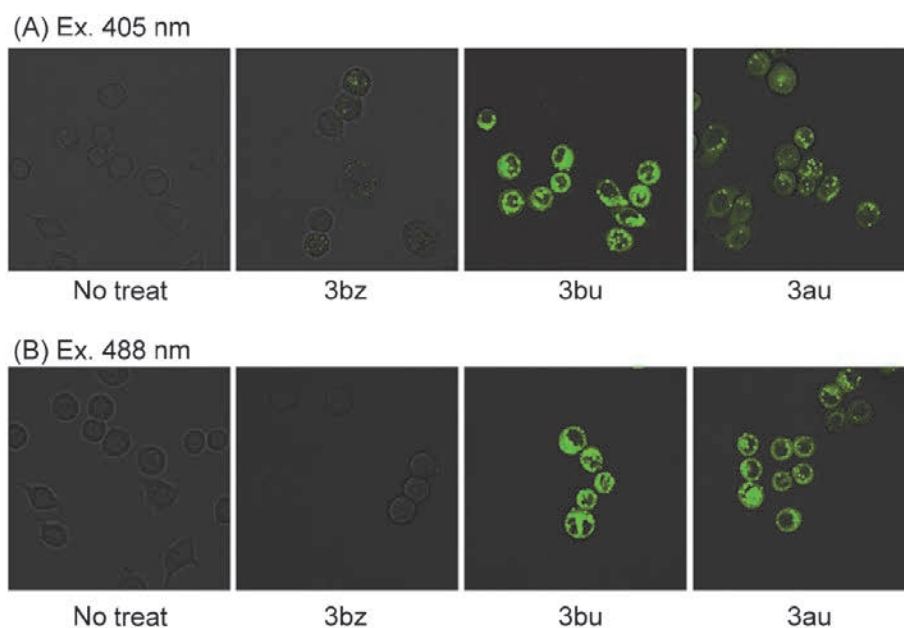


Fig. 4 (A,B) Emission images of SK-BR-3 cells as incubated with **3bz**, **3bu** or **3au** (10  $\mu$ M). After the cells were incubated with azafluoranthenes, the images were obtained by microscopy (A: excitation at 405 nm, B: excitation at 488 nm).

研究課題：超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓  
ユニットリーダー：山崎 了

研究成果報告論集

「超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓」

執筆者：山崎 了 坂本 貴紀 田中 周太 太田 耕司 藤田 裕

<総括>

山崎 了

地球に降り注ぐ高エネルギー粒子（=宇宙線）の起源地天体の同定とその加速メカニズムの解明は、高エネルギー天文学における未解決の問題である。特に、 $10^{15}$ 電子ボルト（PeV=Peta-electronvolt）以下の宇宙線の起源地天体は、我々の住む天の川銀河内の超新星残骸（=超新星の爆発後に残される高速で膨張する天体。Supernova Remnant）が最有力視されているが、その直接的証拠は得られていない。強烈な爆風である衝撃波を伴う超新星残骸は、天の川銀河内に数10個程度あり、これらが銀河宇宙線の加速現場であると考えられている。他の加速源候補としては重い星から出る星風やパルサー星雲の衝撃波などが考えられる。衝撃波は様々な天体に存在するが、そこでの電子宇宙線・陽子宇宙線の生成量はともに不明である。これまで様々なケースで衝撃波での電子・陽子宇宙線の生成量を明らかにするための理論・観測研究が行われてきた。その中で、我々は以下のような研究を行い、可視光観測の重要性に着目した。

- (1) 超新星残骸で、電子宇宙線は電波～可視～X線にわたるシンクロトロン放射をする。一方、地球に降り注ぐ陽子宇宙線の起源地が超新星残骸ならば、源での電子のスペクトルが歪むことが理論的に示唆される（Yamazaki et al. 2009, Astronomy & Astrophysics など）。つまり、電子シンクロトロン放射スペクトルの形状から超新星残骸での陽子宇宙線の量を推定でき、更に、歪みは可視光帯域で最も顕著となる。
- (2) 銀河団の降着衝撃波では電子宇宙線は逆コンプトン散乱の可視光放射をする（つまり、銀河団中心部の質量の集中する領域へ周囲からガスが超音速で流れ込むとき、銀河団周囲に衝撃波が生じ、そこで電子が加速される。加速された高エネルギー電子が宇宙マイクロ波背景放射と相互作用し、可視光帯域でも逆コンプトン散乱放射を起こす）。このとき、測定した面輝度から直ちに宇宙線電子の量を見積もることができる（Yamazaki & Loeb 2015, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society）。なによりも、銀河団の降着衝撃波の同定は宇宙の大規模構造シナリオの世界初の検証という快挙となる。

これらの天体などから狙いの可視光放射を検出すれば、いずれの場合も高エネルギー天文学の業界に大きなインパクトを与えることができる。しかし、その天体の可視光帯域での放射は、表面輝度（単位立体角あたりの明るさ）は $29\sim 30$  mag/arcsec<sup>2</sup>かそれ以下と、とても暗い。そのため可視光帯域での広がった天体の観測は高エネルギー天文学ではほぼ未開拓であった。高エネルギー天体の観測は、これまで電波、X線、ガンマ線によるものが主であった。特に2010年代はガンマ線観測が飛躍的に進み、一部の超新星残骸で予想外のスペクトルが測定されるなど、新たな問題も浮き彫りになっていたが、本研究開始当時はそれも一段落し、次の観測的進展が待望されていた。これまで欠落していた可視光帯域での観測を充実させ、当該分野の観測的新展を加速させたいと考え、本研究を開始した。

本研究では、可視光帯域で $32$  mag/arcsec<sup>2</sup>程度の超低面輝度の広がった天体を観測する手法を新たに高エネルギー天文学に展開し、新分野の開拓に着手することを目指した。広がった天体の観測効率は口径比： $F = (\text{焦点距離}) / (\text{口径})$ の2乗に反比例するため、 $F$ 値が小さいと広がった天体の観測に威力を発揮する（Abraham & van Dukkam, 2014, PASP）。実際、米国のDragonFly望遠鏡は $F\sim 1$ に達する望遠鏡を安価に製作し、低面輝度の銀河観測結果を次々と発表している。我々もDragonFly望遠鏡のコンセプトを採用し、独自に望遠鏡を製作し、超低面輝度の可視光観測の実現を目指した。

セカンド・サイエンスも充実している。我々の望遠鏡は広視野を持つため、突発天体の追観測にも適しており世界の可視光望遠鏡の中でも有数のものとなる。特に、重力波やガンマ線バーストのアラートを受けたら即座に追観測を行い、これらの現象の解明に貢献できる。

上で述べた研究目的を実現するため、2019年度～2021年度の3年間で、代表者の山崎、および、坂本・田中・藤田・太田の4名が情報交換・ディスカッションをしながら主に以下のような共同研究の成果を挙げた。また、本研究に広く関連する研究も行い、論文発表や国内学会、国際会議で発表を行った。

○ AGEHA 望遠鏡の製作と町田グラウンドへの設置、および感度評価：

望遠鏡を本学町田グラウンドに設置した。鏡筒は RH Veloce 200 (F=3, 口径20 cm。Officina Stellare 社製) を用いた。これに冷却 CCD カメラ Atik 11000 (4007 pixel × 2671 pixel, ATIK 社製) をとりつけ、sampling size 3.1秒角、視野3度×2度を達成した。研究開始時は、これらを3台並べ、実効的に  $F = 3/(\sqrt{3}) \sim 1.7$ , 口径  $(\sqrt{3}) \times 20 \text{ cm} = 35 \text{ cm}$  を達成する予定であった。コロナ禍に起因する作業遅延、カメラの故障などもあり、2021年度終了時までには2台の観測準備を完了させた。(2023年7月現在、残り1台の観測準備も完了。) 完成した望遠鏡を「AGEHA」(Aoyama Gakuin Explorer for High-energy Astrophysics) と命名した。望遠鏡の拡散放射に対する理論的な感度の見積り方法の検討と検証も行い、本学町田グラウンドに設置した現在の3台の望遠鏡で29～30 mag/arcsec<sup>2</sup>の放射を検出可能であることがわかった。

将来的には RH Veloce 200 または、RH Veloce 300 (F=3, 口径30 cm) を複数台並べ、これらをすべて同じ領域を観測するように拡張する計画である。そうすると実効的に  $F \sim 1$  かつ口径60 cm 程度の性能を Dragonfly よりも少数の望遠鏡で達成できる。従って、広がった低面輝度放射を探索する上で問題となる望遠鏡の個体差から生じる系統誤差を抑えることができ、我々の設計の方がより強力なものへと進化できるポテンシャルを持つと期待している。今回の我々の設計した望遠鏡が実際に32 mag/arcsec<sup>2</sup>という感度を達成できる見込みが立てば、今後はもっと台数を増やしてグレードアップさせていきたい。

○さまざまな天体からの可視光放射の理論的計算と、観測ターゲット天体の選定：

超新星残骸の可視光帯域でのシンクロトロン放射の表面輝度を、シンクロトロン放射による電子のエネルギー損失の効果と星間媒質による吸収減光の効果を考慮して理論的に見積もり、 $\gamma$ -cygni (6～8月)、HB21 (7～9月)、Cas A (8～10月)、Tycho (9～11月)、Crab・IC443 (11～1月) をプロトタイプ望遠鏡での観測天体と決定した。これらの表面輝度は g-band で28～30 mag/arcsec<sup>2</sup>程度 (Crab のみ 23 mag/arcsec<sup>2</sup>程度) と予想され、今後数年間の観測により可視光放射を検出可能であると考えられる。その他、銀河団衝撃波や矮小銀河からの可視光放射の見積もりも行った。

○その他、超新星残骸、パルサー星雲、銀河・銀河団、ガンマ線バースト、重力波天体などの天体現象についての研究、および宇宙線加速の舞台となる無衝突衝撃波の物理過程についての研究など、本研究テーマに広く関連する研究を行った。

<要 約>

山崎 了

(1) AGEHA 望遠鏡の観測準備の拡散放射に対する理論的な感度の見積り方法の検討と検証を行った。まず、理想的に夜空の表面輝度が20 mag/arcsec<sup>2</sup>ならば、3台の望遠鏡を用いて観測したとき、積分時間を30万秒とすると、g-band で表面輝度 28～29 mag/arcsec<sup>2</sup>の天体を3シグマ以上で検出できると理論的な感度を見積もった。さらにピクセルのビンまとめを行えば、30 mag/arcsec<sup>2</sup>程度の天体を3台のプロトタイプ望遠鏡で観測可能であることがわかった。次に、実際に1台の望遠鏡で M31 (アンドロメダ銀河) や M1 (かに

星雲)等のテスト観測を行い、取得したデータの解析を行った。露光時間3600秒のM31のRバンド(観測波長 $\sim 659$  nm)のデータを解析したところ、銀河円盤の長軸に沿って中心から約46分角離れた場所までの拡散放射を検出できた。過去の文献(Tempel et al. 2011)によれば、その場所の表面輝度は約 $22.5 \text{ mag/arcsec}^2$ である。つまり、3600秒積分の感度は $22.5 \text{ mag/arcsec}^2$ ということになる。この実績から、数10万秒 $\sim 100$ 万秒の露光時間でさらにピンまともめをして統計をあげれば、町田グラウンドに設置した現在の3台の望遠鏡で $29\sim 30 \text{ mag/arcsec}^2$ の放射を検出できることがわかり、理論的な感度予想とおおむね一致した。

さまざまな天体からの可視光放射の理論的計算を行った。超新星残骸からのシンクロトロン放射の見積もりとその結果は、先にく総括>で述べた通りである。銀河団衝撃波からの可視光逆コンプトン散乱放射の理論モデルのパラメータ依存性を詳細に調べ、過去の見積りよりも2 $\sim 3$ 等級ほど明るくなる可能性があることがわかった。また、矮小銀河のダークマター起源の放射の表面輝度を見積もった。その結果、静止エネルギーが $\text{TeV}$ ( $=10^{12}$ 電子ボルト)程度のダークマター粒子の対消滅によってできる電子などの放つシンクロトロン放射は可視光帯域ではとても暗く(最大でも $\sim 40 \text{ mag/arcsec}^2$ )、観測は難しいことがわかった。

(2) 本研究に広く関連する研究として、超新星残骸での宇宙線生成過程についての研究を行い、以下のような成果を得た。

自然界に存在する放射線のうち、1割程度は宇宙空間から絶えず降り注ぐ宇宙線と呼ばれる高エネルギー粒子によるものである。このように身近な宇宙線が発見されたのは約100年前であるが、宇宙線の源(宇宙線加速器)がどこにあるのか、宇宙線が加速源をどのように出発して地球までどのように伝播してくるのか、これら根本的問題はすべて未解明である。エネルギーが $\text{PeV}$ ( $=10^{15}$ 電子ボルト)以下の銀河宇宙線の源の最有力候補は超新星残骸であるが、その直接的証拠はつかめていない。銀河宇宙線は、加速 $\cdot$ 逃走 $\cdot$ 伝播という3つの過程を経て地球へ届く。それぞれの過程で電磁波放射を行うため、それらの理論解析と観測により各過程を研究することができる。そこで我々は、特に高エネルギー粒子が加速源から逃走して銀河宇宙線となる逃走過程についてガンマ線観測とX線観測データをもとに考察した。

まず、超新星残骸で加速された高エネルギー粒子が、いつ宇宙空間に解放されているか調べるために、38個の超新星残骸の熱的X線放射のスペクトル解析を行い、得られた高温プラズマのイオン化時間から超新星残骸の年齢を推定した。また、Fermi衛星LAT検出器で観測された超新星残骸のガンマ線スペクトルの解析も行い、全ての超新星残骸のガンマ線スペクトルをカットオフをもつ冪乗分布または折れ曲がりのある冪乗分布でフィットできることを示した。これらの結果より、超新星残骸の衝撃波付近に閉じ込められている被加速粒子の最高エネルギーとエネルギー総量を推定した。その結果、我々の見積もった超新星残骸の年齢が大きいほど、衝撃波に閉じ込められた加速陽子の最高エネルギーとエネルギー総量が減っていくことがわかった。衝撃波近傍に閉じ込められた被加速粒子が超新星残骸の周囲へと解放されていくのに要する時間は平均1万年 $\sim 10$ 万年程度であると見積もった。さらに最高エネルギーの時間発展の測定結果を理論計算と比較した結果、ほとんどの天体の加速 $\cdot$ 逃亡過程に関して最もシンプルなボーム極限の仮定は適さず、星間物質や分子雲と衝撃波との衝突を考慮する必要があると分かった。

次に、衝撃波近傍での被加速粒子の最高到達エネルギーが $\text{PeV}$ に達するか、また、それは天体ごとに違うのか調べた。その結果、単純な宇宙線加速 $\cdot$ 逃走シナリオのもとでは、生涯に超新星残骸が加速する宇宙線の最高到達エネルギーが $\text{PeV}$ に達するのは少数である可能性が高いことがわかった。ガンマ線放射の明るい領域の最高エネルギーが天体全体よりも10 $\sim 100$ 倍程度低くなるバイアスがある可能性もあるため、この結果は確定したとは言いきれないが、少なくとも最高到達エネルギーには天体ごとに1000倍程度の開きがある。粒子加速のタイムスケールが天体によってバラバラであることが示唆される。

- (1) AGEHA 望遠鏡の観測準備に関して、望遠鏡の構成部品（鏡筒、冷却 CCD カメラ、赤道儀、フィルター、観測小屋など）を購入し、望遠鏡を組み立て、動作確認後、町田グラウンドに設置した。電源やコンピュータネットワーク等のインフラも整備し、データ取得および遠隔操作の制御 PC の設置も行った。冷却 CCD カメラについては、外気温に対する冷却性能の変化、および、冷却温度と露出時間によるダークノイズのレベル特性評価を行った。これらは実際に観測データの解析を行う際に必要不可欠な基礎データとなった。
- (2) 本研究に広く関連する研究として、ガンマ線バーストについての観測研究を行い、以下のような成果を得た。

(2-1) ガンマ線バースト (GRB) は、およそ数10キロ・電子ボルト～数メガ・電子ボルト程度のガンマ線が0.1秒から数100秒程度の間、観測される突発天体現象である。ガンマ線バースト本体の発生直後から、電波・赤外線・可視光・X線、さらに、ギガ～テラ電子ボルト帯域ガンマ線といったほぼすべての電磁波の波長帯域で、数日から数年にわたり残光が観測される。ガンマ線バーストは中心エンジンから何らかの過程によって光速の99.9%以上の速さの細く絞られたプラズマ流（相対論的ジェット）が放出され、それを進行方向のほぼ真正面から見たものであると考えられているが、中心エンジンの生成メカニズム、ジェットの生成メカニズム、放射メカニズムは宇宙物理学における未解明の大問題の一つである。ガンマ線バーストの残光の標準モデルは、ジェットと周囲の星間物質の衝突により生じる衝撃波で加速された電子によるシンクロトロン放射やシンクロトロン自己コンプトン放射をするというものである。一般に X線残光の光度曲線は複数の折れ曲がりを持ち、数千秒から数万秒程度の間、観測者時間の $-0.5$ 乗よりもゆるく、ほとんど一定の明るさでごくわずかに減衰する時期がある。これを緩慢減衰期と呼ぶ。最もシンプルな残光の標準理論では X線残光は観測者時間の $-1$ 乗よりも緩やかな時間的減衰を説明するのは難しいため、未だ緩慢減衰期の理論的説明は未確立である。これはガンマ線バースト業界に今も未解決問題として残る最大の謎のひとつとなっている。

我々は、Fermi 衛星搭載の Large Area Telescope (LAT) 検出器や地上大気チェレンコフ望遠鏡によりギガ電子ボルト～テラ電子ボルトの高エネルギーガンマ線・超高エネルギーガンマ線が検出され、同時に、Swift 衛星搭載の X-ray Telescope (XRT) でガンマ線バースト発生後400秒以内に観測された26個のガンマ線バーストの X線残光のデータを解析した。その結果、上記26イベントのうち9イベントでは、X線残光の光度曲線は緩慢減衰期を持たないことがわかった。残りの17イベントに対しては、高エネルギーガンマ線・超高エネルギーガンマ線が検出されなかったイベントの緩慢減衰期と比べると、X線残光の光度曲線の減衰が急な傾向にあった。さらに、高エネルギーガンマ線・超高エネルギーガンマ線が検出されなかったガンマ線バーストについても同様の解析を行なった。その結果、X線残光曲線が緩慢減衰期を持たないガンマ線バーストの割合は、高エネルギーガンマ線・超高エネルギーガンマ線が検出されなかったイベントに対しては3%、高エネルギーガンマ線・超高エネルギーガンマ線が検出されたイベントに対しては35%であった。これらの解析結果から、緩慢減衰期がない X線残光を持つガンマ線バーストは、即時放射のエネルギーが大きく、初期に全てのエネルギーが衝撃波に注入されている可能性が考えられる。

(2-2) ガンマ線バーストの即時放射のスペクトルで極大となる光子エネルギー $E_p$ を「ピーク・エネルギー」と呼び、これはガンマ線バースト本体の観測的性質を表す指標になっている。ピーク・エネルギーは数キロ・電子ボルト～数メガ・電子ボルトの広範囲に連続的に分布することが知られていたが、このような多様性の起源は未解明である。理論的解釈のモデルはいくつか提唱されているが、どれも決定打に欠けるのが現状である。そこで我々は  $E_p$  の多様性の物理的起源に迫るため、 $E_p$  の大小と X線残光の振る舞いの間に相関があるかどうかを調べた。まず、Swift 衛星搭載 BAT 検出器で観測されたイベントのスペクトル解析を行い、高エネルギー光子数と低エネルギー光子数の割合（ハードネス）、および、 $E_p$  を算出した。次に XRT 検出器で観測されたガンマ線バーストの X線残光の解析を行った。その結果、X線残光の光度は  $E_p$  が小さいほど暗い傾向があり、残光の減衰の仕方も緩やかになることがわかった。この結果をジェットの見込む方向による違いだけで説明するのは難しいため、ガンマ線バーストのジェットは多様性を持つことが示唆される。

## <要 約>

田中 周太

(1) AGEHA 望遠鏡の観測準備に関して、取得したデータの解析システムの構築を行った。数10万秒～100万秒の露光時間を実現した際のデータ解析に備え、並列計算機システムを導入し、また、データ解析手法の検討を行った。データ蓄積と読み込みのソフトの動作環境の整備等を行った。観測計画の立案のため、天体ごとに、高度（水平線からの角度）、観測可能な季節と時間、観測の邪魔になる月の明るさ・位置の情報から観測すべき日時を計算するソフトを開発した。

(2) 本研究に広く関連する研究として、(2-1) ガンマ線バーストについての理論研究や、(2-2) 無衝突衝撃波についての実験研究を行い、以下のような成果を得た。

(2-1) ガンマ線バースト (GRB) の起源は宇宙物理学における未解明の大問題の一つである。2018年以降、複数のガンマ線バーストに対して、地上に設置された大気チェレンコフ望遠鏡である MAGIC や H.E.S.S. などにより、テラ・電子ボルト帯域の超高エネルギーガンマ線の残光が有意に検出された。このことはガンマ線バーストの諸問題解明に向けて新たな突破口になるものと期待されている。それらの中で、GRB 190829A は、ガンマ線バースト本体の発生後およそ2万秒後に H.E.S.S. によって超高エネルギーガンマ線が検出されたが、即時放射の全放射エネルギーが典型的なイベントよりも10倍以上小さく、さらに、X線と可視・赤外帯域での残光は発生後約2000秒後に同時に極大を迎えたという珍しい特徴がある。我々はガンマ線バースト本体の放射や残光放射の理論モデルを構築し、GRB 190829A についての特異な観測結果の説明を試みた。その結果、このイベントは開き角0.015ラジアン of 狭いジェットがガンマ線バースト本体および初期の X線～可視光～超高エネルギーガンマ線の残光を放射し、さらに、開き角0.1ラジアンの広いジェットが後期の X線～電波残光を放射しているとすれば観測結果を説明可能であることがわかった。このように、ガンマ線バーストを引き起こす相対論的ジェットは2成分あることが示唆された。GRB 190829A と類似した2成分を持つジェットのモデルは、本研究終了時点までに超高エネルギーガンマ線が検出された全てのイベント (GRB 180720B, 190114C, 201216C) の多波長残光も説明可能であることがわかった。さらに、開口角が大きいジェットを斜めから見込んだ場合に、現在本格稼働を開始した地上チェレンコフ望遠鏡 CTA によりガンマ線バースト本体を伴わない「親なし残光」が検出可能であることもわかった。今後、モデルの妥当性を検証するためには、ガンマ線バースト本体の発生から数100秒～数1000秒の可視光帯域の残光のふるまいが重要であることが GRB 190829A についての研究を通じて再認識でき、AGEHA 望遠鏡でガンマ線バーストのフォローアップ観測をする際の良い目安となった。

(2-2) ガンマ線バースト等の天体現象や、超新星残骸、銀河団等の天体には普遍的に衝撃波が存在する。このような宇宙の低密度媒質中の衝撃波では、媒質プラズマ粒子間のクーロン衝突の平均自由行程が遷移層の厚みに比べて桁違いに長い無衝突衝撃波である。そのため衝撃波面の周辺で速度の大きな非熱的粒子の存在が可能である。すなわち一部の粒子たちは電磁波動による散乱を受ける等して、エネルギーを獲得する (粒子加速)。しかし、その過程の詳細は未解明である。これに起因し、高エネルギー粒子の総量が決まらず、満足に理解できない天体現象が多数あるのが現状である。粒子加速過程を調べる伝統的手法は、超新星残骸や地球周辺に存在する無衝突衝撃波を観測することや、マクスウェル方程式と荷電粒子の運動を同時に解く粒子シミュレーションなどであったが、それぞれ観測精度や計算能力の限界もあるため、完全理解には程遠い状況である。そこで、従来の天体観測、理論・シミュレーションに続く衝撃波の第3の研究基盤ツールとすべく、地上の高強度レーザーを用いて無衝突衝撃波を生成する実験にチャレンジした。2019年度～2022年度に大阪大学レーザー科学研究所の大型レーザー「激光 XII号」を用いて行った実験で、宇宙プラズマ衝撃波を実験室に生成することに成功した。実験では条件を制御でき、再現性も担保される。これが実験室ならではの強みで、衝撃波の研究ツールとして実験が加わることで、この分野の研究が大きく進展する可能性がある。

(1) AGEHA 望遠鏡の観測準備に関して、広がった天体を観測する際の AGEHA 望遠鏡の感度予測の方法や、星などのノイズ除去の方法について助言を行った。また、想定される面輝度の放射を実際に検出する際にはフラット補正の精度が重要であることを指摘し、そのデータ取得の方法、および解析手法等について考察した。望遠鏡設置の最初期には、得られた画像から、光学系が適切に組み立てられていない可能性を見出し、光学系の調整の必要性を指摘した。

(2) 本研究に広く関連する研究として、(2-1) 高エネルギー宇宙線の起源天体の一つと考えられる超高エネルギーニュートリノを放出した天体の性質に関する研究、(2-2) ガンマ線バーストの発生する銀河（母銀河）の性質に関する研究、(2-3) 重力波天体の可視フォローアップ観測等を行い、以下のような成果を得た。

(2-1) 高エネルギー宇宙線起源天体の候補の1つとして、Blazar と呼ばれる活動銀河核がある。銀河の中心には一般に超大質量ブラックホールが存在するが、その周辺からプラズマのジェットが光速に近い速度で噴出されているものがある。そのジェットの進行方向が我々に向いている場合に Blazar として認識される。このジェットに伴い、超高エネルギーニュートリノも放出されていると考えられている。ニュートリノは電氣的に中性であるため、宇宙の中を直進することができ、宇宙線起源天体の同定に重要な役割を果たす。2017年に IceCube 実験で PeV 程度の高エネルギーニュートリノが検出されたが、その起源天体の同定に寄与し、TX 0506+056という Blazar が起源天体であることを明らかにした。その後、この天体がどのような特徴を示すのかを調べるために、可視・近赤外での光度の時間変化の観測を続けた。その結果、TX 0506+056ではいろいろな時間スケールの時間変動が見られ、また、明るい時には青いという傾向があることもわかった。その挙動は、通常の Blazar 種族のそれと比べて特段に変わった特徴は見られなかった。すなわち、時間変動の観点からは、特殊な Blazar が超高エネルギーニュートリノ起源天体というわけではないことが分かった。

(2-2) ガンマ線バースト（GRB）には、継続時間の長い種族（ロング GRB と呼ぶ）と短い種族（ショート GRB と呼ぶ）に大別される。前者は質量の大きな星の進化の最期の爆発に伴うものと考えられており、銀河の星形成率のトレーサーではないかと考えられている。しかし、一方でロング GRB が出現する銀河は金属量が小さいといった通常の星形成銀河とは少し違う面があり、星形成銀河のよいトレーサーになっていないのではないかと指摘もあった。この解釈の違いは、宇宙の星形成史を GRB で探ることの妥当性にかかわる重要な論点になっていた。そこで、サブミリ波望遠鏡である ALMA 望遠鏡等を用いて、ロング GRB の発生した銀河（母銀河）の分子ガス（星形成の元になるガス）の量の探査を行った。当時としては最大のサンプルを構築し、これを用いて観測を行った。その結果、GRB 母銀河は同時代の星形成銀河の性質と比べて大きく変わらないことがわかり、ロング GRB が星形成のトレーサーとなる可能性をサポートする結果が得られた。

(2-3) 重力波望遠鏡（LIGO と VIRGO）が稼働していた O3 と呼ばれる観測期間中の2019年4月から2020年3月までの間、重力波起源天体の同定とその性質の解明を目指して、重力波天体の可視・近赤外でのフォローアップ観測を行ってきた。この観測は多くの研究者が多くの望遠鏡を用いて coordinate して行い、重力波天体の候補を探査した。20を超える重力波イベントに対して、フォローアップ観測を行ったが、残念ながら、O3の期間には確実な重力波天体の可視同定ができたものはなかった。しかし、この追観測を行ったことにより、どのように coordinate してフォローアップ観測を実施するのか、さらに、得られた観測データの早期データ処理・解析・天体検出をどう実施するか、といった手法の一層の確立等に寄与することができた。今後の重力波観測の可視・近赤外フォローアップ観測にその経験が活かされるものと期待される。

(1) AGEHA 望遠鏡の観測準備に関して、本学町田グラウンドを訪問して、サイトにて光軸合わせ、極軸合わせの作業を行った。年間通して湿気対策を講じることで電子機器やケーブル端子の損傷を防ぐことが急務であることを指摘し、その具体的な解決方法を提案した。同様に、冬季に夜露が望遠鏡に付着するのを避けるための具体的方策を提案した。

(2) 本研究に広く関連する研究として、超新星残骸のガンマ線放射についての理論・観測研究を行い、以下のような成果を得た。

(2-1) 超新星残骸の中には非常に高いエネルギーのガンマ線を放射するものがあるが、その起源はわかっていない。HAWC や Tibet などの観測により、超新星残骸 G106.3+2.7のガンマ線スペクトルは約0.1 PeV(ここで、PeV=10<sup>15</sup>電子ボルト)まで伸びていることが確認されているが、もしガンマ線が陽子起源である場合、その陽子は PeV まで加速されていることになり、G106.3+2.7は PeV 陽子宇宙線加速天体 (PeVatron) と呼ばれることになる。一方、ガンマ線が電子起源である可能性もあるため、X 線放射を調査することで陽子起源と電子起源を判別することを試みた。

我々は、G106.3+2.7をカバーする X 線天文衛星 Suzaku の3つの視野 (East, Middle, West) のアーカイブデータを解析した。その結果、全領域から淡く広がった X 線放射を検出することができた。しかし、ガンマ線が放射されている Middle および West 領域ではなく、超新星残骸の外側に位置する East 領域において、X 線放射の表面輝度が最大となることが明らかになった。これは、電波放射の場合と同様である。

解析結果を用いて、電波からガンマ線にわたるスペクトルエネルギー分布を検討したが、これだけでは陽子起源と電子起源を区別することはできなかった。しかし、X 線 (および電波) 放射の空間分布がガンマ線の分布と異なることが明らかになり、このことから、X 線 (および電波) の起源とガンマ線の起源が異なる可能性が示唆された。最も妥当な解釈は、X 線 (および電波) 放射がパルサー PSR J2229+6114によって加速された電子に起因し、一方ガンマ線放射は分子雲と相互作用する陽子に起因するというものである。実際、Middle および West 領域には分子雲が存在する。ただし、G106.3+2.7は年齢が1万年ほどの古い超新星残骸であるため、現在までに PeV 宇宙線が加速されているとは考えにくい。したがって、超新星残骸が若い時期に加速された PeV 宇宙線が何らかのメカニズムで分子雲に閉じ込められている可能性もある。

(2-2) 若い超新星残骸である RX J1713.7-3946のガンマ線放射について理論的な考察を行った。超新星残骸と周囲の星間ガスとの相互作用を考慮し、解析的モデルに基づいて宇宙線の分布を与えた。また、超新星残骸内部のクランプ領域では磁場が増幅されることを考慮し、高エネルギー宇宙線がクランプ内部に侵入すると仮定した。このモデルを用いてガンマ線放射を計算したところ、計算されたガンマ線放射スペクトルは TeV (=10<sup>12</sup>電子ボルト) 付近にピークを持ち、観測をよく再現することができた。

一方、最近の研究において、RX J1713.7-3946の表面を覆う格子上の各点における星間ガス柱密度 ( $N_p$ )、X 線表面輝度 ( $I_x$ )、ガンマ線表面輝度 ( $I_g$ ) の値が3次元空間で平面状に分布することが指摘されている。この指摘を踏まえ、本研究では超新星残骸の空間構造を考慮しながら、その原因を解明することを試みた。まず、超新星残骸が完全に球対称な場合を考慮したところ、格子点上の ( $N_p$ ,  $I_x$ ,  $I_g$ ) の分布は平面状になることがわかった。しかし、この平面の向きは観測結果と一致しなかった。そこで、さらに超新星残骸の中心周りの方位角方向 (動径垂直方向) に一定でない場合も考慮した。その結果、宇宙線電子-陽子比が一定でない場合や星間ガス密度が一定でない場合は、平面の向きが観測結果と一致することがわかった。以上の結果から、超新星残骸の中心周りの方位角と ( $N_p$ ,  $I_x$ ,  $I_g$ ) の分布との相関を調べることで、宇宙線電子-陽子比と星間ガス密度の可能性を区別することができることが示唆される。



# 研究課題：鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究

プロジェクト代表：北野 晴久

## 研究成果報告論集

### 『鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究』

執筆者：北野 晴久 孫 悦

#### <総括>

北野 晴久

#### 1. 研究の背景と目的

2008年に日本で発見された鉄系超伝導体は、銅酸化物系と同様に電子間の斥力的相関が強い系で起こる高温超伝導体であり、磁束量子のピン止め制御が困難な銅酸化物系に比べ、磁場中でも超伝導特性が劣化しにくい特徴を持つ。鉄系超伝導体の中で最も単純な結晶構造を持つ鉄カルコゲナイド超伝導体では、鉄原子とカルコゲン原子（硫黄、セレン、テルル）からなる四面体構造が擬2次元的な超伝導層を形成し、超伝導層が単純に積層する層状結晶となる（図1）。鉄カルコゲナイド超伝導体は、結晶構造の単純さとは裏腹に、磁気秩序を伴わずに電子系の回転対称性が破れる電子液晶秩序の出現やトポロジカル相転移など、他の鉄系超伝導体に比べてはるかに多彩な特異的物性を示す。さらに、電界キャリア注入や電気化学的層間分子注入（電気化学インターカレーション）によって超伝導転移温度が急上昇することが報告されており、これらを活かした新機能デバイスへの応用が期待される。

鉄カルコゲナイド超伝導体のうち、セレンをテルルで一部置換するFe(Te,Se)では、自己フラックス法による単結晶育成時に残留する過剰な鉄原子が超伝導特性を阻害するため、結晶育成後に過剰鉄を除去する必要がある。本研究の開始以前、研究代表者の北野は、集束イオンビーム（以下、FIB）加工によるFe(Te,Se)単結晶の微細加工とイオン液体による電気化学的手法を組み合わせ、微細加工部分の過剰鉄を効率的に除去する独自技術を開発した。これは高品質な単結晶ベースの超伝導素子の作製と電気化学的手法による新たな特性制御への可能性を示す結果と考えられる。そこで、鉄系超伝導体単結晶への微細加工と電気化学的特性制御を掛け合わせる新機能超伝導素子の創製を目指し、様々な鉄系超伝導体単結晶の育成と輸送物性評価で多くの研究実績を挙げている孫助教と協力し、以下の3つを具体的目的とする本研究プロジェクトを開始した。

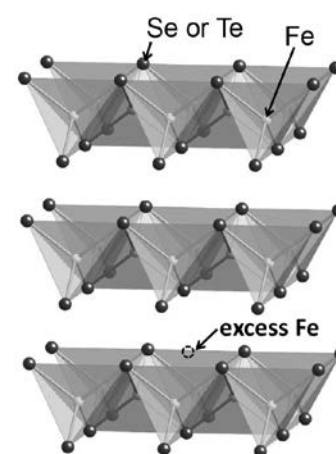


図1 Fe(Te,Se)超伝導体

- (1) 基本素子となる超伝導微小ブリッジ素子の作製と電流電圧特性の解析
- (2) 低温磁気輸送特性の測定環境構築と単結晶試料の高品質化
- (3) 微細加工と電気化学的手法を組み合わせた新たな特性制御の探求

#### 2. 研究成果

本研究プロジェクトでは、研究開始の約3ヶ月前に国内の液体ヘリウム供給量が激減する緊急事態が発生し、液体ヘリウムに依存した従来の低温実験環境を大幅に見直す決断をした。予算執行計画を見直し、無冷媒冷却装置と無冷媒超伝導マグネットを導入した。さらに、研究期間中、新型コロナウイルスの感染急拡大に伴い、入構制限や納期遅延など様々な影響を受けた。また、電気化学的な特性制御に関して、当初の予想を大きく上回る困難に直面した。この困難は、電気化学反応が本質的に試料表面との界面で起こることに起因する。

このため、十分な効果を得るには、FIB 加工だけでは達成が難しい原子層レベルの試料サイズが望ましいことが判明した。

以上のように、本研究プロジェクトは、必ずしも当初の予定通りに研究遂行できなかったが、FIB 加工を駆使した微小ブリッジ素子の作製と超伝導臨界電流の特性評価を中心に、様々な研究成果が得られた。以下、研究目的に沿って得られた成果を総括する。

1. 単結晶ベースで作製された微小ブリッジ素子の電流電圧特性から非平衡超伝導に関係する3つの興味深い物理現象を観測した。1つは、電流印加に伴う磁束量子の侵入を実効的に抑え、超伝導電流の増加に伴う超伝導電子対の破壊、すなわち、対破壊電流極限への到達である。2つめは、ブリッジ断面積を約  $0.03\mu\text{m}^2$  まで小さくした Fe(Te,Se) 素子における非平衡ジョセフソン電流の観測である。3つめは、微小ブリッジ部分に Pt 電極を作製した FeSe/Pt 微小接合素子におけるアンドレーエフ反射の観測である。非平衡超伝導は超伝導素子の動作原理や性能解析に不可欠であり、鉄系超伝導体による新機能素子応用への重要な道が切り拓かれた。
2. 本研究で導入した無冷媒冷却装置と無冷媒超伝導磁石は、液体ヘリウムよりもはるかに少量のヘリウムガスを繰り返し断熱膨張させる GM 冷凍機により、絶対温度約 3 K、磁束密度 9 T までの低温磁場中測定を可能にした。FeSe 微小ブリッジ素子の電流電圧特性を磁場中で測定し、超伝導面に平行な磁場印加（面平行磁場）に伴う対破壊電流密度の減少が極端に小さいことを見出した。さらに、Fe(Te,Se) で期待されるトポロジカル超伝導の発現に向け、Fe サイトを Co で少量置換した単結晶試料の過剰鉄除去に取り組むと共に、バルク試料の磁気輸送特性測定から面平行・面直磁場に対する上部臨界磁場の温度依存性を求めた。
3. 過剰鉄除去の場合とは異なり、超伝導特性の電気化学的制御には FIB 加工だけでは達成困難な原子層レベルの極薄膜化が重要なことが判明した。このため、粘着テープを用いた機械剥離法による単結晶薄膜の作製に取り組む一方、分担者の孫助教が、中国東南大の Zhixiang Shi 教授の研究グループと共同で、FeSe バルク結晶への電気化学的プロトン注入実験に成功し、電界キャリ注入と同様に結晶構造を大きく変えることなく、超伝導転移温度を絶対温度 44 K まで上昇できることを見出した。これは、厳しいサイズ条件が課される電界方式よりも簡便に超伝導特性を制御できる新手法として注目される。

### 3. 今後の展開

本研究プロジェクトでは、無冷媒冷却装置と無冷媒超伝導磁石を整備し、絶対温度 3 K かつ磁束密度 9 T までの低温磁場測定環境を整備した。さらに、鉄カルコゲナイド超伝導体の高品質単結晶試料から微小ブリッジ素子を作製し、非常に興味深い非平衡超伝導現象の観測に成功した。この研究は、現在、ブリッジ形状に起因する電流集中効果の検証や機械剥離法で得られる単結晶薄膜の微小ブリッジ素子の作製、および別の鉄系超伝導体  $\text{BaFe}_2(\text{As,P})_2$  における対破壊電流密度の P 濃度依存性の研究に展開されている。これら以外にも、本研究成果に関連して、今後展開を計画している新たな研究テーマが複数ある。

トポロジカル超伝導の発現が期待される (Fe,Co)(Te,Se) に関しては、過剰鉄の除去を Te 添加アニールと酸素アニールの両面で展開すると共に、磁気輸送特性評価から Hall 係数を求め、その Co 濃度依存性を詳しく調べる研究を展開中である。さらに、低温で超伝導ではなく、スピン密度波秩序が形成される FeTe 単結晶の磁気輸送特性との比較や磁気抵抗の磁場依存性測定にも着手している。さらに、本研究プロジェクトで目指した電気化学的特性制御に関しては、FeSe 結晶に対するプロトン注入と微細加工の組み合わせも視野に入れつつ、現在は機械剥離法による単結晶極薄膜の作製とマスクレス露光法による微小電極の作製に取り組み、近い将来、再挑戦する予定である。

最後に、本研究プロジェクトを採択・支援いただいた青山学院大学総合研究所の関係各位に深く感謝申し上げます。

## 研究成果リスト

### 学術論文

1. “Achieving the depairing limit along c-axis in  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$  single crystals”, Y. Sun, H. Ohnuma, S. Ayukawa, T. Noji, Y. Koike, T. Tamegai, and H. Kitano, Phys. Rev. B 101, 134516 (2020) .
2. “Comparative study of superconducting and normal-state anisotropy in  $\text{Fe}_{1+y}\text{Te}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$  superconductors with controlled amounts of interstitial excess Fe”, Y. Sun, Y. Pan, N. Zhou, X. Xing, Z. Shi, J. Wang, Z. Zhu, A. Sugimoto, T. Ekino, T. Tamegai, and H. Kitano, Phys. Rev. B 103, 224506 (2021).
3. “Focused ion beam microfabrication of single-crystal nanobridge toward Fe (Te,Se)-based Josephson device”, T. Miyazawa, N. Tadokoro, S. Horikawa, T. Tamegai, Y. Sun and H. Kitano, Journal of Physics: Conference Series 1975, 012010 (2021).
4. “Protonation-induced discrete superconducting phases in bulk FeSe single crystals”, Y. Meng, X. Xing, X. Yi, B. Li, N. Zhou, M. Li, Y. Zhang, W. Wei, J. Feng, K. Terashima, Y. Takano, Y. Sun, and Z. Shi, Phys. Rev. B 105, 134506 (2022).

### <要 約>

鉄カルコゲナイド超伝導体の微小ブリッジ素子における非平衡超伝導現象の観測と磁気輸送特性の測定環境構築

北野 晴久

鉄カルコゲナイド超伝導体 ( $T_c=10\sim 15\text{K}$ ) は、鉄系超伝導体の中で最も単純な結晶構造を持ちながら、他の鉄系及び銅酸化物系超伝導体にはない特異性によって強い注目を集めてきた。本研究で着目するのは、電気化学的な電界キャリア注入による  $T_c$  の急激な上昇とトポジカル量子物性の発現である。本研究では、Fe (Te,Se)単結晶に対する FIB 微細加工を駆使し、超伝導層に垂直な面間微小ブリッジと平行な面内微小ブリッジを各々作製し (図 1)、その電流電圧特性を詳しく解析した。さらに、無冷媒冷却装置と無冷媒超伝導磁石を導入して低温磁気輸送特性の測定環境を構築し、微小ブリッジ素子の磁場中測定や過剰鉄を除去した Co 置換系バルク単結晶試料の磁気輸送特性を評価した。

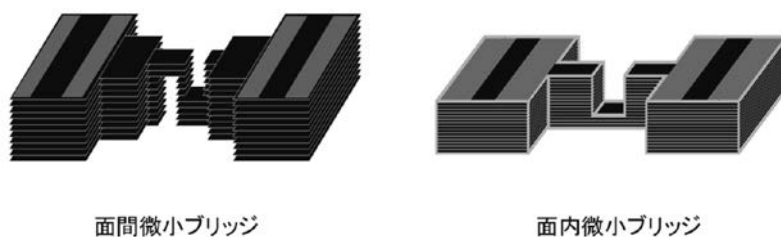


図 1 微小ブリッジ素子の模式図

通常、第 2 種超伝導体のバルク試料や超伝導線材の場合、ゼロ抵抗を破る超伝導臨界電流は、超伝導体内部に侵入する磁束量子が輸送電流から力を受けて駆動するデピンニング機構に支配される。しかしながら、微小な断面積を持つブリッジ構造の場合、磁束量子の侵入が実効的に抑えられ、デピンニング電流より大きな超伝導電流が輸送され、その運動エネルギーが超伝導凝縮エネルギーを上回り、超伝導電子対が破壊される対破壊電流極限に到達することが期待される。

本研究で作製された Fe(Te,Se)単結晶の面間および面内微小ブリッジ素子の電流電圧特性から得られた臨界電流密度は、いずれもバルク試料のデピンニング臨界電流密度よりも 1 桁程度大きく、対破壊電流密度の温度依存性に関する理論計算とよく一致する結果が得られた。さらに、得られた臨界電流密度の異方性が過去に報告された磁場侵入長の異方性にほぼ一致することが分かった。これは、超伝導凝縮エネルギーを凌駕する超流

体の運動エネルギーが電流方向に依存しないことから自然に説明される。すなわち、我々の測定結果は、高品質単結晶試料における超伝導電流の理想的限界値に非常に近いと考えられる。従来、対破壊電流密度測定は、磁束量子が発生しない第1種超伝導体や強い乱れが避けられない第2種超伝導体の極薄膜試料を用いた測定に限定されてきた。本研究は、乱れが非常に少ない高品質単結晶試料でも FIB 加工によって対破壊電流極限に到達し得ることを実証した。

次に、ジョセフソン型超伝導素子の作製に向け、FIB 加工で面間ブリッジ素子の断面積を極限まで小さくする研究を行った結果、ブリッジ断面積が約 $0.03\mu\text{m}^2$ の Fe(Te,Se)微小接合素子の作製に成功し(図2)、低温領域の電流電圧特性に特徴的なフット構造を観測した。この構造は、超伝導ブリッジの中央を局所的に狭くするショートブリッジ素子で観測される振舞いと似ており、狭小部分に電流密度が集中すると、その部分の準粒子が実質的に閉じ込められて非平衡実効温度が結果的に減少することによって増強される非平衡ジョセフソン電流の寄与と理解される。すなわち、典型的なジョセフソン接合とはやや異なるものの非平衡ジョセフソン電流の寄与を捉えた結果と考えられる。乱れの少ない高品質単結晶で、この効果が観測されるのは初めてである。今後、素子サイズや加工ダメージの精密制御を詳しく調べることにより、新機能素子開発への糸口が見つかる可能性が高いと期待される。

本研究で観測された3つめの非平衡現象は、超伝導体と常伝導金属との清浄界面で発現するアンドレーエフ反射である。FIB 装置内で Pt を含む反応分子ガスを試料に吹き付け、集束 Ga イオンビームの照射部分に Pt を堆積させる機能を用いて、微小ブリッジ上に常伝導 Pt 電極を形成した。超伝導体と常伝導金属の接合界面にトンネル障壁が形成される場合、超伝導ギャップの外側でトンネル電流が流れるが、接合界面が清浄な場合、超伝導ギャップの内側でも常伝導金属中の電子が界面付近の別電子と対形成して超伝導体側へ電子対トンネルする。このとき、接合界面の常伝導金属側では、電子が1個消失する代わりに正孔が1個生成し、接合界面に到達した電子と逆向きに正孔が伝搬するアンドレーエフ反射が起こる。この現象は、異方的超伝導体のアンドレーエフ束縛状態やトポロジカル超伝導体のマヨラナ準粒子状態の検出にも利用されている。本研究では当初、高次トポロジカル量子現象の観測を目指し、Fe(Te,Se)/Pt 微小接合素子の測定を繰り返した結果、接合界面特性が清浄界面に近いことが判明し、最低温の接合抵抗が最小となる電極配置の FeSe/Pt 微小接合素子において(図3)、アンドレーエフ反射を表す明瞭なゼロバイアスピークを観測した。ただし、別の電極配置では異なる微分伝導度スペクトルが得られるなど現時点では未解明部分が多く残る。今後、接合界面にトンネル障壁を導入する技術も併せて開発するなど実験結果を左右するパラメーターをより精密に制御することにより、得られた微分伝導度スペクトルの統一的理解を目指す必要がある。

上記の研究と平行し、本研究では無冷媒冷却装置と無冷媒超伝導磁石を導入し、絶対温度 3 K かつ磁束密度 9 T までの低温磁場測定環境を構築した。さらに、低温磁場中で試料を回転できる専用プローブを用い、試料に対する磁場方向を変えた磁気輸送特性測定を行った。まず、面直磁場と面平行磁場の2つの配置で FeSe 微小ブリッジ素子の電流電圧特性を測定し、対破壊電流の磁場依存性を調べた。その結果、面平行磁場に対する対破壊電流の減少が顕著に小さいことが分かった。次に、上で述べた Fe(Te,Se)/Pt や FeSe/Pt の微小接合素子に対する磁場中微分伝導度スペクトルを測定し、FeSe/Pt 微小接合で観測されたアンドレーエフ反射に伴うゼロバイアスピークが面直と面平行のいずれの磁場に対しても容易に消失しないことを突き止めた。さらに、Te 添加アニールで過剰鉄を除去した  $\text{Fe}_{1-\chi}\text{Co}_\chi\text{Te}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$  ( $\chi=0.05$ ) 単結晶を用いて、 $B=9\text{T}$  までの磁場中電気抵抗を測定し、面直と面平行の2種類の磁場に対する上部臨界磁場の温度依存性を調べた。本研究プロジェクト

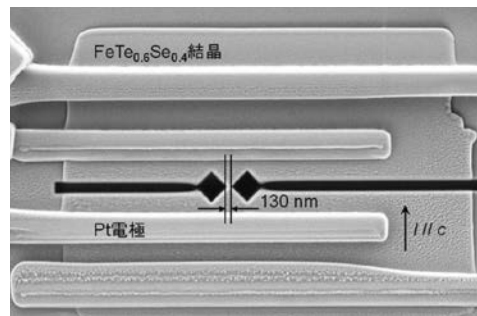


図2 Fe(Te,Se)微小接合素子の SEM 像

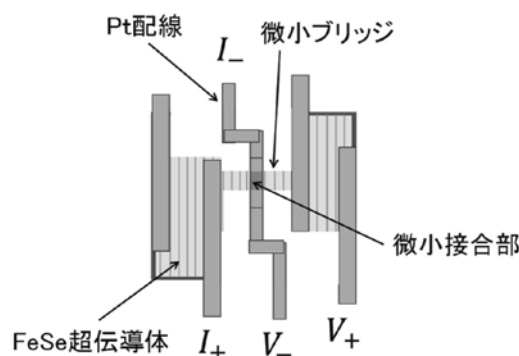


図3 FeSe/Pt 微小接合素子の模式図

の終了後は、 $\text{Fe}_{1-\chi}\text{Co}_\chi\text{Te}_{0.6}\text{Se}_{0.4}$  ( $\chi=0, 0.05, 0.1$ ) 単結晶に対する温度固定磁場掃引測定に着手し、電気抵抗の縦成分と横成分の同時測定から得られる磁気抵抗や Hall 係数の Co 濃度依存性について詳しく調べている。

以上より、本研究では鉄カルコゲナイド超伝導体単結晶の様々な微小ブリッジ素子を作製し、その特性評価から興味深い非平衡超伝導現象を数多く観測することができた。非平衡超伝導は、今後、様々な分野で利用が期待される超伝導デバイスの動作原理や性能特性に直結するという意味で極めて重要である。また、本研究で過剰鉄除去による高品質化に取り組んだ Co 置換鉄カルコゲナイド超伝導体は、トポロジカル超伝導体の有力候補でもある。本研究で得られた成果をさらに発展させれば、ジョセフソン素子や常伝導金属との微小接合素子の作製を通じ、耐障害性に優れたマヨラナ準粒子状態の検出や特性制御実験に着手できると期待される。これに向け、さらなる低温実験環境を構築する準備を進めていく予定である。

## 鉄カルコゲナイド超伝導体に対する電気化学的プロトン注入の研究

Sun Yue

The iron chalcogenide superconductor, FeSe, has recently garnered significant attention due to its distinctive properties, particularly the remarkable adjustability of its superconducting (SC) transition temperature,  $T_c$ . For example, bulk superconductivity with high  $T_c$  above 30–40 K has been achieved in heavily electron-doped FeSe by intercalating alkali/alkali-earth metals (e.g.,  $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$  [1]), ammonia (e.g.,  $\text{Li}_x(\text{NH}_3)_y\text{Fe}_2\text{Se}_2$  [2]), or organic molecules (e.g.,  $(\text{CTA})_{0.3}\text{FeSe}$  [3]) into the adjacent FeSe layers. To get deeper insight into the high- $T_c$  superconductivity, it is of great importance to determine how the electronic orders, electronic structures, and electronic properties evolve with doping in intercalated FeSe. However, the electron doping induced by intercalation in FeSe thus far is always concomitant with the change of crystal structure (enlargement of the FeSe interlayer distance), from “11” anti-PbO-type to “122”  $\text{ThCr}_2\text{Si}_2$ -type. This complication hinders the understanding of the mechanism behind  $T_c$  enhancement. To address this challenge and investigate the evolution of  $T_c$  in FeSe, the electrostatic gating technique, which enables the continuous tuning of carrier concentration, has proven to be an effective approach in inducing high- $T_c$  superconductivity.

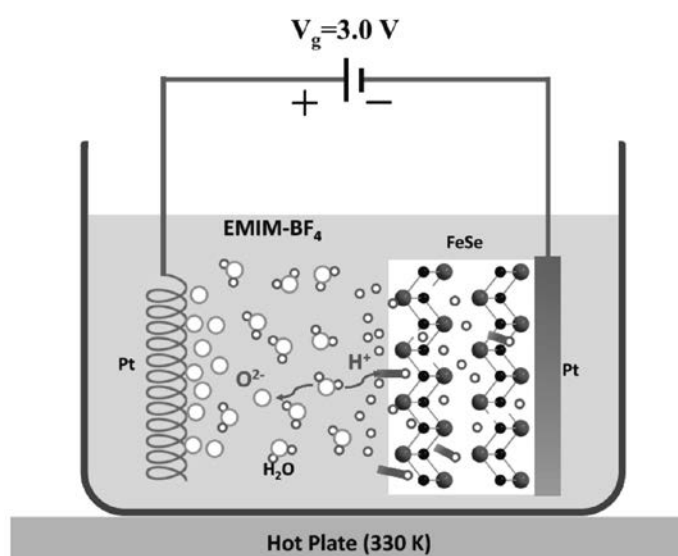


Fig. 1. Schematic of the experimental setup used for protonation

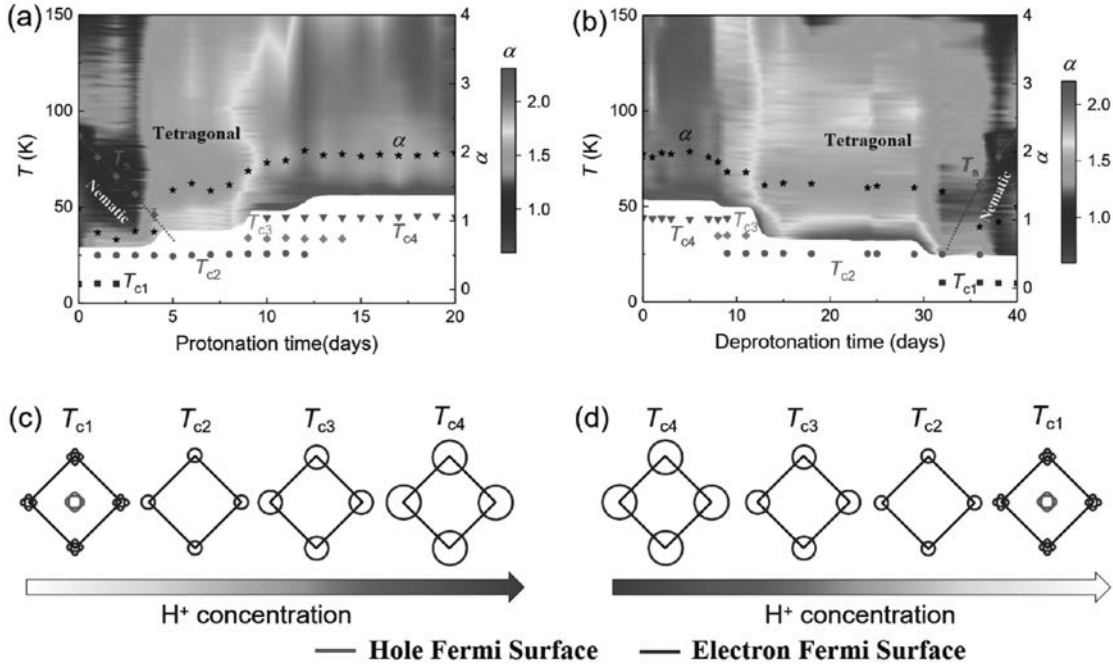


Fig. 2. (a and b) Phase diagrams of  $H_x$ -FeSe single crystals derived from the (a) protonation and (b) deprotonation processes. Color maps represent the temperature dependence of the exponent,  $\alpha$ , extracted from  $d\ln(\rho - \rho_0)/d\ln(T)$ . (c and d) Schematics describing the evolution of FS topology with (c) protonation and (d) deprotonation. Blue and red lines represent the electron and hole FSs, respectively.

In this study, we have made a significant discovery of a series of discrete superconducting (SC) phases in  $H_x$ -FeSe single crystals, with a remarkable maximum transition temperature ( $T_c$ ) of up to 44 K (see Figures 2(a) and 2(b)). We achieved this by utilizing an ionic liquid gating method that induced  $H^+$  intercalation, as illustrated in Figure 1. Importantly, the protonation process had a negligible impact on the crystal structure, making it an ideal approach to investigate the  $T_c$  enhancement mechanism independent of structural changes [4]. Notably, the observed discrete SC phase diagram differs from the commonly established dome-shaped phase diagram found in unconventional superconductors. Our findings provide compelling evidence that these discrete SC phases are intrinsic to the system and closely linked to the carrier concentrations, suggesting that the interlayer distance is not the primary determining factor for achieving high- $T_c$  superconductivity in intercalated FeSe superconductors. Furthermore, as  $T_c$  increases, we observed the suppression of the nematic phase and an evolution from non-Fermi-liquid to Fermi-liquid behavior. We proposed that an abrupt change in the Fermi surface topology could explain the existence of these discrete SC phases (see Figures 2(c) and 2(d)). The insights gained from our study offer valuable guidance for the realization of high- $T_c$  superconductivity in intercalated FeSe systems.

## References

- [1] J. Guo et. al, Phys. Rev. B **82**, 180520 (R) (2010).
- [2] T. Ying, et. al, J. Am. Chem. Soc. **135**, 2951 (2013).
- [3] M. Burrard-Lucas, et. al, Nat. Mater. **12**, 15 (2013).
- [4] Y. Meng et. al, Phys. Rev. B **105**, 134506 (2020).

研究課題：渋谷－青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究  
ユニットリーダー：伊藤 毅（2018～2020年度）・高嶋 修一（2021～2022年度）

研究成果報告論集

『渋谷－青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究』

執筆者：伊藤 毅 永山 のどか 黒石 いずみ 井上 孝 井上 希 平江 良成  
高嶋 修一

<総 括>

伊藤 毅

序

本研究は、渋谷および青山を緩やかに連続しつつ今まさに形成途上にある一体的な都市領域（渋谷-青山領域）と捉え、その空間的・機能的・経済的・文化的構造を歴史的観点から明らかにするとともに、多分野の専門家および当該地域で重要な役割を果たしている民間企業（東急）との緊密な研究連携体制の下、今後の望ましい領域形成の方向性を展望することを目的としている。青山学院大学はまさに渋谷と青山をつなぐ枢要地にあり、今後の当該地域形成のアクターのひとつとして、また伝統ある教育・研究機関として、果たすべき役割を自覚するためにも、本研究の成果が活かされることが大いに期待される。

内容

第1章（永山）は、南青山における1970年代の西洋式の高級マンションの供給、1970～90年代の西洋家具取り扱い店の展開を取り上げ、当時の高級な財の受容過程の一端を分析し、それがジェントリフィケーションによる小規模家屋の排除や住空間の極度の閉鎖性という現象をもたらしたのかどうか、を分析し、以下の点を明らかにした。第一に高級な財の受容はジェントリケーションの先駆けとはいえなかった点。第二に1970年代のマンションは居住空間としては「生活のインドア化」を推し進める要素を有していたが、その一部は事務所利用されており、高級住宅がもつ極度の閉鎖性は問題とされなかった点。第三に家具・インテリアの小売業の展開やマンションの事務所利用では「クリエイティブ」な領域が関わっており、「生活のインドア化」とは真逆な状況が呈された点。第4に先行研究で詳細には取り上げられていない建築家・設計事務所もまた南青山における高級な財の受容に関係していたこと。

第2章（黒石）は、渋谷駅周辺の変貌を中心に、戦後の現代化プロセスの一端として、開発政策と生活圏・文化圏の問題、多様なイメージの関係性を考察した。戦後の渋谷駅周辺開発には、東京都の戦災復興都市計画、石川栄耀・池辺陽、坂倉準三と東急電鉄株式会社や渋谷再開発促進協議会、そして内井昭蔵の計画などがあるが、これらを比較し、ル・コルビュジェや英国田園都市のイメージとの関係を考察した。また西武流通による公園通り開発が、1920年代の今和次郎の考現学などをもとに、都市空間の多面性をマーケティングに活かし空間化したこと、区役所や東京都、国の都市政策の変貌が、副都心開発の政治的・経済的展開を促し、都市計画と地域住民の分離を生んだことを考察した。さらに町内会が地域のコミュニティ形成と運営管理を行いつつ、多様な価値観を共存させていった事例や、住民の地域への帰属感が都市の持続性を担保する上で重要な機能を果たしたことを確認した。これらの人間的でダイナミックな相互関係こそが渋谷の特筆すべき特徴と言える。

第3章（井上孝・井上希）は、東京西郊の私鉄沿線における駅勢圏別の人口に着目し、2015～65年の5年間隔11時点における人口変動を分析した。対象地域は、東武東上線・西武池袋線・京王本線・小田急小田原線・東急田園都市線・東急東横線に属する全駅の駅勢圏である。また、分析対象となる人口データは、筆頭著者の井上孝が開発した「小地域別将来人口推計システム」のデータを組み替えて作成した。さらに、得られた人口データから4指標を算出し、これらの指標の変化を観察した。その結果、以下の点が明らかとなった。①人口

密度については東急東横線の400-800m帯の異質性が際立つ。②人口成長指数については、東急電鉄の2路線と京王本線において2065年時点で全区間でおおむね80%以上を維持している。③高齢化率については、2065年時点でどの路線もおおむね30~45%の範囲に入り、著しい高齢化が進む。④20-39歳女子人口密度については、2015年時点で高密度な帯域において2015~65年の急減が目立つ。

第4章(平江)は、東急の歴史、鉄道駅に注目した渋谷のまちの歴史と、東急による渋谷でのまちづくりを調査し、考察した。内容は次の通り。①2022年に東急株式会社は創立100周年を迎えた。1918年に渋谷栄一が田園都市株式会社を創立させ、4年後に子会社として目黒蒲田電鉄株式会社(のちの東京急行電鉄(株))が生まれた。②渋谷は鉄道と共に発展してきた。1885年に日本鉄道品川・赤羽線(現山手線)が開通し、その後、玉電、東京市電、東横線、井の頭線、銀座線、新玉川線、副都心線と次々と路線が開業し、渋谷駅は一大ターミナル駅となり、それと共に渋谷は発展していった。③東急は渋谷で様々な開発をしてきた。最初の開発が1934年開業した東横百貨店。それから玉電ビル、東急百貨店本店などがあり、今後も東急は渋谷の発展に寄与しようとしている。

第5章(高嶋)は、東急の社内誌『清和』をもちいて1950年代から1990年代にかけて東京急行電鉄とそのグループ企業(東急)がおこなった渋谷駅周辺の開発事業を概観した。東急は1950年代半ばから渋谷駅と隣接商業施設に対し積極的な設備投資を行ったが、盛り場が駅周辺にとどまり、丸の内や銀座あるいは池袋や新宿と比較して「場末」であると意識していた。これに対し1960年代以降は渋谷の「広域的な開発」が目指されたが、それはいくつかの拠点を大規模に再開発するという方針で、必ずしも面的・連坦的な開発ではなかった。また、それは従前の零細かつ複雑な権利関係を整理し、ディベロッパーの活動環境を整えることを意味した。東急は西武流通グループなどライバル企業の進出を歓迎したが、それはディベロッパーとしての利害を共有していたゆえともいえる。この流れは1980年代から1990年代はもちろん、今日においても関係法令の整備によって続いている。

第6章(伊藤)は、近世から近代、現代にかけての青山の都市領域構造を論じた。近世初期の青山は、大山街道沿いに渡辺図書や長谷川久三郎などの鉄砲隊を率いる武士の下屋敷があり、それに続いて鉄砲隊百人町(間口10間×奥行60間の短冊形地割)が櫛比し、その奥(赤坂寄りの位置)に青山大膳下屋敷が広大な屋敷を構えた。「寛永江戸図」によると、大山街道の青山家下屋敷には「青山町」と記されているように、青山は江戸の周辺にあったが、場末の田園地帯ではなく、むしろ密実な都市組織を備えた「町場」であったことが注目される。近世以来の都市領域を下敷きとして、近代以降、青山の近現代都市化が急速に進む。特に東京オリンピック(1964年)を一つの契機として、青山にはあたらしい生活スタイルが浸透し、アパレルの街として先端性を帯び始める。南青山を事例として、その現代都市化の空間的変容を仮説的に述べると、青山通り・骨董通り・みゆき通りを軸として、表通りの商業化の波がやがて街区内部にも浸潤し、住空間と小規模かつ洗練された職業(たとえば高級ブティック・アクセサリー店など)が組み合わせさせた独自の都市機能が輻輳する青山特有の都市領域がレイア状に積層されてゆくプロセスが読み取れる。

## 結

以上、6つの個別研究を総括すると、渋谷の核としての渋谷駅が磁極となって形成する都市領域の特異性を、①東急による渋谷駅および周辺の開発(4. 平江:略史、5. 高嶋:1950~90年代)、②東急沿線駅勢圏の動向(3. 井上孝・希:2015~65年)、③渋谷駅周辺地域開発(2. 黒石:戦後~現在)の3つの空間レベルと時期から明らかにした。

一方、青山地区については、近世から近現代に至る青山の都市形成史を概観し(6. 伊藤)、そのなかで特に南青山については、1970~90年代の南青山における西欧風生活スタイルの定着過程が現代都市化の注目すべき指標になること(1. 永山)と、空間的には既存の青山通り・骨董通り・みゆき通りなどの表通りから街区内部に都市化が浸透していくプロセスを論じた(伊藤)。



## <要 約>

### 第1章 1970～90年代東京都心部における西洋式生活スタイルの受容—港区南青山の場合—

永山 のどか

本章は、1970～90年代の西洋式生活スタイルの受容に焦点を当て、南青山における高級な財の受容過程の一端を明らかにするものである。そして、そこでみられる動きが、今日議論されているジェントリフィケーションの先駆けといえるのか、また、それによって住民層の画一化、「生活のインドア化」、「プライベート化」は進行したのか否か、という点を考察することを目的としている。

東京都港区南青山では、1970年代前後に高級マンションが次々と供給され、高級な西洋家具を扱う小売店が登場した。また、プライベートな空間を重視する西洋式マンションが供給され、かつ、プライベートな空間を充実させる家具を販売する店が登場した、という点では、南青山は一見すると、上述の「生活のインドア化」、「プライベート化」の傾向がいち早くみられた地区である。しかし、先行研究でたびたび指摘されている、青山の「クリエイティブ」な側面に目を向けると、この地区では「プライベート化」に逆行する傾向が強かったとも推測される。南青山における高級な財の受け入れはどのようになされたのだろうか。また、それはジェントリフィケーションによる小規模家屋の排除や住空間の極度の閉鎖性という現象をもたらしたのだろうか。本稿でこれらの点を具体的に考察した。

1970年代、南青山では、他の地区に先駆けて、ヨーロッパ製のキッチン・水回り設備のついた高級マンションが供給された。また、小売業においても、南青山やその周辺地区ではいち早く西洋の高級家具が販売され、それによって高級な財の受容が進んだ。システムキッチンを含む家具・インテリア業の歴史を語る上で欠かすことのできない家具小売業者が、1970年代に南青山やその周辺地区に拠点を置いたのである。その背景には、デザイナーなどの「クリエイティブ」な産業の従事者や顧客との徒歩圏の交流、アパレル企業の人脈、新築ビル、外国公館・貿易振興組織の存在があった。また、家具やシステムキッチンの主要輸入元は西ドイツ、北欧、イタリアであった。高級マンションの設備だけでなく、高級家具輸入においても、南青山がアメリカ以上にヨーロッパの影響を強く受けていたことが分かる。

1970年代に供給された高級マンションや家具・インテリア店の場所に注目すると、20世紀後半の南青山における高級な財の受容は、今日議論されているジェントリフィケーションの先駆けとはいえなかった。1970年代前後竣工の高級マンションは邸宅ゾーンにおいて建設されており、南青山に隣接する小規模家屋密集地域が、同時期に再開発されることはなかった。また、同時期の南青山には社会福祉施設も存在していた。高級マンションや高級輸入家具の販売店は、それらと共存していたのである。この時期の高級な財の供給は、住民の画一化を、少なくとも直接的には、もたらさなかった。

では、プライベートな空間を重視する西洋式マンションが供給され、かつ、その空間を充実させる家具を販売する店が登場したことにより、「生活のインドア化」、「プライベート化」の傾向が生じたのだろうか。たしかに、1970年代のマンションは居住空間としては「生活のインドア化」を推し進める要素を有していた。しかし、その一部は事務所利用という形で、外の空間に開かれていったことを、電話帳での分析から明らかとなった。その点で、高級住宅がもつ極度の閉鎖性はここでは問題とされなかったといえる。

先行研究では、広告・デザイン・ネット関連産業などの「クリエイティブ」な産業を中心とした南青山の自由・寛容な風潮の醸成や、業種を超えた人的ネットワークの形成が指摘されているが、家具・インテリアの小売業の展開やマンションの事務所利用においても、これらの「クリエイティブ」な領域が重要な役割を果たした。それにより、本稿冒頭で指摘した、戦後ヨーロッパの郊外化過程でみられた「生活のインドア化」とは真逆な状況が1970～90年代の南青山で展開されたのである。

本稿ではさらに、先行研究で詳細には取り上げられていない建築家・設計事務所も多いに南青山における高級な財の受容に関係していたことを明らかにした。1970年代に供給された高級マンションでは、1980～90年代、市浦健と竹山実の設計事務所がそれぞれ団地・ニュータウンと商業ビルを設計し、進来廉が日本とヨーロッパとの橋渡しをした。20世紀後半の青山を語る場合、団地・ニュータウン建設のように、「クリエイティブ」な

領域には必ずしも含まれないが戦後日本を象徴する現象と、南青山の経済活動との関連も見落としてはいけないだろう。

## 第2章 戦後の渋谷駅周辺地域開発に見る都市イメージの多様な主体による形成過程

黒石 いずみ

21世紀に入ってからの渋谷駅周辺の大規模開発による変貌は、国や東京都などの行政による開発政策の影響で引き起こされる生活圏・文化圏全体の問題を、戦後の近代化プロセス自体の問題として、多様な人々の関係性から考えることを促す。そこで本論考では、戦後都市計画者や建築家が行政や地元の企業家と協力して提示した再開発計画や、大手百貨店と路地裏の小さなローカルショップの空間戦略、住民たちの地域を運営する論議などを総合的に検証する。特に、身体的な都市空間の経験から生まれるイメージが、人々の生活圏の形成にどう繋がり、そのイメージを形成しているかについて、フィールドワークの分析を元に考察した。

戦後から1970年代にかけての、建築家や都市計画家による駅周辺再開発計画は多様な都市イメージを提示した。東京都の戦災復興都市計画による渋谷復興計画では、駅前広場の造成を主眼として青山通り、国道246号線の拡幅と駅前を中心とする副都心形成が計画され、商業地区に対して料理店街や旅館地区などの具体的な集積イメージが提示された。また都市計画課長石川栄耀は、駅前の広場を中心に商店街の人の流れを重視した生活圏を形成する案を示した。地域の商店会の要望で池辺陽が提案した特別地区としての文教都市計画は、ル・コルビュジェ的な、交通インフラの幾何学的構成と、イギリスの田園都市的イメージを融合した案であり、生活文化を中心とする都市空間が構想された。1950年代には、坂倉準三と東急電鉄株式会社により、渋谷駅周辺に商業圏の文化的なイメージが形成された。そして1960年代には立体通路や人口地盤などを用いたル・コルビュジェのユートピア的都市開発イメージが提案された。それは、1958年の副都心再開発事業の一環であり、駅周辺部の高度な開発を主眼とする首都圏イメージだった。1964年の東急を含む渋谷の多数の企業や地域組織を統合した渋谷再開発促進協議会は、坂倉が1955年に提示していた、都市と建築の社会的な役割を重視した多様な人々の協力作業による都市計画の理念に基づくものだった。そして1966年に提示された渋谷再開発計画は、1969年の都市再開発法を経て1970年代のメタボリズム建築運動の萌芽となった。坂倉の死後、渋谷再開発促進協議会と内井昭蔵は渋谷再開発計画'70を提示するが、そこでは人々の生活環境の改善が意図されている。

これらの都市計画家と建築家によるイメージに対して、1973年には西武流通のバルコによる都市空間イメージが様々なメディアを用いて展開された。西武の三島や増田によるマーケティングや歩行者心理を空間配置に反映したデザインは、1920年代の今和次郎による考現学の調査手法やケビン・リンチの都市空間の構造化の理論を参考にしていた。そこでは歩行者の地面からの身体的な視線の対比が明確に意図され、都市空間の近代化における消費文化の意義についての考察が、都市空間の異質な人間的要因の考察、都市現象の複数の意味に関する考察に展開され、サブカルチャーの出現やメディアに占拠される空間体験が実現した。渋谷は商業マーケティングプロジェクトに都市理論を、都市プロジェクトにマーケティング理論を適用する、日本で最も早い実験場となったのである。

地域の行政主体である区役所と、東京都や国の都市政策と決定の根拠の差異も、渋谷の空間に様々な矛盾を生んだ。特に21世紀に入ってからの国土交通省による都市再生特別措置法や特定都市再生緊急整備地域指定、地方自治法の改正、都区財政調整制度の改正は、開発主体が地域の生活から離れてしまう結果を生んだ。駅周辺の企業活動による経済的効果もそのマネジメントも、渋谷区の直接的な計画対象から外れ、企業の独立した意図がより尊重されるようになった。2012年、渋谷駅周辺は「都市再生緊急整備地域」と「都市再生特別地区」に指定され、2013年に近隣の東京国立競技場を主会場とする2020年夏季オリンピックの開催が決定したことで、インフラの整備はさらに加速された。この過程で、地域の多様な要求や問題を地域主体で調整し開発計画が立てられるのではなく、より直接的な資本主義的理由によってコントロールされるようになる。

駅周辺地域の住民組織の意識や活動の役割について、現地調査とインタビュー、地域情報や歴史的文献資料

調査、生活圏の調査を行なった。商業地域の変化が急激であるのに対して、住宅地域では高齢者の定着人口の割合が高く閉鎖的なまとまりを形成している一方、若年層の居住形式は集合住宅の賃貸居住が主で、流動的な生活様式をとっている。防災・減災やバリアフリー対応が重要な問題となっていて、隣接する商業圏から住宅地の安全性を守るための領域保全活動が重視されており、弱者に対する災害時の支援や領域の安全性の維持保全の活動が、地域コミュニティ組織によって担われていた。東町のときわ松町会に密着した調査では、町内会がコミュニティ形成や居心地の良い場所の運営管理に関係し、空間的な資源と社会的な仕組みの資源、そして個人の間には存在する関係資源を、多様な価値観を包含しつつ共存させる様子を検証した。子供110番の家や掲示板、地域の祭礼や季節行事が、外部に開かれた形で維持されており、地域に帰属することの精神的価値という定量的なポテンシャルが都市の住居環境には重要だと実感した。

以上のように、本研究では渋谷を場として、行政、企業、建築家や都市計画家による都市計画やイメージ提案の背後に、多様な主体が集合して協力し、あるいは競合して、都市のイメージを作り出し、それを共有することでイメージが蓄積されると同時に、地域の商店会や町内会を構成する住民たちとダイナミックな相互関係を産み、新たに展開した過程を確認した。

### 第3章 東京西郊の私鉄沿線における駅勢圏別人口変動—2015～2065年を対象に—

井上 孝・井上 希

#### 1. はじめに

本章は、渋谷という中心地の成立基盤を後背地 (hinterland) の人口変動の視点から論じる。いうまでもなく、渋谷という中心地の成立には東急電鉄の存在が大きく関わっており、その二大幹線である東横線と田園都市線の沿線がまさに渋谷の後背地の中核に位置づけられよう。この2路線の沿線における過去の人口変動については、東急電鉄自身が詳細な分析を行っているため、本章では将来の人口変動について特に高齢化に焦点を当てて論じることとする。また、その人口変動の特徴を見いだすために、この2路線と規模や立地条件が類似する東京西郊の4つの私鉄路線（東武東上線・西武池袋線・京王本線・小田急小田原線）を選び、合計6路線の沿線を比較対象とする。また、私鉄沿線の人口変動を論じるにあたり、ターミナル（池袋・新宿・渋谷）からの距離、および各駅からの距離に着目する。各駅からの距離については、駅勢圏の考え方を導入することによって論じることとする。

日本の将来の人口変動を地域的視点から議論した研究は、都道府県別や市区町村別については多数存在するが、鉄道沿線別の議論は少ない。さらに、東京西郊の私鉄沿線に着目しその将来の人口変動に関して精緻な分析を行った論考は皆無である。一方、鉄道沿線別の将来の人口変動を論じるためには、小地域別の将来人口推計のデータを組み替えて分析する必要があるが、この点に関しては筆頭著者である井上孝が開発した「小地域別将来人口推計システム」のデータを用いる。このシステムでは2020～2065年における小地域（町丁・字）別の男女5歳階級別推計人口が得られる。本章では、このデータおよび2015年国勢調査の小地域（町丁・字）別の男女5歳階級別人口を用いて、2015～2065年を対象として、東京西郊の私鉄沿線における駅勢圏別人口変動を分析する。

#### 2. 分析方法

本章の対象地域は、前述した6路線に属する全駅の駅勢圏である。駅勢圏については各駅から800m 圏内とした。本章では、こうして画定された駅勢圏を、さらに駅から400m 以内と400-800m の2つの帯域に分割して駅別帯域別人口を算出する。さらに、この人口に基づいて、駅別帯域別に次の4指標を算出する。4指標とは、「人口密度」、「人口成長指数」、「高齢化率」、「20-39歳女子人口密度」である。このうち「人口成長指数」は2015年の駅勢圏内人口を100としたときの、2020年から2065年までの駅勢圏内人口を指数化した値である。「高齢化率」は65歳以上人口割合を意味する。

### 3. 分析結果

本節では、前節で説明した4指標に基づき東京西郊の私鉄沿線における駅勢圏別人口変動を分析した結果について議論する。

まず、人口密度については、おおむねどの路線においてもターミナルからの距離とともに減少傾向であることが確認できた。また、多くの沿線で2015年から2040年の変化は小さいものの、2040年から2065年で大きく減少していた。次に、人口成長指数については、東武東上線・西武池袋線では郊外に近づくほど減少傾向にあったが、その他の路線ではおおむね横ばい傾向であった。つづいて、高齢化率については、2015年から2060年にかけておおむね上昇傾向にあるが、一部の郊外の駅で逆転現象が起きていることが確認できた。この現象は、郊外第一世代が多く住む駅では2040年において、郊外第二世代が多く住む駅では2065年において確認できた。最後に、20-39歳女子人口密度については、どの路線においても2015年から2040年の大きく減少し、2040年から2060年にかけて減少幅が縮まる傾向にあることがわかった。

### 4. おわりに

冒頭に述べたように、本章の主題は、渋谷の中心地としての成立基盤を後背地の人口変動の視点から論じることであった。そこで最後に、3で述べた4つの分析結果をこの主題の観点から再考する。まず、人口密度については東急東横線の400-800m帯の異質性が際立った。この帯域は、ほぼ全線にわたって1平方キロあたり10,000人以上の人口密度を維持し、しかもターミナルから郊外に向けてほとんど低下傾向を示していない。このことは、同線が渋谷と横浜という二大中心地を結ぶ短い路線であり、その沿線が人口の密集する既成市街地であるからにはほかならない。次に、人口成長指数については、東急電鉄の2路線は、京王本線とともに2065年時点で全区間でおおむね80%以上を維持しており、沿線の人口減少がそれほど極端に進まないことがわかる。また、これらの3路線は右下がりの減少傾向がまったくみられないことも特徴である。つづいて、高齢化率については、2065年時点の値でみるとどの路線もおおむね30~45%の範囲に入り、東京西郊においても著しい高齢化が進むことがわかる。最後に、20-39歳女子人口密度については、2015年時点で1平方キロあたり4,000人を超えるような帯域の2015~65年の急減が目立った。この値が半減以下になる駅の多くは、古くからの既成市街地で人口密度が高い地域である。東急電鉄は、田園都市線の溝の口以遠を除き相対的に高密度な既成市街地を沿線に持つので、結果的に20-39歳女子人口密度の落ち込みが激しい駅が多数を占める形になった。

## 第4章 東急および鉄道駅からみた渋谷—過去・現在・未来—

平江 良成

本章では、渋谷に関係してきた東急の歴史を紐解くとともに、渋谷について、鉄道駅に注目した渋谷のまちの発展の歴史と、東急が実施してきた渋谷でのまちづくりを調査し、考察する。

### 1. 東急の歴史

#### ① 渋谷栄一が目指した田園都市建設と鉄道建設

2022年に東急株式会社は創立100周年を迎えた。1918年に渋谷栄一が東急株式会社の前身である田園都市株式会社を創立させた。その後、田園都市と働く場を結ぶために、田園都市株式会社の子会社として1922年に目黒蒲田電鉄株式会社（のちの東京急行電鉄（株））を設立した。

#### ② 五島慶太による東急の拡大

目黒蒲田電鉄（株）の専務取締役であった五島慶太は、1928年に田園都市株式会社を吸収合併。その後、池上電気鉄道（株）、玉川電気鉄道（株）を吸収合併し、1939年には、東京横浜電鉄（株）が生まれる。戦時中には、小田急、京王、京急を吸収し、社名も東京急行電鉄（株）となった。

#### ③ 多摩田園都市の建設

五島慶太の大きな功績の一つが「城西南地区開発趣意書」を発表および多摩田園都市の建設である。五

島は、第2の東京都をつくることを計画し、面積約5千万㎡、人口約60万人のまちづくりが実現された。

## 2. 東急による渋谷以外でのまちづくり

たまプラーザ駅周辺でのまちづくりは、1987年に発足した「たまプラーザ地区計画推進連絡協議会」により用途地域の変更および地区計画の設定され、2010年にたまプラーザテラスがグランドオープンした。

二子玉川駅周辺のまちづくりでは1987年に二子玉川東地区再開発準備組合が設立。2015年には第2期事業が竣工し、「二子玉川ライズ」と名付けられた複合都市がグランドオープンとなった。

## 3. 鉄道と駅で見た渋谷の発展

### ① 日本鉄道品川線敷設 - 渋谷駅の誕生

1885年（明治18年）3月に日本鉄道品川・赤羽線（現在のJR山手線）が開通され、渋谷に最初に駅ができた。

### ② 玉川電気鉄道の渋谷駅誕生

1903年に玉川電気鉄道（以後玉電）の渋谷駅が開業した。玉電は、多摩川の河床から砂利を運ぶのが目的で設立された。

### ③ 東京市電青山線の渋谷駅誕生

1911年に東京市電の「中渋谷ステーション前」という停留所が開業した。

### ④ 国鉄渋谷駅の移転と玉電と東京市電の接続

1921年に、山手線の高架化が実施され、渋谷駅は約200メートル北に移動した。東京市電は、1922年東京市電と玉電が結合され、相互乗り入れが可能になった。

### ⑤ 東京横浜電鉄の渋谷駅の誕生

1927年に東横線は渋谷駅から丸子多摩川駅までを開通させ、渋谷駅が開業した。

### ⑥ 帝都電鉄の渋谷駅の誕生

1933年に帝都電鉄渋谷駅（現京王井の頭線渋谷駅）が開業。

### ⑦ 銀座線の渋谷駅の誕生と玉電ビルの完成

1938年に完成した東京高速鉄道渋谷線（現在の銀座線）の渋谷駅が開業。玉電ビルの3階に東京高速鉄道渋谷線の駅が、2階に玉電の駅ができ、駅の立体化が実現した。

### ⑧ 新玉川線の開業と半蔵門線の開業

東急玉川線（通称：玉電）は、1969年に廃止され、1977年に新玉川線として地下化され、渋谷に新たな地下駅が誕生した。

### ⑨ 副都心線の開業と東横線渋谷駅の移転

2008年に明治通りの地下に副都心線渋谷駅が誕生し、2013年に東横線との相互直通運転が始まった。

### ⑩ JR埼京線の渋谷駅移転と銀座線渋谷駅の移転

JR埼京線は、山手線から南側に位置していたが、2018年にホームが移設された。銀座線の渋谷駅は、2020年に明治通りの上空に移転された。

## 4. 東急によるこれまでの渋谷の開発

### ① 東横百貨店の開業

1934年開業。地下1階、地上7階、延べ面積11,750㎡の関東で初の私鉄直営のターミナルデパートである。

### ② 玉電ビル（東急会館、東急百貨店東横店西館）

1951年に東急会館に名称が変更され、地下2階、地上11階、総面積29,925㎡であった。

### ③ 渋谷スクランブルスクエア（第1期）

2019年11月開業。旧渋谷駅街区プロジェクトとして、着工された。

- ④ 東急文化会館（渋谷ヒカリエ）  
1956年、東急文化会館が開業。文化特選外と呼ばれる商業施設、結婚式場、最上階にはプラネタリウムが併設されていた。
- ⑤ 渋谷マークシティ  
2000年4月開業。ホテル、オフィス、商業施設を有している。
- ⑥ 東京急行電鉄（株）本社（セルリアンタワー）  
2001年開業。東京急行電鉄（株）の本社跡地に建設された。
- ⑦ 東急百貨店本店  
1967年開業。地下3階地上8階、17,000㎡の大規模な売り場面積を持っていた。
- ⑧ 渋谷駅南街区プロジェクト（渋谷ストリーム）  
2018年開業。東横線旧渋谷駅のホーム付近（国道246号線の南側）に建設された。
- ⑨ 渋谷東急ビル（渋谷フクラス）  
1965年に、敷地面積2838㎡、地上9階、地下2階、延床面積30,690㎡に誕生した。2015年に閉館となり、2019年に「渋谷フクラス」として生まれ変わった。

## 5. 現在および未来の東急による渋谷でのまちづくり

- ① 渋谷スクランブルスクエア（第2期）
- ② 渋谷駅桜丘口地区（SHIBUYA SAKURA STAGE）
- ③ 渋谷二丁目17地区
- ④ 東急百貨店本店跡地計画（Shibuya Upper West Project）

## 第5章 東急による渋谷駅と周辺の開発 —1950～90年代—

高嶋 修一

本章は、1950年代から1990年代にかけて東京急行電鉄とそのグループ企業（東急）がおこなった渋谷駅周辺の開発事業を概観した。主に依拠した史料は、東急の社内誌『清和』である。市街地の開発や再開発には多くの関係者が介在するため、その評価にあたっては様々な立場を踏まえた多面的な検討が本来必要である。そうしたなかで社内誌のみを史料とすることは、偏差の発生を避けられない。とはいえ、必ずしも一般に公開されている文献とはいえないこの種の史料を精査し、将来の多面的検討の予備作業としてまず東急の立場を知っておくことには、一定の意義があると考えられる。

また社内誌はいうまでもなく対内的な広報媒体であるが、同時に従業員家族をはじめとしてある程度まで部外者の目に触れる可能性を前提としている。こうした事情から、例えば企業首脳部の意思などを窺うことはできない反面、企業内で最大公約数的に共有され対外的にも表明可能とされた立場や方針がどのようなものであったのかを把握することができ、それゆえかえって対象時期における企業の姿勢や志向の本質を窺い得るという利点もある。

戦前の1930年代には、東急の前身である東横電鉄と関連企業が渋谷駅と隣接街区とで大規模なビルの建設を行い、百貨店と鉄軌道用施設とを物理的に結合させていった。しかし、その後の建設は第二次世界大戦のため停滞した。渋谷駅前広場の造成は建物疎開を通じて1944年までに「まがりなりに完成」していたが、1945年5月24-25日の空襲により木造の建物が多く焼失した。

終戦後の東急は、1950年代半ばから渋谷駅とそれに接続する商業施設に積極的な設備投資を行うようになり、「東急会館」や「東急文化会館」といったビルの建設を通じて開発事業を展開した。しかし一方で東急は、丸の内や銀座などと比較すると渋谷が「場末」であると意識しており、さらに「副都心」として整備対象となっていた池袋や新宿と比較しても、池袋にとっての巣鴨プリズン跡、新宿にとっての淀橋浄水場跡に相当するま

とまった再開発用地のない渋谷は、これらの後塵を拝していると意識されていた。結果として、盛り場が駅周辺にとどまっているというネガティブな捉えられ方をしていた。

こうしたなかで、1964年の東京オリンピックを契機に行われたワシントンハイツ跡地の返還とNHK放送センター一帯の開発には、大きな期待が寄せられた。同じ年に渋谷再開発促進協議会が結成されたのも、広域的な開発の進展を期すためであった。ただし、同協議会が策定した「渋谷再開発計画'66」は、比較的広い範囲に再開発のための拠点を見定めたもので、必ずしも面的・連坦的な再開発計画ではなかった。とはいえ、この計画は半世紀以上を経たこんにちに至るまで、影響を及ぼし続けることとなった。

1960年代半ばから1970年代にかけては、東急自身が東急百貨店本店をはじめとして渋谷駅から比較的離れた地区での再開発を手掛けたほか、西武流通グループなどライバル企業の進出に対しても好意的に受け止めた。このことを経営者の度量の広さの結果と受け止めても構わないが、先行研究と考え合わせるならば、終戦直後の闇市の系譜をひく「マーケット」を解消して共同ビルなどに建て替えていくことを志向する限りでは、開発のノウハウをもったディベロッパーとしての利害を共有していたともいえる。渋谷の繁華街が駅周辺に集中して狭い範囲に集中しているという認識も、そうしたマーケットの存在に目を向けないがゆえのものであった。

いまひとつ注意しておくべきは、東急自身は一貫して渋谷駅および近接地区の再開発や再々開発に熱心であり続けたという事実である。1975年に示された渋谷駅の改良構想は、21世紀に入って実現していく様々な「立体化」や商業施設の建て直しを含んでいたし、「ファッションコミュニティ109」も、渋谷駅近傍の「恋文横丁」を長年の利害調整を通じ東急の主導で共同ビル化した結果であった。

つまり、1960年代以降に志向された「渋谷の広域的な開発」とは、まずもって零細で複雑な権利関係を整理したうえでディベロッパー企業の活動機会を増やすことを意味したのであり、決して渋谷駅および近接地区への再投資、再々投資を否定するものではなかった。東急はライバル企業ともこの点では協働しつつ、1966年の計画で示された拠点において大規模プロジェクトによる開発を進めていったのである。

1980年代にはいり東急が「大人の街」を顧客に訴求するとともに文化事業を展開していったのも、客単価の上昇を狙ったのみならず、権利関係が複雑な零細物件への忌避からであった。そのことが、1990年代以降に大規模開発や「エリアマネジメント」を志向する前提ともなったのである。

こうしてみると、1990年代のバブル崩壊とその後の「リストラ」を経て企業としては大きな変革を経験したにも関わらず、渋谷のような都市部の開発においては1960年代以来の流れが連綿と続いているといえる。都市再開発にかかわる法令の整備や改定によって、大手ディベロッパーによる大規模開発にとっての活動環境は今日まで継続的に整えられてきており、こうした傾向は今後もしばらく続くであろう。

## 第6章 青山の都市史と領域構造

伊藤 毅

### (1) 近世

「寛永江戸全図」によると、近世初頭の青山の大山街道沿いには、渡辺図書（松平家譜代）の同心屋敷、長谷川久三郎（秀忠側近）下屋敷など、軍功で重用された重臣の屋敷が並び、大山街道中央部には、いまでもその町割りの痕跡をとどめる鉄砲隊屋敷（間口10間×奥行60間）が櫛比し、その奥（赤坂寄り）には青山大膳（青山忠成）下屋敷が広大な地所を占めていた。注目されるのは、青山下屋敷の正面に「青山町」という地名が記入されていることで、青山は大山街道を軸として大小武家屋敷が両側に隙間なく並ぶ密実な都市空間（＝町）を形成していたことである。青山は単なる江戸の場末の田園地区ではなかった。

### (2) 近代

近代に入ると、多くの武家屋敷は空洞化し、桑畑などに転用されてゆく一方で、近代特有の大規模施設に置き換えられるケースも散見される。近世の松平左京太夫の下屋敷は明治初頭に一時、第一官園（第二官園は大

山街道の向かい側の稲葉長門守下屋敷の位置に誕生)として利用される。官園は実験農場であり、アメリカから移植された梨、桃、すもも、ビワ、リンゴ、ブドウなどが栽培された。官園が明治14年に廃止されたあと、この跡地に建設されたのが、青山学院の前身である東京英和学校であった。明治期を通して青山の地は住宅地として発展し、空洞化した武家屋敷は近代住宅へと次々に置き換えられていく。青山の台地は高燥の地にあって、東京の郊外とはいえ、渋谷駅の開設によって一挙に通勤に至便な場所となり、赤坂には天皇家、渋谷には梨本宮家の屋敷が構えられ、青山の土地のブランド性は高まっていく。代々木練兵場や青山練兵場の存在が、近傍に高級将校の広大な邸宅地形成を誘発したことも見逃せない。

青山の都市領域に大きなインパクトを与えたのは、大正9年(1920)の明治神宮の創建であったことは疑いない。明治神宮の内苑と外苑、そのアクセス道路として青山通りに直交する広幅員の表参道と銀杏並木道は、当該地区に大きなインフラと都市美観を付加することになり、青山の現代都市化の基盤となっていく。

### (3) 現代

東京は1923年関東大震災、1945年東京大空襲の二つの大きな災禍を経験しているが、青山ではとりわけ後者の大空襲の被害は甚大であった。ほぼ全面が焼き尽くされたといつてよい。戦後の焼け跡のなかで、ひととき人々の目を引いたのが代々木練兵場跡地に建設された米軍キャンプ・ワシントンハイツであった。このワシントンハイツこそが、原宿・渋谷・青山を現代都市化する原動力になったことは間違いなく、たとえば表参道と明治通りの交差点に1958年に竣工した原宿セントラルアパートは、当初米軍基地に出入りするアメリカ人をターゲットとして近代的設備を備えたモダンアパートメントとして計画されたが、やがて若きファッション・デザイナーや新進気鋭の写真家、クリエイターなどが蟠集する一大文化スポットとなる。

セントラルアパートと発火点として、現代的な若者文化の炎は、表参道はもとより、青山にも燃え広がっていった。しかし青山では、モダニズムの芽がすでに息吹いていた。明治43年(1910)青山の地で果物商として商売を始めた紀ノ国屋は、戦後間もない昭和28年(1953)、わが国初のアメリカン・スタイルのスーパーマーケットを開業し、レジでの精算、ショッピングカートの導入、チーズやパン、ワインなどの品揃えなど、まったく新しいライフスタイルを普及させていく原動力になっていく。すでに周辺には外国人の居住者も多く、アメリカの50年代と連動するように、自動車時代の到来を先取りして広大な駐車スペースを確保するなど、紀ノ国屋の商業戦略はまさに青山の現代都市化と密接にかかわっている。

青山の現代都市性を最終的に決定づけたのが、東京オリンピックの年(1964年)青山三丁目に出現した石津謙介率いる男性ファッションメーカーVANである。石津のファッションに対する思想は、アメリカ東海岸のIVYスクールの学生たちのファッションセンスや都市的に洗練された行動形式に裏付けられた総合的なものであり、この青山の地を本拠と選んだことも、都市景観(アヴェニューとしての表参道とケヤキ並木)、青山学院の存在(ミッションスクールとアイビー)、外国車が似合う青山通りなど、既存の都市的条件を周到に読み込んだ結果であった。青山にはその後、ファッション、アート、芸術の街へと展開していくことになる。

### (4) 南青山の都市構造

上記の青山の略史を念頭に置きながら、南青山を具体的な調査対象として、全394件の敷地・建築の現状調査を行い、その建築属性を類型化し、建築類型の立地分析を行った結果、以下のような結論を得た。①青山通り・骨董通り・みゆき通りの3つの軸とする街区表層の商業化、②街区内部の重層化と、住と商の多様なコンビネーションにもとづく住宅地形成、③青山通りから南東方向に向かうレイア構造の形成。これら3つの南青山の都市構造の特質は、それに先行する近世・近代の青山の空間条件を踏まえつつ、独自の現代化過程のなかで成熟していったとみられる。



## 研究課題：プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開

ユニットリーダー：鈴木 宏昭

### 研究成果報告論集

#### 『プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開』

執筆者：鈴木 宏昭 薬師神 玲子 苅宿 俊文 寺尾 敦 米田 英嗣 小野 哲雄  
嶋田 総太郎 川合 伸幸

#### <総括>

このプロジェクトを開始した理由は大きく2つある。1つは認識論哲学に由来し、もう1つは認知科学に代表される心の科学に関するものである。研究者を含め、多くの人は私たちには心というものが存在していることを認めている。また心とは独立に世界が存在していることも認めている。これら心理世界と物理世界は全く別のロジックで動いているにも関わらず、この2つは繋がり、混じり合っている。これはいかにして可能になるのだろうか。20世紀末から飛躍的な発展を遂げた脳科学的なアプローチは、心の問題を脳という内部器官の問題に置き換えてしまい、世界は明示的な形では扱われていない。一方、消去主義に代表されるアプローチは、心を消去してしまい、脳の中の物理・生理的過程のみに焦点化しようとしている。このように現状では、心と世界について科学的な知見に基づく満足のいく回答は得られていない。

この問題を解決するために提案されたのが、プロジェクトという概念である。プロジェクトとは心理、主観的世界と物理的、客観的世界をつなぐ心の仕組みを指す。私たちの認知はほとんどの場合、世界と繋がっているため、プロジェクトはほぼ全ての認知機能と関係する基礎的なメカニズムである。ところが、これについての研究は十分になされているとは言えず、人間理解が中途半端な状態に止まっている。

プロジェクトを提唱するもう1つの理由は認知科学を中心とした心の科学のフレームワークの不十分さである。20世紀後半からの心の科学研究は、情報处理的アプローチを取ることによって、飛躍的な発展を遂げた。初期には記号化された情報に明示的なアルゴリズムを適用するものとして心が捉えられてきた（記号的人間理解）。1990年代になると身体、行為、環境と相互作用をするものとして人の知性を捉える、身体性認知科学が勃興し、よりフレキシブルで、ダイナミックな知性の姿が描き出されてきた。身体性に基づく心の理解は、神経科学、ロボット工学などの関連分野はもちろん、哲学においても中心的なアプローチとなっている。しかしその現状は、報酬と随伴性に基づく計算モデルをベースにしたものである。これらで動物レベルの知性を理解することは可能であるが、ヒトが日常的に行う心の働きを捉えているとは、とても言えない。たとえば、

- ・自分とは異なる登場人物の心情を読み取ることによる共感、
- ・実際には存在しないものへの怯え、畏怖、敬意、
- ・月でのクレーン操作さえも可能にするVR空間での運動主体感の獲得、
- ・特定のメーカーあるいはブランドに対する深い愛着や自己のアイデンティティの付与、

などを、報酬や随伴性だけで説明することは困難ではないだろうか。しかし、このようなことはヒトにとって根源的であり、日々わたしたちが行う精神活動の一環である。

ここに欠けているのは、プロジェクトという視点である。人間は内部に作り出したモデル＝主観的な意味を、客観的世界にプロジェクトし、主観と客観の入り混じった世界の中で、感じ、知覚し、それに対して行為を行う。プロジェクト科学は、投射という概念を導入することにより、意味に彩られた、「今ここ」そして身体に縛られない（脱身体化）自在な認知が可能な、Projected Realityの中で相互作用する人の知性を明らかにすることを目指している。

本プロジェクトの目的は、プロジェクト科学の確立のための基盤を作り出すこと、そしてプロジェクト科学の研究対象を明確にし、社会への展開を図ることである。基盤の確立のために、基礎研究グループ

を設け、知覚とプロジェクション、人へのプロジェクション、モノへのプロジェクションの3つを研究対象とした。知覚とプロジェクションでは、感受される情報がどのように世界の中に定位されるのかを理論的に検討した。人へのプロジェクションでは、自己、他者の身体、心理状態、共同についてプロジェクションの立場からの検討を行った。モノへのプロジェクションでは、広義のフェティシズム（遺品、オークション等）とプロジェクションとの関連性を検討した。社会展開については、教育・社会グループ、技術・展開グループの2つを設けた。前者は教育を中心にして、プロジェクションを活用した新たな教育方法の開発を検討した。技術・展開グループは、人工知能、ヒューマン・エージェント・インタラクションを基盤として、プロジェクションと情報技術を組み合わせ、人の暮らしを改善させる可能性を検討した。

- 鈴木宏昭 (2022). プロジェクション科学. 横澤一彦 (編) 『心を捉えるフレームワークの展開』 (認知科学講座第4巻). 東京大学出版会.
- 小野哲雄・岡田浩之・鈴木宏昭 (2021). プロジェクションのモデル化と応用に向けて. 日本認知科学会第38回大会オーガナイズドセッション.
- Iriki, A., Suzuki, H., Tanaka, S., Bretas Vieira, R. & Yamazaki, Y. (2021). The Sapient Paradox and the Great Journey: Insights From Cognitive Psychology, Neurobiology, and Phenomenology. *Psychologia*, Article ID: 2021-B017.
- 鈴木宏昭 (2021). 認知科学から見た Social VR. アカデミックと VR ユーザをつなぐ学術イベント「Close Encounters of the Third Kind (第三種接近遭遇)」第三部.
- 鈴木宏昭 (2020). プロジェクション・サイエンスのこれまで、そしてこれから. *認知科学*, 27, 433-435.
- 鈴木宏昭 (2020). プロジェクション科学：知覚というコインの裏側に迫る。「視覚における世界と社会の理解」研究会 (玉川大学脳科学研究所社会神経科学共同利用・共同拠点)
- 鈴木宏昭 (企画) (2020). プロジェクション科学の基盤拡充を目指して：関連書科学の対話. 日本認知科学会第37回大会オーガナイズドセッション (スピーカー：田中彰吾、入來篤史、尾形哲也)
- 鈴木宏昭 (編) (2020). プロジェクション・サイエンス：心と身体と世界をつなげる第三世代の認知科学. 近代科学社.
- 鈴木宏昭 (2020). プロジェクション・サイエンスの目指すもの. 鈴木宏昭 (編) 『プロジェクション・サイエンス：心と身体と世界をつなげる第三世代の認知科学』 pp. 1-28, 近代科学社. 116
- Bretas, R., Taaka, M., Suzuki, H. & Iriki, A. (2020). Secondary somatosensory cortex of primates: beyond body maps, toward conscious self-in-the-world maps. *Experimental Brain Research*, 238, 259-272.
- 鈴木宏昭 (2019). 表象, DNN, そしてプロジェクション. 日本認知科学会第36回大会企画シンポジウム「深層学習の時代に認知科学の歴史と価値を見つめ直す：主観を扱う科学としての認知モデリングの未来」
- 横山裕樹・岡田浩之・鈴木宏昭 (2019). プロジェクションのメカニズムを探る：重ね描きとプレディクション. 第33回人工知能学会全国大会
- 岡田浩之・鈴木宏昭 (2019). プロジェクション科学の発展と応用 (セッション企画). 第33回人工知能学会全国大会
- 鈴木宏昭 (2019). プロジェクション科学の目指すもの. *認知科学*, 26, 52-71. (日本認知科学会特別賞受賞論文)
- 鈴木宏昭・小野哲雄・米田英嗣 (2019). 特集「プロジェクション科学」編集にあたって. *認知科学*, 26, 6-13.
- 鈴木宏昭・薬師神玲子 (2019). シンポジウム「跳び出す心, 広がる身体」青山学院大学教育人間科学部紀要, 10, 137-145.
- 鈴木宏昭 (2018). 認知とプロジェクション：次世代認知科学が目指すもの. 電子技術産業協会感性身体性センシング分科会講演.
- 鈴木宏昭 (2018). 認知, 身体, プロジェクション. SONY 心理学と人間中心設計セミナー講演.
- 鈴木宏昭 (2018). プロジェクション科学から見る AI と人の知性. *心理学ワールド*, 80, 21-22.

研究課題：渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究  
ークラスキノ城跡の発掘調査を中心にー  
ユニットリーダー：岩井 浩人

研究成果報告論集

『渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究 ークラスキノ城跡の発掘調査を中心にー』

執筆者：岩井 浩人 菅頭 明日香 眞鍋 早紀

<総括>

1. 研究の目的

渤海は698年に大祚榮によって建国され、9世紀には唐から「海東の盛国」（『新唐書』渤海伝）と称されるほどであったが、西方に台頭した契丹の攻撃を受け926年に滅亡した。渤海は領内に五京・十五府・六十二州を配置して国内統治を進めるとともに、日本道・契丹道・營州道・朝貢道・新羅道という対外的な五条の官道を整備し、都城と周辺地域を道路網で結んでいたことが知られている。このうち、古代日本との交渉・交流に利用された「日本道」に関しては、『新唐書』の「…龍原の東南は海に瀕す。日本道なり」という記述などから、上京（黒竜江省牡丹江市、東京城跡）から東京（吉林省琿春市、八連城跡）を経て海路へと接続していたものと推測されている。この日本道の起点となる施設とされ、かつ東京龍原府管下の塩州の州城（官衙）と考えられているのがロシア沿海地方南部に所在するクラスキノ城跡である。

青山学院大学とロシア科学アカデミー極東支部極東諸民族歴史学・考古学・民族学研究所（以下、極東研究所）は、1998年に研究協定を締結して以来、16次にわたる日・ロ共同の発掘調査をクラスキノ城跡で実施してきた。その結果、城壁の構造や変遷の詳細が明らかになるとともに、防御施設である「甕城」や「馬面」が城壁に取り付けられた、他の渤海城郭には類例のない平地城であることが確認されるなど重要な成果があげられている。しかしその一方で、天候不順や調査区の湧水、城壁頂部を覆う膨大な量の礫石群（終末期の遺構）などに作業が阻まれて遺跡下層の調査は立ち遅れており、クラスキノ城跡が城壁をもつ拠点施設として整備された時期及びその目的については不明瞭なままとなっている。

このような現状認識のもと、本研究はクラスキノ城跡が造営された歴史的意義を明らかにするために、発掘調査による城壁の創建年代の確定と、遺跡の機能・性格に迫る物的証拠の検出を目指し、始動することとなった。

本研究の構成員は、調査研究を統括する岩井浩人（本学文学部准教授）、遺跡探査や出土遺物の自然科学分析を担当する菅頭明日香（同准教授）、遺構構築年代の定点となる出土陶磁器の分析を担当する眞鍋早紀（同助教）である。また、発掘調査の協力者として、ロシア沿海地方で渤海遺跡の調査を牽引してきた清水信行（本学名誉教授）、小嶋芳孝（金沢学院大学名誉教授）、E.I. ゲルマン（極東研究所主任研究員）、E.V. アスタシェンコワ（同研究員）、Y.E. ピスカリョワ（同研究員）各氏が名を連ねている。

2. 研究成果の概要

本研究課題推進の基軸となるのは現地での発掘調査と出土遺物の資料調査である。その実現に向けて、青山学院大学は極東研究所と研究協定を締結し、2019年度から日・ロ共同調査を行うことで合意した。

結果、2019年度は当初の計画通り発掘調査を実施できたが、2020年度以降は新型コロナウイルス感染症の流行を受けて発掘調査及び資料調査を全面的に中止とせざるを得なかった。そのため、クラスキノ城跡の最下層まで発掘調査のメスを入れて、創建年代や遺跡の機能等を探るという当初の目的を果たすことは出来なかったが、初年次の発掘調査で城壁の構造と変遷過程について新たな事実を加えることができたことは幸いであった。また、コロナ禍では計画を一部変更して既往の調査成果の再整理を行うとともに、最終年度に開催する公開講演会の内容拡充に努めたことで、渤海とクラスキノ城跡の考古学的研究を深化させることができた。

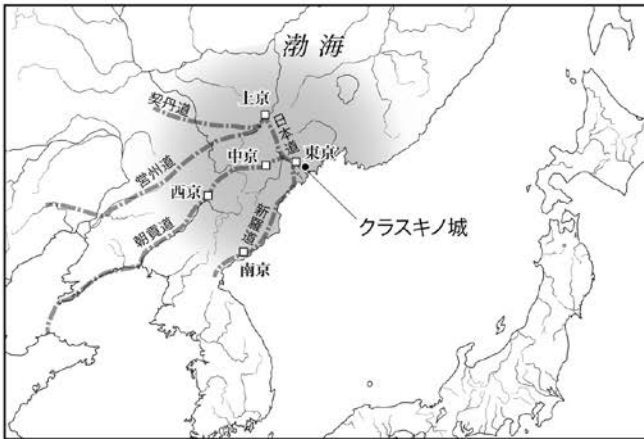


図1 クラスキノ城跡の位置



写真 発掘調査風景

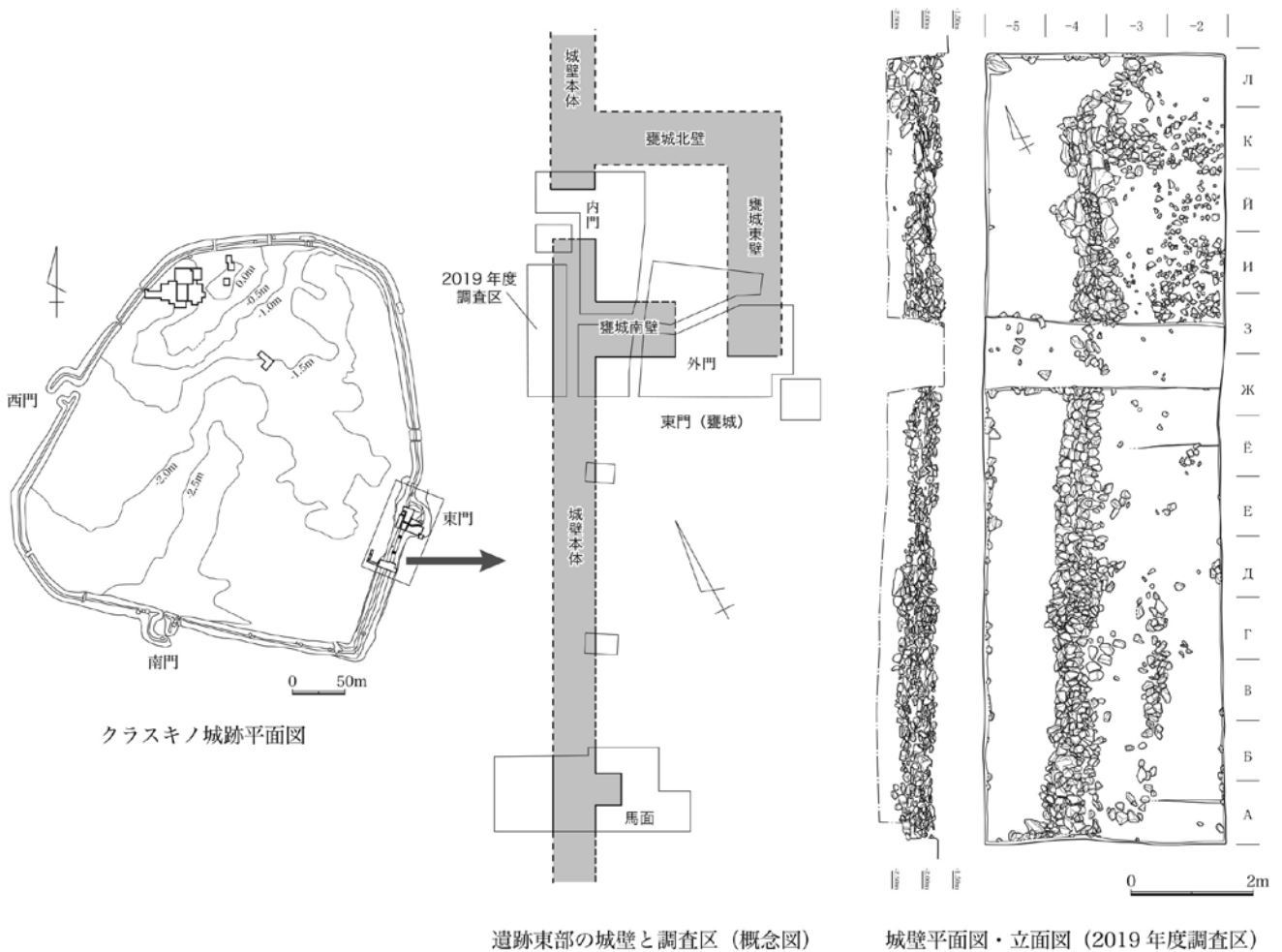


図2 クラスキノ城跡における調査位置

以下、本研究の主要な成果について概要を述べる（詳細は、本研究ユニットの研究成果報告論集を参照願いたい）。

- (1) 発掘調査によって城壁本体の内壁（石壁）を約12mにわたり検出し、これまで不明瞭であった内壁の構造と変遷の一端を明らかにした。具体的には、内壁は創建後に幾度も修築を受けており、①方形基調の珪藻質泥岩で整然と構築された創建期の石壁→②多様な石材で粗雑に修築された石壁→③河原石で粗雑に修築された石壁と変遷することが確認できた。また、城壁の裏込め土から契丹系の青銅製帯金具が出土したことで、③の構築年代の上限が9世紀後半～10世紀前半に定まったことも成果として特筆される。

今回の調査成果と既往の外壁の調査成果を組み合わせることで、クラスキノ城跡における城壁の構造と変遷の全体像に踏み込めるようになったことは本研究の最大の成果である。

- (2) 中止となった発掘調査の代替として既往の調査成果の再整理等を行い、クラスキノ城跡の検出遺構・遺物の基礎研究を推し進めた。具体的には、岩井が城壁や遺跡東部の検出遺構について考古学的情報の整理を行い、城の創建から終末に至るまでの変遷を明らかにした。また、菅頭はクラスキノ城跡から表採した土器・瓦類について胎土分析を実施し、元素組成の特徴が種別を超えて類似していることを突き止めた。眞鍋は年代決定の定点となる陶磁器について、クラスキノ城跡から出土している資料を網羅的に整理し、同時期の消費地遺跡である大宰府跡の陶磁器編年との対比から、各資料の年代観を再検討した。いずれの研究も、今後のクラスキノ城跡の発掘調査や渤海の考古学的研究の進展に寄与するものであり、重要な成果を創出することができたと考えている。
- (3) 本研究では研究成果を社会に還元するため、国内外の研究者を招聘しての公開講演会を開催する計画を進めていた。当会は国際情勢の変化を受けて中止となったが、作成していた予稿集には多くの論攷が寄せられていたことから、研究成果論集へ掲載し、研究成果として公開することとした。各論攷は、渤海時代及びその前史となる靺鞨時代の遺跡に関する最新の調査研究を踏まえたものであり、新たな考古学的知見を広く示すことができた。

### 3. 成果の発表

- (1) 学会等での報告：①クラスキノ城跡発掘調査団・ロシア科学アカデミー極東研究所「青山学院大学における渤海遺跡の発掘調査」青山学院大学史学会講演会『渤海を掘る』（2019年12月）、②岩井浩人「クラスキノ城跡における囲郭施設の変遷」金沢大学古代文明・文化資源学研究センター『第1回 渤海考古学シンポジウム』（2021年5月）、③岩井浩人「ロシア沿海地方クラスキノ城跡における日露共同調査」『北陸と世界の考古学：日本考古学協会2021年度金沢大会』（2021年10月）
- (2) 研究誌等での報告：①岩井浩人・E.I. ゲルマン・E.V. アスタシェンコワ・Y.E. ピスカレヴァ・佐藤愛実・齋藤愛・大浜拓人2020「ロシア沿海地方クラスキノ城跡の調査（2019年度）」『青山考古』第36号 青山考古学会、②岩井浩人2021「ロシア沿海地方クラスキノ城跡における日露共同調査」『北陸と世界の考古学：日本考古学協会2021年度金沢大会資料集』日本考古学協会2021年度金沢大会実行委員会、③岩井浩人2021「ロシア沿海地方クラスキノ城跡における日露共同調査」『日本考古学協会2021年度大会研究発表要旨』一般社団法人日本考古学協会
- (3) 研究成果報告論集の刊行：青山学院大学総合研究所研究成果報告論集『渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究－クラスキノ城跡の発掘調査を中心に－』（2023年3月刊行）  
〔論集所収項目〕

I 調査報告－2019年度ロシア・クラスキノ城跡発掘調査概要報告

II 研究報告－岩井浩人「クラスキノ城跡の城壁に関する基礎的整理」

－菅頭明日香「クラスキノ城跡出土遺物の胎土分析」

－眞鍋早紀「クラスキノ城跡出土の陶磁器」

III 付録資料（公開講演会『渤海を掘るXⅢ』予稿集）

－小嶋芳孝「古城村1号・2号寺址から見たクラスキノ城跡」

－岩井浩人「クラスキノ城跡の上層遺構」

－E.I. ゲルマン「クラスキノ城跡の下層遺構層」

－E.V. アスタシェンコワ「2019～2020年アプリコソフスコエ遺跡発掘調査成果」

－Y.E. ピスカリョワ「中世前期（5－7世紀）の西部沿海州」

以上、本研究は活動期間中に様々な困難に直面することとなったが、極東研究所や本学総合研究所をはじめ多くの機関・諸氏からご支援を賜り、研究成果を示すことができた。心より感謝申し上げる次第である。

## <要 約>

### ■ クラスキノ城跡の城壁に関する基礎的整理

岩井 浩人

ロシア沿海地方ハサン地区に位置するクラスキノ城跡は、渤海と古代日本の通交に用いられた日本道の起点となる海港遺跡であり、東京龍原府管下の塩州の州城と推定されている。城壁は土塁を芯として、その両側面を珪藻質泥岩と呼ばれる石材で覆っており、全長は甕城の形態をとる城門部分を除いて約1,250mと推定されている。現状、石積みの城壁が検出されている渤海の平地城は、クラスキノ城跡と王都が置かれた上京のみとされ、石積みの城壁を有すること自体が遺跡の特性の一つとなっている。そのため、本研究ではクラスキノ城跡の各調査地点で検出された石積み城壁の諸相を詳細に整理し、構築技法の変化とその背景について考察を試みた。

具体的には、石積みの石種や石面（外側に向けられた石の面）の様相をもとに城壁の分類を行い、その変遷を把握した。石種による分類は、肉眼観察による同定が比較的容易な珪藻質泥岩を規準として、その利用の度合いから以下の3つに分類した。〔Ⅰ類〕珪藻質泥岩を用いるもの。〔Ⅱ類〕珪藻質泥岩を含む多様な石種を用いるもの。〔Ⅲ類〕珪藻質泥岩は極まれに含まれる程度で、主に河原石を用いるもの。次に、石面による分類は、石面に割面、自然面のいずれが向いているのかを規準として、以下の3つに分類した（B類のみ細分）。〔A類〕石材の割面を表に向けるもの。〔B類〕石材の割面や自然面を表に向けるもの（B1類：割面が主体となるもの／B2類：B1類よりも自然面を向ける石が多く組み込まれているもの）。〔C類〕自然面を表に向けるもの。

以上の分類を基に検討を進め、石積みの構築技法の変化を以下の4つの段階に分けて整理できることを明らかにした。〔第一段階〕城壁の創建に際し、ⅠA類の石積み技法が導入される。方形を基調とした珪藻質泥岩の割面（節理面）を石面に向け、緩やかな傾斜角で基礎部から立ち上がる。内壁・外壁ともに石積みを支える最下段の基礎石は外側に張りだしている。選択的な石材採取、加工石材の比率、石積みの強度などを勘案すると、後代よりも高度な知識・技術を有した集団のもとで城壁の造営が行われたものと推定できる。〔第二段階〕第一段階の直後にⅡB1類の石積み技法が導入され、甕城の造営や城壁本体の修築に用いられるようになる。石材の採取地と規格は多様化し、石積みの傾斜角は急角度になる。一定の強度と威容は保持しているが、土圧に耐えきれずに上部が崩壊している箇所も認められる。ⅠA類とは構築技法が明確に異なり、この段階に大きな画期を設定することができる。〔第三段階〕前段階から一定の時間を経て、ⅡB2類の石積み技法が城壁の修築に用いられるようになる。加工石材の比率は下がり、石材間の隙間も多い粗雑な石積みとなる。強度と威容は著しく減退しており、この段階には石積み工事に高度な技術者集団を動員できるような状態にはなかったものと考えられる。〔第四段階〕城壁本体内壁の修築にⅢC類の石積み技法が導入される。未加工の河原石を不規則に積み上げており、前段階までの石積みとは用いられる技法が大きく異なる。この段階にも、技法上の大きな画期を設定することができる。

このように、石積み城壁の創建から、その後の維持管理は一律の技術によって担われているわけではなく、各段階で採用された技術体系には差異がある。特に、第一段階と第二段階、第三段階と第四段階の間に一大画期を設定でき、工事を担当した技術者集団はもちろんのこと、それを統括・指示する作業主体も置き換わっている可能性がある。

特に、高度な技術体系が一過的に採用された創建期の工事には、後代よりも上位の作業主体、技術者集団が関与していたと見るべきであろう。創建期の城壁に関わる技術や技術者集団がどこから調達されたのかは不明であるが、近年、琿春平野に所在する古城村1号・2号寺址の発掘調査において、渤海期や5世紀代に遡る寺院跡の存在が指摘されていることから、既に図們江流域に存在した寺院造営に関わる技術や技術者集団を調達して、クラスキノ城跡の城壁が構築された可能性も考慮が必要である。

また、第三段階と第四段階の石積みにおいては、石材や工法に連続性が認められないことから、その前後で石積みに関わった集団の技術系譜が断絶しているものと考えられる。出土遺物等の検討から第三段階の石積み

は9世紀後半～10世紀前葉、第四段階の石積みは10世紀前葉～中葉に位置づけることができ、第四段階の石積みは渤海の滅亡前後に構築されたものと推定できる。渤海滅亡後に興った東丹国が城を再整備する過程で第四段階の石積みを構築した可能性もあると見ている。

以上、20年以上にわたる発掘調査成果をもとに、クラスキノ城跡の特徴である石積み城壁の構造と変遷を明らかにした。渤海城郭のなかで囲郭施設の構造と変遷が明らかとなっている事例は極めて少なく、今回の成果が渤海城郭研究の進展に寄与することを期待している。なお、クラスキノ城跡の城壁に関する調査は外部構造（石積み外面）に偏っており、内部構造（石積み内面や芯土塁）の様相に関しては不明な点が多い。城壁の内部構造を確認するための発掘調査を行い、外部構造と内部構造を両輪とした城壁構造の研究を行うことが今後の課題である。

## ■クラスキノ城跡出土遺物の胎土分析

菅頭 明日香

ロシア沿海地方南部のクラスキノ城跡では、多種多様な遺物が出土しているが、特に土器が大量に出土しており、それらを対象とした胎土分析の実施は、渤海文化や土器製作技術などを研究する上で非常に有用なデータを提供すると考えられる。そのため、本研究ではクラスキノ城跡出土土器についての基礎データの蓄積を目的とし、クラスキノ城跡から収集された土器片の胎土の特徴について、蛍光X線分析法を用いて分析した化学組成、およびデジタルマイクロスコープを用いた表面・破片断面の観察による検討を行った。また比較資料として、同じく土製品である、クラスキノ城跡で採集された平瓦片・土製円盤、さらに渤海時代の東京城鎮（上京龍泉府址）で採集された軒丸瓦についても分析を実施した。

分析に供した資料は、クラスキノ城跡で採集された土器片16点、平瓦片2点、土製円盤1点、渤海時代の東京城鎮（上京龍泉府址）で出土した軒丸瓦1点である。これらの資料について、エネルギー分散型蛍光X線分析（非破壊法）とデジタルマイクロスコープを用いた表面および断面の観察を行った。

クラスキノ城跡から出土した土器片および瓦片、土製円盤について、蛍光X線分析法による分析を実施し、得られたそれぞれの資料の胎土の元素組成の特徴は、非常に類似しており、同質の粘土を使用して製作された可能性が高いと考えられる。また、クラスキノ城跡から遠く離れた東京城鎮で出土した軒丸瓦も、クラスキノ城跡出土資料らの胎土の元素組成の傾向とよく類似していた。

クラスキノ城跡出土土器の胎土については、以前に顕微鏡観察と岩石・鉱物学的調査が実施されており、細粒質の砂質比率の高いことが報告されているが、今回行った表面・断面観察でもその特徴が類似していたことを確認した。渤海時代の遺跡から出土する土器は、靺鞨罐、陶質土器、黒色土器に大別でき、靺鞨罐は渤海以前の靺鞨文化の系統を引く土器であるのに対して、陶質土器と黒色土器は、渤海時代に製作された土器である。陶質土器と黒色土器は、還元炎と酸化炎という焼成方法に大きな違いがあるとされ、黒色土器は酸化炎焼成後の燻焼により内外面を黒色処理していると想定されているが、今回の分析結果もそれを支持しているといえる。黒色土器の断面にサンドウィッチ構造が見られたことは、黒色土器の焼成方法を検討するうえで注目すべき特徴と考えられる。

今回は、蛍光X線分析法の分析結果やデジタルマイクロスコープによる資料の表面・断面観察の結果を報告するに留まった。また胎土中に含まれる岩石・鉱物組成について、詳細な鑑定をすることができなかった。今回の分析結果については、今後クラスキノ城跡やその周囲の渤海遺跡で出土した土器や土製品の胎土分析データを蓄積し、それらのデータとの比較も必要であり、クラスキノ城跡の発掘調査成果や周辺の地質環境との比較もふまえて、改めて検証をしたい。

## ■ クラスキノ城跡出土の陶磁器

眞鍋 早紀

### 1. 研究の目的

クラスキノ城跡は渤海の時代において日本道の起点となった施設であると考えられている重要な遺跡である。1980年代から行われている発掘調査では、対外交流を示す遺物のひとつとして、白磁や三彩を初めとする陶磁器が出土している。本稿ではクラスキノ城跡で出土した陶磁器のうち、白磁とその他の磁器資料の出土地点や層位等の整理を行い、同年代の消費地遺跡である大宰府条坊跡の陶磁器編年との比較検討を試みた。

### 2. 渤海陶磁研究史とクラスキノ城跡の年代観

渤海遺跡における土器研究は、1980年代以降様々な研究が行われてきた。特にクラスキノ城跡の出土土器は出土量が豊富で、遺構や層位との対比が可能であることから、中澤寛将氏、木山克彦氏、E.I. ゲルマン氏らによって年代的な推移や様式などが検討されるに至っている。対して渤海の陶磁器を扱った研究は少ないのが現状である。主な研究として、渤海遺跡出土の陶磁器について形態的な検討が行われている他、土器と比較して出土量が少ないことから、陶磁器は「奢侈品」として位置づけられている。

また、クラスキノ城跡では、城壁内部（北西部・中北・中南部）と城壁について年代観が整理されている。城壁内部については、中澤氏により文化層と遺構の相関関係や土器様相を基準として、第Ⅰ期～第Ⅴ期までの時期区分がなされている。第Ⅰ期はクラスキノ城跡の成立期（8世紀前半）にあたり、第5文化層の寺院南側隣接地区の第6号建物跡や第12号建物跡を指標としている。第Ⅱ期は城跡の整備期（8世紀中葉）として第4文化層の寺院地区下層の遺構群、寺院南側隣接地区の第5号建物跡、第13号建物跡等を指標としている。第Ⅲ期は城跡の再編期（8世紀末～9世紀）として第3文化層の寺院南側隣接地区第4号建物跡、寺院地区中層の瓦壁竪穴遺構や第35調査区の第4～5層出土土器群を指標としている。第Ⅳ期は城跡の展開期（9～10世紀前葉）であり第1文化層の寺院南側隣接地区第1号建物跡、第7号建物跡、第16号建物跡、第34調査区第2～4層出土時群を指標としている。第Ⅴ期は末期段階（10世紀中葉）の遺構群が該当する。寺南側隣接地区の第1号建物跡、第7号建物跡、第16号建物跡、第34調査区第2～4層出土土器群、寺院地区瓦壁土坑上層検出推定建物跡を指標としている。

今までの研究によりクラスキノ城跡の様相が明らかになりつつあるが、研究の中心を担ってきた遺物は出土量が豊富な土器であり、対して陶磁器は対外交流を表す重要な遺物であるものの、出土量が少なく取りあげられることが少ない。そのため本項ではクラスキノ城跡で出土した白磁・磁器類について再度情報の整理を行い、出土層位や遺物の特徴をとらえようとした。併せて同じ消費地編年として比較的年代が細分化されている大宰府編年と比較を試みた。

### 3. クラスキノ出土の陶磁器と太宰府編年との比較

クラスキノ城跡から出土した白磁・青磁・その他磁器を抽出した結果、総個体数は29点であり、うち白磁23点、青磁2点、その他の磁器4点である。出土地点ごとに概観すると、北西部寺院地区では白磁6点、青磁2点、その他2点、北西部南住宅地区では白磁8点、北西部東地区ではその他磁器2点、中北部道路-住居地区では白磁7点、中南部広場地区では白磁1点、東部東門調査区では1点である。寺院や居住区である北西部での出土数が最も多いが、大通り沿いの広場で共用スペースと考えられている中南部広場地区や東門地区でも白磁が出土している。また、他の調査区では白磁が多いのに対して、北西部東部の住居からは白磁ではなく褐釉磁器のみ出土している。そのうち明確な文化層が判断可能な磁器は6点であり、第3文化層（第Ⅲ期）の遺構から白磁4点、第4文化層（第Ⅱ期）の遺構から白磁1点、東門から1点が出土している。残念ながら、ほとんどの磁器が小破片で器種や産地が不明なものが多く、各文化層の特徴を時期から概観することは困難であった。

さらに、器形の特徴がとらえやすい遺物について大宰府編年を参考に年代について検討を行った。国や地域



は異なるが、磁器の「消費地」という同じ特徴を共有しているためである。遺物の特徴がとらえやすい磁器は5点であり、そのうち文化層と年代を照らし合わせることができたのは第31調査区の白磁である。第31調査区の瓦壁竪穴遺構の白磁は外側に丸くふくらんだ玉縁が特徴的で、太宰府編年最古期の白磁碗Ⅰ類-1（8世紀末～9世紀前半）と推察される。なお、瓦壁竪穴遺構は第3文化層（第Ⅲ期）の遺構であり、第Ⅲ期は中澤氏の時期区分によると8世紀末～9世紀と位置付けられており、大宰府編年の年代とも相違はみられない。一方でこの遺構の年代を9～10世紀初めと位置付ける論考もあるため、今後精査が必要となる。

#### 4. 今後の課題

クラスキノ城跡で出土している白磁と磁器はほとんどが小破片であり、層位が判明している遺物が少ないため、時期ごとの特徴を捉えることは困難であったが、第Ⅲ期の瓦壁竪穴遺構の遺物と太宰府編年と比較を行うことができ、中澤氏の年代区分とおおむね年代が一致していることがわかったが、調査を担当している各氏の遺構の年代観とは若干の差異があるため、他の磁器と共に遺構の年代観や文化層の位置づけについて精査を行いたい。また、今後はクラスキノ城跡以外の渤海遺跡で出土している時期についても大宰府編年と照らし合わせ、年代観について比較検討を行っていきたい。

## 一般研究 C ユニット

研究課題：「AI, BIG Data VR を利用した英語教育」

ユニットリーダー：小張 敬之 菊池 尚代

### 研究成果報告論集

『AI, BIG Data VR を利用した英語教育』

執筆者：小張 敬之 LAMBACHER, Stephen DABBS, Thomas 菊池 尚代

#### <総括>

小張 敬之

#### 1. 研究の背景

2009年 Trilling と Fadel が21世紀型スキルの教育を提唱した。また、2013年9月にオックスフォード大学のオズボーン准教授が702の職業のうち47%が、10年～20年後にはAIを備えた機械にとって代わられるであろうと予測をした衝撃的な論文を発表した。すなわち未来型の教育として、AI/Big Data/Roboticsの活用がWeb5.0時代には必要不可欠といえる。しかしテクノロジーの進化に教育方法論の構築がついていけない現状がある。

AI (Artificial Intelligence)、Big data、ICT やモバイル技術の進化は凄まじいものがあり、100%の大学生がスマートフォンを所持しそれらをすでに活用し始めている。従来の教育では体系化された知識を伝授することを目指す知識伝授型の教育が多く見られた。しかし、現在はインターネットや携帯端末、AIやBig dataを利用したコミュニケーションやコラボレーションを採り入れた新たな教育プロセスが設計されている。学習の「内的動機づけ」を促すには、「学習者がお互いから学ぶ協調学習 (collaborative learning)」を重視し、学習者各自が持っている能力を最大に引き出す必要がある。AIやICTを利用した場合に、それらがどのように変化する、教育効果があげられるのか調査をする必要があった。

この研究ではAI、VR (Virtual Reality)、ICTを利用した反転型学習を上記のモデルを参考にしながら、デジタル教材を利用して行い、その教育効果の検証と可能性を調査する。以前の科学研究 (2015-2017) ではiPadやスマートフォンを利用して英語学習を8ヶ月実施した結果、TOEICの平均得点が577点から758点と181点 (3年生25名対象) 伸び、反転授業における英語教育効果が判明した。しかし21世紀型スキルを獲得すると同時に、AIやVRをどのように教育に応用し効果をあげることが可能かは未知の分野である。今回の研究では、英語教育におけるAIの活用とその効果に焦点を絞り研究を進めていくことを目的とした。

具体的には①AIやVR技術を利用した授業実験、②学習者の行動分析 (Learning Analytics)、③効果的な21世紀に必要な反転授業の手法、④AIを利用した異文化や世界観の学びがどこまで可能か、これらを具体的に検証する。最終的には、最先端の科学技術 (AI/VR/音声矯正ソフト/Computer Test/Speaking Test) を利用しながら、英語教育におけるガイドラインを作成し、効果的な英語教育方法を提唱することだった。

#### 2. 研究の方法と結果

本研究は教室内の授業と自宅学習の両面から英語力向上を調査した。AI Speakerが家庭で使用されるようになったのは、2018年頃からだ。すでに単に話しかけるだけで、AI Speakerはかなり複雑な談話レベルで応答が可能だった。設定は英語と日本語に切り替えることが可能で、英語で質問するとある程度発音が正しければ即座に応答してくれる。これが英語教育のSpeaking & Listeningへの応用につながると考え、授業実験を通じてその有効性を検証した。研究期間は、2018年4月から2020年1月までの2年間、さらにCOVID-19によって2022年まで延長した。

### (1) 2018年度 授業実験1

2018年度の授業実験1では、通常の授業ではiPadを利用して課題発表の形式で行った。また、自宅ではAI SpeakerとVRを使って、好きな学習ソフトを選び、日々の生活の中で英語に触れる時間を増やすように指導した。学生たちは毎週学習日記をつけ、月に数回、学習状況を携帯電話で動画に記録し、Facebookにアップしてお互いの学習状況を確認した。6つのグループに分け、AI SpeakerとVRをどう活用して英語力を向上させるか、どのようなソフトや活用方法があるかを研究課題とし、10ヶ月間の学習体験授業実験を行った。そしてグループごとに中間発表と最終発表の2回、英語で発表させ、授業実験に関する結果をまとめた。

授業実験の結果、TOEICでは事前と事後のテストの平均で222点(n=24)上昇し、CEFRではA2からB1のレベルまで伸びた。また、OPIc Speaking Testでは、1~7を判定し、平均で0.8の伸びがあった(OPIc Speaking 試験:95.9、効果量0.74)。これらの結果から、AI SpeakerやVRを利用した授業実験を行ったことで、Speaking & Listeningの英語力が向上したことが確認できた。

### (2) 2019年度 授業実験2

2019年度の授業実験2では、AI Speakerを利用するグループと未利用グループに分け、1年間の授業実験を行った。両グループともに授業の内容は同じで、AI Speakerを利用したグループは、自宅でVRを使い、毎日英語を聞いたり話したりすることを習慣化し、学習日記をつけて毎週報告させた。一方、もう一つのグループは、e-Learningを習慣化し、学習を報告させた。その結果、両グループともにTOEICの得点は上昇したが、AI Speakerを利用したグループの平均得点が407から604へと197点上昇し、e-Learningのグループは447から598へと151点上昇した。これらの結果から、AI Speakerを利用した方がTOEICの得点の上昇率が高いことが分かった。また、AIのアンケート調査結果から、AIが個人の弱点や学習法を解析し、学習方略を考察し、効果的な学習に取り組むことで、人間の能力を進化させる可能性も示された。

### (3) 2020年度

2020年度は新型コロナウイルスの影響で、VRやAIを利用した授業実験を行うことができなかった。その代わりに、主にZOOMやWebCTを利用し、反転授業を行った。過去2年間の授業実験をまとめて、国内外の学会での発表や論文、書籍の執筆を行った。10月から11月にかけて、7週間に渡り、ZOOMを利用してシンガポール国立大学(NUS)の日本語学習生19名と小張のゼミ生19名で合同ゼミを行い、最終週には共同プレゼンテーションを行った。

COILプログラムを通じて、学生は世界中の様々な人々と協力する機会を得た。これにより、他の国や文化に対する理解が深まり、より広い視野を持つことができたと多くの学生がアンケートに回答していた。また、異なる文化やバックグラウンドを持つ人々と共同作業を行うことで、異文化理解を深めることができ、現代社会における重要なスキルを身につけることができた。さらに、COILプログラムはオンラインで行われるため、デジタルツールを使ってのコミュニケーションや情報共有の経験も得ることができ、デジタルリテラシーの向上に繋がった。この年度は、論文や学会の発表をまとめて、学術書である『Smart CALL』の一章としてまとめられ、海外の出版社から出版された。

### (4) 2021年度~2022年度

2021年度から2022年度の2年間は、経済学部のVRプロジェクトに関して、2年間のVR利用の研究を行った。2021年度は、経済学部の学生59名を対象に、VRヘッドセット(Oculus Quest 2)を利用し、英語のネイティブスピーカー6名に協力を得て、事前・事後のTOEIC、Opic Speaking test、アンケート調査を行った。少数グループごとに週に45分から1時間、好きな教師を選び、約10ヶ月間英会話学習を、VRを使用しながら行った。ボランティアの学生が参加したために、最後まで継続して学習した学習者は59名よりも少なく、事前・事後の得点の伸びを厳密に測定することはできなかったが、外国語学習に対する不安が軽減されたと回答した学生が多かったことは注目に値するといえよう。VRを利用した英語学習には、学習者が没頭して学ぶ利点があ

る。通年を通して VR を利用して学んだ学生は、TOEIC のスコアが200点以上伸び、楽しく学ぶことができた  
と回答していた。

### 3. 結論とまとめ

4年間の研究を総括すると、VR（バーチャルリアリティ）を使うと、学生はまるで外国にいるかのような  
体験ができる。その結果、現実的な環境で語学を学び、モチベーションも向上する。VR を用いて実際の会話  
をシミュレートすれば、リスニングやスピーキングのスキルを具体的に鍛えられる。また、VR はさまざまな  
地理的・文化的な場所を体験することができ、その国の文化や習慣も学べる。ミスを恐れることなく、何度で  
も練習ができる。ただし、VR を活用するには技術的な制約や、VR 機器へのアクセス制限といった課題もある。

一方、AI（人工知能）は学生の強みや弱点、進行速度を把握し、それに基づいた個別の学習プランを提供  
する。AI の利用により、学生はすぐにフィードバックを得られる。語彙、文法、発音の学習といった繰り返  
しの練習に特に効果的である。AI を利用した教材はスマートフォンやコンピュータからアクセスでき、学生  
は自分の都合のいい時にどこでも学習できる。AI は学習進度を追跡し、自己評価を支援する。弱点を見つけ、  
学習を調整することが可能である。さらに、AI を使えばゲーム感覚の学習や対話形式の学習ができ、学生は  
積極的に参加しながら、学習を楽しむことができる。

VR や AI を用いた英語学習は、学習者に対する個別対応と即座の反応を可能にし、自己学習を促す。既存  
の学習方法と組み合わせて使用するのが効果的と考えられている。

## <要 約>

菊池 尚代

### 1. 目的

当該研究で取り扱う「技術」とは、AI スピーカー、VR 技術、モバイル技術などの一連の ICT を指す。こ  
れらの技術は本研究開始前後から今に至る 4 年間、急速な進化を遂げた。自動プログラミングの機械学習から、  
高精度な能力を持つディープラーニングや人間の脳のニューロンを再現するニューラルネットワークなど、教  
育への技術応用は人口に膾炙し、研究対象としても極めて興味深い。当該研究ではこれらに関する先行研究を  
考察し、実証研究を通して、今後の英語教育にどのように応用できるのか、課題や可能性を明らかにすること  
が目的であった。

20世紀の英語教育は、あらかじめ定められた解答を学生に記憶させるための、文法や単語を繰り返し訓練さ  
せる行動主義的な教育が中心だった。ICT を英語教育に利用し始めた当初の CALL（Computer Assisted  
Language Learning）も、文法や単語の穴埋めの練習問題が主な利用法で、比較的単調な作業や課題をいかに  
継続させるかが研究の中心であった。やがて英語教育の理論的進展に准ずるがごとく、認知的側面を強化した  
記憶を強化させる手段や、コミュニケーション型で課題解決型の TBLT（Task-based language learning）などへ、  
ICT 進化が応用的利用を可能にしていった。さらに社会構成主義の理論的な裏付けの下で、多くの研究や考  
察が行われ、ICT を活用した英語教育は大きく前進した。そして昨今では、人間を模した AI 技術が関与する  
ようになり、その急速な普及とともに社会が教育に求めるものも変化してきている。これは不確実性や複雑性、  
曖昧性が高まる VUCA（Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity）な時代の指針として、様々な機関  
が提唱する21世紀型スキルとも連動している。当該研究は、このスキルに新たな提言をすることも目的の1つ  
であった。

### 2. 今後の展望

技術と英語教育は、学生のモチベーションの維持や教室外の学習法と深く関わっている。現代では誰もがス  
マートフォンやモバイル機器を持ち、インターネットを通じてコミュニケーションを取るようになった。さら

に昨今の AI を応用した英語学習は、学校や個人の学習環境に多大な影響を及ぼした。その可能性は計り知れず、技術を使用しない選択肢は、今や考えられないほどである。比例して、英語教育者として AI 技術の有効活用法や懸念点など、課せられた課題も増加している。すでに AI を授業準備に利用するなど利用価値も多く報告されている一方で、学生の実力がますます不透明になる懸念は大きい。倫理面やプライバシー、セキュリティ、アルゴリズムの偏りといった潜在的な問題に加え、翻訳ソフトなどがさらに進む世界で、どのような英語力が求められていくのか。今後は、従来の英語力に加え、さらなる創造力や批判的思考力といった能動的な力の育成が必要不可欠になると考えられる。

研究課題：国際貿易と国内政策：貿易、政府調達、産業政策の相互作用  
ユニットリーダー：鶴田 芳貴

研究成果報告論集

『国際貿易と国内政策：貿易、政府調達、産業政策の相互作用』

執筆者：鶴田 芳貴 沈 承揆 小橋 文子 高 準亨

<総括>

鶴田 芳貴

経済学では自由貿易が人々にとって様々な意味でプラスに働くことは、これまでに様々な形で進化してきたモデルによって主張されてきた。このような貿易の便益の例としては、「交換によって生じる消費者の効用の向上」が第一に挙げられる。また、経済活動を特定の製品の生産にウェイトを置くことにより、特定産業に特化されることによって生じる「生産活動の効率性改善」も便益の一つである。さらには貿易の進展により「それぞれの国々の消費者は多様な製品の利用が可能となり、それにより消費者の便益を向上」させる可能性が高まる。このような観点からこれまで貿易障壁を取り除く努力が様々な場所で行われてきた。

実際に貿易の便益がどの程度のものであったのかを明らかにした研究は多くあり、例えば、Bernhofen and Brown (2005) は19世紀の日本の開国を自然実験として、貿易から得られる利益は日本のGDPの約8～9%程度あった可能性を明らかにしている<sup>1</sup>。また、Coelli et. al. (2022) は、関税削減による貿易自由化で市場アクセスの障壁を引き下げることによって、重要なイノベーションが大きく促進したことを示し、多国間の貿易自由化がイノベーションと成長を促進する可能性を示唆している。他にも多くの研究が国際的な取引における障壁の排除は経済活動を活発化させることを指摘している<sup>2</sup>。

様々な形で貿易の自由化が進められると、これまで国内政策として捉えられてきたものが、新たな貿易の障壁とみなされる可能性が出てくる。つまり、ある国の経済が開放されることによって、新たな国内と海外との境目が生じ、その境目を開放するのかどうかという議論が繰り返されることになる。本報告で取り上げられている、中小企業政策やそれに関連づけられる政府調達政策、そして環境政策はまさにその代表的なものであろう。

本研究プロジェクトは、このような国内政策と自由貿易とが相互に影響を与える可能性のある政策に関連する各種の問題に取り組んでいる。当然このような政策に関して様々な種類の具体的な問題が存在する。本プロジェクトで注目した具体的な問題意識は、大きく分類すると二つのテーマとしてまとめられる。

一つ目は、1970年代のGATT時代より開始された政府調達に関する議論の結実である政府調達協定(Agreement on Government Procurement, GPA)が実際に適切に運用されているか否かという問いである。これまでの多くの研究は、基本的に政府調達協定の運用が適切に行われていることを前提として分析を行っているものが多い。ある政策の効果を測定するためには、当然ながらその政策が適切に実行されていることが前提となっていなければその効果を測ること自体に意味がないため、このような前提を置くことは、自然である。しかしながら、国際的な協定が結ばれることはそれを適切に実行していることと同意ではない。そこで本プロジェクトでは、政府調達協定が適切に実施されているのかという基本的な環境についての確認を行うための分析をいくつか行っている。

二つ目は、世界的に頻繁に議論されている温暖化ガスの排出抑制・制御に関する政策は、近年企業活動における大きな関心事項であり、結果的に貿易にも大きな影響を与えることになっている。この中でも温暖化ガス対策の政策のツールの一つであるBCAs (Border Carbon Adjustments) に関連する政策を取り上げた。厳し

1 本報告で引用している参考文献の詳細は、研究成果報告論集の参考文献リストを参照されたい。

2 例えば、Trefler (2004) は、アメリカとの自由貿易協定による関税削減によって、カナダの輸入競争産業における労働生産性が15%向上したことを報告している。

い気候変動対策をとっている国が、気候変動対策として十分な対策をとっていない国からの輸入品に、水際に炭素価格として課金を行う。その一方で、国内で気候変動対策に伴って課税された輸出品を輸出する際には、輸入品に対する課金によって得たものを輸出品に還付する。このような仕組みにより、国内市場でも国外の市場でも同等の条件で競争できるような仕組みがBCAsである。本プロジェクトでは、国内政策が国際貿易や厚生に対して与える影響に関する分析に新たな視点を与える結論を得ている。

## 1. 政府調達市場の供給サイドに関する調査

一国の経済活動における政府自体の経済活動は無視できる規模ではない。例えば日本における GDP の 2 割弱は政府活動によるものであり、その中でも大きなウェイトを持つものが政府調達である。経済活動における政府の役割が大きなものとなっている状況は日本特有のものではない。政府自体が果たす役割とその規模は他の国でも同様に重要である。

このような規模の特徴から政府調達は貿易自由化の一層の実現においても重要な要素として捉えられてきた。GATT の東京ラウンドでは、政府調達市場での国内外の無差別な扱いや、その規律の枠組みの構築に関する交渉が持たれ、1979年4月に「政府調達に関する協定」が作成され翌年発効した。その後、1983年に改定作業が始まり1987年に改定され1988年に発効、さらに1995年にはマラケシュ協定の附属書四として新たな協定が発効し、近年では2014年に「政府調達に関する協定を改定する議定書」が発効している。これらの改定、改正を重ねる度に締約国における政府調達市場の開放されるべき領域や対象機関は拡大されており、外国企業の参入の可能性は高まっている<sup>3</sup>。しかし実際に外国企業が日本の政府調達市場にどの程度参入しているのかという情報は、入札案件レベルでは散逸した形で存在しているものの全体像を示すものは筆者が知る限り存在しない。

本研究では、これまで明確に調べられることがなかった公共調達市場における入札参加者について、政府の全省庁入札資格に関する情報を収集することによって俯瞰した。まず全体的に言える事は、統一資格を有する大企業の数が増加し、中小企業と小規模企業の両者の合計が若干の減少傾向にあるという点である。このような傾向は、政府が「官公需についての中小企業者の受注の確保に関する法律」に基づく「中小企業者に関する国等の契約の基本方針」で示している中小企業へより受注機会を与えるべきという方向性が、そもそも参入段階・契約段階前の問題のため、必ずしも正しい方向に進んでいない可能性がある。これがいかなる要因によるものなのかは重要な研究テーマになる可能性がある。

加えて、2020年の持続化給付金に関連する一般社団法人サービスデザイン推進協議会に対する問題でも明らかのように、そもそも契約先が形式的には中小事業者であったとしても、再委託という形が取られ、大企業に業務が流れるような状況が存在する。このような状況は閣議決定がなされている内容と実際の事業遂行者が大企業であるという事実の間に矛盾を生じさせている。そのような意味で再委託については透明性を持たせない限り、「新規中小企業者をはじめとする中小企業者の受注の機会の増大を図るための方針」などの閣議決定は本質的に意味を持たないものになる可能性がある。

また、本研究の中心的なテーマである外国法人の公共調達市場への参入については、国税庁のデータとマージすることで情報を整理した結果、外国法人の有資格者数は極めて限定的であることがわかった。しかし、これをもって日本の公共調達市場へ外国企業が参入していないと判断するのは早計であろう。外国企業の日本の調達市場への参入状況の実情を知るためには、外国に本拠を持つ企業の日本法人の参入状況を把握することが一つの方法であると言えるが、それを実現するためには統一資格申請時の情報を全て入手する必要がある。これは日本の政府調達市場の開放度合いを議論する上で重要な情報であり、今後の大きな課題として残されているものである。

## 2. 政府調達で設定された予定価格の分布特性：バンチングの有無に基づく分析

政府調達は一般的にはその多くが入札を通じて行われる。つまり政府の経済活動が適切に行われるか否か

3 政府調達市場の国際化や WTO の政府調達に関する協定についての様々な議論は Arrowsmith et. al. (2011) や Georgopoulos et. al. (2017) などを参照されたい。また日本の政府調達制度については Aoki (2015)、Kinoshita (2017) が詳しい。

は、適切な公共調達案件の設定と、それを実施するための入札手続きの適正さが大きく影響すると言える。このような観点から注目されるのは、入札に参加する企業間の談合や、入札実施主体側を含めた官製談合などの入札手続きの過程における不正であり、これが経済活動の効率性や公平性に対して大きな問題を生じさせていることはこれまでも指摘されてきたとおりであり、その探知は経済学的な意味でも政策的な意味でも重要な意味をもち、多くの研究がこのような観点から分析を行なってきた<sup>4</sup>。

しかしながら、このような独占禁止法に違反するような問題だけが政府調達における予算執行を歪める要因になっているわけではない。入札の実施前段階での省庁・自治体といった発注側によって行われる公共調達案件の設定が適切に行われていないことによって、予算執行の効率性を低下させる可能性も考えられるのである。例えば、Kovacic (1992) は、不正行為の減少や重要な公共事業への支出に対する納税者の信頼を維持するための様々な規制は、全てではないにしても、有能なサプライヤーを次第に公的調達の場から遠退かせ、民間市場での活動に集中させるような行動に出る可能性があることを指摘している。また、Placek et. al (2020) は、EU 加盟国では EU 調達指令が国内調達法の直接の源となっているにもかかわらず、EU 加盟国に異なる結果をもたらすことに注目し、強い官僚主義体制や調達規制の質の低さが、オーバープライシングに重要な役割を果たしている可能性を指摘している。このように制度的な要因は大きく公共調達市場の結果に影響する可能性がある。

本研究テーマではこのような公的調達において設定される制度的側面の一部である予定価格の設定に注目する。調達機関は調達する様々な物品やサービスに対して一定の見積もりを立てて予定価格を設定し調達を行うことになる。調達機関は本来、見積もりに基づき設定されるべき予定価格を、何らかの形で調整するモチベーションを持つ可能性がある。ここでは以下に3つの要因の存在を指摘する<sup>5</sup>。

一つ目は、発注主体の財政状況を反映した結果、予定価格を低く設定するという行動である。適正な入札基準をそれぞれの発注主体の予算制約に応じて引き下げることで、適正な価格設定が行われなくなる可能性がある。

二つ目の要因は政府が推進する政策を実現する必要性が高まっている状況において生じる要因である。特に大きな影響を及ぼすと考えられるのが、政府による中小企業の保護政策の一環としての公的調達を活用するという政策的動機によるものである。本来であれば案件ごとに適切な規模や価格を設定すべきものが、企業の入札に対するアクセシビリティによってそれらが決定されれば、効率的な政府調達は難しくなる。

第三の要因としては、貿易自由化のツールとしての公的調達という側面から生じる事務コストが公共調達に対して与える影響である。一つ目の分析テーマでも触れられたように、WTO による GPA では上述したような政府調達の規模の大きさから、この政府調達市場の開放が、国際貿易の一層の自由化および拡大につながると思っている<sup>6</sup>。そのために外国企業の参入障壁を下げるの必要があり、いくつかの定められた方法が決められている。このような GPA に基づいて定められた手続きを経て入札案件が実行されなければならないということは、調達当局にとっては追加的な様々なコストを払わなければならないことになる。

以上のような3つの要因を考慮すると、公共調達の設定において、調達発注者はこのようなコストを抑えるべく行動を取り、結果としてこのような要因が働くような入札案件を回避するインセンティブが働く可能性がある。

この研究では日本の政府調達の予定価格が恣意的に歪められている可能性があるかどうかについての検証を行なった。具体的には、政府調達の国際化や中小企業政策といった上述の3つの要因が調達主体である政府や自治体の行う公的調達での入札における予定価格の設定に対して調達機関が政府調達協定の適用を避けるため

4 例えば Tas (2022) は、調達案件の設計を恣意的に操作する当局が1割以上存在し、入札を閾値のすぐ下の金額で設定して非競争的な調達手法を実施しており、同じ企業が繰り返し契約をしている確率を高めることを明らかにしている。Liebman and Mahoney (2017) は予算執行期限直前に実施されるプロジェクトに資源を消化しようとすることで年度末の情報技術プロジェクトの質が大幅に低下することが指摘されている。Gupta (2002) はフロリダ州の高速道路建設業を対象に、Kawai and Nakabayashi (2022) や Watanabe (2022) は日本の建設・工事関係の入札データを対象にした分析を行っている。

5 Placek et. al. (2020) は調達機関によるオーバープライシングを引き起こす要因に関して実証分析を行なっている。

6 Evenett and Hoekman (2005) は理論的枠組みに基づいて公共調達に関する協定は、外国企業の市場アクセスや社会厚生を改善させる可能性は低いことを指摘している。その一方で、Tas et. al. (2019) はヨーロッパにおける調達にどのような影響を与えたのかについて実証的に分析しており、WTO による GPA が、外国企業に契約を発注する確率を高め、競争を促進し、単入札者による契約数を減少による汚職リスクを低下させ、費用対効果の高い公共調達を促進することを示した。



に裁量的な調達案件の設定を行っている可能性について検証を行った。検証方法としては予定価格の分布に bunching の有無を多項回帰に基づいて検定する方法、McCray (2008) の検定を利用している。サンプルは日本の国土交通省の地方整備局における建設・工事に関連する政府調達案件である。分析結果によれば、必ずしも明確な政府調達案件としての適用を避ける行動をとっているということを示す明示的な証拠は存在しなかった。ただし、この結果は建設・工事に関する入札案件データのみを用いた結果であり、一般的な結論としてこのような結論が成り立つかどうかについてはさらにデータの範囲を広げて検証を続ける必要があると言える。

### 3. 政府調達で設定された予定価格の Benford 法則に基づく分析

様々な自然・社会・経済現象に関する分布の特性を利用した研究は頻繁に行われている。通常は観測するものに対して典型的な大きさや規模というものが存在することが多い。例えば人間の身長などは典型的なものである。また、多くの独立したランダムな変量の和や平均の分布は正規分布に従うことは、中心極限定理としてよく知られている<sup>7</sup>。従って、一般的に、ある現象が生じる頻度の分布について最初に想像するものは正規分布である。

しかしながら、実際には必ずしもそうはならない現象が当然ながら多く存在する。具体的には、個人の資産や所得、都市の人口規模、企業の規模など、様々なものがべき乗則に従っていることが指摘されている。例えば Gabaix et. al. (2003) は金融市場における株式のリターンや取引量、取引数などの分布について、Render (1998) は物理学の論文の引用件数の分布について検証し、それぞれべき乗分布に従うことを示した<sup>8</sup>。これは Easley and Kleinberg 2010 で指摘されているように、情報カスケード<sup>9</sup>やネットワーク効果がその原因として考えられる。べき乗則以外にも多くの分布特性に関する議論がなされている。Zipf の法則や Benford 法則といったものはその代表的な例と言えるだろう。

本研究テーマの目的は、二つ目の研究テーマで行ったものと同様に、国土交通省の全国の地方整備局で行われた入札案件で設定された予定価格の決定において何らかの恣意性が発生しているか否かを評価することにある。具体的には、WTO の GPA によって設定された閾値の存在が、入札における予定価格の設定において何らかの影響を与えたかについて、上述した様々な分布特性に関する研究ツールを利用することで明らかにすることである。

ここでの分析結果は、予定価格は Benford 法則にしたがって必ずしも従っていない可能性があるということになった。具体的に明確な不一致が生じているのは、30 という値の前後で頻度に極めて大きな違いが最も顕著であろう。これは国土交通省が実施している入札が一般土木工事、建築工事の B 等級が 3 億円以上であることを考えると、B 等級以上の案件が分割されている可能性を示唆している、GPA の基準額の最初の二桁の数値に該当する部分では、必ずしも大きなズレは見られず、むしろ Benford 則に従っている可能性があることを考えると、GPA に該当する案件の分割よりも B 等級に該当する案件の分割が行われている可能性がある。しかしながら、ここでの分析結果のみに基づいてそれを判断することは難しいため、今後の課題としてより詳細な分析を行う必要がある。

### 4. 国際貿易と国境を越えた環境汚染：国境炭素調整が社会厚生へ与える影響

2021年7月14日、欧州委員会は炭素国境調整メカニズム (Carbon Border Adjustment Mechanism、以下 CBAM) の提案の詳細について公表した。そして、2022年3月15日には、欧州連合 (EU) 理事会は、国際的な炭素漏出を防止するための CBAM に合意した。しかし、気候変動対策という切実な目的にもかかわらず、

7 このことについては統計学の教科書の多くで記載されている。例えば、Casella and Berger (2002)、Blitzstein and Hwang (2015) などを参照されたい。

8 Guilmi et. al. (2003) や Tao (2021) は所得分布がべき乗則に従うことを示している。

9 多数の人が存在し、彼らが順番に過去の人の選択情報を参照しながら何らかの選択を行う状況を考える。各自が選択する状況になったときに、一般的にはその選択は各自の持っている自己の情報に基づいて行われる。ところがそうではなく、選択において、その他の人々がどのような判断をしたかがその選択に影響を及ぼすことがある。このように、その他の多数派の人々が選択したものを選ぶ傾向のことを情報カスケードと呼ぶ。

ブラジル、中国、インド、南アフリカなどの多くの新興国は、CBAMは気候変動対策を装った保護主義だと批判し、さらに、これらの国々の貿易製品をEUが輸入する際に不当な差別が課されることになると主張している<sup>10</sup>。このような議論に刺激され、本研究テーマでは、国際貿易と国境を越えた汚染（cross-border pollution、以下CBP）を組み込んだ国境炭素調整（Border Carbon Adjustments、以下BCAs<sup>11</sup>）を採用した場合、どのような結果がもたらされるかを分析するための理論的枠組みを構築した。

具体的には、統合された国際市場でのクールノー的な競争をする対称的な有限社数の企業が存在する、単純な2国間モデルを用いて、BCAsの厚生効果を検証した。その結果、CBPが存在する場合、BCAsの採用は各国政府にとって弱支配戦略であり、BCAsの一方的な実施は、相手国の環境規制強化を誘導することによって、実施国の厚生を高め、他国の厚生にも正の影響を与えることが示された。BCAsの設計と実施の問題は現実的に困難を伴うものであるが、我々が得た知見は、グローバルな効率性の観点からBCAsの実施を正当化するものである。

EUは今後数年のうちにCBAMを導入して先陣を切るだろうが、他の国々がいつこの流れに合流することになるのかは未知数である。少なくとも現時点では、本研究の理論的予測とは一致しておらず、異なる利害関係を各国が持っていることからEUのCBAMに対する反応は様々である。カナダと米国は、EUの動きに対する潜在的なフォロワーになる可能性が高い。カナダ版BCAsの正式な協議が始まっているが、米国は高炭素財に対するBCAsのプログラム開発を開始することを示唆している。日本でも同様の案が検討されているが、まだ具体化されていない。これに対し、中国政府はCBAMがWTO法に違反するとして断固反対している。韓国政府は、欧州諸国への炭素集約型製品の輸出量がそれほど多くないため、CBAMに直接対応することを控えている。その代わりに、国内規制を強化し、カーボンニュートラル2050計画を推進している。

これらの様々な反応は本研究の予測とは異なるものであるが、必ずしも理論と現実のギャップを反映しているわけではない。むしろ、前者は長期的な予測であり、後者は短期的な反応であると解釈される。さらに、より多くの国がBCAsを採用しようとする中、政策立案者は、BCAsの設計が重要であることを認識しなければならない。それがもたらされる結果に対して本質的に影響するものであり、WTO法との適合性を決定づけ流ためである。しかし設計の問題は本研究の範囲外である。さらに、BCAsは、気候変動対策、特に国際的な炭素漏出を防止するためのいくつかの政策的解決策の一つに過ぎない。

---

10 Bacchus (2021) を参照のこと。

11 国境炭素調整には、国境炭素税を輸入品に対して課す方法、輸入時の温室効果ガス排出件提出を義務づける方法、輸出品に対して国内で負担していた温室効果ガス排出によるコスト負担を還付するような輸出品に対するリベートを支払う方法などがある。

## Ⅱ. アーリーイーグル研究支援制度活動報告

# 三次元有限要素解析と深層強化学習の共進化によるワイヤレス給電システムの高速最適設計の実現

理工学部電気電子工学科 助教  
佐藤 佑樹

## 1. 研究目的

近年、スマートフォンや無人搬送機、電気自動車への充電のため、ワイヤレス給電の開発が活発に行われている。ワイヤレス給電では電気を充電するためのケーブルが不要となるため、そのケーブルのメンテナンスフリー性やユビキタス充電の実現が期待されている。その一方で、ワイヤレス給電の効率は、使用されているコイル形状やその対象物との位置関係や距離により大きく影響を受けてしまう。例えば、コイル間の位置ずれにより数%から10%近く効率が落ちてしまうことも少なくない。ワイヤレス給電の効率は、多くの電力損失の発生や充電時間の長大化に直結するため、ワイヤレス給電システムのさらなる高効率化や位置ずれに対するロバスト特性の改善は急務な課題である。その一方で、ワイヤレス給電コイルの設計過程では設計者の知見と経験で試行錯誤的に行われていることが多く、その限界性能を引き出せているかは非常に疑問が残る。そこで本研究では、ワイヤレス給電コイルの限界性能を引き出しかつ設計者の知見や経験を最小限に抑えた高速な最適設計手法を開発することを目的とする。

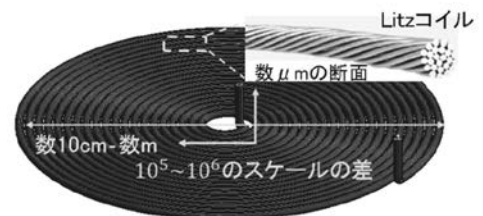


図1 ワイヤレスコイルのマルチスケール性

## 2. 研究概要と成果

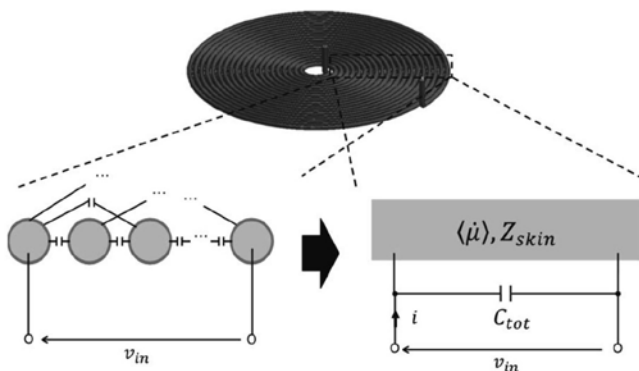
ワイヤレスコイルは、図1に示すように数mmの断面を持つ微細の銅線を束ねたコイルを平面上に巻くことで作成されることが多い。コイル全体のサイズは数10cmから数mに及ぶことも少なくなく、マルチスケール性を有した問題となっている。そのため、電気機器設計で頻繁に使用されている有限要素法で特性解析を行う場合、長大な計算時間を要する。そこで、本研究では、マルチスケール性を有したモデルに対して、有効性が示されている均質化有限要素法と呼ばれる手法に着目し、特性解析の高速化を図った。均質化有限要素法は、事前に局所的な特性の解析を行い、その後局所的な特性をコイル領域で平均化しその領域内で一様な巨視的な特性として扱い解析を行う手法である。巨視的な特性として扱うため、細線コイルに合わせた要素分割を必要とせず特性解析を高速化できる。

また、ワイヤレスコイルは微細な銅線が密集しているため、多くの寄生キャパシタンスが存在する。その寄生キャパシタンスを考慮した解析も非常に重要であるが、寄生キャパシタンスを考慮した均質化法は提案されていない。そこで、本研究において、寄生キャパシタンスを考慮した高速な均質化法の提案を行った。図2に寄生キャパシタンスを考慮した均質化法の概略図を示す。適切な  $C_{tot}$  を設定することにより、寄生キャパシタンスを考慮したワイヤレスコイルの特性解析を行うことが可能となる。

図3に提案手法による解析結果を示すが、従来の有限要素解析とほぼ同等の結果が得られている。一方で、従来手法では3時間以上の解析時間が必要であるのに対し、本手法では約7分で解析を終了している。そのため、本手法により、ワイヤレスコイルの特性を高速に解析することが可能となった。

## 3. まとめと今後の展望

本研究では、拡張均質化有限要素解析を用いることにより、ワイヤレスコイルの高速な特性解析法の提案を行った。本手法により、従来法と同等の解析結果が得られ、95%以上の高速化を達成することができた。今後は、本提案手法と深層強化学習を組み合わせたワイヤレス給電コイルの形状最適化手法の開発を進めていく予定である。



(a) ワイヤレスコイルの断面図. (b) 均質化法

図2 提案手法

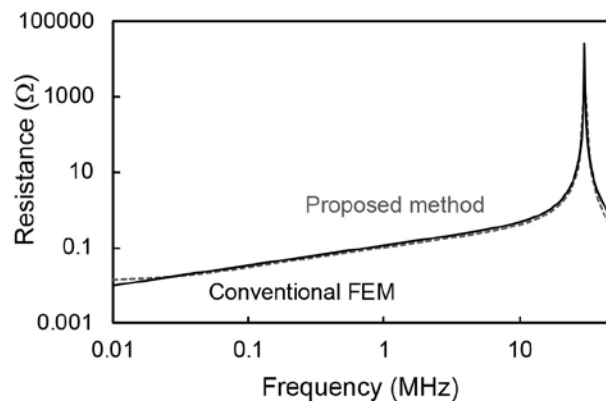


図3 従来法と提案手法の比較  
(実線：従来法、点線：提案手法)

最後に、本研究の遂行にあたり、アーリーイーグル研究支援制度の助成を賜りましたこと、深く感謝申し上げます。

**本支援による採択論文：**

[1] Y. Sato, S. Hiruma, H. Igarashi, H. Matsumoto, "Time-Domain Homogenized Finite Eddy Current Analysis Using Recursive Convolution Method," IEEE Transactions on Magnetics, doi: 10.1109/TMAG.2023.3245056.

**本支援による発表：**

[1] Y. Sato, D. Ishii, H. Matsumoto, H. Igarashi, "Homogenized Finite Element Analysis for Multi-Turn Coils Considering Parasitic Capacitances," *Compumag2023*, Kyoto, May, 2023.  
 [2] D. Ishii, Y. Sato, H. Matsumoto, "Fast Shape Optimization of Wireless Coils for High-Frequency Wireless Power Transfer Using Homogenized Finite Element Analysis," *Compumag2023*, Kyoto, May, 2023.

## CVD グラフェンを用いたラテラルフロー型電気化学発光分析デバイスの作製

理工学部電気電子工学科 助教  
渡辺 剛志

### 1. 研究背景

新型コロナウイルスの感染拡大を契機に、イムノクロマト法を原理とする迅速簡易検査キットが急速に普及した。この手法は簡便性・迅速性に優れるが、十分な感度が得られないことから定性検査の適用に限定される。今後の新たな感染症に対する備えや疾病予防や健康増進の観点から、定量検査にも適用できるような高感度測定と簡便性を両立する迅速簡易検査用の機器開発の需要が高まっている。本研究では高感度測定と簡便性を両立した検査デバイスを作製するため、高感度測定が可能な電気化学発光 (ECL) 免疫分析法の電極として使い捨て可能な透明導電膜であるグラフェンを利用することを提案し、研究を進めてきた。グラフェン電極を ECL 免疫分析に応用するには電極上に抗体を固定化する必要があるが、グラフェンは 2 次元シート材料であるため抗体の担持量に限界がある。そこで抗体の担体としてイムノクロマト法に利用されているニトロセルロースに着目した。本研究では 3 次元構造を有する多孔質セルロース混合エステル (MCE: Mixed Cellulose Ester) 膜を CVD グラフェンの転写支持膜および免疫物質を固定化する担持膜として用いることを目的とした。

## 2. 研究成果概要

CVD 法により Cu 基板上に単層グラフェンを製膜し、PMMA 支持転写法と同様に酢酸セルロースとニトロセルロースの混合エステル膜を支持材としてグラフェンを石英ガラス基板上に転写した。図 1 に MCE 膜の表面 SEM 像を示す。MCE 膜は多孔質構造を有しており平均孔直径は880 nm、孔の表面占有率は32%であった。この MCE を用いてグラフェンを転写して作製した MCE/グラフェンを電極として1 mM の Ru(bpy)<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub>と10 mM のトリプロピルアミン (TPrA) を含む0.15 M、の pH7.4リン酸緩衝液 (PBS) を用いてサイクリックボルタンメトリー (CV) 法により ECL 測定を行った。図 2 に ECL 測定結果を示す。比較として用いた PMMA/グラフェン電極では TPrA の酸化反応に伴う電流および ECL が観測されなかった。これは PMMA が穴のない構造であり電解液とグラフェンが接触していないためである。一方で、MCE/グラフェン電極では約0.6 V から TPrA の酸化反応に伴う電流および ECL の増加が観測された。したがって、MCE を用いてグラフェンが破れずに転写でき、MCE の孔構造がグラフェンまで続いており、電解液中の反応物が十分にグラフェンに到達できていることが示された。さらに、癌胎児性抗原 (CEA : Carcinoembryonic antigen) の ECL 免疫測定を行った。MCE 上に補足抗体として抗 CEA 抗体を固定化した後、CEA を含む溶液、Ru(bpy)<sub>3</sub>標識抗 CEA 抗体を含む溶液を MCE 上に滴下し免疫複合体を形成した。その後、0.15 M PBS を用いて洗浄し電解液に10 mM の TPrA を含む0.15 M の PBS を用いて ECL 免疫測定を行った (図 3)。CEA を滴下した電極のみで ECL が観測されたことから、ECL が MCE 上の補足抗体に CEA とともに結合した標識抗体由来のものであり、MCE に十分な量の抗体が担持されていることがわかった。

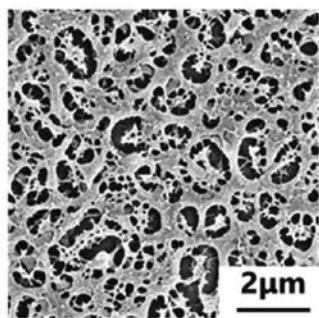


図 1 MCE 表面の SEM 像

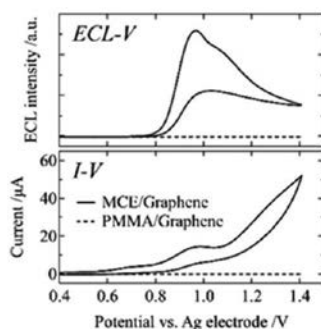


図 2 ELC 測定結果

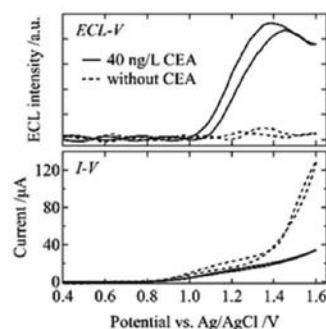


図 3 CEA の ECL 免疫分析

## 3. 本研究のまとめ

本研究では、MCE を用いた CVD グラフェンの転写に成功し、ECL 免疫分析用途としての MCE/グラフェン積層体電極の有効性を実証した。

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」によるご支援を賜りましたこと、心より感謝申し上げます。

## 研究業績

- T. Watanabe et al., *Electrochemistry Communications*, 138 (2022) 10729
- T. Watanabe, S. Koh, "Graphene transparent electrodes for POCT devices based on ECL immunoassay", *nanoBALKAN2023*, 2023 Oct.

# 代謝物の組織内分布解析を実現する機能化 TLC

理工学部化学・生命科学科 助教  
西原 達哉

## 1. 研究背景、及び目的

組織切片中に含まれる分子解析技術は免疫染色を中心に古くから進展しており、基礎研究のみならず、病理診断などの臨床研究に至るまで、現在幅広く実施されている。これら組織切片の解析対象は、タンパク質や核酸などの生体高分子が中心である。その一方で、小分子化合物から構成される代謝物は、イメージング MS を用いることでその解析が実現している。しかしながら、イメージング MS はピクセルごとの質量分析を行うため、1 スライスあたりの解析時間が極めて長く、スループット性に乏しい。また、質量分析装置の利用を前提とするため、定量性に乏しく、汎用性に欠ける。そのため、現在、前述した課題を克服した新たな組織内代謝物解析手法の開発が求められている。以上を踏まえ、本研究では、薄層クロマトグラフィー (TLC) に組織内代謝物をトレースすることで、簡便、かつ迅速な代謝物解析の実現を目指した。

## 2. 研究成果概要

本研究では、標的代謝物として生体内の酸化還元において重要な役割を果たすグルタチオン (GSH) をモデル分子とし、凍結組織切片に含まれる GSH を TLC にトレース可能か検証した。具体的な分子システムを図 1 に示す。TLC へのトレースにあたり、光解離性リンカーを介して、蛍光色素部位 (ピレンメチルアミン) および、GSH との反応部位 (マレイミド) を繋いだ蛍光ラベル化剤 (GLA) を開発した。GLA を TLC に対して塗布し、凍結組織切片をスタンプする。スタンプ時に TLC 上で蛍光ラベル化剤と GSH の間でマイケル付加反応が進行し、高極性の生成物を与える。そのため、低極性の展開溶媒を用いることで、生成物を反応箇所

で保持したまま、未反応の GLA を分離することが可能となる。最後に、紫外光を照射し、蛍光色素を遊離することで、GSH 由来の蛍光シグナルが得られる。実際に GSH が豊富に含まれる

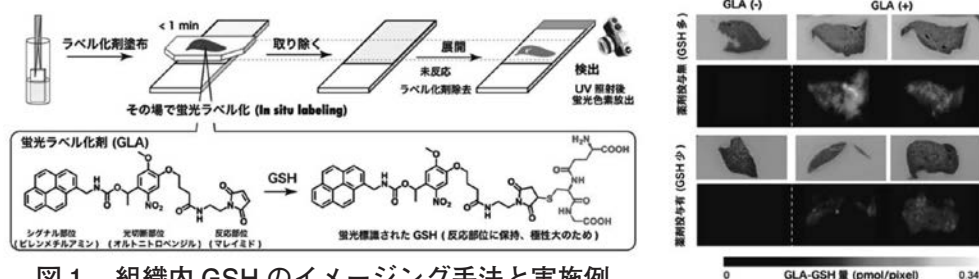


図 1 組織内 GSH のイメージング手法と実施例

る肝臓に本方法論を適用したところ、蛍光シグナルが検出された。またピクセルごとの蛍光シグナル強度から生成物量を算出することで定量イメージングに成功した。

## 3. 本研究のまとめ

蛍光ラベル化剤 GLA を塗布した機能化 TLC に凍結組織切片をスタンプすることで、組織内の GSH 分布をイメージング可能であることを初めて明らかにした。従来法に比べはるかに簡便かつ、迅速な解析につながると期待される。

## 4. 研究業績

### 【学会発表 (一部)】

西原達哉、西田光輝、塚目莉加、田邊一仁 “組織内グルタチオンイメージングを指向した機能性薄層クロマトグラフィーの開発”、日本化学会第103春期年会、千葉県 (2023/3/22)、

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」の助成を賜る機会に恵まれたことに深く感謝いたします。

# 人間の動作に基づく組立作業のロボット化

理工学部機械創造工学科 助教  
山下 貴仁

## 【研究背景・研究目的】

ロボットが人間に代わって多くの作業を担うことが期待されているが、繊細な感覚が要求される作業の自動化・ロボット化は難しい。一方でロボットに作業を任せておけば失敗せず遂行できるという大きな期待があり、労働者不足、人件費、作業品質の観点から製造設備の自動化は今後の産業を支えるための不可避の課題である。しかし、自動化した設備が作業を失敗した場合、元通り生産を再開できる様にするために、人間が作業を担っていた場合よりも専門的な知識と時間を要してしまう。

本研究ではロボットによる高速かつ正確な失敗しない組立システムの確立を目的とし、実際の作業に従事する熟練者の動作を元にロボット動作の生成を行う。人間が経験的に身に着ける“作業のコツ”と作業の成否を予測するための“失敗の予兆”を関連付けてデータの収集を行い、効率的なロボットによる自動組立作業システムの実現を目指す。

## 【研究成果概要】

リンク機構を用いた作業計測デバイスを用い作業者の部品の運び方を計測し(図1)、これに基づいてロボットの動作を生成する。従来のティーチングは紙芝居の様に幾つものポーズを記録し、順番にその姿勢をなぞらせることでロボットの動作生成する。歯車のついた軸を取り付ける様な細かく姿勢を変化させる必要がある作業動作の生成には大きな手間が発生する。このデバイスではオペレータ(熟練作業員)はデバイスの先に取り付けた部品をもって通常の作業を行うだけで良く動作生成の手間を大きく省くことができる。また、軸先をわずかに傾けて挿入することで作業の成功率が向上させているなど直感的に感じている“作業のコツ”を直接ロボットの動作設計に活かすことができる。同時に部品に加えた力覚の情報も計測することができる。

生成した動作による組立実験の様子を図2に示す。人間の直感的に導いた“作業のコツ”の利用と同時にロボットの手首に取り付けた力覚センサにより、作業中の力も計測しており、人間の行った作業時の力覚データから失敗の予兆を判定することで、作業の失敗(人間による手助けが無くては作業を継続することができない状態に陥ること)を完全に防ぐことができる。

## 【まとめと今後の展望】

本研究では熟練作業員に依存する精密機械の組立作業をロボット化するため、熟練作業員が行う人間の直感的動作をロボットの動作生成に利用するシステムの構築と実際のロボットによる組立実験を行った。生成した動作による組立実験では従来のティーチングで生成した動作より高い成功率で作業を遂行することができる。

今後は様々な部品の組立作業に対応し、指先の細かな動きのみで器用に部品を操れる様に図3のような3指エンドエフェクタの開発を進め、システムに組み込む。

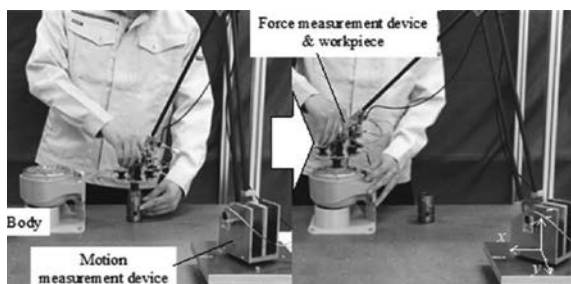


図1 作業者の動作計測実験

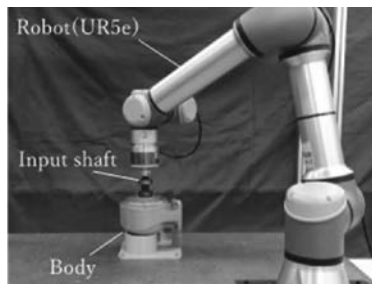


図2 ロボットによる組立実験

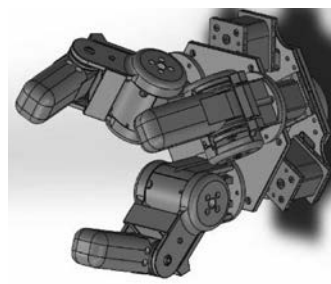


図3 開発中のエンドエフェクタ



## 【研究業績】

Hikaru Suzuki, Takahito Yamashita, and Ryosuke Tasaki, Membership: Prediction System of Precision Assembly Success/Failure for Robots Based on Analysis of Expert Skills, IEEE Transactions on Industrial Electronics (投稿中)

## 【謝辞】

「アーリーイーグル研究支援制度」の助成を賜る機会に恵まれたことに深く感謝いたします。

# 秘書官からみた大正中期の台湾統治—石井光次郎日記の分析—

青山学院史研究所 助教

日向 玲理

## 1. 研究の背景

本研究は、大正期における日本の台湾統治について、台湾総督秘書官・台湾総督府参事官を務めた石井光次郎に焦点をあてて検討したものである。日本内地の行政官庁や植民地統治機関に共通して置かれていたポストに秘書官と参事官がある。「台湾総督府官制」によって、その職務の一例を示すと、秘書官は「機密ニ関スル事務」を所掌し、参事官は上官の命を受けて審議立案、総督官房や各部局などの事務を補佐することとされている。ただし、これはあくまでも規程上のことであり、運用の実態については判然としない点も多く解明の余地が残されている。こうした理由からも当該期の石井の日記を丹念に読み解いていく意義は十分にあると思われる。

そこで本研究では、台湾総督や台湾総督府民政長官を近くで支える立場にあることをふまえ、政策や事業の遂行に際しての官僚たちの企画・調整という側面に焦点をあてて、秘書官や参事官の視点から植民地統治の歴史を再考するための基礎的な研究としたい。

## 2. 研究成果の概要

第一に、政策の立案に石井光次郎がどのように関わったのかを考察した。石井の直属の上司であった下村宏台湾総督府民政長官は、台湾において教育と経済に重点を置いた。その過程で石井は、下村民政長官の意を受けて各省官吏、実業家、新聞記者、学者といった人物との面会を日々こなした。特に日本国内に滞在している時には、内務省と人事に関する調整、外務省と南洋進出をめぐる協議、大蔵省との予算折衝、内閣法制局と法案の事前協議、帝国議会への対応などにあたった。一方、台湾に戻ると、総督や民政長官の島内巡覧随行や台湾共進会の準備などに奔走した。これら一連の過程のなかで、石井は「つくづく長官の事務的頭脳に感服する」経験をj得て、官僚としての心構えを学んだ。

第二に、下村民政長官は、台湾を基盤として「南支・南洋」への経済的発展を推進しようとしていた。この点で重要なのが日英同盟に言及した部分である。下村民政長官は「台湾と南支」を密接にして台湾統治の基礎を確立しようと考えていた。石井は下村民政長官との会話のなかで「日英同盟の永続せざる事。対南支問題は対英問題なる事」という話があったことを日記に書き留めた。これは「帝国外交ノ骨髄」と称された日英同盟に対する見方として興味深く、この後、下村は外務省に対して「福建、広東、上海地方沿岸一帯の地を我か勢力範囲」とすべきだと述べることになる。

このように、台湾総督や台湾総督府民政長官と台湾総督府の各部局課との間に立って、職務をこなす石井の日記からは「台湾総督府官制」で規定された秘書官・参事官の職務の実態に迫っていける記述が数多く存在していることが明らかとなった。

## 3. 今後の課題

本研究では、台湾総督秘書官石井光次郎の日記を活用して、石井からみた植民地台湾統治の一端を示した。

今後は台湾総督府の公文書などを利用しながら、当該期の植民地研究を進めていくこととしたい。また、難読な石井の日記を忠実に翻刻して多くの研究者や学生が広く利用できるようにすることは、日本の近現代史研究に大きく貢献することになると思われるので、こうした基礎作業にも引き続き取り組んでいきたい。

## 公表成果

「植民地台湾と石井光次郎」(『法律時報』第1190号、2023年6月号)。

# 生体内モデルにおける分子拡散の観測と解明

理工学部化学・生命科学科 助教

柏原 航

## 1. 研究背景、及び目的

ヒトを含んだ動物の生体内には、細胞外マトリックスと呼ばれる細胞外物質が存在する。細胞外マトリックスはヒアルロン酸、コラーゲンなどで構成されており、細胞の構造を支えると同時に細胞間のシグナルの伝達、物質輸送の舞台となる。そのため、細胞外マトリックスにおいて、分子の動きの知見となる分子拡散の理解が重要である。細胞外マトリックスのような不均質な媒体中における物質の拡散においては、ブラウン運動に基づいた通常の拡散現象とは異なる異常拡散と呼ばれる現象が観測されている。

細胞表面に存在する情報伝達物質は、細胞外マトリックス中に放出され輸送される。したがって、細胞外マトリックスにおける分子の異常拡散についての理解は、生体内における情報伝達の解明に直結すると考えられる。また、細胞中での薬剤分子の移動やウイルスの感染においても細胞外での拡散過程の理解が重要である。さらに、がんの侵潤や転移においても細胞外マトリックスとの相互作用は無視できない。したがって、細胞外マトリックスモデルにおける異常拡散の解明は、生体機能の解明や医療分野において重要な知見となる。

本研究では、過渡回折格子法による時間分解計測を行い、異常拡散を含めた分子拡散の知見を得ることを目的とした。過渡回折格子法は、2本の励起パルス光の作る干渉縞に沿った、分子の光反応に伴う試料の屈折率変化により生成した過渡回折格子を検出光による回折光として測定する手法である。過渡回折格子法では回折光強度の時間変化として過渡回折信号が得られ、分子拡散を時間分解でリアルタイムに追跡することができる。

## 2. 研究成果概要

「生体内モデルにおける分子拡散の観測と解明」を実現するために、まず溶質分子が通常の有機溶媒中でどのように拡散をするかを過渡回折格子法による時間分解計測により詳細に調べた。ストークス・アインシュタインの式ではブラウン運動に基づいた分子拡散の大きさを表す拡散係数と、分子半径に反比例することを示している。しかし、分子構造と分子拡散の相関はこれまでに詳細に議論されていなかった。本研究では、溶質分子としては、2、3、4位にクロロ基とフルオロ基を導入したベンゾフェノン (BP)、溶媒にはメタノールを用いて、観測した過渡回折信号から拡散係数を決定した (Fig. 1)。

過渡回折信号の解析から、2位にハロゲン置換した分子の拡散係数のみが明らかに小さいことが分かった。また量子化学計算 (B3LYP/6-31G+(d)) の結果、2位にハロゲン置換したBPのフェニル基のねじれの角度が顕著に大きいことが分かった。したがって、フェニル基のねじれ角の大きさの違いによって拡散係数が異なると考えられる。この結果は、フェニル基のねじれ角の微小な違いが拡散係数に大きく影響を及ぼすことを示唆している (Fig. 2)。

以上の新たな知見を踏まえて、今後は過渡回折格子法による生体内モデル環境における分子の異常拡散についての時間分解測定とその解明を目指す。

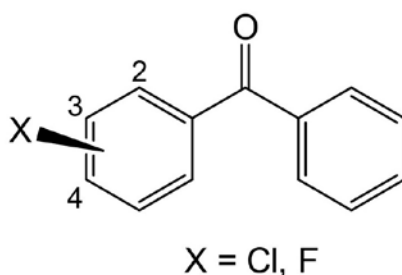


Fig. 1 The molecular structures of benzophenone (BP) with a chloro or a fluoro group at 2, 3, and 4 positions.

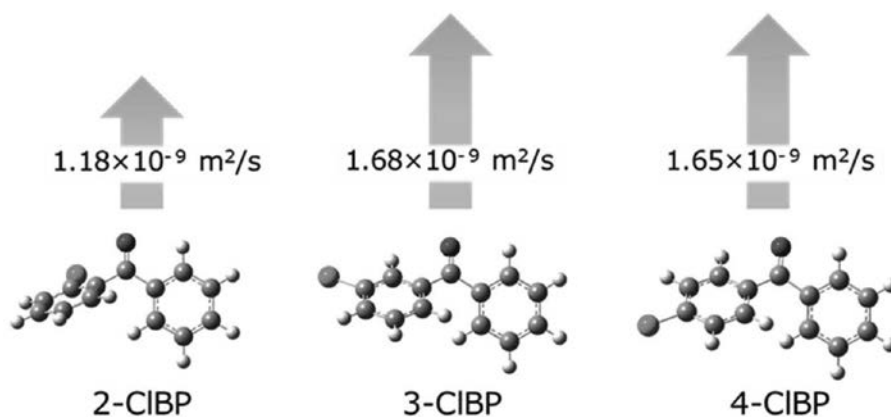


Fig. 2 Optimized structures of chloro benzophenone (CIBP) calculated at the B3LYP/6-31G+(d) level and diffusion coefficients.

### 3. 研究業績

[国内学会発表]

1. 平本 宗太郎、柏原 航、鈴木 正 “過渡回折格子法によるアリアルケトンの分子拡散過程” 第16回分子科学討論会 (2022)
2. 平本 宗太郎、柏原 航、鈴木 正 “ハロゲン基を置換したベンゾフェノン誘導体の分子拡散過程” 日本化学会 第102春季年会 (2022)

## 多重比較法を用いた日配品の需要予測手法に関する事例研究

現 専門職大学院国際マネジメント研究科 准教授  
 前 専門職大学院国際マネジメント研究科 助教  
 中塚 昭宏

### 1. 研究背景

SDGsの目標12「持続可能な生産消費形態の確保」を達成するには、手段の一つとして食品ロスを削減しなければならない。この問題意識を持ち、加工食品メーカーと産学連携による事例研究を行った。このメーカーは、茨城県古河市で一拠点生産を行い全国の顧客に商品を出荷している。牛乳、乳製品、各種飲料、デザート類などの日配品を取り扱っている。いずれの商品も陳腐化しやすく賞味期限が短いので、過剰在庫が発生すると食品ロスに直結しやすい。食品ロス削減を目的として、問題解決QCストーリーに基づき、まず現状把握と要因分析を行った。これらにより、需要予測精度の低さが食品ロスを発生させた主要因であることがわかった。次に、品質管理における生産要素の4M (Man, Machine, Material, Method) の観点から対策を検討した。この結果、曜日に依存した需要の特徴に適した需要予測手法を開発し、導入することにした。

## 2. 研究内容と成果の概要

提案手法では、製菓の開発などで使用されている多重比較法を需要予測に応用する。提案する需要予測の式は簡便なものとし、事例研究として実用を重視した。概要としては、提案手法では、曜日ごとの需要を異なる時系列データと捉える。そして、各曜日間の時系列データに有意差があるのかを検定するにあたり、多重比較法を用いた。有意差がない場合の曜日間においては、等加重の移動平均法を適用した。絶対誤差率を評価指標として、提案手法と既存手法との需要予測精度を比較、検証した。この結果、提案手法の方が優位であることを確認した。

### 【検証結果のまとめ】

- 曜日によっては、提案手法と既存手法の需要予測精度に違いはない。
- 曜日によっては、既存手法より提案手法の需要予測精度が高い。
- 既存手法より提案手法の需要予測精度が低くなる曜日はない。

このメーカーでは、提案手法を組み込んだ需要予測システムを開発しており、2022年度下期から実務に導入している。提案手法によって需要予測の業務を標準化できるので、本事例研究は実務上の運用面でも貢献がある。

## 3. 今後の展開

本事例研究では、需要予測精度の検証のために、対象企業の主力商品である牛乳を選定した。対象企業は、100% 果汁飲料（紙パック）やヨーグルトなどの日配品も販売しているので、これらの商品でも、提案手法で精度良く需要予測できるかを研究する必要がある。また、需要予測に使用する過去の日数に関して、本事例研究では担当者が季節性を考慮してマニュアルで設定するとしている。これに関しても科学的な分析を加えて、推奨値を提示するなど、需要予測手法の改善を検討していきたい。さらに、生鮮食品、惣菜、生菓子など他の食品にも提案手法を適用し、食品ロス削減に広く貢献していきたいと考えている。

アーリーイーグル研究支援制度により、本事例研究を前進させることができ、科研費（若手研究、2023年4月－2026年3月 食品ロス削減のための生産管理システムのグランドデザインに関する事例研究、課題番号：23K13516）の獲得に繋がった。この場を借りて感謝申し上げる。

# 新規脂質輸送関連タンパク質によるアミノ酸輸送体の 制御機構の解明

理工学部化学・生命科学科 助教  
三岡 哲生

### <背景と目的>

真核細胞のモデル生物である出芽酵母は深海2500mに相当する高水圧環境でも増殖することが出来る。しかし、それを可能にしている細胞の変化や適応機構については未だ不明な点が多い。当研究室ではこうした謎を解き明かすため、出芽酵母の高水圧下での細胞増殖に必要な遺伝子を多数同定しその解析を進めている。こうした遺伝子の中には既知のものだけでなく、機能がよく分かっていない遺伝子も存在しており、本研究ではそのひとつである *CSF1* に着目した。

*CSF1* 遺伝子がコードする Csf1 は出芽酵母からヒトなどの高等動物まで保存されたタンパク質である。酵母 Csf1 は約 3,000 アミノ酸からなる巨大タンパク質で、低温下での増殖に必要な遺伝子として同定された。また高等動物における Csf1 ホモログは神経系で発現し、遺伝子変異が重篤な神経変性疾患をもたらすことが知られている。しかしいずれの生物種においても Csf1 ホモログの機能が分かっていなかったため、当研究室では酵母の高水圧研究からのアプローチで Csf1 の機能を調べてきた。

ごく最近、酵母における Csf1 が特異な立体構造を持ち、細胞内の異なるオルガネラ間において脂質の輸送を行っている可能性が報告された。これは我々の予想と一致する報告であったが、(1)どのオルガネラと、どのような分子と協調して接触し、どの種類の脂質を運ぶのか、という脂質輸送機構の詳細、そして (2)なぜ Csf1 がいないと高圧環境での増殖が悪化するのか、といった重要な点が未解明のまま残されている。我々はこれらの問題を含めて引き続き Csf1 の解析を進めている。

#### <研究成果>

脂質輸送機構の解明へのアプローチとして、精製タンパク質の *in vitro* 評価を行おうとしている。Csf1 は 300KDa を超える巨大なタンパク質であるため、大腸菌を用いた精製は困難であると考え、酵母発現系での精製に取り組んでいる。現在までに、タンパク質精製のタグを付けても Csf1 の高圧増殖に必要な機能が損なわれないこと、またプロモーター置換による発現量の増加を確認でき、さらに元々 Csf1 が存在する ER 膜画分からの可溶化条件が整いつつある。今後、精製した Csf1 と人工脂質膜 (リポソーム) との結合試験を行い、脂質との相互作用を明らかにしていく。

Csf1 の動態についても検討を行っている。前年度は細胞内で Csf1-GFP を高発現プロモーター下で高発現させていたが、GFP のより明るい改変体 mNeonGreen をタグとして用いることで、内在の発現量のままで観察することができるようになった。その結果、小胞体膜上にドット状に Csf1 が存在すること、すなわち ER 上の何らかのサブドメインで機能している可能性が示唆された。各オルガネラマーカー、あるいはオルガネラコンタクトサイトのマーカーとの共局在を調べ、さらに Csf1 のどの領域がコンタクトサイト形成に必要なのかを現在調べている。

Csf1 の欠損が高圧増殖不全をもたらす理由として、細胞外からのアミノ酸の取り込み速度の低下が原因である可能性が当研究室で示されていた。そこで、アミノ酸輸送体についても mNeonGreen をタグ付けして観察したところ、予想どおり高圧環境下で細胞膜から一部のアミノ酸輸送体が減少している様子が観察された。

#### <まとめと展望>

Csf1 精製準備が順調に進んでおり、また Csf1 そのものの動態と、欠損株でのアミノ酸輸送体の異常について新たな蛍光タグで観察できるようになった。引き続き解析を進め、脂質との相互作用解析や破壊株の表現型の原因解明を目指す。

#### <研究業績>

学会発表：酵母遺伝学フォーラム第55回研究報告会 (2022年9月7日) において、「出芽酵母における LTPs 類似構造を持つ巨大タンパク質 Csf1 の機能解析」という演題で発表。

## 塗布可能な強発光性液状錯体の開発

理工学部化学・生命科学科 助教  
大曲 仁美

### 1. 研究背景および目的

希土類は優れた発光素材としても応用されており、蛍光灯やブラックライトをあてると光るセキュリティインクとして情報の保護に役立っている。これら従来の希土類素材は主に固体粉末で取り扱われてきた。一方、比較的容易に取り扱うことが可能な液状の発光材料の創成は、需要があるにもかかわらずほとんど報告が見当たらない。塗布可能な液状錯体を構築するためには、得られる錯体の融点を室温以下に下げる必要がある。脂肪酸として知られるリノール酸 (LA) は 9 位および 12 位に *cis* 型の二重結合を持つ炭素数 18 の不飽和脂肪酸である。一般に、二重結合を持たない直鎖アルカンは炭素数の増加に伴い融点は高くなるが、これは分子の表

面積の増加によってより強い Van der Waals 力が働くためである。一方、分子内に二重結合を含む炭素鎖は、二重結合の数によって融点が大きく異なる。実際に炭素数が LA と同じ飽和脂肪酸であるステアリン酸の融点は70℃程度であるが、一方で LA の融点は、 $-5^{\circ}\text{C}$  であり室温で液体状態であるため、希土類錯体の低融点化が十分に期待できる。本研究では、この LA を既報の発光性希土類錯体である  $\text{LnL}^{\text{val}}$  (M. Hasegawa, *CHEMPLUSCHEM*, 2020) にカウンターアニオンとして導入することで、強発光性液状錯体の開発を目指す。

## 2. 研究成果

赤および緑色の発光を示すユウロピウム (Eu) およびテルビウム (Tb) を中心金属として用い、 $\text{LnL}^{\text{val}}\text{LA}_n$  ( $\text{Ln}=\text{Eu}, \text{Tb}$ ,  $n=3, 6, 9$ ) を合成した。 $\text{LnL}^{\text{val}}$  は粉末固体として得られるが、カウンターアニオンとして LA を導入することで、室温で液状となった。興味深いことに、 $\text{LnL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  は大気に曝すことで、透明度を保ったままガラス状に変化した。これは、LA が大気中の酸素によって重合し、硬化する特性に寄与する。また硬化速度は合成に用いる LA の増加に伴い遅くなる。図 1 に  $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  の発光の様子と発光スペクトルを示す。蛍光灯下で  $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  は透明度の高いガラス状体であり、紫外光を照射することで  $\text{Eu}^{3+}$  イオンに特徴的な赤色発光を示した。 $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  の発光量子収率 QY が 20% 程度と  $\text{EuL}^{\text{val}}$  のみと比較すると半分程度の値に減少したが、比較的高い値を保っていた。また LA の量を増やすと 10% 程度とさらに QY 値が減少した。これは無輻射失活速度定数  $k_{\text{NR}}$  が LA の増加に伴い大きくなったことが、計算結果から明らかとなった。 $\text{TbL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  も Eu 錯体と同様に、 $\text{Tb}^{3+}$  イオンに特徴的な緑色発光を示したが、QY 値は 2% 程度と Eu と比較すると低い値であった。これは、配位子  $\text{L}^{\text{val}}$  のエネルギードナー準位がおおよそ  $20000\text{cm}^{-1}$  であり、 $\text{Tb}^{3+}$  のエネルギーアクセプター準位間での逆エネルギー移動の影響が示唆される。

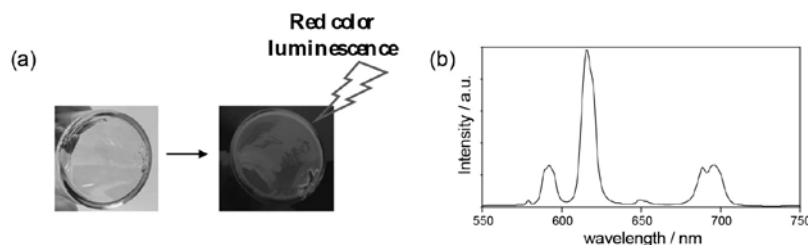


Fig. 1 (a) Photos of  $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}_3$ .  $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}_3$  show red color luminescence under UV irradiation. (b) Photoluminescence spectrum of glassy state of  $\text{EuL}^{\text{val}}\text{LA}$ ,  $\lambda_{\text{ex}}=315\text{nm}$

## 3. 本研究のまとめ

本研究では、融点の低い LA を強発光性希土類錯体  $\text{LnL}^{\text{val}}$  に導入することで、室温で比較的強い発光を示す液状錯体を合成することに成功した。興味深いことに、 $\text{LnL}^{\text{val}}\text{LA}_n$  は大気に晒すことで、ガラス状に硬化し、この特性は塗布可能な発光材料への応用を考慮すると非常に有用であることがわかる。また液状錯体の粘性は  $\text{LnL}^{\text{val}}$  に対する導入する LA の当量比で変化した。本結果はすでに学会で発表しており、現在国際誌への投稿準備を進めている。

## 4. 研究業績

吉川 知輝、大曲 仁美、長谷川 美貴、“ガラス状ランタニド三元錯体の合成とその発光特性”、錯体化学会第72回討論会 (1Ab-04)、2022年9月

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」という素晴らしい助成を賜りまして感謝申し上げます。

# PIQST 法を用いた効率的 QST の理論構築

## ～SU(N) 対称系における QST 及びエンタングルメント評価にむけて～

理工学研究科理工学専攻博士後期課程

宮崎 優希

### 1. 研究背景

今日量子力学は「理解」から「制御」する時代に移行している。例えば我々の生活を支えるエレクトロニクスや現在精力的に研究が進む量子コンピュータは、アップスピンとダウンスピンの2状態を持つ電子、数学的にはSU(2)対称性を持つ粒子を制御することで成り立っている。一方、冷却原子系では $^{173}\text{Yb}$ や $^{87}\text{Sr}$ などの多自由度アルカリ土類（様）Fermi 原子気体を用いることで、固体電子系では実現困難な  $N(>2)$  値の状態が互いに全て対等に相互作用するSU(N)対称性を持つ量子多体系を簡単に作成することができる。SU(N)量子多体系は電子系より高い自由度を持つため、Qudit 量子コンピュータなど次世代デバイスへの応用の可能性を秘めている。このような技術開発には量子情報の書き込みや読み出しをする必要があり、そのためには量子状態の同定が大事になる。SU(N)量子多体系の複雑にエンタングルした（“量子的に重ね合わさった”）状態の同定は、構造因子や局所磁化などの物理量の測定だけでは不可能であり、密度行列やエンタングルメント測度（量子エンタングルメントの定量的指標）など量子状態そのものを測定することが必要となる。しかし、観測した物理量から密度行列を構築する量子状態トモグラフィ（以下QST）は、必要な観測回数の指数関数的増大と冷却原子系における局所スピン回転の困難といった問題により困難とされてきた（図参照）。

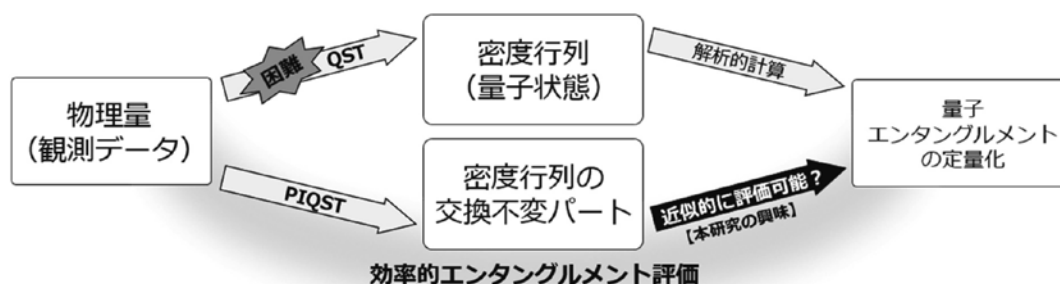


図 PIQST を用いた効率的エンタングルメント評価と本研究の興味

### 2. 本研究の意義と研究成果概要

本研究は交換不変量子状態トモグラフィ（以下PIQST）を利用した量子エンタングルメント測定効率化の構築を達成目標とする。PIQSTは前述した問題を回避することができるだけでなく、得られる密度行列の交換不変パート（以下PIパート）は元の量子状態の密度行列の重要な特徴を抜き出すことが可能であり、量子エンタングルメントを効率よく近似的に評価できる可能性が示唆されている [PRL 112,180501 (2010)]（図参照）。しかし現状はその一般的な理論構築や実装は十分になされておらず、我々はPIQSTによる量子エンタングルメント評価に関していくつかの知見を得た。以下に（A）先行研究の示唆と（B）それに対して我々の得た知見を示す。

1. (A) ある量子状態のエンタングルメント測度は、そのPIパートのエンタングルメント測度以上の値をとる。  
(B) この不等式評価は2粒子系を除いて一般に成り立たない。
2. (A) PIパートのエンタングルメント測度をトモグラフィ基底のとりかたについて最大化しても、1で述べた評価が可能。

(B) 項目 1 と同様に一般に成り立たない。更にトモグラフィー基底変換によるエンタングルメント評価は実験では効率的ではない。一方理論側の立場から言えば、トモグラフィー基底について PI パートのエンタングルメント測度を最大化する方法として、モンテカルロ法が有効である。

### 3. 今後の展望

今後はこれまでに得られた知見をもとに、PIQST を利用した量子エンタングルメント評価の効率化について引き続き理論構築を進める。また、 $SU(N)$  対称系における量子状態はその内部自由度に関して交換不変であり、PIQST との相性が良いと考えられる。そこで PIQST を  $SU(N)$  系における量子状態同定のツールとして応用することを目的とし、その理論構築を行う。

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」によるご支援を賜りましたことを感謝申し上げます。

### 研究業績（国内学会発表）

1. ○宮崎優希, Giacomo Marmorini, 古川信夫, 山本大輔, “Introduction of Flavor-Permutationally Invariant Quantum State Tomography”, 2022年量子物性若手交流研究会, 日本大学百周年記念館, 2022年8月.
2. ○宮崎優希, Giacomo Marmorini, 古川信夫, 山本大輔, “Evaluation of Quantum Entanglement via Permutationally Invariant Quantum State Tomography”, 2023年量子物性若手交流研究会, 日本大学軽井沢研修所, 2023年8月.
3. ○宮崎優希, Giacomo Marmorini, 古川信夫, 山本大輔, “Measuring Quantum Entanglement with Permutationally Invariant Quantum State Tomography”, The 1st young researchers' workshop of the Extreme Universe Collaboration, 名古屋大学, 2023年2月.
4. ○宮崎優希, Giacomo Marmorini, 古川信夫, 山本大輔, “Evaluation of Quantum Entanglement via Permutationally Invariant Quantum State Tomography”, YIPQS long-term workshop Quantum Information, Quantum Matter and Quantum Gravity, 京都大学 基礎物理学研究所, 2023年9月.

## 公立小学校における初期英語学習者の読み書き能力： 単語ディコーディング能力の観点から

文学研究科英米文学専攻博士後期課程

小林 悠

### 1. 研究背景

2020年度より公立小学校高学年において英語が教科化され、音声指導に加えてリタラシー指導が導入された。この背景には、中学に進学した際に読み書きでつまづく子ども達が多くいるという問題がある。その原因の一つは、子ども達が英語の文字と音の関係、綴りと音声の関係を理解できていないことであり（文部科学省, 2017）、ディコーディング力に課題が見られる。また、小学校新学習指導要領における「読むこと」の目標では、音声で十分に慣れ親しんだ簡単な語句や基本的な表現の意味を理解することが掲げられているが、そのためにはディコーディング能力が前提となる。

以上の背景を踏まえ、初期英語学習段階において、単語ディコーディング能力をどのように育てるかは喫緊の課題である。ディコーディング能力とは、「書かれているコードを言語（音声）コードに変換すること」である（Perfetti & Hogaboam, 1975）。学習者が実際に単語を声に出して読むパフォーマンステストを通して、彼らの単語ディコーディング能力を測定し、実態を理解することが重要である。



## 2. 研究成果概要

博士論文の研究に向けて、①パイロット調査と本調査の一部データをもとにエラー分析を行い、②ICTを使ったテスト方法開発をまとめた。

### 2.1. 小学6年生児童の単語ディコーディングのエラー分析

調査参加者は、毎回の授業で10～15分程度の系統的リタラシー指導（アレン玉井, 2010, 2019）を受けてきた、東京都の公立小学校に通う6年生の児童68名である。テストでは Hayes と Flanigan（2014）の Tired Spelling Inventory の枠組みを用いて、2つの難易度から成る計20単語を出題し、児童に実際に声を出して読ませた。

エラー分析の結果、①子音よりも2字1音や連続子音でのエラーが多い、②文字の誤認識（例：bとd）、③日本語の影響（例：母音挿入やローマ字読み）、④似ている発音を混同（例：/e/を/i/、/f/を/s/）等の特徴が見つかった。

### 2.2. ICTを使ったテスト方法の開発

近年では、あらゆる教科において、パフォーマンス評価を含む多様な評価方法が重要視されるのとともに、教育現場におけるICT化が進んできている。このような教育現場の現状を踏まえ、単語ディコーディング能力を測定するためのICTを活用したパフォーマンステストの実践報告を行った。

英語教育を先駆的に推進する公立小学校の6年生児童を対象に、2020年と2021年度の二回にわたって実施し、パフォーマンステストの方法を開発した。テストは2つの難易度で構成され、Tier1は1字子音と母音のみ、Tier2は2字1音と連続子音を含む単音節単語とした（表1参照）。初回の調査結果をもとに、難易度と採点の正確性の観点でいくつかの項目を変更した。

本テスト方法の特徴は、Zoomを使ったテスト手順である。学校にパソコンを設置し、ウェブ会議システムZoomを活用して複数人のリモート試験官と接続することで、複数の児童が同時にテストに取り組むことが可能となった。これにより、45分の英語の授業時間内でテストを実施する泰生ポーチを整えた。また、試験官や児童によるばらつきを防ぐため、一単語ずつ等間隔で表示されるビデオを作成して使用した。

採点においては、Jenkins（2000）のリング・フランカ・コアの考え方を参照することで、単語ディコーディング能力測定のための信頼性の高いパフォーマンステストを開発することができた。

表1. 出題単語一覧

Tier1				Tier2			
2020		2021		2020		2021	
ten	hot	dog	hot	ship	frog	ship	frog
dog	bed	vet	bed	when	this	when	this
map	fig	jam	fig	long	help	long	help
pig	bus	pig	bus	black	fast	black	fast
run	rat	sun	rat	drum	lunch	drum	lunch

注. 2020年度と2021年度で変更があった単語は太字で表記した。

## 3. 研究成果

「アーリーイーグル研究支援制度」の助成のもと、以下のような学会・論文発表の研究成果が得られるとともに、博士論文 *A Study of Phonological Word Recoding of Young Japanese EFL Learners* を執筆することができた。

[学会発表]

小林悠（2022）. 「小学6年生児童の単語ディコーディング—エラー分析の観点から—」 英語教育ユニバーサルデザイン研究学会第4回研究大会

[論文発表]

小林悠 (掲載予定). 「ICT を活用した単語ディコーディング能力測定方法の開発—初期英語リーディング学習者のためのパフォーマンス評価—」『JASTEC 紀要論文』第42号.

本研究のご支援を賜りまして感謝申し上げます。

#### 参考文献

Hayes, L., & Flanigan, K. (2014). *Developing Word Recognition*. Guilford Press.

Jenkins, J. (2000). *The phonology of English as an international language*. Oxford University Press.

Perfetti, A. C., & Hogaboam, T. (1975). Relationship Between Single Word Decoding and Reading Comprehension Skill. *Journal of Educational Psychology*, 67(4), 461-469.

文部科学省 (2004) 「今後の英語教育の改善・充実方策について報告～グローバル化に対応した英語教育改革の五つの提言～」

## 小学生の外国語科授業における昔話を使った活動へのエンゲージメント：測定のためのアンケート開発

文学研究科英米文学専攻博士後期課程

塚原 麻衣

アーリーイーグル研究支援制度のもと博士論文の研究テーマ「物語を使った活動への児童の取り組み」について研究を進め、また文学部紀要第64号へ投稿を行なった。本報告では、主に文学部紀要に投稿した研究結果をまとめる。

ストーリーテリング、すなわち物語を語るということは、人間に生まれつき備わっている能力とされ (Bruner, 2010)、教育の現場においても、言語習得に有効であるだけでなく、情意的、認知的、社会的スキルを養うことができ、また、その物語の背景となる文化を理解する機会をつくるものとして、積極的に活用されてきた (Peck, 1989, Bland, 2021など)。日本の公立小学校では2020年度より外国語科が必修科され、「知識・技能が実際のコミュニケーションにおいて活用され、思考・判断・表現することを繰り返すことを通じて獲得され、学習内容の理解が深まるなど、資質・能力が相互に関係し合いながら育成されることが必要である」とされている (文科省, 2018; p.8, p.64)。物語の文脈の中で登場人物同士のやりとりを通してその気持ちや言葉の意味を考えながら言葉を表現し獲得していく活動は外国語科の活動として大変適しているものと考えられるが、多学年に渡り児童の物語への関わり方 (engagement) がどのように変容していくのかを捉えることで児童の成長に即したより良い活用方法を知ることができる。

本研究では Wang ら (2016) のエンゲージメント質問紙をもとに物語を使った活動へのエンゲージメント質問紙を作成しその信頼性、妥当性、実行可能性を確認するための予備調査をおこなった。また、Wang ら (2016) のフレームワークを通して質問紙への回答を分析した際に、第3～5学年のそれぞれで見られる特徴や差について考察した。

調査へは都内公立小学校の第3～5学年の児童計158名 (第3学年47名、第4学年61名、第5学年50名) が参加した。調査校では、物語を中心とした指導法 Story-Based Curriculum (アレン玉井, 2011) が実践されており、当該研究ではその中でも音声を中心とした再話活動 Joint Storytelling に焦点をあて、認知的、行動的、情意的、そして社会的エンゲージメントの4つの構成要素で項目を立て4件法で回答を得た。

調査の結果、質問紙はどの学年でも十分に高い信頼性が得られた (第3学年:  $\alpha = .85$ 、第4学年:  $\alpha = .89$ 、第5学年:  $\alpha = .90$ )。また第3、4学年では行動的エンゲージメントが最も高い平均点だったのに対し、第5

学年は認知的エンゲージメントが最も高かった。そこでそれぞれの学年で4つのエンゲージメントタイプ、そしてエンゲージメント全体との関係性を調べるため、ノンパラメトリックの Spearman 検定を用い平均点での相関分析を行ったところ、第3、第4学年では特にエンゲージメント全体と情意的、社会的エンゲージメントとの相関が0.72以上と特に高く、第5学年ではエンゲージメント全体と社会的エンゲージメントとの間だけでのみ、その傾向がみられた。また、学年差を比較するため、3学年の共通項目を用い、Kruskal-Wallis 検定とDunn-Bonferroni 法による多重比較を行なったところ3、4年生は5年生よりも有意に行動的、情意的、そして全体的なエンゲージメントが高かったが、認知的、社会的エンゲージメントでは有意な差はなかった。

この結果から、第3、4学年と第5学年との間に特徴の差があり、学年が上がるると行動的、情意的な関わりが下がる一方、級友と繋がりながら認知的に物語活動に関わり続けている様子がみられた。また、この質問紙調査が教室現場で十分に実行可能なものであり、見た目では捉えづらい児童の参加方法の実態を知るために有効なツールであると確認することができた。

博士論文の研究では、この考察を活かしながら児童の物語への取り組みの背景にある下位概念が Wang らのものとは一致するのかどうかを検証し、また自由記述への回答を質的に分析することでより良く実態を捉えることを試みる。

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」に採択いただきましたことに心より感謝申し上げます。

## 「外国語（英語）」における小学6年生・中学1年生の不安に関する縦断的研究

文学研究科英米文学専攻博士後期課程  
今井 朋子

### 1. 研究背景

2020年度より、小学校の改訂学習指導要領（文部科学省, 2018）のもと、「外国語（英語）」（以下「外国語」）が正式な教科として5、6年生に導入された。2019年度まで行われていた5、6年生の「外国語活動」は、週1回35時間行われていたが、外国語は週2回70時間行われている。5、6年生の「外国語」では、「外国語活動」で行われていた「聞くこと」、「話すこと」の技能に加えて「読むこと」、「書くこと」も取り入れられている。筆者は、以前に「外国語活動」における、6年生の不安と不安の対処の研究について授業観察と児童へのインタビューを組み合わせた質的研究を行った（Tamura, 2014）。児童は、「スポットライトがあたる」「コントロールが効かない」「ALT（Assistant Language Teacher）と通じないことによる緊張」といった聴解、発話を起因とした不安を担任教員やALTの適切なサポート、クラスメイトの助けを受けて対処し、外国語活動中のアクティビティーやタスクを楽しむことができたことが分かった。

今井（2022a）は、Horwitz et al.（1986）が開発した Foreign Language Classroom Anxiety Scale（FLCAS）を基盤に、「読むこと」、「書くこと」を含めた小学校「外国語」における不安の質問紙を開発し、6年生43名に対して実施したところ、 $\alpha = 0.92$ であり、質問紙の十分な信頼性を確認した。

### 2. 本研究の目的

本研究では、教科となった「外国語」の授業において、6年生児童がどのような不安を持っており、またどのようなことを楽しいと感じているのかについて調査を行った。「外国語」の授業を経験した児童が中学校1年生時で中学校の「外国語」授業においてどのような不安を持っているのかについても調査を行った。6年生児童と中学校1年生生徒が持つ不安を調査し、「外国語」の授業の小中連携のあり方を示唆していく。

### 3. 研究成果の概要

- ①2021年7月に小学校6年生児童に対して今井（2022a）が開発した「外国語」の授業における不安についてのアンケート調査を行い、その自由記述を質的分析した。その研究成果「公立小学校6年生の外国語の授業における不安（Foreign Language Anxiety）と楽しさ（Foreign Language Enjoyment）－児童の自由記述の分析からみえること－」（今井，2022b）が、青山学院大学英文学会「英文学思潮」第95号に掲載された
- ②2022年7月及び3月に中学校1年生生徒に対して「外国語（英語）」の授業における不安についてアンケート調査を行い量的分析、質的分析を行ったその研究結果を博士論文「にまとめているところである。
- 本稿では2022年度の研究成果として青山学院大学英文学会「英文学思潮」第95号に掲載された①について報告をしたい。

### 4. 研究報告

今井（2022b）は、2021年7月、公立小学校6年生児童4クラス125名を対象に、外国語の授業中の不安に関する5件法の質問紙（今井，2022）と、自由記述形式で構成されるアンケート調査を実施した。分析対象となった自由記述の項目は、「英語の授業中に不安になった出来事を書いてください」、「英語の授業で、楽しい・面白い・嬉しいと感じた出来事を書いてください」であった。不安の場面对する自由記述については、125名中74名から回答、楽しい・面白い・嬉しい場面に関する自由記述は、119名から回答が得られた。自由記述を質的分析ソフト Nvivo 11 を使用しコードの生成を行い、最終的に類似のコードをカテゴリーに集約した。

分析の結果、以下の表にあるように、外国語の授業における不安の場面について、22コードが得られ、11カテゴリーに集約された。楽しい場面について、30コードが得られ、14カテゴリーに集約された。

カテゴリー	コード	リファレンス数
理解していない	理解できないまま授業が進む	2
	自分だけ理解していない	3
	理解できない	8
	話していることがわからない	3
発表する		15
英語の読み書き	alphabetを書く	1
	alphabetを読む	2
	単語や文の読み書き	7
	文を読む	3
突然あてられる		9
コミュニケーション	英語でコミュニケーションする	7
	伝わらない	1
思い出せない	思いつかない	4
	覚えていない	1
	覚えられない	2
	覚えられない	2
ぼーっとできない		4
評価される	テスト	3
	成績評価される	2
授業環境	授業が楽しくない	1
	日本語がない	1
間違う		2
正しい発音ができない		2

カテゴリー	コード	リファレンス数
アクティビティ	ゲーム性のあるアクティビティ	11
	チャンツ	22
	プロジェクトタイム	6
先生やピアとの英語でのインタラクション	インタラクション	1
	ALTと話す時	3
	友達と英語で話す時	20
英語を使いこなせた	習った英語を使いこなせたとき	7
	自分のことを英語で書く	1
	伝わった時	2
	問題が解けた時	1
先生の授業スタイル	話せた時	4
	ALTの授業	7
	先生の教え方	2
良い評価をもらう	良い成績評価をもらったとき	4
	先生に褒められた時	5
発表	発表する	5
	発表を聞く	3
英語の構造や日本語との違いを学ぶ	発表を聞く	3
	英語の読み書きができた	6
英語の読み書きができた	alphabetが書けた時	1
	英語を書き写す時	1
	単語や文が自分の力で書けた時	1
	文や単語が読めた時	2
	英語がわかる	4
CDや映像を使う	理解できているとき	4
	聞き取れた時	1
皆と一緒に	4	4
	皆と英語を発音する	1
助けてもらった	協力して楽しくできた	1
	助けてもらった	2
正しい発音	正しい発音ができ	2
	当てられた	1

不安と楽しい・面白い・嬉しいの両方に共通する場面は、発表、英語の読み書き、コミュニケーション／インタラクション、評価、当てられる、理解に関する6つの場面であった。このことから、児童は、同じ場面でも不安に感じている児童もいれば楽しい・面白い・嬉しいと感じている児童もいることが分かった。本研究では、最後にこのことを踏まえて、児童が不安を軽減し、楽しい経験につながる支援のあり方や授業環境作りについて示唆した。

[論文発表]

今井朋子（2022b）. 公立小学校6年生の外国語の授業における不安（Foreign Language Anxiety）と楽しさ（Foreign Language Enjoyment）－児童の自由記述の分析からみえること－『英文学思潮』第95巻. 21-50.

本研究のご支援を賜りましたこと、感謝申し上げます。

## 参考文献

- Horwitz, E. K., Horwitz, M. B., & Cope, J. (1986). Foreign language classroom anxiety. *The Modern language journal*, 70(2), 125-132.
- 今井朋子 (2022a). 公立小学校児童の「外国語科」の授業における不安の尺度開発. 『青山学院大学文学部紀要』第63号. 129-145.
- 文部科学省 (2018). 『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説外国語活動・外国語編』 東京: 開隆堂出版
- Tamura, T (2014). Anxiety-coping in Foreign (English) Language Activities: Views from the 6<sup>th</sup> grade. *Language Education & Technology* 51, 141-168.

# ジェノサイド条約における扇動罪規定の起草過程

法学研究科公法専攻博士後期課程

八嶋 貞和

## 1. 研究の背景と目的

ロシア連邦によるウクライナ侵攻に際して、ウクライナの首都近郊のブチャでジェノサイドが行われたとの疑惑が報道されるなど、近年ではジェノサイドという語を耳にする機会が多い。

このような中で、過去に行われたジェノサイドの事例をみると、そこではジェノサイドの扇動が行われていた。例えば、1994年にルワンダで発生したジェノサイドでは、ラジオや雑誌が、憎悪やジェノサイドの扇動をしきりに行っていた。このような扇動は、ジェノサイドが行われている最中のみならず、特にジェノサイドが発生する前段階に行われることが多い。それゆえに、ジェノサイドの扇動罪を早期に処罰することができれば、ジェノサイドそのものの自体が発生することを未然に防止できるのではなかろうか。これが本研究の問題意識である。

ジェノサイド条約における扇動罪は、同条約第3条(c)に「ジェノサイドを実行することの直接かつ公然たる扇動」として規定されているが、ルワンダにおけるジェノサイド等に責任を有する者らを処罰するために設立されたルワンダ国際刑事法廷は、同条約の定義を踏襲した上で、扇動罪を解釈、適用した。その中で、メディアによりジェノサイドを扇動したとして起訴された3名の被告人を裁いた、いわゆるメディア事件判決は、重要な判決といわれるが、この上訴裁判部判決は、ジェノサイド条約における扇動罪規定の起草過程を分析する一方、その分析は正確であるとは言い難い点が存在した。

以上の点より、本研究においてはジェノサイド条約における扇動罪規定の起草過程を、個々の議論に立ち返り分析することを通して、ジェノサイド条約の起草過程において示されていた扇動罪の解釈を明らかにし、そこから条約における扇動罪規定の射程範囲を明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の概要とその成果

本研究は、第1章（国際連合事務総長が起草した草案）、第2章（国際連合経済社会理事会が設置したジェノサイド特別委員会が作成した草案）、第3章（国際連合総会第六委員会における議論）の順で検討を行い、第4章で結論を示すものである。すでに研究成果として公刊済みの「ジェノサイド条約における扇動罪規定の起草過程（1）」青山ローフォーラム第11巻1・2号（2023年）129-158頁において、第1章および第2章について検討を行っている。

まず、第1章では、国際連合事務総長が草案を起草するに至るまでの経緯、同草案の内容、そして、アメリカ合衆国政府より寄せられたコメントの確認を通して、次の点を明らかにした。1. 当該草案においても、ジェノサイド自体が発生せずとも扇動罪は処罰されると理解されていたこと、2. 公然たるプロパガンダ罪規定の

核心は、ジェノサイドの実行を正当化する心理状態を形成するプロパガンダを処罰することであったこと、3. アメリカ合衆国政府は、「明白かつ現在の危険」という自国の法理を扇動罪へ導入しようとしていたこと、以上の点である。

次に、第2章では、ジェノサイド特別委員会が設置されるまでの経緯、扇動罪およびプロパガンダ罪の処罰に関する議論の確認を通して、次の点を明らかにした。1. ジェノサイド特別委員会草案においても、国際連合事務総長草案と同様に、扇動は「成功するか否かを問わず」処罰されると規定されたが、その理由は、扇動罪がジェノサイドの防止に係る規定であることを強調する点にあったこと、2. 憎悪の扇動ないしプロパガンダは、条約の処罰範囲外であると明確に把握されていた一方、「ジェノサイド罪の実行を挑発することを目的としたあらゆる形態のプロパガンダ」については、扇動罪規定に包摂されていると考えられていたこと、以上の点である。

### 3. 本研究のまとめ

本研究では、ジェノサイドの扇動罪が、ジェノサイドの防止という観点よりその処罰対象となったことを確認した上で、扇動罪の処罰には「ジェノサイド罪の実行を挑発することを目的としたあらゆる形態のプロパガンダ」が包摂されていることを公刊済みの論考で明らかにした。なお、第3章および第4章については、今後公刊を行う予定である。

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」のご支援を賜りましたこと、心より御礼申し上げます。

## 西田幾多郎の宗教哲学における神秘主義の受容と克服 ～「歴史の意味」を手がかりに～

総合文化政策学研究科総合文化政策学専攻

古家 愛斗

### 1. 研究背景および目的

西田幾多郎は自身の哲学が神秘主義と批判されることに対して、明らかな不満を抱いていた。そのような中で、「私はベルジャーエフの「歴史の意味」に対し大体の傾向に於て同意を表するものであるが、彼の哲学はベーメ的な神秘主義を出ない」として、ロシアの哲学者ベルジャーエフの思索を評価するとともに、神秘主義的であるとして批判している。

この『歴史の意味』という著作を手掛かりにして、本研究では、西田の神秘主義に対する批判とそれをどのように自身の宗教哲学として克服したのかについて、「内在的超越のキリスト」という用語について着目することで、明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究成果概要

以上のような目的のもと、本研究においてはベルジャーエフの宗教的歴史哲学と西田が自身の宗教哲学において重要視した「内在的超越のキリスト」解釈とを比較し解釈した。

従来、「内在的超越のキリスト」は、良心として捉えられたり、霊性的自覚の深まりと、実存変革による向上と「神化」であるとして捉えられたりしてきたが、これらは「内在的超越」という点を一面言い表してはいるが、なお西田のいうところの絶対性を十分に反映しきれていないように思われる。私見では、このような解釈はキリスト教神学と西田宗教哲学との区別が徹底されていないことに由来している。

西田哲学においては、宗教的次元において、動的な弁証法的な働きが存在している。ベルジャーエフも、人間の奥底、宗教的次元において、動的な弁証法的な働きが存在していると論じていたが、後期西田哲学におい

て強調されるのは、絶対的な自己否定による弁証法的な働きである。

ベルジャーエフの場合、根底が動的な弁証法的な働きを有するのは、神人であるキリストが神と人の両極性を有しているためである。一方、西田の「内在的超越のキリスト」とはベルジャーエフのいうような神と人の両極性を有する結合点としてのキリストではなく、それらの両極性をも包み込むような構造を持つキリストである。そのため、キリストが究極的に肯定するという点では近いものがあるが、その理由が両極性を有するか、あるいは両極性を包み込むかという点に大きな違いがある。

### 3. 本研究のまとめと今後の課題

本研究では西田哲学、とりわけ後期西田哲学における宗教哲学を中心に、ロシアの哲学者であるベルジャーエフ『歴史の意味』との比較を通し、西田のいうところの内在的超越のキリストがいかなる意味合いであるのかを研究し、「西田哲学における「内在的超越のキリスト」の考察—ベルジャーエフを手がかりに一」という題で実存思想協会2023年3月研究会にて発表した。

今年度は、西田とベルジャーエフとの比較を試み、両者の相違点がある程度明らかにすることができた。しかしながら、西田の神秘主義概念の展開などに関しては、研究することができなかつたため、今後の課題として研究していきたい。

最後に、「アーリーイーグル支援制度」によって、研究発表の形で成果報告が出来、更にそれを端緒として研究を発展させることが出来ました。本研究課題を採択、ご支援いただき甚深の感謝を申し上げます。

## 多重イメージングを指向した環境応答性 SERS プロブの開発

理工学研究科理工学専攻生命科学コース博士後期課程

蒔苗 宏紀

### 1. 背景

細胞内では分子同士が複雑に連携し合い、その機能を維持している。そのため生体内分子を複数、同時に可視化することで生命現象の理解へとつながる。腫瘍組織を例に挙げると、がん細胞の代謝異常により腫瘍組織周辺の環境が酸性に偏る。この酸刺激が miRNA と呼ばれる短い RNA の発現パターンを変化させ、腫瘍を悪性化させることが示された。このような背景から、生体分子・環境の多重イメージングシステムの開発が望まれる。近年では、ラマン分光法を活用した可視化技術であるラマンイメージングが注目されている。ラマン分光法は分子の振動に由来するラマン散乱光を検出する手法であり、シグナルの幅が狭い。そのためシグナルが重ならず、10~20種もの生体分子の可視化が可能となる。すなわち、ラマンイメージングを用いることでシグナルが重なることなく、生体内分子の正確な多重イメージングが可能となる。以上を踏まえ、本研究では外部刺激に応答して多彩な高次構造を形成する DNA を活用することで生体環境の情報をラマンシグナルとして検出する手法を開発し、生体環境の多重イメージングを実現するシステムの確立を目指した。

### 2. 研究成果概要

本報告では腫瘍環境の多重イメージングを指向し、ラマン分光法による酸性環境検出に関する研究成果を述べる。本研究では腫瘍周辺で形成される酸性環境が pH6 程度であることに着目し、pH6 付近で 3 重鎖を形成する DNA の特性と、DNA 結合分子、そして金ナノ粒子近傍に存在する分子のラマンシグナルを増強させる SERS 効

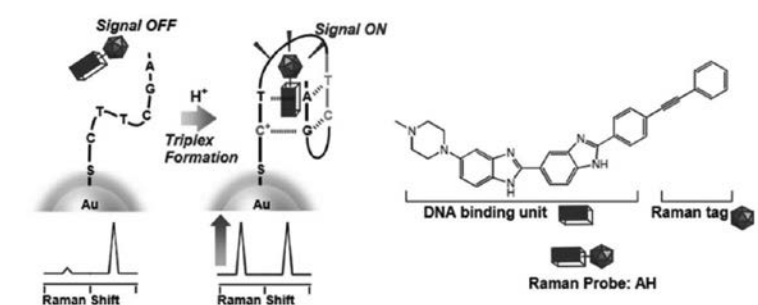


Figure 1 Schematic illustration of SERS-based detection of acidic conditions

果を活用する。具体的なシステムを Figure 1 に示す。まず、金ナノ粒子に、酸性環境で 3 重鎖を形成可能な DNA を導入した。次に、DNA の特徴的な配列に結合するシグナル分子である AH を添加する。その際、中性環境において、AH は DNA に結合できないため、金ナノ粒子に近接することができない。一方、酸性環境において金ナノ粒子上の DNA は 3 重鎖を形成し、AH の結合可能な配列が形成する。その結果、金ナノ粒子上に AH が近接するため SERS 効果を示し、ラマンシグナルが著しく増強する。以上により、シグナルの増加量を追跡することで酸性環境を、ラマン分光法を用いて見積もることが可能となる。実際に本システムは pH7~pH5.5 付近の酸性に応答し、シグナルが増強することが示された。さらに細胞破碎液を疑似的な腫瘍周辺環境として用い、酸性環境においてラマンシグナルが増強することが示された。

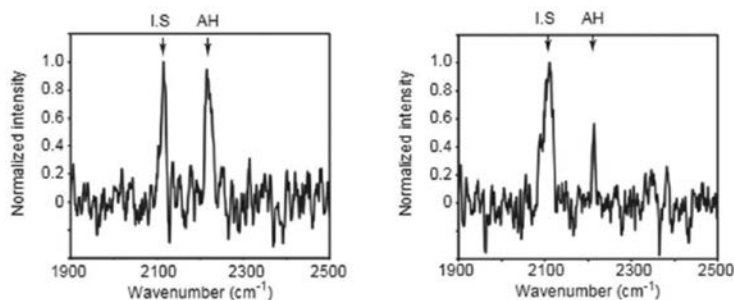


Figure 2 Raman spectra of AH in the presence of cell lysate obtained from A549 cells

### 3. 本研究まとめ

本研究ではラマン分光法と DNA 結合分子を活用した生体因子の多重イメージング技術の発に取り組み、酸性環境検出に成功した。今後、これまでに開発した miRNA 検出システムと組み合わせることで酸性環境と miRNA の同時検出の実現するシステムの構築を予定している。

### 4. 研究業績

[論文] The pH-dependent Raman signal enhancement of alkyne-tagged Hoechst molecule that binds with oligodeoxynucleotides on gold nanoparticles, Makanai, H.; Nishihara, T.; Tanabe, K. *Chem. Lett.* **2022**, *51*, 1135–1138

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」に採択いただきましたことに感謝申し上げます。

## ベル・エポック期におけるパリ・オペラ座：各支配人時代の興行における上演レパートリーと作曲家の創作活動の相互関係

文学研究科比較芸術学専攻博士後期課程

小林 佳織

### 1. 研究背景

これまでの研究ではパリ・オペラ座初演作品のうち、作曲家ジュール・マスネ (Jules Massenet 1842-1912) の作品を中心に、セリフの使用と合唱や楽器を利用した舞台裏の使用が、作中のドラマを印象付ける表現であることに注目してきた。オペラ座は20世紀初頭によくセリフを含む作品を上演するようになる。これは劇場法や条件明細書の制約を受けた劇場毎の上演レパートリーが徐々に変化していくことによるもので、マスネの作品もこの影響を受けていたと考えられる。

また舞台裏の使用の頻度の高さは、演出の視点で見れば、劇場における演奏と演出技術の高さを示し、見えない場所からの音楽がもたらす音響効果が作品に必要とされていたことが窺える。オペラ座の上演記録では、作品評価軸として演出への言及が頻繁にみられ、この時代はオペラの演出に対する感覚も変化していく時代でもあった。オペラ座では、作品初演時の演出を記録した演出台本が作成されはじめ、これをもとに、再演時には初演の演出を再現するという、演出を重視した上演サイクルが次第に定着していく。



このような事情をふまえ、フランス・オペラ研究においては、上演環境（劇場）が作品表現に及ぼす影響を加味した作品分析の視点を得ることが、作品の本質的な理解へとつながると考えた。そこで本研究は、オペラ座を中心に上演環境について基本的な情報から整理し、作品分析に関わる劇場の各変化を明らかにすることを目標としている。

## 2. 研究成果

まず先行研究を整理し、オペラ座の劇場の移転のきっかけになった火事の詳細、支配人の任命方法、その後の経営事情などを把握することができた。次にオペラ座での再演作品と新作を網羅的かつ正確に把握するため、一次資料である『オペラ座上演日誌 *Journal de l'Opéra*』と、『演劇・音楽年鑑 *Les Annales du Théâtre et de la Musique*』から、当時の具体的な興行スケジュールと上演の様子を確認した。1875年から1914年のオペラ座の初演・再演作品は約140作品であることが明らかとなった。全ての作品について短期間で調査することは難しいため、本年はガルニエ劇場の開場後からアランジエの支配人任期が終了する1879年までを中心に辿った。上演シーズンに休みはなく、固定曜日上演や慈善公演、また初演作品の準備のための曜日の臨時変更、歌手の病気などによる代役上演（あるいは演目変更）などの対応も確認ができた。

成果の一部は本学比較芸術学会大会（対面、2022年11月29日開催）で発表したほか、本学の論文集『文学部附置人文科学研究所論叢』第4号に論文として投稿した。

## 3. 課題と今後の展望

本年は、作品が初演されるまでの周辺環境を取り扱ったため、作品表現（音楽と演出）の具体的な検証までは辿り着けなかった。今後はリスト化された上演作品の初演時の音楽と演出の表現を明らかにし比較したい。そのためには前述の演出台本と、テキストの台本、そして楽譜を横断して分析する必要があり、相当の時間を要するものの、演出と音楽の関係が重要となるフランス・オペラの本質をこれまでとは違う形で理解する大きな一歩になると考えている。本学での残りの研究期間は限られているが、部分的にでもこの分析を試みたい。

新型コロナウイルスの流行により、博士進学時から準備していたフランスへの資料調査や留学といった研究計画はほぼ白紙となってしまった。一度止まりかけた研究を現在こうして再開できているのは、本助成を含む本学の若手研究者支援制度が、資金面だけでなく精神面でも一つの支えになっているからである。心からの感謝とともに、今後も研究を継続していきたい。

# 単層カーボンナノチューブを用いたモノポールアンテナ

理工学研究科気工学専攻電気電子工学コース博士後期課程

黒松 将

## 1. 研究背景および目的

IoT（Internet of Things）関連の次世代デバイスの普及に伴って、より多くのアンテナを設置することが必要となっている。フレキシブルアンテナは、フレキシブル配線板や自動車のフロントガラスなどの曲面に張り付け可能なため、注目を集めている。IoT用途のフレキシブルアンテナには、軽量であること、長寿命であること、化学的・機械的に強固であることが求められる。従来のフレキシブルアンテナ用素子材料には、AgやCuを素材とした金属ナノワイヤーや、導電性ポリマーが挙げられるが、それぞれ化学的安定性に乏しい、材料が枯渇資源であるなどの問題が残されている。そこで我々は、フレキシブルアンテナの素子材料として化学的・機械的強度が高く、フレキシブル性に長けた単層カーボンナノチューブ（SWCNT）に注目した。本研究では、SWCNTインクと独自の製膜技術を組み合わせて、厚さ100nm、シート抵抗 $70\Omega/\text{sq}$ のSWCNTアンテナをPET基板上に作製した。膜の重量は同形状のCu薄膜のわずか4%であり、軽量のアンテナである。今回は、このアンテナの特性を評価した。

## 2. 研究成果概要

図1に作製したSWCNTアンテナの光学画像を示す。SWCNTアンテナは直線 (flat)、湾曲 (bended) の2つの状態でAl板上に設置し湾曲に対する特性の変化を調査した。また、図1に示すようにアンテナのE面およびH面を設定する。さらに、比較サンプルとして、同形状のCuアンテナをCuテープを用いて作製し、SWCNTアンテナと同様の評価を行った。

まず、すべてのアンテナにおいて90%以上の電力が入力されていることを確認した。また、アンテナが動作する共振周波数はすべてのアンテナにおいておおよそ7.0 GHzであることが分かった。図2に共振周波数におけるアンテナの放射パターンを示す。実線にE面の放射パターン、破線にH面の放射パターンを示す。放射パターン (E面) のリップル (波) に注目すると、それらの数と角度が3つのアンテナ間で一致していることがわかる。これはすべてのアンテナが同様な電流分布を示していることを示唆しており、このことからSWCNTアンテナは非金属であるにもかかわらず金属的な挙動を示したといえる。また、その特性は湾曲時においても損なわれていないことが明らかになった。

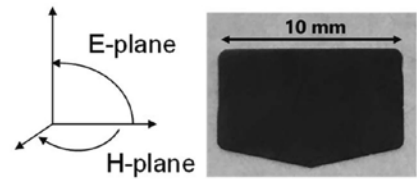


図1 作製したSWCNTアンテナ

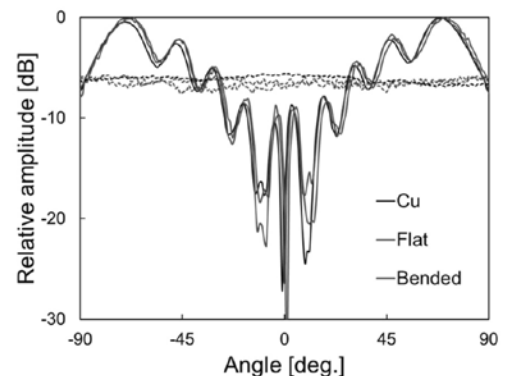


図2 アンテナの放射パターン

## 3. 本研究のまとめ

本研究では、SWCNTを素子としたフレキシブルアンテナを作製した。作製したSWCNTアンテナは湾曲に関わらず金属的な挙動を示すことが明らかとなった。以上の結果から、IoT関連デバイスや次世代通信向けデバイスのフレキシブルアンテナの素子材料としてSWCNT膜が実用可能である可能性を示した。

本研究の一部は、青山学院大学アーリーイーグル研究支援制度の支援によって行われた。

## 4. 研究業績 (2022年度)

[査読付き国際学会]

- S. Kuromatsu, T. Watanabe, R. Suga, Y. Nonoguchi, O. Hashimoto and S. Koh, "Fabrication of Single-Wall Carbon Nanotube Monopole Antenna Using Poly (methyl methacrylate)-Supported Transfer Technique," *NDNC2022, II-07-5*, Japan, June 8th (2022).
- S. Kuromatsu, T. Watanabe, Y. Nonoguchi, R. Suga, O. Hashimoto, and S. Koh, "Single-Wall Carbon Nanotube-Based Flexible Monopole Antenna Fabricated Using Poly (Methyl Methacrylate) -Supported Transfer Technique," *APMC2022, IF-C12*, Japan, Dec. 1st (2022).

[表彰、学内報道]

- 青山学院大学 2022年度 学生表彰受賞
- 青山学院大学 AGU LiFE 「「世界でいちばん詳しい」という自負で取り組む炭素材料の研究と、人命救助の榮譽」 2023年5月24日

# 機能性人工核酸を用いた代謝物の単一細胞解析法の開発

理工学研究科 理工学専攻 生命科学コース 博士後期課程

本橋 優人

## 1. 研究背景、及び目的

近年、生体内で生成される代謝物と疾病との関連が明らかとなっている。このような代謝物の解析には、主に液体クロマトグラフィー-質量分析法 (LC-MS) が用いられている。しかしながら、LC-MS による代謝物解析には、1 サンプル毎に数十分程度の分離操作を必要とするため、多数の検体の解析には膨大な時間を要する。したがって、単一細胞の代謝物解析を指向した場合、スループット性の低さが本質的な課題であると言える。本研究では、DNA が複数の塩基配列を高感度かつ、一斉に定量可能となっていることに着目した。これらを踏まえ、代謝物情報を DNA の塩基配列情報へと置き換えることで、ハイスループットな代謝物解析、さらには、トランスクリプトームとの複合解析を実現することを目的とした。

## 2. 研究成果概要

本研究では、標的代謝物としてがん細胞で過剰発現することが知られているグルタチオン (GSH) を選択し、GSH のチオール基と反応性を示すジスルフィド結合を有する人工核酸 (Biotin-SS-DNA) を設計・合成した。Biotin-SS-DNA と情報を保持するコード鎖との二重鎖 (Biotin-SS-dsDNA) をストレプトアビジン修飾磁性ビーズ上に積載し、GSH の添加に伴い、GSH が結合した GSH-SS-dsDNA が放出されるシステムを構築した (図 1)。まず、本システムによる GSH の定量性を評価した。5 pmol Biotin-SS-dsDNA を積載した磁性ビーズに対し、0-12nmol GSH を添加し、上澄みに放出された GSH-SS-dsDNA の量を qPCR にて定量した。その結果、GSH 濃度依存的に GSH-SS-dsDNA の定量値が増加する様子が確認された。一方で、ジスルフィド結合を持たない Biotin-dsDNA を積載したビーズを使用した場合には、上澄みに放出される DNA の量は変化しなかった。このことから、Biotin-SS-dsDNA のジスルフィド結合により GSH の定量を実現していることが確認された。

次に、細胞由来の GSH と mRNA の同時定量が可能か評価した。ヒト肺がん細胞 (A549) に対して、酸化

ストレスの一種である過酸化水素 ( $H_2O_2$ ) を添加した細胞と添加しない細胞を用意し、細胞抽出液中に含まれる GSH と酸化ストレスマーカーである HO-1 mRNA の定量を行った (図 2)。すなわち、 $H_2O_2$  の添加による GSH の減少と HO-1 の増加をモニター可能か評価した。その結果、予測通り、GSH の減少と HO-1 の増加を確認できた。また、GSH 量を市販の定量キットの結果と比較したところ、同程度の値を示したことから、本システムは細胞由来の GSH を高精度に定量可能であることが示された。

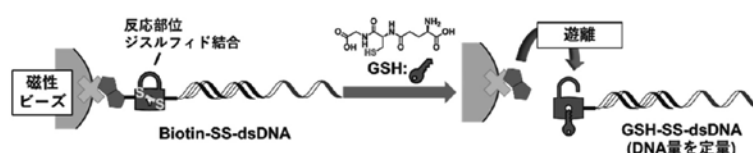


図 1 Biotin-SS-dsDNA を利用した GSH 定量システム

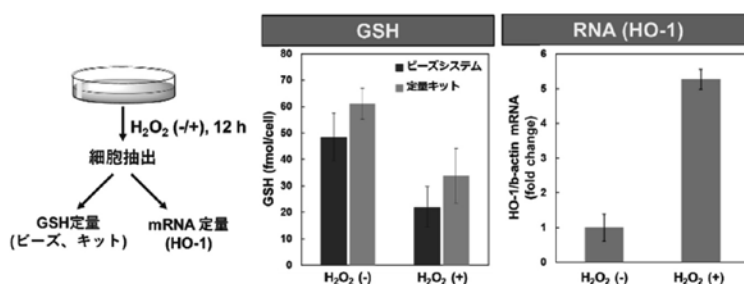


図 2 細胞内 GSH と mRNA の定量

## 3. 本研究のまとめ

本研究では、機能性人工核酸を活用した GSH 定量システムを構築した。また、本システムは細胞由来の GSH と mRNA を同時に定量可能であることが示された。今後、他の代謝物への応用を進めていく予定である。

#### 4. 研究業績

【査読付き学術論文】 Yuto Motohashi, Shuhei Moritani, Tatsuya Nishihara, Kazuhito Tanabe, “Encoding Thiol Metabolite Information into a DNA Sequence by Disulfide Exchange Reaction on Oligodeoxynucleotides for Parallel Analysis of the Metabolite and mRNA” *ChemistrySelect*. Accepted

【国際学会】 ○ Yuto Motohashi, Tatsuya Nishihara, Kazuhito Tanabe, “Detection of cellular metabolite using phenylboronic acid- modified oligonucleotides” The 49th International symposium on Nucleic Acids Chemistry, 東京理科大学 葛飾キャンパス (2022年11月2日)

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」によるご支援を賜りましたこと、心より感謝申し上げます。

## ポストコロナ時代における国際秩序の変容 —自由主義国際秩序の変化

国際政治経済学研究科国際政治学専攻博士後期課程

李 天龍

### 1. 研究背景、及び目的

2008年の金融危機以降、国際秩序は大きく変化し始め、2019年末からCovid-19の大流行によって、その変化はさらに深刻化した。国際秩序はアナーキーな国際社会の安定を維持する基礎である。ポストコロナ時代に既存の国際秩序を維持する必要があるのか、それとも新しい国際秩序を求める必要があるのかが現在問題となっている。本稿では、既存の自由主義秩序が変化する過程を分析することによって、ポストコロナ時代に自由主義国際秩序の変化過程を説明し、原因を明らかにしようとするものである。

本稿の研究問題はポストコロナ時代に、米国をはじめとする先進自由民主主義国が主導し、民主主義、人権、自由市場経済という自由主義的な価値が重視される自由主義的国際秩序 (Liberal International Order) がどのように変化するであろう。先進国の自由民主主義価値観が揺らいでいる事は自由主義国際秩序変化の原因であるのか。

### 2. 研究プロセス

本研究は、自由主義的国際秩序の分析において、以下のステップを踏んでいる。まず第一に、先行文献の検討を通じて、自由主義的国際秩序という概念を正確に定義する。第二に、自由主義的国際秩序の形成過程と歴史的な変遷を振り返り、変容の原因を解明する。その上で、ポストコロナ時代の変化を選び出し、その主な理由を分析する。第三は、自由主義的国際秩序が形成されるための必要条件を整理し、その条件に照らして自由主義的国際秩序の構成要素を考察する。第四に、比較方法を採用し、ポストコロナ時代の自由主義的国際秩序の特徴を分析する。最後に、自由主義的国際秩序における今後の変化の傾向を予測する。

### 3. 研究成果概要

第一に、国家間の協力は秩序を維持するための重要な手段である。ポストコロナ時代の国際協力には、大国間の協力、近隣諸国や同盟国間の協力、国際協力の3つがある。この3つの形態では、秩序の主導国が異なる役割を担っている。第二に、主導国自身の力の変化の影響により、秩序における模範的な役割が弱まっていることである。自由主義国際秩序に消極的な影響を及ぼしている。第三に、主導国の交代が起きない中で、秩序を主導する意欲に変化が起きたことである。

現在の自由主義的国際秩序の主導国であるアメリカは、トランプ時代の誤った行動の影響で国際的なリーダーシップを弱めたが、バイデン政権下で実践的な行動により国際協力の主導的な役割を果たした。まずアメリカが秩序を動かし、他の国がそれに従えば国際秩序の拘束力が弱まるという「割れ窓」効果を生んでいるのだ。第二に、アメリカのように、これらの国際制度に自由に入出入りすることで、秩序の不安定さと不確実性を増大させる。さらに、このような行為は、アメリカのイメージと権威を著しく損ない、アメリカに対する他国

の信頼を低下させ、アメリカが作り上げた秩序の影響力を損なうものである。

最後に、「アーリーイーグル研究支援制度」の助成を賜りました事心より感謝申し上げます。

## 学会発表

ポストコロナ時代における国際秩序の変容——自由主義国際秩序の変化

日本国際政治学会2022年度研究大会 院生・若手研究分科会2022年10月

Transformation of the International Order in the Post-pandemic Era: Changes in the Liberal International Order.  
The Midwest Political Science Association's 80th Annual Conference, 2023, 4.

# 1940年代から1950年代の国立公園における電鉄資本の観光開発 —「箱根観光船」の進出をめぐる小田急電鉄と県行政の関係を事例に—

経済学研究科経済学専攻博士後期課程

西山 有紀子

## 1. 研究の背景と目的

富士箱根伊豆国立公園に位置する神奈川県足柄下郡箱根町は、首都圏からも近く富士山の景観や温泉にも恵まれ、現在では日本を代表する観光都市として成長している。戦後復興期には厚生運動などを契機に観光客が増加するに伴い、高度成長期にかけては多くの民間資本が箱根に進出し、観光開発ブームを迎えることになった。箱根観光開発に関する従来研究は、常に「箱根山戦争」が議論の中心にあり、観光地として発展を遂げた理由として、高度成長期に西武鉄道（以下・西武）と小田急電鉄（以下・小田急）の企業間競争によるところが大きいとされている。この「箱根山戦争」の話は後に小説や映画化され、両社の抗争は広く人々に知られることになった。しかし「箱根山戦争」の時代、1940年代から1960年代にかけての箱根は、国立公園に対する行政の規制も厳しく、加えて旧来資本や町村問題など諸事情が複雑に交錯し、実際のところ、観光開発を進める小田急にとっては「西武」よりもこのような問題の方がはるかに隘路となっていた。

従って本論は、小田急の子会社である「箱根観光船」に着目し、同社の諸問題に関わることを契機として本格的に箱根へと参入する、ごく初期における小田急の観光開発事業のありようを考察する。また研究対象を「対立資本」に限定せず、行政や地域社会など「箱根観光船」に関わる一定のステークホルダーにまで広げ、広範囲な視野で観光開発を捉えることで、従来述べられてきた「企業間対立」という定説に修正を試みる。

## 2. 研究概要

占領期に箱根登山鉄道を傘下にした小田急は、地元の有志らと共に立ち上げた子会社「箱根観光船」の芦ノ湖遊覧船事業への進出を足掛かりとして、同時に箱根観光開発事業へと参入する。しかし、既に芦ノ湖には西武の堤康次郎が率いる駿豆鉄道の船が独占状態で運航しており、この進出は両社間での抗争を惹起させ、地元町村を巻き込む事態へと発展した。一方で、民間企業の資金協力をもとに芦ノ湖周辺の国立公園事業を実施しようと計画していた県に対して何かと反発してくる堤とは反対に、小田急社長安藤楯六は積極的に行政と関わることで、次第に両者の距離は縮まっていく。折しも両者の利害は一致し、県は小田急の協力と資金をもって「半官半民」事業を実施し、小田急は県から県有地を貸付けてもらうことで自社の事業計画を着実に実現していくのであった。

## 3. 今後の課題と研究成果

高度成長期に各子会社がどのようにして観光開発事業を手掛けていくのかについては、小田急の子会社に対する詳細な資金提供や投資戦略も含めて今後の研究で考察する。（本論文は社会経済史学会に投稿し、現在査読中）最後に「アーリーイーグル研究支援制度」にて研究に対するご支援を賜り厚くお礼申し上げます。

### Ⅲ. SDGs 関連研究補助制度活動報告

# 大学生のグローバルリーダーシップ育成—JEARN Youth Project での国際協働学習におけるファシリテーションを通して—

現 国際政治経済学部国際コミュニケーション学科 教授  
前 国際政治経済学部国際コミュニケーション学科 准教授  
勝又 恵理子

本研究は、2021年に海外の小学生～高校生と SDGs につながるプロジェクトをベースにオンラインで国際協働学習を推進する「International Education and Resource Network (iEARN)」に、ファシリテーターとして参加した大学生のファシリテーション能力の向上とグローバルリーダーの育成について調査した。

iEARN は、140か国以上、3万以上の教育機関・団体と提携する NGO で、オンラインネットワークを通じて、異文化交流やコラボレーションを行う学習者のグローバルコミュニティを運営している。国内では NPO 法人 JEARN が、iEARN の日本センターとして活動しており、2017年に日本の教育事情に合わせた JEARN 独自の大学生向け地球市民育成プロジェクト「JEARN Youth Project」を開始した。このプロジェクトは、国内外の小中高生を対象とした国際協働学習のプロジェクトにおいて、大学生がファシリテーターとして活動する体験を通じて、地球市民を育成することを目的としている。

本研究では、①実践経験を通して、どのように、ファシリテーション能力を成長させるのか、②グローバルリーダーシップ能力の向上に必要な経験は何か、を明らかにするために調査を行った。調査対象者は、ごみ問題に取り組むプロジェクトのファシリテーターとなり、海外の生徒に向けてワークショップを実施した A 大学の学生である。調査方法は、アンケート調査と観察調査である。アンケート調査は、大学生ファシリテーターと交流した学校の先生に対して行い、観察調査は、大学生ファシリテーターのワークショップの様子を、調査者の主観を加えずに、正確に描写・分析した。

調査の結果、大学生は海外の生徒のファシリテーターになることで、企画力・ICT能力・言語能力を高め、生徒の主體的な学びの促進を意識していくことが明らかになった。また、異なる国の生徒と関わり、不確実性の高い状況を経験することで、臨機応変な対応力を身につけていた。さらには、世界共通の問題に、グローバルな視点から取り組むことにより、異文化理解力を高めていることもわかった。



# 多文化共生社会に資する JSL 児童向け日本語教育資源開発に関する実証的研究

文学部日本文学科 准教授  
田中 祐輔

本研究では、児童が小学校での学びに必要な語を学ぶことができるように、小学校第一学年から第六学年までの教科学習の根幹となる基本語の選定を行う調査を実施し、教育機関で利用可能なアプリケーション型の教材開発を通じた社会課題解決のための実証的研究に取り組んでいる。

2022年度は、小学校国語教科書の掲載語彙のうち、出現頻度の高い語を抽出し、習得をサポートするためのアプリケーション型教材のクイズアイテムを作成した。特に第一学年・第二学年の低学年の作問を行い、児童が「朝の時間」の10-15分程度を利用して、日本語を母語とする児童もそうでない児童も共に学ぶための教材配信を行なった。



本研究によって児童が学習する上で助けとなる学習基本用語が明らかになり、そのための学習ツールが設けられることは、これまで別室で学ぶ他なかった、あるいは、学校に通えなかった帰国・外国人児童が、日本語母語児童・日本国籍児童と共に学ぶ道を拓くものであり、日本で学ぶ全ての児童が等しく学習機会を得る国語教育の拡充に寄与したいと考えている。とりわけ、SDGsの大目標である「質の高い教育をみんなに」、および、中項目である「公平で質の高い教育を無料で受け、小学校と中学校を卒業できるようにする。」「読み書きや計算ができるようにする。」に関連し、特に「だれも取り残されないような学習のための環境をとどける。」という理念実現に資するものとなることを目指している。



# サステナビリティ経営による日本型人事の変化

国際マネジメント研究科 教授  
須田 敏子

ダイバーシティ&インクルージョン (D & I)、労働移動の可能なジョブ型人事への移行、リスクリング、人的資本経営などサステナビリティ経営実現のためには、人事分野が果たす役割はますます大きくなっています。そんな中で実施された本研究は、D & I、人材ポートフォリオ、経営戦略と HR 戦略の連動など人的資本経営の様々な具体策、日本型人事からジョブ型人事への変化の動向 (加えてジョブ型・マーケット型人事への変化)、ジョブ型人事で実現するリスクリングなどいくつかの分野に焦点をあててサステナビリティ経営実現への道を追求するものです。

以上のように本研究の対象は多岐にわたりますが、本報告書では D & I に焦点をあてて研究内容を紹介します。本研究では理論と経験的研究 (主に定性研究) の両面から D & I の研究を行っています。理論面では、制度理論と資源ベース型戦略論に基づく “A Circular, Two-Stage Model”、Optimal Distinctiveness Theory に基づくインクルーシブ・リーダーシップ、リーダーシップ理論のリーダーメンバー交換理論など様々な理論から分析を行っており、本報告書では、その中から制度理論と資源ベース型戦略論に基づく “A Circular, Two-Stage Model” について理論内容を紹介します。

制度理論は、法的枠組み・会計基準など公的制度と定着した習慣や価値観など非公式制度からなる制度環境に適応することで組織は利益を受けると主張するものです。ESG 投資の増加やコーポレートガバナンスコードの制定・改定など近年、急速に D & I に関する制度環境が広まっている中で、企業にとって D & I の実現は、制度環境に適応して社会的正当性を得るためにはこれまで以上に重要となっています。この制度環境への適応目的の D & I は、外部環境への適応という Reactive 目的です。制度環境は企業共通のため、各社の D & I は類似しやすくなります。このように導入時点の D & I 戦略は類似しやすいのですが、いったん D & I が導入されると各社の取り組みは異なってきます。個別企業には特有の歴史や組織文化、定着した考え方や行動様式があるためです。これは各社独自の組織能力は他社にとって模倣困難なものであるため、組織に持続的な競争優位を与えるとする資源ベース型戦略論の主張です。このように企業が競争優位を実現し、それを持続させるためには、類似性と異質性という異なった側面が重要となるのです。この類似性と異質性という 2 つの側面を、D & I に応用して、第 1 ステージ=類似性、第 2 ステージ=異質性、のサークルモデルと捉えるのが、“A Circular, Two-Stage Model” です。

本研究では、このような理論的研究に基づき、日本を代表する電機企業 2 社のケーススタディを行い、D & I という大きなテーマでは共通しているものの、各社が独自の取り組みをしている実態についてインタビューを中心に調査しています。つまり、D & I 重視という方針の組織内外への発表を、D & I という制度環境適応という第 1 段階と捉え、各社における異なった方法・プロセスで進行する D & I の取り組み実態を、第 2 段階として捉え、第 1 段階と第 2 段階の具体的内容を調査しています。

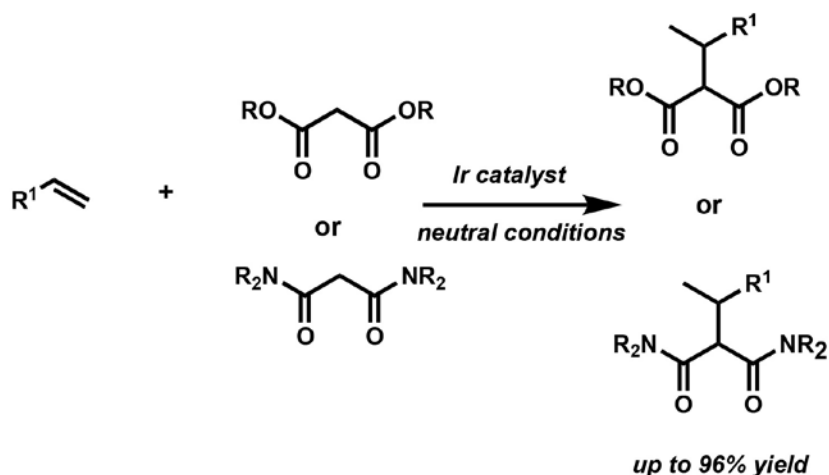
# 有用有機化合物の環境調和型合成

理工学部化学・生命科学科 教授  
武内 亮

現代文明は種々の有機分子により支えられています。生命と健康を守る医薬品から最新テクノロジーを支える機能性有機分子まで、所望の構造を持つ有機分子を提供することが求められています。容易に入手できる有機分子からより複雑な骨格への効率的分子変換を実現するために、新たな触媒機能の開発が期待されています。単純アルケンは大規模に製造される工業原料であることから、最も入手容易な出発物質です。単純アルケ

ンから中性条件において高い原子効率を実現しながら炭素鎖伸長ができれば、汎用化学原料の環境調和型高付加価値化が可能となり、極めて大きな意味を持ちます。

本研究では、マロン酸アミドやマロン酸エステルの単純アルケンへの中性条件下での付加反応を見出しました。さらに、どのように触媒機能が発現するのかについて詳細に研究しました。



## 地球上にありふれた金属を触媒として用いた持続可能な合成反応

理工学部化学・生命科学科 助教  
澤野 卓大

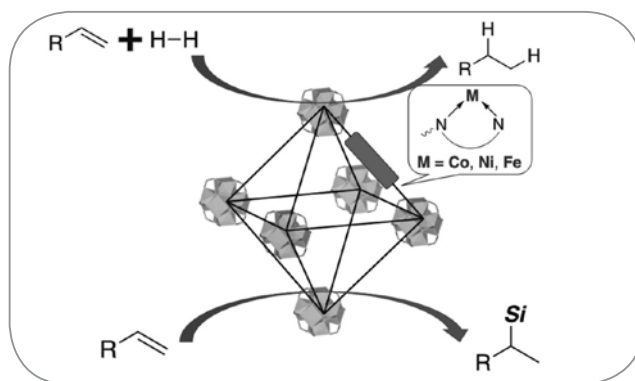
金属触媒は物質を合成する手助けを行うことが可能であり、化学製品および医農薬品の合成や自動車の排ガスの浄化など様々な場面で利用され、現代の私たちの生活を成り立たせる上で非常に重要な役割を果たしている。しかし、地球上の金属触媒は有限であるため、地球上にありふれた金属を繰り返し用いるシステムの開発が持続可能な社会を形成する上で求められている。このような背景から、地球上に豊富に存在し、かつ安価な金属を Metal-Organic Frameworks (MOF と省略する) に組み合わせた触媒を開発することで、高活性でかつ再利用可能な触媒を実現させるための研究を行なった。

昨年度は地球上に豊富に存在する金属を取り込むための MOF の作成を行い、ジアミン、ピリジンを含む 2 種類の新たな MOF の合成を達成した。この MOF は鉄、コバルト、ニッケルなどの金属を取り込むことができた。そこで、今年度は MOF を用いた触媒反応に取り組んだ。

金属を取り込んだジアミンを持つ MOF を水素化反応に用いた。水素化反応は工業的に広く使用されている有用な反応であり、食用油や香料など身の回りの様々な製品を作るために利用されている。しかしながら、現在工業的に使用されている触媒は、希少な金属を使用、高温・高圧を必要、発火性が高い触媒が必要、などの問題点がそれぞれ存在する。報告者が開発した MOF 触媒を用いて水素化反応を行ったところ、穏やかな条件下での安価な金属を用いた反応が実現した。

また、使用した MOF 触媒には発火性がなかった。これらの点から、作成した触媒は現在の工業プロセスを改善し、持続可能な社会を実現するための助けになると期待できる。また、同じ触媒を用いて他の反応に使用することも可能であり、例えばシリル基を導入する反応に用いることができた。

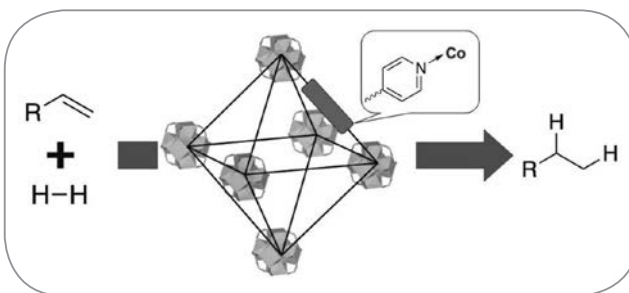
触媒を繰り返し使用することは持続可能な社会を形成するために重要である。触媒を繰り返し使用するため



には、触媒に含まれる金属が反応溶液に流失しないことが前提となる。本 MOF 触媒が実際にどれだけ流失しているか確かめたところ、ほとんど金属が流出していないことが分かった。このような金属の溶液中への少ない流失は、製品の汚染を防ぐためにも重要である。

また、作成したもう 1 つの MOF である、ピリジンを含む MOF も触媒反応に用いることができた。例えば、コバルトを含む MOF を用いて水素化反応を行なったところ、こちらも温和な条件で進行することが分かった。

以上のように、本年度は比較的安価で入手容易な金属を MOF に取り込んだ触媒を用いたいくつかの反応の実現に取り組んだ。その結果、水素化反応などの有用な反応に用いることができると分かった。



## 大学体育授業が健康づくりのための身体活動量に与える影響についての研究

教育人間科学部 助教  
田村 達也

### 1. 研究の目的

本研究では、大学体育授業を対象として、心拍計を用いて①大学体育授業の受講者の運動強度を推定し、さらに②運動強度を増大させる方法（コートの広さの違い）による影響を明らかにすることを目的とした。

### 2. 研究の方法

#### 1) 対象

スポーツ運動実習（フットサル）を受講している学生26名であった。

#### 2) 調査・実験方法

対象者26名の上腕に光学式心拍センサー（Polar 社製）を装着し、運動強度の指標となる心拍数を収集した。対象者は狭いコート（ハンドボールコート）と広いコート（バスケットボールコート）で試合を行った。授業内容を把握するために授業全体をビデオカメラにて撮影した。

### 3. 研究成果

図1に対象者Aの例を示した。対象者が狭いコート（H群）あるいは広いコート（B群）で試合をした時の平均心拍数（bpm）を比較した結果、違いは見られなかった。今回の調査・実験では、大学体育授業のフットサルの運動強度を明らかにすることができたが、コートの広さの違いによる影響を見出すことはできなかった。今後は、サッカーコートとフットサルコートで試合をした時の心拍数を比較する等、コートの広さについて検討していくことが必要である。また、図2のように、試合数

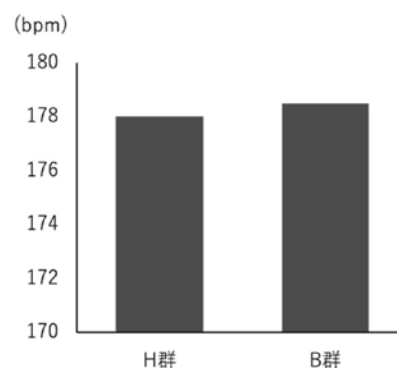


図1 対象者Aの平均心拍数

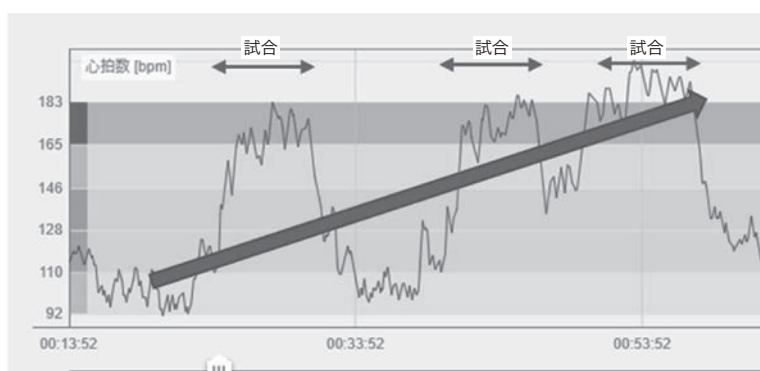


図2 心拍数の推移

を重ねることで心拍数が漸進的に増加していることが見て取れる。試合間のインターバル時間を調整することで、効果的に運動強度を増大させることができるヒントを得ることができた。

## 産学官民連携と学生参加型共同研究による SDGs フードロス新生プロジェクト

経営学部経営学科 教授  
玉木 欽也

### 1. 本研究と SDGs の関連性および研究対象

本研究と SDGs との関連性は、SDGs の「目標12 持続可能な生産・消費」の中で、特にターゲット「12.3 小売・消費レベルにおける世界全体の一人当たりの食料の廃棄を半減させ、収穫後損失などの生産・サプライチェーンにおける食品ロスを減少させる」に焦点を当てている。そこで本研究の対象を、フードサービスの上流サプライチェーン (SC) に相当する収穫後の損失とした。なお、フードロスとは、「食べられるのに捨てられてしまう食品」と定義されている。

### 2. 本研究の目標と「SDGs フードロス新生プロジェクト」の活動

本研究の背景は、野菜や果物などの農産物が、色が悪い、変形、キズ（「余剰食材」と呼ぶことにする）などの理由によって、農協などを通して市場に流通されずに廃棄されている現状がある。おそらく1割から2割くらいの規格外品が、農業生産者側で廃棄されていたり、肥料の一部として転用されている。

そこでこれらの社会課題解決の一助として、余剰食材を再活用する産学連携と SDGs 学生チームによる「SDGs フードロス新生プロジェクト」を立ち上げた。

本研究の意義は、フードロスを削減するという観点に加えて、従来は捨てられることが当たり前、無価値の取り扱いを受けていた余剰食材を、SDGs の視点から新たな付加価値をつける工夫（例えば、新メニュー開発や6次化商品の企画）をして、「フードロスを新たな価値に生まれ変わらせる」ことをプロジェクトの目標としていることである。

### 3. 2022年12月「SDGs 安納芋パウンドケーキ販売イベント」in 青山 キャンパス購買部

一般市場には流通していなかった規格外の安納芋を使用して、フードロス削減を意識した商品「SDGs 安納芋パウンドケーキ」のレシピを、SDGs 学生チームが企画した。そして「SDGs フードロス新生プロジェクト」の趣旨に賛同いただいた、府中市の安納芋生産者「うちで農園」様から余剰食材を提供していただいた。それらの食材を、福祉作業所「こむたん」様に、食材加工・ケーキ製造・包装を委託した。青山キャンパス購買部において、SDGs 学生チーム側が販売イベントを実施して、2日間で約300個（ゼミ内での試食・テストマーケティングを含む、税込み200円/個）の販売実績とともに、SDGs 食育プログラムの啓蒙、アンケート調査・解析を行った。

なお、広報活動として、玉木研究室および青山学院大学 SDGs 人材開発パートナーシップ研究所（現 SDGs/CE パートナーシップ研究所）の協力のもと、青学 TV の SDGs シリーズの一環として取材協力を行った。



## IV. 研究ユニット資料

2022年度総合研究所 研究ユニット

1年目

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼担等の種別	所属・職位	研究実施計画に対する役割分担
一般研究B	国際秩序変容の構造とメカニズム：ネットワーク・アプローチによる実証分析	3年	林 載桓	兼担・リーダー	国際政治経済学部国際政治学科・教授	研究活動の総合調整 共同セミナー・成果報告会の運営
			泉川 泰博	兼担	国際政治経済学部国際政治学科・教授	東アジアにおける同盟ネットワークの実証分析
			佐桑 健太郎	兼担	国際政治経済学部国際政治学科・准教授	地域の安全保障秩序のネットワーク分析 ネットワーク分析手法の紹介と研究支援
			武田 健	兼担	国際政治経済学部国際政治学科・准教授	国際秩序変容と EU、秩序変容をめぐる EU 内の政治過程の実証的考察
			菊池 努	客員研究員	日本国際問題研究所・上席客員研究員	アジア太平洋地域における国際秩序変容の実証的考察
			山崎 周	客員研究員	東洋大学国際学部・講師	秩序変革期の中国外交の実証的考察
			大石 晃史	特別研究員	日本学術振興会 SPD 研究員	国際秩序変容と対外援助ネットワークの実証分析 ネットワーク分析手法の紹介と研究支援
	コーポレート・ディスクロージャーの総合的研究	3年	小西 範幸	兼担・リーダー	会計プロフェッション研究科・教授	コーポレート・ディスクロージャーの研究
			蟹江 章	兼担	会計プロフェッション研究科・教授	ガバナンスと保証の理論研究
			重田 麻紀子	兼担	会計プロフェッション研究科・教授	ガバナンス責任者の国際比較研究
			高井 駿	兼担	会計プロフェッション研究科・助手	会計ディスクロージャーの研究
			矢澤 憲一	兼担	経営学部経営学科・教授	会計・保証・ガバナンスの実証分析
			小俣 光文	客員研究員	明治大学経営学部・教授	英国コーポレート・ディスクロージャー制度の研究
			柿崎 環	客員研究員	明治大学法学部・教授	ガバナンスの国際比較研究
			坂根 純輝	客員研究員	長崎県立大学経営学部・准教授	会計・保証・ガバナンスのアンケート調査
			平田 沙織	客員研究員	横浜商科大学商学部・非常勤講師	会計ディスクロージャーの国際比較研究
			松本 祥尚	客員研究員	関西大学大学院会計研究科・教授	保証理論の研究
			山崎 秀彦	客員研究員	専修大学経営学部・教授	保証とガバナンスの理論研究
	新奇低次元トポロジカル物質の開発とその次世代超低消費電力スピン素子応用	3年	春山 純志	兼担・リーダー	理工学部電気電子工学科・教授	新奇トポロジカル絶縁体創製と素子応用
			北野 晴久	兼担	理工学部物理科学科・教授	イオン化液体ゲートによる高効率・高制御化
一般研究C	モア・ザン・ヒューマン（人間以上）の想像力と語り——環境人文学の研究教育基盤形成に向けて	3年	結城 正美	兼担・リーダー	文学部英米文学科・教授	研究全般の統括、課題 B、C の遂行
			鳥越 けい子	兼担	総合文化政策学部総合文化政策学科・教授	課題 A の遂行
			佐藤 泉	兼担	文学部日本文学科・教授	課題 B の遂行
			西本 あづさ	兼担	文学部英米文学科・教授	課題 A の遂行
			Elin McCready	兼担	文学部英米文学科・教授	課題 C の遂行
			松井 優子	兼担	文学部英米文学科・教授	課題 A の遂行
	留学生就職支援を目的とする ICT を用いたビジネス日本語教育の実証的研究	3年	田中 祐輔	兼担・リーダー	文学部日本文学科・准教授	研究代表者

2年目

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼任等の種別	所属・職位	研究実施計画に対する役割分担
一般研究B	住宅政策・構想が地域社会に与える影響に関する史的的研究	3年	永山 のどか	兼任・リーダー	経済学部経済学科・教授	研究代表者 統括 戦後西ドイツの公営住宅・社会住宅とそのコミュニティ分析"
			黒石 いずみ	客員研究員	総合文化政策学部・客員教授	研究副代表者 GHQの占領政策にみられる住宅復興支援策が及ぼした日本の住宅政策への影響
			木下 光生	客員研究員	奈良大学文学部・教授	日本の被差別部落や低所得層向けの住宅供給
	国連PKOの文民に対する暴力抑制効果—ジェンダー多様性の役割	3年	佐桑 健太郎	兼任・リーダー	国際政治経済学部国際政治学科・准教授	実証分析計画の統括、数量データ分析
			田中 (坂部) 有佳子	客員研究員	一橋大学 森有礼高等教育国際流動化機構・講師	フィールド調査、事例研究
キリスト教文化研究	日本の教育における伝統思想とキリスト教学校の攻防	3年	森島 豊	兼任・リーダー	総合文化政策学部総合文化政策学科・教授	幕末・明治期の日本の国策と教育政策、戦前戦後のキリスト教教育への弾圧と対応
			伊藤 悟	兼任	教育人間科学部・教授	戦後日本とアジアのキリスト教学校の取り組みと課題、政府による教育政策の本質的問題とキリスト教学校の対応策
			島田 由紀	兼任	国際マネジメント研究科国際マネジメント専攻・准教授	戦前戦後のキリスト教教育への弾圧と対応
			長山 道	客員研究員	東京神学大学・教授	日本における人格教育について、戦後日本とアジアのキリスト教学校の取り組みと課題

3年目

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼任等の種別	所属・職位	研究実施計画に対する役割分担	
一般研究B	体力や健康の維持増進に向けた電気刺激を用いた受動的トレーニングの開発	4年	小木曾 一之	兼任・リーダー	教育人間科学部教育学科・教授	研究の立案、実験実施、データ整理、論文・報告書作成、研究成果の広報活動	
			井上 直子	兼任	教育人間科学部教育学科・教授	実験実施、データ整理、研究成果の広報活動	
			安井 年文	兼任	コミュニティ人間科学部コミュニティ人間科学科・教授	実験実施、データ整理、研究成果の広報活動	
	無線システムの運用環境改善に向けた電波吸収・シールド技術の開発	3年	黄 晋二	兼任・リーダー	理工学部電気電子工学科・教授	研究とりまとめ、電波吸収体の開発	
			松本 洋和	兼任	理工学部電気電子工学科・准教授	シールド材料の開発	
			須賀 良介	兼任	理工学部電気電子工学科・准教授	電波吸収体、シールド材料の開発・評価	
			橋本 修	客員研究員	理工学部・客員教授	電波吸収体材料の開発	
	人口動態の変化が家計のエネルギー消費に与える影響：Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM) による予測	4年	松本 茂	兼任・リーダー	経済学部経済学科・教授	総括、世帯のエネルギー消費分析	
			高橋 朋一	兼任	経済学部現代経済デザイン学科・教授	エネルギー消費データとGIS Dataの接合	
			岸田 一隆	兼任	経済学部・教授	省エネ予測シナリオの策定	
			眞弓 浩三	客員研究員	京都情報大学院大学・教授	MuSIASEM分析のデータ準備	
				井上 希	客員研究員	国立社会保障・人口問題研究所・研究員	人口データとエネルギー消費データの接合

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼担等の種別	所属・職位	研究実施計画に対する役割分担	
一般研究C	19・20世紀のフランス文学とオペラ	3年	和田 恵里	兼担・リーダー	文学部フランス文学科・教授	連絡・経理・発案・経理・調査・発表	
			荒木 善太	兼担	文学部フランス文学科・教授	本年度は特別研究期間発案・経理・調査・発表"	
			福田 美雪	兼担	文学部フランス文学科・准教授	発案・経理・調査・発表	
			澤田 肇	客員研究員	上智大学名誉教授	発案・調査・発表	
			稲田 隆之	客員研究員	武蔵野音楽大学・教授	グランド・オペラの定型化と定型としてのグランド・オペラ	
			安川 智子	客員研究員	北里大学一般教育部・准教授	ポール・デュカスの《アリアースと青髭》について	
	マイクロとマクロの境界における心臓における発生から修復機能の解明	4年	三井 敏之	兼担・リーダー	理工学部 物理科学科・教授	鶏胎児による心筋細胞の実験、細胞刺激装置の改良、数理モデルのシミュレーション	
			守山 裕大	兼担	理工学部 物理科学科・助教	ゼブラフィッシュの心臓解析の実験と解析・生命科学的解析実験	
	キリスト教文化研究	聖書における「和解」の思想	4年	左近 豊	兼担・リーダー	国際政治経済学部・教授	旧約聖書学の視座から、特に捕囚期以降のテキストに見られる「和解」についての研究発表、執筆を行う。研究ユニットの統括を行う
				大宮 謙	兼担	社会情報学部・教授	新約聖書神学の視座から福音書におけるイエスの教えと受難物語における「和解」についての研究発表、執筆を行う
藤原 淳賀				兼担	地球社会共生学部地球社会共生学科・教授	キリスト教神学、社会倫理の視座から「聖書の和解」についての研究発表、執筆を行う	
藤田 潤一郎				客員研究員	関東学院大学法学部・教授	ヨーロッパ思想史の視座から、特に旧約聖書の捕囚期以前のテキストにおける「和解」についての研究発表、執筆を行う	
河野 克也				客員研究員	宗教学者日本ホーリネス教団中山教会・代表役員（牧師）	新約聖書学の視座から、パウロ書簡における「和解」についての研究発表、執筆を行う	

#### 4年目

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼担等の種別	所属・職位	研究実施計画に対する役割分担
一般研究B	現実世界の公共財における動態解析と実験室実験による社会的ジレンマ研究の新たな展開	4年	清成 透子	兼担・リーダー	社会情報学部社会情報学科・教授	全体統括
			稲積 宏誠	兼担	社会情報学部社会情報学科・教授	研究計画・データマイニング指導
			寺尾 敦	兼担	社会情報学部社会情報学科・教授	研究計画・データマイニング指導
			大林 真也	兼担	社会情報学部社会情報学科・准教授	研究計画・データ解析・理論構築
			大平 哲史	兼担	情報メディアセンター・助教	研究計画・データ解析・理論構築
			高橋 伸幸	客員研究員	北海道大学大学院文学研究院・教授	研究計画・理論構築・実験統括
			稲葉 美里	特別研究員	近畿大学経済学部・特任講師	研究計画・実験実施・データ解析
			松本 良恵	特別研究員	西南学院大学人間科学部心理学科・嘱託実験助手	研究計画・実験実施・データ解析
			井上 裕香子	特別研究員	高知工科大学フューチャー・デザイン研究所・助教	研究計画・実験実施・データ解析



2022年度総合研究所 研究ユニット成果刊行

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼任等の種別	所属・職位	研究分担
一般研究B	新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開	2年	武内 亮	兼任・リーダー	理工学部化学・生命科学科・教授	励起分子の合成と蛍光特性の測定
			鈴木 正	兼任	理工学部化学・生命科学科・教授	励起状態に関する研究
			田邊 一仁	兼任	理工学部化学・生命科学科・教授	励起分子の分子プローブへの応用
	超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓	3年	山崎 了	兼任・リーダー	理工学部物理科学科・教授	研究の総括 理論的検討、望遠鏡の製作
			坂本 貴紀	兼任	理工学部物理科学科・教授	望遠鏡の製作、データ解析
			田中 周太	兼任	理工学部物理科学科・助教	理論的検討、望遠鏡の製作、データ解析
			太田 耕司	客員研究員	京都大学大学院理学研究科・教授	観測方法とデータ解析方法の検討
	鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究	3年	北野 晴久	兼任・リーダー	理工学部物理科学科・教授	研究全体の統括、電気化学処理と電界印加実験、微小接合素子の特性評価
			孫 悦	客員研究員	前青山学院大学理工学部助教	単結晶試料の作製と微細加工、対破壊電流密度測定および磁気輸送特性の評価
	渋谷-青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究	4年	高嶋 修一	兼任・リーダー	経済学部経済学科・教授	研究の統括および東急電鉄による渋谷・青山地域開発の歴史分析
			黒石 いずみ	兼任	総合文化政策学部・教授	渋谷・原宿地域の戦後国際文化圏形成の歴史分析、明治神宮と周辺都市社会の連関性の研究
			永山 のどか	兼任	経済学部経済学科・教授	青山学院大学周辺の住宅地開発の歴史研究、ドイツ都市研究
			井上 孝	兼任	経済学部現代経済デザイン学科・教授	東急電鉄主要路線の駅雰囲気別将来人口推計とその政策的含意
			伊藤 毅	客員研究員	総合文化政策学部・客員教授	リーダーのサポートおよび青山通りを中心軸とする渋谷-青山都市領域形成の研究
			小島 見和	特別研究員	大阪大学大学院工学研究科・助教	研究全体の運営補助（研究会および調査マネジメント）、青山通りを中心軸とする渋谷-青山都市領域形成の研究
	プロジェクション科学の基盤確立と社会的展開	4年	鈴木 宏昭	兼任・リーダー	教育人間科学部教育学科・教授	総括, 理論
			薬師神 玲子	兼任	教育人間科学部心理学科・教授	知覚とプロジェクション
			荻宿 俊文	兼任	社会情報学部・教授	教育とプロジェクション（表現活動）
			寺尾 敦	兼任	社会情報学部・教授	教育とプロジェクション（数学, 統計）
			米田 英嗣	兼任	教育人間科学部教育学科・准教授	教育とプロジェクション（読解）
			小野 哲雄	客員研究員	北海道大学大学院情報科学研究科・教授	情報技術とプロジェクション（ヒューマン・エージェント・インタラクション）
嶋田 総太郎			客員研究員	明治大学理工学部・教授	プロジェクションの脳内基盤, 及びプロジェクションと自己	
川合 伸幸			客員研究員	名古屋大学大学院情報学研究科・教授	モノへのプロジェクション	
渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究 ークラスキノ城跡の発掘調査を中心にー	4年	岩井 浩人	兼任・リーダー	文学部史学科・准教授	日露共同調査、発掘調査報告書の作成、公開講演会の運営において主導的役割を果たすとともに、研究成果刊行物の作成を統括する	
		菅頭 明日香	兼任	文学部史学科・准教授	渤海遺跡出土資料の自然科学分析を行い、成果を研究成果刊行物に掲載する	
		眞鍋 早紀	兼任	文学部史学科・助教	クラスキノ城跡発掘調査成果報告書を作成、研究成果刊行物に掲載する	

ユニット	研究課題	研究期間	氏名	兼担等の種別	所属・職位	研究分担
一般研究C	AI, BIG Data, VR を利用した英語教育	4年	菊池 尚代	兼担・リーダー	地球社会共生学部・教授	アンケート調査・授業分析・学会発表・総括
			DABBS,Thomas W.	兼担	文学部英米文学科・教授	英文の原稿をチェック、最終原稿のチェック
			LAMBACHER, Stephen G.	兼担	社会情報学部・教授	アンケート調査・授業分析・学会発表
			小張 敬之	客員研究員	経済学部・客員教授	授業実験・アンケート調査・学会発表
	国際貿易と国内政策：貿易、政府調達、産業政策の相互作用	4年	鶴田 芳貴	兼担・リーダー	国際政治経済学部国際経済学科・准教授	研究統括、データベースの管理と改良、入札予定価格の分布、などに関する研究
			沈 承揆	兼担	国際政治経済学部国際経済学科・准教授	関税政策と国内政策としての環境政策とに関する理論分析、調達市場の参入状況に関する基礎資料作成
			小橋 文子	兼担	国際政治経済学部国際経済学科・准教授	入札予定価格の分布に関する研究、調達市場の参入状況に関する基礎資料作成
			高 準亨	兼担	経済学部経済学科・教授	政府調達規制緩和による潜在的国際投資の流れの分析

2022年度 総合研究所研究成果一覧

ユニット	形態	書名(ユニット名)	所 員	内 容	刊行日
一般研究 B	報告論集	新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開 (新規蛍光分子の創出と分子プローブへの展開)	○ 武内 亮 鈴木 正一 田邊 一仁	緒言 序論 本論 結論 実験の部 参考文献 研究成果発表リスト 謝辞 発表論文	2023.3.31
	報告論集	超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓 (超低面輝度の可視光天体探査による新たな高エネルギー天文学の開拓)	○ 山崎 了 坂本 貴紀 田中 周太 太田 耕司 藤田 裕	1. 研究目的と研究成果の要約 2. 研究成果リスト 3. 謝辞 4. 出版論文集	2023.3.31
	報告論集	鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究 (鉄系超伝導体単結晶を用いた電界制御型超伝導素子の作製と磁気輸送特性の研究)	○ 北野 晴久 孫 悦	緒言 第1章 鉄系超伝導体の微細加工と磁気輸送特性に関する研究 第2章 鉄系超伝導体の電気化学処理に関する研究 第3章 微細加工素子への電気化学処理に関する研究 結言 研究発表 発表論文集	2023.3.31
	報告論集	渋谷-青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究 (渋谷-青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究)	伊藤 毅 永山 のどか 黒石 いずみ 井上 孝・希 井上 良成 平江 修一 高嶋	序 渋谷-青山を中心とする新都市領域研究拠点構築にむけての総合的研究-その目的と背景- 第1章 1970~90年代東京都心部における西洋式生活スタイルの受容-港区南青山の場合- 第2章 戦後の渋谷駅周辺地域開発に見る都市イメージの多様な主体による形成過程 第3章 東京西郊の私鉄沿線における駅勢圏別人口変動-2015~2065年を対象に- 第4章 東急および鉄道駅からみた渋谷-過去・現在・未来- 第5章 東急による渋谷駅と周辺の開発-1950~90年代- 第6章 青山の都市史と領域構造 付録 連続レクチャーシリーズ	2023.3.31
	報告論集	プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開 (プロジェクト科学の基盤確立と社会的展開)	○ 鈴木 宏昭 薬師 神 玲子 菊宿 俊文 寺尾 敦 米田 英嗣 小野 哲雄 嶋田 総太郎 川合 伸幸 久保 南海子 岡田 浩之	はじめに 第I部 プロジェクト科学の基盤 第II部 プロジェクト科学の拡がり 第III部 プロジェクト科学の社会的展開 第IV部 資料	2023.3.31
	報告論集	渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究-クラスキノ城跡の発掘調査を中心に- (渤海「日本道」に関する海港遺跡の考古学的研究-クラスキノ城跡の発掘調査を中心に-)	○ 岩井 浩人 菅頭 明日香 眞鍋 早紀	研究ユニットの目的と概要 I 調査報告 II 研究報告 おわりに 付録資料	2023.3.31
	一般研究 C	報告論集	AI, BIG Data, VRを利用した英語教育 (AI, BIG Data, VRを利用した英語教育)	○ 菊池 尚代 DABBS,Thomas W. LAMBACHER, Stephen G. 小張 敬之	I はじめに II 研究ユニットメンバー紹介 III 業績一覧 IV 研究論文(再掲) V おわりに
報告論集		国際貿易と国内政策:貿易、政府調達、産業政策の相互作用 (国際貿易と国内政策:貿易、政府調達、産業政策の相互作用)	○ 鶴田 芳貴 沈 承揆 小橋 文子 高 準亨	第0章 本研究プロジェクトの取り扱いテーマについて:概要 第1章 全省庁統一資格者に関する基礎的資料 第2章 予定価格の分析:バンキングの有無に基づく分析 第3章 GPAは予定価格に影響を与えているか?: Benford法則に基づく分析 第4章 国際貿易と国境炭素調整	2023.3.31

2022年度総合研究所 公開講演会等開催状況

日 時	タ イ ト ル	講 師 等	場 所	主 催
22.9.24 11:00～ 17:00	AOYAMA GAKUIN Global Week 総合研究所シンポジウム 「オランダ別段風説書」にみるグローバリゼーション—19世紀の世界と日本—		青山 キャンパス 17号館4階 17411教室	主催：青山学院、青山学院大学総合研究所 共催：青山学院大学文学部史学科
	第一部 特別講演「アヘン戦争と日本の開国」	加藤祐三（横浜市立大学名誉教授）		
	第二部 研究報告・シンポジウム	佐藤隆一（元青山学院高等部教諭） 松本英治（開成中学校・高等学校教諭） 嶋村元宏（神奈川県立歴史博物館主任学芸員） 白石広子（洋学史研究会会員） 若下哲典（東洋大学教授） 岩田みゆき（青山学院大学教授） 割田聖史（青山学院大学教授）  コメンテーター 飯島渉（青山学院大学教授） 安村直己（青山学院大学教授）		
22.9.27 16:00～ 17:00	AOYAMA GAKUIN Global Week 総合研究所 SDGs 講演会 「SDGs に貢献する三大プロフェッショナルの仕事」		青山学院 中等部礼拝堂	青山学院 青山学院大学総合研究所 青山学院高等部 青山学院中等部
	「医療と経済」	稲垣中 （医師、青山学院大学教育人間科学部教授、保健管理センター所長）		
	「人権と弁護士」	富永康彦（青山学院嘱託弁護士）		
	「環境と公認会計士」	牟禮恵美子 （公認会計士、青山学院大学大学院会計プロフェッション研究科准教授）		
23.3.13 14:00～ 16:00	カーボンニュートラル研究セミナー 「サステナビリティ科学における革新的な定量分析」	Dr. Mario Giampietro （バルセロナ自治大学・環境科学技術研究所教授）	青山 キャンパス 8号館6階 経済研究所 ・ Zoom Online Meeting	主催：青山学院大学総合研究所 研究ユニット 「人口動態の変化が家計のエネルギー消費に与える影響：Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism (MuSIASEM) による予測」  共催：早稲田大学先端社会科学研究所
23.1.21 10:00～ 17:00	シンポジウム 「文学と音楽のポリフォニー—近現代のフランスオペラをめぐって—」		青山 キャンパス 15号館3階 15306教室 ・ Zoom Online	研究ユニット 「19・20世紀のフランス文学とオペラ」
	第Ⅰ部	稲田隆之（武蔵野音楽大学教授） 成田麗奈（東京藝術大学） 安川智子（北里大学准教授）		
	第Ⅱ部	福田美雪（文学部フランス文学科准教授） 中村翠（京都市立芸術大学） 林信蔵（福岡大学）		
	第Ⅲ部	和田章男（大阪大学名誉教授） 和田恵里（文学部フランス文学科教授） 荒木善太（文学部フランス文学科教授） 澤田肇（上智大学名誉教授）		

## 編集後記

『総合研究所報』第31号をお届けします。3年余にわたって全世界の人々の生活に重大な影響を及ぼした新型コロナ・ウイルス感染症も、日本では、2023年5月のいわゆる5類への移行によって、私たちの行動を制限する要因として意識されることもなくなってきたように思われます。これにともなって、国内外で活発な研究活動が再開されていますが、そこでは単なるコロナ禍以前への回帰ではなく、コロナ禍への対応によって取り入れられた研究手法が新たな可能性を拓くことが期待されます。

「VUCAの時代」といわれて久しいですが、VUCAすなわち変動性、不確実性、複雑性そして曖昧性に挑むのがまさに研究者の使命であり、青山学院のスクールモットーでもある「地の塩、世の光」として、社会の行くべき道を指し示すような研究成果が期待されています。本号には、ユニット研究、アーリーイーグル研究およびSDGs関連研究の活動やその成果などが収録されています。こうした真摯かつ精力的な研究活動にご注目いただき、総合研究所の活動にも引き続きご支援とご協力をいただきますようお願いいたします。

(蟹江 章 記)

青山学院大学総合研究所報 第31号

2024年1月発行

編 集 総合研究所編集委員会

発 行 青山学院大学総合研究所

所長 小西 範幸

〒150-8366 東京都渋谷区渋谷4-4-25

03-3409-7472 (TEL)

03-3409-4184 (FAX)

印 刷 ヨシダ印刷株式会社

150<sup>th</sup>  
140<sup>th</sup>



青山学院スクール・モットー

地の塩、世の光

*The Salt of the Earth, The Light of the World*

(マタイによる福音書 第5章 13～16節より)



Aoyama Gakuin since 1874