

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：貴志 俊彦

所属・職：京都大学東南アジア地域研究研究所・教授

区分：人文学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：人文学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—とくに観光学の理論的深化と体系的発展をめざして

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：観光のレジリエンス、コミュニティ・ベースド・ツーリズム、ホープフル・ツーリズム、未来志向的ツーリズム教育論、文化と観光の社会実装

観光学あるいはツーリズム学は、分野横断的な学際研究分野であり、同時にきわめて社会性の高い分野でもある。むろん、観光学と観光事業との関係については、国によっても捉え方は異なっている。北米やオーストラリアなどでは、観光学はホスピタリティやマネジメント、いわば実学としての特徴を強調しており、一方、日本や台湾では学部再編の影響もあるとも思われるが、既存の学問分野との連携が意識されている点に特徴を見いだすことができる。

この調査では、文化・教育と観光事業を融合させた新たな観光学の在り方を模索するために、可能な限りで日本全国での調査を進め、国際比較のために米国、台湾での調査もおこなった。ただ観光学の理論的深化と体系的発展をめざすという目的のためには、大都市における事業規模の大きい観光業者が抱く旧来型の視点よりも、むしろ地方都市や離島における住民目線に重点をおくように努めた。事業者先行の視点では、「観光立国推進基本計画」（平成29年3月閣議決定）の脆弱性を否定できないためである。その結果、集団的な観光とは異なり、個人旅行ともいえるオールタナティブな観光や、コミュニティ・ベースによる地域住民との対話の機会を増やすホープフル・ツーリズムといった方向性が新たな観光学の構築に寄与するであろうことが確認された。

むろん、こうした学術の方向性については、大学などの研究機関、観光業者や自治体観光課などの実務者、地域コミュニティとの連携、相互理解が重要である。現在、コロナ禍以前と同様に観光業は活性化しているものの、観光のレジリエンスの重要性はいつそう認識されるようになっており、新たな観光学の構築にはこれら三者の連携が望まれているからにほかならない。この点は、この動向調査で企画した和歌山大学観光学部と和歌山市観光課との合同ミーティングや、札幌、秋田、金沢、京都、広島、那覇など各地の観光事業担当機関における意見交換でも確認された。同時に、観光学と観光事業を融合させるための人材育成の重要性も意識されており、そのための方策として「未来志向的ツーリズム教育論」（Tourism Education Futures Initiative）の普及がその鍵であるとの共通認識が得られた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：亀長 洋子

所属・職：学習院大学文学部史学科・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ヨーロッパ史およびアメリカ史関連分野に関する学術研究動向—情報収集とコミュニケーションの観点、研究と教育との関係を中心に—

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：情報収集、コミュニケーション、研究と教育の関係

本年度の学術動向調査では、若手研究者の問題を強く意識する結果となった。研究職に長年従事者、若手研究者の指導的立場にある国内外の研究者へのインタビューの機会、また国内外の若手研究者の研究に対する姿勢に接する機会を得たが、デジタル化されているもの以外の文献への関心の低さなどに見られる調査意欲の低さ、低いレベルでの調査や研究での自己満足度の高さ、さらには安易に情報を得ようとする姿勢を感じた。また視野が狭く、狭い範囲の問題設定しかできず、問題意識が低いなか、自身の研究対象についての意義づけも説明できないような雰囲気もあった。安易に情報を得ようとする姿勢にも連なるが、自分のやや幼い問題意識に対してストレートにつながる便利な史資料や研究を求めたい、そのために研究会報告など行い、直接的に文献等の助言が参加者から得られればそれで満足であり、学会・研究会でのお他者の報告には関心がない、という雰囲気も感じた。質の低い学会研究会報告や出版も増えているので、現状では、国内外において、視野の狭い質の低い研究者が量産されてしまうという危惧を改めて感じた。博士課程の学生に対して、金銭的待遇改善やポストの提供だけでなく、質の向上のための学生の意識改革を求めることは切実な問題である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：山中 由里子

所属・職：人間文化研究機構国立民族学博物館・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：文学一般関連、博物館学関連分野に関する学術研究動向—ポスト・コロナ時代のデジタル・ヒューマニティーズ

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：デジタル・ヒューマニティーズ、文化財・博物館・図書館資料のDX化

近年の情報技術の発展と普及とともに、文学作品、歴史史料、文化遺産情報のデジタル化、データベース化、そして集積されたデータのAIによる解析などが進み、人文学系の研究者が分析の対象とする原資料へのアクセス方法やその収集・解析ツール、そして研究成果の発信の媒体は目まぐるしく変化している。これにともない、人文学の分野においても、こうしたデータ化の手法を取り入れたプロジェクトが大型の研究資金を獲得しやすくなっている傾向が見える。さらには、コロナ禍の3年間を経て、学術交流、調査資料へのアクセス、成果発表の仕方もオンラインという選択肢があることに研究者自身が慣れてきている。

本計画では、いわゆるデジタル・ヒューマニティーズ（人文情報学）の最新動向を探り、こうした潮流が、国や助成団体の予算配分方針、諸研究機関の活動、ひいては各研究者の学術的思考法自体にどのように影響を与えているかを調査した。主に当該担当者の専門範囲に近い古文書・写本・文化財・博物館資料などの物質としてのモノとデータ化とその共有化、高度な科学技術を駆使した分析・復原（AIによる解読や、CG・VR・ARによる復元・再現）の有効性、展覧会の記録の保存と共有の仕方などについて、国内外の研究機関、図書館、博物館などで事例を調査した。

本年度は、当該担当者自身が企画に関わった特別展示「驚異と怪異—想像界の生きものたち」関連の多岐にわたる記録（タイムスケジュール、会場写真、アンケート結果、広報物、イベント関連記録、メディア掲載、SNS等反響、展覧会評等）を解析・共有する方法について検証したが、結局は、一冊の書物にまとめるというアナログな手段が、その全体像を次の世代に伝えるには最も有効であることが分かった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：池田 真

所属・職：上智大学文学部・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：外国語教育関連分野に関する学術研究動向—英米日における英語教育研究の潮流—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：英語教育の国際的研究動向、AIによる語学教育の変革、実践・開発研究と理論・実証研究

本調査では、2023年度に国内外で開催された英語教育・応用言語学に関する研究発表の題目をデータベース化し、頻出語の共起ネットワーク分析を行った。分析対象としたのは、①国際英語教師学会 (IATEFL)、②英語教育学会 (TESOL)、③国際応用言語学会 (AILA)、④米国応用言語学会 (AAAL)、⑤全国語学教育学会 (JALT) の5学会における研究発表と、⑥科研費研究課題（外国語教育）の合計3,134タイトルである。英語教育研究分野の力点を二分すると、実践・開発研究（主に①と②）と理論・実証研究（主に③と④）に大別される（⑤と⑥は両者）。この分類に基づく大まかな傾向としては、前者だと「言語・英語（教育・学習・教室）」、「教師（実践・研修・成長）」、「学習者（幼児・自律）」といった伝統的なキーワードが頻発するのに対して、後者ではそれぞれが細分化されて、「多言語、政策、批判的、アイデンティティ、談話分析」のような概念と結びついている。その中で、この1年間（2023年3月～2024年3月）で急増したのは、人工知能（AI）の語学学習への活用に関する報告である。その動きは特に前者の実践・開発研究において顕著である。そこで、②の年次大会に参加し、AI（特にChatGPTに代表されるチャットボット）を活用した言語教育実践に関する情報収集を行ったところ、全665の研究発表のうち、実に59の発表がタイトルにAIやChatGPTを冠していた。内容的には、AIの功罪や倫理、活用スキルなどの教員研修に関するものをはじめ、教案作成、教材開発、言語活動、学習評価、成績処理といった語学教育のあらゆる段階での高度な利用が紹介され、教室内外での英語学習風景が一変する印象を強く持った。このような動きは少なくともこれからの数年は続き、若干のタイムラグを置いて後者の理論・実証研究にも反映されると予想される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中 真生

所属・職：神戸大学大学院人文学研究科・教授

区分：人文専門調査班 専門研究員

調査研究題目：哲学・倫理学分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：フェミニズム、ジェンダー、脳神経倫理学、人生の意味

哲学・倫理学分野においては、ELSIプロジェクトをはじめ、学際的研究が近年とくに盛んに行われている。本調査では、以下の三つの領域に焦点を絞り、学術研究員とともに動向調査を行った。

a) フェミニズム、ジェンダー/トランスジェンダー、セクシュアリティ

国内外で、フェミニスト哲学/現象学/実存主義/認識論、ジェンダー、トランスジェンダー、恋愛、セクシュアリティ等に関する学際的研究が、近年活発に行われている。稲原美苗他編『フェミニスト現象学』2023年、*The Oxford Handbook of Feminist Philosophy*, 2021; E. Mason, *Feminist Philosophy: An Introduction*, 2021; 藤高和輝『ノット・ライク・ディス・トランスジェンダーと身体哲学』2024年、*The Routledge Handbook of Philosophy of Sex and Sexuality*, 2022. 等がある。

b) 脳神経倫理

JSTの戦略的創造研究推進事業「ERATO」の一貫である「池谷脳AI融合プロジェクト」は、2021年から、JST/RISTEX「人と情報のエコシステム」研究開発領域と連携し、「BRAIN-AI×HITE」プロジェクトを実施している。脳神経倫理の論文には、K. Ota, “Neurorights to free will: Remaining in danger of impossibility” in *AJOB Neuroscience* 14(4), 2023, 石田柊他「脳神経関連権」再考—先端的脳神経科学のELSIをいかに論じるべきか『科学技術社会論研究』2023年等がある。

c) 人生の意味

日本では、英語圏の哲学における議論を背景にして、近年次のような研究活動が展開されている。森岡正博、蔵田伸雄、T・メッツが「人生の意味の哲学」国際会議を設立し、2018年に第1回が開催された後、ほぼ毎年開催され、2023年には第5回が開催された。また、2021年には日本現象学会でシンポジウムが、2022年には日本倫理学会で主題別討議が開催された。

『現代思想』(2024年3月号)の特集のほか、伊集院利明『生の有意味性の哲学』2021年、信原幸弘「ウェルビーイングと人生の意味」『国際哲学研究(11)』2022年、蔵田伸雄『人生の意味の哲学入門』2023年等がある。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：深津 裕子

所属・職：多摩美術大学美術学部リベラルアーツセンター・教授

区分：人文専門調査班 専門研究員

調査研究題目：美術史・デザイン学関連分野に関する学術研究動向—アジアの伝統的な装飾芸術文化の現状と継承—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：

アート&デザイン、アジアの装飾芸術、文化継承、国際交流

本調査研究では、美術史・デザイン学関連分野に関する学術研究の動向として、アジアの伝統的な装飾芸術、文化継承、新たな創造に関する調査を実施した。2023年度はバンコク、シエムリアップ、台北の学術研究機関・博物館・遺跡群等を訪問し学術研究の動向と特色、現地のアーティスト、デザイナー、民間団体の活動や地域社会の現況を調査した。

バンコクのJSPS海外研究連絡センター、京都大学東南アジア研究所はバンコクを拠点に学術関係機関や研究者のネットワークによる国際交流を実践していた。国立シラパコーン大学は現代美術におけるアジアの拠点となり、若手アーティストやデザイナーらは地域や民族由来の伝統や素材を活用した新しいスタイルの創出、環境配慮型のアート&デザインを実践していた。タイ王室は伝統文化や文化財保護を推進し、タイの学術研究者らは領域横断型のチーム編成により伝統文化や文化財保護活動を行っていた。シエムリアップでは1992年にユネスコ世界文化遺産リストに登録されたアンコール遺跡群が観光資源として利活用されると同時に、遺跡の保存修復活動では日本をはじめ国際社会が全面協力する構図が明示されていた。また民間団体による環境配慮型のものづくりコミュニティーでは、クメール文化継承のため地域住民に根差した事業運営がなされる傾向にあった。台湾では、政府が台湾原住民の生活文化や権利の保護だけでなく伝統文化の搾取や盗用問題にも対策を講じていた。大学研究機関や博物館では台湾原住民資料を学術研究資料として収集・保存し、先端的なメディア技術やアーカイヴ構想を駆使した利活用を検討していた。

このようにアジアの伝統的な装飾芸術文化の現状と継承に関して、各地域で多種多様な動向を把握した結果、社会に適応した新しい文化の創造、環境配慮型の活動、文化の搾取や盗用問題まで、学術研究者が相互に共有し連携しながら取り組むべき課題が見られた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：横山 智

所属・職：名古屋大学大学院環境学研究科・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：地域研究、地理学分野に関する学術研究動向－学問分野としての総合性をめぐって

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：総合性、学際性、統合性

地域研究と地理学の共通点は「総合性」である。本報告では、総合的な地域の捉え方、および専門分野の総合性の2つのテーマから地理学と地域研究の総合性に関する2000年以降の研究動向を調査した。

地域研究は生態、社会文化、政治経済の総合的把握を目指し、地理学のように普遍的な地域研究があるとはしない。世界の中での地域を問題にしながら、地域の固有性に立脚した学問である。一方の地理学は、ある地域を最初から定めて、その地域について辞書的・網羅的に調べる（初期の）地誌学が古くから存在していた。しかし、新しい動きも見られ、従来の「静態的」な地誌を批判し、空間・時間変化の視点を導入する「動態地誌」が地理学内で議論され始めた。今後、地域を歴史軸も踏まえて総合的に捉える地域研究と動態地誌との違いについての議論がなされることを期待する。

総合性と逆行する動きとして、専門分野の細分化が危惧される。地理学では、1990年代から分野内部の細分化について、特に自然地理学者から自然と人間の関係性の研究に地理学として、いかに対応すべきかといった問いが投げられてきた。人文地理学の分野でも2000年代以降から、自然に限らない「non-human(非人間)」を研究に取り込む新たな研究が進んでいる。この傾向は文化人類学でも見られるが、こうした議論に加わるべき工学、生物、また微生物学などの理系学問分野は、その土俵に全く上がっておらず、議論する必要性も理解されていない。

地理学のアイデンティティは自然と人間の関係性をフィールド情報に基づいて追求することであり、個別事例の相対化というプロセスを通し、研究対象をマルチスケールで多角的に分析・考察することが求められる。そうした総合的な視点を活かすには、問題解決型（治療）の研究ではなく診断型の研究としての地理学の役割を再認識する必要がある。地域研究においては、総合性だけではなく、既存学問分野の上に成り立っている研究のアーリーとしての学際性、また脱・超ディスプリンを目指す統合性といった地域研究に対する理解の仕方が複数存在している。地域研究に関わる立場により何を求める学問なのかを議論すべきである。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：杉村 美紀

所属・職：上智大学総合人間科学部・教授

区分：社会科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：社会科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

—国際共同研究をめぐる学術振興政策と学術交流機関の役割—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

【キーワード】持続可能な開発目標（SDGs）、学際的・学融合的研究、国際共同研究、科学外交（サイエンス・ディプロマシー）、高等教育

本調査は、主として社会科学領域の国際共同研究をめぐる学術交流機関を調査することにより、学術研究および学術振興方策の動向と今後の課題を分析することを目的とする。前年度の調査より明らかになった学術研究動向、すなわち1) 学問領域の境界線の変動と学術研究機関や高等教育機関の国際連携、2) モデルや理論を提示する一般化と、歴史や文化的背景を考慮した特殊化に共に配慮した研究の志向性、3) 国際情勢や国際関係による学術振興のガバナンスへの影響関係、という3つの観点をふまえて、今日では、国際共同研究のあり方に多角的で包括的な研究の視点が従来以上に重視されるようになってきていることを明らかにした。たとえば現在、研究を行う上でも喫緊の検討課題となっている「人工知能（AI）と倫理」をめぐる研究に示されるように、今日では、人間中心のアプローチや多様性、包摂性、公平性、透明性などの原則に基づいて、科学技術の開発と使用における倫理的な責任やガバナンスや協力、協働を促す研究の視角が希求されている。学術振興方策は、AIの登場による新たな側面と文化交流政策の複雑化のもと、国際連携という異なるベクトルとのダイナミズムのなかで、その方向性と役割を再考する重要な役目を担っているといえる。

本年度は、昨年度から行っている国際共同研究の調査を継続するとともに、学術動向調査の一環としてドイツ、フランスならびにASEANにおける学術動向に関する調査として、ドイツ学術交流会（DAAD）、日本学術振興会ボン連絡事務所、同ストラスブール連絡事務所、ならびに東南アジア教育大臣機構高等教育開発センターの訪問調査を実施した。また、企画として、アジア太平洋地域のサステナビリティ研究を行う環境大学院ネットワーク（ProSPER.Net）のシンポジウム「公正性と包摂性をめぐる教育の新たな挑戦」を国際連合大学サステナビリティ高等研究所および上智大学との共催により、ユネスコ・バンコク地域事務所から基調講演者を迎えて開催した。いずれの機会においても、変革が求められる学術振興のあり方を考えるうえで、学術交流機関としての役割と、複雑化する文化交流政策の課題について、いかに国際連携や協働を図るかが論点となった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：河原 純一郎

所属・職：北海道大学大学院文学研究院・教授

区分：社会科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「社会科学(特に心理学)分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—心理学の研究倫理実践」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：研究倫理，実験室実験，オンライン実験

COVID-19 流行以降の心理学分野における学術研究動向は実践的な内容にシフトしてきている。これは日本国内に限ったことではなく国外でも同様であり、その背景には心理学の再現性問題があろう。2010年頃を境に、著名な研究であっても再現ができないことがしばしば報じられ、研究倫理実践面での対策が急がれている。その取り組みの一つとして、研究を始める前に実験の目的や仮説、方法から分析方法までをあらかじめ公表する事前登録というシステムが存在する。これにより、研究完了後に実験者が事前登録した内容と反することが防止されるため、研究倫理の観点から非常に重要な役割を担っている。昨年度の検討事項であったオンライン実験に加えて再現性の課題が解消されていくと予測される。本年度では、昨年度に引き続きオンライン実験プラットフォームの普及と、事前登録がどの程度広まっているのかを調査した。

オンライン実験プラットフォームの普及について、筆者の専門領域かつ実験心理学研究を主に掲載している国外学術雑誌である『Attention, Perception, & Psychophysics』と、国内学術雑誌として『Japanese Psychological Research』，『基礎心理学研究』，『認知心理学研究』，『心理学研究』を調査した。対象となった論文の総数は国内学術誌 399 編，国外学術誌で 205 編であった。そのうちオンライン実験を実施した研究は国内学術誌 137 編(PC 実験 11 編，質問紙調査 126 編)，国外学術誌で 64 編(すべて PC 実験)であった。アンケート形式の質問紙調査はオンラインが主流になっている印象を受けたが，PC を用いて参加者の反応を計測する実験は対面が主流であった。COVID-19 によりオンライン実験を行う選択肢が増えたが，対面で実験できる状況にシフトしたことで対面実験をメインに，オンラインも選択肢に入れるという流れになっていると考えられる。

事前登録の有無については，国内の学術雑誌で 1 編，国外学術雑誌では 25 編の論文であった。事前登録が強く推奨されるようになったのが最近であることを考えると，今後出版される論文ではより事前登録が広がっていると予測される。

これらの調査結果から，研究倫理における再現性の課題については，その対応が始まってきた段階であると考えられ，今後どのように各方面に周知し取り組みを行っていくのかが重要であると思われる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：関口 格

所属・職：京都大学経済研究所・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：理論経済学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：理論経済学、若手研究者養成、国際交流

内外の一流研究者との討議をベースにして、理論経済学関連分野の学術研究動向を調査した。

理論経済学のような研究分野では、大規模な設備・装置や実験室は不要で、先端的な研究のシーズは個別研究者の洞察に大きく依拠する。また経済学分野一般では、査読付き学術誌の査読プロセスはレベルの高低によらず長期化し、最終的な出版物は著者が投じてきた多大な知的インプットの一部しか反映しない。このような状況下で最新の学術研究の動向を深く理解するには、出版論文や学会・研究会等での研究報告の丹念な検討だけでは不十分なので、内外の多数の研究者を招聘して緊密な討議を実施した。

研究担当者の所属機関（京都大学経済研究所）で、毎月3-4回の高頻度で行われる理論経済学関連分野の研究会を、本調査の一環として開催した。研究担当者の専門分野に限定せず、理論経済学分野全般や隣接分野も含めて最先端の研究を行う研究者たちを報告者として選出した。また、外国所属研究者と国内研究者のバランスと世代バランスにも配慮した。これらの工夫により、ゲーム理論の手法を応用した超大国間の国際関係の分析や、曖昧さや非ベイジアン的側面を組み込んだ意思決定理論に携わる研究者たちと討論ができ、理論経済学分野の研究トレンドの多様性を確認できた。また、国際交流や若手研究者支援の機会にもなった。

学術動向把握のため、内外の学会に多数参加して開催方法を含む多様な側面を取材した。完全オンラインの学会も一定数見られる中、多くの学会が完全対面での大会開催に回帰するトレンドを観測した。アメリカの南部経済学会（Southern Economic Association）の第93回年次大会（2023年11月、アメリカ・ニューオリンズで実施）は特に興味深く、40近いパラレルセッションが3日間ほぼ終日にわたり完全対面で開催される大規模学会だった。研究担当者は、完全オンラインとなった同学会の第91回大会にて研究報告を行ったことがあるが、リモートでは決してわからない参加者たちの熱気から、対面開催学会への強い需要を体感した。一方で、オンライン会議の固有のメリットも明らかで、よって未来の学会の最適開催方式は、今後の分析課題だと結論した。

2024年3月には、分野を問わずにゲーム理論に関係する論文が多数報告される研究集会を開催し、調査研究の範囲を広げ、特に若手研究者たちに先端的研究に触れる機会を提供した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：嵩 さやか

所属・職：東北大学大学院法学研究科・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：社会法学及び関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：新型コロナウイルス、働き方の多様化、国際交流、若手研究者養成

令和5年度は、主に、新たに発表された社会法（労働法・社会保障法）に関する論文・著書等の調査、国際セミナーの開催・参加を通じて、社会法の領域での学術研究の動向を調査した。

社会法の領域では、昨年度に引き続き、働き方の多様化に対する労働法・社会保障法の課題についての研究が進展した。まず、デジタル技術の発展により増加している「フリーランス」、とりわけデジタルプラットフォームを介した就労について、労働者性の概念、労働者性のない者への労働法上の保護のあり方、経済法による規律との理念の異同等についての検討が深められた。また、社会保障法では、「フリーランス」について労働者性が否定される場合の社会保険での包摂のあり方について、比較法的考察も踏まえながら議論された。さらに、障害者や生活困窮者自立支援法の対象となる生活困窮者など、サポートを受けながら就労する者について、「働くこと」が個人の自立に資すると捉える社会保障法の理念と、使用者との関係で従属的地位に立つ労働者への保護を基軸とする労働法の理念との間の違いと相互作用についての問題提起もなされた。

また、政府における少子化対策の進展を受けて、雇用保険の給付により育児休業中の所得保障を行う現行制度の課題が論じられるとともに、少子化対策のための財源として医療保険者から支援金を徴収する提案をめぐり、社会保険の保険者自治に照らした課題についての学術的検討がなされた。

さらに、社会保障法では、生活保護の基準の引下げをめぐり下級審裁判例の蓄積を受け、保護基準改定における厚生労働大臣の裁量権の統制のあり方についての検討が深められるとともに、保護基準の設定を厚生労働大臣に委ねる現行法の課題が浮き彫りにされた。

学界の将来を担う若手研究者については、外国法制の丹念な分析に基づく比較法研究の業績が複数出され、個々の研究力は非常に高いことが伺われるが、その数は決して多くなく、研究者の養成について労働法・社会保障法ともに引き続き大きな課題を抱えている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：太郎丸 博

所属・職：京都大学文学研究科・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：社会学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：社会学で用いられる方法のトレンド、サーベイ実験、相対主義

まず、定性的な調査として、関西社会学会、日本社会学会、数理社会学会の大会に参加し、最新の研究動向について調べた。関西社会学会や日本社会学会に出店している書店もまわって、最新の社会学関連の書籍を概観した。また、若手の研究者で、新しい方法論や研究テーマに詳しい人を2名、講師として京都大学に招き、ワークショップを開催した。さらに定量的な調査として、日本の社会学で特に評価の高い『社会学評論』と『ソシオロジ』に掲載された論文で用いられた方法や用いられる単語の変容についても検討した。

定性的な方法からも、定量的な方法からも社会学分野の大きなトレンドに変化はないと思われる。相変わらず少人数のインタビューにもとづく研究が最多で、参与観察によって得た情報や歴史的資料にもとづく研究も少なくないが、インタビュー研究が特に多い。統計的なデータ分析をしている研究は全体の2割程度で、時代による変化はほとんどないが、近年の傾向として、パネル調査データを用いて同一個体の時間的な変化を検討する研究が増えている印象がある。また、サーベイ実験と呼ばれるような、実験計画法にもとづく研究も増えてきている。これらのトレンドはここ数年続いており、2023年度も同様の傾向が続いているようである。

相対主義的な研究の動向についても調べたが、用いている単語をもとにクラスター分析で論文を分類すると、研究テーマで分類されてしまい、相対主義的な論文を分類することができなかった。そこで、相対主義的な研究が好みそうな用語をいくつか選び、その出現頻度を調べると、2000年代ごろをピークにその後減少する傾向がみられ、近年は客観的なデータの重要性が認識されるようになってきているといえるが、まだ試験的な分析であり、今後きちんと検証していく必要がある。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：南部 初世

所属・職：名古屋大学大学院教育発達科学研究科・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：教育学関連分野に関する学術研究動向－研究知と実践知の相互補完的關係に焦点を当てて－

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：教育経営学、教育行政学、教育制度学、研究知、実践知

本研究は、教育学関連分野、とりわけ教育経営学・教育行政学・教育制度学及びこれらの近接領域を対象とし、研究知と実践知の相互補完的關係に焦点を当てて学術研究動向を整理するものである。近年の研究環境の変化は、とりわけ厳しい競争に晒されている若手を中心とする研究者の研究テーマや方法の選択に影響を与えており、また、生み出された研究成果の有用性も問われている。ここには、誰もが経験する「教育」を研究対象とし、「実践と理論の往還」をキーコンセプトとして位置づけてきた教育学関連領域特有の問題も存在しており、教職大学院が設立され、拡充期を迎えている今日、こうした問題は顕著なものとなってきている。

本研究2年目となる2023年度は、実際に研究成果としていかなる「研究知」と「実践知」が、どのように生み出されてきたのかについてデータ収集及び整理を行った。とりわけ研究実施者がどのような経緯で研究課題の設定に至るのか、どのような研究方法を選択するのか、研究実施者の属性や所属学会の動向に着目しつつ整理した。こうしたデータ分析に際し、比較の視点を導入することが有効であることから、本年度はさらに、ドイツにおいてプレ調査を実施し、データ収集・整理を行った。

ドイツにおいては、1980年代以降「内的学校改革」のための学校開発研究が展開されてきたが、そこでは学校の実態について詳細な調査を実施することにより、「学校の雰囲気」に象徴される個々の学校の内的な要因が明らかにされてきた。「良い学校」の特徴として挙げられる、子どもへの教育的配慮、授業以外の多様な教育活動の提供と好ましい学校の雰囲気、教員集団の協働は、実践と理論の往還によって深められてきたと言える。その後、学校の自律性改革において、学校プログラム／学校プロフィール、評価、目標協定といったツールが導入されたことにより、「良い学校」の指標化が進んできており、人材育成を含め「研究知」と「実践知」の相互補完的關係はさらに重要になってきている。プレ調査では、難民の受け入れやコロナ禍により取り巻く環境が一層厳しさを増すドイツの学校の実態に関わるデータを収集した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：藤岡 里圭

所属・職：関西大学商学部・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：商学分野に関する学術研究動向—歴史分析の有効性に関する国際的潮流—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：歴史分析、デジタル化、ファッション産業

商学分野において、歴史分析が注目されている。その背景には、既存理論では説明できない流通構造の変化を解明するために、研究者が新たな分析手法や多様なアプローチを求めようになってきたことや、研究課題が細分化する一方で学際的な研究を求めようになっていること、さらには企業の事例を分析する際、その独自性がどのような経路依存性を有するのかについて説明する必要が生じていることがあると考える。そこで、国内外の学会やワークショップに参加し、このような新たな学術研究動向、とりわけ大きな構造変化がみられるファッション産業における研究動向について調査した。

研究成果の一部は、2024年2月9日および10日にオランダ・エラスムス大学で開催されたワークショップ *The Future of the Business History of Fashion* において、“*Business History of Fashion in Japan: From the Perspective of Female Designers*”と題して報告した。このワークショップでは、商学、経営学、経営史、服飾史、女性史、文化論等、さまざまな研究背景を持つ研究者が集まり、各国のファッション産業に関する研究がこれまでどのように進められてきたのか、また現在どのような研究が注目されているのか、さらに今後どのような研究が発展すると考えているのかについて議論した。

論点は次の2つであった。第一に、コロナウイルス感染症が拡大する過程で世界的に拡大したオンラインショッピングに伴う企業の活動や消費者の行動を、従来の商学や経営学、あるいは消費者行動論の中にどのように位置づけ、新たな研究へと発展させるのかという問題である。第二に、企業の活動に注目した社会科学系の研究と、デザイナーの作品に注目した芸術系の研究をどのように架橋するのかという問題である。いずれも、既存研究を拡張し、新しい研究領域を創出しようとする動向である。そして、これらの新しい事象を説明するためには、その事象が生まれた歴史的背景を明らかにし、歴史の中で新奇性を位置付ける必要があることを参加者で確認した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：清水 美憲

所属・職：筑波大学人間系・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：教科教育学及び科学教育関連分野に関する学術研究動向—理数系カリキュラム研究の国際的な研究潮流の解明

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：STEM（STEAM）教育、カリキュラム、理数系、トレンド、計算論的思考

理数系の学校カリキュラム改革は、各時代における社会の変化等に呼応する形で、世界各地で進んでいる。特に、近年では、数理科学やデータサイエンスの興隆を背景に、AIの社会実装やビッグデータの活用に象徴される急速な科学技術の進展の中で、複合的かつ重層的な様々な諸課題に直面する次世代の子ども達のために、課題発見とその解決、新しい価値の創造に必要な資質・能力を育成することが必要になっており、理数系の教科等の枠組みを超えたSTEM（STEAM）教育や教育におけるAIの活用等を含む、理数系の学校カリキュラムの改革が進行している。

このような状況下、世界数学連合（略称：IMU）の下部組織である数学教育国際委員会（略称：ICMI）は、近年の数学カリキュラム改革の動向とその課題を明らかにするために、国際会議「学校数学のカリキュラム改革：課題、変化、そして機会」を開催し、この研究の成果（書籍）が2023年6月に刊行された。この書籍では、近年の学校数学のカリキュラム改革の世界的動向として、社会全体のグローバル化と国際化によって、コンテンツからコンピテンシー（資質・能力）へと焦点がシフトするカリキュラム開発や、アルゴリズム的思考・計算論的思考といった新分野の教育課程への導入についての動向が特定されている。

大きく見れば、生成AIの学校での活用までが進行するいわゆる「AI時代」を迎え、プログラミングや問題解決のシステム作りを含む新しい形式の思考（計算論的思考）が、従来の数学的思考、科学的思考と相まって、子どもたちの資質能力として身につけていくこと研究動向として指摘することができる。また、世界最大の数学教育研究団体である全米数学教師協議会（略称：NCTM）は、生成AIが教育界に及ぼす影響を受けて、意見書「人工知能と数学の指導」を2024年2月に公表した。この文書では、「AIのツールが数学の指導や問題解決の必要性に置き換わることはない」、「AIのツールの登場は教師が数学の指導や評価についてイメージし直すことを促す」、「AIのツールは、学習を個別化することを可能にする」等を指摘し、新しい立場からの研究・実践の展開を求めている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：保城 広至

所属・職：東京大学社会科学研究所・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：国際関係論関連分野に関する学術研究動向—日本外交を中心とする国際関係論の新潮流

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：日本外交研究、世界的なトレンド、理論的・方法論的関心に基づく一国研究

日本外交を含む日本に焦点をあてた研究の趨勢は、中国や韓国の台頭によって低下しているという印象をわれわれは持っている。しかしながら Lipsy(2023)によればそれは正しくなく、トップの政治学ジャーナルではほとんど変化なく、地域研究系のジャーナルにおいては2000年代に入ってむしろ若干の上昇傾向にある。つまり日本に対する世界の関心は失われたわけではなく、依然として保ち続けているのである。

ただし一国に focus するような地域研究をおこない、その地域自身の状況を明らかにするような研究は、アメリカの政治学部からは排除される傾向にあるというのが、筆者による複数の有識者インタビューから得られた事実である。したがって、日本研究で政治学のトップジャーナルに掲載されるには、日本自体を明らかにするのではなく、広い理論的・方法論的関心に基づいて日本を取り上げる必要がある。

以上のような現状を鑑みて、世界で通用できる日本外交研究の一つの提言が導き出される。それはまず、研究成果をトップジャーナル/地域研究ジャーナルのどちらに発表するか、研究ターゲットを絞ることである。前者であればなぜ日本を選択したのかの理由と、方法論的洗練、そして分析結果の理論的含意が必ず求められる。後者であれば日本に興味を持っている読者を対象にしているために、特に選択理由は求められない。その代わりに従来とは異なった日本外交についての新しい発見が学術的貢献としては不可欠になるだろう。両者を絞らないで研究をスタートするのであれば、中途半端な研究成果となってアウトプットの提出が遅れてしまう可能性がある。

Lipsy, P. Y. (2023) "Japan: the harbinger state", *Japanese Journal of Political Science*, Vol24, Issue 1, pp.80-97.

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：宮崎 州正

所属・職：名古屋大学大学院理学研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：数物系科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—ソフトマター・非平衡物理学・生物物理学の学際研究の新しい流れ—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：新型コロナウイルス、国際交流、非平衡物理学における融合研究

2023年度は日本の学術界にとって、ポストコロナ元年ともいうべき年であった。延長されていた大規模な国際会議の多くが今年度で開催され、若手人材の留学や長期滞在、国際的な移動計画はコロナ前の水準に急速に戻った。対面会議による研究交流の重要性を再認識する年であった。特に統計力学の分野では、新型コロナのために順延されていたいくつもの大きな国際会議が奇しくもほとんど同時期に国内で開催された。8月初旬には StatPhys28 を開催された。これは統計力学分野の最も影響力のある国際会議であり4年ごとに世界各地で開催されているものである。日本で開催されるのは実に55年ぶりである。新型コロナ後の航空運賃の高騰や、厳しい感染予防対策中の不利な状況であったにもかかわらず多数の参加者があった。その翌週にはガラス転移とガラス系に関する伝統のある国際会議、IDMRCS が千葉で開催された。日本で開催されるのは初めてのことである。さらに2週間をおいて、ヨーロッパで長い歴史を持つソフトマター国際会議 ISMC が大阪で開催された。ヨーロッパ以外で開催されるのは初めてのことであり意義深い。参加人数は前回は大きく上回る巨大な国際会議となった。これらの国際会議の運営に関わり、特に深く感じたことが二点ある。一点は非平衡物理学、ガラス物理学、そしてソフトマター物理学の研究の光景がこの数年で一変し、生物を擬した物理的なモデル一般の総称であるアクティブマターの研究が多数派となったことである。我が国の若手研究者の貢献も大きい。生物と統計物理学の新しいトレンドとして今後も注目するべきであろう。もう一点はどの国際会議でもジェンダーや国籍のバランスへの意識が非常に強くなったことである。どの組織委員会も、性別や国籍の公平性について真剣な議論をしていた。当然のことであろう。単なる男女比、国籍比の員数合わせではない研究者倫理に深く根差した厳しい議論が必要となる時代に突入しつつあることを実感した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：岡 朋治

所属・職：慶應義塾大学理工学部・教授

区分：数物系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：天文学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策-天文学関連分野の最近の動向と発展-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード： 天の川銀河、ブラックホール、一般相対論、干渉計、天文衛星

現代天文学は、観測技術の発展と理論の進化、そして計算機性能の向上に伴い、現在も継続的かつ急速に発展を続けている学問分野と言える。観測装置に求められる性能には、感度・解像度・精度・周波数帯域・時間帯域、等の多岐にわたる側面があり、それぞれに天文学的フロンティアが存在する。近年では、重力波の検出およびニュートリノ観測の進展により電磁波以外の天文学が創始されつつある。また、暗黒物質や暗黒エネルギーの存在、宇宙の加速膨張の発見は、我々人類が抱く「宇宙像」に根源的な変革をもたらし、これらの理解を深める事が今後の課題となっている。

本分野の海外における最近の動向として、以下のような目覚ましい進展があった。まず、地球規模の超長基線電波干渉計 **Event Horizon Telescope (EHT)** によって天の川銀河の中心核「いて座 A*」の電波撮像が行われ、超巨大ブラックホール存在の証拠とされる「シャドウ(影)」を検出したことが発表された。これは、巨大楕円銀河 **M87** 中心核に次いで 2 例目のブラックホール・シャドウの検出報告となる。次に、**Hubble** 宇宙望遠鏡の後継機となる **James Webb** 宇宙望遠鏡 (**JWST**) が打ち上げられ、太陽と地球のラグランジュ点(L2)に無事投入された。その後、順調に本格運用が開始され、様々な天体の超高解像度赤外線画像が次々と取得されている。さらに、超大型望遠鏡干渉計 (**VLTI**) を用いた「いて座 A*」の赤外線撮像観測により、超巨大ブラックホールを周回する恒星の軌道に明瞭な一般相対論的効果が検出された。

国内の動向としては、既存の共同利用観測装置を用いた様々な観測研究が進むとともに、新たな X 線観測衛星の打ち上げが行われた。すばる望遠鏡による「いて座 A*」の赤外線観測によって、超巨大ブラックホール極近傍を周回する恒星 **S0-6** が発見され、それが 100 億歳以上の年齢を持ち、他の矮小銀河で生まれた可能性が高いことが示された。アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計(**ALMA**)では、銀河中心核・星形成・惑星形成・銀河の物質進化、等に関する新たな知見が得るとともに、位相較正の新手法の確立により 5 ミリ秒角の解像度を達成した。また、X 線分光撮像衛星 (**XRISM**) が小型月着陸実証機 (**SLIM**) とともに打ち上げられ、種々の機能確認を経て定常運用段階へと移行した。これによって、様々な天体の広視野・高解像度 X 線画像および精細な X 線スペクトルが得られつつある。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：荒川 政彦

所属・職：神戸大学大学院理研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：宇宙惑星科学分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：月惑星探査、宇宙開発、国際協力

今年度の宇宙惑星科学分野におけるトピックスとしては、NASAの小惑星探査機 OSIRIS-Rex が、小惑星ベンヌ上から採取した試料を無事地球に帰還させたことである。その採取総量は120gを超え、より多くの世界の研究者がこの分析に携われる可能性が高まった。今後の分析結果が待たれる。なお、OSIRIS-Rexの採取試料の分析結果の速報は、3月の Lunar and Planetary Science Conference 2024 で行われた。ベンヌはB型に分類される小惑星であるが、C型の小惑星リュウグウに似た組成と言われている。日本のはやぶさ2が採取した試料との比較検討にも期待がかかる。NASAは、昨年2022年9月にDARTミッションを成功させており、この解析がこの一年間進んでいる。また、DARTが衝突した小惑星ディモルファスをEASAが小惑星探査機 HERA により調べる予定であるが、その打ち上げが2024年である。JAXAは熱赤外カメラを提供するが、そのサイエンス支援のための活動が複数の大学が参加して行われている。

日本が主体となったミッションでは、昨年打ち上げられた小型月着陸実証機（SLIM）が1月に着陸実証に成功している。今後の月面開発に重要なピンポイント着陸や越夜にも成功しており、サイエンス機器の分光カメラでの撮像にも成功している。今後の解析結果や次期探査機への応用が期待される。また、JAXAがレーザー高度計などを提供しているESAの木星氷衛星探査計画（JUICE）は2023年4月に無事打ち上げられて運用が始まった。JAXAが予定している今後の惑星探査には、2024年に打ち上げ予定の火星衛星探査計画（MMX）や深宇宙探査技術実証機（DESTINY+）があるが、2023年3月の国産の新型フラッグシップロケットH3の打ち上げ失敗や2022年度のイプシロンロケットの打ち上げ失敗とその後のロケットエンジン試験場での事故のため、その影響が懸念される。今のところ、MMXは2026年に打ち上げ延期、DESTINY+は2025年に打ち上げ延期となっている。一方、日本は、JAXAを中心にアメリカ主導で進められている有人月着陸計画（アルテミス計画）に参加する予定であり、宇宙飛行士の選出や月面探査に必要な技術開発が急ピッチで進んでいる。インド宇宙機関と協働する月極域探査ミッション（LUPEX）も継続して準備中である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：郡司 修一

所属・職：山形大学学術研究院・教授

区分：数物系専門調査班 専門研究員

調査研究題目：宇宙線及び宇宙物理学分野(実験)に関する学術研究動向調査

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：高エネルギー宇宙物理学、科学観測衛星

2023年8月にアメリカで開催されたSPIE国際会議、2023年9月に東北大学で開催された日本物理学会、2024年3月に京都大学で開かれた高エネルギー宇宙連絡会の3つの会議で、国内外の高エネルギー宇宙物理学の最新の動向や日本の今後の進み方などの議論に参加した。

SPIEでは紫外線からガンマ線領域での様々な衛星計画が紹介されていた。その中でもX線以上の波長では、以下の2つの大きな潮流が存在する事を知った。1)硬X線領域での観測はまだやるべき多くの事が残されているため、望遠鏡の解像度を上げより詳細な天体イメージを観測ができるような方向で開発が進められている。2)X線領域での偏光観測計画としてeXTPが存在し、軟X線領域でもMITのグループが衛星計画を準備していた。一方硬X線領域では衛星計画はなく、気球実験の計画のみが存在した。また紫外線の衛星計画が案外多く、紫外線領域での観測が国際的に重要度を増している印象を受けた。

日本物理学会ではX線から高エネルギーガンマ線、さらにはニュートリノ天文学の動向を知ることができた。特にIceCube実験によりニュートリノ観測が大きな進展を遂げ、マルチメッセンジャー天文学の一翼を今後担っていく予感を感じた。また高エネルギー宇宙線でもアマテラスという非常に高エネルギーの宇宙線イベントが起こった事が報告され、宇宙線加速等の問題に繋がっていく可能性を感じた。

高エネルギー宇宙物理学連絡会の中では、XRISM衛星の現状等の報告や各グループが行っている超小型衛星に関して話を聞くことができた。超小型衛星は低予算で開発が行えるため人材育成や技術の継承の面では大きなメリットがある。しかしやはり非常に小型であるため科学的な大きな成果を出すことは難しい面もある。一方数百億円規模の小型中型衛星の場合は、日本の財政事情も相まって、なかなか計画が進まない状況にある。今後小型中型衛星計画の打ち上げ機会が見直される事になると、技術の継承が滞り、日本から科学成果を創出していく事も危ぶまれるため、注意が必要だと認識した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：比村 治彦

所属・職：京都工芸繊維大学電気電子工学系・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：プラズマ科学、核融合学、プラズマ応用科学分野に関する学術研究動向 — プラズマ学と他分野の境界領域における新たな潮流と展開—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：核融合プラズマ、世界プロジェクト、核融合ベンチャー

2年毎にIAEAが主催する核融合プラズマの国際会議ではITERの進捗や、大型実験装置の最新の結果が紹介されていくのが常である。これに加えて、今年の会合より、いま話題の核融合ベンチャーを招いたパネルディスカッションが開催された。核融合プラズマ分野がなぜ今再びブームになってきているのかには諸説あるが、もっとも大きなポイントはトカマクを炉心プラズマとして使用するITERプロジェクトが遅れていることにある。ITERプロジェクトは燃焼プラズマの実験炉である。ITERの後に原型炉が続き、その後に商用炉が2050年に稼働するという当初計画であった。プラズマコミュニティー内には「もう一度ITER計画が遅れることがあれば、ITERプロジェクト自体がキャンセルされることも考えにいれておかなければならない。」との話もあったが、ITERは再び遅れるスケジュールとされた。

ITER計画の遅れにしびれを切らしている野心的な研究者群は、ITERよりも早く2040年に核融合発電を実現することを目指している。これら核融合ベンチャーがIAEA国際会議のパネルディスカッションに登場されたことは、核融合プラズマ分野の戦略の大きな変化を明確化したと言える。本国の国策ITER路線以外の潮流が顕在化してきている。2050年のカーボンニュートラルを前に、ITERのスピードダウンが他の方式による核融合ベンチャーのスピードを相対的に上げるという展開になっている。当該分野に深く関係するさらなる驚くべき出来事は、ムーンショット計画の目標10にフュージョンエネルギーが設定されたことである。しかしその規模は総額200億であり、核融合ベンチャーに入っている投資額より1桁低い。このムーンショット計画でゲームチェンジャーを生み出すのは困難と思われる。目標10の目指す所は、むしろ他分野から核融合プラズマ分野への新規参入を促進させることによるスピノフの産出になるように見える。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：市川 温子

所属・職：東北大学大学院理学研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：素粒子、原子核、宇宙線および宇宙分野に関連する実験に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：素粒子物理学、高エネルギー物理学、加速器

加速器を用いた素粒子実験として、国内では高エネルギー加速器研究機構において SuperKEKB と J-PARC という二つの大型加速器が稼働している。B 中間子を大量に作り、素粒子標準模型からのずれを探索することを目指す SuperKEKB は、ルミノシティという B 中間子の生成量に直結するビームの衝突頻度の向上のために 2022 年 6 月から約 1 年半の長期シャットダウンに入り、加速器や検出器の改修、増強を進め 2024 年 2 月から実験が再開した。ニュートリノ振動実験などが行われている J-PARC では、大規模な機器の更新により最高ビーム強度を達成したが、機器の火災のために夏前の運転は中断されてしまった。秋以降随時、運転を再開しつつある。このように 2023 年は、国内の加速器を用いた研究としては飛躍に向けた助走の年であったと言える。非加速器の施設としては、2027 年度の運用開始を目指して大型ニュートリノ検出器ハイパーカミオカンデの建設が進んでいる。直径 68 メートル、高さ 71 メートルの円筒形の地下空洞内に水を満たして、そこで反応するニュートリノを検出するもので、現在までに円筒形の上部の高さ 21m のドーム部分の掘削が完了した。円筒壁面に取り付ける 50cm 口径光電子増倍管の大量生産も進められている。

国外では、欧州原子核研究機構（CERN）において大型ハドロンコライダー(LHC)が重心エネルギー 13 TeV で稼働し、実験が行われている。米国ではフェルミ国立研究所を中心として、加速器ニュートリノ振動実験 DUNE の建設が進んでいる。

素粒子物理学において確立された標準模型は、観測されている事実のほとんどを説明することができるが、暗黒物質の存在や宇宙における物質と反物質の非対称など説明できない事実もあり、高いエネルギースケールで成り立つ未知の物理法則が存在するとされている。そのヒントを求めて、上記のような大型実験と、加えてさまざまな中小規模研究が進められているが、なかなかその尻尾を掴めずにいる。その中で、大きく注目されているのは、1990 年代の米国ブルックヘブン国立研究所の実験で報告され、2021 年に米国フェルミ国立研究所の実験からも報告されたミューオンの異常磁気能率の標準模型による予言からのずれである。ここ 2,3 年で、標準模型にもとづく予言の計算として測定値に近い値の報告も出てきており、状況は混とんとしている。今後の進展が待ち遠しい。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：岡 隆史

所属・職：東京大学・物性研究所・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：量子物性分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：物性物理学、国際化、学術動向

物性物理分野の特に非平衡系に関する研究の動向調査を行った。近年、当該分野は、固体物質に限定されず、冷却原子系などの人工物質群や生命現象を対象を含めた学際的な研究分野へと変貌しつつある。また、原子核物理などの他のコミュニティとの研究交流も活発である。

令和5年度は①オハイオ州立大学”Frontiers in Spectroscopy”、②マックスプランク複雑物理学研究所”International workshop Dynamical Control of Quantum Materials”、③インド Tata 基礎研究所”Periodically and Quasi-Periodically Driven Complex Systems”、④日本物理学会・アメリカ物理学会共催ワークショップ（原子核分野）に参加し、米・欧・印の最先端研究の動向調査を実施した。

まず、④は日米共催ということもあり日本の特に若手研究者のプレゼンスが非常に高く質疑応答を含めて目立っていた。一方で②-③は30-50名が参加する非平衡系の専門分野の小・中規模の研究会であったが、日本人参加者は私を含めても3-5名と分野における活躍度合いと比べて少なかった。なお、量子系の非平衡物理の分野における日本人研究者の貢献は大きく、鍵となる理論概念の多く（数値化はできないが気持ちは半分程度）が日本発で、しかも20-30代の若手によって生み出されてきたと思っている。そのため、地理的距離による不利も感じた。研究内容としては、ここ10年ほど大きな潮流となってきた駆動、開放系、量子測定といった非平衡系の概念を、トポロジーや多体相関という物性の主流と結合させるという理論研究が成熟し、次の実験的進展を待つフェーズになっているという印象を受けた。特にNISQ型量子計算機や共振器内の量子物質、モアレグラフェン等の高度なデバイス技術を利用した非平衡状態の研究にさらなる進展の余地が大きそうである。一方、国別でインドは実験を無視した数値研究が得意で独自の進化を遂げており興味深かった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：長谷部 徳子

所属・職：金沢大学環日本海域環境研究センター・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：固体地球科学分野に関する学術研究動向-地球環境変動史の解明に活用される学際的手法-

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：国際連携，変動史対比，放射年代測定

地球環境変動史の研究は国際連携が必須の分野であるが，コロナ禍でその連携が途絶えがちであったところ，今年度は国際連携研究の再スタートの年になり多くの関連する国際会議が開催された。しかしアジアにおける連携はやや遅れがちであり，中国の動向が影響していると感じている。例えば国際第四紀学会会議（INQUA）は2023年度に盛大に開催されたが，アジア第四紀学会会議（ASQUA）は今後どのように再開されるか不明である。本来の次期開催国であった中国（2021年予定，コロナで中止）が鍵を握っている。また金沢大学が主催機関の一つとして実施する東ユーラシア環境会議（主要参加地域：日本，韓国，中国，ロシア，モンゴル，台湾）はかろうじて4年ぶりに開催されたが，主催国は中国であり日本からの参加者は例年より少なく5名に過ぎなかった。

環境変動史を国際対比する際には，変動イベントの年代決定が必須である。手法に特化した国際会議も2023年度は多く開催された（第18回熱年代学国際会議，第17回ルミネッセンス・電子スピン年代測定会議，Geochronology, GRC 会議など）。また前述の国際第四紀学会会議でも4つのセッションが年代測定法に特化しており，かつ応用研究としての年代測定結果の報告が色々なセッションで行われていた。手法に特化した会議のうち，第18回熱年代学国際会議のみ参加できたが，応用研究の発表が大勢を占めていた。手法の改良や新しい手法の提案に関する発表としては，既存の手法をこれまで利用されていなかった鉱物に適用の幅を広げるものや，放射線損傷の観察やデータのコンパイルにAIやビッグデータ解析などの情報工学の手法を取り入れたものなどがあり目新しかった。

海外での会議はほぼ対面のみで開催であったことも印象的であった。日本の国内会議ではHybrid 会議が主勢であることを考えると国による環境の違い，考え方の違いが反映されているようであった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：北川 宏

所属・職：京都大学大学院理学研究科・教授

区分：化学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「化学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策」-材料化学分野における新たな潮流と展開-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：国際交流、AI技術、新たな研究分野・トレンド

より早く学術研究の動向のトレンドを掴むには、国内外の学会や会議の動向からの情報収集が欠かせない。5～10年の定点観測が必要なため、国内学会等と協力して、国際学会調査が必要である。現在、科学技術振興機構（JST）プログラムオフィサー（CREST「未踏物質探索」及び創発的研究支援事業「材料分野」）として、国内外の科学技術政策及び研究開発の動向等についての調査・分析等に関する定点観測を行った。さらに、錯体化学会の会長の立場から、錯体化学の動向を観測した。

1) インド科学教育研究大学プネ校（IISER Pune）を訪問し、材料化学分野の動向調査を行った。触媒、ペロブスカイト型太陽電池、分子磁性、量子ドット、発光材料、2D材料、電極触媒、MOFなどがインドにおける中心的な研究テーマである。インドの人口は中国を越え、今後益々、インドのIIT、IISER、IIScなどと日本の学術機関が交流すべきであろう。

2) オーストラリアのシドニー大学とアデレード大学を訪問し、化学分野の動向調査を行った。この10年で、ファンディング関連は様変わりし、以前は基礎科学重視だったのに、現在では完全に応用指向になっている。水素貯蔵や利用、CO₂の基礎化学品への転換等がメインターゲットになっており、シドニー大学ではゼロカーボン研究所が設置され、アデレード大学では数百億円規模のオセアニアを中心とした化学企業を含む水素関連のコンソーシアムの立ち上げ中である。

3) 日中クラスター会議（中央大学にて開催）に参加して、中国の当該分野のトレンドを調査した。今回から錯体化学会が主催することになり、会長として参加したが、オリジナリティーはさておき、パブリケーションでは日本は中国に劣る。

4) ACS Spring Meetingに参加してきた。ニューオーリンズで開催された。ハイエントロピー合金のセッションは盛会であったが、日本に比べると米国は、ハイスループットスクリーニング手法やAI、インフォマティクス、ロボット合成・評価などは遅れているようだ。

5) シンガポールのNRF（National Research Foundation）を訪問し、CREATEプログラムに関して調査した。多国籍チームからなる超大型コンソーシアムであり、2兆5000億円/5年を投資している。2006年から開始、既に16のプログラムが走っている。大型だと年間20億円。5年+5年の最長10年のプログラムである。MITが真っ先に参画、ケンブリッジ大、イリノイ大、ミュンヘン工科大、CNRS、ETH、ICL、UCバークレイ等が参画。日本の大学の参画は遅れている。今年度の公募は「AI for Science」である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中井 浩巳

所属・職：早稲田大学理工学術院・教授

区分：化学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：化学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：量子化学計算、量子コンピュータ、機械学習

本報告書は、本研究担当者による国内学会・国際会議への参加、スクール・ワークショップの開催・参加、学会誌記事の閲覧等により、物理化学（主に理論・計算化学）分野における研究動向を調査した結果をまとめたものである。

理論化学は1990年代以降、スーパーコンピュータの目覚ましい進歩にも支えられ、計算化学という側面で大いに発展した。今日では理論・計算化学を専門とする研究者だけでなく、実験化学者も日常的に使用するようになり、定期的なスクールによりブラックボックス的なプログラム利用を超えた基礎知識を学ぶ機会となっている。

2010年代以降、理論・計算化学の分野においてもデジタルトランスフォーメーション（DX）が注目され、シミュレーションと機械学習の組み合わせにより材料開発やプロセス制御に活用されている。一方、演繹的な理論・計算化学が帰納的な機械学習・AI技術により代替されると、化学・物理・生物現象を律している原理・法則への関心が希薄になるという危惧がある。最近では、説明可能AI（XAI）や知識グラフ（KG）やオントロジーの活用など、機械学習のホワイトボックス化のための新しいAI技術も検討されている。

2019年にGoogleによる量子超越性の実現、2022年にIBMによる433 qubitのシステム開発など、量子コンピュータに関する開発が激化している。我が国においても国家戦略として量子技術の研究開発が推進され、2023年3月に理化学研究所による国産超伝導量子コンピュータの64 qubit 初号機が発表された。量子ビット数の限られた現状のNISQ（Noisy Intermediate-Scale Quantum device）においては、量子コンピュータと古典コンピュータをハイブリッドで用いる方式が主体であり、量子化学計算においてはVQE（Variational Quantum Eigensolver）アルゴリズムが主流である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：藤本 ゆかり

所属・職：慶應義塾大学理工学部・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：生物分子化学分野に関する学術研究動向 ―生体複合分子化学の新潮流―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：生物分子化学、国際交流、糖質科学、ケミカルバイオロジー

本調査研究では、生物分子化学分野に関する学術研究動向 ―生体複合分子化学の新潮流― について、特に、生物分子化学関連分野の中でも、糖質を中心にタンパク質・ペプチド、脂質などの生体分子についての有機化学およびその生体関連機能に関わる生物分子化学あるいはケミカルバイオロジー分野についての調査研究を行った。

ポストコロナの状況の中で、化学―生命の境界領域である生物分子化学分野においても、感染症・微生物に関わる基礎研究に貢献する多くの研究成果があり、感染に関わる分子に関連した解析、感染抑制のための手法、新規ウイルス薬、抗ウイルスワクチンを志向した新規モダリティ、ビッグデータを活用した研究など多くの研究が発展的に行われた。糖鎖やタンパク質などの種々の生体分子自体の解析、有機化学手法の発展によるケミカルバイオロジー分野の手法開発、生物機能解析、創薬手法への展開についても引き続き進展している。また、人工知能（AI）を用いたタンパク質構造予測や有機合成ルート探索等の技術が開発され、研究ツールとして一般の研究者が容易に使用出来る環境となったことから、日常的に多くの研究で使用されつつある。今後、生成AIの開発と利用は情報分野以外においても多様かつ大きな影響を与えると考えられ、最近の急激な活用例の増加も考え合わせ、継続的に注視していく必要があると考えられる。

国際交流においては、対面での国際学会の開催が数年ぶりに再開した学会も多く、国際的な科学者コミュニティの情報交換・交流が活発化した。国内では2023年度から文部科学省における基本構想ロードマップに基づいた「ヒューマングライコームプロジェクト」が本格始動し、国家プロジェクトとしてヒトの網羅的糖鎖情報解析が進む予定である。世界拠点の一つとして、糖鎖科学研究推進のためオミクスデータを網羅的に統合した糖鎖科学ポータルの開発・公開も行われた。化学―生命の境界領域に関わる基礎科学研究は益々重要性を増しており、今後のさらなる展開が期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：三浦 佳子

所属・職：九州大学大学院工学研究院・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：多孔質高分子分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：高分子、モノリス、流通プロセス、MOF

多孔質材料は高分子、比表面積の大きさ、軽量と言った特徴があり、基礎および産業応用においても注目されている材料である。基礎的なサイエンスとしては、ナノメートルオーダーの微細孔をもつ材料の開発、また、工学的な面からは流通プロセスや吸着分離材料の開発が検討されている。

（1）高分子によるモノリス

セミマイクロからマイクロメートルサイズの微細な孔を有する材料は高分子モノリスとして、工学的な特性の検討が行われている。高分子モノリスは材料の溶解度差を利用した相分離によってしばしば調製されている。孔部分に流体を流通させることができるため、連続プロセスに向けた検討が種々行われている。例えば、油と水の分離、イオンの捕捉、各種の化合物の分離を行うことができる。また、触媒を固定化したプロセスにおいては連続流通式合成のために用いることができる。また、空隙率が高い材料においては、熱伝導が変化して、断熱効果が得られることも指摘されている。

（2）ナノメートルオーダーの孔をもつ新規材料

ナノメートルオーダーの孔を有する材料として、金属有機構造体（MOF）、共有結合性有機構造体（COF）といった材料についても、盛んに研究が行われている。これらの多孔体は無機多孔体であるゼオライトや活性炭よりもより小さい孔を設計することが可能で、尚且つ材料の性質を自由に設計できることから注目を集めている。例えば、二酸化炭素の選択的な分離や水素貯蔵といった、マイクロメートルオーダーの多孔体とは全く異なる精密な機能を設計できると期待されている。そのため、設計可能な高機能ナノ材料として、触媒、導電性材料、磁性材料などの設計にも寄与すると考えられている。

高分子や有機化合物による多孔材料は、孔の大きさだけでなく、官能基組成によってもその特性を変化させることができる。目的に合わせた設計と応用が検討されている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大神田 淳子

所属・職：信州大学学術研究院（農学系）・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ケミカルバイオロジー関連分野に関する学術研究動向ー生体の環境応答の仕組みの解明と医農薬への応用に向けた新たな潮流ー

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：生体恒常性維持、ストレス応答、液液相分離、天然変性蛋白質、プロテオミクス解析

生物の恒常性は、今なお生命の神秘とされる人類にとって未踏の問題である。我が国の令和6年度戦略的想像研究推進事業の戦略目標にも取り上げられたとおり、この分子機構の解明は、基礎生命科学の発展のみならず社会課題解決への大きな貢献が期待される。本調査研究では、ケミカルバイオロジー関連分野に関する学術研究動向ー生体の環境応答の仕組みの解明と医農薬への応用に向けた新たな潮流ーについて、特に生体恒常性維持の分子機構解明に関わる生物および化学の側面からのケミカルバイオロジー分野の動向を明らかにするために、関連する複数の学会への出席および論文分析により調査を行った。日本ケミカルバイオロジー学会 第17回年会（2023年5月29日～31日、大阪）では、生理活性化合物の探索、合理的医薬品化学研究、蛍光イメージング、標的同定技術、薬物輸送等について、多くの研究発表がなされた。第13回 IUPAC 国際生物有機化学会議 (ISBOC-13、2023年12月18日～20日、シンガポール)においては、最新の創薬研究のほか、光駆動型活性制御、イメージング、近接ラベリング法などに関して高水準の研究成果が多数報告されたことに加え、RNA-Seq、マイクロアレイ、プロテオミクス、メタボロミクスなどのオミックス解析データを駆使したパスウェイ解析による生物機能解明研究が増加傾向にあった。特に、細胞の翻訳修飾が介在するストレス顆粒の解離機構の解明、光駆動型細胞内機能の活性化と制御などの生物の非平衡系の問題に焦点を当てた優れた研究が目をつけた。一方、化学生物学系のトップジャーナルに掲載された論文を分析した結果、ストレス応答、ホメオスタシスに関する生化学・細胞生物学分野の論文数に顕著な伸びが認められ、国際的に当該分野への関心が強まり研究が進んでいることがうかがえた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：林 高史

所属・職：大阪大学大学院工学研究科・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：無機・錯体化学関連および生体関連化学分野に関する学術研究動向—応用生物無機化学の学際領域における国内外の展望—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：生物無機化学、人工金属酵素、バイオエコノミー

化学の中でも特に化学とバイオの学際領域における最近の発展はめざましく、国内外の動向は目が離せない。本研究担当者は、有機化学、物理化学、高分子化学、分析化学、無機化学のそれぞれの立場から、化学のツールを用いて、どのようにバイオの領域に参入すべきなのか、その点に特に焦点をあてて、国内外の研究動向を調査した。特に、近年はサステナブルな社会をめざすことが要求され、生体触媒を用いた物質合成・分解も一つの課題となっている。したがって、本学際領域の中でも、特に応用生物無機化学の新分野である生体分子と金属錯体・金属イオンとの複合化による新しい触媒（人工金属酵素）の創製について着目し、この領域のシンポジウムの企画・開催や、国内外の国際会議に参加して、動向調査を行った。

まず6月には「生体分子科学討論会」を大阪で開催し、広く生体反応の反応機構解析や新しい生体触媒探索等についての情報交換を実施した。さらに、1月には「生物無機化学シンポジウム2024」を大阪で主催した。生物無機化学の分野は定期的な国内学会がなく、コロナ禍以降では、本分野の国内の研究者の会合は初めてであり、色々な新しい話題や成果の情報共有を行った。また、本研究担当者は、当該年度に幾つかの海外での生物無機化学の国際会議での招待講演やキーノート講演の機会があり、その際に、人工金属酵素を中心とした生体触媒の創製やその応用に関する海外の動向調査を実施した。さらに3月には、アーヘン工科大学の共同研究者数名を招へいして、ジョイントシンポジウムを大阪で開催し、生物工学や酵素工学も用いた生体触媒の開発について、日独双方の情報交換の機会を設けた。

以上の活動を通じ、当該領域が特に欧米で進んでいることを感じた。一方で我が国では、有機合成化学や錯体化学の分野は世界的にも秀でているため、国内外での共同研究を積極的に行うことにより、有用な生体触媒（人工金属酵素）創製について独自に展開できるものと期待したい。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：阿部 二郎

所属・職：青山学院大学・理工学部・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：機能物性化学、構造有機化学および物理有機化学分野に関する学術研究動向— π 共役系分子の物性・機能開拓の研究動向と新たな展開—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：フォトクロミズム、ジラジカル、光化学

本調査研究では、機能物性化学、構造有機化学および物理有機化学分野に関する学術研究動向— π 共役系分子の物性・機能開拓の研究動向と新たな展開—について調査を行った。特に、機能物性化学、構造有機化学分野の中でもフォトクロミック分子に代表される光応答分子や開殻電子構造をもつジラジカル分子について最新の研究動向の調査研究を行った。調査方法については、主として当該分野において世界をリードしている国際会議、あるいは国内会議に出席し、国内外の研究者の研究成果を拝聴するとともに、研究者との情報交換、専門分野における学術論文、SciFinderなどのデータベースを使って調査を行った。

光刺激で分子構造が可逆的に変化するフォトクロミック分子は、単に色変化を利用する研究にとどまらず、物質のさまざまな性質を光で制御するための光スイッチ分子として広く利用されている。近年ではフォトクロミック材料研究は新局面を迎えており、従来の光記録材料や調光材料に留まらず、光駆動分子マシンや光応答性超分子ナノ構造体、薬効制御、膜電位制御、触媒（酵素）機能制御、薬物送達システム、超解像蛍光イメージング、オプトジェネティクスなどへの応用が活発に研究されている。

分子内に二つの不対電子をもつジラジカルは分子内に二つの明確なラジカル部位をもつ分子として、基底状態のスピン多重度が研究されてきた。すなわち、ジラジカル分子は二つの不対電子が平行スピンにあるスピン三重項状態と、反平行にあるスピン一重項状態をとり得る。近年では、明確なラジカル部位を持たない多環芳香族炭化水素のジラジカル特性に関する研究が精力的に行われている。最近の研究動向としては、新しい合成法の開発、ジラジカルを活性種とする触媒反応、医薬品や生物学的プローブとしての応用、有機エレクトロニクス、センサー、光学材料などへの応用研究が進められている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大井 貴史

所属・職：名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：有機合成化学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：有機合成化学、触媒化学、フロー合成、光反応

現代社会を支える物質科学の根幹をなす有機合成化学分野における喫緊の課題を踏まえ、最先端の研究動向を把握するため、関連する国内外の主要な学会に参加し、調査を行った。国内では、万有福岡シンポジウム（6月3日九州大学）及び日本プロセス化学会サマーシンポジウム（8月3-4日船堀）に参加し、遷移金属触媒反応、有機構造化学、元素化学から生体機能性ペプチドのデザインにわたる有機合成を軸とした多様な分野の最新の成果を概観できた。プロセス化学会のシンポジウムでは企業研究者の登壇も多く、付加価値の高い有機化合物群を合成するための実用に耐える方法論としてフロー合成を積極的に取り入れていることがわかった。

海外では、オックスフォードとケンブリッジで隔年開催される 27th International symposium: Synthesis in organic chemistry（7月24-27日 Oxford, UK）での討論と交流の場を活かし、触媒・反応開発戦略の現状を正確に把握し、今後の世界的な動向を推し量るための貴重な情報を手にできた。また、DFG から支援された Collaborative Research Centre (CRC) 325 “Assembly Controlled Chemical Photocatalysis”が主催する国際会議 International Conference on Light Induced Transformations (LIT)（10月4-6日 Regensburg, Germany）での様々な機会の中で、有機合成化学において世界的なトレンドとなっている光で駆動する反応の開発と制御に関する最先端の情報を得た。特に、無機錯体化学の進展が、新しい機能を持つ金属錯体を光増感剤として有機合成に活用する可能性を広げ、計測科学や理論計算科学との境界領域で、反応機構の解析にとどまらない分野融合型の研究が生まれていることを肌で感じる事ができた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：高橋 雅英

所属・職：大阪公立大学大学院工学研究科・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：無機物質および無機材料化学分野に係る学術研究動向に関する調査研究-有機-無機ハイブリッド物質およびその周辺分野における新たな潮流と展開-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：有機-無機ハイブリッド材料、溶液プロセッシング、ナノ材料、国際交流

無機物質および無機材料化学分野においては、ナノ材料化学の進展とともに、有機物質を取り込むあるいは融合する形で新物質の開拓や機能化が進展している。本調査研究においては、無機化学的な視点をベースとして、有機-無機ハイブリッド物質の研究分野の動向調査を行い、今後重要性が増すと考えられる無機物質と有機物質のシナジー的な融合についての将来像に関して以下の国際集会に参加し調査を行った。

- ・ 日本ゾル-ゲル学会 第21回討論会（豊橋）

溶液経由の材料合成に特化した学会であり、ガラス、セラミックスの新しい合成手法として注目された黎明期から、各種機能材料の実現に向けて発展したゾル-ゲル法研究の経緯が議論された。今後の方向性としては、分子レベルでの構造制御と連携した機能創出・増幅が主な方向性である。

- ・ International Conference on Nanomaterials (ICNM2023, Australia)

ナノ材料研究を進めるトップ研究者を厳選して招集し、最近の成果の共有および未来についての議論が行われた。ナノ材料の研究の潮流は、健康、エネルギー、環境が中心である。この分野での、欧州と米国の研究者コミュニティの乖離が進んでいるように感じられた。

- ・ 3rd International Symposium on Hollow Nanostructured Materials (ISHNM 2023, China)

ナノ多孔材料研究者を主に中国国内から招へいし、最新の研究成果を持ち寄る会合である。研究トレンドは、エネルギー、触媒が中心で、高いレベルの議論がなされている。また、高インパクト誌のエディターに多くの中国人が参画しており、論文発信においても出版社側に多くの中国人研究者が入り込んで、著者、編集者の両面から高インパクト化を図っている傾向が顕著に観測された。

- ・ Supra-ceramics via Solution processing (Italy)

科研費・学術変革領域（A）「超セラミックス」と共催で表記のワークショップをイタリアにおいて主催した。欧州からトップ研究者を招待し、溶液経由のナノ材料合成に関する先端成果の共有を行った。トピックを限定して、少数精鋭のワークショップにおいて深い議論を進めることの重要性を再認識した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：梅原 徳次

所属・職：名古屋大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：工学系科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

-機能性表面の創成と評価における新たな潮流と展開

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

カーボンニュートラルを目指した持続型社会の形成が求められ、その実現において新たな機能性表面の開発及びその効率的探索のための評価手法の開発は急務の課題である。機械工学の分野では、エネルギーの有効利用だけでなく、持続的獲得のために機能性表面の研究が進められている。

エネルギーの有効利用としては、機械の駆動部を支持する摩擦面において省エネ・長寿命のために超低摩擦・超耐摩耗表面が求められる。また、太陽電池パネルにおいて汚染による光エネルギーの効率の劣化防止のためや、着氷を制御する機能性表面の研究開発も行われている。

機能性表面の創成と評価の2023年度における学術動向をまとめる。

超低摩擦・超耐摩耗表面の創成について、カーボン系硬質膜を中心として、FCVAとスパッタリングやイオンビーム等を用いた複合成膜において、窒素などのガスイオンの導入として、カーボンターゲットに吹きつけ供給する方法が提案され、窒素含有量と硬さなど、トレードオフの関係であった問題の解決方法が提案された。

地熱発電に代表される持続型エネルギー取得のための機能性表面として、カーボン系硬質膜に窒素や水素を含有し、かつカーボンの骨格構造の結合形態を制御した硬質膜が提案され、模擬熱水中でのシリカ付着試験において、従来の金属材料と比較し著しく付着量を低減できることが報告されている。対照実験により、骨格構造の変化に伴う電子の挙動の重要性が明らかになり、基礎実験での科学的解明が待たれる。

新しい動きとして、従来摩擦低減のためには油等を外部から供給してきたが、低温プラズマを駆動力として、固体表面と周囲の雰囲気ガスを原料とした摩擦部その場潤滑剤の生成による超低摩擦機械の可能性が示された。酸性で揮発性な潤滑性を有する液体の生成が見られ、特有の固体表面と周囲ガスにより低摩擦がその場で実現した。しかし、揮発性の液体の生成であり、液体の成分及びそれにより超低摩擦実現のメカニズムの解明が強く求められる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：渡部 平司

所属・職：大阪大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：工学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

－表面界面科学を基軸とした先進デバイス工学の新たな潮流と展開－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：先端半導体、立体構造デバイス、半導体人材育成

コロナ禍でのサプライチェーンの混乱や、不安定な国際情勢を背景に、経済安全保障の観点から半導体分野への関心が高まっている。過去に日本は世界の半導体の半分以上を生産していたが、そのシェアは低下の一途を辿ってきた。よって近年、半導体産業の復興を目指して、当該分野に大規模な予算投入が進められている。集積回路分野では、2nm 世代の先端半導体の製造を目指すラピダス社が北海道の千歳市に新工場の建設を進め、多額の国費が投入されている。また、ラピダスと対になる形で、その先の技術開発を担うオープンプラットフォームとして、国立研究機関や大学などで構成される最先端半導体研究センター（LSTC）も設立された。これらの動きに対する海外からの関心は非常に高く、半導体分野の国際会議では、海外の多くの研究者からプロジェクトの進捗や組織構成に関する質問を多く受けた。2nm 世代の先端半導体を構成するトランジスタは、微細な半導体ナノシートの周囲を極薄の絶縁膜と電極が取り囲む GAA（Gate-All-Around）構造を採用している。一方、国内企業は GAA 構造提案以前の基本的な 3 次元素子（Fin 構造）の研究開発に携わった技術者でさえ限られており、ラピダスの技術者の多くは、1990 年から 2000 年代にかけて先端プロセス開発を経験したミドル及びシニア世代が中心的な役割を担うと思われる。従って、半導体産業の継続的な発展のためには、中長期的な視野に立った人材育成が必須である。また、近年の先端半導体に関する国際会議は、デバイスの性能のみを競う傾向が一段と強くなっている。Fin や GAA と言った立体構造デバイスは、異種材料界面の集合体であり、学理に根差した材料開発や製造プロセスの構築が益々重要となるが、技術のブラックボックス化が進んでいる。つまり、単なる半導体人材の育成に留まらず、この数十年来の遅れを取り戻し、さらに世界をリードするためには、高度な学理に根差した物づくり技術に関する教育研究環境を早急に充実させる必要がある。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：木須 隆暢

所属・職：九州大学大学院システム情報科学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：工学系科学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策－応用低温物性ならびに電気電子材料工学の境界領域における新たな潮流と展開－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：カーボンニュートラル、高温超伝導、核融合、電気推進、AI

応用低温物性ならびに電気電子材料工学の分野では、超伝導に代表される先進材料の開発とそれを用いた電気システムへの応用、また、超伝導量子ビットを用いた量子コンピューティングシステムなど、パワー応用から革新的エレクトロニクスに至るまで幅広い分野における新たな潮流が見られる。本調査では、関連する主要学術会議におけるテーマやセッション構成、参加者の推移について調べる事により、本分野における最新研究、国際的な研究動向、AI・DX化や融合研究に関する調査を実施した。

主要国際会議の Plenary talk のテーマを概観すると、1)高磁場高温超伝導マグネットを用いた小型核融合炉、2)高エネルギー密度を実現する超伝導モータによる航空機電気推進、3)これらの応用のための高温超伝導線材の量産化技術、4)液体水素の冷却技術と超伝導と複合化したエネルギーシステム、5)量子コンピューティング用冷却技術などにおいて新たな展開がみられた。

地球温暖化対策の緊急性の高まりとともに、近年小型核融合炉に関するスタートアップが欧米を中心に相次いで設立され、研究が加速している。複数の方式が提案されているが、従来の金属系超伝導体に比べより高磁場の発生が可能となる、希土類系高温超伝導線材（以下、REBCO 線材と略記）を用いた高磁場小型核融合炉を実現し、早期の核融合発電の実現を目指そうとするものがその中核の一つとなっている。これらの小型核融合炉を1つ実現するには、REBCO 線材に対するデマンドが2030年ごろまでに数10,000 kmに達するといわれている。また、REBCO 線材を用いた超伝導モータは、通常のCuの巻線に変えて、超伝導線材でコイルを構成し、小型軽量で高出力・高効率を実現できる特徴を活かして、航空機のCO₂排出量削減のための電気推進の分野でも大きな注目を集めている。これらの応用のため、REBCO 線材の量産化のための研究開発が急速な立ち上がりを見せている。REBCO 線材の特性把握のための計測技術に、機械学習によるデータ解析を組み合わせることで従来法では検知できていなかった欠陥部位を特定したり、プロセス技術との連携によるプロセスインフォマティクスに展開する研究など新たなトレンドが見られる。今後の高信頼性材料の量産化技術として研究の進展が期待できる。

また、冷却技術の分野でも、磁気冷凍を用いた高効率な水素の液化技術、液体水素の20 Kという冷熱を利用した超伝導と液体水素を複合化したエネルギーシステムは、高効率のエネルギー貯蔵や、再生可能エネルギーの大量導入を可能とするエネルギーシステムとして中・長期的なカーボンニュートラルを実現するエネルギーシステムとしてフィージビリティータ

ディが開始されている。また、超伝導量子ビットをベースとする量子コンピューティングの大規模化のための基盤技術として、大容量の希釈冷凍技術に対するニーズが高まっている。すなわち、超伝導応用技術とそのための冷却技術はそれぞれの応用に応じて対をなした開発が加速している。

学術の国際交流の状況：主要な国際会議の参加者、発表件数はコロナ前の水準にほぼ戻ったといえる。会議の実施形態は大規模な国際会議はほぼ対面実施のみであるが、小・中規模の会議は半分程度がハイブリッド形式で行われており、ハイブリッド形式は今後も残ると思われる。大規模会議の場合は、時差の問題があり、ハイブリッド会議の実施は運営側、参加者側双方にとって容易ではない。

大型プロジェクト支援：超伝導分野の具体的な大型プロジェクトの例としては、REBCO 線材の量産化技術、高速製造技術の開発を支援するプロジェクトが米国 DOE の主導する ALPAC プログラムで 2023 年 12 月より開始された。これは前項に述べた、小型核融合炉開発における REBCO 線材のデマンドの高まりとよくリンクしている。国内においてもムーンショット型研究開発プログラムの目標 10 にフュージョンエネルギーが採択され、2024 年 1 月には関連シンポジウムが実施された。本プロジェクトは、2050 年の核融合発電が実現した社会からバックキャストして、今実現すべき挑戦的な研究課題を推進しようとするもので、ハイリスク・ハイリターンな研究課題を支援しようとするものである。前述した欧米でのスタートアップによる活況な小型核融合炉の開発競争に対して、我が国における産業化も視野に入れた産学連携や人材育成が期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：淡路 智

所属・職：東北大学金属材料研究所・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： 応用物性関連、金属材料物性分野に関する学術研究動向 -革新的超伝導材料及び超伝導マグネット開発の潮流と展開-

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：超伝導材料、超伝導マグネット、SDGs

2023年度は多くの超伝導関連国際会議が開催され、応用超伝導に関する議論が活発に行われた。国際会議を中心として、関連研究者との個別の情報交換によって動向調査を実施した。現在、高温超伝導線材を用いた核融合炉開発が世界中で精力的に行われており、これに必要な希土類系高温超伝導線材を販売する会社では、その生産能力の飛躍的向上がなされている。そのため、希土類系高温超伝導テープの価格が下がり、核融合以外の高温超伝導機器開発への影響も現れている。核融合で20K以下の低温で20T以上の強磁場を想定している関係で、強磁場マグネット技術や低温強磁場中の超伝導特性評価も注目を浴びている。希土類系高温超伝導テープ特有の問題として多層膜構造に起因した剥離対策に加えて、工業製品としての品質管理などが議論されるようになってきた。強磁場を目指す以上、電磁力対策は必須であり超伝導コイル内部の複雑な応力/ひずみ分布や、これに対する超伝導層の劣化防止方法の検討が広く議論されている。さらに、安定稼働や形状等の品質管理なども、実用レベルで議論に上がっている。特に、局所劣化に起因したコイル保護と、超伝導テープ内に誘起される遮蔽電流誘起応力が深刻な問題として議論が活発化している。これは希土類高温超伝導材料を用いたマグネット全般に関わる問題であり、様々な検討と議論がなされているが、現時点で明確な解決法が見つかっていない。一方で、温暖化やエネルギー問題など地球規模の諸問題に対し、超伝導が貢献できることを世界的なアライアンスを組むことで対応しようとする目的で、**Superconductivity Global Alliance (ScGA)**が形成された。国際会議 MT-28 では、これについて **Special session** が行われ、核融合・パワー応用・医療・スマートサイエンス・超伝導材料の各分野の代表的研究者が、現状とその将来性について講演とパネル議論で、超伝導技術の現状と貢献について議論された。この議論は今後も継続的に実施される予定である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：片田 直伸

所属・職：鳥取大学工学部・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：触媒プロセスおよび資源化学プロセス，無機物質および無機材料化学関連分野に関する学術研究動向－カーボンニュートラルに貢献する新規触媒材料の展開－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：カーボンニュートラル，燃料，化学原料，炭化水素，CO₂回収，CO₂水素化

乾燥地で大規模な太陽光発電とCO₂回収を行い，炭化水素を製造して消費地に運ぶことに貢献する研究が急増している。

カーボンニュートラル化のために，乾燥地で太陽光から電力を得て，その電力で水を電気分解して水素を得て，空気中の窒素またはCO₂と反応させて輸送のための媒体を製造し，タンカーで運び，消費地で分解・利用することが構想されている。特にサウジアラビアなどは太陽光が豊富で未利用地が多いなどという自然環境に加え，大きな投資が可能で積み出し設備が整っているという社会的環境も有しており，水素の生産地として有望である。加えて，サウジアラビアなどは有力な産油国であるので，代替エネルギー・資源の供給源となることが，原油の採掘によって富を得ることを放棄する大きな動機となることが期待される。サウジアラビアなどに加え，オーストラリア，サハラ砂漠，アルゼンチンの乾燥地で大規模な太陽光発電を行う計画が始まっており，いずれの場合にも電力源と消費地（東アジア，ヨーロッパ，北アメリカ）との間に太平洋を超えてエネルギー・資源の媒体を運ぶための技術開発が必要となっている。このための媒体の候補としてアンモニア・軽油相当の炭化水素・ガソリン相当の炭化水素の3つが挙げられるが，炭化水素は輸送コストが低く，中でもガソリンは消費地で燃料や化学原料として利用できるのが合理的である。近年ではガソリンを媒体とするシステムに貢献するCO₂回収のための吸着剤となるMOF（metal organic framework）に加え，CO₂水素化で直接ガソリンを得るための触媒材料となるCo/MFIゼオライトなどに関する研究が，まだ総件数は少ないものの急増している。年間論文数の経年変化からは，アンモニアを媒体とするための大きな技術的課題であるアンモニア分解の触媒に関する論文が2000年頃から増加したのに対し，炭化水素の一種である軽油製造のためのCO₂からFT合成についてはその10年ほど後から増加し，CO₂からガソリンへの反応については最近になって急増している（ただし絶対数は非常に少ない）。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：多々見 純一

所属・職：横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：

無機材料および物性分野に関する学術研究動向

ーセラミックスのものづくりおよび機能と信頼性革新のための新たな潮流ー

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：セラミックス、計測・可視化技術、粉体プロセス

無機材料物性関連分野では、優れた材料機能を実現するための研究開発が進みつつある。その重要性は、SDGs やカーボンニュートラルな社会の実現に向けて益々高まっており、そのための先端計測・可視化技術や粉体プロセスの高度化などの検討が盛んに行われている。例えば、セラミックスの製造において焼成は不可欠なプロセスであったが、カーボンニュートラルの観点から焼成で消費するエネルギーを低減することが強く求められていた。これを克服するべく添加有機物の量の低減や微粒子の構造制御の活用による反応の均質化といった粉体、特にその界面制御の観点からの研究が拡大しつつある。また、セラミックスのものづくりを支える粉体プロセスに関しては、微粒子の乾式コーティングによる構造制御を活用した電池材料の高性能化や、従来のセラミックスの常識を覆す常温での緻密化技術、医療用分野で発達してきた内部構造観察法である光干渉断層計をプロセス評価に用いる研究など革新的なプロセスと観察手法が見出されつつある。

ウェルビーイングに欠かせない歯科用セラミックスの代表であるジルコニアセラミックスは、現在実用化が進んではいるものの、その長期信頼性を支配する低温劣化過程の克服に関する研究開発が、欧州を中心に世界中で多くの研究がなされている。その研究は、新規な原料粉体から成形・焼成方法に至る製造関連の科学・技術とともに、多岐にわたる評価方法、特に、ミクروسケールの力学特性評価などがトレンドである。持続可能社会の実現に不可欠なセラミックス部材の代表である軸受や絶縁放熱基板として用いられる窒化ケイ素セラミックスは現在市場が急成長している分野であるが、中国では多くの研究者が活発に研究を進めており、着実に成果があらわれつつあった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：谷 和夫

所属・職：東京海洋大学 学術研究院 海洋資源エネルギー学部門・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：地盤工学関連分野に関する学術研究動向－海洋資源エネルギーの開発－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：海底鉱物資源，採鉱・集鉱，揚鉱，処分

海洋・海域の地盤は，その成り立ちや環境が異なることから，大陸・陸域の地盤とは構造や性状などの特徴が異なることが知られている。一方，地盤工学は，文字通り地殻の表面である地盤についての工学分野であり，建設，資源・エネルギー，農林水産，環境などに係る産業からの要請に応える形で発展してきた。令和2（2020）年度から令和4（2022）年度には，沿岸～沖合域に適用される主に地盤施工技術に係る研究動向を調査した。これにより，およそ水深200メートル以浅で展開される建設分野に係る地盤工学の研究動向を把握することができた。

令和5（2023）年度には，建設分野に次いで地盤工学が重要とされる資源エネルギー分野に係るより深い（水深が数百メートル超の）海底地盤に関わる地盤工学の研究動向を調査した。その結果，主に以下の結論を得た。

- 1) 主に熱水鉱床，マンガン鉱床，コバルトリッチクラストを対象に，採鉱・集鉱・揚鉱・処分について調査した。マンガン団塊の採掘が技術的に進んでいるが，商業開発のレベルには至っていない。
- 2) 主に，採鉱・集鉱に利用する重機の開発が報告されているが，スラリー移送およびエアリフトによる揚鉱の技術レベルの詳細は不明である。
- 3) 処分については海中ないし海底での投棄が想定されているようであり，海底の生態系への影響が懸念される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：田中 真美

所属・職：東北大学大学院医工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「医療福祉工学関連分野に関する学術研究動向－医療福祉工学と他分野との境界領域における新たな潮流と展開－」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：AIによる医療福祉工学研究の変革、画像、診断、予後予測、モデリング、シミュレーション、ドラッグデリバリーシステム、セルメカニクス

令和5年度、医療福祉工学と他分野との境界領域における学際領域の活動動向について、国内外の展開について調査を行った結果、以下の動向を確認した。生体医工学関連では再生医療や組織工学、オルガノイドなどの研究、生体材料関連では、特に細胞の増殖、分化の促進や細胞の生物機能の増強や改変に関わるドラッグデリバリーシステムの研究は極めて多く取り組まれている。

医療福祉工学では情報・機械学習、深層学習などのAIとの融合は著しく進んでおり、特に画像や診断関係では広く用いられている。しかしながら、AIの結果と人間の判断の順番や、同時組み合わせの利用などで診断結果が変わるため十分な検討が必要である。また、AIによる診断に至った根拠と専門医の所見との一致度は高いとは限らないことも報告されており、深層学習モデルの内部数理を人間の専門知識に基づく複雑な意思決定過程に近づける必要性から、より多角的な医学的基準に沿った訓練法への展開や、臨床応用に向けての開発が期待される。

診断におけるAIを利用する研究も増加しているが、高効率化のためにデータが意味のあるものとなるために、詳細なデータのモデル化や現象との関係性の調査、解析方法の検討も多く取り組まれている。最近では病変の検出だけでなく、病気の進度の判別を行う高精度化している。また、様々な病気に応用できるように計測やモデリングの要素技術の開発も盛んに行われており、各種の予後予測や個別化医療を目指すものも増えている。福祉工学では、対象を高齢者とするものが多いが、転倒防止や歩行支援、見守りシステムなど日常における様々な場面でのAI技術の応用が増えている。

AIの研究の病気の対象も、悪性腫瘍関連だけでなく、各種病変、認知症、生活習慣病などにも応用が広がっており、これからも幅広く適用され、またそのための研究なども活発に行われると予想される。さらに、医療におけるデジタルツインの現実へも近づいており、リアルワールドデータとして臨床情報を極めて高いセキュリティーレベルで管理・統合・解析し、医療の最適化と医療実態の可視化を図るとともに、医療技術の向上と効率的な医薬品・医療機器開発につなげる次世代医療の取り組みもあり、情報分野も取り込みながら発展している様子が見て取れた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：秋山充良

所属・職：早稲田大学理工学術院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：防災工学分野に関する学術研究動向－Life-cycle risk/resilience 概念の社会実装の状況－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：リスク，レジリエンス，ライフサイクル，自然災害

これまでの我が国の構造設計法の変遷から見えてくるのは、(1)構造計算における照査対象の拡がり：断面・部材から、構造システム、そして、構造物を含むネットワークレベルでの検討、(2)安全性確保の発想の転換：想定した限界状態を生起させないところから、限界状態を超えた後の影響度を最小化、あるいは復旧シナリオの事前作成などが求められる、(3)時間軸の考慮：劣化も含め、構造物の一生に起こり得る全てのハザードを対象に安全性を議論、である。2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震で生じた被害は、これら(1)～(3)の視点わが国の社会基盤施設の設計時に欠けていることを教訓として示している。性能照査で想定していない大きさの作用や荷重、あるいは何らかの要因による一部の部材の劣化や異常の発生によって、構造全体が致命的な状態に陥る可能性を検討したり、構造物の機能の損失や低下が構造物、あるいは構造物を含むネットワークや周辺の地域に及ぼす影響を検討したりする。

我が国の社会基盤構造物の強靱化を進める上で、これらの教訓へ真摯に対峙する必要がある、これを各国がどのように社会実装につなげているのかについて調査した。特に、ライフサイクル土木学会（International Association for Life-Cycle Civil Engineering）やリスク・信頼性工学会（International Civil Engineering Risk and Reliability）が主催する国際学会 IALCCE2023 と ICASP13（いずれも2023年7月開催）に参加し、以下の知見を得ることができた。

- ・ 構造全体としての補完性や代替性、頑強性や冗長性を有する構造形式の採用、フェールセーフ機能の確保、あるいは部材の取替えや補修・補強が容易なように維持管理上の配慮を施しておく。
- ・ ライフサイクル解析においては、その一連の性能評価に関わる不確定性の低減に定期的な情報更新が有用であり、ベイズ推定や機械学習はそのための有用な数理手法となる。ただし、これらの手法の精度を検証するためのエビデンスが不足しており、これを補うためのデータベースの構築が必要である。
- ・ 道路ネットワーク全体を俯瞰し、ネットワークの性能指標に関する研究を進める必要がある。構造物の損傷を表現する古典的な物理量（例えば、塑性率）から、経済的損失や交通機能停止期間などの影響度（Consequence）を表現する指標への転換が求められている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：新井 豊子

所属・職：金沢大学 理工研究域 数物科学系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード： 走査型プローブ顕微鏡（SPM）、顕微鏡法・分光法複合装置、原子分解能、産学連携

ナノテクノロジーは、2001年に米国で国家ナノテクノロジー・イニシアティブ（National Nanotechnology Initiative）が創設されたことを皮切りに、この20年余りの間、日本を含め世界中で、科学技術の重点研究分野であり続けている。半導体製造において、2 nmの微細加工サイズは実現しており、2020年代中に、2nm世代プロセスの量産化をマイルストーンとしている。本研究では、ナノテクノロジーの基礎となる、ナノサイエンスも含め研究動向を調査した。

2023年6月5日～8日、The 9th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies(EM-NANO2023：有機・無機電子材料と関連するナノテクノロジーに関する国際シンポジウム)を、運営委員長として金沢市で開催した。293名（招待：26、一般：118名、学生：149名／うち海外：26名）が参加し、有機および無機の電子材料、更にそれらに関連するナノテクノロジー分野に関して密度の濃い議論が繰り広げられた。

2023年9月25日～29日にシンガポール大学で開催された非接触原子間力顕微鏡国際会議（the International Conference on non-contact atomic force microscopy (nc-AFM2023)）に参加し、研究成果を発表した。会議では、探針先端にCO分子を1個吸着させたCO分子探針を用いて、極低温-超高真空（UHV）環境で、ベンゼン骨格を持つ多様な分子骨格の観察、原子操作による反応制御に関する発表が多く、その種類や精度において進展しており、分子デバイスなどへの応用も視野に入ってきた感がある。

産学官の研究者の情報交換の場であった日本学術振興会産学協力研究委員会「ナノプローブテクノロジー第167委員会」は、2023年3月31日に終了し、この167委員会を継承する形で、次世代ナノプローブ技術委員会（任意団体）を立ち上げた。研究担当者も本委員会の運営委員の一人である。本委員会は、学界から37名、産業界から13社が参画し、次世代ナノプローブ技術に係る調査、研究及び開発等に関する事業を総合的に行うことにより、次世代ナノプローブ技術に関連する産業が直面する課題の解決及び新市場の創出に寄与することを目的としている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：末益 崇

所属・職：筑波大学数理物質系・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：結晶工学関連分野に関する学術研究動向—創エネルギー材料および省エネルギー材料の新展開—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：太陽電池、ペロブスカイト、スピントロニクス、省電力

世界各国でカーボンニュートラルの実現に貢献する研究開発（風力発電、太陽電池用の新規材料や新規構造、蓄電技術、熱電発電、省エネに貢献するパワーエレクトロニクスなど）が、盛んに行われており、その中でも特に、太陽光発電をはじめとする再生可能エネルギーへの期待が、益々高まっている。2024年現在、太陽光発電で得られる電力は、火力等に比べても既に世界各地で最も安価な電源となっている。このため、今後も、太陽光発電の低価格・高効率化を目指す研究開発は幅広く行われると考えられる。令和5年度は、太陽電池に係わる参加者の多い国際会議および国内会議は、ほぼすべての会議で現地開催となった。電力用太陽電池の主力材料は単結晶シリコンであるが、エネルギー変換効率の飛躍的な向上を目指し、禁制帯幅の大きな材料と組み合わせるタンデム化、特に、ペロブスカイトとの組み合わせに関する研究が増えている。ペロブスカイト太陽電池の研究では、時間経過によるエネルギー変換効率の低下を克服しようとする研究が多く行われている。一方、無機系元素からなる新規太陽電池材料（ Sb_2Se_3 , SnS , CZTS , Cu_2O , ZnSnP_2 , BaSi_2 など）の研究も、継続して活発に行われている。これらの新材料では、光吸収層の厚さがシリコン太陽電池（厚みが約 $180\mu\text{m}$ ）の30分の1以下になるため、建物の壁面、車載などへの応用を考えた、軽量で柔軟な太陽電池の研究が進展しつつあるといえる。

スピントロニクスの分野では、新材料・新機能創成に係わる基礎研究から、萌芽的デバイス技術、単体デバイス、論理回路、集積回路まで、幅広いレンジの研究が行われている。AIやビッグデータ用に集積回路の需要は急増しており、消費電力の低減が必須である。このような背景の中、スピントロニクスの代表的なデバイスであるMRAMがSRAMに代わって集積回路に用いられるようになっており、消費電力の低減が期待される。また、磁化の方向をスピン移行トルクで制御する現行方法から、消費電力低下を目指したスピン軌道トルクによる磁化の制御、さらに、電圧制御磁気異方性効果を利用する研究開発が進展している。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：平田 晃 正

所属・職：名古屋工業大学大学院工学研究科・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「電力工学、生体医工学分野（生体電磁工学）に関する学術研究動向 —生体電磁工学を基軸する学際領域における新展開—」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：電磁界の安全性、国際標準化動向、熱中症、公衆衛生工学

非電離放射線、つまり電離放射線を除く波動の領域は広く、電波に代表されるように我々の身の回りにおいて飛び交うようになった。また、医療においても電波あるいは超音波がつかわれ、その安全性を統合的に分析する必要がある。電波は無線通信の多様化のみならず、ワイヤレス給電など新たな利用が模索されてきている中、これらの実利用を把握した人体周辺の機器からの漏洩電磁界などの調査、国際標準化動向を把握することは重要である。

学際的な分野を工学的見地から考察するために、生体物理、生理シミュレーション技術に加えて、信号処理分野などを調査し、最新の研究動向を把握することにより、研究の進展さらには標準化動向を見極める必要がある。国際ガイドラインに関する動向調査として、世界保健機関（WHO）が述べる電磁界の安全性に関わる国際ガイドラインを作成している組織である国際非電離放射線防護委員会（ICNIRP）および米国電気電子学会（IEEE）委員会に出席し、調査を行った。また、当該分野における国際的な研究費の動向についても聴取した。欧州では各国が実施している公募型の研究費に加え、EUがとりまとめている大型研究費もあるとのことであった。大型研究費における研究者のダイバーシティの状況についても意見聴取した。

また、URSI(国際電波科学連合)における総会において、生体電磁工学分野における安全性を中心に医療応用、製品安全性、環境物理因子の影響に関する情報を取得するとともに、周波数ごとの基準値の相違や関連分野である電磁環境研究のあり方に関して意見交換した。また、日本生気象学会では、新規熱中症リスク評価技術の確立に向けて、微気象の人体温熱生理応答への影響解明とそのモデル化について調査を行った。物理因子の生体影響を議論するにあたり、亜熱帯地域での気象および暑さ慣れによる生体応答の調査を実施、気温・湿度の場所・時間依存性データを取得し、非電離放射線の一つである太陽光の影響についての分析法を調査した。以上のように、生体電磁工学分野を中心にその周辺分野の調査研究を行うことにより、安全性を中心に、医療応用、製品安全性、環境物理因子影響などを包括的に調査し、包括的な知見を得た。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：倉爪 亮

所属・職：九州大学大学院システム情報科学研究院・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： 知能ロボティクス関連分野（知能化空間）に関する学術研究動向－環境知能化に基づくサービスロボットの新たな潮流－

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：

空間知能化、地図生成、Tightly-Coupled SLAM、Radar、Radar SLAM

ロボットの活動領域を工場などの限定された整備空間から、家庭や道路などの非整備空間へ広げるための、環境情報構造化に関する研究動向について調査した。本年度は特に、状況が未知な非整備空間を、地図や物品、移動体などの情報が既知の整備空間に変えるうえで、特に環境地図の作成に重要な技術である SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)、および SLAM を実現する新たなセンサについて、ロボット分野で最も著名な国際会議である IROS、ICRA に出席し、調査を行った。SLAM では近年、慣性センサ (Inertial Measurement Unit, IMU) などの内界センサと、Lidar やカメラなどの外界センサを、センサ信号などの深いレベルで結びつける Tightly-coupled と呼ばれる手法が注目を集めており、本年度も Visual-Inertial Odometry (VIO)、LiDAR-Inertial odometry (LIO)、あるいは VLIO (Visual-LiDAR Inertial Odometry) などの分野で新たな手法が多く提案されていた。また、LiDAR やカメラよりも対環境性能の高いセンサとして Radar が知られているが、解像度や精度、ノイズなどで問題があり、従来はあまり SLAM や環境認識では用いられていなかった。しかし近年、全方向 Radar の開発やデータセットの公開などにより、IROS2023 のキーノート講演でも Radar SLAM が取り上げられるなど、徐々に注目が集まっており、Radar を用いた SLAM やセマンティックマッピングなど、Radar の新たな利用例が提案された。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：飛龍 志津子

所属・職：同志社大学生命医科学部・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「計測工学分野に関する学術研究動向」ー計測工学との融合研究が期待される生物系領域に関する動向調査

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：センシング，バイオリギング

ヒトを含む様々な生物を対象としたマイクロからマクロスケールの新しい研究の潮流は、常に現象を高度に「計測」する技術革新と共にもたらされてきたと言える。しかし計測工学のシーズと生物系研究者らのニーズとの交流の場が少ないことから、研究担当者に関連の深い生態学や動物行動学、神経科学分野などその周辺分野に焦点をあて、国内外での計測工学分野に関連する動向やニーズを調査した。

・科研費 学術変革領域研究（A）「サイバー・フィジカル空間を融合した階層的生物ナビゲーション（略称：階層的生物ナビ学）」では、工学から生態学、情報科学の研究者らが若手からシニアまで集い、学際的な融合研究が遂行されている。環境情報の大規模計測や、AI 駆動による計測の効率化など、センシングとデータサイエンスの融合が生物系テーマにおいても重要な動向となってきている。また環境情報の計測や介入技術の小型化、また長時間駆動、耐久性の問題などは現在も大きな技術的課題と言える。一方、第1期と比べ第2期の公募班ではデータサイエンス分野の採択件数の割合が多く、ニーズに対して生物系テーマに興味を持つ工学系研究者はやはり少ない。

・国際バイオリギングシンポジウムが日本で開催され、国内外共に若手や女性研究者の活躍が目立っていた。また複数の環境情報を同時に計測する、また深海などの極地において移動する動物から生理データを含むマルチモーダル計測などの発表例が多く、今後もさらに様々な計測工学のシーズが展開可能な分野であると再認識した。

・若手研究者らの中では、生物系から情報系へ、または両者の融合は自然な流れにあり、キャリアパスの幅を広げるのに効果をもたらせていると感じる一方、工学系から生物系、または両者の融合にはまだ積極的な仕掛けが必要に感じる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：安井 武史

所属・職：徳島大学ポストLEDフォトンクス研究所・教授

区分：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「光工学および光量子科学関連分野に関する学術研究動向—光計測における最先端研究動向—」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：光計測、光コム、テラヘルツ波

本調査研究では、先端かつ先導的な「光計測」に焦点を当て、情報通信、ナノ材料、ライフ、環境、エネルギーを始めとした分野を横断する計測基盤として、最先端の研究動向と共通の課題を動向調査する。特に、新しい光計測を切り拓くと期待される「光コム」と「テラヘルツ波」を中心に、国内外の最先端研究動向を探った。

【光コム】

通常、ショットノイズは標準の量子限界と考えられているが、連続波レーザーと光周波数コムへのヘテロダイン間での量子ノイズ限界に関して、より低い限界が存在することが示され、周波数コムヘテロダインが、周波数と時間の最高精度測定のための基盤となることが報告された。また、回避されたモード交差の制御により、熱屈折効果、自己ラマン周波数シフト、高次の分散との平衡状態が実現され、熱に対して鈍感な Kerr マイクロ共振器ソロンコムが可能であることが数値的に実証された。更に、位相制御された光周波数コムによって生成される広帯域のアンチ位相パルスを用いたノイズキャンセリング技術が提案され、コムの中の二つの周波数を制御するだけで、背景ノイズが効果的にキャンセルされることがトモグラフィで実証された。

【テラヘルツ波】

チャープパルス分光法と電気光学（EO）サンプリングを用いたテラヘルツ時間波形計測において、和周波数発生と分散補償の融合し、位相オフセットEOサンプリングを行うことで共通モードノイズが低減され、プローブパルスとテラヘルツ波の相対時間遅延をスキャンせずに、 ± 50 V/cmの精度での単発テラヘルツ時間波形検出が実現された。また、可視光連続波レーザーで生成された相関光子対の一方（テラヘルツ波）でサンプルの特性を抽出し、他方（可視光）の光子の強い相関を介してそれらを検出することにより、技術的に成熟し低コストのシリコンベース検出器が利用可能なテラヘルツ量子センシング手法が実証された。更に、30万個のプラズモニックナノアンテナから成るテラヘルツ焦点面アレイを有するテラヘルツカメラが提案され、高い空間分解能（面内 $60\mu\text{m}$ 、深度 $10\mu\text{m}$ ）の画像を毎秒16フレームで取得可能であることが示された。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：山西 陽子

所属・職：九州大学大学院工学研究院・教授

区分：工学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： ナノマイクロシステム関連分野に関する学術研究動向 – 異分野融合研究の新たな潮流と展開 -

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ナノマイクロ工学、マイクロナノシステム、マイクロTAS、MEMS(マイクロマシン)

ナノマイクロシステム関連分野は化学、機械工学、電気工学の融合領域、ナノマイクロとバイオの融合領域とも密接に関連し、それぞれの専門枠を超えた学際的研究として内容も多岐に亘っている。この分野においてはMEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems）技術を基盤としたマイクロ流体技術が発展し、この10年間で、さまざまなマイクロ流体技術が開発され、生物学研究の新時代を切り開いている。単一細胞の機能を理解するためには、生きた環境での単一細胞の動的挙動をモニターすることが非常に重要であり、マイクロ流体技術はその目的を効果的に達成する手段の一つである。令和5年度に開催された関連の国内会議や国際会議はこれまでハイブリット開催であったものが、対面のみでの開催に多くがシフトした。まず、日本機械学会に関連する国内学会に目を向けてみると、2023年6月28日(水)～7月1日(土)に名古屋で開催されたロボティクス・メカトロニクス部門が開催するRobomec2023においてマイクロナノシステム関係のOSは73件中7件あった。今年度は特に分野横断を目指したOSが特徴的であり山西らが企画した機能性界面OSはロボメカ部門、マイクロナノ工学部門、バイオエンジニアリング部門、IIP(情報・知能・精密機器)部門の4部門が連携したOSであり各部門からの参加者による活発な議論がなされた。このような分野横断研究は増加傾向にある。例えばロボット技術を適用したハイスループットな細胞計測として、マイクロ流体チップを用いた流体システムに内包されるセンサによって細胞内の機械特性を計測するロボット統合型のマイクロ流体チップなどの発表があった。このような細胞の機械特性計測技術は、従来の細胞や細胞凝集体評価のためのオミクス指標に、機械特性という新たな評価指標を加え、細胞や細胞凝集体の状態を理解するだけでなく疾患の検査や薬効効果にも貢献し得る技術である。

国際学会については本分野にはMicroTASがある。微細加工技術により流路やセンサをチップ上に組み込み、細胞培養や操作、流体や液滴の操作、分析や診断など、化学や生命科学・医療などへの適用・応用に関する分野を幅広く取り扱う学際的な国際会議である。毎年10-11月に開催され、27回目となる今回は、10月15日から19日にかけて、ポーランドのKatowiceにて開催された。発表されたトピックを分類すると30%(細胞、組織、Organ on a chip)、18%(診断、生物医学)、15%(ナノマイクロ流体基礎)、12%(ナノマイクロ工学)、11%(センサー・アクチュエーター・検出)、8%(統合プラットフォーム)、6%(その他応用)となっており、特にマイクロ流体チップ内の細胞から発生する微量物質検出のためのセンサ分野の発展が顕著であることがわかった。今後さらなる分野横断研究の発展が期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大川 剛直

所属・職：神戸大学大学院システム情報学研究科・教授

区分：情報学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：情報学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策— 情報学により加速される分野融合研究の新展開 —

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：異分野融合研究、経年比較、研究助成事業

Society 5.0 の真の実現に向けて、情報学分野そのものの進展に加え、他分野との相互作用による分野融合研究が重要な役割を果たす。また、ポストコロナ時代において、情報通信技術の活用を前提とする新たな社会基盤の構築やライフスタイルの確立が進みつつあり、情報学と他分野との融合は、ますます重視されると推察される。そこで、これまでに引き続き、情報学と他の学問分野との融合研究を対象として、学術研究動向の調査を実施した。具体的には、国内外の研究集会における研究発表論文を調査対象として、どのような分野の融合研究が進展しているのか、情報学分野のどのような技術や手法が利用されているか、どのような課題の解決に情報学が貢献したか、情報学分野の進展に何らかの寄与があるかなど、多様な観点から分析を試みた。

本年度は、この数年間のトレンドの変化を調べるため、過去の調査データも含めた分析を試みた。4つの国内会議、国際会議を対象に過去3年間程度における延べ発表件数約16,000件の中から、約4,500件の発表を取り上げて分析対象とした。分析の結果、融合先分野に関しては、生命医学・医療福祉分野において、近年、さらに融合研究が活発化していることが確認できる。その他としては、特に国内会議において、教育分野との融合研究が着実に増えている。利用技術に関しては、深層学習がその大半を占め、この数年においても増加傾向が見られる。情報学に対するインパクトについては、新規性ありとされる研究が近年大幅に増加している点が注目に値する。

さらに、情報学分野と他分野の連携を対象とする学術振興方策の調査を目的として、研究費助成等の支援に係る様々な事業・プログラムについて、動向調査を実施した。具体的には、令和5年度に公募された研究助成事業の中から、情報学との関連が含まれるものをピックアップし、対象分野や規模について調査・分析した。情報学分野そのものよりは、情報学の活用を視野に入れた他分野対象の事業が大半を占めており、さまざまな分野で情報学の活用に期待が持たれていることがわかる。支援規模についても、情報学そのものに対する支援と比較し、他分野との融合研究に対する支援の平均上限額はほぼ倍となっており、分野融合研究に対して、より手厚い助成傾向にあることが確認できた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：櫻井 保志

所属・職：大阪大学産業科学研究所・教授

区分：情報学

専門調査班 主任研究員

調査研究題目：時系列ビッグデータ解析分野にかかる学術研究動向に関する調査研究及び学術振興方策に関する調査研究

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：時系列解析、IoT ビッグデータ、データストリーム

大規模データの解析、データマイニング技術に関しては、KDDをはじめトップ国際会議において主に深層学習に関する研究成果が発表されている。時系列解析の課題においても深層学習をベースとする数多くの手法が提案されている。さらに、最近では精度向上のための手法よりも、解析結果や判断の要因を理解できるような解釈可能性を重視した手法に関する研究が盛んに行われている。

一方で産業界では2000年代後半からIoTデバイスの急速な普及に伴い、それらのデバイスから収集した多様かつ大量のデータを高度なサービスに活用しようとする動きが盛んになっている。特に製造業企業からのヒアリング調査によると、産業IoTにおいては、ビッグデータ解析技術の中でも、特に設備や計測機器からの稼働データやセンシングデータの時間発展をとらえる時系列ビッグデータ解析が注目されている。製造業においては、数多くの設備機器から出力される多種多様なデータを扱わなければならない、さらに発生頻度の低い設備故障の予測など、大量の教師データを集めることが難しい場合も多い。そこで、様々な複雑事象から生成されるIoTビッグデータの中から、高速かつ高精度に重要な情報のみを抽出し、モデル学習によってモデルを高速に生成、展開するとともに、連続的に生成されるデータストリームから即座に時系列予測を行うための新たな技術が産業IoT分野で求められている。

医療分野においては、データ駆動型社会への変革に適用してゆくために、AI、特に深層学習を中心とする機械学習を活用する動きが盛んになっている。医療現場へのAI導入は、診断支援、医療現場の管理業務の効率化、医療の質の向上、患者の負担軽減等への期待度が高い。特に、医療機器の多くの生体センサから時系列的に出力されるストリーミングデータをリアルタイムに解析する技術が注目されている。医療従事者や熟練作業者の「経験知」からだけでは判断や予測が難しい複雑かつ突発的な事象に対し、患者の個人差を考慮しつつも高速高精度で結果を導出するような新たなアプローチのAI技術が求められている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：四方 順司

所属・職：横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：情報セキュリティ関連分野に関する学術研究動向

—情報セキュリティと人工知能（AI）関連技術の境界領域における新たな潮流と展開—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：情報セキュリティ，人工知能（AI），研究境界領域・融合領域

情報セキュリティと人工知能（機械学習）分野との境界領域に焦点をあてて最近の動向調査を行った。具体的には、暗号又は情報セキュリティ分野の主要国際会議 CRYPTO, EUROCRYPT, ACM CCS, IEEE Security and Privacy, USENIX Security Symposium 等、AI 関連分野の主要国際会議 NeurIPS, ICML, ICLR, AACL, IJCAI, AISTATS, COLT 等を対象に調査を行った。そして、その動向から、(I) 高度化する AI のセキュリティに関する研究、(II) AI 技術を利用した暗号解析・セキュリティ解析に関する研究、(III) Privacy-Preserving 機械学習 (PPML) に関する研究に分類して以下のように動向を整理した。(I) に関しては、既存の機械学習モデルに対して有効な攻撃手法を解析したり、ある種の攻撃が可能となるモデルや条件を示すことを目的とする研究である。特に、誤ったデータを学習させ誤判定を引き起こす敵対的サンプル (Adversarial Example) に関する研究、モデルの出力から学習に使ったデータを逆計算するデータ復元 (Model Inversion) に関する研究、モデルが推論を誤る脆弱性を仕込むバックドア (Backdoor Attack) に関する研究、攻撃者の手元にモデルを抽出・複製を可能とするモデル抽出 (Model Extraction) に関する研究が多い傾向がある。(II) に関しては、AI 技術を利用した暗号解析やセキュリティ解析に関する研究であり、AI 技術（機械学習）を利用することにより、暗号技術やセキュリティ技術に対して従来よりも優れた安全性の解析を行うことが目的である。その対象となる暗号技術として、共通鍵暗号 (DES, AES, SPEC 等) に関する報告が目立つが、PUF (Physical Unclonable Function)、擬似乱数生成、公開鍵暗号に対する報告も見受けられる。また、暗号技術以外にも侵入者検知、ボットネット検知、ネットワーク異常検知、マルウェア解析・検知技術等への利用も良くみられる。(III) に関しては、サーバ上に保存された機械学習モデルを利用し、安全に推論や学習が可能な機械学習を構築することが目的である。主なモデルとして Client-Server Model や Server-aided Model が挙げられ、これら様々な PPML の構築には、Homomorphic Encryption, Oblivious Transfer, Garbled Circuit, Secret Sharing, Multi-Party Computation 等の暗号技術が利用されている。特に、PPML は暗号・情報セキュリティと AI いずれの分野の会議からも関心があり論文報告されている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中小路 久美代

所属・職：公立はこだて未来大学システム情報科学部・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「ヒューマンインタフェースおよびインタラクション関連分野に関する学術研究動向 - 物理世界と仮想世界の相互干渉のモデル化と解釈に向けた新たな潮流と展開 -」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード： xR（クロスリアリティ）技術、ヒューマンコンピュータインタラクションデザイン

本調査研究では、ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 研究分野における新たな潮流とその先の展開を見据えることを目的として、物理法則に基づいて構成される物理世界と、物理演算から構成される仮想世界との間の相互に生じる干渉という現象に着目した。いわゆる AR (Augmented Reality: 拡張現実) や MR (Mixed Reality: 複合現実) と呼ばれる技術は、物理的な世界と仮想的な世界がいわば混在する世界を構成する技術として位置づけられ、総称して xR (クロスリアリティ) 技術と呼ばれる。xR 技術は、楽しむための作品としてに留まらず、近い将来、ヒトがシステム（あるいは広義のコンピューテーション）とインタラクションを行うにあたってのユーザインタフェースとしてのひとつの形態となると考えられる。

本調査研究で着目したのは、ヒトが操作する物理的なオブジェクトの変化がデジタルな世界にリアルタイムで作用し、ヒトが操作するデジタルな表現が物理的な世界の状態に作用するような xR 環境である。対象としたのは、xR 技術そのものの調査ではなく、ヒトがその技術を用いたツールとインタラクションを行う際に、ヒトはその因果関係や相互作用の関係をどのように認識するのか、に関する調査研究である。

HCI 関連分野の最新動向を調査した結果、xR 環境とのインタラクションにおけるヒトの認識についてのモデルや理論的枠組みについての研究は多くはなく、未だその端緒にあることが明らかとなった。MR 環境における作り物は作り物としてヒトはそれを受け入れ、その上で、物理環境に対してヒトが有するインタラクションの知識を用いて、仮想オブジェクトを操作すると考えられる。xR 技術は、ヒトが外界をどのように認識し、どのように外界とのインタラクションについての知識を得ているか、を考える上での思考素材(object-to-think-with)としても非常に興味深い。本調査研究の結果から、今後は、人文科学分野における知見なども得ながら、分野融合的なアプローチで、ユーザインタフェースとしての xR 技術の展開を考えていく必要があると考えられた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：橋本 昌宜

所属・職：京都大学大学院情報学研究科・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： 計算機システム関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ニューロモフィックコンピューティング、Silent Data Corruption, 大規模言語モデル

今年度は、多くの会議がオンサイトのみで開催となり、ハイブリッドフォーマットは開催費用の観点から選択されにくくなっているようである。一方で、事前に発表者が撮影したビデオをオンデマンドで見れるようにしている会議は増えており、注目する発表をゆっくりと確認しながら見ることができる点や、全日程にわたる参加が難しい場合などに有益である。論文の投稿数は、新型コロナの初期段階で増えた会議が多かったものの、それ以降は例年と変わらない数で推移している国際会議が多い印象を昨年度は持っていた。しかし、今年度はまた多くの国際会議で論文投稿数が過去最高を記録している。

プログラム可能クロスバーを用いたコンピューティングは、メモリ内でデータ移動を最小化した状態で効率よい計算を実現でき、ニューロモフィックコンピューティングと親和性が高いため、多くの研究がおこなわれている。一方で、プログラムの困難さや不正確さ、プログラムの経時劣化などが実用化を妨げており、デバイス、回路、アーキテクチャ、アルゴリズムのレイヤーを横断した対応が求められている。

計算やストレージの大規模化により、システム上に異常が全くないままデータが誤る Silent Data Corruption (SDC)の問題がクラウドコンピューティングで顕在化している。自動運転やロボットなどでも SDC の問題は深刻であり、SDC の検出や確率を低減する技術が多くの分野で求められている。三重化などの対策はコストが大きいため、コストと信頼性のトレードオフの中で、適切なソリューションを提供する技術への要求が高い。

大規模言語モデルは、集積システムの設計においても設計効率の向上と短期化に貢献が期待されるため、大きく注目を集めている。一方で、厳重な検証が必要な集積システムの設計と相性の悪さもあり、どのような利活用が現実的かつ効果的か議論が進みつつあり、動向が注目される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：戸出 英樹

所属・職：大阪公立大学大学院情報学研究科・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：情報ネットワーク関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：情報ネットワークに関する調査分析、新たな研究分野、研究トレンド

IEEE の国際会議や電子情報通信学会研究会、総合大会、総務省や NICT などの情報通信・ネットワーク関連プロジェクトなどからの動向調査を通して、最新の通信ネットワーク技術に関する研究動向について、5つの特性の観点から概観した。

1. 高速・大容量化: 高速・大容量化に向けて高周波帯を活用する通信技術が重視され、ミリ波、テラヘルツ帯を用いた通信システムの研究が進んでいる。信号伝搬距離の短縮に伴う高密度な多数基地局の配置・連携・制御の必要性が増している。また、光ネットワークでは、NTT が推進する IOWN 構想や AI サーバを光ネットワークで接続した新たな AI データセンタ構想に向けたアーキテクチャの研究など、光技術を活用した高度な研究が行われている。

2. カバレッジエリアの拡大: 衛星（GEO、MEO、LEO）や HAPS を活用した無線通信基盤の拡張が進められ、災害時にも対応可能な通信システムの開発が目立っている。IRS（Intelligent Reflecting Surface）の効率的な導入も特筆される。

3. 超低レイテンシ・高信頼性: 自動運転や AR/VR、Controlled Mobility のためのエッジコンピューティング、低レイテンシ通信技術などが重視され、高信頼なネットワークシステムが求められている。

4. ネットワークシステムの洗練化: 分散型エッジコンピューティングや多層クラウドコンピューティング環境の実現に向けた研究が進展しており、エンドクラウドを含む複数のクラウドシステムの連携が強化されている。

5. セキュリティと障害耐性: ネットワークのセキュリティやプライバシーに関連する技術、特に DDoS 攻撃への対策や DNS のセキュリティ強化のための研究が活発に行われている。

以上のポイントから、将来の通信ネットワークは、高速かつ大容量、広範囲にわたるカバレッジ、高い信頼性と低レイテンシ、高度なセキュリティを備えることが必須であると考えられる。これらの技術は、自動運転、災害対応、クラウドコンピューティングなど、多岐にわたる用途への適応を見据えている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：竹房 あつ子

所属・職：国立情報学研究所・アーキテクチャ科学研究系・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「高性能計算関連分野に関する学術研究動向」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：高性能計算，ハイパフォーマンスコンピューティング，

高性能計算（HPC）分野では，高性能計算機の性能面だけでなく，データ駆動型研究の促進，エッジ・IoTとの連携や，量子コンピュータをはじめとする新たな計算原理の研究開発が進んでいる．本調査研究では，HPC分野の主要な国際会議であるISC 2023，SC23に参加し，研究動向を調査した．ISC 2023は欧州ドイツ，SC23は米国デンバーで開催され，ISC 2023は3千人，SC23は14千人以上の学術および企業の研究者，技術者が参加していた．いずれもテクニカルパーセプション（テクニカル）のほか大規模な企業展示，学術展示，ワークショップ，ポスターセッションが併設されている．両会議は，毎年世界で一番高速な計算機を競うTOP500の結果が発表される場としても知られている．両会議におけるテクニカルセッションおよびワークショップの研究動向について述べる．

ISC 2023では8つのテクニカルセッション，22のワークショップ，SC23では，30のテクニカルセッション，52のワークショップが開催された．ISCとSCのセッション数は，テクニカルセッションは，HPCアプリケーション・アルゴリズムや計算手法が3+15件，HPCシステム・運用が2+10件，AI/機械学習が1+3件，量子計算が2+1件，クラウドが0+1件となっていた（前／後の数字はISCとSCのセッション数）．ワークショップは，HPCアプリ・アルゴリズムや計算手法が7+16件，HPCシステム・運用が3+20件，AI/機械学習が3+5件，量子計算が2+3件，クラウド・コンテナが4+1件，RISC-V・Armが3+1件，セキュリティが0+1件であった．また，SC23では教育や女性研究者支援等を目的としたコミュニティセッションが5件開催された．

いずれも従来の高性能計算，システムに関するセッションが多数を占めるものの，機械学習／AI，量子計算を冠するセッションが増加している．また，デジタルツインのような新たなHPCアプリケーションやRISC-VをHPCのアクセラレータとして利用する試み，HPCにおけるセキュリティの議論が出てきているのも新しい動きである．

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：橋本浩一

所属・職：東北大学大学院情報科学研究科・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： 知能ロボティクス・ロボットセンシング分野に関する学術研究動向 -ロボティクスと人工知能における新たな展開-

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ロボティクス、人工知能応用、コンピュータビジョン

ロボティクス、大規模言語モデル、コンピュータビジョンなどの技術は、急激な人工知能技術の進展とともに産業界でも急速に発展している。調査においては、国際会議およびプロシーディングス、キーノートトーク、いくつかの企業への訪問調査および工場視察を実施した。

ロボティクス分野

ロボティクス分野では大規模なデータを効率的に収集し、コストを抑えながらアノテーション（あるいは自己教師や教師なし学習）を行い、実世界タスクに応用する研究がトレンドである。ロボティクス分野におけるAIの応用は、自動化、精度向上、作業効率の改善などに寄与している。特に以下の取り組みが顕著である：**自律ロボット・AGV**：ナビゲーション、障害物回避、最適な作業経路の計算などはAIの得意分野である。工場内のロジスティクスではきわめて実用的であり、省人化に貢献している。**感情認識と対話システム**：顧客サービス、ヘルスケア、エンターテインメントなどの分野で応用が見られる。大量のデータベースから顧客が求める回答を対話的に引き出す作業はLLMの得意とする技術である。多くの企業の問い合わせ先はchat botが対応する。

コンピュータビジョン分野

コンピュータビジョン分野では、高品質な3Dモデルの再構築やシーン表現のメッシュ化など、単なる認識タスクではなく3Dを含むより高度なタスクに取り組む研究が盛んに行われている。産業応用においては下記の傾向が見られる。**自動検査システム**：深層学習と大規模言語モデルを統合して製品の品質管理を自動化し、高速かつ高精度な検査を実現する試みは進行している。**拡張現実（AR）と仮想現実（VR）を含むXR**：教育、トレーニング、ゲームなどで新たな体験を提供している。

これらの技術は、産業界における生産性向上、作業の自動化、新たなサービスや商品の開発に大きな影響を与えている。AIの進化に伴い、これらの技術の統合と応用範囲はさらに広がると予想される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：木村 宏

所属・職：東京工業大学科学技術創成研究院・教授

区分：生物系科学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：後成遺伝学（エピジェネティクス）分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：研究トレンド、技術開発、分野融合、国際性

生命現象の基盤となるエピジェネティックな遺伝子発現制御の理解のための研究は近年活発に行われている。特に、細胞内のクロマチンと細胞核の三次元構造とそれらの動態について、単一細胞オミクスや空間オミクスの解析が進んでいる。オミクス解析に関しては、次世代シーケンサーの活用によるRNAの発現情報、クロマチンの修飾情報、クロマチンの三次元高次構造に関する情報、細胞核内構造とクロマチンの相互作用に関する情報などが急速に蓄積してきた。さらに、この数年で、1細胞オミクス解析やRNAとエピゲノムなど複数の標的に関するマルチオミクス解析技術が発展している。また、クライオ電子顕微鏡による微細構造の解析や生細胞超解像イメージング解析により、タンパク質複合体の構造や動態が明らかにされてきている。培養細胞や単細胞レベルの研究から動物個体を用いた研究へ、また、対象としてモデル生物から非モデル生物への展開が進んでいる。今後、多様で複雑な生命現象をクロマチンや細胞核レベルでの制御を定量的に理解するような研究が進むと思われる。この分野の研究動向として、次世代シーケンサーを用いた解析や顕微鏡を用いた時空間解析がますます盛んになっているが、国際的な技術開発の進展と比較すると、国内で基盤技術開発を推進しているグループはかなり限られているのが現状である。我が国においても、遺伝子発現やクロマチン制御に関する最先端技術の開発やその異分野への利用を進めることが将来的な研究力の強化に必要である。

研究者育成に関して、生物科学分野において、博士課程を修了した人材の企業への就職状況は以前と比べると大きく改善している。その一方で、博士研究員や助教レベルで国内のアカデミアに残る人材が不足気味である。若手研究者が活動できる研究環境の構築がより一層求められる。また、日本の研究のプレゼンスが低下しているなか、独自の研究を進めつつも国際活動の促進が求められる。関連分野では、ビッグデータ解析の重用性がますます増してきており、生物学を専門としつつもデータ解析にも詳しい研究者の養成が引き続き喫緊の課題である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：佐竹 暁子

所属・職：九州大学大学院理学研究院・教授

区分：生物専門調査班 主任研究員

調査研究題目：統合生物学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：地球環境、遺伝子、生物リズム、生態系、国際交流

生物学分野は、情報科学、環境科学、ゲノム科学などの分野で発展した技術革新を取り込むことによって、急速に変化している。将来は、気候変動問題をはじめ社会的に重要な課題解決のため、より一層の分野横断的・異分野融合的研究が重要になると考えられる。本学術研究動向調査では、各国において新たに生まれつつある地球規模の研究動向について調査した。

Austrian Academy of Science が主催した Kerner-von-Marilaun Symposium に参加し、遺伝子レベルのミクروسケールと森林生態系というマクروسケールを統合する研究内容を市民も含めたコミュニティーへ紹介し好評を得た。森林生態系の優占種は遺伝学や分子生物学の対象とは異なる非モデル生物であり、利用可能なゲノムリソースが限られている。しかし、これまでに急速に進んだゲノムシーケンス技術革新により、現在、ゲノム情報および野外環境における遺伝子発現情報が整備され蓄積されてきた。環境変動への応答を遺伝子レベルから理解するための新しい研究の流れは主に日本や中国・東南アジアを中心に生み出されており、この流れが現在欧州や北米へも伝搬されつつある。

ポーランド・ポズナンに位置する Adam Mickiewicz University を訪問し、森林生態系の大規模データベースと遺伝子レベルのデータとの融合について大学院生やポスドクなど若手研究者も交えて議論する機会を得た。分野横断的・異分野融合的研究を担う将来世代の育成として、大規模情報データの分析に加えて、異なる対象から得られたデータを統合的に理解し法則性を見出すために新たな数学モデルの構築が必要である。そのためには、なによりも自然自体を良く知り、データの山から重要な問題を見出すためのセンスを身につけた次世代を育成する必要がある。また、ドイツ・ハイデルベルクに位置する EMBL が主催した生物リズムに関するシンポジウムにおいて、環境変動への応答を遺伝子レベルから理解するための新しい研究を紹介した。本シンポジウムでは、欧州に限らず、中国、インド、北米からも多くの大学院生を含めた若手が参加しており、生物学分野における振動子モデルや非線形力学系モデルを教えるチュートリアルも充実しており、次世代育成とネットワークのための絶好の場を提供していた。今後は、国際的なネットワークの場に我が国の大学院生が参加できる機会を一層増やす必要がある。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：望 月 敦 史

所属・職：京都大学医生物学研究所・教授

区分：生物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： システムゲノム科学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：

近年の生命科学において、生命現象を理論的な手法によって解明しようとする取り組みがあらわれている。この動きのなかで自然と実験生物学者と数理科学者との共同研究も生まれ、積極的に進められるようになってきている。また、計算機科学やシミュレーション技術にも進歩がみられ、生命現象を理論的な手法により扱う際の障壁がより低くなってきている。このような状況を背景とし、本研究では生命科学における理論的研究の動向を調査した。生命現象に対して理論的な手法を用いるこの分野は、まだ発展途上である。方法として定まっていることはまだ少なく、研究を進めていくうえで必要に応じて新しい手法が考案されている。それらが新しい計測技術や実験手法の提案へつながることもある。このような理論生物学の発展性と将来性に注目して調査を行った。

具体的に学会合へ参加と文献調査により情報収集を行った。数理生物学会、生物物理学会、分子生物学会などの国内学会に加えて、海外の研究会にも参加し情報収集を行った。また文献調査は、学会発表論文、学術図書出版、データベース等を利用して行った。特に今年度は、生物学と物理学および情報科学の理論分野における相互交流に注目をして調査を行った。

生物学・生命科学における数理的研究において、物理学や情報科学からの理論研究者の参入が、重要な役割を果たしてきた歴史がある。また物理学で培われてきた技術が、生物現象にも適用され、生命現象の解析に役立ってきた。加えて近年では、非膜性オルガネラを液液相分離として捉えるなど、物理学による細胞内現象の理解が進んでいる。一方で最近では、生命現象を対象に発展してきた数理理論に対し、物理学者が興味をもち、さらに発展させる、といった例も現れている。また情報科学と物理学との融合を図り、さらに生命現象の理解に迫ろうとする、情報熱力学といった分野も存在する。今後も理論生物学と理論物理学の分野を超えた交流は、活発化していくと考えられる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：上田 貴志

所属・職：自然科学研究機構基礎生物学研究所・教授

区分：生物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：植物分子および生理科学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：植物科学、バイオマス、学術の普及

植物科学および関連領域に関する最新の動向を調査するため、国内外で開催された研究会に参加し最新の研究動向を調査するとともに、関係研究者へのインタビューを行った。ケンブリッジ大学で開催された植物細胞壁の研究会に参加し、細胞壁の利活用を含む最新の研究動向を調査するとともに、英国の植物分子および生理科学領域における最新の動向を調査した。英国および周辺国では植物細胞壁研究が多くの公的な援助を受け強力に推進されている。木質バイオマスの実体である植物細胞壁は環境保護や産業応用の観点からも重要であり、我が国においても戦略的に研究を推進する必要性を再認識した。また、ICAR2023に参加し、植物科学分野の最新の研究動向を調査するとともに、ベルギーの植物科学系研究者との密な議論を通して、欧州における植物分子および生理科学研究のトレンドと今後の研究動向に関する最新情報を収集した。さらに、ドイツで開催された研究会に参加した機会を捉えてハンブルク大学を訪問し、北部ドイツにおける植物分子および生理科学関連の研究動向についてレクチャーを受けるとともに、研究施設や植物園を訪問し、最新の設備やアウトリーチ活動を視察した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：秋山 修志

所属・職：分子科学研究所協奏分子システム研究センター・教授

区分：生物科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：生物物理学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：タンパク質分子設計、時間タンパク質

関連学会で催されているシンポジウム構成を見ると、これまでに知られていないタンパク質分子の新たな役割や機能を解明したり、また分子設計をとおして理解を深めようというトレンドが見受けられた。

このような兆候が見られる分野の一つが時間生物学である。2023年度は、時を生み出すタンパク質特性の解明を掲げた学術変革領域研究B「時間タンパク質学」(2021年度設置)の最終年度に相当するが、同領域会議はもとより、第61回日本生物物理学会年会、第23回日本蛋白質科学年会などでも関連シンポジウム・ワークショップが実施された。シアノバクテリアで見出されているようなタンパク質分子のみからなる概日振動体の探索を目指す若手研究者が中心となって当該分野を牽引しているようである。まだ海外では広まっていない日本独自の潮流であり、これからの進捗や展開に期待が寄せられる。

近年、タンパク質分子の設計や合成の技術が格段に向上し、そこにクライオ電子顕微鏡による構造観察やAIを用いた構造予測の技術が加わることで、設計→合成→機能構造評価→設計→...という研究サイクルを回すための基盤が急速に整備されている。2023年度は、高次機能性タンパク質集合体の設計法確立を掲げた学術変革領域研究B「SPEED」(2021年度設置)の最終年度に相当するが、この領域がどのように発展するのか期待される。また、データサイエンス駆動型のタンパク質設計を強力に推進する蛋白質先端データ科学研究センターが大阪大学蛋白質研究所に新設(2022年度)され、2023年度より同センター長に国内第一人者の古賀教授が就任するなど、国内におけるタンパク質分子設計分野の過熱ぶりが随所に散見する。今後、化学、計算科学そしてデータサイエンスを巻き込んだ分野横断的・融合的な研究分野として発展していく可能性が見込まれる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中島 欽一

所属・職：国立大学法人九州大学大学院医学研究院・教授

区分：生物系専門調査班 専門研究員

調査研究題目：神経科学分野に関する学術研究動向 ～神経系機能障害の原因解明および改善に向けた細胞分化やエピゲノム変化の観点からの研究調査～

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：新たな研究分野、老化、レトロトランスポゾン、精神・神経疾患

学術研究動向：神経科学分野に関する学術研究動向を、神経系機能障害の原因解明および改善に向けた細胞分化やエピゲノム変化の観点から研究しているものに着目して調査した。次世代シーケンサーの進歩により、精神・神経疾患における全ゲノム的な遺伝子発現やエピゲノム状態の解析が主流となっている。しかし、個々の疾患の原因は異なるため、共通した発症プロセスは特定されていない。近年、老化や加齢と神経疾患の関連を探る研究が増加しており、レトロトランスポゾンなどの内在性DNAエレメントの役割に注目が集まっている。レトロトランスポゾンは、RNAへと転写、cDNAへと逆転写され転移するが、通常エピジェネティックに転写が抑制されている。しかし、老化や環境変化によりエピジェネティックな抑制が解除され活性化される。これにより炎症が誘導され、脳神経系の免疫制御が変化し、神経細胞の老化が進行する可能性が示唆されつつある。

調査研究活動・企画の報告：各学会や研究会に参加し、国内外の学術研究動向情報を収集した。エピジェネティクス研究会では解析技術の進歩や解析方法の重要性が強調された。神経科学大会では基礎研究と臨床研究の融合がトレンドとして示され、老化関連研究の増加も見られた。生化学会では自らもエピジェネティクスが関与する精神・神経疾患についてのシンポジウムをオーガナイズし、ニューロン単独の機能変化を研究する分野から他の細胞との相互作用を考慮してニューロン機能を考えるよう、この分野の動向は変化しているように感じた。また、分子生物学会では内在性ウイルスエレメントによる細胞老化制御研究も多く見られた。この学会ではジェンダーバランスの考慮が進み、発表者やオーガナイザーに若手や女性研究者が多く含まれるようになっている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中村 嘉利

所属・職：徳島大学大学院社会産業理工学研究部・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目： バイオマス利用・リサイクル分野に関する学術研究動向—バイオマス利用・リサイクルの新たな潮流—

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード： バイオマス、バイオリファイナリー、リグノセルロース

食料と競合しない第2世代バイオマス（非可食植物性バイオマス）の総合的有効利用を目指したバイオリファイナリーシステムの開発は、新エネルギーと高分子マテリアルの需要増加に伴い注目を集めているが、実用化・産業化に耐え得るシステムはほとんど無い。その理由は化石資源由来と比較した際の、製造過程と製造費用の過大と製品自体の優劣にある。それゆえ、高品質製品製造利益創出型の省エネルギープロセスを構築することは、将来の日本のエネルギーバランスや機能性バイオマス由来化成品製造に寄与するだけでなく、化石資源の枯渇や地球温暖化問題の解決にも繋がる重要な研究課題である。非可食植物性バイオマス（リグノセルロース系バイオマス）は主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンの主要三成分が絡み合った構造をしているので、バイオマスの有効利用においてはそれぞれの成分を効率的に前処理操作（物理的、化学的、生物学的前処理等）によって分離した後、各成分に適した燃料物質や化学品原料へ変換する方法が一般的である。セルロースはグルコースの重合体であるため、セルロースを酸や酵素を用いて加水分解した後、生成グルコースから種々の微生物や触媒を用いてエタノール、乳酸、5-HMF、レブリン酸等の有用物質の製造に関する研究が行われている。また、分離されたセルロースに疎水化剤や相溶化剤を添加することで樹脂と混練し、高強度樹脂を製造する研究も行われている。ヘミセルロースについてはキシロオリゴ糖やキシリトール原料としての機能性食品材料としての利用だけでなく、キシロース発酵酵母を用いたエタノール生産や触媒反応によるフルフラールへの変換が試みられている。リグニンについては、リグニンオリゴマーの形で樹脂原料や樹脂硬化剤、カーボンナノファイバー原料、さらに触媒によってフェノール、カテコール、アルデヒド等に低分子化するだけでなく、炭化水素燃料、バイオプラスチック、生物活性化合物等の高付加価値物質の前駆体や製品化の研究が行われている。バイオマスの有効利用にあたっては、物質とエネルギーの収支、生態や環境に与える影響、費用対効果等を十分考慮した利益創出型のバイオリファイナリーシステムの開発的研究が実用化のためには必須と思われる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：平野 高司

所属・職：北海道大学大学院農学研究院・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「環境動態解析関連分野に関する学術研究動向－陸域生態系における物質循環研究の新たな潮流と展開－」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：熱帯泥炭林、温室効果気体、環境攪乱、フィールド観測

陸域生態系の環境機能（生態系サービス）の定量評価と、環境変動に対する環境機能の応答特性の解明（モデル化）は、陸域生態系における物質循環研究の主要な目的として位置づけることができる。温暖化が進行している現在、陸域生態系による二酸化炭素（CO₂）の吸収・固定を介した温暖化緩和に注目されることが多い。しかし、温暖化にともなう気候変動や開発などによる人為攪乱（土地利用変化など）によってCO₂などの温室効果気体（GHGs）の収支が変化し、陸域生態系の正味のGHGs吸収量が低下する、あるいはいくつかの陸域生態系がCO₂排出源に変わることが懸念されるようになった。脆弱であると考えられている生態系の一つは、赤道に沿って広く分布する熱帯泥炭地であり、21世紀におけるCO₂排出のホットスポットとして世界的な注目を集めている。

東南アジア島嶼部（インドネシア、マレーシア）に広く分布する熱帯泥炭地は、泥炭湿地林と共存して膨大な量の土壌炭素を泥炭として堆積してきた。しかし、プランテーションなどの農地開発にともなう森林伐採や排水の影響で泥炭地の乾燥化が進んだ結果、好気分解や火災による泥炭炭素の脆弱性が高まり、巨大な炭素（CO₂）排出源として地球温暖化に対する脅威として認識されるようになった。泥炭炭素を安定化させるため、安価な排出源対策（Nature-based Solutions）として、未攪乱の泥炭湿地林の保全や再湿地化を中心とした泥炭地の修復活動が始まりつつあるが、効果の定量評価のためには科学的根拠が不可欠である。そのような状況のもと、熱帯泥炭地において渦相関法やチャンバー法を用いたGHGs収支（フラックス）の連続観測（モニタリング）のネットワークが構築されてきた。フィールドデータが蓄積することで、泥炭地の保全・修復に貢献できると期待されている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：本橋 令子

所属・職：静岡大学大学院農学領域・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：環境農業学関連分野（グリーントランスフォーメーション施策に関連する研究分野）に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：グリーントランスフォーメーション、ブルーカーボン、遺伝子組換え植物

光合成生物を材料とした、バイオエネルギー生産技術開発、二酸化炭素固定能力を利用した循環型物質生産技術、資源のリサイクルに注目した有用物質生産分野の研究における情報収集をおこなった。一時期発表が多かった油量作物の研究や植物、藻類の遺伝子組換えによるバイオディーゼルオイル生産、バイオエタノール生産研究報告はほとんどなくなり、環境や生態系との植物の相互作用などの研究が増加したと感じた。土壌微生物叢と植物の相互作用による収量増加や環境耐性付与効果などの研究が盛んに行われている印象を持ったし、現在、JSTでもALCA-NEXTで類似の研究分野への研究支援が行われている。ゲノム編集技術など遺伝子組換え技術やモデル植物以外の遺伝子組換え技術の開発に拡がりが見られ、産業への活用の将来性を垣間見ることができた。

また、今年度は最終年度であったため、長年、研究に利用した光合成能力を簡便に評価する方法を紹介のためのワークショップ開催や、陸上植物による二酸化炭素固定を行うという概念だけでなく、海草により二酸化炭素固定能力に注目し、東海地域のアマモの生息域減少を抑制するために、アマモの人工栽培方法の調査を行なった。今後、この調査研究を活かし、アマモの人工栽培による環境ストレス応答メカニズムを解明し、アマモ減少の問題解決に貢献する。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：黒田 清一郎

所属・職：国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究部門・上級研究員

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：地域環境工学および農村計画学関連分野に関する学術研究動向 -Society 5.0 関連の技術革新のインパクトと基盤的研究の役割-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：Society 5.0, AI, 地域環境工学、デジタルツイン

Society 5.0 を構成する要素技術は IoT (Internet of Things)、人工知能 (AI)、ロボットとなるが、それが目指すものはサイバー空間とフィジカル空間の高度融合である。その概念を具現化した技術としてデジタルツインを挙げることができる。

このデジタルツインの具体的な開発において重要なことはそのデジタルツインと呼ばれるものの実態は時系列的に変化する3次元データ、いわゆる4Dデータであり、その実現のために必要な要素技術としては

1. 外部変状および内部状態変化に関する3次元データの繰り返し自動生成技術
2. 高頻度・高速シミュレーションあるいは生成 AI 等を援用したエミュレーションによるリアルタイムシミュレーションの実現
3. 4Dデータ情報共有のためのプラットフォーム構築技術

が考えられた。このためのプロトタイプとなるプログラム・モデルについて開発をおこなった。

この開発にあたっては、国内外の学会や研究者およびシンポジウム等で得た情報より、たとえば NeRF (Neural Radiance Fields 新視点画像生成技術)や生成 AI 等の技術を採用した。

またこれらの技術が農業農村工学、農業機械学および地域環境工学に関連して実用的な観点からも活用される分野として、ため池の改修工事や圃場整備の情報化施工および BIM/CIM とよばれる技術の導入に注目し、その社会受容性に関する企画セッションを農業農村工学会にて実施した。

セッションではこのようなデジタル情報化の実現に向けた技術的および社会的課題について議論が行われ、またそのような改修工事や圃場整備といった事業においてデジタル情報が活用され、特に3次元データやその時系列変化に関する情報が得られた場合には、その後の農業水利施設の管理や防災面でも活用されることが確認された。

以上のことから Society 5.0 関連に関する技術に関する学術研究の進展は、実際の農業水利施設に関する技術に応用されることで社会的にも意義のあるものとなることが期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：佐藤 宣子

所属・職：九州大学大学院農学研究院・教授

区分：農業・環境専門調査班 専門研究員

調査研究題目：森林科学関連分野に関する学術研究動向～森林環境保全と温暖化抑止関連研究の新たな潮流～

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：森林科学、温暖化対策、海外研究動向、炭素吸収源、炭素貯留

近年、温暖化傾向が顕著になる中で、森林の炭素吸収および炭素貯留・固定機能が注目され、森林保全や植林、木材利用が気候変動対策に位置づけられるようになってきている。森林科学の研究者だけが関与していた領域が、様々な研究分野からのアプローチが必要になってきていると思われる。そこで、本学術調査研究では、学会や研究会への参加、海外研究者からの情報収集を行うとともに、科研費データベースによる研究タイトル、キーワード、要旨検索で「森林」「温暖化」「炭素」を含む課題の動向を把握した。また、海外研究動向を把握するために Web of Science で、関連研究（Forest, Global warming, CO2）のデータをダウンロードし、年度別集計と引用回数が多い論文をピックアップし、研究動向を調査した。

科研費での関連研究は 519 件あり、基盤 B が最も多く、基盤 C、基盤 A が次いでいる。若手研究では関連研究数が少なかった。年度別にみると 2000 年代後半の 5 年間において 134 件と最も多く、それ以降減少傾向にあった。研究審査区分では、「森林科学関連」と「環境動態解析」等の農学・環境学区分が多かった。社会科学分野や理工系分野での研究も見られるが、森林科学研究者と他分野研究者との学際的な研究ではない場合も多くあった。

一方、Web of Science の関連論文数をみると、7,939 件（2024 年 1 月 10 日現在）2010 年代以降、特に 2016 年以降急増していた。7,939 件のうち被引用回数 10 回以上の論文が 1,315 論文、100 回以上の論文が 270 であった。270 の論文の内訳をみると、農林業および生態学関連だと思われる雑誌が 160 論文、自然科学全般のジャーナル掲載が 110 論文であった。

上記の研究動向調査より、農学系だけではなく工学系や社会科学を含めた幅広い分野を含めて森林と温暖化対策に関する学際研究の活性が望まれることを指摘した。加えて、ヨーロッパでは EU の環境・森林政策に国際共同研究の成果が反映されており、東アジア地域での共同研究の広がりが期待されることも指摘した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：島田 昌之

所属・職：広島大学大学院統合生命科学研究科・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：動物生産科学関連分野に関する学術研究動向～動物生産科学分野におけるスマート農業技術開発と普及の現状～

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：家畜繁殖技術，生殖細胞，遺伝資源保存，配偶子造成

動物性タンパク質は、健康な生活に必須であり、かつ経済発展に従って、動物性タンパク質の需要が増大することから、ニーズを満たす持続的な畜産物の供給は、切迫した課題である。そのため、従来からの方法論としては、動物を合理的に飼育し、効率的に繁殖させ、経済系質の高い個体を選別して生産することに貢献する学術研究が求められている。さらに、持続的な家畜生産のため、遺伝的多様性の維持も求められており、貴重な原種の遺伝資源保存として生殖細胞の凍結保存技術、多能性細胞からの生殖細胞（配偶子）形成技術の開発も行われ、日本は、これら、生殖細胞に関する基礎研究と技術開発で多数の分野を先導する研究を発表しているが、世界もキャッチアップしており、ホットな研究分野となっている。そこで、海外の最新状況を調査するため北米生殖生物学会（Society for the Study of Reproduction）に参加し、学術動向調査を行った。発表数が多かった分野は、卵巣機能、初期胚発生、精子形成と機能、男性避妊、胎盤機能の順で、これら5つのテーマが全体の過半数を占めていた。演題数は少なかったものの、環境因子に注目した研究もハイライトされていた。特に有機フッ素化合物（PFAs）と生殖機能の関係に注目した研究では、安全基準値以下のPFAsへの暴露にもかかわらず、精子や卵子のミトコンドリア機能が低下するデータをマウスやヒトで示していた。これら研究テーマの多様化や研究手法の進歩により、生殖科学の理解の解像度が著しく向上してきた。特に次世代シーケンシングと新たなイメージング技術は、これまで解明が困難だった生殖器官の役割や胚発生過程の詳細を解き明かし、繁殖学のブラックボックスを明らかにする必須ツールになりつつある。

加えて、AIやIT技術の進歩がビッグデータの解析に新たな可能性をもたらしている。これらの技術進歩により、網羅的な解析がより手軽に行えるようになり、繁殖生物学の新たな領域を開拓する可能性が増えている。しかし、これらの進歩を最大限に活用するためには、解析手法に精通した研究者との協力が不可欠であると感じられた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：高須賀 明典

所属・職：東京大学大学院農学生命科学研究科・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：水圏生産科学関連分野に関する学術研究動向—水産・海洋科学に関する国際シンポジウムにおける研究トピックの動向—

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：水産・海洋科学、水圏生物科学、国際共同機構、シンポジウム、ホットトピック

水圏生産科学関連分野を含む様々な学術分野において、複数分野に跨る学際的研究が重視され、境界領域の開拓が進んでいる。同時に、それぞれの学術分野において、次世代を担う人材育成は最重要課題である。水産・海洋科学を事例として、国際共同機構と国内学会組織における研究・人材育成の動向を調査・比較することにより、国際動向に対する日本の動向を把握した上で、今後の展望を考察する。2023年度は、2022年11月に共同コンペナーとして開催した国際シンポジウムの情報を整理した上で、水産・海洋科学に関する国際共同機構の年次会合や国内学会の情報を加味し、水産・海洋科学分野において、最近注目される研究トピック、あるいは、近未来に分野のブレークスルーを担うことが期待される研究トピック（ホットトピック）を抽出した。さらに、水産・海洋科学分野を包括する水産学一般（水圏生物科学）におけるホットトピックも調査した。

水産・海洋科学分野における動向として、国際共同研究に基づく大型プロジェクト、複数の生態系を跨る比較統合、メタ解析を中心とした統合的解析、大容量データに基づく解析からの成果が増加傾向にある。国際共同機構では、対象生態系の拡張、現象面からメカニズムへの重点化、数理モデル分野の急速な発展、社会経済分野他を取り込んでの境界領域の開拓が進んだ。

水産・海洋科学分野におけるホットトピックとして、以下の項目を抽出した。1)「海洋熱波」海洋熱波のような短期の極端現象が生態系に及ぼす影響が注目される。2)「海洋酸性化・脱酸素化」海洋生物への影響に関する研究が深化してきている。3)「黒潮大蛇行」水産資源に及ぼす影響に関する研究が求められている。4)「生態系ベースの資源管理」実際の施策には反映されていないが、この概念を背景とした研究は進行している。5)「環境DNA」生物の個体数推定に対しても技術開発が進んでいる。6)「古海洋学的手法」古海洋学的手法による水産資源変動の解析は劇的に進展した。

水産学一般（水圏生物科学）におけるホットトピックとして、以下の項目を抽出した。1)「未利用水産資源の有効利用」未利用資源の集積・流通、利用法の確立が急務である。2)「ゲノム育種」最近、成功例の報告が続くと共に、産業実用化が進んでいる。3)「陸上養殖」本格的に水産業の中核になってきた。4)「新規代替飼料」魚粉飼料に依存しない新規の養殖用飼料の開発が進められている。5)「ブルーカーボン」引き続き様々な研究プロジェクトや施策のキーワードとなることが想定される。6)「プロテオーム解析」水産分野でも急速に取り込まれ、適用

範囲を広げている。7)「ニトロプラスト」直近の話題として、海洋中の単細胞藻類が細胞の中に窒素を固定する細胞小器官をもつことが発見された。8)「アミノ酸プロファイルによる健康管理と未病対策」健常状態のアミノ酸プロファイルに近づける食生活で積極的に介入して健康寿命を延伸することが期待される。9)「エネルギー投入量の小さい貯蔵・保蔵方法の確立」例えば常温制菌システムを構築すること等の解決策がある。10)「水圏生物のバイオミネラリゼーションを利用した炭素固定技術」貝殻等の形成機構を利用して低エネルギーで炭素固定する技術を開発する等の話題がある。11)「水圏生物の二次代謝産物の生合成機構」従来、天然からは微量しか得られなかった水圏生物由来の有用化合物を実用化規模で入手する道が開かれた。12)「微細藻類によるバイオ燃料生産」最近の微細藻類に関する生物学、生化学、分子生物学的知見の拡充から、実用化の可能性が見えてきている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大橋 瑞江

所属・職：兵庫県立大学環境人間学部・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：森林科学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：対面開催、環境保全、デジタルツイン、分野融合、国際交流

本研究を遂行するにあたり、(1) 森林科学分野における国内外の動向調査、(2) 関連分野における動向調査、(3) 若手研究者の動向調査及び研究活動における課題の抽出、(4) 森林科学及び関連分野の研究活動における課題の抽出、の4つの項目について調査活動を実施した。

(1) については第135回日本森林学会への参加を報告する。ここでは、多様性保全、保健休養機能、森林放射能、デジタルツイン、樹木根の5つのセッションの企画があった。前者三つからは、人々の健康や健全な社会のための森林利用と環境保全についての研究が重視されていると考えられた。また、UAVデータ等を用いたデジタルツインの活用が期待されており、新たな研究分野として発展する可能性がある。樹木根のセッションは、地下部研究の難しさと重要性、発表データの貴重さを再認識させるものであった。学会では、企画シンポジウムも多く開催され、木質バイオマス、森林災害、農林業センサスデータについて研究動向の概観と、課題抽出への取り組みが認められた。

(2) については第58回根研究集会について報告する。根研究学会は、根の研究に関心を持つ研究者・学生・民間人等が、分野や立場を超えて交流することを目的としているが、本集会はコロナ禍以降の本格的な対面集会となったことから、従来にも増して盛んな交流が行われた。目立ったのは森林分野と作物分野の共同研究である。コロナによる隔離は、対面による研究交流の重要性と効果を再認識させるきっかけとなったのかもしれない。

(3) については、JSPS-LEADSNET 事業研究者交流会について報告する。この交流会は、国際的な研究活動の発展と、分野に囚われない研究者との交流や相互連携の強化を目的としている。研究者は研究時間に多くの労力を割いており、このような企画を行うことが不得手なので、若手研究者には新しい知己を得る良い機会になったと認められた。

(4) について、フィンランド森林資源研究所・Leena Finér 名誉教授の招へいを行ったことを報告する。教授は根研究集会で「Forest management and fine roots in changing climate」と題した講演を行った後、兵庫及びその隣接県の里山や人工林を視察し、関連研究室を訪問した。この招へいは、環境研究では日本を先んじてきた北欧の森林研究について深く知り、今後の日本の森林研究の方向性を考えるきっかけをもたらしたと考えられる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：阪倉 良孝

所属・職：長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：水圏生命科学分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：持続可能性、再生可能エネルギー、養殖、AI・DX化

水圏生命科学分野の周辺領域研究の動向を調査すべく、日本水産学会春季大会および秋季大会、日本魚類学会大会等に参加し、海外の動向については、欧米、オセアニア、アジア、アフリカ等の研究者へのインタビューを通じて情報収集に努めた。国内の関連学会において、ブルーカーボンを反映した藻類の増養殖に関する研究発表やシンポジウムの開催が特徴的に思われた。また、農水省のかかげるみどりの食料システム戦略を反映してか、養殖分野では、持続可能な養殖に関わる技術開発にかかる研究に加えて、AIやDXによる省力化を目指した技術開発と社会実装とを視野に入れた大型プロジェクトの採択が見られた。これらは今後も注視する必要のあるトピックと思われた。国外においても、持続可能な養殖の重要性はさらに高まっている様子で、欧米のように日本よりも大きな規模での生産施設を展開しようとしているところと、東南アジアやアフリカ諸国にはバイオフィロック等の既存の技術を洗練して安定した生産につなげようとする試みなどが見られた。

再生可能エネルギーと漁業および養殖業との協調について、洋上風力発電の先進国であるスコットランドの研究者との討議を行い、また着床型洋上風力発電を積極的に進めている台湾における洋上風力発電と漁業協調にかかるワークショップへ参加をした。スコットランドの場合は、漁業協調よりも付帯設備導入に伴う環境変化と生物影響への調査の力点が置かれているのに対し、台湾の方は環境変化はもちろんのこと漁業者との協調に対して大きな努力が割かれており、より我が国より、あるいはアジア寄りのアプローチであると思われた。これらの調査からは、単純に再生可能エネルギー施設と環境・漁業問題という側面ではなく、これらの施設から得られるエネルギーを具体的にどのように水産業へと還元するかという視点が重要視されており、水圏生命科学分野、特に養殖業関連の研究との連携は積極的に推進されるべきところであると思われた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：高野 義孝

所属・職：京都大学大学院農学研究科・教授

区分：農学・環境学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：植物保護科学関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：最新研究、将来的方向性、AlphaFold2

現在、世界的には毎年 10～15%の作物が病原体による感染症によって喪失しており、これは約 8 億人分の食糧に相当する。したがって、この病原体から作物を効果的に保護する技術を開発するためには、植物保護科学が大きな役割を果たすことは言うまでもない。本調査研究においては、この植物保護科学関連分野の中の、特に植物—微生物間相互作用研究の最新の学術研究動向を掴むために、関連する国内外の学会に参加し、その発表から情報を収集するとともに、この分野をリードする研究者にインタビューを実施することで、論文化されている内容だけではなく、今後、論文化されていく内容、あるいは将来の方向性などについても調査を実施した。まず、2023年7月16日から20日に米国のロードアイランドで開催された第19回国際分子植物・微生物相互作用学会（2023 IS-MPMI Congress）に出席し、調査を実施した。本国際学会には植物—微生物間相互作用研究分野をリードする著名な研究者が多く出席するため、当該調査を実施するための最適な学術集会である。まず、抵抗性品種の作成において非常に大きな役割を果たしており、NLR と総称される分子については、近年、クライオ電子顕微鏡法により、その構造的特徴が明らかにされたが、さらに構造学的研究が急速に進展していることが判明し、NLR 分子に対する構造学的アプローチは今後も注視すべき領域と思われる。一方で、多くの発表において、AlphaFold2 の活用が報告されており、植物病原微生物の分泌型病原性因子（エフェクターと総称）に対する AlphaFold2 による網羅的な解析は大きな威力を発揮していた。AlphaFold2 をはじめ、立体構造予測プログラムのさらなる進化を想定するなら、予測プログラムに基づく構造予測とそれに基づくウェット解析というアプローチも、今後、さらに重要性が増していくことが強く予想される。また、微生物の中には植物に病気を起こすものだけではなく、植物との相互作用において互いに利益を得るような微生物（共生微生物）も存在する。この寄生者と共生者の境界が従来考えられているよりも、曖昧であることが近年の研究により明らかになってきており、こういった問題へのアプローチもさらに加速していくだろうという印象をもった。2024年の3月に参加した日本植物病理学会大会においても、大筋においてはこのような動向は見て取れたが、本領域における立体構造学的研究に関してはさらに国内で加速していくべきと実感した。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：青木 洋子

所属・職：東北大学大学院医学系研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「医歯薬学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—小児医学とその関連分野における疾患病態解析における新たな潮流と展開—」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：国際交流、新たな研究分野

近年、ゲノム解析研究において全エクソーム解析や全ゲノム解析が希少性疾患の原因解明のための解析プラットフォームとして使われている。さらに網羅的なエピゲノム・RNA・プロテオーム解析などが疾患の原因解明・病態メカニズム解明のツールとして用いられるようになってきた。次世代シーケンサーから排出されるデータを解析するプラットフォームや、バリエーションの解釈に用いられる正常人/疾患のバリエーションデータベース、バリエーションの機能を予測する *in silico* 解析ツールについても開発が進んできたが、同定されたバリエーションの機能解析・モデル生物作製による病態解明研究が今後の課題と考えられている。

今年度は、Human Genetics Asia 2023(東京)、8th International RASopathies Symposium(アメリカ、オンライン参加)などの国際学会を含む学会に参加し調査研究を行った。全エクソーム解析や全ゲノム解析を用いた疾患ゲノム解析、網羅的なエピゲノム解析、single-cell RNA 解析など網羅的な解析ツールを用いた研究の情報収集を行い、各国の研究者との情報交換を行った。バイオインフォマティック解析についての調査研究としては、遺伝学的検査にて同定された意義不明のバリエーションの解釈を行うための補助ツールが使用可能な体制を整えた。具体的にはタンパクの立体構造予測ツールである Alphafold multimer を用いて関連分子との多重体の構造予測を行い、意義不明のバリエーションの位置等から機能への影響の予測が可能となった。TogoVar (<https://grch38.togovar.org/>) で参照可能な Alphasense の病原性予測データと合わせて多面的な予測も可能となった。今後情報解析データと、細胞やモデル生物解析による分子生物学的な手法を用いた機能解析とをつなげることが重要と考えられる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中島 裕史

所属・職：千葉大学大学院医学研究院・教授

区分：医歯薬学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：医歯薬学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—基礎と臨床の
相互理解による新たな潮流と展開

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」
「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ヒト免疫学、新型コロナウイルス、新たな研究分野・トレンド

免疫学は遺伝子改変マウス技術とフローサイトメーターをはじめとする解析技術の進歩によりこの30年で大きく進歩した。アレルギー疾患や自己免疫疾患の免疫学的病態もマウスモデルを用いた解析によりその理解が進み、サイトカインを標的とした抗体医薬として臨床の場に還元されている。マウスモデルを用いた基礎研究は各種免疫疾患の病態解明に大きく貢献したが、一方で、ヒト免疫疾患にみられる、誘因、重症度、治療反応性などの広範な多様性に関する理解は進んでいない。多様性の一部は、遺伝的背景と環境要因に起因する炎症のエンドタイプによると推察されるが、その解明は未だ不十分である。そのため、免疫疾患の治療では病名と重症度など最小限の表現型に基づく“one-size-fits-all approach”がとられてきた。エンドタイプに関する免疫学的情報と分子標的治療の臨床情報を総合解析し、バイオマーカーを用いたエンドタイプごとの治療戦略“precision medicine”への進化・深化を目指しているがまだ道半ばである。

ヒト免疫学領域に関しても全ゲノムシーケンスの技術革新により単一遺伝子疾患を中心に大きな進歩を遂げている。さらに人類が初めて遭遇した新型コロナウイルスに対する免疫応答、mRNA型ワクチンに対する免疫応答の解析を通じて、ヒト免疫学の理解を深めた。中でもシングルセル解析技術の普及と、Visium、Xeniumを始めとする空間トランスクリプトーム解析の進歩は、細胞間相互作用や疾患特異的な免疫病態の解析を可能にし、ヒト免疫学の理解に大きく貢献した。今後もマウスモデルで得られた基礎的知見とヒト疾患に関する臨床的知見を人工知能を用いて統合解析することで、病態の理解がさらに深化することが期待される。ヒト免疫学研究では欧米諸国に遅れをとった本邦だが、基礎免疫研究の基盤やマルチオミクス技術を活かし、ヒト免疫学研究においても存在感を増しており、今後の発展が期待される。

一方で、医師の働き方改革により、2024年度より医療に従事する勤務医（大学教職員を含む）の時間外・休日労働時間は、原則として年960時間が上限となり、臨床研究の停滞が危惧される。この点に関しても今後の動向を注視し、手遅れとなる前にサポート体制を整備すべきと考えられる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：小田 竜也

所属・職：筑波大学医学医療系・教授

区分：医歯薬学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：「消化器外科学（臨床）分野に関する学術研究動向及び学術振興方策-外科学における AI/手術ナビゲーション/ロボット手術の現状と展望」

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ロボット手術、画像誘導外科手術システム、リアルタイムナビゲーション、医工連携、異種移植、常温環流臓器保存

現在、そして近未来の外科手術室は医療と機械工学および情報工学が融合する、医工連携を最も象徴的に表現する劇場 =operating theater である。ロボット手術は大きな開腹創を必要としないという腹腔鏡、胸腔鏡などの鏡視下手術のメリットに加え、鏡視下手術においては道具が全く可動しないデメリットを完全に払拭する多関節機能による自由度を備えている事により、急速に外科手術全体に拡散している。ただし、従来の手術よりも時間がかかる事と、高コストという大きな2つのデメリットが併存する事も議論されており、医療経済や医療者の働き方改革に与える悪影響も懸念されている。また、画像誘導外科手術システムの発展もめざましい。CT スキャンやMRI などの画像を術前にシミュレートする為に人工知能、機械学習、バーチャルリアリティ（VR）および拡張現実（AR）の技術がふんだんに応用され、外科手術のトレーニングや手術計画の立案に活用されている。しかしながら、手術中に術中画像から患者の解剖構造を表示させるリアルタイムナビゲーション技術はまだ未熟で臨床応用に耐えるシステムはまだ無い。このロボット技術と AI ナビゲーション技術が成熟して融合した先には、完全自動化されたロボット手術の未来があるが、2024 年の現在においてはその具体像はまだ見えていない。

もう一点、外科領域における大きなトピックは移植医療分野における異種移植と常温機械環流による臓器保存である。人体に有害なブタの遺伝子の除去と、特定のヒトの遺伝子の導入、合計 69 の遺伝子改変をゲノム編集技術「CRISPR」を用いて行った遺伝子改変豚から人への心臓、および腎臓移植が行われた事は、生物・医学領域におけるものすごく大きな出来事である。さらに、従来の臓器移植では血流が無い臓器を冷却して細胞代謝を止める冷阻血保存が行われてきたが、機械灌流装置を摘出臓器に装着して細胞代謝を止めない常温機械環流による臓器保存が米国では急速に進んでおり、我が国でも検証、導入を検討すべき分野である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：小川 毅彦

所属・職：横浜市立大学大学院医学研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：多能性幹細胞からの配偶子形成に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：多能性幹細胞、配偶子形成、卵形成、精子形成

最新の生殖細胞研究は、ES/iPS 細胞から卵巣体細胞である顆粒膜細胞を作り出し、同じく ES/iPS 細胞から誘導した始原生殖細胞と混和して卵胞を形成し、これを培養して成熟卵を作成することに成功している。この成熟卵を顕微授精に用い、健康な産仔も得られている。このような最先端の研究成果の多くは日本人研究者によってなされており、この領域の研究は日本がリードしているのが現状である。ただし、これらはすべてマウスを用いた研究成果であり、ヒトの細胞での報告はまだない。今後の研究はヒトでの研究に進んでいくものと思われる。当然ながら倫理的、法的、社会的な問題（Ethical, Legal and Social issues; ELSI）をはらんでおり、社会の関心を集めている。日本における ELSI 議論は世界から注目されていると言える。

これまでの基礎研究の発展を基に、体細胞から生殖細胞を作ることが可能となり、2つの細胞群の間には過去において想定されていたような「超えられない壁」はないことが明らかとなった。体細胞から配偶子を作り、産児を得ることさえ技術的には可能になるだろう。だが改めて、生殖細胞と体細胞の違いは何なのだろうか。その違いの詳細を問い詰めていく基礎研究がこれから待ち望まれる。ヒト多能性幹細胞から得られる配偶子を基礎研究に使用することが認められた場合、そのような疑問に答える研究が可能となる。ヒトの配偶子形成に関する基礎研究も格段に進歩するだろう。それはヒト配偶子の質の評価にもつながり、生殖医療の次なる革新をもたらすだろう。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：久保田 聡

所属・職：岡山大学学術研究院医歯薬学域・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：口腔科学およびその関連分野に関する学術研究動向ー生命科学・健康科学を取り巻く新たな潮流の中での口腔科学の動向と、今後に関する指針

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：老化、イメージング、相分離、RNA、災害歯科

本研究を開始した2020年当時の調査と分析から、医学生命科学において現在から近未来に続く研究を規定するキーワードとして「老化」「イメージング」「相分離」が浮かび上がった。そこで最終年である本年は、4年を通じてこれらの動向を経年的に分析した。その結果、医学生命科学分野の学会で「老化」を掲げるセッションは2020年からその後の3年間で減少の一途を辿り、その他の登場頻度も2022年をピークに減少に転じた。これら所見は「老化」「相分離」や「イメージング」は、いまや重要な生命現象・分析方法論の一種として定着したか、あるいは忘れられつつあるかを示唆する。一方2023年開催の同じ学会の演題には、これらキーワードは「オルガノイド」や「エピゲノム」と同様の頻度で登場し、もはやこれらトピックスは一時の流行ではなく、医学生命科学における重要事項となったと結論づけられる。また2023年度新たに注視されたトピックスには多様性が際立つとともに、幹細胞、ウイルス、RNAといった既存のトピックスに新たな光をあてようとする研究の動向も見てとれた。一方口腔科学およびその関連分野の学会でも、上記3つのキーワードのうち「老化」と「イメージング」を取り上げた演題はコンスタントに含まれ、両トピックスが口腔科学領域にも浸透・定着しているのとは対照的に「相分離」はほぼ無視されていた。なお2023年に特徴的だった災害歯科・法歯学と、遺体対応に特化したシンポジウムが並立していたことで、口腔科学は「死」というキーワードを通じ、異分野と融合した学術分野を開拓し始めているかに見える。これに倣って医学生命科学でもひろく「死」と正面から向き合うことで、文理の垣根を超えて新たな学術領域を開拓して行けるのではないかと思う。なお医学生命科学分野で広く重要性が認められた「相分離」が、まったく口腔科学に浸透していないことには危機を感じる。これを解決するためには新たな研究方法論を開発し、情報を発信しつつ口腔科学領域の研究者と共同研究を推し進めて行くことがひとつの方策と考え、今後本研究員がそれを実践する所存である。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：杉浦 真弓

所属・職：名古屋市立大学大学院医学研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：産婦人科分野に関する学術研究動向～少子化問題に貢献する生殖医学の展望

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：不育症、不妊症、生殖医療、着床前遺伝学的検査

欧州生殖医学会学術集会（6月25-28日 Copenhagen）では、加齢によって卵子染色体異数性が増加する機序、母体血 cell free DNA を用いた絨毛染色体検査、菌叢に異常のある不育症患者にドナーの *Lactobacillus* 優位な帯下を移植する治療などユニークな研究が発表されていました。他に、“live biotherapeutic product”に分類される Lactin-V、microbiome、慢性子宮内膜炎と生殖領域の炎症に関する研究が増加していました。1990年に最初の着床前診断 PGT を発表した Handyside 先生は、レビューの中で、多因子遺伝を診断する PGT for polygenic risk scoring (PRS、PGT-P) について触れました。バイオバンクを活用した大規模ゲノムワイド関連解析によって多因子遺伝性疾患のみならず、身長、知能指数などの関連遺伝子が報告されており、それらを組み合わせたものが PRS です。欧州では商業ベースで PGT-P が実施されており、知能指数の高い子どもを選ぶことなど倫理的議論を呼んでいます。

日本産科婦人科学会は倫理的理由から着床前染色体異数性検査 PGT-A を禁止してきましたが、高齢妊娠女性からのニーズが高まったため、2022年1月に見解を改訂し、実質的に実施可能となりました。日本には生殖医療や遺伝に関する法律がなく学会が自主規制している唯一の国でしたが、2023年6月に「ゲノム法案」が可決したことでようやく生殖医療・技術に関する法制化が進む兆しが見え、以下の提言をしました。

日本学術会議「倫理的課題を有する着床前遺伝学的検査（Preimplantation Genetic Test, PGT）—特に PGT for Monogenic/Single gene defect (PGT-M) の日本における適切な運用のためには、生殖医療に関わる生命倫理の検討を所管する公的プラットフォームの設置が必要である。」

日本医学会「ゲノム医療の生命倫理への配慮が必要な領域は、医療に直接関係するものだけでなく、クローン技術・ゲノム編集などの基礎研究、保険会社におけるゲノム情報の取扱い、親子鑑定のあり方など、多岐にわたる。技術的進歩及び社会環境の変化が著しいことから、不当な差別が引き起こされないようにするためには、生命倫理について審議・監理する公的プラットフォームを構築・運営する必要がある、そのための適切な法整備を行うべきである。過去の優生政策への深い反省を忘れてはならない。」

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：五十嵐 和彦

所属・職：東北大学大学院医学系研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：医化学関連分野に関する学術研究動向 -生物情報科学との融合研究の動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：医化学、トランスクリプトーム、情報科学技術、研究インフラストラクチャー

基礎医学領域では、情報科学技術を活用した研究が急速に発展しつつある。本調査研究では、医化学関連分野を中心に生物情報科学との融合研究の動向を国内外にて調査し、注目すべき研究例について、研究体制や研究インフラストラクチャー、工夫などを調査することを目的とした。

前年度に引き続き、異分野融合が進んでいると考えられた研究領域の例として、鉄依存性細胞死フェロトーシスとクロマチン制御を取り上げ、調査を実施した。研究手法としては特にトランスクリプトーム変化とメタボローム変化の時系列解析に関する論文が今年度も目立っていた。研究体制としては、欧米の主流は主研究者 PI のもとに情報科学も含めて各技術を有する博士研究員が集まり融合的研究チームを構築することをベースとしつつも、生化学系 PI と情報科学系 PI がほぼ対等な形で進める共同研究も目立つようになってきた。さらに、情報科学系 PI がリードするフェロトーシス研究論文も注目された。

米国シカゴ大学との共同研究を通して、彼女らが空間トランスクリプトームなど最新技術を次々と導入して研究を進める工夫を調査することができた。技術を提供する研究コアファシリティーに対して大学が潤沢な予算（競争的予算も含む）を提供し、技術開発・導入を奨励し、それを研究者が活用する仕組みが動いている。研究者からすると最新技術へのハードルが極めて低い、さらには、最新技術を使わない研究は行わない、という姿勢が徹底していた。インド学会参加の機会を活用して、Jawaharlal Nehru Center for Advanced Scientific Research、Indian Institute of Science Education and Research Pune、Kalinga Institute of Industrial Technology を訪問し、研究室の在り方について調査した。インドでは assistant professor 時から完全独立で研究室を立ち上げ、小さいチームが多数あることで研究の多様性を広げていることがうかがえた。各研究室は PI と大学院生が中心であり、各研究室がカバーする研究テーマは狭い傾向にあるが、チーム間の共同研究も活発であり、例えばクロマチン研究者と情報科学者の 2 つのチームが共同するなど、独自性と連携のバランスを模索する様子が見られた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大高 章

所属・職：徳島大学大学院医歯薬学研究部・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ペプチド・タンパク性医薬分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：ペプチド医薬品、中分子、DDS、ペプチド修飾

ペプチドの医薬品展開を図るうえで、単にペプチド分子の活性を増強させるのみでは不十分で、ペプチドを安定な形態で、求める部位に送達させる手法の開発が極めて重要であり、現在、ペプチドのような中分子医薬品については、そのDDS技術の開発が極めて重要になっている。これら研究領域の推進には、① ペプチド分子安定性向上に資する方法論の開発 ② 作用部位に適切に送達する技術の開発 ③ 新たな医薬品シードとなるペプチド分子の創出に関する研究などが求められている。学術動向調査を通じて、これらいずれの研究領域も大変活発に研究が進められており、今後上記の各領域に新たな研究手法が導入されるとともに、領域横断的な融合研究がさらに活発になるとの感触を得た。さらに、多彩な分野の融合研究の発展は、新たな学問分野の創生につながるとの感触を得た。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大塚 稔久

所属・職：山梨大学大学院総合研究部医学域生化学講座第一教室・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：神経科学一般関連分野に関する学術研究動向

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：大規模研究、digital brain、ポストコロナ

神経科学分野では、2013年から開始となっていた米国の Brain Initiative および EU の Human Brain Project が終了し、前者は継続プロジェクト、Brain Initiative2.0 がスタートした。ここでは、包括的なヒト脳細胞アトラス、哺乳類の全脳マイクロコネクティビティ・マップ、脳細胞タイプへの精密アクセス・ツールという3つの大規模なテーマ設定がなされている。これらは、これまでの米国 Brain Initiative の成果を利活用し、更に発展させることで、神経科学研究とヒト脳疾患の治療に変革をもたらすと期待されている。一方、EU の HBP の後継プロジェクトは未だ明確には示されていないが、EU 各国がヴァーチャルに連携する EBRAIN が継続されている。断片的になりがちな EU 各国の大規模データ・情報を、国境や分野を超えて統合、連携させることにより、digital brain の構築を通じて脳機能の根本原理の解明や精神神経疾患の理解と治療法の開発につなげるとしている。また、中国も北京と上海に2つの Brain Initiative を有しており、かなり大規模に脳科学分野に投資している印象を受ける。このような流れの中で我が国では、AMED が主導する大規模脳研究プロジェクト・革新脳および国際脳が3月で終了した。そして、その後継プロジェクトとして、脳神経科学統合プログラム（脳統合プログラム）が同3月に新たに開始された。このような、AMED や JST が先導的に進めるトップダウン型の脳科学研究と JSPS の科研費によってサポートされるボトムアップ型の個別の脳科学研究を如何に連携・融合させていくかが今後の課題と思われた。

ポストコロナとなり、ハイブリッド開催の研究会・学会が未だに主流であるが、対面のみ学会なども増えてきた印象を受ける。参加者の声を聞くと、研究会やシンポジウムは対面の方が、ディスカッションも充実し、得られる情報の質も高いと皆感じているようであった。一方、Web 参加のメリットもあるものの、ハイブリッド開催は対面開催よりも開催費用が高額になることから、主催者の経済基盤が開催形式に影響を及ぼすことが考えられる。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：宿南 知佐

所属・職：広島大学大学院医系科学研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：口腔・運動器科学分野に関する学術研究動向－健康長寿社会の実現に向けた新たな潮流と展開－

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：口腔科学、運動器科学、フレイル、骨粗鬆症、サルコペニア

本研究では、口腔科学や運動器科学分野における疾患や加齢によるフレイルに関して、国内外の研究動向を中心に調査し、今後の課題や展望についても考察した。口腔は、食物の摂取、咀嚼、嚥下だけでなく構音など多種多様な役割を果たしている。口腔機能が衰えると栄養が不足し身体的機能が低下し認知症を併発しやすくなる。また、骨粗鬆症による骨折、関節や脊椎の疾患、筋力の低下するサルコペニアによって寝たきりになると、口腔機能はさらに衰えて、摂食嚥下不良によって誤嚥性肺炎などで命を落とす事態に至ることも少なくない。疫学コホート研究の進展によって、ライフステージのどの段階でどのように介入することによって、要介護状態を予防することができるかが明らかになりつつある。その一方で、健康長寿社会の実現に向けて、口腔や運動器疾患の原因を分子レベルで解明しようとする様々なアプローチが展開されている。サルコペニア・フレイル予防における運動の有効性については、分子機序の解明が進められており、ミトコンドリア機能の促進や骨格筋から分泌されるマイオカインによる臓器連関の重要性が示されている。運動時に頭部に加わる適度な衝撃によって、血圧調節中枢に力学的な刺激が加わり、高血圧が改善することも報告されている。運動器科学の分野においても、一細胞レベルでの遺伝子発現やゲノムDNAの状態を解析するシングルセル解析は、基礎研究のみならず、臨床検体を用いた研究にも波及している。今後は、位置情報が得られる空間オミクス解析へ研究の方向がシフトしていくと考えられる。口腔科学の分野では、幹細胞や器官特異的前駆細胞から形成される口腔オルガノイドモデルの構築が進んでおり、口腔内の様々な疾患の病態メカニズムの解明に向けた基盤が整いつつある。疾患発症の分子メカニズムに基づいた創薬や運動の有効性を裏付ける分子レベルでの理解が進むことによって、疫学的アプローチに基づく知見が生かされ、健康寿命の延伸に寄与することが期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：西田 幸二

所属・職：大阪大学大学院医学系研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：眼科学関連分野に関する学術研究動向-分野横断的アプローチによる眼疾患克服の動向と展望-

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：眼オルガノイド、再生医療、失明疾患

学会「127回日本眼科学会総会」の座長、オーガナイザーとして、また ARVO (Association for Research and Vision and Ophthalmology) および「第77回日本臨床眼科学会」に参画した。これらも踏まえ、最近注目されている研究分野である、眼オルガノイド研究、眼再生医療およびそれらとの関りも含め、網膜色素変性、緑内障、糖尿病網膜症の眼科研究動向について述べる。ヒトの眼はマウス等の動物とは異なる構造や機能を有する為、動物実験で研究を進めることには限りがある。そのためヒトの眼の組織を模したオルガノイドの研究が近年注目されてきた。ヒトの眼は、角膜、水晶体、網膜、視神経等の多数の組織から構成されるが、網膜のオルガノイドの研究が多数を占めている状況である。以下、論文タイトル、抄録、キーワードを含む論文件数を Scopus にて調査を行った。現在までに、網膜オルガノイド(retinal AND organoid)を含む論文報告は500件であった。そのうち2022-2024年において、237報（全体の47%）が報告されており、近年、網膜オルガノイドの研究が活発化していることを窺わせる。一方、近年、網膜のみならず角膜や網膜色素上皮を含む3次元眼オルガノイドをヒト iPS 細胞から作製することに成功した報告があり (Isla-Magrané et al, Stem Cell Research & Therapy, 2021)、今後とも、眼の様々な組織におけるオルガノイド研究が推進されていくと推測する。また COVID-19 (SARS-CoV-2)の眼の細胞腫への感染率を、眼オルガノイドを用いて検証した報告もあり (Eriksen et al, STAR Protocols 2022)、社会医学的側面から眼オルガノイドの貢献があることは興味深い。網膜色素変性(retinitis pigmentosa)、緑内障(glaucoma)および糖尿病網膜症(diabetic retinopathy)における再生医療(regenerative medicine)をキーワードに検索すると、2022-2024年において、それぞれ31報（全体105報の30%）、41報（全体143報の29%）、26報（全体80報の33%）が報告されている。近年、科学技術の進展により、オルガノイド技術とそれに伴うオミックス解析等の新しい解析・測定技術の発展がみられ、近年急速にオルガノイド・眼再生医療の研究が進展していることが窺える。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：藤城 光弘

所属・職：東京大学大学院医学系研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：消化器内科学分野に関する学術研究動向—消化器内科学と他分野融合研究の新展開

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：消化器疾患、臨床内科学、医工連携研究

消化器内科学は器官システム内科学の1分野であり、消化管、胆道・膵臓、肝臓に発生する疾患の病態解明研究、診断・治療法の開発研究を主に行う学術研究分野である。消化器疾患の診断・治療には各種医療機器が必要不可欠であることから、その開発・改良を目指した人間医工学や人間情報学などの工学系学術研究分野との医工連携研究も盛んに行われており、診療に伴い付随的に得られた生体情報や生体試料を用いた、生命現象・疾患病態の解明研究もみられている。

以上の背景から、消化器内科学に纏わる研究成果の動向を調査したところ、数々の新知見が2023年度に開催された国内外の消化器関連学術会合および学術専門雑誌で報告されていた。

なかでも Nature 誌に掲載された”Profiling the human intestinal environment under physiological conditions”(Shalon D, et al. Nature. 2023 May;617(7961):581-591)は、現存する内視鏡機器を超える、日常生活を行っている生理的状态を観察し生体試料を採取する新たなデバイス開発を見据えた医工連携研究の必要性を示している点で、Annals of Internal Medicine 誌に掲載された”Real-Time Computer-Aided Detection of Colorectal Neoplasia During Colonoscopy : A Systematic Review and Meta-analysis”(Hassan S, et al. Ann Intern Med. 2023 Sep;176(9):1209-1220.)は、AIを用いた大腸内視鏡検査の現状と将来的な課題を明らかにした点で、New England of Medicine 誌に掲載された”Usui Y, et al. Helicobacter pylori, Homologous-Recombination Genes, and Gastric Cancer. N Engl J Med 2023; 388:1181-1190”は、腫瘍学、微生物学、遺伝学、公衆衛生学、情報科学などの様々な専門家の学際研究により、特定遺伝子の病的バリエーションとヘリコバクターピロリ感染との関連について世界的な研究成果を本邦から発信しえた点で注目に値する。

上記の代表例が示すように、消化器内科学の学際的研究に着目して学術研究動向に関する調査研究を実施することにより、本分野においてわが国が進むべき学術領域の方向を示すことが可能になるものと考えている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：茂呂 和世

所属・職：大阪大学大学院医学系研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：アレルギー学分野に関する学術研究動向-急速に選択肢が増えた治療薬の作用機序から紐解く病態研究の潮流と展開-

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：アレルギー、抗体製剤、治療選択

抗 IL-5 抗体（Mepolizumab、Benralizumab）、抗 IL-5 受容体抗体（Benralizumab）、抗 IgE 抗体（Omalizumab）、抗 IL-4/IL-13 受容体抗体（Dupilumab）抗 TSLP 抗体（Tezepelumab）がアレルギー性疾患に用いられるようになったことから、各抗体製剤の作用機序を探索する研究や、治療選択ガイドラインの基盤を創出につながる研究、治療前後の患者検体を用いた臨床研究が盛んになってきた。抗 IL-5 抗体および抗 IL-5 受容体抗体、抗 IgE 抗体の標的がそれぞれ、好酸球、好塩基球とマスト細胞と明らかである一方で、抗 IL-4/IL-13 受容体抗体の標的は広範で真の作用機序がわかっていないこと、また、抗 TSLP 抗体に至っては TSLP の産生源も標的も定かでないことが、抗体治療の作用点に関する研究を遅延させている。抗体製剤の開発に伴い、アレルギーが治らない病気から治る病気へと変わってきたが、同じような症状を示すアレルギー患者に対し同じ製剤を用いても、患者ごとに効果が大きく異なること、また、どの患者にどの抗体を適用するか基準が科学的根拠に基づいていないことが解決すべき喫緊の課題となっている。さらに、生物学的製剤は効果が高い一方で、アレルギーを根治するには至っていない。高額な医療であることから継続できないケースも増えており、製剤によって症状を鎮火させた後にどのように再燃を防ぐかが将来的な課題となっている。

アレルギーの発症機序に関しては、従来から知られている抗原特異的な反応と、近年明らかになってきた自然リンパ球による抗原非依存的な反応の 2 つが定着してきた。一方で、患者によってどちらのメカニズムが主軸となってアレルギー症状を呈しているのかを検査する手立てがまだ確立していないこと、また、それぞれを抑制するための効果的な治療法の選択が確立していないことが問題となっている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：柿田 明美

所属・職：新潟大学脳研究所・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：病態神経科学分野に関する学術研究動向 -神経病理学とその周辺分野における新たな潮流

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：病態神経科学、神経病理学、単一核・単一細胞の分子プロファイリング、空間的トランスクリプトーム解析

病態神経科学分野では、ひとの脳神経疾患・精神疾患の病態形成機序を知り、診断や治療法を確立することを目的とした研究が行われている。方法論的には、これまでモデル動物や細胞系を用いた様々な研究が重ねられ、多くの知見が得られてきた。現在では、ひと疾患脳組織（病理解剖や外科的摘出術によって得られた病巣組織）を用いた単一核・単一細胞ごとの分子発現解析（snRNA-seq, scRNA-seq）が可能となり、バイオインフォマティクスで情報処理することにより細胞腫ごとの分子発現プロファイルが得られる様になりつつある。更に、病理組織切片上で同定可能な個々の細胞の位置情報を組み合わせる（空間的トランスクリプトーム解析）ことにより、細胞と病態との関連性がより深く理解できる技術基盤が整いつつある。この革新的技術は、基礎系研究者や臨床系研究者を含む広範囲の専門領域の研究者がそれぞれの専門性を融合させて進めることにより、格段に精度の高い、かつ有用性の高いデータが得られるものと期待される。本調査研究は、病態神経科学分野やその周辺分野における世界的な研究動向：トレンドとして、この方法論を取り上げ up-to-date な技術的進歩と研究動向を調査した。ひと剖検脳組織を用いた snRNA-seq 研究結果が 2020 年に初めて報告され (Nat Med)、現在では多くの研究者が興味を持つトレンド技術になったと判断する。しかしながら論文報告数はいまだ少ない。この背景として、膨大な raw data を処理するバイオインフォマティクスが困難であることと、使用できる標本の質が担保されにくいことが考えられた。つまり、これらの方法論は、病態神経科学分野においても多くの研究者が注目する魅力的な解析技術であるものの、本調査研究期間においてはいまだ解決されるべき重要な課題が残されている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：工藤 與亮

所属・職：北海道大学大学院医学研究院・教授

区分：医歯薬専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「放射線科学関連分野に関する学術研究動向ーイメージング・画像解析の新たな展開」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：画像診断、医療 AI、国際シンポジウム

放射線科学の分野においては、技術の進歩により画像診断の精度が向上している。特に人工知能（AI）の利用が顕著であり、画像解析の自動化や精度の向上が進展しているのが特徴である。AIによる画像再構成技術や病変検出、分類、予後予測などの技術は臨床現場での使用が始まっており、生成系 AI を用いた読影レポートの自動生成も可能になっている。また、CT分野ではフォトンカウンティング CT による低被ばくかつ高解像度の撮像技術の研究が進んでおり、MRI では新たな核種を用いたイメージング技術の開発が注目されている。

医療 AI の研究や応用を深めるために、北海道大学をはじめとする様々な機関がシンポジウムを開催しており、最新の研究成果を共有している。令和5年8月に北海道大学で開催された医療 AI シンポジウムでは、国内外から201名が参加し、医療 AI の最先端研究についての情報交換が行われた。また、国際シンポジウムや北海道大学とソウル大学校のジョイントシンポジウムでは、異国間の AI 導入段階や考え方の違いについて議論がなされ、日本と韓国間のコラボレーションの可能性が探られた。令和6年3月に開催された安定同位体イメージングシンポジウムでは、最先端のイメージング技術や解析技術が紹介された。これらのシンポジウムは、参加者間の活発な討論を通じて、今後の研究方向性や技術開発のヒントを提供している。

これらの活動は、放射線科学および医療 AI 分野の研究者たちにとって、技術の最前線を知り、国内外の研究者との交流を深める貴重な機会を提供している。また、新しい技術や手法の開発に向けた刺激となり、分野の進展に大きく貢献していることが見て取れるため、最先端分野での比較的小規模なシンポジウムも学術の発展に有効であることが示唆された。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：坂田 麻実子

所属・職：筑波大学医学医療系・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「血液学および腫瘍内科学関連分野に関する学術研究動向 – データサイエンスを取り入れた基礎研究の潮流と臨床実装を目指した免疫療法の将来展望-」

主な調査方針： 1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：AI・DXによる研究の変革新たな研究分野・トレンド、若手研究者養成、国際交流

血液学および腫瘍内科学関連分野においては、研究動向がダイナミックに変化し、多くの血液学の研究者に影響を与えうる血液腫瘍学、血液免疫学を中心として調査研究を行った。

血液腫瘍学領域やその周辺分野におけるトレンドとして、ゲノム解析・遺伝子発現解析・エピゲノム解析等について、大規模あるいは一細胞レベルで行うマルチオミクス研究は、引き続き大きな潮流であることを確認した。さらには、一細胞レベルで空間解析を行う研究についても、最初の研究成果が発表されていた。こうした最新のマルチオミクス解析によって得られたビッグデータを解析する手法についても、一層の開発が進んでいた。今後、AI等の技術革新によってビッグデータの解析方法の開発は飛躍的に進んでいくことが予想される。同時に、同一のデータセットから多様な結果が生まれうる。そこで、こうした多様な結果が科学的・生物学的見地から妥当であるかどうかという点についても、検証する方法論を確立していく必要があると考えた。

血液免疫学領域やその周辺分野においても、血液腫瘍学と同様にマルチオミクス解析を用いた一細胞レベルでの網羅的解析から効果予測等について大きな進捗がみられた。免疫療法のなかでも、T細胞に改変した受容体を導入することで特定の抗原をもつ腫瘍細胞に対する抗腫瘍効果を高めたキメラ抗原(CAR)-T細胞療法の研究は、引き続きがん研究の最前線にあり、標的抗原やサイトカインなど付加的な遺伝子発現等を組み合わせることによる抗腫瘍効果の最適化、T細胞以外の細胞障害活性のあるNK細胞等の応用の研究が進んでいた。研究のステージは基礎研究から臨床実装まで幅広く、特に、複数の新たなCAR-T細胞療法が臨床実装化に向けた研究フェーズに進んでおり、研究分野として一段成熟したという印象を受けた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中島 美紀

所属・職：金沢大学ナノ生命科学研究所・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：薬物動態学分野に関する学術研究動向 ―安全創薬研究の潮流と展開―

主な調査方針：1. 専門分野やその周辺分野における「最新研究」「融合研究」「国際性」「AI・DX化」に関する調査

キーワード：薬物動態、医薬品安全性、モダリティ

関連する学会等に参加し、薬物動態分野における安全創薬研究の動向について調査を行った。近年、ニューモダリティと称される新たな創薬シーズを医薬品として開発する動きが加速している。核酸やペプチド、抗体薬物複合体(antibody-drug conjugate)などのモダリティが創薬シーズとして期待されており、これらの体内動態分析や安全性評価ならびに評価法の開発やその妥当性に関する議論が盛んになっている。また、創薬において、臨床試験での開発中止は大きな損失をもたらすため、前臨床試験で医薬品毒性を正確に予測する必要があるが、動物とヒトとの種差ゆえにヒトでの毒性予測が困難という問題点がある。その問題の克服に向けて、ヒト由来細胞やオルガノイドを用いた医薬品安全性評価系の樹立に関する研究が活発化してきており、中でも MPS (Microphysiological System, 生体模倣システム)とよばれる、マイクロ流体デバイスを用いて作製された微小空間に iPS 由来細胞やヒト初代培養細胞、オルガノイドなどを播種し、生体に近い培養環境を構築した in vitro 培養系の開発が、国内外で進められている。異なる臓器同士を連結させ、よりヒトの生体に近い状態で薬物動態や医薬品安全性評価が可能になるか検討が進められている。培養方法等の技術面などに課題があり、今後のさらなる研究の発展が期待される。