

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中島 圭一

所属・職：慶應義塾大学文学部・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（特に日本史）分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—人文学研究のグローバル化と学際化—

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：歴史考古学、国際比較、史料研究、対外発信、中世史

新型コロナウイルス感染症のパンデミックによって交流が途絶していた間のヨーロッパの歴史研究における新しい動きを自分の目で確認するため、フランス・スペイン両国にまたがるピレネー山脈周辺地域の中世遺跡・史跡・博物館を中心とする現地調査を実施した。主要な調査の成果としては、遺跡の調査や整備が予算の縮小の影響を受けているなど、歴史研究を取り巻く環境が日本と似た状況にあることを示す事例に多く接したこと、考古展示の最先端を示す事例として近年ナルボンヌに新設された考古博物館 Narbo Via を見学できたことなどが挙げられる。後者については、同様に 2020 年代に入ってから開館した福井県立一乗谷朝倉氏遺跡博物館と比較すると、むしろ一乗谷の博物館の方が展示方法において優れているように感じられ、国内の研究レベルの高さを改めて確認することができたが、さらにヨーロッパの他の地域の事例を収集して日本の歴史研究の現在地を見定めていく必要があるのは言うまでもない。

また、日本の歴史研究の海外発信を考えるための糸口として、ヨーロッパ所在日本貨幣コレクション調査のプロジェクトに同行し、イタリア・ジェノヴァの Museo d'Arte Orientale 所蔵貨幣の調査などに参加したほか、フランス国立図書館所蔵日本貨幣のカタログ出版に関わる交渉に立ち会った。在外史料の調査・研究を通じた日本の歴史研究の成果の発信のもつ様々な可能性を把握するとともに、そこに至るための課題や手続についても認識を深めることができた。今後はさらに他の国々に所在の資料に関する情報の収集にも努めたい。

そのほか、中世日本の村落の実像にアプローチする、日本史学・考古学・民俗学などにまたがる学際的なシンポジウムを開催した。かつては前近代の社会・経済史研究の中心的な対象であった村落については、都市化の進展と村落人口の減少の影響を受けてか、20 世紀末以降は長らく研究に停滞感があったが、近年になって若い研究者の参入を得て新たな展開を見せつつある現状に接し、収穫が多かった。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：池田 真

所属・職：上智大学文学部英文学科・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：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：バイリンガル教育、CLIL、日欧比較、複教科リテラシー、認知負荷理論

昨年度の本調査研究では、外国語（英語）教育に関連する分野全体を対象に行ったが、今年度は CLIL（Content and Language Integrated Learning: 内容言語統合型学習）に焦点を当てた。それは、今世紀に入ってからの外国語教育の最新技法として世界規模で一気に実践と研究が広まったため、一分野の誕生と成長と展望を概観し、世界の潮流と日本の傾向を比較しやすいからである。そのための方法として、本調査では、①主要学会の発表タイトル分析、②書籍や論文の文献研究、③海外専門書店での書籍調査、④学会への参加、⑤研究者へのヒアリングを行った。その結果として分かったのは、初期の CLIL は教科内容学習（Content）と外国語学習（Communication）のみならず、思考力活用（Cognition）と地球市民育成（Culture）を組み合わせ、いわゆる「CLIL の 4Cs」の統合を目指して各国で実践や研究が行われてきたが、この十年間はそれらを包括した「認知談話機能（Cognitive Discourse Functions）」や「複教科リテラシー（Pluriliteracies）」といった CLIL 内部での新しい理論的枠組みが構築されたり、「認知負荷理論（Cognitive Load Theory）」のような関連他分野の知見を援用する取り組みが進展し、教員養成・研修や学習指導・評価などに実装されていることである。対して日本の CLIL は現在も 4Cs の統合に重きが置かれ、上記の世界的潮流に乗り切れていない感がある。それは、欧州型の CLIL が Hard CLIL（一般教科の指導法）であるのに対し、日本の CLIL が Soft CLIL（英語教育の技法）であることに主な原因があると思われる。今後は、日本の CLIL の強みである Soft CLIL の実践と研究をさらに推し進めると共に、国際的に発展している理論や概念や技法を積極的に取り入れることで、世界の CLIL 研究と歩調を合わせてその分野の発展に貢献することが期待される。

令和 6(2024)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：地理学関連分野に係る学術研究動向に関する調査研究 ―地域と食の関係性に
着目して

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：地域と食、フードシステム、伝統食文化、地域資源、食糧危機

地理学関連分野における「地域と食」に関する 2000 年代以降の学術研究動向を整理・検討した。食を通じた地域文化の理解が進む中、UNESCO 無形文化遺産に飲食文化が多数登録されるなど、食文化への関心が国際的にも高まっている。本報告では、研究動向を(1)フードシステム、(2)伝統食文化、(3)地域資源としての食、(4)食糧危機の 4 つに分類して調査を行った。

2020 年以降、フードスタディーズ研究が盛んになり、農業地理学・経済地理学的な視点から、グローバルな食料供給体制や地域の再編に関する研究が展開された。国内外での具体例を通じて、生産者と流通消費を結びつける視点が重視されてきた。伝統食文化研究では、地域に根ざした食の歴史的・地理的変容に焦点をあて、魚介類や昆虫食、納豆文化など多様なテーマが扱われた。これらの研究は、質的調査と地理的分布の分析を組み合わせ、地域アイデンティティと食との関係を明らかにしている。また、食を地域資源として捉える視点も重要であり、ご当地グルメや地場産品の観光資源化が進む中、地域振興と食文化の真正性に関する議論が注目されている。例えば、ブランド化された食の真正性や、観光と結びついた食の変容に対して、地元住民や研究者による再評価が進められている。さらに、食糧危機の視点からは、都市・農村におけるフードデザート問題や災害時の食料供給体制に関する研究が地理学的アプローチで展開された。特に、日本特有の自然災害に対応するための物資輸送経路の確保や、被災地における買い物環境の再建に関する実践的知見が蓄積されている。

地理学関連分野における食の研究は、供給体系の分析から地域文化の理解、観光との連携、福祉や災害対策まで多岐にわたる。今後、伝統食の真正性に関する研究、フードスケープ、フードセキュリティ/インセキュリティなどの新しい概念を援用した研究課題にどう取り組むかが課題である。食を通じて地域の価値を再発見する研究動向は今後も加速すると考えられ、地理学関連分野の研究の果たす役割は高まっている。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：石井 香江

所属・職：同志社大学グローバル地域文化学部・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「人文学分野に関する学術研究動向ーグローバルな現象が労働に与える影響に領域横断的にアプローチする国内外における研究と実践の動向調査」

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：感情、情動、感情史、感情労働

グローバルに進展する現象（植民地主義・世界大戦・グローバリゼーションなど）に付随する政治・経済・社会の変化が、労働のあり方や労働者の日常にどのような影響を与えてきたのかについて考察する近年の研究は、労働の担い手の社会階層、ナショナリティ、エスニシティ、ジェンダー、セクシュアリティ、そして近年では、スピーシーズ（種）という複数の属性の影響関係に着目している。これらの研究成果は、有償・無償・強制労働や見える・見えない労働など、従来の労働研究において見過ごされてきた「労働」の多面性を発見することにつながり、加えて労働者の日常への着目は、家族生活や余暇活動が、労働のあり方とも不可分であることを示唆している。さらに近年では、社会学者 A・R・ホックシールドの「感情労働」（emotional labor）の捉え方を踏まえ、または再考しながら、「感情」（emotion）や「情動」（affect）が労働のあり方や労働者の日常と、具体的にどのように関わっているのかについて注目する研究もある。今回は特に歴史研究における以上の研究動向を把握するために、研究書や学術誌の動向調査とインタビューによる調査を行った。

歴史研究の中でも特定領域（ドイツ社会史）の比較的長期間の研究動向を振り返る上で、2000 年以降から 2024 年度までの 25 年ほどの『歴史と社会』（Geschichte und Gesellschaft）掲載の論文を検討し、近年の研究動向について確認した。2008～2024 年までマックス・プランク研究所においてウーテ・フレーフェルトのもとで「感情史」の共同研究が行われ、ヨーロッパ内外の様々な社会を対象に、感情の実践・スタイル・語彙についての研究が行われており、労働以外のテーマの研究蓄積は厚い。結果として言えることは、ドイツ語圏の労働史の中で、分析カテゴリーとして「感情」を用いる新たな試みは、現在まさに進行中であるということである。他方、近年英語圏で労働と感情の歴史を正面から扱ういくつか注目すべき論集が刊行され、関連するワークショップが大学で開催され、遠い過去に生きた人々が仕事についてどのように感じていたのか、どのような史資料や方法論でこの事実にアクセスできるのか、仕事と職業アイデンティティにまつわる歴史にどのように貢献できるのかという本質的な問いに迫っている。管見の限り、日本ではこうした研究関心の歴史研究が見られないので、今後、以上に挙げた先行研究を中心に検討していくことには意義があるだろう。

本年度は初年度の学術研究動向調査ということで、まずは自分の研究領域に近いドイツの研究者らへの予備的なインタビューとドイツ・フランスでの史料調査と並行して、歴史研究の中でも

特定領域（ドイツ社会史）の比較的長期間の研究動向を振り返ってみた。本年度の知見は断片的だが、関心領域の動向をある程度までは把握できたので、これを次年度の継続調査へと繋げていきたい。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：長坂 格

所属・職：広島大学大学院人間社会科学研究・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「文化人類学および民俗学関連分野に関する学術研究動向一人の移動に関する人類学的研究の展開」

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：文化人類学、人の移動、社会関係、マイノリティ、マテリアリティ

1980年代以降の国境を越える人の移動の増大と多様化、およびその政治化は、人文社会科学における国際移住現象への注目を高めてきた。文化人類学分野においても、1990年代半ばに文化人類学者たちによりトランスナショナリズム概念の提唱がなされるなど、国際移住現象を対象とする調査研究が活発になされるようになってきている。今年度は、欧米の主要学術雑誌に掲載された人の移動を扱った論文の対象やトピックについて調査した他、国内の諸学会に参加し、人の移動を扱った発表の傾向性などを調査した。

論文調査では、米国と欧州の、8つの文化人類学系の主要学術雑誌に1980年代以降に掲載された論文のうち、移住や移住者に関わる主題を扱っていると判断された論文131点を抽出し、それらの論文の対象や題材の変遷を調査した。量的な推移に関しては、2010年代半ば以降に掲載された論文数が抽出した論文全体の半分以上となっていた。移住の形態については、国際移住に限ってみると、契約労働移住、家族移住、結婚移住、難民および強制移住、非正規移住、留学、ライフスタイル移住など多様な形の人の移動に焦点が当てられている。また近年は、移住者だけでなく、入国や労働移住を手配するブローカーや、入国審査などに関わる行政職員などへの調査にもとづく論考も出てきている。

論考のトピックや題材については、トランスナショナルな移住による家族・親族、ジェンダー関係への影響、移住経験や移民政策のなかでの移住者の主体性の形成や主体化が継続的に扱われている。近年の新しいトピックまたは題材としては、移住経路における廃棄物や移住者によって建設される家などのモノ、生体認証や監視カメラなどのテクノロジー、国境管理や入国審査における「待機」などの時間および時間性、反移民感情の高まりや国境管理の厳格化のなかで示されるホスピタリティや連帯の形などが挙げられる。これらのトピックは、最近の文化人類学的分野および隣接分野の理論的潮流や社会情勢の変化と関わっており、この分野の移住研究の調査研究の焦点の推移と広がりを示していると言える。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：松王 政浩

所属・職：北海道大学大学院理学研究院・教授

区分：人文学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「科学社会学および科学技術史関連分野（科学哲学）に関する学術研究動向 - 科学哲学における社会課題への取り組み、および科学哲学教育普及への取り組み-」

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、社会貢献、共同研究

科学哲学分野の国内外の学会、シンポジウム等に参加し、研究動向を調査した。新しい動向として、「社会に関わる（社会に資する）」あるいは「科学研究に資する」科学哲学のあり方の模索が挙げられる。これまで一部の例外を除いて、科学哲学は比較的閉じたサークルにおいて、哲学固有のテーマを論じることが多かったが、「誰のための科学哲学」を積極的に考えるべきだとの意識がかなり広まりつつある。米国で開催された科学哲学年会では、まさに「社会に関わる科学哲学、技術哲学」が一つのセッションとして立てられ、たとえばこれまで科学哲学で議論された「科学における価値判断」の議論（主に、科学は価値中立か価値負荷のかという議論）が、いかに実際の社会的意思決定に役立てられるかといったことが議論されている。

また同じく米国で開催された、「科学哲学の過去、現在、未来」というシンポジウムでは、科学者との共同が生物学、物理学のそれぞれ一部の分野を除いてなされていないことを危惧し、共同を進めるために何が必要かが議論された。このシンポジウムでは、2000名以上の科学者、技術者（米国、カナダ）を対象とした「科学哲学者との共同」に関するアンケート調査についても報告された。結果は、共同研究を実施した数は現状少ないが、「共同に関心があるが」科学者・技術者が60%を超えており、個人的見解として「自分の分野を利する」「いくぶん利する」と回答した割合は75%を超えていた。共同の障壁は、科学哲学者を知らないこと、あるいは共同資金、時間、哲学的知識の不足などであった。

日本では、科学者の科学哲学への関心割合はもう少し低いであろうが、共同が必要との認識は、日本でも科学哲学者の間で広がっている。「誰のための科学哲学」をモチーフとした科学哲学者からの社会、科学者集団への多様な介入が、今後、国内外で試みられていくと思われる。

令和 6(2024)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：国際連携、オープンサイエンス、国際共同研究、研究セキュリティ、ユネスコ

本調査は、社会科学領域の国際共同研究をめぐる学術振興政策と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。初年度の研究調査により、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の 3 つの課題が焦点化された。2 年目の研究調査では、AI の登場による文化交流政策の複雑化する一方で、国際連携の重要性がこれまで以上に増し、学術振興政策はその方向性と役割を再考する重要な節目を迎えているということを指摘した。これを受け、最終年度には、方向性と役割を明らかにするために、学術振興政策と国際連携の実際を調査する（第 1 の課題）とともに、学術交流の進展に伴って生じている地政学的影響とその動向（第 2 の課題）に注目した。

第 1 の課題である学術振興政策と国際連携については、その具体例として、国連教育科学文化機関 (UNESCO) が提唱する教育の変革 (transformative education) と持続可能な開発のための教育 (Education for Sustainable Development: ESD) が、実際に政策として策定されるプロセスを検証することにより、学術振興政策における国際連携の課題を明らかにした。そこではケーススタディとして、1974 年の制定から 50 年ぶりに改訂した「ユネスコ憲章」の骨子を実施するために、アジア太平洋地域のロードマップ作成過程に実際に参画すると共に、ユネスコ本部との共催による世界比較教育学会でのセッション企画、国連における高等教育に関する会議参加、さらにユネスコチェア世界会合を通じて参加各国の政策調整という課題を経て国際連携が成立することを検証した。

第 2 の課題である学術交流における地政学的影響の問題については、地球規模課題の課題解決のために国際共同研究の重要性とオープンサイエンスによる共通の基盤形成の必要性が指摘されている。しかし、こうした国際連携や協働の方向性は、知識や技術の柔軟な運用を志向する一方で、研究インテグリティならびに研究セキュリティという極めて新しい問題をにわかに引き起こし、今日ではそのことが国際共同研究を抑制する方向も生み出しつつあることを明らかにした。

令和 6(2024)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、若手研究者育成、融合研究

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する、あるいは各種学会に主催者として参画することで、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。報告者は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、最先端の研究を行う研究者たちを若手優先で選出した。また、外国所属研究者と国内研究者のバランスにも配慮した。これらの工夫により、現在最も活発に研究されている理論経済学のトピックであるマッチング・学校選択や、学習動学に基づく均衡選択問題、理論経済学と計量経済学の接合などの重要課題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、隣接領域をカバーするといえる日本応用経済学会や数理社会学会などの大会にて、開催方法を含む多様な側面取材した。前者の大会では経済理論の応用研究の多様な進展を理解し、後者の大会では数理的アプローチにおける社会学の流儀を経済学のそれと比較する機会を得た。

討議の更なる推進のため各種の学会主催にも積極的に取り組み、2024年8月のSummer Workshop on Economic Theory（小樽商科大学・北海道大学）と2025年3月のゲーム理論ワークショップ（金沢市）の主催者グループに参画した。前者ではミクロ経済学・ゲーム理論分野の最先端の研究成果を集めたセッションを開催し、後者ではゲーム理論ベースの数理生物学研究者を多数招待した企画セッションを開催し、それぞれ先端研究と融合研究の展開に貢献した。

令和6(2024)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—少子高齢化社会における社会保障法学の潮流と展開

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：少子高齢化、分野横断的研究、国際交流、若手研究者養成

社会保障法の領域では、日本社会保障法学会にて「介護保険を再考する」とのシンポジウムが開催され、高齢化の進展と社会の変容を背景に、介護保険の役割、介護保険を中心とした介護保障における市町村等の機能、介護における家族の位置づけなどを問いながら、介護保険制度の検証と今後の展望が議論された。他方で、子育て支援策の充実を内容とする令和6年の法改正を受け、新たに創設される「子ども・子育て支援金」の法的性格等をめぐり、租税法等との関連領域との対話も踏まえた研究が展開した。

また、令和6年度は、生活保護の基準の引下げを違法と判断する判決が蓄積した。こうした裁判例の動向を受け、生存権保障という社会保障法の最重要目的に関し、行政法学の知見も取り入れながら、厚生労働大臣による基準設定の裁量統制のあり方、及び、それを実効的に機能させるための基準設定の手続等について再検討の必要性が論じられた。

労働法の領域では、令和6年11月にいわゆる「フリーランス新法」が施行されたことを受け、労働者性概念、経済法と労働法との関係性を論ずる研究が、昨年度に引き続き多く公表された。また、AIといった技術革新に伴う労働法上の諸問題という新規的・現代的な課題についても、諸外国との比較法分析も踏まえて、複数の研究成果が出された。

さらに犯罪被害者給付金制度に関し同性カップルの配偶者性を肯定した令和6年3月の最高裁判決をきっかけに、同判決の社会法への影響や配偶者性についての分析が展開した。また、社会法にも深く関連する「家族」のあり方・位置づけに関し、婚姻制度自体を問い直すという挑戦的な問題提起もなされた。

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優れた比較法研究の業績が複数出されたが、その数は決して多くなく、研究者養成に関し労働法・社会保障法ともに大きな課題を抱えている。数少ない若手研究者は、個々人で複数の研究業績を公表し、学術の進展に貢献している。そうした優れた若手研究者の育成について、学界全体で取り組む必要性が再認識された。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名： 太郎丸 博

所属・職：京都大学大学院文学研究科・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： 質的調査、研究者間コンセンサス、学術雑誌の論文掲載率

第一に『ソシオロジ』という社会学雑誌に 1997～2024 年に投稿された論文の用いた方法、審査員の評価、掲載の可否を調べた。その結果、1 この期間、投稿された論文の掲載率は低下傾向にあり、審査にかかる期間は長期化している。2 類似の社会学雑誌『社会学評論』と比べると、『ソシオロジ』は継続審査が少なく、掲載不可や掲載可といったはっきりした結論が出やすい（したがって審査期間も短くなりやすいはず）。その理由として、ソシオロジでは、編集委員が審査員を兼ねているシングルブラインド方式で審査がなされていることが考えられる。3 統計的方法を使った論文は他の方法を使ったものより若干平均評価が高い。4. 二人の審査員の評価の一致度はこの期間に高まっている。ということがわかった。総じて、審査員の評価基準のすり合わせが進んでいる一方で、投稿者との評価基準の乖離が進んでいるせいで、掲載率の低下、審査の長期化が起きていると考えられる。

第二に、日本語圏と英語圏の質的調査の教科書で、「一般化」がどのように考えられているのか、調べた。具体的には、1 2000 年以降に出版された日本語と英語の質的調査の教科書をリストアップし、2 Google Scholar を使って、それらの被引用回数を調べた。3 被引用回数が多いもの、上位 合計 20 冊程度（日本語 10 冊、英語 10 冊）が一般化についてどのように述べているのか調べた。大まかには、一般化を重視していないものが大半であるが、移転可能性(transferability) を重視している研究や、有意抽出サンプルからの弱い一般化の意義を論じているものもあった。こういった質的調査独自の一般化の考え方の強調は、英語の教科書に顕著であり、日本語の教科書ではあまりとりあげられていなかった。こういった日本語圏と英語圏の違いは、インタビューする対象者の数にも表れていると考えられる。英語圏では 50 人以上にインタビューした結果をもとに書かれる質的研究がよくあるが、日本語圏ではずっと少ない傾向がみられる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：藤岡 里圭

所属・職：東京大学大学院経済学研究科・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：商学分野に関する学術研究動向—小売研究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：小売業、サステナビリティ、歴史研究

商学分野における学術研究動向を調査するため、国内外の学会に積極的に参加するとともに、英国・オックスフォード大学、英国・V&D Dundee、スペイン・CUNEF 大学、スペイン・アリカンテ大学を訪問し、研究者らと意見交換することによって、小売研究における新たな潮流を調査した。その結果、前年の調査で明らかになった複数の分析手法を組み合わせた研究が増加していることに加え、サステナビリティに関する研究が増加していることを確認した。商学分野におけるサステナビリティ研究の特徴は、プラットフォームビジネスの台頭に伴うサステナブル流通のあり方に関する研究と、EUが導入を決定したエコデザイン規制に対応するサプライチェーンの構築に関する研究に大別できる。

前者は、従来の研究が最新のプラットフォームビジネスに関する研究が中心であったのに対し、最近ではプラットフォームビジネスに対する反作用も含めたサステナブル流通の研究や、小売エコシステムに関する研究が多くなっていることである。日本では、1990年代から増加した小売業によるまちづくり研究と同様、小売業をコミュニティの中で捉えようとする研究が見られるようになってきていることは、興味深い。

後者は、これまで経済学や法学において、グリーンディールや環境問題として研究されてきた学術領域が、エコデザイン規制の成立によって、マネジメントの領域へと拡張していることである。エコデザイン規制が施行されると、小売業は再生可能な材料で製造された商品以外を販売することができなくなる。同規制により、これまで大量生産・大量消費に基づくビジネスモデルを構築してきた小売業—たとえばファストファッションは、大きな変化が求められている。この点に注目した研究が、欧州で大きく伸長していることを確認した。この規制は、欧州企業だけでなく、欧州市場に商品を販売する企業すべてに該当するため、今後、さらに研究が進んでいくと考えられる。

令和 6(2024)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

学校数学のカリキュラム改革は、数理科学やデータサイエンスの興隆を背景としつつ、社会の変化等に応ずる形で進行している。特に、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児童生徒のために、課題発見とその解決、新しい価値の創造に必要な資質・能力の育成が必須であり、教科等の枠組みを超えた STEM/STEAM 教育や AI の教育活用等、理数系カリキュラム改革とその基盤を提供する研究が進行している。

理数系教育の新しい研究動向の一つとして、国際会議においては、計算論的思考 (Computational Thinking) とそのカリキュラムへの影響が取り上げられている点が注目される。特に、計算論的思考と数学的思考の両者を教育目標論にどのように位置づけるか、またそれをどのようにカリキュラムに反映させるか等の議論がみられる。また、科学、テクノロジー、工学、数学の各分野の知識や思考をいかに統合するかの探究や、中等教育レベルでのカリキュラム開発や STEM 教育のための教師教育のあり方等に関する研究が多数みられる。国内では、学習指導要領に規定された教科目標や教科内容を前提に、教科間の連携を検討しつつカリキュラム開発に迫ろうとする研究がみられ、「日本型 STEAM 教育」を理論的・実践的に提案しようとする研究も注目される。

この分野の専門学術雑誌である国際研究誌 *International Journal of STEM Education* の過去 10 年間 (2014-2023) の掲載論文についての計量書誌学的分析の結果によれば、学校教育の文脈では、STEM 教育を構成する科学 (理科)、テクノロジー、工学、数学という異分野をいかに調和的に統合的するかという問題、理系人材育成における教育の公正 (equity) の問題、近年台頭して急速に進化しつつある新しいテクノロジーの活用のあり方の問題等が、特に注目されるトピックとなっていることが明らかにされている。このような動向は、STEM 教育の研究が、依然として成長過程にあり、今後さらなる研究が待たれるという現状を示している。

令和 6(2024)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、地政学の復権、テキスト計量分析

第二次大戦後、国際政治はほとんど構造的な変化がなかったと言っても良い。冷戦の終焉は国際秩序を大きく変えなかったし、2001年のテロとの戦争以降も、大国間の国家間紛争はほとんど生じず、また貿易・金融といった経済秩序も安定していた。それが2014年のクリミア危機、そして2022年のロシアによるウクライナ侵攻により、国際秩序は構造的に大きく不安定化したと考えられる。さらにまだまだ予断は許さないものの、2025年からの第二次米国ドナルド・トランプ政権の誕生とその一方的な外交政策は、さらに国際秩序を不安定なものにしている。

それに伴って近年の国際政治学／日本外交のテーマも変化してきた。第一に、地政学の復権とも言える状況が見られた。たとえば中国がロシア侵攻にどのような行動をとり、そして日本がどのような対応をするべきかといった、現状分析から政策提言的な研究発表が散見された。第二に、安全保障が中心テーマとなってきた。たとえばロシアのウクライナ侵攻により日本の安全保障政策が「急激」に変化したとする分析などが、国際ジャーナルで現れている。このような分析結果は、多くの日本外交研究者で共有されていると考えられる。

上記のような動向はわれわれの国際政治についての知識を増大するために有用ではあるが、ジャーナリスティックな政策提言にとどまる恐れもある。したがって、方法論的に洗練された分析手法を使用して現状分析にメスを入れ、説得性を強化させるというやり方が求められる。この点、例えば先進国の研究者が訪問できないような権威主義国家の現役指導者の言説を、計量的にテキスト分析するという研究も現れてきている。今後そのような、現状分析と頑健な方法論を駆使するような研究がますます多くなることを期待したい。

いずれにせよ、2025年度はトランプ政権の影響が色濃く表れる研究が増えることは間違いない。我々はそれを注視する必要がある。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：村上 あかね

所属・職：桃山学院大学社会学部・教授

区分：社会科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：社会学関連分野に関する学術研究動向——多様なデータ収集法とそれを支える社会的基盤について

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：計算社会科学、調査・研究倫理、リンケージ、オープンアクセス、若手研究者育成

近年、ビッグデータ、デジタルトレースデータ、オンラインサーベイ実験、公的統計の2次分析、行政記録など社会学分野において利用できるデータの量や種類が飛躍的に増加し、計算社会科学という新しい分野が発展しつつある。そこで、ヨーロッパを中心に多様なデータ収集法とその社会的基盤について、とくに公的統計の2次分析を中心に調査した。ヨーロッパでは政策立案のために統計データを積極的に活用することが進められてきたが、個人情報・プライバシーの保護にあたってはホロコーストの反省を踏まえて「人間の尊厳」が尊重されてきた。このようなヨーロッパの理念が結実したのが、データ主体の権利を強力に保護し、「同意」を重視する一般データ保護規則（GDPR）である。ユーロスタットもGDPRに依拠しつつ、研究目的のための個票データの利用を推進している。ユーロスタットによる積極的な情報提供、教育プログラムの充実、ユーザー同士の交流といった取り組み、インフラストラクチャーの整備は日本の社会学分野の研究者にとっても参考になる。さらに、欧州委員会が刊行している調査倫理ガイドラインは国際共同研究の遂行に影響する可能性があり、日本の大学・研究機関等に所属する研究者も理解しておく意義がある。複数のデータを結合するデータリンケージも進んでおり、データ利活用の新時代における個人情報の保護について検討することも課題である。

なお、上述のオンラインサーベイ実験など新しい研究手法を用いた論文は海外の家族社会学および社会人口学の雑誌では発表されていたが、日本ではごく少数であった。

その他、オープンサイエンス・学会誌のオープンアクセス、若手研究者の育成やハラスメントに関するシンポジウムにも参加して動向を調査した。

令和 6(2024)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：数物系分野に関する学術研究動向及び学術振興方策ーソフトマター・アクティブマター・ガラス系物理学の新潮流ー

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：非平衡物理学における融合研究、ソフトマター、アクティブマター

ソフトマターやガラス転移の分野に限ると、2024 年度は前年度と比較して、国際交流の機会がやや少ない年度であった。象徴的だったのは、Simon 財団の欧米を中心としたガラス研究に関する大きな事業「Cracking glass」が終了年度を迎えことである。このことによりこの分野のイベントは大きく減少した印象がある。本事業にかかわった多くの研究者がガラス研究と関連する他分野に進出しているほか、かつ若手研究者を多く育成するなど、大きな足跡を残しながら発展的に解消しており、我が国にとって大いに学ぶべき点が多い。

この他、調査した研究活動のうち、いくつか印象的であったものを以下に挙げる。2024 年夏季には、複数の非平衡統計物理学の国際研究会が京都で開催され、流体力学やガラスにおける揺らぎの問題など、時流に流されない統計力学の原理的な問題を扱っていた。古くから日本人が本質的な貢献をなしてきた重要な分野で、日本人若手中堅研究者が大きな存在感を海外に示している点が印象的であった。10 月にはガラス転移の国内会議が東京で開催されたが、理論と実験の理想的な協同研究の機運を感じるものがあった。2025 年 3 月には東京大学でソフトマターの未来を語る国際会議が開催されたが、国内外の著名なシニア研究者と若手研究者が一同に会した素晴らしい研究会であった。ガラス研究については、本流であるはずのガラス転移の原理研究よりも、アクティブマターや非平衡系へ応用することによって、横糸的な広がりを目指す研究が主流であるという印象を強くした。いずれも、国内外を問わず、研究交流に関わるイベントの組織委員やプログラムで性別国籍年齢などのバランスが改善していることが共通点であった。理想的には、バランスや公平性を全く意識せずに済む時代がくることが望ましいが道は遠い。

令和 6(2024)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、電波干渉計、衛星銀河、銀河団、X線天文衛星

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、Event Horizon Telescope (EHT) グループによって、天の川銀河の超大質量ブラックホール「いて座 A*」の偏光を捉えた電波画像が公開された。これは、2022 年に初画像が公開された超長基線干渉計による「いて座 A*」撮像観測の続報であり、ブラックホール極近傍の磁場構造に関する情報を新たに提供するものである。同天体に関する他の進展としては、天の川銀河内の「超高速星」の統計的解析から、中心核超大質量ブラックホールが 1000 万年前に質量が約 1/300 の「中質量ブラックホール」と合体した可能性が高いことが示唆された。この中質量ブラックホールの発生源は、約 100 億年前に天の川銀河と合体した Gaia-Sausage-Enceladus 矮小銀河と推定された。天の川銀河研究の進展としては、Ultraviolet Near Infrared Optical Northern Survey (UNIONS) プロジェクトによる深宇宙広域観測データから、これまでで最も暗い衛星銀河「Ursa Major III/UNIONS 1」が発見された。これは約 60 個の恒星を含み、可視質量は太陽の 16 倍に過ぎないが、速度分散の大きさから大量の暗黒物質を伴う事が示唆されている。

国内の動向としては、大型共同利用観測装置を用いた様々な観測研究とともに、天文学専用スーパーコンピュータを用いた目覚ましい進展があった。国立天文台水沢キャンパスに設置された天文シミュレーション専用スーパーコンピュータ「ATERUI II」を用いた計算により、一つ一つの星の運動を再現した球状星団の形成シミュレーションが実現され、形成途中の星団の中で星同士の暴走的合体が起こり、最終的に太陽の 1 万倍程度の質量を持つ超大質量星が形成され得ることが明らかになった。このような超大質量星は、太陽質量の 3 千ないし 4 千倍の中間質量ブラックホールになると予想される。また、国立天文台の研究者により、EHT によって取得された「いて座 A*」の撮像データが独立に再解析され、先に検出が報告された「ブラックホール・シャドウ」が見

えないこと、降着円盤の実態と解釈される東西に延びた空間構造が見えることが発表された。この結果は、EHT グループが 2022 年に発表した結果とは異なるものであり、今後のさらなる検証が待たれる。さらに、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が中心となって開発・運用する X 線天文衛星「XRISM」によって、ケンタウルス座銀河団中心部の高温ガスの流れが初めて明らかにされ、銀河団同士が衝突・合体を繰り返して進化していく過程を示す直接的証拠が示された。

令和 6(2024)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

宇宙惑星科学分野の学術研究動向について、探査ミッションに注目して以下に報告する。日本のミッションとしては、はやぶさ2拡張ミッションは、2026年7月の小惑星2001 CC21フライバイに向け航行中であり、この小惑星の名称が、Torifune（トリフネ）に決定した。また、JAXAは、2024年8月に米国NASAのサンプルリターンミッションOSIRIS-RExが採取したサンプルを受領し、今後日本でも分析が開始される。日本の基幹ロケットとなるH3ロケットは2024/11/4と2025/2/2の二回連続で打ち上げに成功し、惑星探査への利用が期待される。また、小型月着陸実証機SLIMは、3回の越夜に成功したのち、2024/8/23に運用を終了した。日本も関係する国際ミッションとしては、2024/10/7にESAが開発した小惑星探査機Heraが打ち上げられた。このHeraは2022年に成功したDARTミッションによる痕跡を調査するもので、2027年から二重小惑星ディデイモスとディモルフォスのうち、特にDARATが衝突に成功したディモルフォスを中心に観測が実施される。日本からはJAXA/ISASが開発した熱赤外線カメラ（TIRI）が搭載されている。

今後の探査ミッションとしては、日本で以下のような計画が進行している。アルテミス計画では、月極域探査機（LUPEX）は、水探査を主目的として2025年以降の打ち上げを目指して開発中である。有人の月面与圧ローバーの開発はトヨタが中心に進められている。また、火星探査に関しては、火星衛星探査計画（MMX）は2026年に打ち上げを予定しており、国際火星探査計画（Mars Ice Mapper: MIM）は、2030年代の打上げを目指し4機関（NASA/ESA/ASI/JAXA）によりミッションコンセプトを検討中である。これは、合成開口レーダ（SAR）を搭載した火星周回機により、将来有人探査に資する火星表面の水氷分布把握（マッピング）を行う。さらに、JAXAは2028年打ち上げ予定のNASA土星衛星タイタン離着陸探査計画（Dragonfly）で、地下で発生する地震の活動度、表層と氷地殻の構造を調査するための地震計を開発・提供の予定である。2029年に打ち上げ予定のESAが主導するComet Interceptorでは、JAXAは3機の探査機のうち子機1機を提供し、長周期彗星（或いは恒星間天体）の観測を行う予定である。

今年度のトピックスとして、小惑星アポフィスの探査がある。この小惑星は、直径約300m程の大きさで地球近傍を通過する軌道を持ち、2029年4月13日に地球表面から3万2000キロの位置を通過する見通しである。このアポフィスを集中的に探査する機運が高まってきており、ESAが開発したRAMSESが、2029年2月のアポフィス到着に向けて2028年4月頃の打上げを計画しており、日本も協力の予定である。また、NASAの探査機OSIRIS-RExは、現在OSIRIS-APEXとして延長したミッションに入っており、このアポフィスを探査する予定である。

令和 6(2024)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：数物系科学専門調査班 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、マルチメッセンジャー天文学

2024年6月に横浜で開かれた SPIE 国際会議に参加した。この会議では主に可視光からガンマ線領域に渡り、現在進行形のプロジェクト及び計画中のプロジェクトに関して様々な発表と議論が行われた。この会議で非常に印象に残ったのは、HWO(Habitable Worlds Observatory)プロジェクトであった。このプロジェクトは、現在稼働中の JWST(James Webb Space Telescope)望遠鏡の後継機として考えられている望遠鏡であり、地球類似惑星の直接観測を目指したものである。現在 JWST が現役で活躍している状態であるが、さらに大型の高性能望遠鏡の計画を立案する場合、今から準備や体制作りを行わなくては JWST からスムーズな移行は難しい。現在あらゆる波長の望遠鏡で大型化が進み、ますます予算も膨大になっていくため、世界で1つの望遠鏡を作る事が主流になっている。国際的にリーダーシップを取ることがますます重要になってくる事をこの会議で実感した。この HWO は NASA が主導しているプロジェクトであり、このような大規模プロジェクトはアメリカの NASA かヨーロッパの ESA 以外ほぼ主導できなかつたが、今後状況が多少変わってくるかもしれない。

2024年7月に韓国釜山で開かれた COSPAR の会議に参加した。この会議は電磁波での波長だけでなく、宇宙線、ニュートリノ、重力波と様々な観測手法とその結果の報告があった。また宇宙物理の枠を超えて、太陽系の探査や科学成果の発表もあった。そのため、多くのセッションが用意されており、全てを聞くことはほぼ不可能であったため、マルチメッセンジャー天文学に関連する発表や X 線以上の高い波長領域で偏光を観測する次世代プロジェクトの動向を追った。この会議では以前から話に聞いていた eXTP プロジェクトのより詳細な情報を知ることができた。この計画は中国が主導している計画で、イタリアやドイツもその計画に加わっている。また eXTP 計画は NASA によって打ち上げられた X 線偏光衛星 (IXPE) の 5 倍程度の有効面積を持った望遠鏡を打ち上げるというものである。原理自体は IXPE 衛星の技術を踏襲しているが、その規模と圧倒的な開発スピード(2029年に打ち上げ予定)に驚かされた。高エネルギー宇宙物理学の偏光観測の分野では、最近中国の躍進がすさまじく、2030年代には、この eXTP の他に広視野のガンマ線偏光計も稼働が予定されている。

令和 6(2024)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
－素粒子物理学における世界の動向－

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：素粒子物理学、高エネルギー加速器、大型国際実験

素粒子物理学実験分野では、国内においては、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を用いた実験が進行中である。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 Belle II 実験が行われている。SuperKEKB 加速器においては、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を目指しているが、ここ数年、周回している電子ないし陽電子のビームを瞬時に失う現象、およびビーム電流増強に伴うエミッタンス増大（集束したビームの肥大）が問題となっている。さまざまな努力の末、2024 年 12 月 27 日には $5.1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ という現在のルミノシティの世界記録を達成した。今後、さらにルミノシティを増強することを目指している。J-PARC で生成したニュートリノを約 300 キロメートル離れたスーパーカミオカンデ検出器で検出する T2K 実験のために、J-PARC のビーム強度増強が進められており、830 キロワットを達成した。しかし、ニュートリノ生成標的のトラブルにより、2025 年 3 月 4 日より運転を停止している。SuperKEKB, J-PARC 共に、未踏のビーム強度達成に伴う困難に立ち向かっている状況である。

ニュートリノが荷電パリティ対称性を破っているか、破っている場合、その破れの大きさはどの程度かという問題は、現代の素粒子物理学における重要な課題となっている。ハイパーカミオカンデ計画は、T2K 実験に引き続き、この問題に取り組む。ハイパーカミオカンデ検出器は、スーパーカミオカンデの約 8 倍の検出体積を持つニュートリノ検出器であり、東京大学および国際コラボレーションのもと建設が進められている。2028 年頃の実験開始が楽しみである。同様の目的で、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。

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さらなる高エネルギーを目指して大幅にルミノシティを増やす HL-LHC 計画が 2029 開始を目指して進んでいる。さらに先の将来計画として、CERN を中心とした周長 Future-Circular-electron-electron-Collider (FCC-ee) および中国における Circular Electron Positron Collider (CEPC) 計画の議論が、この 1 年、非常に活発になっている。いずれも電子-陽電子衝突により素粒子に質量を与えるヒッグス粒子の精密測定を行い、後に陽子-陽子衝

突を見据える計画である。実現するのは、早くて 2030 年代後半(CEPC)から 2040 年代とされている。

令和 6(2024)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：量子物理、レーザー科学、物性物理

量子物性分野では、動的非平衡現象が近年特に注目されている。従来の研究の中心であった超伝導や磁性などの多体効果を基盤としつつ、量子計算や量子センサーといった応用分野を視野に入れた研究が発展している。研究の主要拠点は、日本、北米、ヨーロッパといった伝統的な物性物理の中心地にとどまらず、中国やインドなど新興の研究国でも顕著な発展が見られる。

本調査研究では、国内外の研究動向を広く調査することを目的とし、その一環として中国長三角物理研究所を訪問し、Conference of Condensed Matter Physics 2024 (CCMP 2024) に参加した。特に印象的であったのは、トポロジカル物性における無散逸電流の応用を意識した研究と、電子状態や相関電子系を扱う数値計算手法の開発といった、長期的な視点での基礎研究に若手研究者が熱心に取り組んでいる点である。同研究会の参加者は約700名に達し、そのうち約100名は国外からの参加者であった。

また、長三角物理研究所は、中国科学院物理研究所と地元政府の協力により設立された大規模な研究機関であり、主に燃料電池や新エネルギー・新素材に関する研究を推進している。施設は日本の著名な建築家によって設計されており、その壮観な様子は、中国における科学技術の発展への強い期待を象徴するものであった。

次に、2025年1~2月には、カリフォルニア大学サンタバーバラ校 (UCSB) カブリ理論物理学研究所 (KITP) で開催された滞在型ワークショップに参加した。本ワークショップの主題は光物性であり、特に近年注目を集める cavity QED に関連する議論が中心となった。当該分野はこれまで理論主導で発展してきたが、近年では量子ホール系を中心に興味深い実験報告も増えつつある。

参加者については、ドイツやイスラエルからの研究者が多く、米国内の参加者の大半も非米国人であった。このことから、アメリカにおける基礎研究の国際的な性質を改めて実感した。一方で、アメリカの研究現場では年初より研究費削減や人事公募の廃止などが相次いでおり、今後の政策動向については引き続き注視する必要がある。

令和 6(2024)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-地球環境変動史の国際共同研究について-

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：地球環境変動、IGC、コロナ禍の影響

地球環境変動は一つの地域での研究で完結するものではなく、地域間の違いを明らかにするために、さらには対策を施す際にも、国際連携が必須である。そこで地球環境変動に関する学術分野について、国際連携の現状について調査を行った。4年に一度開催される地質系の国際会議としては最大の万国地質学会議が韓国釜山で開催された(以後 IGC2024) ので、この会議の現状を紹介することで動向をみる。

インドで開催予定だった前回の会議がコロナ禍のためキャンセルされていたため、8年ぶりの会議ということで多くの研究者が参加する盛大なものになると予想されていた。一方、日本地質学会がサポートする予定であったが色々な事情でサポートを撤回することになった曰く付きの会議でもあった。セッション数は当初 286 用意されていたが、結果として、実施されたのはその約 70%の 208 セッションであった。発表数は 3317 件予定されていたが、キャンセルも多く、セッションとして成り立たなかったものもあったと漏れ聞く。コロナ禍前、最後に開催された南アフリカでの IGC では 6260 名の参加を得て、約 6200 件の発表があった(<https://www.iugs.org/igc>)ことに比べるとかなり発表件数が少ない。1992年に京都で開催された IGC では実質 4,293 名の参加者を得て 5,402 件の発表があったため (Kato et al., 2022, <https://doi.org/10.18814/epiugs/2022/022047>), 地理的な要因で発表件数が少なかったわけではなさそうである。

国際会議では、海外機関所属の共同研究者や同じ分野の研究者との対面での議論をすることが参加の大きな原動力である。8年間開催があいたことで、研究者ネットワークが疎遠になり、また世代交代も進んだことで、IGCの知名度や重要性が下がったことが参加人数が減った原因ではないか。また日本の地質学会との軋轢も、コロナ禍で国際的な隔離期間がもたらした主催機関の国際感覚の鈍麻がもたらしたものとも考えられる。コロナ禍がいまだ意外な形で国際連携に影を落としていることが垣間見えた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：片山 郁文

所属・職：横浜国立大学大学院工学研究院・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：半導体、光物性および原子物理関連分野に関する学術研究動向 —光物理分野の世界動向と今後の展望について—

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：レーザー、光物性、強結合、ナノスケール

半導体、光物性および原子物理関連分野においては、レーザー技術の発展やナノスケールの材料加工技術・合成技術の向上によって、従来の限界を超えた量子制御技術や、可視化技術、デバイス技術などが現れ始めている。特に、韓国や中国など、東アジアの国々は、欧米各国とも積極的に研究交流し、最先端の研究分野で成果をあげつつあると考えられる。現時点では日本も良い位置にいたると思われるが、欧米のみならずこれらの国々とも交流を深め、日本が新しい研究潮流をリードし、プレゼンスを発揮できるよう取り組みを進める必要があると考えられる。

中でも注目される研究動向は、基礎物理学の知見に立脚して、新しい応用を拓くような研究である。例えば、周波数標準技術においては、通常の電子遷移ではなく、原子核の状態が変化する原子核遷移を活用して、周波数を計測しようという研究が進んでいる。これは、基礎物理学としても原子核の性質を理解する上で重要であるが、応用上も固体で高精度の周波数標準を実現できる可能性があるなど非常に興味深い特徴を有する。また、金属探針を試料に近づけることによって強結合状態を生成し、ナノスケールの分光を行う研究が進んでいる。特に、探針・試料間にテラヘルツ波を照射することで超高速のトンネル電流を誘起し、そこから放射される電磁波を計測することで、その時間波形を見ることが示された点は、ナノスケールの超高速ダイナミクスを理解する上で重要なマイルストーンとなることが期待できる。さらに、半導体デバイスの研究では、テラヘルツ領域の電磁波を発振するデバイスを検出器としても用いることで、高感度なイメージングが可能となることが示されている。これは半導体デバイスの非線形物理学を活用した応用研究であり、今後どのように展開するのか非常に興味深い。このように、半導体、光物性および原子物理関連分野は、今後も応用技術と基礎研究が手を携えながら発展してゆくものと考えられる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：田中 真紀子

所属・職：東京理科大学創域理工学部・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：幾何学関連（微分幾何）分野に関する学術研究動向－幾何学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：幾何学、日本数学会、若手研究者

日本数学会には 40 歳未満の優れた研究者 1 名に対して授賞される日本数学会賞春季賞があるが、ここ数年、幾何学関連分野での受賞が続いている。2023 年に接触幾何学、シンプレクティック幾何学とストリングトポロジーの研究で入江慶氏が受賞、2024 年に Fano 多様体の K 安定性の研究で藤田健人氏が受賞、2025 年に族のゲージ理論と 4 次元トポロジーへの応用の研究で今野北斗氏が受賞した。それぞれ世界的に高く評価されている優れた業績である。入江氏は 2019 年、藤田氏は 2023 年、今野氏は 2024 年に日本数学会幾何学賞を受賞している。藤田氏は令和 6 年度日本学術振興会賞をも受賞した。また、代数トポロジーと量子場の理論を研究する若手の山下真由子氏はドイツ Göttingen 科学アカデミーの Dannie Heineman Prize を日本人として初めて受賞した。日本数学会の学術会合や幾何学シンポジウム（幾何学分野における最大規模の研究集会）においても若手研究者によるレベルの高い研究成果の講演がいくつもあり印象的であった。受賞関連で特筆すべきは柏原正樹氏のアーベル賞受賞である。アーベル賞は 2002 年にノルウェー政府によって創設された国際的な数学賞で「数学のノーベル賞」とも呼ばれているもので、柏原氏は日本人として初めての受賞者である。代数解析と表現論への基礎的貢献、特に D 加群の理論の発展と結晶基底の発見が評価された。 D 加群の理論は幾何学を含む多くの分野で応用されている。

2024 年度日本数学会幾何学賞の受賞者は今野北斗氏と細野忍氏で、今野氏は「ゲージ理論の展開と 4 次元幾何学への応用」、細野氏は「ミラー対称性と周期積分の研究」という業績による受賞である。最近の幾何学分野の研究動向として物理と関係の深いミラー対称性やゲージ理論の他、比較的新しい研究分野である測度距離空間の幾何、幾何学的群論が特に活発に研究されているようである。また、複素幾何、等質空間の幾何、部分多様体論、低次元トポロジーの分野においても若手研究者の育成が順調に進んでいるようである。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：萩野浩一

所属・職：京都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・宇宙物理学の理論研究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：原子核物理、超重元素、中性子過剰核、rプロセス元素合成、機械学習、量子計算

低エネルギー原子核物理学では、我が国の理化学研究所におけるRIBFをはじめアメリカのFRIB、ドイツのFAIR、中国のHIAFなど世界の様々な研究所で次世代のRIビーム施設が稼働中もしくは建設中であり、中性子過剰原子核及び超重元素の物理が大きく進展している。中性子過剰核の物理は、rプロセス元素合成を通じ宇宙線、宇宙物理学とも密接に関連し、また、機械学習の手法を通して素粒子物理学とも関連する。特に、重い中性子過剰核の核分裂は量子多体系としての原子核の量子崩壊現象としてのみにとどまらず、核分裂片が再びrプロセスの種となる核分裂サイクル機構として注目されている。また、それと関連して、超重元素の物理においては、非平衡過程プロセスとしての記述が重要となり、ランジュバン方程式を用いた計算が理論研究のスタンダードになっている。さらに、rプロセス元素合成で超重元素が作られたかどうかということにも関心が集まっている。理論的手法に関しては、第一原理計算の最近の目覚ましい発展があげられるとともに、原子核計算における量子計算の実行や固有ベクトル接続法によるエミュレータの構築などが最近の進展の例としてあげられる。これに関連し、2024年9月にミラノ大学を訪問し、イタリアにおける最近の研究動向に関する情報を収集した。また、2024年12月にパリで行われた「第5回Gogny会議」に出席し、低エネルギー原子核理論研究分野の最新状況について情報収集を行うとともに、参加者の多くと分野の将来の方向性に関する意見交換を行った。この結果、フランスを中心にヨーロッパの各国で原子核構造への量子計算の応用が進んでいることが分かった。

また、2024年9月に北海道大学で開催された日本物理学会に出席し、素粒子、原子核、宇宙物理学の最新の研究動向に関し情報を収集した。分野を問わず、機械学習を用いた研究が進んでいる。

また、高エネルギー原子核物理学では、相対論的重イオン衝突を通じて原子核の形状をプローブする実験的試みが行われ、それをサポートする理論研究も盛んに行われている。核子の自由度が基本となる低エネルギー原子核物理学と、クォークやグルーオンが基本的な自由度となる高エネルギー物理学をつなぐ課題であり、実験的にも理論的にも大きな注目を集めている。

令和 6(2024)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、本研究担当者が国内外の学会や国際会議への参加、スクールやワークショップの開催・参加、学会誌記事の調査などを通じて得た知見をもとに、分子科学、特に理論・計算化学分野における研究動向を取りまとめたものである。

2024年には、ノーベル物理学賞および化学賞がともに機械学習関連の研究に授与されたことにより、理論・計算化学分野におけるAI技術の浸透が決定的となった。これにより、1990年代以降に主流であったスーパーコンピュータによる大規模な計算化学の時代からの転換が、今後いっそう加速すると見込まれる。一方で、大量のデータを活用する点において、データセンターの重要性は今後さらに高まるものと予想される。

他方、帰納的な機械学習やAI技術の活用が進むことで、従来の演繹的アプローチによる理論・計算化学が相対的に後退し、化学・物理・生物現象を支配する原理や法則への関心が希薄になるのではないかという懸念も指摘されている。こうした課題への対応として、近年では説明可能なAI (Explainable AI: XAI) や、知識グラフ (Knowledge Graph: KG)、オントロジーの導入など、機械学習のホワイトボックス化に向けた新たな技術の開発が進められている。

また、量子コンピュータの開発も近年急速に進展している。こうした動きの中で、我が国においても2020年に策定された「量子技術イノベーション戦略」のもと、量子技術の研究開発が推進されている。2023年3月には、理化学研究所と富士通により、国産初の量子コンピュータ「叡(さとり)」が共同開発され、産学官における量子ソフトウェアの研究開発も活発に行われている。これに伴い、量子計算のためのプラットフォーム整備も進みつつある。

現時点では、量子コンピュータに誤り訂正機能が十分に備わっていないため、量子変分固有値ソルバー (Variational Quantum Eigensolver: VQE) を用いた量子化学計算など、量子コンピュータと古典コンピュータを組み合わせたハイブリッド型計算手法が主流となっている。

令和 6(2024)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 ―細胞の恒常性維持の分子機構解明に向けた新たな潮流―

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：恒常性、ストレス応答、相分離、翻訳後修飾、天然変性蛋白質

本調査研究では、生物の恒常性維持機構という未解明の課題に対し、細胞内で生じる過渡的現象および非平衡状態に着目し、化学的視点からその分子機構の解明を目指す研究動向を調査した。恒常性の理解は、基礎生命科学の進展に資するのみならず、社会課題の解決にも直結する重要な研究領域であり、令和6年度戦略的創造研究推進事業においても、「生命力」の一端として戦略目標に位置付けられている。

国際的には、天然変性蛋白質および核酸を含む生体分子集合体が、翻訳後修飾などの修飾過程を介して一過的に形成・解体される機構、すなわち相分離現象によって非平衡な細胞内反応場が構築される過程に注目が集まっている。これらの現象は、細胞のストレス応答や恒常性維持に深く関与する可能性が指摘されている。また、化学的手法による分子集合体の操作技術や、化学プロテオミクス解析技術の発展により、生体分子間の動的相互作用の解明が急速に進展している。

本調査では、2024年4月に開催された「第3回 International Symposium on Biofunctional Chemistry」に参加し、細胞膜の動態、蛋白質フォールディング、神経細胞の成熟に伴うプロテオームの動的変化に関する研究動向を調査した。これらは、化学的ツールを活用した細胞内動態解析の進展を示すものであり、今後の研究基盤を形成する重要な知見である。

あわせて、国際的なトップジャーナルに掲載された論文を対象とした文献調査を行い、Anthony Hyman および Clifford Brangwynne による相分離研究、Julie Forman-Kay による翻訳後修飾を介した構造変化の解析、Ibrahim Cissé による一細胞イメージング技術を用いた転写制御の時空間解析など最先端の研究動向を俯瞰した結果、非平衡状態における生体分子挙動の理解が急速に進んでいることが明らかとなった。

こうした研究動向は、生物の恒常性やストレス応答の解明に向けて、化学的アプローチを取り入れた学際的研究の重要性を再確認させるものであり、今後の創薬や疾患機構解明にも資する新たな科学基盤の構築に寄与することが期待される。

令和 6(2024)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、錯体化学、有機化学、分析化学、触媒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、その課題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構築に貢献することが要求され、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）の創製について注目し、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1月には「生物無機化学シンポジウム 2024」を大阪府豊中市で2日間にわたって開催し、110名ほどの参加者を得た。生物無機化学の分野では、大きな国際組織は存在するが、定期的な国内学会がないため、本分野の国内の研究者の会合は極めて重要である。今回も参加者の交流が深まり、色々な新しい話題や成果の情報共有を行った。一方、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。特に、当該年度は米国で開催された、2つのゴードン会議に招待され、アメリカを中心とするトップレベルの研究者との交流と現在の研究動向についての認識を深めた。さらに9月には、アーヘン工科大学で、日独のジョイントシンポジウムを開催し、生物工学や酵素工学も用いた生体触媒の開発について、双方の情報交換の機会を設けた。

以上の活動を通じ、当該学際領域が特に欧米で進んでいることを痛感し、持続可能な社会を築くためにも、我が国での強みである有機合成化学や錯体化学の分野を駆使しながら海外との国際共同研究も視野に入れた有用な生体触媒（人工金属酵素）創製をめざす試みの重要性を再認識した。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：阿部 二朗

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 —有機分子の物性・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について最新の研究動向の調査研究を行った。

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。Feringa による光駆動分子モーター、池田富樹らによる光屈曲プラスチックフィルム、入江正浩らによるジアリールエテン単結晶の可逆的な光形状変化などに代表されるように、これまでフォトクロミック分子の可逆的な分子構造を利用したフォトメカニカル機能について幅広い研究展開がなされてきた。一方、近年では安定異性体に光照射して得られる準安定異性体が持つ大きなエンタルピーに着目した研究が注目されている。Han ら、および Moth-Poulsen らはそれぞれ独立に、フォトクロミック分子を使った分子太陽熱エネルギー貯蔵 (MOST: molecular solar thermal) システムを展開している。MOST の概念は古く、ノルボルナジエンが紫外光を吸収して高エネルギーを持つアドリシクランに光異性化するフォトクロミズムを利用したのが最初の報告例である。MOST は可視光線や紫外線を吸収して光異性化反応を起こし、太陽光エネルギーを化学結合として蓄えることで、数週間から数カ月にわたり熱エネルギーを保持できる。

このように、フォトクロミック分子の光照射に伴う色変化は調光レンズとして利用されているが、一方で、光エネルギーを力学的エネルギーに変換したり、熱エネルギーとして蓄える研究はまだ発展途上であり、将来の持続可能なエネルギー供給源として期待できる。

令和 6(2024)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、光反応、ラジカル反応

持続可能な社会に適した物質生産を実現する上で有機合成化学が果たすべき役割の重要性を踏まえ、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、第 40 回有機合成化学セミナー（9 月 18-20 日アートホテル新潟）及び UK-Japan Symposium on Sustainable Organic Synthesis and Catalysis（9 月 25-26 日京都大学宇治キャンパス）に参加し、酵素反応の合成化学的な応用や、インフォマティクスに基づいた天然物合成、さらにはケミカルリサイクルを指向した触媒的な樹脂分解反応の開拓や新しい構造解析プラットフォームの活用法といった最新の研究展開に触れ、分野の広がり理解する機会を得た。

海外では、ミュンスター大学との連携によって開催された 2024 International IRTG-IRCCS-ILR Symposium（5 月 7-8 日 Münster, Germany）での講演と討論、そして交流の場で、有機合成を基軸とした分野融合型の研究の今後を展望するための貴重な意見交換ができた。また、Stereochemistry Gordon Research Conference（7 月 21-26 日 Rhode Island, USA）では、触媒の創製と反応開発、複雑な生物活性化合物の合成、糖鎖及び高分子合成から反応機構解析にわたる分野の最先端の研究動向を把握することができた。特にポスターセッションでは、未発表のデータについても直接議論することができ、思いがけない研究の接点が見つかって共同研究につながるという収穫もあった。何より、セッション終了後に飲み物を片手に自由に話をする時間が毎日確保されており、様々なステージにある研究者とのコミュニケーションの中で、現状の課題だけでなく、その先の研究に対するそれぞれのビジョンを知ることができ、世界的な動向を見通す上で大きな意義があった。

令和 6(2024)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：ナノ材料、ハイブリッド、溶液プロセス

無機化学をベースとした有機-無機ハイブリッド物質およびその周辺分野における研究は(1) エネルギー関連材料、(2) 触媒関連材料、(3) 生体関連材料 3つの分野を中心に展開されている。その他の多くの物質研究で志向されている分野とほぼ合致している。これらの分野では情報工学との融合がかなりのスピードで進展しており、計算科学的なアプローチが無ければ研究が成り立たないような感さえある。このような現状を踏まえて、2025年度は主にナノ材料の合成と応用にフォーカスした国際会議への出席による先端トレンドのキャッチアップとネットワーキングを中心に調査研究を進め、以下の結果を得た。

有機-無機ハイブリッド物質の研究やその周辺分野においては、いわゆる Additive manufacturing と言われる、3D プリンティング技術を用いた造形と機能化が、いよいよ実用段階に入っている。三次元造形に対する科学的な知見が蓄積し、より精細な構造形成が実現するとともに、材料系の広がりが大きくなっている。特に、コンベンショナルなセラミックスやガラスへの適用が可能となりつつあり、スタートアップ企業との融合などが目立ってきている。また、機械学習を中心とした情報工学的なアプローチの利用がますます活発化しており、材料科学の枠を超えた共同研究が大きく進展している。

ナノ材料研究では、計算科学との融合がますます促進されている。一方、資源循環を志向した材料の再利用の特別セッションが設けられるなど、実用材料の分解、回収を通じた再利用が大きな学問領域へと成長しつつある。メソ多孔性材料研究においては計算科学の存在感が薄い印象であった。量子科学計算を適応するには依然としてメソ空間は「巨大」であると考えられる。一方、構造形成等における数理モデルの研究は依然として続いている。この分野では、ロシアから国際会議への参加者が数名あった。旧交を温めながらも、科学技術に関する議論を行い、科学の分野が政治で分断されることへの怒りを感じたことも印象深かった。

溶液プロセッシングに関しては、今回から新たに Additive manufacturing に関するセッションが開催され、盛況であった。溶液プロセッシングは、特に 3D プリンティングとの相性が良く、多くの発表があった。特に、加工精度が急速に向上しており、実用的な材料による、高度な造形体が多く報告されていた。溶液プロセッシングでは、溶媒蒸発に伴う収縮が、実用的な Additive manufacturing の実現を妨げてきていたが、基礎科学の進歩によりいよいよ実用段階に入った印象を受けた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：阿部 竜

所属・職：京都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：太陽光エネルギー利用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：再生可能エネルギー、太陽光利用、新型コロナウイルス

再生可能エネルギーによる化石資源の代替は、人類に課せられた喫緊の課題であり、世界中の研究者が分野を超え総力をあげて解決に臨むべきものである。ゆえに、人工光合成、太陽光発電、水電解による水素製造などを含め、太陽光エネルギー利用分野の研究動向を広範に、かつ各国における研究主軸の変移などを調査することが、我が国における研究の方向性を検討する上で重要と考えている。そこで本調査研究では、それらの研究動向を特に海外での最新動向を中心に調査することで、我が国の関連研究者に有益な情報を提供することを目的とした。今年度は、関連する4つの国際会議（スペイン、韓国、中国、インド）に参加して最新動向の調査を行った。参加した会議いずれにおいても、テーマが以前に比べて明らかに多角化しており、太陽光発電や水電解などの応用寄りの発表が目立った。ただし、基礎的なテーマもいぜんとして重視されており、いずれの会議でも基礎と応用の両方を取り扱い、相互理解を深めることが重要というメッセージが感じられた。中国では、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い多くの都市がロックダウンされたこともあり、一時期の研究の停滞があったのではないかと個人的な憶測も持っていたが、実際は全く異なり、むしろコロナ禍前に比べて著しい進展が見られ、大学院生のポスター発表に至るまで研究の質もプレゼンの質も、コロナ禍前とは比較にならないくらいレベルが向上し底上げされていた。さらに、基礎研究から応用研究へと研究の主軸を明らかにシフトした著名研究者も複数見られた。またインドでの会議でも、研究の質の明らかな向上が認められ、学生を含めて質疑応答が極めて活発であった。現在、小職がエディターを務めている2つの国際誌のいずれにおいても、インドからの論文投稿数が中国からのそれを上回り始めていることを鑑みても、今後インドにおける研究動向調査も重要となるであろう。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：芹澤 武

所属・職：東京科学大学物質理工学院応用化学系・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：高分子化学、生体材料学関連分野に関する学術研究動向－高分子化学と生体材料の融合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：高分子化学、高分子材料、生体医工学、生体材料、SDGs

高分子化学と生体材料学の融合は、医療分野やバイオテクノロジー分野における革新的な進展をもたらしている。高分子化学は、高分子の設計・合成を通じて、材料の物理・化学的特性を制御するための技術を提供する学問である。一方、生体材料学は、医療用途に適した材料の開発を目的とする学問であり、生体適合性や生体内分解性などが重要視される。近年、これらの分野が交差することで、革新的な材料の開発が加速している。中でも、生物がもつ特性や機能を模倣し、人工的に設計・構築するバイオインスパイアード高分子材料が多く注目を集めている。例えば、クモの糸のように高い強度と柔軟性を兼ね備えた高分子材料や、魚類の粘液に着想を得た超高粘度ゲルなどが研究されている。注目される特性として、自己修復性、接着性、刺激応答性などが挙げられる。自己修復性とは、損傷を受けても分子間相互作用を利用して材料が自らを修復する特性であり、医療用インプラントやソフトロボティクス分野での応用が期待される。接着性は、材料開発において汎用性の高い特性であり、イガイが接着に用いているカテコール基を利用した接着性は、医療用接着剤や水中補修材料への応用が期待される。刺激応答性は、温度、pH、光、電場などの外部刺激に対して物性を変化させる特性であり、ドラッグデリバリーシステムやバイオセンシング分野で重要な役割を果たすことが期待される。高分子化学と生体材料学の融合は、今後も継続的に発展するものと考えられる。特に、バイオ3Dプリンティング技術や人工臓器などの開発において、高度に設計された高分子材料の需要が高まることが予測される。また、持続可能な生体材料の開発に向けた研究も重要な課題となることが予想される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：但馬 敬介

所属・職：理化学研究所創発物性科学研究センター・チームリーダー

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：高分子材料、有機機能材料関連分野に関する学術研究動向ー有機エレクトロニクス・スピントロニクスにおける新たな展開ー

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：有機エレクトロニクス、有機太陽電池（OPV）、スピントロニクス、材料設計・構造解析、学際融合研究

有機エレクトロニクスは、有機半導体材料を用いた柔軟・軽量の電子デバイスの開発を指す分野であり、有機太陽電池（OPV）、発光デバイス（OLED）、トランジスタ（OFET）など多様な応用が進展している。加えて、近年ではウェアラブルセンサやバイオエレクトロニクス、ニューロモルフィックデバイスへの応用など、次世代技術としても注目を集めている。

本調査では、国内外の研究動向を把握するため、PVSEC-35（太陽電池）、MRS Spring Meeting 2025（材料科学）、SAS2024（小角散乱）という三つの国際学会に参加し、現地での調査を行った。OPV分野では、非フラーレン型受容体（例：Y6）を用いた高効率化に関する報告が多数あり、分子設計・配向制御・界面設計の重要性が再認識された。また、構造解析手法としての in-situ 小角散乱測定の実用性が、材料物性の理解と高性能化において極めて有効であることが示された。

一方、有機スピントロニクスは、スピン自由度を活用した新しいデバイス原理に基づく研究領域であり、現在は基礎的な理解が求められる黎明期にある。材料設計の自由度や軽量性を活かしたユニークな展開が期待されており、今後の学際的連携による発展が期待される。

今後の課題として、AI・マテリアルズインフォマティクスの導入、研究評価指標の明確化、若手研究者の育成と国際連携の推進が挙げられる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：山内 美穂

所属・職：九州大学先導物質科学研究所・教授

区分：化学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：化学分野（グリーンサステイナブルケミストリーおよび環境化学関連）に関する学術研究動向-高度学術連携のための課題調査

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：環境、エネルギー、無機材料

本研究担当者は、さまざまな地域で開催された国際会議に参加し、グリーンサステイナビリティおよび環境化学関連分野の進展のために必要であると感じた点を以下のように報告する。

(1) The 9th Asian Conference on Coordination Chemistry (ACCC9)

錯体分野においても触媒やエネルギー変換に関する発表件数が増えているが、錯体特有の機能にのみ注目する研究が多い。グリーンサステイナビリティ分野との交流機会の増加が望まれる。

(2) The 18th International Congress on Catalysis (ICC 2024)

ヨーロッパでは分析手法の開発、中国では触媒材料の作製など、地域により研究ターゲットが異なることが鮮明であった。無料の飲料水の整備して（再利用可能なボトルを使って利用）ペットボトル使用量を削減したり、完全予約制を導入してランチ廃棄ゼロにする取り組みが実施されたことは見習うべき点である。

(3) The 12th AsiaNano

インド工科大学マドラス校の教授陣が若手に深く考察させるための時間を割き、それに対して学生や若手研究者がしっかりと意見を述べていたことは印象的であった。インド科学界の将来性を強く感じた。

(4) Joint Chemical Science RSC-CSJ symposium, Material for energy storage and conversion

ヨーロッパの研究者は材料機能の概念的な理解を重視しているのに対して、日本人研究者はより高機能化のための指針の述べることに重点が置かれていた。どちらの視点も重要であるため、地域が異なる研究者間でのさらなる交流が必要であると感じた。

(5) 12th Singapore International Chemistry Conference

サステイナビリティに関する分野では、多くの中国人研究者が高機能材料創製のための新概念に関する発表を行った。中国に学ぶべきことは多いと感じた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：永田 晴紀

所属・職：北海道大学大学院工学研究院・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 ー宇宙推進工学および関連分野における新たな潮流と展開ー」

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：宇宙輸送工学、ロケット、SDGs、商業宇宙利用

宇宙輸送工学および宇宙推進工学の動向を調査した。固体ロケットおよび液体ロケットの論文数は継続的に増加しているが、ハイブリッドロケットの増加傾向は2021年で止まっており、論文数の伸びに差が見られる。宇宙輸送工学研究の全体的な動向として商業宇宙利用の活発化が年々影響力を増しており、ベンチャー企業を始めとする民間分野での研究開発が活発化しているのに加えて、宇宙関連の競争的研究開発資金も増加傾向にあり、これらが産学を跨いで論文数の増加を牽引していると考えられる。一方でハイブリッドロケットは固体ロケットおよび液体ロケットと比較して技術的に成熟しておらず、実用化例が少ないため、特に民間分野において研究開発の牽引力が弱いと考えられる。

商業宇宙利用の活発化により、SDGsの意識の高まり、低価格化、および小型化への意識は引き続き強まっており、低毒/無毒推進系と3D印刷に関連する研究が、年毎に増減を繰り返しながらも傾向としては増加を続けている。低毒/無毒推進剤は安全管理コストの削減を通じて低価格化にも繋がる。

電気推進分野では300 km未満の超低高度で軌道を維持する手段として空気吸込式電気推進が注目されている。低軌道で吸い込んだ空気を推進剤として用いる方式なので、排気速度が第一宇宙速度(7.9 km/s)付近を超えないと推力が得られないが、一般的なイオンエンジンの排気速度は30 km/s程度であり、十分に推力発生が可能である。超低軌道を利用するための基盤技術として期待されている。

デトネーションエンジンは次世代の宇宙推進技術として引き続き注目されている。特に回転デトネーションエンジン(RDE)に関する研究が2024年も目立った。我が国では2024年11月にJAXAの観測ロケットS-520-34号機に液体燃料(エタノール)を用いる回転デトネーションエンジンが搭載され、宇宙でのフライト条件における作動実証に成功した。液体燃料による大気圏外での作動実証はこれが世界初であり、注目を集めた。

令和 6(2024)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、パワーエレクトロニクス、半導体人材育成

令和 4 年度以降、先端半導体デバイス分野を中心に学術研究動向調査を行ってきたが、コロナ禍を経て、大きなターニングポイントに直面した期間であった。生成 AI や IoT、自動運転技術の発展には最先端の半導体集積回路が不可欠である。また、電気エネルギーの高効率利用では電力変換効率に優れた次世代パワーデバイスが必須であり、シリコンデバイスの性能を遥かに凌駕する炭化ケイ素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) 等のワイドバンドギャップ半導体を用いた次世代パワーデバイス普及への期待が高まっている。前者の集積回路分野では、数兆円にも及ぶ国費が投入され、2nm 世代の最先端半導体の製造工場の本格稼働が近づいている。これまで、EUV 露光機や様々な最先端製造装置の導入を進め、当該分野の最先端を走る台湾や欧米のキャッチアップを最優先に事業が展開されてきたが、当該分野の発展を支える人材が 4 万人以上不足するとの試算もあり、アカデミアに対しては高度半導体人材の育成が強く求められている。半導体分野の人材育成は、これまで特定の地域に偏っていたが、近年ではオールジャパンでの取り組みが加速している。さらに、九州地区に生産工場を建設した台湾 TSMC での半導体人材不足は深刻であり、高度人材の奪い合いが起きている。一方、新材料パワーデバイスの進展は目覚ましく、電気自動車への SiC パワーモジュール導入が口火を切り、GaN や酸化ガリウム (Ga_2O_3)、ダイヤモンドと言った新技術の研究開発が加速している。新材料物性の理解や使いこなしは日本の得意分野であり、これらの新分野で世界をリードしてきたが、産業応用への明確な筋道が示されてからは、中国や韓国が集中的に研究開発を推進し、近年では当該分野の日本の優位性が揺らいでいる。既に、SiC ウェハの生産技術では中国は世界の中心的な位置を占めており、半導体集積回路分野と同様にパワーデバイス分野においても、最先端研究の支援と人材育成の重要性が増している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：小熊 久美子

所属・職：東京大学大学院工学系研究科・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—分野融合を見据えた学術の動向と研究人材獲得の取り組み事例調査—

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：分野融合、国際人材、海外大学調査

工学およびその周辺分野における国内外の学会に参加し、当該分野の学術動向や分野融合の可能性を調査した。また、優秀人材の獲得と育成のために日本がなすべき改革を探るため、海外のトップレベル大学で教員や若手研究者に現在の研究環境等をヒアリングしたほか、海外での研究経験がある日本人研究者らに意見聴取を行った。

学術動向を調査した学会（国際学会3件、国内学会3件）は、いずれも各研究領域の重要テーマを理解し研究者の人脈を得るうえで大変有意義であった。このうちフォトンクス関連の国際学会には、応用物理学（発光デバイス関連）とそれを利用する多様な分野から産学の専門家が各国から参加しており、分野融合のポテンシャルが高く、また既に分野横断的アプローチが多数実施されていた。また、工学系の女性研究者に的を絞った国際ワークショップでは、大学院生からシニア教授まで幅広い世代の女性研究者が意見交換しており、若手研究者育成の観点で大変有意義な企画と思われた。

海外大学の調査では、ケンブリッジ大学およびシドニー近郊4大学を訪問し、教員および若手研究者（博士研究員、大学院生）に対面でインタビューを行った。総じて、海外の大学教員は日本の学術界に対する評価が高かった一方、若手研究者のほとんどは日本への留学や就職を一度も検討しておらず、その主な理由として、日本が非英語圏であること、身近に経験者がいないこと、日本の各種奨学金が他国に比べて見劣りすること（採択率が低い、金額が十分でない、確定するタイミングが遅い、申請手続きが煩雑でわかりにくいなど）などの意見が複数あった。また海外で研究経験のある日本人研究者からは、海外の大学では事務系職員の専門性が高く、研究者が研究に集中できるよう組織的な配慮を感じたとの意見が複数あった。

令和 6(2024)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：防災工学関連分野に関する学術研究動向 ―複合災害への備え―

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：マルチハザード, 防災, 減災, リスク, レジリエンス

2024 年度に開催された複数の防災関連国際会議に参加し、地震、津波、海面上昇、液状化、地滑り、火災、塩害などの複数災害が同時あるいは連続して発生するマルチハザード環境下における、沿岸都市の社会インフラに対するリスク軽減策およびレジリエンス向上策に関する国際的研究動向を幅広く調査した。特に、これらの研究を先導する Frangopol 教授（米国）、Biondini 教授（イタリア）、Casas 教授（スペイン）、Ruan 教授（中国）の最新成果を直接確認しつつ、IABMAS2024（デンマーク）、18WCEE（イタリア）、ISRERM2024（中国）において Mini Symposium を企画・主催し、国際的な議論を通じて多角的な知見を得た。IABMAS では、沿岸橋梁における塩害や疲労劣化の進行とライフサイクル評価、維持管理方針の最適化などが議論され、また多国の実務者・研究者が共通課題として認識していることが確認された。18WCEE では、筆者が基調講演を担当し、日本における南海トラフ巨大地震・津波に対する対策や、津波・液状化・斜面崩壊などが複合的に構造物へ与える影響を時空間相関を通して評価する数理モデルの重要性を提示した。ISRERM では、ベイズ推論や機械学習を活用し、マルチハザード下での信頼性・リスク・レジリエンスを一体的に評価する次世代の枠組みについて、国際共同研究の可能性を含めて議論した。

近年の大規模災害、すなわち 2011 年の東日本大震災、2016 年の熊本地震、2024 年の能登半島地震等では、強震動に加えて津波、液状化、地すべり、火災などが複合的に構造物へ甚大な被害を与えた事例が多数報告されている。特に、補強された橋梁であっても津波や斜面崩壊によって被害を受けたことは、従来の単一ハザードを前提とした設計の限界を示しており、支配的ハザードを特定し、複合的に作用する災害を考慮した信頼性評価モデルの必要性が高まっている。この点において、Cornell 教授らによる地震信頼性評価の基礎理論は重要な出発点となるが、近年はフラジリティ解析や影響度評価などを組み合わせ、構造物レベルだけでなく、ネットワーク全体の機能保持や地域全体のレジリエンスの観点からの評価に発展しつつある。海外でもマルチハザードに関する研究が増加しており、災害種間の時空間相関を考慮したモデル化は、国際的にも今後の重要課題として位置付けられている。我が国においても、構造物単体ではなく、その背後にある社会的・経済的機能を含めたレベルでのリスクマネジメントが求められており、数理モデルと現場知見を融合させた総合的な研究枠組みの確立が急務である。

令和 6(2024)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

本研究では、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を調査研究し、次世代に向けて要求される科学・技術を展望する。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、その基礎となるナノサイエンスとともに、この四半世紀に渡り、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。1ナノメートルの距離スケールは、ちょうど「量子力学効果」が目立ち始める距離である。ナノサイエンス・ナノテクノロジーは、近年急速に注目が集まっている「量子コンピュータ」など量子力学現象を扱う科学技術の基礎でもあり、実用段階に入った数ナノメートルサイズのナノスケールデバイスの基盤技術でもある。走査型プローブ顕微鏡 (SPM) は、原子スケールから、ミクロンサイズに至るまで、試料表面の形状を観察できる顕微鏡であり、そのスケールで物性を解析できる、まさにナノサイエンス・ナノテクノロジー分野に欠かせないツールである。本研究では、特に SPM による顕微鏡法と、光による振動分光法の複合装置の開発状況を中心に調査した。非常に特殊な光源、低温・超高真空環境など、限られた先端研究レベルでは、原子分解能の表面画像および元素同定が実現しているが、市販されている大気環境下で駆動する AFM-IR 等は、10 nm 程度の空間分解能である。

2024年8月5日～9日にマギル大学 (モントリオール, カナダ) 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-AFM2024)) に参加し、研究成果を発表した。FM-AFM は、原子分解能で、表面を観察でき、力学的に表面物性を解析することも可能である。本会議では、原子操作による反応制御に関する発表も多く、その種類や精度において進展しており、量子分子デバイスなどへの応用も視野に入ってきた。

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」を継承する形で、一般財団法人青葉工学振興会内に「次世代ナノプローブ技術委員会」を 2023 年に発足させ、著者は運営委員の一人として、次世代ナノプローブ技術に関連する産官学の連携に務めている。

令和 6(2024)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：結晶成長、太陽電池、データサイエンス

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、盛んに行われている。脱炭素化のため、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、火力等に比べても世界各地で最も安価な電源となっており、累積導入量が1テラワット(TW)に達した。国際エネルギー機関によると、2050年には14TWの導入が必要とされている。このため、今後も、太陽光発電の役割は拡大を続けると考えられる。2024年現在、市場に新たに投入される太陽電池の発電能力で比べると、その9割以上が単結晶シリコン太陽電池であり、10年前は多結晶シリコン太陽電池が6割以上を占めていたことを考えると、様変わりしたといえる。単結晶Si太陽電池の殆どが特定国の企業から供給されているが、化石燃料による安価な電力を使って製造した直径200mmφのインゴットから、152mm角のセルを作製するため、高純度Siの50%以上を廃棄する非常に無駄の多いプロセスであり、問題が多い。また、シリコン太陽電池では、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の検討がなされており、薄膜太陽電池の新材料として注目を集めているペロブスカイトと組み合わせようとする動きが引き続き盛んである。異種材料との組み合わせでは、界面の制御が不可欠であり、この分野の研究も始まっている。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、活発に行われている。シリコン太陽電池は光吸収層の厚みが180 μm 程度であり、基板ベースであるため柔軟性に欠けるのに対し、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。上記の薄膜太陽電池材料に加え、新しい太陽電池材料を含めて、薄膜太陽電池の研究開発が求められる。

スピントロニクス分野では、新しい物理現象に係わる基礎研究から、単体デバイス、さらに、集積回路まで、非常にレンジの広い研究が行われている。スピントロニクス材料を記録媒体として用いる場合、磁化の方向を電流またはスピン流で制御する必要があり、この方面の研究が盛んに行われている。スピン移行トルクやスピン軌道トルクによる磁化の制御の他に、電流を流さず電圧による磁化の制御で省電力化を達成しようとする研究が活発に行われている。

太陽電池やスピントロニクスに限らず、あらゆるデバイス形成の根幹は結晶成長による製膜で

ある。その分野において、結晶成長条件の最適化のために、種々のデータを利活用して機械学習からより短期間に最適解を得ようとする取り組みが、広範に行われるようになってきている。データサイエンスを利用することで、結晶成長が進化している。

令和 6(2024)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 ー生体電磁工学を基軸とした学際領域における新展開ー

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：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、すなわち電離放射線を除く波動領域は、電波や超音波を含み、医療、通信、エネルギー、環境など多様な分野で応用が急速に拡大している。特に、無線通信の高度化やワイヤレス給電の普及に伴い、人体近傍で使用される電子機器から発生する漏洩電磁界の影響評価と、それに対応する国際的な安全基準やガイドラインの整備が重要な課題となっている。こうした技術の進展に伴い、生体物理、電磁界解析、生理応答モデル、熱的影響、さらには行動・環境要因を組み合わせた多角的かつ学際的な視点による検討が求められている。

このような背景のもと、ICNIRP（国際非電離放射線防護委員会）および IEEE（米国電気電子学会）の関連会合・Web 会議に出席し、電磁界の生体影響およびその防護に関する国際ガイドラインの最新動向について、専門家との意見交換および技術情報の収集を行った。特に、周波数帯域によって区切られた現行基準における境界周波数（たとえば、300GHz 帯）の取扱いや、それに伴う実用機器への適用課題、今後の技術革新を見据えた研究開発の方向性について調査した。さらに、欧州各国の公募型研究制度や、EU が主導する大型研究資金の配分方針、研究者のダイバーシティ確保に向けた取り組みの実態についても情報収集を行った。

また、APEMC、BioEM、Brain Stimulation、日本生気象学会などの国際・国内学会に参加し、生体電磁工学における医療応用、安全性評価、製品開発、環境物理因子の影響などに関する最新の研究動向と国際的な議論を幅広く把握した。特に日本生気象学会では、暑熱環境下での微気象条件が人体温熱応答に与える影響や、熱中症リスク評価の高度化、非電離放射線に関する生体影響評価のさらなる精緻化に資する知見を得た。さらに、紫外線曝露と眼疾患リスクの関連性について、疫学調査の様子を見学するなど、多角的な情報を得た。

令和 6(2024)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：知能ロボティクス関連分野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。非整備空間で移動を伴う作業を行うロボットにとって最も重要な機能は位置同定と経路計画であり、この両方を高精度に実現する SLAM は極めて重要な技術である。当初、SLAM は 2D LiDAR を用いた平面地図が対象であったが、その後、安価な Multi-line 3D LiDAR の開発や IMU との密な統合などにより、高精度な立体地図の生成や 3 次元位置同定などへ拡張されている。また近年では、雨天や粉塵などの耐環境性能が高く、さらに計測対象の速度情報も得ることができる Radar が注目されている。Radar は従来、角度分解能の低さが課題であったが、近年では数十ラインの Radar が開発され、これを用いた SLAM も提案されている。例えば ICRA2024 では、Radar を用いた Odometry、Localization、Place Recognition、Object Detection に関する研究が多く発表された。特に会議初日には、Radar の利用に関するワークショップが開催され、Radar の特徴（例えば Doppler 速度など）を生かした AI 構築や、効率的な学習データ構築のためのシミュレータ、他のセンサとの情報融合、基盤モデル構築などが今後重要になると指摘された。その後の会議でも、Radar のみによる Odometry 手法や IMU との統合手法など、特に Doppler 速度を積極的に用いた手法が多く提案された。また IROS2024 でも、Radar の利用に関する多くの論文が発表され、例えば新たな対応付け手法である CFEAR-4 を用いた Radar のみによる SLAM の実装、Radar と IMU を組み合わせた 4D FMCW Radar-Inertial Odometry、FMCW Radar を用いた Localization 手法である RaNDT などが提案された。

令和 6(2024)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」－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：異分野融合，学術変革領域研究 A，計測工学，ナビゲーション研究

昨年度に引き続き，特に生物系テーマと工学分野における異分野融合研究の動向に着目し，調査した．具体的には担当者が参画する科研費プロジェクトを通じて，ヒトを含む様々な生物を対象としたナビゲーション研究を例に調査を行った．このプロジェクトでは工学にとどまらず，生態学，神経科学，情報科学といった幅広い分野に関する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おり，現在の研究現場を知る良い機会となっている．

・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)」での活動を通じた調査では，野外での様々な環境に堅牢なセンサデバイスやその長時間計測，また計測後の多次元の時系列データに関する分析手法などに関する生物学者らによるニーズが多いことなど，ここ数年と同様の傾向が見て取れた．一方，データサイエンス系の研究者らからは，機械学習などで得られたモデルやシミュレーション結果を，実空間に実装する挑戦的な課題も紹介があり，情報系研究者のみではハードルは高いものの，工学系研究者 (計測やロボットなど) との融合によって，機械学習系の分野において新しい潮流をもたらすように感じた．

・神経科学分野などモデル生物を扱う研究分野においては，情報系研究者や工学系研究者との異分野連携は，研究にオリジナリティを持たせ，大きく加速させるチャンスになっている．しかし学術変革領域研究 (A) のような大型の融合研究を推進する一部の研究課題を除き，生物系の研究者らが積極的に工学系の研究者らと交流する機会はまだまだ少ないと感じる．担当者は本年度，日本神経科学大会や日本音響学会など，生物から工学系に至る様々な学会にも参加したが，分野を超えたお互いのニーズやシーズを知ることでできる交流の場の少なさをやはり感じた．

・若手研究者らのキャリアパスに関して，工学系や生物系から情報系へは自然な流れになっている．生物系研究者はもともと女性も多いことから全体の人口も多く，また情報系研究者もここ数年，急激に増えている．一方，現在の異分野融合は，工学系への研究者参入には直接あまりつながっていないように感じることから，積極的な仕掛けが必要にも思う．

令和 6(2024)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 フォトニクス研究所・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、多様な分野を横断する計測基盤として、先端的かつ先導的な「光計測」に焦点を当て、最新の研究動向と共通課題を調査した。特に、新たな光計測を切り拓くと期待される「光コム」と「テラヘルツ (THz) 波」を中心に、海外の先端研究を探った。

【光コム】

今年マイクロ光コムの技術的進展が多く報告され、注目を集めた。薄膜リチウムナイオベートでは、ラマン散乱を抑えつつオクターブスパンの単一ソリトン生成と抽出を両立し、オンチップでの f_{ceo} と f_{rep} 安定化が進展。AlGaAs-on-insulator では、補助レーザーによる熱補償で室温動作が実現。懸架型 AlGaAs 共振器では Q 値 150 万超の低損失デバイスが開発され、4 mW 以下で Kerr 光コム生成が可能となった。Kerr 誘起同期により熱屈折雑音を抑え、タイミングジッターの指数関数的減衰も実証。さらに、SiN 基板上の光周波数分周では、基準レーザーの差周波によるパッシブ同期で、外部制御なしに 110 GHz の低位相雑音ミリ波信号の生成に成功。これらは次世代通信や高精度時刻標準への応用を広げる成果であり、今後の高性能化・集積化が期待される。

【テラヘルツ波】

THz 波の応用と実用化に向け、さまざまな技術的取り組みが報告された。文化財保全では、量子カスケードレーザーのフィードバック型 THz イメージングにより、大理石象嵌の内部構造や損傷を高コントラスト・高分解能で可視化する手法が紹介され、繊細な対象への応用が期待される。また、THz 周波数の標準化に関しては、90 km の都市型ファイバーリンクを用いた 2×10^{-18} の不安定度での光キャリア転送が実現され、CMOS 互換のシリコンフォトニクス技術と連携したチップスケール THz 基準分配の可能性が示された。さらに、ptychography 手法により、複雑媒質中の屈折率分布を再構成する高分解能イメージング技術も紹介され、ビーム伝搬法と位相回復最適化の併用により、困難だった内部構造の可視化が可能となり、非破壊検査や材料評価への応用が期待される。

令和 6(2024)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：工学系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：ナノマイクロ工学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、MEMS、DNA

ナノマイクロ工学関連分野は機械工学、電気工学、化学工学との融合領域、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。日本機械学会に関連する国内学会に目を向けてみると、2024 年 5 月 29 日(水)～6 月 1 日(土)に宇都宮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 Robomec2024 においてマイクロナノ工学関係の OS は 72 件中 6 件あった。今年度も分野横断研究関連の OS は 5 件あり、山西らは分野横断研究関連 OS として「機能性界面」OS を昨年度に引き続き企画した。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 部門が連携してお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。例えば今年度は DNA に関する解析技術やセンサ技術の報告があった。

DNA 解析の工程で重要なサイズ分離において高効率・高速な大分子量 DNA のサイズ分離を実現するためにサイズ分析の高速化を目的として、チップ上の微小流路内にナノピラー、ナノスフィア、ナノウォールなどのナノ構造体を形成し、それらを分子ふるいとして利用するマイクロ電気泳動チップが多数提案されている中において、低コストかつ高度な加工技術が不要なポリマーブランチ膜を分子ふるいとして用いたマイクロ電気泳動チップの発表があった。

また DNA を用いたセンサ技術においては DNA 修飾ナノ粒子結晶を用いた高感度バイオセンシング技術を目指した報告もあつた。金ナノ粒子表面に一本鎖 DNA を修飾した DNA 修飾ナノ粒子(DNA-NP)同士を、Linker DNA を介して選択的に結合させた三次元構造体である結晶には金ナノ粒子を含むことから、局在表面プラズモン共鳴(Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR))などを利用し高感度な光センシングにより生体内で長時間の測定を可能にすることを目指す報告があつた。今後さらなる分野横断研究の発展が期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：伊賀 由佳

所属・職：東北大学流体科学研究所・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：流体工学関連分野に関する学術研究動向—キャビテーション現象に関連した流体機械の諸問題—

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：流体工学、エネルギー、液体水素、キャビテーション

本文：

2050年カーボンニュートラル実現に向けて、液体水素の大量輸送技術に関心が高まっている。水素の低コスト化には、現状の液体水素の圧送手段である容積型による少流量輸送ではなく、ターボ型ポンプを用いた大量輸送技術の確立が必須である。ターボ型ポンプは一般的に、流量を上げるために高速で回転させると、発生したキャビテーションが羽根間を塞ぎ、ポンプの圧送能力が急激に低下する。よって、このキャビテーションを抑制する術があれば液体水素を大量に輸送でき、水素社会の実現に向けて大きく前進することができる。液体水素キャビテーションは、これまでは主に液体ロケットエンジンの分野で研究されてきた。特に、キャビテーションの抑制量の指標となるキャビティ内の温度低下量を液体水素において計測した事例は、1970年代にアメリカ NASA において計測された 1 例のみ、可視化事例は 1970 年前後の NASA の 2 例のみである。液体水素キャビテーションの研究はその後、報告が見当たらない状況であり、最近では、液体水素の熱力学的状態を、比較的取り扱いが容易で安全な液体窒素で模擬して行われているようである。一方、近年のカーボンニュートラルに関連して、そろそろ世界のどこかで液体水素キャビテーションの研究が再開されるのではと予想される。よって、本学術研究動向調査において、国際・国内会議に出向いて液体水素キャビテーションの研究動向調査を行った。調査の結果、世界的に見ても、液体水素キャビテーションの研究はまだ再開されていないことがわかった。液体水素関連と思われる研究がそれぞれ Washington State University と von Karman Institute for Fluid Dynamics から CAV2024 で紹介されていたが、いずれも、まだ液体水素を流すところまでは到達していなかった。引き続き、研究動向を調査したい。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大野 宗一

所属・職：北海道大学大学院工学研究院・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：「材料加工および組織制御関連分野に関する学術研究動向ー計算材料科学による材料開発の新たな潮流ー」

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：計算材料科学、データ科学、機械学習

材料加工および組織制御関連分野において、計算材料科学、データ科学・機械学習のアプローチ、さらにそれらを融合した新しいアプローチの発展に関する研究トレンドと新たな研究領域の動向調査を行った。電子論計算による物質の構造・物性解析、分子動力学法による加工・相変態の原子系シミュレーション、フェーズフィールド法やセルオートマトン法による組織形成シミュレーション、CALPHAD 法による実用金属材料の状態図計算など、従来から続く計算材料科学的研究が広く行われていることに加えて、金属材料の腐食現象や積層造形における急速凝固など、これまで十分に応用が進んでいない領域への展開も目立ってきた。さらに、材料製造プロセスにおいて重要となる熔融金属の流動予測のために、従来型のナビエ・ストークス方程式の数値解法を用いる代わりに GPU 並列計算と相性が良い高速な格子ボルツマン法を用いた研究などが報告されており、本分野においてもハイパフォーマンスコンピューティングの取り組みが確実に増えている。

データ科学・機械学習はその発展と応用が非常に急速に進んでいる。材料の Process-Structure-Property-Performance (PSPP) 関連の一部を機械学習で予測する試みから、機械学習による相安定性の予測、機械学習による原子間ポテンシャルの開発、データ同化による材料物性値の推定、潜在空間を利用した材料内部のダイナミックスの予測など、その試みは多岐にわたっている。また、機械学習手法も古くからある Neural Network に基づくものから最新の Transformer 系の手法を用いたものまで種々報告されている。特に、機械学習による予測をブラックボックスのままにしておかず、Class Activation Map (CAM) や Grad-CAM をはじめとする技術に基づき、機械学習予測の説明可能性や解釈可能性を追求する試みも目立ってきた。機械学習アプローチの応用拡大とともに、この傾向は今後も続くと予想される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：進士 忠彦

所属・職：東京科学大学総合研究院・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：「機械要素およびトライボロジー関連分野に関する学術研究動向 ―新しい医療機器にもとめられる機械要素研究・開発の新たな展開―」

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：医療機器, 機械要素, アクチュエータ, メカトロニクス

近年、製造技術に関する機械要素、アクチュエータ、メカトロニクスを扱う国内の学協会では、医療・福祉技術への応用研究に特化した学術セッションが増加している。令和 7 年度には、申請者が所属・運営に関与する精密工学会および日本機械学会などの学術講演会を中心に、新しい医療機器に求められる機械要素やアクチュエータ、メカトロニクスの研究動向について調査した。

精密工学会の春季・秋季大会では、政府による医工連携の推進や、中小製造業の医療機器分野への参入増加を背景に、「バイオ・医療への応用展開」および「マイクロニードル（作製法とアプリケーション）」に関連するセッションが設けられている。これらの発表は、低侵襲医療技術への関心の高まりを反映しており、薬物送達システムや診断技術の発展を目的として、精密加工技術を活用したマイクロニードル、MEMS プロセス技術を用いた薬物・遺伝子導入用の細胞操作デバイス、医療機器向けのソフトアクチュエータに関する研究が盛んに議論されている。

日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門の講演会では、「医療・福祉」および「ナノ・マイクロシステム」のオーガナイズドセッションにおいて、福祉ロボティクス、看護メカトロニクス、バイオマニピュレーションを中心に医療機器やロボットの高度化が進められている。具体的には、筋電義手やウェアラブル支援装置、微細操作ロボットなどの技術が多数提案されている。

日本機械学会と電気学会などの合同シンポジウムである電磁力関連のダイナミクスシンポジウムでは、機械と電気の境界領域において、体内埋込み型人工心臓向けの磁気浮上モータ、脈波解析による心拍再現技術、骨格筋モデルを用いたバイオアクチュエータ制御、上肢リハビリ用ロボットなど、幅広い医療分野での革新的な研究が行われている。

さらに、日本 AEM 学会が主催する MAGDA カンファレンスでも、磁気浮上型人工心臓や血液ポンプの制御、小型モータ駆動を用いた精密医療機器の開発、腹腔鏡手術鉗子の評価、超音波キャビテーションによる薬剤送達、腸換気用ソフトロボット、バイオ駆動型アクチュエータ、磁気誘導式カプセル内視鏡位置検出など、医療応用に関する先進的な研究が進展している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：関口 康爾

所属・職：横浜国立大学大学院工学研究院・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：応用物性関連分野に関する学術研究動向-スピンを活用するための新物質・新機能研究の新たな潮流-

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：スピントロニクス、新奇磁性体、ヘリシティ、軌道角運動量

近年、スピントロニクス分野では、電子のスピン自由度を活用した高機能・低消費電力デバイスの研究が急速に進展している。中でも Altermagnet をはじめとする新奇磁性体の登場や、軌道角運動量を介したトルク制御、さらにヘリシティ（光の回転方向）を用いた非接触制御技術の開発など、スピン機能の拡張に関するトピックが注目を集めている。本レポートでは、国際会議 MORIS 2024 (Magnetics and Optical Research International Symposium) にて報告された最新の研究成果に基づき、三つの代表的なトレンドと今後の展望について調査した。

Altermagnet は、スピンが結晶格子内で対称的に反平行に配置され、全体として磁化がゼロである一方で、時間反転対称性を破る特異な磁性状態を持つ。従来の強磁性体や反強磁性体と異なり、磁場による干渉を受けにくく、安定なスピン機能が得られることから、スピントロニクス素子の新しい材料候補として注目されている。MORIS 2024 では MnTe、RuO₂、Mn₅Si₃などの具体例が報告され、それぞれに異常ネルンスト効果 (ANE) や異常ホール効果 (AHE) の実験結果が示された。特に MnTe では、MOKE (磁気光学カー効果) を用いた可視化や、温度依存ヒステリシス測定などを通じて、ドメイン構造と磁気対称性の直接的観察が行われていた。

軌道ホール効果 (OHE) は、電流によって誘導される軌道角運動量の流れが、スピホール効果 (SHE) に類似した挙動を示す現象である。Ni/Ta などの二層系においては、SHE と逆符号のスピン軌道トルクが観測され、軌道電流の影響が顕著であることが示唆された。これにより、軌道自由度を活用した新しいスピントルク生成機構が提案されており、今後の低損失・高効率な磁化制御の基盤技術になると期待されている。

円偏光（ヘリシティ）を利用したスピン制御は、非接触・高速・非破壊といった特長を持ち、次世代の光スピントロニクスの鍵と期待されている。キラルフォノンとは、結晶中の格子振動が円運動を描きながら伝播する状態で、実効的な角運動量を有するため、スピンやマグノンに対してトルクを与えることができる。MORIS 2024 では、光励起により LiBO₂結晶で磁化と電気分極が同時に誘起される現象や、キラルフォノンの生成によって複雑なモーメントパターン（クローバー状など）が出現することが報告された。マグノン整流効果により、振動磁化を準静的磁化に変換する“スピנקヤント”の実証も行われており、フォノンクスとスピントロニクスの融合が進展している。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：多湖 輝興

所属・職：東京科学大学物質理工学院応用化学系・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：反応工学およびプロセスシステム工学関連分野に関する学術研究動向
ー炭素循環に関する触媒反応，および反応プロセス工学の動向ー

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：二酸化炭素、バイオマス、炭素循環、触媒反応工学

本調査では、炭素循環に関する触媒反応および反応プロセス工学に関する研究動向を調査した。対象とした“循環させるべき炭素”は、二酸化炭素、バイオマス、廃プラスチックであり、これらはカーボンニュートラル社会の実現に資する非化石系炭素源として注目されている。本年度は、二酸化炭素およびバイオマスの化学変換に焦点を当て、調査を進めた。

カナダは化石資源やバイオマス資源に恵まれ、エネルギー・物質変換に関する研究が盛んである。2024 年度には、化学工学会反応工学部会とカナダ化学工学会、およびカナダ触媒学会とジョイントセッションを開催することができた。カナダ触媒会議では、約 150 件の口頭発表があり、そのうち二酸化炭素変換が 21%、バイオマス変換が 14.3%であった。電気化学触媒と光触媒、マイクロ波、プラズマなど、再生可能エネルギーを活用した触媒反応に関する研究 (25.4%) が活発化している。今後もさらに再生可能エネルギーを活用した触媒反応の件数が増加していくと思われる。一方、反応による生成物に着目すると、二酸化炭素変換で得られる生成物はメタンやメタノール、バイオマス変換では主に水素であった。バイオマス発酵で得られるエタノールの触媒転換に関する発表は数件であったが、文献調査により情報収集を進めた。2000 年以降、特に 2010 年以降、エタノール由来の化成品合成に関する報告が急増し、2020 年以降はエチレンや芳香族合成の報告が年間 400 報以上で推移している。また、バイオブタジエンや SAF (持続可能航空燃料) 合成に関する研究も拡大しており、2024 年の SAF 関連論文数は約 500 報に達した。今後は、カーボンニュートラル実現に向けて、これらの反応系を統合したリファイナリープロセスの構築など、課題を明確にする必要がある。2025 年には北京で国際化学工学会議が予定されており、引き続き国際連携と研究動向調査を進める予定である。

令和 6(2024)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：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手法は主要な研究課題の一つである。また、リアルタイムにビッグデータを解析するためのデータストリーム解析に関する研究も行われており、リアルタイムパターン検出などの成果が発表されている。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。深層学習の活用も行われているが、従来の深層学習の問題点として学習の計算コストが高いことが挙げられる。消費電力の多さも問題となっており、IoT ビッグデータを高精度、高速、かつ消費電力などの面で低コストに学習することができる AI 技術が求められている。また、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、モデルを高速に学習、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ことができるような、新たな AI 技術が産業 IoT 分野で求められている。米国、ビッグテックが AI 研究ならびに AI の技術開発をリードしている一方、我が国において製造業、特に組込・制御機器分野で強みがある点に鑑みれば、独自の IoT-AI 関連技術の開発とその AI 技術による製品の付加価値向上、製造業の変革に向けた取り組みが極めて重要となる。設備管理、半導体、モビリティ、電力インフラ、電子デバイス、制御機器、建設機械など、我が国が得意とする様々な分野の事業に着目し、アメリカの後追いではなく、国内産業の強みを活かした AI 技術・IoT ビッグデータ解析技術の開発が今後重要となる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：吉村 奈津江

所属・職：東京科学大学情報理工学院・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—情報学と人間科学の融合における潮流と展開—

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：学際、脳情報抽出、言語モデル、説明可能性、Hallucination

本調査では人間を対象とした研究について報告する。近年の目覚ましい計算機と計測技術の発展に伴い大きく進展している分野であり、医学、心理学、生理学、情報学など他分野が融合する学際的分野である。これまでの多くの知見は動物を用いた取り組みから得られ、それらの知見を元に、近年では人間でなければ計測できない課題や実験系を用いた研究が増えている。

その中で、脳活動信号から人の意思を抽出するブレインコンピュータインタフェース (BCI) においても、かつては動物を用いて運動意思を脳活動信号から抽出しロボットやパソコン操作を行うものが主流であったが、近年では人間の言語そのものを抽出できる BCI の確立を目的とする研究が急増している。最新の動向としては、海外のスタートアップ企業が一般社会に公表しているように、人の脳内や脳内血管内への電極留置に取り組み、質の高い信号を用いて再現性の高いシステム構築を目指している一方で、頭皮から計測できる信号で大規模データを構築することで ChatGPT のような劇的な性能向上が期待できるとする動向がある。

情報学との融合の観点からは、前者の動向では脳活動信号から抽出した文字レベルの情報に言語モデルを適用することで、文章生成を可能にする流れが標準的となっている。現在では発話中の脳活動信号から文字抽出を行うため、今後は発話を伴わない脳活動の利用が求められる。後者の動向では、信号の質が低いいため、高精度化の実現に向けた信号処理やアルゴリズム開発において情報系研究者の参入が急増している。さらにデータセットやプログラムも一般公開される傾向にあるため、アカデミアに限らず産業界や一般人でも開発への参画が可能となっている。これらの AI モデルの採用においては、一般的な AI 分野でも課題となっている説明可能性や Hallucination も大きな課題であり、抽出した人間の情報を医学や社会に還元することを考慮すると精度向上よりも重要であるとの見解もある。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：小野 順貴

所属・職：東京都立大学大学院 システムデザイン研究科・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：知覚情報処理関連分野（音響信号処理）に関する学術研究動向ー音響信号処理とその周辺分野における深層学習の利用と最適化手法ー

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：音響信号処理、機械学習、音響シーン認識、音響イベント検出

音響信号処理は、近年の機械学習技術の進展とともに、従来の物理モデルや統計的手法から、より柔軟で高性能なデータ駆動型アプローチへと発展している。対象とする音も、かつての音声・音楽中心の研究から、あらゆる音を対象とした音響シーン認識や音響イベント検出へと拡張され、研究が活発化している。以下では、近年の研究動向をいくつかの観点から概観する。

1) モデルの軽量化とデータ効率化の追求

音響シーン認識やイベント検出を扱う研究分野では、国際的なコンペティションと学術会議を連動して展開する DCASE (Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events) において、近年、限られた計算資源や学習データのもとで高精度なモデルを構築する技術の重要性が高まっている。たとえば、DCASE Challenge の Acoustic Scene Classification Task では、従来の分類性能に加えて、2022 年以降はモデルパラメータ数に上限を設けた低複雑度 (Low-complexity) サブタスクが設けられ、2024 年にはさらに少数の教師データでの学習 (Data-efficient learning) が条件として導入されている。こうした傾向は他のタスクにも共通しており、組込み機器やプライバシー保護が求められる環境への応用を見据えた研究の方向性と捉えられる。

2) データ構造や物理制約を導入した学習の深化

深層学習における“ブラックボックス性”の問題に対処するため、近年では物理的知見や信号の構造を活用した学習手法への注目が高まっている。たとえば、マイクロホンアレイの空間構造をグラフとして表現し、グラフ信号処理の枠組みを適用する手法や、音波が満たすべき波動方程式をニューラルネットワークの学習に取り入れるハイブリッドモデルなどが提案されている。これらは、国内外の学会においても実証的な成果とともに報告されており、深層学習と物理モデルの融合による解釈性と汎化性能の向上を目指す重要な流れである。

3) マルチモーダル化と言語インターフェースの接続

大規模言語モデル (LLM) や生成 AI 技術の進展により、音響信号処理におけるマルチモーダル化が急速に進展している。音響と映像、テキスト情報を統合的に扱うモデルでは、音響イベント認識と映像解析の連携、音声キャプション (音響現象の自然言語記述)、言語による環境音検索や音響処理の操作といったタスクが可能となっている。これにより、単なる音の解析にとどまらず、意味的理解や人間との自然なインタラクションを目指す研究が活発化しており、人間と AI の協働や産業応用における新たな可能性として注目されている。

以上のように、音響信号処理における機械学習の応用は、計算効率・構造化・意味理解といった多角的な方向に発展を続けている。今後も、深層学習の進展とともに、より実用的かつ解釈可能な音響処理技術の確立が期待される。

令和 6(2024)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

通信ネットワーク技術に関する最新研究動向について主に以下の2つの観点から概観した。

(A) 高速・大容量化：無線網系では、ミリ波やテラヘルツ帯といった高周波帯を効率的に利用する通信技術やシステム開発が主要トレンドの一つである。ユースケースとして、ユーザ端末に加えて人体に装備した補助端末（眼鏡や時計などを含む）を MIMO 送受信のアンテナ替わりとし、テラヘルツ信号で端末に送信するような利用法、ユーザが特定の地点を通過した際に、テラヘルツ信号を用いて短時間にアプリに必要な情報をプッシュ (or プル) する利用法などが挙げられる。その他、高度なビームフォーミング技術を利用した多重アクセス技術については各種上空系と地上系との連携のユースケースなど多様な局面での制御手法が提唱された。一方、光網系では、IOWN 構想、Beyond5G のアクセスネットワーク基盤、データセンター内のネットワーク構築などをターゲットに精力的な研究開発が進められた。特にマルチバンド化に関する進展は著しく、従来の C バンドに加え、その両側の L・S バンド、さらに O バンドに拡大して通信チャネルを利活用できるよう、光増幅器や信号劣化補償技術などの研究開発が進められた。また、マルチコアファイバやマルチモードファイバなど空間分割型伝送路を利用したネットワーク、量子通信への適用や電力伝送を見据えたホローコアファイバの利活用技術も有望な動向である。IOWN を主導する光ネットワークにおいて、きわめて重要な課題の一つとして、エンド部の高速無線系とコア部の光系の接続部分の処理ボトルネック問題が挙げられる。

(B) カバレッジエリアの拡大：衛星・HAPS を含めた無線通信基盤及び衛星間を結ぶシステム技術や光通信技術、宇宙空間の DTN (Delay/Disruption Tolerant Networking) 技術、加えて無線伝搬路をスマートに変更・制御する IRS (Intelligent Reflection Surface) 関連技術など、精力的に研究が進展した。衛星のコンステレーションを見据えて接続困難なエリアや時間を回避・低減する技術、災害発生時の衛星系による地上系ネットワークの補完システムの開発、衛星間の通信チャネルの容量拡大を見据えた光通信系の導入と衛星系と地上系との連携通信方式の開発などが注目される。

令和 6(2024)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

本調査研究では、情報学分野における高性能計算（HPC）に関する国内外の研究動向について調査した。特に、1. 次世代計算基盤の動向、2. HPC と生成 AI、3. HPC と量子コンピューティングについて報告する。

1. 次世代計算基盤の動向

2022-2024 年度の文部科学省次世代計算基盤にかかる調査研究事業において、ポスト「富岳」時代の計算機基盤に関するシステム調査研究（理化学研究所チーム、神戸大学チーム）、新計算原理調査研究（慶應義塾大学チーム）、運用技術調査研究（東京大学チーム）が実施された。2030 年頃に運用開始する新たなフラッグシップシステムには、理研チームの提案する国産 CPU と加速部を高性能な接続方式で組み合わせたシステムが採用され、2025 年 1 月から理研が開発主体となってポスト「富岳」の開発・整備を開始することとなった。神戸大学チームからも、AI 向けプロセッサやメモリ実装技術に関する挑戦的な検討がなされた。また、新計算原理調査研究では量子コンピュータをはじめとする計算原理の役割を調査し、次期システムの技術としては時期尚早であるものの、研究開発の必要性を示した。運用技術調査研究では、システムの継続性（「京」と「富岳」の移行における端境期の回避）や基盤センターシステム、クラウド、研究データ基盤との連携、省エネ技術の重要性について報告された。

2. HPC と生成 AI

Transformer の登場により、スーパーコンピュータを用いた大規模言語モデル（LLM）の研究開発が国内外で急速に進められている。一方、2025 年 1 月に DeepSeek の低学習コストかつ高性能なオープンソース生成 AI モデルが登場し、様々な分野での生成 AI の活用が加速している。HPC 分野でも AI を用いた科学研究の加速が注目されており、国内外で実験データの収集、解析、利活用のワークフローを自動化し、研究サイクルに AI を活用の試みが進められている。

3. HPC と量子コンピューティング

昨年度に引き続き、HPC 分野の主要な国際会議では AI/機械学習に続き量子コンピューティングを冠するセッションやワークショップが多数開催されている。国内でも、1 の調査研究において HPC の観点で量子コンピューティングの可能性が調査されてきた他、2025 年 3 月には初めて情報処理学会の HPC 研究会と QS (量子ソフトウェア) 研究会の合同研究発表会が開催されることとなった。

令和 6(2024)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：ロボティクス・センシング分野に関する学術研究動向 –ロボティクス・センシングにおける AI・データサイエンスのインパクト–

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、画像処理、3D センシング

本調査では、ロボット制御手法、画像処理、3D センシングなどの基盤技術に加え、分野横断的・融合的な新たな研究領域の動向について幅広く情報収集を行った。とくに、今後の研究・応用展開において重要性が増すと見込まれる深層学習、人工知能、大規模言語モデルの応用に注目し、生成系 AI 技術を中心に動向を把握した。

ロボティクス分野においては、自然言語の指示と視覚情報を統合することで、作業意図をロボットが理解し、自律的な行動計画へと反映させるマルチモーダルフレームワークの研究が進展している。また、調理作業において、物理シミュレーションと視覚シミュレーションを併用し、ロボットがより効率的にスライス動作などの技能を学習するフレームワークが提案されている。さらに、力覚センサ、触覚センサ、ビジョンセンサを組み合わせることで、事前の動作設計や教示を必要とせず、ロボットが複雑な組立作業を自動実行する手法が注目されている。

画像センシング・3D 復元技術においては、単一の静止画像から、物体の動きや変化を推論し、物理的整合性と視覚的リアリズムを両立したリアルな動画を生成する手法が提案されている。また、高い時間分解能と広いダイナミックレンジを持つイベントカメラを活用し、動的なシーンにおける高精度な 3D 形状のリアルタイム復元が実現されている。

産業応用における技術展開としては、最大 250fps に達する高速ビジョンシステムの導入により、バラ積みピッキングや動的補正が可能となり、柔軟な生産ラインの自動化が実現されている。また、3D シミュレーションと AI を用いて、動作プログラムの自動生成が可能となり、生産ライン設計の迅速化と省人化が進んでいる。さらに、安全柵を不要とする協働ロボットの導入が広がっており、人との協調作業が可能な環境の整備と省スペース化が実現している。設計支援、異常検知、品質管理などの領域において、生成 AI や大規模基盤モデルの活用が進展し、知識活用の高度化が進んでいる。

これらの技術の進展は、製造業における自動化・効率化を促進し、労働力不足への対応や生産性向上に大きく寄与している。今後も、AI、ロボティクス、センシングの連携的な発展によって、実世界タスクへの適用可能性が広がり、産業応用のさらなる拡大と価値創出が期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：井上 弘士

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：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：計算機アーキテクチャ、新原理コンピューティング、社会実装

半導体、コンピュータアーキテクチャ、システムソフトウェア、といった、集積回路からコンピュータサイエンスの分野を俯瞰した場合、依然として、①AI アクセラレーションに関する研究、ならびに、サイバーセキュリティに関する研究が盛んである。また、②光や量子といった新原理に基づくコンピューティング技術に関する研究も精力的に行われている。これらの流れは、近い将来での半導体微細化限界の到来を鑑み、その次の時代（いわゆる、ポストムーア時代）における情報処理基盤の構築を見据えたものであり、今後もさらに活性化すると予想される。

AI アクセラレーション技術に関しては、従来 of CNN を対象とした場合から、生成系 AI を対象としたシステム最適化へとシフトしている。また、GPU などより汎用性を有する実行基盤から、エッジ AI などより応用（アプリケーションドメイン）に特化した実行基盤など、幅広い対象において研究が進んでいる。

新原理系に関しては、量子コンピューティング技術に関する進展がめざましい。量子アニーリング、NISQ、そして、誤り耐性量子コンピュータへと、めざましいスピードで研究開発が進んでいる。特に、米国、中国、欧州では、巨額の投資によって研究開発（ならびに、実機実装）が進んでおり、日本においては、投入する人的・予算的リソースをいっそう高める必要があると思われる。

その他の特筆すべき動向としては、環境スケーラブルなコンピューティング技術に関する研究開発が挙げられる。すなわち、単なる消費電力や消費エネルギーの削減に留まらず、情報処理システムの製造から運用までのライフサイクルを鑑みたカーボンフットプリントへの影響分析とその改善を目指す取組みである。今後はこのような方向性の研究がより加速すると予想される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：櫻井 祐子

所属・職：名古屋工業大学大学院工学研究科・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：知能情報学分野に関する学術研究動向－知能情報学における公平性の実現に向けた展開－

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：人工知能、大規模言語モデル、公平性

知能情報学の分野では、社会全体での人工知能（AI）の応用が拡大するにつれて、「信頼できる AI」への関心が高まっている。特に、「公平性」はこの研究分野における中心的なテーマであり、AI が提供する決定や予測が全ての人々に対して公平であるべきだという考えに基づいている。データ駆動型のアプローチ、特に機械学習は、使用されるデータセット内の偏りや差別的なパターンをアルゴリズムに反映させる可能性がある。Amazon の AI による人材採用システムが女性に対して差別的な結果を示した事例は、AI における公平性の問題が現実世界の影響を及ぼすことを示す一例である。

2024 年度に開催された人工知能・機械学習関連の国際会議でも公平性に関する論文が数多く発表されている。例えば、IJCAI2024 で選出された 3 件の Distinguished Paper のうち 1 件は、デジタル市場の拡大に伴い、ユーザーに対して安全で公平な環境を維持することが求められることから、グループ公平性を考慮したオンライン組合せ最適化問題に対する意思決定の枠組みを提案した論文である。また、NeurIPS2024 の Best paper for Datasets & Benchmarks track は、大規模言語モデル（LLM）と人間のアライメントのため、75 か国 1,500 人の参加者による 21 種類の LLM との約 8,000 件の会話を含む多様なデータセットを構築した論文に与えられている。

国内においても、公平性に関する様々な研究が行われており、2024 年度人工知能学会全国大会（JSAI2024）では、ジェンダーバイアス、データセットの取り扱いに関する公平性、AI 運用上の公平性、ヒューマンインザループにおける公平性、機械学習システムの品質としての公平性を対象とした複数のオーガナイズドセッションが開催された。

2024 年は AI 研究における歴史的な出来事として、AI 研究者がノーベル物理学賞と化学賞を受賞したことが挙げられる。物理学賞を受賞した Geoffrey Hinton 氏は AI の倫理的側面や「ブラックボックス」について以前より懸念を示している。今後、LLM の急速な普及に伴い AI の公平性がさらに増すことが予想され、国内でも多くの分野の専門家が参加した多面的な議論が求められ

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中野 有紀子

所属・職：成蹊大学理工学部・教授

区分：情報学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：知能情報学，ヒューマンインタフェースおよびインタラクション分野に関する
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：対話システム、自然言語処理、マルチモーダル、AI 倫理

知能情報学とヒューマンインタフェースおよびインタラクションの各分野における最新の研究動向を調査することにより、これら両分野がクロスオーバーする研究課題について考察した。研究動向の調査対象は、自然言語処理分野の主要国際会議である ACL, HCI 分野の主要国際会議である CHI に加え、SIGDIAL (対話システムの国際会議), ICMI (マルチモーダルインタラクションの国際会議), IVA (バーチャルエージェントの国際会議) 等の過去 2 年間のプロシーディングスである。

自然言語処理分野の中でも特にインタラクション分野と関連のある対話システムの研究では、大規模言語モデル (LLM) の高性能化に伴い、独自の深層学習モデルの提案よりも、基盤モデルといわれる LLM を用いてより適切なシステム応答を生成する手法の研究が主流となりつつある。プロンプトの生成や改良によるアプローチと、Fine-tuning により事前学習モデルを改良するアプローチを比較する研究もみられる。また、LLM の一部の知識を蒸留し、小規模な言語モデル (Small Language Model: SLM) を作成する Teacher-Student フレームワークを用いた研究や、LLM による推論時のメモリ容量を削減する手法等、対話システムにおける小規模、軽量な言語モデルの研究も注目すべき動向である。

言語テキストに音声や画像を融合したマルチモーダルモデルの研究も増加傾向にある。テキストと画像を融合する Visual Language Model (VLM) の研究は、従来から自然言語処理の分野でも重要なテーマの 1 つであったが、音声との融合やマルチモーダル情報から発話の意味を得る等、幅が広がりつつある。

LLM の信頼性や倫理に関する研究への関心も高まっている。LLM におけるバイアスやプライバシーの問題は、AI の信頼性や倫理にかかわる重要な問題である。CHI でも LLM に関する研究が急速に増えており、LLM を使うことによりバイアスのかかった意見を取得しやすくなるといった報告がなされている。一方、自然言語処理分野では、これらの問題を軽減する手法を提案する研究が見られる。生成 AI を開発する自然言語処理の研究と、生成 AI を使うユーザ側を研究対象とする HCI の両側面から、AI の信頼性の問題に取り組む研究が進んでいる様子が見えてくる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：木村 宏

所属・職：東京科学大学総合研究院・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：遺伝子発現、オミクス技術、国際動向

2024 年度に開催されたエピジェネティクスや遺伝子発現制御に関連する国内外の会議への参加や先端研究を行っている研究者を訪問により、最新の動向を調査した。

エピジェネティクスや遺伝子発現制御に関連した技術として、従来のクロマチン免疫沈降 (ChIP) や RNA-seq、ATAC、HiC などの技術に加えて、1 細胞で転写産物を網羅的に解析する技術である single cell RNA-seq (scRNA-seq) 法などが既に一般的となり、発生、分化、再生、老化、病態変化のメカニズム解明のために広く使用されている。しかしながら、1 細胞解析の規模は欧米と比較すると小さく、大規模解析のための予算な制約があると考えられる。一方、多数のオミクス情報について組織内における空間配置情報も含めた形で解析するための空間マルチオミクスについては、新規の技術開発が進んでいる。数年後には、これらの空間マルチオミクス技術も一般化して多くの研究に用いられると考えられるものの、欧米と比較すると動きは緩やかに見受けられる。

生細胞解析に関連する研究については、ゲノム可視化や転写産物の可視化に関する技術開発、あるいは蛍光 1 分子解析が盛んであった時期と比較すると、技術開発は落ち着きを見せている。培養細胞レベルからオルガノイドや生体のイメージングへと課題が移行してきているともいえる。一方、クライオ電子顕微鏡を用いた構造解析も進んでおり、多くのタンパク質やタンパク質-核酸複合体の構造が解かれ、遺伝子発現制御の分子機構の詳細が解明されてきている。クライオ電顕トモグラフィーを用いた細胞内での構造解析が重要となっていることがうかがえるが、国内外ともに技術は発展途上である。この分野の技術開発は急速に進んでいることから、今後の研究の進展が期待できる一方、国内のクライオ電顕の整備は未だ十分でなく、欧米や中国から取り残される可能性が危惧される。

令和 6(2024)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：植物分子、アジア地域、生物リズム、生態系、国際交流

近年、生物学を中心とした研究分野においても、分野横断的な研究がますます求められている。本調査では、各国で新たに生まれつつある地球規模の研究動向を把握することを目的に、国際的な研究活動を調査し、最新の知見を収集した。

第13回 International Plant Molecular Biology 国際会議（オーストラリア）および PAG ASIA 2024（中国）に参加し、最新の生態学、植物分子生物学、ゲノミクス研究を調査した。PAG ASIA 2024 では中国の研究グループの発表が多く、高い研究水準が示された。ゲノム・トランスクリプトーム・エピゲノムなどのオミクスデータは蓄積されているものの、環境応答や進化に関する一般法則を導くには数理・情報解析の活用が不可欠であり、統計解析と演繹的アプローチの両面からの研究が求められる。今後、この分野の発展には、生物学と数理情報科学の両方の知識を持つ人材の発掘と育成が鍵となるだろう。

マレーシア森林研究所を訪問し、分子フェノロジーデータ（野外環境での網羅的遺伝子発現データ）や揮発性有機化合物（BVOC）データの取得可能性を調査した。また、インド・ミゾラム州で開催された時間生物学ワークショップにて講義を行い、現地の大学院生と交流した。今後、日本の研究機関が優秀なインドの大学院生に活躍の場を与えることは、日本の研究の発展にとっても大きな利点となると期待される。

本調査を通じて、(1) 国際的なメタ解析研究の加速と、世界規模のデータ収集におけるリーダーシップの重要性、(2) 生物科学と数理情報科学の融合による新たな研究展開の可能性、(3) アジア地域の研究環境と法規制の影響、ならびに国際的な人材確保の重要性に関する重要な知見が得られた。今後も、異分野融合的なアプローチを推進し、国際的な学術研究を強化する方策について調査を継続したい。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：上田 貴志

所属・職：大学共同利用機関法人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、細胞生物学、中国の研究動向

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。特に近年の発展が目覚ましい中国の植物細胞生物学研究について、南開大学、福建農林大学、浙江農林大学を訪問し、それぞれの大学の研究者と研究動向に関する意見交換を行うとともに、研究費制度や称号制度について話を伺った。称号制度については、称号取得が若手研究者の大きな目標となっており、研究活性を高めるのに役立っている反面、ハイインパクトの成果が出やすい流行りの分野に研究が集中するという弊害が生じているということであった。また、International Plant Molecular Biology (IPMB) Congressに参加し、植物分子生物学の最新の動向を調査した。米国、欧州、中国などの研究者と議論し、各国の現在の研究トレンドと今後の研究動向、公的研究資金制度の現状などについて意見交換を行った。国内では、複数の大学や研究機関を訪問し、情報科学と植物科学の融合や女性研究者を増加させるための取り組みなど、多岐にわたる内容について情報収集と意見交換を行った。

令和 6(2024)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格段の進歩などもあり、精神・神経疾患に関しても、全ゲノム的な遺伝子発現やエピゲノム状態を探ることでその原因を明らかにし、治療法解明へとつなげようとする研究が主流となっている。個々の精神・神経疾患の原因は異なっている場合も多く、共通した発症プロセスなどを説明できる原因については特定できていない。しかし、PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) を用い、近年別領域でも注目を集めている「老化」あるいは「加齢」というキーワードと「神経疾患」をキーワードとして合わせてもつ発表論文数を検索すると、この 50 年で 50 倍以上に増加していることがわかった。これに一致するように、老化や加齢と神経疾患で共通する病態を明らかにすることにより、それらの改善法を開発しようとする研究も見られるようになってきている。中でも老化脳や精神・神経疾患脳で共通して脳内炎症が見られる点は興味深く、その炎症を抑制することで、各病態を一様に改善させられる可能性が示されつつある。

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。内藤コンファレンスでは、この調査で着目されているエピジェネティクスに加え、新たに腸内細菌と神経疾患との関連を考慮する必要性を感じた。Neuro2024 では、基礎神経科学的ものだけでなく、神経変性疾患や精神・神経疾患、老化なども含めて多岐に渡った発表が行われたが、新たなトレンドとしては、ニューロンの形態などに加え行動解析などにも AI を取り入れた研究が多く見られるようになってきている印象を受けた。また、日本分子生物学会年会では脳やエピゲノムに関するシンポジウムが多く開催され、やはりしばらくはこのトレンドは続きそうであると実感した。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：河野 礼子

所属・職：慶應義塾大学文学部・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：自然人類学分野に関する学術研究動向 ―自然人類学の新たな潮流―

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：自然人類学、国際性、中国

自然人類学の対象となる人骨化石は日本では旧石器時代のものが最も古い部類であり、ヒト以外の霊長類化石も非常に限られている。一方、ユーラシア大陸では現生人類の進出も日本に比べれば早く、サピエンス以外の人類も存在し、また化石類人猿も発見されるなど、日本と比較すれば対象資料の種類も年代も幅が広い。研究の動向はそうした地元で利用可能な資料の性質によって左右される面があることは否めない。海外の資料を対象に研究する日本の自然人類学研究者が減少している印象があることから、国際的な研究動向を、本年は特に研究業績の増加が著しい中国に注目して調査し、将来的な課題について検討した。

他分野でも言われていることであるが、中国では研究業績をあげることへのプレッシャーが非常に大きいようである。そうした中、自然人類学の研究者たちは、自国の化石資料などについて、国際的な共同研究を積極的に推進していた。特に人類化石に関しては、年代測定や地質分析などの専門家を招いて大人数の国際研究グループになる例もあり、人類学研究の国際的なトレンドである大人数化の流れに乗っている印象を受けた。また、山東大学には数年前に最先端の人類学考古学研究室が新設され、施設も設備も非常に充実したラボで多くの大学院生が研究を進めていた。こうした人類学考古学の専門的な研究室が新規に設置されることは日本ではほぼ望めず、羨望すら感じた。さらに山東大学の王教授によれば、人類学考古学系の学位取得者の就職先も豊富にあるということであり、多くの若手研究者が輩出されている状況は日本とは真逆との印象を受けた。

12月に開催された北京原人化石発見95周年記念シンポジウムには、多くの国から研究者が参加し、最新の研究成果を発表していた。研究内容としては、古代DNAやその他の成分分析系のものが多く見られた。形態研究に関する発表もあったが、最先端3次元データを活用した研究例が大多数であった。ここでも研究の大人数化の傾向が認められ、日本の人類学研究者が自国の資料だけでなく海外の資料についてもっと研究に参画していく必要性や、自国の資料についても必要があれば海外のスペシャリストを引き入れて成果発信を進めていく必要性などを強く感じた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：颯田 葉子

所属・職：総合研究大学院大学 統合進化科学研究センター・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：進化生物学関連、ゲノム生物学関連分野に係る学術研究動向に関する調査研究

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：バイオバンクデータ、古代 DNA、集団の歴史

本研究は海外で開催された2学会（SMBE と ASHG）と国内開催の1学会（遺伝学会）に参加して、専門分野および関連分野での「最新研究」についての事例を集めた。

海外で開催された2学会では各国のバイオバンクデータを駆使した表現形質と遺伝形質の関連を探る研究が目をつけた。また、古代 DNA を用いた研究では、ヒトのみならず、家畜等のヒトの生活に関わった動植物の集団の歴史とヒトとの関わりを明らかにした研究、あるいは冬眠などの動物に特異的な生理現象を司る遺伝因子・また関連する代謝を明らかにしようとする試みなど、幅広い分野でゲノム生物学が独自の発展を見せていた。一方、日本の国内に関しては本研究でカバーした学会に限られたものだったために、分野としての直接の比較は困難である。日本国内でもゲノムのデータを用いて、集団動態を明らかにして、種あるいは集団の歴史を復元しようとする研究等が見受けられた。一方、日本には、古代 DNA では日本国内の土壌の性質から出土した骨から高品質の DNA が採取できる可能性が低いというデメリットがある。海外で行われている古代 DNA を用いた集団解析に匹敵する規模で研究を行うためには、それなりのサンプル数が必要であり、国内産の古代 DNA を扱う集団遺伝学的研究は難しいと感じた。また、日本のバイオバンクデータは主に医学系の研究で使われている。今後は海外での事例と同様の日本のバイオバンクデータを活用した表現形質と遺伝形質との関連を探る研究が発表されている学会を選択して調査することが必要だと思った。今後さらに日本でのバイオバンクデータの利用が促進されることを期待する。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：坂内 博子

所属・職：早稲田大学 理工学術院・教授

区分：生物系科学専門調査班

調査研究題目：神経生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：脳画像解析、神経ネットワーク、人工タンパク質デザイン、AI

本調査研究では、神経生理学の分野を中心に国内外の最新の研究例、また情報科学や機械工学など他の分野との融合的な研究の動向調査を行った。人工知能(AI)との融合研究は生命科学に最も大きなインパクトを与える研究であったといえる。神経科学分野では、脳画像や脳波の解析、BMI、神経回路モデリングなどが、AIの導入によりデータ駆動型研究で大きく進展した。脳波やマルチモーダル脳画像解析（構造を見るためのsMRI+機能を表すfMRI）などヒト脳での計測データをディープラーニングやグラフニューラルネットワーク（GNN）を用いて解析し、脳のネットワーク構造を可視化して神経疾患に特徴的な脳ネットワークを見つけようとするトレンドが見られ、そのためのデータベースの整備がなされつつある。マウスを用いた基礎研究レベルでも、カルシウムイメージングなどで得られた神経活動パターンの解析にフィードバックに畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を活用した研究が見られ、AIの導入により機能的神経回路の特定や脳の状態の予測の精度が高まっている。今後は機械学習を利用したビッグデータ解析は生命科学研究において必須となり、機械学習を利用したデータ解析体制やデータベースの構築は重要なインフラとして整備する必要があるのではないかと予測される。深層学習を応用した機能的な人工タンパク質のデザインは、2024年度の生命科学の融合研究の大きな潮流であった。ノーベル化学賞を受賞したDavid Bakerは、RF diffusionという深層学習を使い、神経細胞のアセチルコリン受容体を障害するヘビ毒を中和する人工タンパク質や人工的にデザインした酵素、タンパク質品質管理を制御するためのHsp70活性化タンパク質やがん免疫治療のターゲットである免疫受容体に結合するタンパク質を生み出した。これらの研究は、トライアンドエラーを膨大に繰り返しセレンディピティに恵まれなければ辿り着けなかった成果を少ない時間と労力で得られる可能性があり、今までの生命科学の研究のありかたを大きく変えるような大きな潮流と思われる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：鏡味 麻衣子

所属・職：横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授

区分：農学・環境学専門調査班 主任研究員

調査研究題目：農学・環境学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策—地球規模の国際プロジェクトの推進

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，気候変動，水域生態系，生物多様性，ゲノム解析

気候変動や生物多様性などに関わる社会的な重要課題の解決のため、より一層国際的な協力かつ異分野融合的な研究が重要になる。本調査研究では、ヨーロッパを対象に現地訪問を通じて情報収集を行うと共に、アメリカやニュージーランド、台湾の関連研究者の招聘や国内の研究者との交流を通じて情報収集を行った。

オランダで開催された第12回国際菌学会 (International Mycological Congress, IMC) に招待参加し、水生菌類の多様性と生態に関する Keynote lecture を行うとともに、菌類など微生物研究の世界動向調査を行った。菌類学はかつて分類が中心的課題であったが、本 IMC では生態系における菌類の役割、特に病原菌や共生菌としての重要性や、温暖化の影響に関するシンポジウムが多く企画されており、地球環境変動への興味関心・ニーズの高さを改めて認識した。また、最新のゲノム解析を用いた菌類の進化・機能解明の研究発表も多くみられ、古典的な形態に基づく分類学との融合の必要性、標本作成管理の重要性、遺伝資源へのアクセスと利益分配 (ABS) への配慮など、生物多様性の評価と保全のあり方に関して、国際協力体制の強化など活発な議論がなされていた。

国際菌学会中およびその前後にドイツ、オランダ、スペイン、フィンランド、アメリカなどの研究者らと意見交換し、環境や微生物に関する国際プロジェクトの動向について情報を収集した。ヨーロッパでは水域の微生物に関する研究プロジェクトが European Research Council (ERC grant) や Horizon Europe、Cost Action など活発に行われており、水質や水産資源と関わりのある応用的課題だけでなく、微生物の生態解明といった基礎となる研究へも研究費が投じられていることを認識した。国内外の研究者を招聘したセミナーやシンポジウムを企画し、海洋や湖沼など水域生態系の変動について最新のトピックを、情報収集を行った。話題の多くは気候変動など環境変動が生態系に与えた影響を解析し予測しようとする試みであり、地球規模だけでなくローカルスケールでの長期モニタリングの重要性とビッグデータ解析における新たな手法、特に時系列解析への期待を感じるものであった。

環境学関連の国内各学会やシンポジウム、セミナーに参加し、研究分野の国内動向について調査した。海洋や湖沼など水域生態系を理解する上では生物と物理、化学の分野融合が必須なこと、デジタルツインが注目を集めリモートセンシング技術やAIの活用が急速に進んでいること、気候変動の影響評価と対策考案においては森林や都市といった陸域生態系と海洋や湖沼など水域生態

系を関連させて横断的に調べていく陸海連環の視点が重要であることを認識した。

博士課程の人材育成や地球規模での課題解決に向けた研究グループの形成について、ヨーロッパの研究者らと意見交換を行った。オランダ王立研究所 (Netherlands Institute of Ecology, NIOO) では実験施設だけでなく、実験補助や滞在中の事務サポートなど研究訪問を受け入れる体制が整備されており、ハード・ソフトの両面から世界中の研究者が集結し高いレベルの研究が実施できる環境が整っていた。研究所のスタッフの多くは European Research Council (ERC grant) や Horizon Europe など大型プロジェクトを動かしており、その資金で博士課程の学生を雇用しプロジェクトを円滑に進めている。ただし、優秀な博士課程の学生獲得のため自国だけでなくヨーロッパ諸国やアジアからも学生を集める努力をしていること、博士号を取得した学生が必ずしもアカデミアに残らないケースが多く、博士号取得からパーマネントに至るまでのキャリアパスの形成が課題であるという意見が多く聞こえた。スペインの海洋研究所 (Institute de Ciencias del Mar, ICM-CSIC) では、全球レベルでの海洋研究プロジェクトが動いており、調査や分析・培養・DNA 解析など技術に関わる技官 (テクニシャン) が常勤として勤務している。研究を進める上での教育エフォートを考慮し博士課程の学生受け入れを慎重に行っているといった意見があった。ニュージーランドの研究所 (National Institute of Water & Atmospheric Research, NIWA) では、博士課程の学生受け入れに積極的であり、博士号取得直後の人材を常勤雇用し、研究活動が活発に行われている様子が伺えた。JSPS ロンドン主催の英国・欧州日本人研究者交流会に招待され講演された日本の研究者から意見を聞いた。博士号取得後の EU および日本でのキャリアパス情報や、家庭・育児と研究の両立についても意見交換があり、海外に滞在している研究員にとっては大変有益な会だったと想像できた。

令和 6(2024)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
・主席研究員

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 関連技術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：地域環境工学・農村計画学、学術研究動向、Society 5.0、AI・DX による研究の
変革

農学・環境学、特に地域環境工学および農村計画学関連分野において、Society 5.0 に関連する、特にデジタルツイン構築技術に関する近年の技術動向と、技術革新が与える影響について評価・考察を行うとともに、新たに生まれつつある研究領域や、今後重要性を増すと思われる研究領域等の動向調査を行った。具体的には、専門分野における学会発表論文の傾向、国内外の研究者から聴取した学術研究動向に関する情報、国際シンポジウム、セミナー、講演会等の報告を通じて上記の動向調査を行った。

その上で、近年の科研費等の採択課題や国内の代表的な研究プロジェクトの動向等も踏まえながら、わが国において重要な科学技術政策である Society 5.0 の中で、今後農学・環境学分野において共通基盤技術となると考えられるデジタルツイン構築技術について、農学・環境学分野における技術動向の把握と、そのための基礎的・基盤的研究の役割について考察を行った。

デジタルツインの構築およびハイサイクルシミュレーションに基づく予測やデータ同化において、AI 技術は高度なシミュレーション技術を代替的に高速に行うための基盤技術として期待され、特に多次元量を取り扱うことができる生成 AI による代理モデルは今後重要な役割を担うものと考えられた。

特に、農業水利施設の維持管理や安全性にとって重要となる浸透流解析や地震時の動的解析をデジタルツインに活用するには、3次元の詳細な数値解析が必要となるが、これらの解析は比較的規模の大きい計算リソースと長い時間を必要とすることから、多次元量を扱う AI によってその評価推定を統計的に学習し推論を行うことで代理解析を行うことのできる生成 AI の必要性と有効性を確認することができた。

一方で、現在の学術動向としては、生成 AI の学習および推論のフレームワークに拡散モデルと呼ばれる方法が採用されることによって、多次元化への対応が急速に進み、特に言語・画像解析の分野での革新は目覚ましいものであった。これらの技術革新は、デジタルツインへの活用等を想定した数値解析の代理解析の分野では未だ十分に活用されておらず、今後の展開と発展が期待される技術分野と考えられた。

令和 6(2024)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～森林資源利用における新たな研究の潮流～

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：森林科学、資源活用、海外研究動向、森林利用、気候変動

近年、気候変動の影響で森林火災や豪雨被害、病虫害の広がりや深刻化によって、世界的に森林減少や森林劣化が問題となっている。同時に、森林は炭素を吸収し、建造物等への木材利用によって長期に炭素を隔離するため、森林の再生・保全とともに利用を図ることが気候変動の緩和策にとって重要である。しかし、森林生態系の保全と樹木の伐採と利用促進を両立させるための施業技術のあり方や社会経済的な条件を検討する必要がある。そこで、2024年度の調査では、森林資源の利用に関する新たな研究潮流を把握するために、7つの国内の学会・研究会と2つの国際学会に参加した。

国内学会調査では、①森林教育や森林サービス産業など森林の生態系サービスを活用した森林利用、②木材利用ではバイオマス、広葉樹利用がそれぞれ注目されていることを把握した。また、林業経済学会、砂防学会、森林利用学会が初めて合同シンポジウムを開催し、多くの参加があり、豪雨災害が多発する中で森林の減災機能の発揮と環境保全的な林業のあり方について活発な議論がなされた。これらの課題は文理学際研究の進展が期待される。

国際調査を実施したスウェーデンで開催された国際森林研究機関連合（IUFTO）の第26回世界大会では、気候変動に関する研究発表が多数あり、これまでの森林管理のキーワードであった Sustainable Forest Management（持続可能な森林管理）の一部として Climate-Smart Forestry という言葉を用いて気候変動対策に資する高度技術を用いた林業の発表が注目された。さらに、森林の多様性保全と同時に樹木の成長と木材利用推進による炭素分離をするための林業および木材加工技術の開発によるバイオエコノミーに寄与する社会のあり方が大きなテーマになっていることを把握した。また、森林利用学分野の国際学会では、環境保全と木材の効率的な伐採と有効な利用の実現のために、小規模林業を積極的に研究に位置づけ、農業用トラクターに林業用アタッチメントを装着する技術開発の現場を見学した。汎用的な機械開発を政策的にも支援しており、地域振興として位置付ける視点は、日本での研究や技術開発に参考になると思われる。

令和 6(2024)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～基礎研究からの応用展開～」

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：生殖内分泌、基礎研究、実学研究

動物生産科学や獣医学において、モデル動物を用いた基礎研究だけでなく、対象となる家畜や伴侶動物を用いた基礎研究が、畜産技術開発や治療法の開発等に大きく貢献してきた。しかし、最近の当該分野の基礎研究は、マウスなどのモデル動物を用いたヒトの疾患モデル動物の研究、遺伝子改変マウスなどを用いたメカニズムを解明する研究などに基礎研究が増えてきている。一方、家畜を用いた基礎研究は減少し、技術開発研究が増える傾向にある。このような動物生産科学や獣医学、それに関連する分野における基礎研究の動向について、北米内分泌学会（ENDO meeting）に参加し、海外の動向を調査した。生殖内分泌に関する研究発表を調査した結果、以前は見られた家畜をモデルとした研究の発表は全くなかった。さらに、マウスを用いた基礎研究も臨床研究の発表数よりも非常に少なく、そのすべてが疾患モデルに関する発表であった。具体的には、欧米でヒトの主要な不妊要因である多嚢胞性卵胞症候群（PCOS）に関して、肥満との関係やPCOS患者へのホルモン投与療法とその臨床成績に関するものが多く見られた。また、加齢に伴う男性の更年期障害（LOW症候群）に関する研究は、以前はほとんど見られなかったが、今年の学会では男性の生殖内分泌に関連する発表の大部分を占めていた。一方、発達に伴う生殖器官の発達やホルモンそのものの役割などに関する研究は、ほとんど見られなかった。このような発表数の傾向は、日本の生殖内分泌学会でも同じ傾向であり、国内外ともに家畜を対象とした基礎研究が減少しているのではないかと危惧される。

令和 6(2024)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共同機構及び国内学会組織における研究・人材育成の動向—

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、ホットトピック、女性研究者・学生増加プログラム

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。2024年度は、水産・海洋科学に関する国際共同機構の年次会合、シンポジウム、国内学会の研究発表大会、シンポジウム、地域研究集会の情報を総合して水産・海洋科学分野における動向とホットトピックを更新すると共に、国際共同機構が2026年に開催する予定のシンポジウムの企画に携わることによって、研究トピックと人材育成の動向を調査した。また、インタビューやアンケートを介して、将来の研究トピックの発掘を行うと共に、人材育成、特に女性研究者・学生増加プログラムのモデルケースをまとめた。

水産・海洋科学分野における動向として、1) 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した。その他、特に国際共同機構では、2) 対象生態系の拡張、3) メカニズムやプロセスの理解の重点化、4) 数理モデルによる予測技術の開発強化、5) 過去に無い環境条件や極端現象と海洋生物への影響の理解の必要性、6) モニタリング調査、調査手法、解析手法の総合的な見直し、7) 水産・海洋科学の境界領域の開拓等が挙げられる。国際共同機構が2026年に開催する予定のシンポジウムの企画に参加し、その過程で研究動向調査の結果の一部を企画・議論に反映させた。

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・更新した。1) 海洋温暖化の影響、2) 海洋熱波、3) 海面上昇、4) 有害藻類、5) 海洋酸性化・脱酸素化、6) 黒潮大蛇行、7) ブルーカーボン、8) 海洋マイクロプラスチック、9) 環境DNA、10) 古海洋学的手法、11) 生態系ベースの資源管理、12) 未利用水産資源の有効利用。また、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、2023年度の調査でまとめたうち、水産・海洋科学分野以外では10項目を引き続き重要とした。

共同研究先であるサンパウロ大学海洋研究所（ブラジル）にて、サンパウロ大学における女性研究者・学生増加プログラムについてインタビューによる調査を行い、成果実績があるモデルケ

ースとしてまとめた。例えば、“Dive into Science” プログラムでは、大学入学前の女子生徒を対象として、科学研究の魅力を伝え、科学研究分野のキャリアを前向きに考える機会を提供する。大学施設を利用して1週間以内のコースで、約50人の女子生徒に様々な研究分野の講義及びワークショップを行う。講義はサンパウロ大学の各分野の女性研究者約10名のボランティアにより無料で行われる。その他を含め、計15件のプログラムのほとんどは、長期的な視点で入学前の生徒の意識と興味を誘発するという根本的な部分へのアプローチに集中している点が特徴的である。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：阪倉 良孝

所属・職：長崎大学大学院総合生産科学研究科・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、SDGs、新たな研究分野のトレンド

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、日本水産増殖学会等に参加し、海外の動向については、魚貝類の種苗生産に関する国際シンポジウム larvi や、中国で最も大きな水圏科学系の大学である中国海洋大学で開催された創立 100 周年記念シンポジウム等に参加して、欧米、オセアニア、アジア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。

国内外ともに、ブルーカーボンや海洋ゴミに関わる研究発表や論文は多く見られる。また、増養殖についてみると、養殖魚に対する水産用医薬品の使用に厳しい規制のかかっているところでは、養殖魚の健康度や免疫力を高めて病気にかかりにくくする、あるいは、耐病性の高い系統を遺伝育種的に開発するという研究に力が注がれている。前者について、対象種の健康度や免疫活性について、腸内細菌叢と環境との関わりから相関を見いだしたり、飼育に有用なバイオフィロックを培養して養殖に用いて生産性を上げる試みがあり、さらにこれらと細菌叢をゲノム情報を利用したバイオインフォマティクスから探り出すとともに、相関の認められた生命現象の機構や経路を探るためにバイオインフォマティクスを利用する研究手法が広く使われるようになってきた。後者についても、選抜育種にゲノム情報を利用したバイオインフォマティクスを適用して、有用形質をより早く見いだして固定する試みも国内外を問わずに行われている。また、餌料生物を採集して濃縮し、これを液体窒素で保存して、必要なときに魚貝類の種苗生産に用いるという試みが、起業レベルにまで達している事例があった。バイオフィロックや(腸内)細菌叢の調整による養殖生産の安定や収穫量の増大、生物の凍結保存といった手法そのものは、水圏科学分野でも 1980 年代頃から盛んに研究された時があったが、これらの比較的古い手法に対して、ゲノム科学やバイオインフォマティクスを組み合わせることで新たに水圏生命科学を推進する融合分野が新たなイノベーションを産んでいると思われた。

令和 6(2024)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—植物病理学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：新たな研究分野、トレンド

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、特に植物病理学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、2024 年 8 月に中国の長春市で開催された Asian Conference on Plant Pathology に出席し、調査を実施した。本国際学会にはアジア圏内の植物病理学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。調査から見出されたひとつの重要な特徴として、植物抵抗性の基礎的研究を起点に、それを活用した新たな耐病性技術の提案にまで至る発表が複数あり、基礎研究、応用研究という垣根を超えた研究の展開がこれからますます加速していくことを予感させた。また、植物、作物に負の影響を与える寄生とは対照的に、共生は正の影響を与えることが知られており、この植物と微生物間の共生関係に関する研究も、植物病理学とは異なるが、重要な研究領域であることは言うまでもない。本国際学会でのいくつかの発表からは、この寄生と共生の境界はこれまで考えられているより、はるかに曖昧であることが提示されていた。このことは、寄生関係、共生関係の詳細な解明が進むことで、新たな作物保護技術、新たな作物成長促進技術の開発につながることを示唆している。さらに国内で開催された複数の関連学会（日本植物病理学会大会など）にも参加し、情報収集を実施した。そこから得られた情報に基づき総じて述べるなら、膨大なゲノム解析情報と構造解析（Alpha fold のような AI に基づく予測解析を含む）が起爆剤となり、基礎研究の進展が加速し、さらにその成果をゲノム編集技術などを駆使することで迅速に作物保護につなげていくという流れが、これからの潮流と思われるし、そうしていかなければいけないと改めて実感した次第である。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：加藤 大智

所属・職：自治医科大学医学部・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：「獣医学関連分野（ワンヘルス）に関する学術研究動向」－感染症対策におけるワンヘルス・アプローチ

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：人獣共通感染症、ワンヘルス、地球規模、分野横断

近年、ヒトの健康、動物の健康、環境の健全性は相互につながり影響しあう「ワンヘルス（One Health）」という考え方が注目されている。感染症対策においては、ワンヘルス・アプローチとして、ヒト、動物、環境の対策や研究に対して包括的に取り組むことの重要性が指摘されている。農学・環境学領域では非常にかかわりの深い研究分野で、分野横断的なネットワークの構築に向けた学術研究が推進されている。ワンヘルス・アプローチは、パンデミックを防ぐための予防的措置としても重要視される。

これらの研究背景を踏まえ、農学・獣医学領域におけるワンヘルス、特に感染症対策を中心に、調査研究を行った。具体的には国内の関連学術集会（グローバルヘルス合同大会 2024、日本衛生動物学会大会、日本寄生虫学会大会、日本獣医学会学術集会）に参加し、各学術分野の潮流、新たな研究領域、分野横断的・融合的な研究領域、専門分野及び周辺分野における学術研究動向、注目すべき研究の動向調査などを行った。また、国際会議に web 参加して人獣共通感染症に関する講演を行い、参加者と意見交換を行った。これら関連学会では「ヒト・動物・環境が交わるエコシステムの理解による人獣共通感染症の制御」や「地球温暖化に伴う感染症リスク」などのシンポジウムが生まれ、ワンヘルス・アプローチを念頭にした地球規模での対策や分野横断的なネットワークの構築への注目度の高さが実感された。また web 参加した国際会議や海外の研究者との議論においても、人獣共通感染症の拡大に対して、環境変動の自然的要因に加えて人為的要因の関わりが指摘され、これらに対する包括的な理解と対策の重要性が再認識された。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：木村 克輝

所属・職：北海道大学大学院工学研究院・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：「水環境分野に関する学術研究動向-持続可能な水利用のための研究と人材育成-」

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：マイクロプラスチック、PFAS、デジタル技術、国際水協会、国際会議

水環境に関わる研究には河川や海洋における水質分析、各種排水の水処理、安全な飲用水の製造など多岐にわたる領域が包含される。水環境研究を広く扱う組織としては国際水協会（International Water Association, IWA）があり、IWAは世界最大の水関連学協会である。IWAの機関雑誌はWater Researchであり、近年も高いインパクトファクター値（11.5）を維持している。Water Researchの高いインパクトファクター値には水環境研究の重要性が反映されている。Water Research掲載論文の動向には、水環境研究における重要テーマの変遷が現れている。

マイクロプラスチック、PFASに関連する論文数が増加傾向にある。Water Research掲載論文総数は増加傾向にあるが、ここ数年での論文数増加分はほとんどが中国からの論文であり、中国の研究動向による不合理な影響を受けないように注意が必要である。人口面で小国とも言えるオーストラリア、オランダから発表されている論文数が多く、水環境分野に関する学術振興について両国から我が国が学ぶべきところは多い。

近年のIWA主催国際学会で重要視される研究テーマとしては「水供給施設の適切な管理」「下水からの資源回収」「水再利用を含む飲料水造水」「都市規模での水管理」「薬剤耐性菌」「経済循環を意識した水管理」などがあげられる。これらに共通する事項として、デジタル技術（スマート水管理、AI）の導入が重要視、有望視されていることを指摘できる。国際会議では気候変動への現実的かつ実効性のある対応策実施に向けた試みが多数紹介されるようになっている。革新的技術を搭載した水施設、衛生施設こそが水不足、気候変動、循環経済確立への鍵となるという認識が水環境研究先進国では共有されている。

近年のIWA主催国際会議では、若手研究者（Young Water Professionals, YWP）を積極的に登用しようとする姿勢が過剰とも思えるほどに明確である。YWP活動の中でリーダーシップを発揮できるような我が国の若手研究者育成が望まれる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：高谷 直樹

所属・職：筑波大学生命環境系・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：応用微生物学関連分野に関する学術研究動向ー実用化を目指した応用微生物研究の潮流ー

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：微生物、バイオマス、バイオものづくり、カーボンニュートラル

応用微生物学関連分野は、農学、工学、医学、薬学、環境学にまたがる広範な科学技術分野に広がっている。このうち、実用化につながる研究については、醸造・発酵から最先端のバイオものづくりの重要分野を含んでおり、対応する産業分野も広範である。カーボンニュートラルの達成に関連するバイオものづくりについて、関連分野の研究者とバイオベンチャーへのインタビューや意見交換を行った。また、関連する学会に参加し、新たな技術開発の動向の情報を収集した。

バイオものづくりとは、微生物等の生物を活用しバイオマスを原料として有用な化合物を生産する技術である。バイオものづくりを構成する要素技術は、バイオマスの資源化、生産生物（微生物、動植物）の開発、実生産技術（下流工程、スケールアップ）、これらを統合したエコシステムの構築からなると考えられる。利用するバイオマスについては、従来のバイオマス由来の糖を原料とする技術の他、CO₂や未利用バイオマスの利用技術の開発が期待されている。生産生物の開発については、長期間を要する従来型のスクリーニングや試行錯誤によるアプローチに加えて、活用する遺伝子と代謝経路の設計を効率化する手法の構築が試みられている。

カーボンニュートラルを出口とした場合、グローバルなCO₂削減効果が期待される燃料や汎用化成品が生産のターゲットとなり、従来のバイオエタノールの発酵生産に加え、より付加価値の高い汎用ポリマー原料や汎用機能性材料となる化合物の生産の研究も進められている。こうした取り組みの中、培養や下流工程のスケールアップが実生産に際しての課題とされる場合も多い。また、生産物を上市するためには、原料の供給や工場の立地等の経済的課題から、大量生産に伴って生じる課題を解決可能な生産微生物の育種等の技術課題まで様々な課題がある。各要素技術をシームレスに繋ぎ、市場までも評価した農学・環境学の研究を行うことが必要であると考えられる。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：谷 晃

所属・職：静岡県立大学 食品栄養科学部

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反応性気体交換に関する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：生物起源揮発性有機化合物 (BVOC)、テルペン類、反応性気体

陸域生態系における反応性気体交換およびそれに伴う大気質の変化に関する研究の動向を整理した。学術変革領域 (A) 植物気候フィードバック B V O C 気候調節領域会議 (2024 年 5 月)、大気環境学会全国大会 (2024 年 9 月)、大気化学討論会 (2024 年 10 月)、PCF 2024 Plant molecular phenology and climate feedbacks mediated by BVOCs (2024 年 10 月)、第 8 回京都生体質量分析研究会・第 3 回天然香気研究会合同国際シンポジウム (2025 年 2 月)、令和 6 年度陸域生態系モニタリング研究集会 (2025 年 2 月)、日本農業気象学会全国大会 (2025 年 3 月) などに参加し、研究の動向を調査した。

その結果、反応性気体の中でも特に生物起源揮発性有機化合物 (BVOC) については、研究者人口が増えつつあると認識した。その中でもテルペン類は、大気中での反応性が高く、光化学反応を通してオゾンの生成を促進し、気象・気候に影響する二次有機エアロゾルの生成に関与する。また、情報伝達物質として植物－植物間および植物－昆虫間のコミュニケーションを媒介する。この機構を農業に活用した減農薬の試みや BVOC を感受することで病害虫耐性を高める物質群をつくる植物適応の事例などの研究成果も集まりつつある。また、同属内でもテルペン類を生産する種とそうでない種が存在し、かつ同一種内でもテルペン類の生産能力について大きな個体間差があるなど、遺伝的多様性を解き明かす研究も行われつつあることがわかった。今後も、この分野の研究は、大気化学・科学、生物科学、系統生物学、生態学、植物生理学など様々な分野で、研究が進展するものと期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：大石 由美子

所属・職：東京科学大学大学院医歯学総合研究科・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」

-免疫代謝研究および再生医療の新たな展開-

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：免疫学、代謝学、バイオインフォマティクス

近年、生活習慣病や加齢関連疾患を紐解くキーワードとして慢性炎症が注目される一方、免疫学の分野では、免疫細胞の機能が細胞代謝の変動によって調節されることが明らかになりつつある。このように、従来は異なる学問領域として研究されてきた代謝学と免疫学が密接に連携し、近年では「免疫代謝(immunometabolism)」という新たな学問領域として世界的な潮流となっている。免疫代謝は、加齢関連疾患の発症や進展に関与するだけでなく、傷害を受けた組織の再生・修復プロセスを制御することも示されており、再生医療の新たな標的として注目されている。

当該年度においては、免疫代謝研究および再生研究領域におけるトレンドや最新の研究例を調査し、国内外の第一線で活躍する研究者から情報収集を行った。特に、シングルセルトランスクリプトーム解析など一細胞レベルでの解析技術を用いた研究が加速し、組織を構成する細胞が単一の集団ではなく、異なる機能を持つ複数の細胞集団から構成されることが明らかとなった。また、糖・脂質・アミノ酸などの代謝物が免疫細胞の機能を調節するメカニズムや、代謝物センサー分子の同定も進展した。これらの研究は、免疫代謝の異常が肥満や糖尿病などの生活習慣病、サルコペニアやフレイルといった加齢関連疾患、さらには癌や神経変性疾患の病態の形成や進展と密接に関連していることを示している。

また、EMBO Workshopをはじめとした国内外の学会に参加し、心血管系や癌研究領域における免疫代謝研究の最新知見を得るとともに、バイオインフォマティクス解析を活用した研究環境の整備や人材育成の重要性について具体的な示唆を得た。特に、わが国ではインフォマティクス解析を実践できる研究者が不足しており、各大学や研究機関における共同利用体制の強化がこれまで以上に求められることが明らかとなった。

また、女性研究者の育成に関しても、米国や欧州における女性研究者の比率が50%を超え、女性PIの増加が進んでいる現状を踏まえ、わが国においても省庁の枠組みを越えた施策の継続が必要であると考えられた。これらの知見を基に、免疫代謝研究のさらなる発展と研究環境の改善に向けた取り組みを推進していく。

令和 6(2024)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、科研費審査区分の検討、

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、バリエントの解釈に用いられる正常人/疾患のバリエントデータベース、バリエントの機能を予測する *in silico* 解析ツールについても開発が進んできたが、同定されたバリエントの機能解析・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。

今年度は国際学会 European Society of Human Genetics (ドイツ)、9th International Meeting on Rare Disorders of the RAS-MAPK Pathway (ドイツ)に参加し、疾患ゲノム解析を含むオミックス解析、あるいはその周辺領域の動向を分析した。European Society of Human Genetics のセッションの分類について科研費審査区分表と照合し検討した。一般口演やポスターでは生殖、神経、腫瘍、皮膚と骨、循環器、精神疾患、感覚器、遺伝子治療、免疫と血液、出生前などの項目が設けられており、臓器、分野横断的であった。医歯薬、生物以外の分野に広がるセッションを検討したところ、心理1、情報・数学1、人類学1、情報・倫理2などが認められた。以上のように Human Genetics という分野が基礎研究、臨床研究を超えて臓器横断的側面を持つこと、さらに心理、情報、数学、人類学、倫理など分野横断的側面を持つことが明らかになった。

令和 6(2024)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、新たな研究分野・トレンド、医学系研究者の研究時間確保

アレルギー疾患や自己免疫疾患をはじめとする免疫関連疾患の分子病態は、遺伝子改変マウスや病態モデルマウス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た。これらのモデルマウスを用いた研究は免疫関連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、遺伝的素因、発症誘因、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。そのため、免疫疾患の治療では病名と重症度などの最小限の表現型に基づく“one-size-fits-all approach”がとられてきた。病態の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研究の結果を総合解析し、バイオマーカーを用いた“precision medicine”への移行を目指す研究も行われているが、未だほとんどの疾患において達成されていない。

免疫疾患発症の基礎となるヒト免疫学の理解も全エクソーム・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。さらにパンデミックを起こ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等を通じて、ヒト免疫学の理解が深まった。中でもシングルセル解析技術の普及と、空間トランスクリプトーム解析技術の進歩は、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。今後も病態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統合解析することで、免疫疾患の病態の理解がさらに深まることが期待される。残念ながらヒト免疫学研究では米国に遅れをとったが、実績のある基礎免疫学研究の基盤を活かし、ヒト免疫学研究においても日本の存在感を増すことが期待される。

一方で、2024年度より本格的に始まった医師の働き方改革により、医療に従事する勤務医（大学教員を含む）の研究時間の確保が一層困難となり、臨床研究や、医学領域における基礎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、可能な限り速やかにサポート体制を整備すべきである。

令和 6(2024)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：外科手術、ロボット、AI、ナビゲーション

本研究では、AI・ロボット・ナビゲーション技術の外科臨床への応用と、その周辺にある教育・評価・制度設計に関する学術動向を多角的に調査した。

国際学会としては欧州内視鏡外科学会（EAES2024）、CARS、AACR Pancreas に参加し、AI による手術評価（CVS Challenge）や、術中ナビゲーション（Eurika）、蛍光プローブによる膵癌手術支援（cRGD-ZW800-1）など、外科手術と情報工学・光学・画像解析との融合が進展していることを確認した。特に、ロボット手術の合併症・死亡率に関する国際 RCT（DIPLOMA-2）の報告は、今後の制度的議論に資するデータとして注目された。

また CARS では、AR による手術器具操作支援やロボット看護師の研究など、次世代手術室（Digital Operating Room）の構築に向けた技術開発が進んでいた。国内では日本外科学会および日本肝胆膵外科学会に参加し、ロボット直腸手術のエビデンス創出、肝胆膵領域での導入実態、認定制度、保険制度との接続可能性を中心に調査した。

これらの成果をもとに、今後の外科教育改革・研究支援制度・医療制度設計における AI/ロボティクス技術の位置づけと支援のあり方について考察を行った

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：宮田 卓樹

所属・職：名古屋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—医歯薬学と自然科学・工学等の諸分野との接点における発展

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：器官形成、力学的要因、分野横断的研究

本担当者が取り組んできた「脳の生い立ち（発生）」に関する研究は、例えば国際的なゴードンカンファレンスが「Neural Development」というテーマで長年開催されてきたことに表れるように、20世紀から世界的に一定の注目を集めてきた。科研費においては、現行の小区分46010神経科学一般（内容の例に「神経発生」）あるいは46020神経形態学関連（内容の例に「形態形成」）、48010解剖学関連（内容の例に「発生学」）、44020発生生物学関連などが主たる応募先となってきた。近年は、より病態・疾患に注目する方向（51030病態神経科学など）への流れも意識され、そうした取り組みはiPS細胞から作成したオルガノイドを用いるなどの創薬研究とも結びつけられながら進んでいる。一方、培養下の状況を比較的単純な細胞塊レベルから、複雑性・組織間協働性に関して本来の生体に近いレベルに高めようとする取り組みもなされており、90120生体材料学関連などとの接点も従来以上に増しつつある。さらに、細胞の集団としてのふるまいを数理シミュレーションにより予測し高次の形態・機能を理解・創出しようとする取り組みが浸透しつつあり、脳発生のしくみの理解への応用が期待される。また、発生中の器官等の構造を支える力学的様態・原理の理解も重視され、様々な取り組みがなされつつある。こうした状況をふまえ、医歯薬学と他の諸分野との交流・連携を通じたどのような研究展開が期待されるか等の観点で学術動向調査を行なった。工学系（土木や建築なども含め）あるいは植物研究等からも書籍やインターネットを通じて収集した。また関連する国内外の研究集会に参加し分野横断的な取り組みや若手研究者の科研費応募先区分等について意見交換・情報収集した。専門家を招聘しての調査も行なった。その結果、従来以上に「医歯薬学」と「生物学」あるいは「工学」の重なりが大きさが感じられた。

令和 6(2024)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。

研究手法としては従前の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加え、シングルセルトランスクリプトームや空間トランスクリプトームに関する論文が急増している。研究体制について今年度の調査で注目されたのは以下の点であった。シカゴ大では優秀な博士研究員を学外で独立すべく支援するだけでなく、大学内で講師を経てテニユアトラック助教授に進む経路も重視しているとのことであった。これは、若手がそれまでに確立した学内の共同研究ネットワークを最大限に活用して新しい研究プロジェクトを立ち上げて行くことで、大学にも貢献してもらおうという狙いとのことであった。生化学系 PI と情報科学系 PI の協力関係を持続的に発展させていく上でこのような仕組みは有効かもしれない。インドでは assistant professor 時から米国と同様に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るとともに、チーム間の共同研究も活発であることを確認できた。この仕組みが成り立っているのは、独立した若手に所属大学や研究所から内部資金を活用した手厚い研究費支援があることが鍵となっていることを現地でヒアリングした PI らが説明していた。ここは日本で決定的に欠けていることと思われた。若手 PI でも数名の博士課程院生を指導しており、博士院生が研究実施の上での実働部隊となっている。日本でも博士課程院生と教員のバランスをとっていく必要があると思われる。

令和 6(2024)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（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：構造改変ペプチド・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、タンパク質、修飾ペプチド、RiPPs(Ribosomally Synthesized Post-translationally modified Peptide)、医薬展開

生理活性ペプチドやタンパク質が近年創薬モダリティとして注目を集めている。インスリンやインクレチンに代表されるペプチドの利用されており、インクレチンなどはやせ薬として新聞紙面を沸かせた。さらに、これらペプチドの医薬展開を進めるため、その体内動態の改善を目指した取り組みが盛んに行われるようになってきた。ペプチド類の医薬展開における学問的基盤は、物質供給を目指した有機化学から、動態改善のための物質デザイン・合成へと多岐の学問領域にわたっている。これら内因性ペプチドを起源とする創薬展開とは異なるものとして、私たちの腸管に存在する腸内細菌が作り出す RiPPs(Ribosomally Synthesized Post-translationally modified Peptide)が注目されており、高度に修飾された構造に由来する安定性から創薬シードとして大いに注目されている。令和6年度は RiPPs の創薬展開並びにその合成化学的基盤技術に関する調査研究を実施した。これに加えて、昨年度からも手掛けてきた修飾ペプチド・タンパク質の医薬研究に関する調査研究も実施した。調査内容としては以下のものが該当する。

- RiPPs 分野におけるトレンド、新たな研究領域、新たに生まれつつある分野横断的・融合的な研究分野、今後重要性を増すと思われる研究分野等の動向調査
- 修飾ペプチド・タンパク性医薬分野又はその周辺分野におけるトレンド、新たな研究領域、新たに生まれつつある分野横断的・融合的な研究分野、今後重要性を増すと思われる研究分野等の動向調査
- RiPPs、修飾ペプチド・タンパク性医薬分野又はその周辺分野における国内外の最新の研究例や注目すべき研究例などの動向調査
- RiPPs、修飾ペプチド・タンパク性医薬分野における科学研究費助成事業の審査区分、キーワード等に関連した調査分析等
- RiPPs、修飾ペプチド・タンパク性医薬分野における学会発表論文や学術図書出版の傾向、データベースを利用した解析等

令和 6(2024)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・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 Initiative 2.0 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 6(2024)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・運動器疾患に関する学術研究動向―健康寿命延伸に向けた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：口腔科学、運動器科学、再生

本研究では、口腔・運動器疾患に関する学術研究動向を調査し、先端的な解析技術の導入に着目しつつ今後の課題や展望について考察した。口腔は、摂食・咀嚼・嚥下を通じて生命維持に重要な役割を果たしており、その機能障害は加齢に伴う運動器疾患とともに、QOLの低下を招く要因となっている。近年、これらの分野では、病態解明や再生医療応用に向けた先端的な解析技術の導入が進んでいる。シングルセル解析では、歯周靭帯や歯胚、歯・骨などから単離した細胞の多様性や分化経路が明らかになりつつあるが、硬組織の酵素処理によるバイアスが課題であり、細胞局在情報を保持した空間トランスクリプトーム解析が注目されている。ナノポアシーケンスは、複雑なゲノム構造やリピート領域の解読に有効で、骨形成不全症やX染色体連鎖性低リン血症などの解析にも活用されている。オルガノイド技術は、iPS細胞から誘導される三次元構造体が、発生現象の再現や病態の機構解明、創薬スクリーニングに活用されている。特に、歯胚、唾液腺、顎骨、関節軟骨のオルガノイドは、複雑な組織間相互作用に関する新たな知見を提供している。イメージング技術の進展により、蛍光レポーターマウスの組織透明化と二光子励起顕微鏡や共焦点顕微鏡の併用によって、生体深部における細胞動態を三次元的に可視化することが可能になっている。硬組織を解析するマイクロCT/ナノCTは、造影剤の併用により軟組織の可視化にも応用されている。ゲノム編集技術では、塩基編集やプライム編集などの手法が開発され、より安全性の高い遺伝子治療への応用が進められている。また、筋疾患領域において、ゲノム編集技術とアデノ随伴ウイルスベクターとの併用による治療が期待されている。これらの技術革新は、基礎から臨床に至るまで本分野の研究を飛躍的に加速させているが、同時に、国内における解析機器や技術の共有を可能とする研究基盤の整備や次世代を担う人材育成が急務となっている。今後は、国際的な連携強化や、基礎・臨床・工学・情報科学といった分野横断的な基盤の構築が、口腔・運動器科学の分野のさらなる発展に不可欠であると考えられる。

令和 6(2024)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：眼再生医療、眼オルガノイド、AI 研究

日本は iPS 細胞技術を用いた再生医療分野、特に角膜移植や網膜移植で世界的に注目されているが、一方で緑内障、糖尿病網膜症、網膜色素変性症といった日本人の中途失明原因上位疾患に対する確立された治療法は未だ存在しない。これらの難治性疾患克服に向け、病態解明、早期診断、そして再生医療や AI 技術を活用した新たな治療法開発への期待が高まっている。近年の眼科学研究では、再生医療と AI の活用が目覚ましい進展を見せている。再生医療では、大阪大学のグループが iPS 細胞由来の角膜上皮細胞シート移植の臨床研究で安全性と有効性を示唆し、角膜疾患治療に新たな可能性を開いた。また、網膜オルガノイドを用いた研究も活発であり、遺伝性網膜疾患の病態モデルとして、メカニズム解明や治療法開発に貢献している。AI 技術は、画像診断への依存度が高い眼科領域で急速に導入が進んでいる。糖尿病網膜症では、AI システムが眼底写真から高精度で病変を検出し、スクリーニングや病期分類に貢献する。緑内障においても、AI は眼底写真や OCT 画像を解析し、早期診断や進行予測の精度向上に寄与しており、特に OCT 画像を用いたモデルで高い精度が報告されている。さらに、GPT-4 のような大規模言語モデルが診断や治療方針に関する助言で専門医に匹敵する性能を示す可能性も報告されており、今後の活用が期待される。網膜色素変性症 (RP) 研究においては、遺伝子治療や細胞治療への期待に加え、AI 技術の統合が加速している。AI は OCT などの高度な画像解析を支援し、治療効果の精密な評価や適切な患者選択に貢献することで、治療法開発を後押しする。また、RP の遺伝的な多様性に対応するため、原因遺伝子の種類によらず広範な患者に適用可能な、神経保護や抗炎症といった共通経路を標的とする治療戦略や、網膜機能を調節する遺伝子を導入する治療法の開発も進められている。このように、再生医療、AI、そして高度なイメージング技術の融合は、眼科学研究に大きな変革をもたらし、診断精度の向上や個別化治療を推進している。これらの進歩は、これまで治療が困難であった遺伝性および加齢性の網膜疾患に対する新たな治療法を開発を加速させ、視機能の回復・維持に向けた大きな希望となっている。

令和 6(2024)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

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行われている。

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2024年度に報告されていたので、代表的なものを紹介する。

1つ目は消化器内科学と代謝および内分泌学との融合研究である。MAFLD/MASH（代謝異常関連脂肪性肝疾患/肝炎）においては、消化器関連ホルモンの受容体に作用する、既報で示されているGLP-1受容体作動薬に加え、GIP/GLP-1受容体作動薬、GLP-1/グルカゴン受容体作動薬、GLP-1/GIP/グルカゴン受容体作動薬に対する有用性がプラセボを対象としたRCTで検証されたことから、これらのモノ、デュアル、トリプル受容体作動薬をMAFLD/MASH治療にどう位置付けていくのか、今後の研究動向が注目される。

2つ目は、消化器内科学と細菌学との融合研究である。腸内細菌叢と各種全身疾患との関連研究においては、便検体を用いた16SrRNA解析やショットガンメタゲノム解析で示されてきた細菌種の割合ではなく、ホスト因子である強力な共変数で補正した細菌種の量を用いることで、今まで見えていなかった真の疾患関連性を示すことができる可能性が報告されたことから、本分野の研究手法が大きく変革する可能性がある。

3つ目は、消化器内科学と工学系学術研究分野との連携研究である。大腸ポリープの検出および鑑別診断のAI研究においては、メタアナリシスにより検出AIはやや有用、鑑別診断AIは有用とは言えないと結論付けられたことから、医工連携の強化による更なるAI開発が求められる。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進歩がみられ、これら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 6(2024)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：自然リンパ球分野に関する学術研究動向-抗原非依存的に進行する疾患に関する研究の潮流と展開-

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、自然リンパ球

Th2 細胞および 2 型自然リンパ球 (ILC2) はアレルギー性疾患の発症と進展において中心的な役割を担っており、近年の研究ではこれらの細胞の機能的連携や組織特異的な役割、さらには代謝や神経系とのクロストークにまで注目が集まっている。従来、アレルギー反応の主なエフェクター細胞は Th2 細胞とされてきたが、ILC2 の発見以降、自然免疫系と獲得免疫系の協調的な応答機構が再評価され、特に ILC2 が IL-5、IL-13、IL-4 などのサイトカインを迅速に分泌し、Th2 細胞自体の分化や活性化を促進することが明らかになっている。また、Th2 細胞が分泌する IL-2 が ILC2 の増殖に寄与するなど、両者の間には正のフィードバックループが存在することが示されている。ILC2 は肺、皮膚、腸などのバリア組織に常在し、局所環境に応じて特異的な応答を示す。たとえば肺においてはアレルゲン吸入に反応して迅速に活性化され、気道過敏性や粘液産生を誘導する一方で、腸では神経細胞や腸内細菌と連携して免疫恒常性の維持に寄与する。加えて、ILC2 は再刺激に対して強化された反応を示す記憶様特性を有することが報告されており、これは慢性アレルギー疾患における再発や遷延化のメカニズムと関係している可能性がある。また、神経系とのクロストークにおいても、神経ペプチド (NMU、VIP など) による直接的な活性化が報告されており、アレルギー反応における神経-免疫系の統合的理解が求められている。治療的観点からは、Th2 細胞と ILC2 が分泌する IL-4、IL-5 および IL-13 に対する抗体製剤や、ILC2 を活性化する TSLP に対する抗体製剤がアレルギー性疾患に使用されるようになってきており、ILC2 そのものを標的とする新規治療戦略の可能性も検討されている。これらの知見は、Th2 細胞と ILC2 の動態を統合的に理解し、急性および慢性アレルギー病態の根本的な解明と治療戦略の構築につながることを期待されている。

令和 6(2024)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、脳神経疾患や精神疾患の病態形成メカニズムを解明し、診断・治療法や予防法の確立を目指した研究が進められてきた。これまで、モデル動物や細胞系を用いた生理学・生化学・形態学・分子遺伝学などの手法が活用され、多くの成果が蓄積されてきた。近年、これらの技術的知見をヒト疾患脳組織に応用する技術が進展しており、従来では困難とされていた実際の病巣組織を対象とした分子プロファイリングが可能になりつつある。特に、単一細胞レベル (scRNA-seq) および単一核レベル (snRNA-seq) の分子発現解析が実現し、バイオインフォマティクス技術を活用することで、細胞種ごとの詳細な分子発現プロファイルが取得できるようになった。また、空間的トランスクリプトーム解析 (Spatial Transcriptomics, ST) により、細胞の空間的位置情報と分子発現データを統合的に解析できる技術基盤が整いつつある。これにより、細胞間ネットワークや病態との関連性を精緻に把握することが可能となり、基礎研究者と臨床研究者の協働による多角的な病態解明が期待されている。一方で、これらの最先端技術を用いた研究は活発化しているものの、実際の成果報告はまだ限定的である。この背景には、主に以下の2つの課題があると考えられる。第一に、バイオインフォマティクスの解析障壁である。膨大な生データを取得したとしても、適切なアルゴリズムの選定や解析手法の組み合わせには高度な専門知識が必要とされ、支援できる専門家が限られている。第二に、標本の質的制約がある。特にホルマリン固定パラフィン包埋 (FFPE) 標本の RNA 保存状態は劣化しやすく、解析に適した特別な標本処理が求められるため、再現性のあるデータ取得が困難である。今後は、バイオインフォマティクス技術の普及と専門人材の育成、質の高いヒト標本の確保が求められている。これにより、革新技術の成果が加速的に蓄積されることが期待されるとともに、異分野間の連携による包括的な研究アプローチが新たな治療法の開発につながる可能性がある。単一細胞・単一核の分子プロファイリングと空間的トランスクリプトーム解析は、病態神経科学分野の新たな地平を切り開く重要な技術であり、今後のさらなる発展が注目される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：工藤 興亮

所属・職：北海道大学大学院医学研究院・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：「放射線科学関連分野での学術研究動向－AI を含めた先端イメージング技術－」

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、最新技術

近年、放射線科学の分野では AI 技術の進化を背景に、画像再構成および画像解析の両面で革新的な研究が急速に進展している。ディープラーニングや生成 AI、大規模データを活用した解析基盤の高度化により、画像診断は高精度化と自動化が進み、新たな臨床応用が広がっている。特に、AI によるスパースデータからの画像再構成は臨床実装が進んでおり、低線量 CT や高速 MRI では、画質と被ばく・撮像時間の最適化が実現されつつある。

画像解析の分野でも、Transformer ベースのアーキテクチャやマルチモーダル AI が登場し、画像とテキスト、電子カルテ情報を統合的に解析する研究が加速している。病変検出・分類から診断支援、予後予測、治療選択に至るまで AI の応用は拡大しており、医療機器プログラム (SaMD) としての臨床応用も本格化している。さらに、画像と大規模言語モデル (LLM) を組み合わせたマルチモーダル AI により、画像からの読影レポート自動生成や自然言語による画像ナビゲーションなどの新機能も実現しつつある。

CT 分野ではフォトンカウンティング CT (PCCT) の実用化が進み、空間分解能とエネルギー分解能の両立が可能となってきた。これにより、造影剤の特異的評価や組織特性に基づく診断が可能となるだけでなく、AI との統合による新たな画像解析技術の展開が期待されている。MRI では Na や P、C などを対象としたマルチニュークリア MRI や、ハイパーポラライズド MRI による代謝イメージングの研究が進展しており、細胞レベルの代謝状態を非侵襲的に可視化することが可能になりつつある。

本年度は、北海道大学において国際医療 AI シンポジウムを開催したほか、GCB シンポジウム、北海道大学－ソウル大学校ジョイントシンポジウム、RSNA などの国際学会にも参加した。これらを通じて、国内外の研究者と先端的な医療 AI 研究に関する知見を共有し、国際連携の強化と情報収集を行った。特に韓国における研究開発やスタートアップの活発さからは、日本の医療 AI 研究のあり方を再考する契機を得た。

令和 6(2024)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・血液免疫学領域およびその周辺分野において、臨床検体を主たる研究対象としたゲノム解析・遺伝子発現解析・エピゲノム解析等を一細胞レベルで行うマルチオミクス研究について、一層進展していた。さらに、空間的な一細胞解像度で遺伝子発現やタンパク解析を行う空間オミクス解析技術が飛躍的に進歩しており、本領域では急速に研究に取り入れられていた。今後も大きな潮流となることが予想された。また、血液腫瘍学においては、腫瘍サンプルを複数回採取できる特性を活かし、時空間的な広がりを持つ多次元のマルチオミクス解析についても展開されていた。ビッグデータを扱うため、それを解析する AI 等の情報解析手法も同時に開発されており、各研究者や研究グループが取得したビッグデータを共有することで研究の加速が試みられていた。

さらに、血液腫瘍学・血液免疫学においては、多彩な抗体薬や分子標的療法が開発されてきた。加えて、T 細胞に改変した受容体を導入し、特定の抗原を持つ腫瘍細胞に対して抗腫瘍効果を発揮するキメラ抗原 (CAR) -T 細胞療法などの細胞治療も、国内外で盛んに研究開発が進められていた。

国内外での学術集会等における研究交流活動については、COVID19 流行期には完全オンライン形式をとるものが多かったが、COVID19 の流行が一定程度は収束したことに伴い、ハイブリッド形式あるいは COVID19 以前と同様のオンサイト形式に戻していることが多く、研究者同士の直接の交流は本格的に再開された。こうした交流活動が一旦は中断されたことで、交流活動が研究の活性化に与える影響を高く評価する研究者が多いようである。こうした潮流のなかでは、とりわけ、国際学会においては、本邦からの研究者の参加を促し、本邦の優れた研究成果を発信する機会を増やす必要性を感じた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：玉腰 暁子

所属・職：北海道大学大学院医学研究院・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：衛生学、公衆衛生学および疫学研究分野関連分野に関する学術研究動向
ー公衆衛生学を中心とする社会医学分野における研究動向ー

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：社会医学、公衆衛生学、社会環境要因、公衆衛生課題

2017年から2024年に日本公衆衛生学会総会で発表された一般演題についてトピック・モデリングを用いて分類し、その増減傾向を分析した。基本的な健康リスクと社会環境要因（生活習慣・社会的孤立・環境要因）に関しては、比較的安定した数の演題が発表されていた。一方、災害支援・多文化対応・育児支援などの多様化する社会背景に応じた地域支援や健康行動の促進・ヘルスリテラシー・介護予防など一次予防に関する演題は近年増加傾向にあり、多職種連携、人材育成、行動変容支援に関する演題は近年減少傾向が認められた。公衆衛生学会は日本の社会医学領域を広くカバーする学会である。社会医学の研究は個別疾患のリスク探究だけでなく、集団における疾病関連要因の分布や地域レベルでの介入効果などを見るものも多く、また疾病予防に資する制度設計も重視される分野である。また、その時々の公衆衛生課題（特に感染症や災害時の公衆衛生支援）への迅速な対応が求められることも特徴といえる。一定のエビデンスが得られたテーマや実践フェーズに移行した演題は減少し、その時点の課題や社会的要請に応じた新たなテーマが増加していることが確認できた。今後さらに高齢化と社会的孤立が進む場合には、フレイル予防や生活習慣病の重症化予防、若年者も含めた社会的孤立やメンタルヘルスに関する研究の重要性が増すと考えられる。加えて、AIやICTの技術進展に伴い、これらを活用した研究手法やビッグデータ解析による疾患関連因子の検討が増加するものと考えられる。

令和 6(2024)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、AI 創薬

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。医薬品は低分子化合物が中心であるが、近年では医薬品のタイプ（モダリティ）の多様性に加え、医薬品の標的分子も多様性を増している。特に RNA を標的とする創薬や、機能未知の長鎖非コード RNA の細胞内機能の役割を解明する研究が新たな潮流となってきた。さらに創薬戦略においても、仮説の構築と検証に基づく従来型の創薬の他に、膨大なデータを背景とした AI 創薬が実用化されるなど、大きな変革がみられている。薬物動態・医薬品毒性領域における AI 創薬としては、毒性リスクの低い候補化合物の選定のために AI を利用した毒性予測モデルが導入されるなど、今後の安全創薬への貢献が期待される。

近年、関連領域でよく見かけるようになってきたキーワードとして、フェロトーシスが挙げられる。鉄と脂質過酸化に依存し、従来から知られるアポトーシスやネクローシスとは異なる特徴をもつ細胞死であるフェロトーシスが、がんや神経変性疾患など多くの疾患と関連することが、ここ 10 数年ほどで明らかになってきている。最近では、医薬品による毒性にもフェロトーシスが関わっていることが示され、その機構に関する研究が活発になってきており、学会発表や論文も多くみられるようになっている。

加えて、創薬プロセスにおける動物実験の代替法として、さまざまなヒト臓器由来細胞やオルガノイドとマイクロ流体デバイスを利用した生体模倣システム (microphysiological system) に関する研究が活発化し、学会で多くの議論が交わされている。しかし、まだ課題も多く、創薬プロセスでの実用化に向けて、今後も進展が見込まれる研究分野である。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：石川 拓司

所属・職：東北大学大学院医工学研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：生体医工学関連分野に関する学術研究動向

－生体医工学と他分野の境界領域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：生物物理学、バイオメカニクス、医工学、微生物学、行動学

生体医工学関連分野やその周辺分野におけるトレンド、新たな研究領域、分野横断的・融合的な研究から新たに生まれつつある分野、今後重要性を増すと思われる研究分野等の動向を調査した。近年、微生物の振る舞いに着目した生物物理学分野が急成長を遂げている。この新興分野の理解には、分子生物学や微生物学、生物物理学、ソフトマター、アクティブマター、応用数学、工学などの学際的な視点が必要である。国際研究集会「Microscale Ocean Biophysics 7.0」においては、分子生物学者の Michael Kühl がサンゴの生物学的機能を分子生物学および生物物理学の観点から考察し、物理学や工学がサンゴの研究に大いに役立つことを示唆していた。また、海洋生物学者の David Bourne が Public lecture を行い、グレートバリアリーフの現状と、今後の課題を解説した。リーフの保存と修復には政治的な影響が色濃く現れており、科学技術の問題のみならず、世論を巻き込んだ政治的な方策が重要であることを示唆していた。今後もこの学際領域の発展が期待される。

生体医工学関連分野やその周辺分野における国内の最新の研究成果は、第 36 回バイオエンジニアリング講演会で発表された。この講演会では、科研費 学術変革領域研究を基盤とした OS「生物の形づくりのプロセスから学ぶ工学展開」と「ジオラマ行動力学」が開催され、今後開拓されていくであろう新領域の最新研究が紹介された。複数の学会が連携して開催した OS「臨床バイオメカニクス学会との合同セッション」や、教育について議論する OS「バイオエンジニアリング教育を考える」も開催され、工学のみならず、医学や教育学との連携の重要性を示唆していた。生体医工学関連分野における科学研究費助成事業の審査区分、内容の例等に関連した研究分野を調査することで、今後の審査区分の改訂に必要となる重要な知見を得ることができた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：石丸 直澄

所属・職：東京科学大学大学院医歯学総合研究科・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：病態系口腔科学分野に関する学術研究動向—トランスレーショナルリサーチを
目指した歯学研究の展開—

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：若手・女性研究者、トランスレーショナルリサーチ、SDGs

データベースを中心とした文献の調査では、口腔科学領域における質の高い研究成果の発出が見受けられ、特に、骨代謝関連の業績に関して、注目を集める業績が目立った。2024年度の本領域での学問的トピックスとして、口腔がんの骨浸潤の分子機序を明らかにした成果がNature誌に掲載され、腫瘍、骨代謝および骨免疫の分野に大きなインパクトを与えた。さらに、骨代謝と歯周病関連、歯周病と糖尿病関連などの分野で若手研究者を中心とした優れた業績が見られ、口腔から全身に広がる研究が目をつけた。特に、scRNAseqを中心とした網羅的遺伝子解析からバイオインフォマティクス研究、AIを用いた研究を取り入れたユニークな内容が見受けられた。

種々の全国学会に参加し、口腔科学分野の研究の位置付け、他分野あるいは科学全体への貢献度を探索した。口腔科学領域のみの学会では活発な活動がみられたが、全国レベルの学会では本領域の貢献度はやや低調な印象であったが、口腔科学領域の若手研究者の中で大きく活躍している者もいた。同領域での若手研究者の活躍に関しては、歯科基礎医学会、日本免疫学会、分子生物学会などで最先端の骨免疫学、運動生理学の分野で秀でた研究者が目についた。また、先端歯学国際研究教育ネットワークの議長を務め、大学院生の研究発表を主眼とした「先端歯学スクール」を主催することで、若手研究者の研究力向上に向けた取り組みを行った。

科学研究費の口腔科学分野全体の応募件数が徐々に低下しており、研究の入り口での積極性が弱まっている可能性がある。さらに、学術研究環境に関する情報収集ならびに産学連携・トランスレーショナルリサーチの調査を実施すると、各大学で女性上位職促進に向けた取り組みが少しずつ進み、女性研究者のライフステージに合わせた学術研究環境が整いつつあるが、地方大学などの一部には持続可能な研究環境の整備、産学連携が進んでいない場合も見受けられた。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：岡田 誠司

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：外科系診療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：医工連携、人工関節、リハビリテーション、専攻医教育

近年、外科系診療分野においては低侵襲化が大きなテーマとして掲げられてきた。特にロボット手術やナビゲーションの普及により、整形外科領域での人工関節手術等においては治療成績の向上と安定化に繋がったと報告されている。学術研究に於いてもコホート研究を中心としてAIや工学技術支援が手術の低侵襲化や入院日数の短縮に繋がるという報告がある一方で、医療経済的には手術点数に見合わない導入コストや維持費など、多くの課題が残されていることが明らかとなった。特に、技術習得にかかる教育システムの整備が追いついていないため症例や若手希望者は都市部に偏在するという傾向に拍車がかかっている。同時に、本来は診療業務の軽減に繋がるはずの技術が、プロクター制度や手術時間の延長によって自らの業務過多を招いている側面もあり、これが外科医減少にも繋がっているのではないかとの声も聞かれた。実際に新専門医制度が導入されて以降、外科を専攻する若手医師は2018年度は全専攻医のうち9.6%であったが、2024年度は8.5%に低下している。マンパワーの減少は学術研究に直接的に大きな影響を与えるため、今後の学術論文数の推移などに注目する必要がある。低侵襲化とともに今世紀に入ってから再生医療が注目を集め、学術研究としても大きな柱の一つとなった。細胞のリプログラム技術の進歩によりオルガノイド研究などが大きく発展しているが、臨床への応用面という観点からは再生医療の実用化は軟骨欠損部への細胞移植等を除いてまだまだ初期段階と言える。科研費の審査区分に関しては外科系診療分野は医工学、栄養、筋肉、スポーツ、リハビリテーションなど幅広い領域に関わるが、異なる少区分に類似のキーワードが散見されるため今後更なる議論が必要と考えられた。

令和6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：谷口 浩二

所属・職：北海道大学大学院医学研究院・教授

区分：医歯薬学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：病理学・腫瘍学分野に関する学術研究動向－網羅的解析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：がん、病理学、最新研究手法

本調査研究は、病理学・腫瘍学分野における最新の学術研究動向を網羅的に整理し、特にAI（人工知能）、シングルセル解析、エピゲノム解析といった先端技術の導入がもたらす影響を明らかにすることを目的として実施した。近年では、深層学習技術を用いた病理画像解析が進み、これまで病理医の観察に依存していた診断や予後予測が、より客観的かつ高精度に行えるようになってきている。また、シングルセル解析（トランスクリプトームやエピゲノム解析）の進展により、同一腫瘍内でも細胞ごとの性質の違いが詳細に捉えられるようになり、個別化医療に基づいた治療戦略の開発が期待されている。さらに、空間的トランスクリプトーム解析技術の解像度も急速に向上しており、腫瘍微小環境の構造や機能に関する理解が飛躍的に深化している。これらの技術の発展は、従来の形態学的アプローチや生化学・分子生物学的アプローチとデータサイエンスとの融合を促し、病理学・腫瘍学における新たな研究領域の形成を推進している。その一方で、異分野横断的な研究を担う若手研究者の育成や、国際的な研究ネットワークの強化といった課題も浮かび上がっている。今後は、病理学を軸とした異分野融合型の研究推進と、それを支える柔軟な制度整備が重要である。