

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：中野 貴志

所属・職：大阪大学核物理研究センター・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：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理分野に関する学術研究動向及び学術振興
方策 - 異分野融合による新たな学問及び応用領域の創出に関する動向 -

キーワード：量子ビーム、アスタチン、人材育成

素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理は、物質や宇宙の根源に迫る基礎科学分野でありながら、他分野との融合を通じて新たな学問領域を創出し、その技術的成果は社会課題の解決にも応用されている。たとえば、加速器から生成される量子ビームは、本来の研究用途に加えて、放射性同位元素（RI）の生成などを通じて核医学にも大きく貢献している。

本調査では、こうした分野における基礎研究から応用研究に至るまで、今後重要性を増すと考えられる研究領域の動向を整理し、あわせて新たな産業の創出や人材育成の方向性についても検討した。具体的な取り組みとしては、大阪大学フロンティア研究センター・理論連携研究プロジェクト（TJR）と連携し、幅広いテーマを扱う講演会シリーズ「南部コロキウム」を継続的に実施した。また、学際的なミューオン研究の国際的動向や、カナダ・TRIUMF 研究所における極低温中性子を用いた基礎科学実験など、国際共同研究の最新状況についても調査を行った。

さらに、福島国際研究教育拠点（F-REI）で展開が予定されている、短寿命のアルファ線放出核種アスタチン（At-211）を用いた標的型アルファ線核医学治療の開発状況についても調査を行い、その成果を東京科学大学でのシンポジウムにて報告した。

人材育成の面では、福島県浜通り地域（飯舘村、大熊町、双葉町）を舞台とする「浜通り環境放射線研修」に参加し、放射線に関する科学的知識と社会的課題を現地で学ぶ教育プログラムを実践した。学生が主体的に参加し、地域住民との交流を通じて多角的な視点を養うことを重視した本研修は、復興支援と地域再生に貢献する人材育成の好例である。今後、福島県大熊町に開設される大阪大学福島拠点を通じ、研修の通年実施と地域連携のさらなる強化が期待される。

令和 6(2024)年度調査研究実績報告書

研究担当者名：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「超高速度星」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ィ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/CSA/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 の開発した 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：落合 啓之

所属・職：九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所・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：「基礎解析学(表現論)関連分野に関する学術研究動向 --- 表現論と特殊関数論の新しい潮流

主な調査方針：2. 科研費・特別研究員事業等に対する研究者からの意見聴取、研究現場の調査、分析

キーワード：基礎解析学、数理解析学、数学基礎、応用数学、統計数学

研究活動において内外の研究者から聴取した学術研究動向に関する情報分析を行なった。数物系の主に数学を専門とする研究者に対する調査研究を実施した。近年、基盤研究(B)の競争が激化して、その結果として若手有力研究者が基盤研究(B)への申請を諦めて基盤研究(C)を申請するなどの傾向が数学系ではあることがわかった。有力な研究を行なっている研究者が上位種目にチャレンジし大きな研究に発展していくこと、それをサポートすることが必要である。分野や種目によらずに採択率がおおよそ3割と固定されているが、数学系の基盤研究(B)や基盤研究(A)などでは実態や肌感覚とは合っているとは言えず、分野ごとに配分方式の柔軟化が検討できないだろうかと感じる。

現行の方式では、申請件数の減少は比例して採択件数の減少を招き、それがさらに申請の減少を生むスパイラル（悪循環）に陥る可能性がある。活発な研究の実態はあり、研究者もある程度の人数がいる中で、小区分を維持することが難しくなるような申請の減少は望ましくない。基盤研究のような基本的資金を欠くことは問題であり、今後も分析を行いつつ、分野の動向を注視する必要がある。

前年度の調査研究活動の結果として、審査委員を割り当てる前提として、必ずしも多くの研究者が審査委員登録をしていないという実態があることが判明したため、日本数学会の年に2回の年会の際に開催される教育研究資金問題検討委員会の機会を活用して、審査委員登録とデータベース更新を促す活動を行なった。これはある程度の効果があり、審査委員の候補を充実させることで審査委員候補者のダイバーシティを上げることにもつながっている。一方で、若手の審査委員未経験者の中には、審査委員に指名されても辞退するケースが少なくない。科研費のピアレビュー方式が制度を支えているため、特別研究員や科研費の複数回の採択歴を持つ有力研究者が審査を積極的に引き受けてくれるような方策が必要となろう。学会や大学内での運営的な仕事に比べると、科研費の審査は学術的な内容であり、労力は大きいものの分野内の多彩な研究の動向と現状に通じることにもつながり、次の世代へと仕組みを引き続くためにも審査を若手も引き受けたくなるようになってほしい。

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ったが、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：比村 治彦

所属・職：京都工芸繊維大学・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

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

主な調査方針：2. 科研費・特別研究員事業等に対する研究者からの意見聴取、研究現場の調査、分析

キーワード：プラズマ科学、フュージョンエネルギー、プラズマ応用

プラズマ学およびその関連分野は科研費中区分 14 に属し、特にプラズマ物理学はフュージョンエネルギー開発と連動しながら発展してきている。近年は装置の大型化や一極集中が進んでおり、完全に電離している高温プラズマの実験は大学実験室規模では困難となり、低温プラズマが利用できる研究テーマへの転換が一定数進んでいる。一方、理論・シミュレーション分野は、計算科学の進展を活用しつつある。本国政府はトカマク型核融合炉開発と ITER への参加を決定してきた経緯があるが、近年は非トカマク型スタートアップや、海外大手企業による核融合開発も台頭し、これらに対抗する形で大型プロジェクトへの予算措置や、ムーンショット計画 10 (MS10) の支援策を打ち出した。しかしこれらの施策は連携が不十分で、それら支援先の裾野を支えている多くの研究者には十分な支援が届いていない。特に MS10 は他分野からの参入促進に重点が置かれており、既存研究者の立場を弱める懸念がある。一方、低温プラズマは医療や農学などへと幅広い応用を広げているが、プラズマ自体の革新よりも、その応用先の物質変化に焦点が移っている現状がある。

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
ー素粒子物理学における世界の動向ー

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：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、早くも 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：成田 宏秋

所属・職：早稲田大学大学院基幹理工学研究科・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：代数分野(保型形式論)に関する学術研究動向

キーワード：代数学一般、数論幾何、岩澤理論、多重ゼータ、宇宙際タイヒミュラー理論、保型形式論、内視分類理論

まず 8 月に行われた代数学シンポジウムや令和 6 年度の日本数学会等を踏まえた学術研究動向を紹介すると、既存研究の重要な進展に加えて既存研究にない分野横断的な新しい研究が目に着いた。例えば代数学では馴染みが薄い確率論的発想を有限群の表現論に取り入れた研究や一般化マルコフ数の団代数や様々な幾何学との関連についての研究などが目についた。また「グラフの岩澤理論」という代数的組合せ論や離散幾何学等で基本的かつ重要なグラフ理論に岩澤理論による整数論的発想を取り入れる研究が最近盛んになりつつあり、注目される。

次に整数論分野では、還暦記念の集会の開催が相次いだことも報告する。東北大学の都築暢夫氏、慶応義塾大学の栗原将人氏、九州大学の金子昌信氏の還暦記念に伴う、 p 進コホモロジーと数論幾何学に関する話題、岩澤理論の最近の進展に関する話題、多重ゼータ値とモジュラー形式に関する話題についての研究集会が、いずれも当該分野の多数の外国人研究者を招聘し盛大に開催された。栗原氏の還暦集会では Dasgupta-Kakde-Silliman による CM 拡大に付随するテイトモチーフに対する「マイナス部分」の同変玉河数予想の解決という重要な報告があった。

昨年度に続いて、宇宙際タイヒミュラー理論(IUT 理論)と保型形式論における内視分類理論の動向についても報告する。前者については年度始めの 4 月に IUGC カンファレンスが、そして年度末の 3 月に IUT サミットが行われ、IUT 理論と関連する遠アーベル幾何学の最近の研究の進捗状況が報告された。IUT 理論に対する誤解の払拭と、数学的議論の活性化による状況の正常化のための弛まぬ努力が続けられている。後者については、Arthur の内視分類理論に関し最大の懸念であった 3 つの未発表文献に関し、跡部発、Wee Teck Gan, 市野篤史, Tasho Kaletha, Alberto Minguéz, Sug Woo Shin の 6 氏の共同研究によりその証明を与えた論文が math arXiv で公開された。1 月の京都大学数理解析研究所の研究集会で跡部氏による講演があった。

最後に京都大学数理解析研究所の柏原正樹特任教授のアーベル賞受賞が 2025 年 3 月 26 日にノルウェー科学文学アカデミーより発表されたことを報告する。日本人として初めての受賞である。代数解析学や表現論を中心とした多岐に渡る研究業績が評価された。

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/epiiugs/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でき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。