

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：宮崎 州正

所属・職：名古屋大学大学院理学研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 主任研究員

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

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

キーワード：新型コロナウイルス、国際交流、非平衡物理学における融合研究

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：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：異分野融合研究、国際ネットワーク構築、原子核物理学

素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理分野は、物質の根源や宇宙の成り立ちの解明を目指す一方で、開発された技術や手法が他分野との交流・融合により新たな学問分野を創出し、社会課題解決に貢献している。例えば、加速器の量子ビームは、素粒子・原子核物理学研究以外にも応用されており、放射性同位元素（RI）は核医学を支え、ガンマ線イメージング技術によるがん研究やアルファ線核医学治療に不可欠である。本調査では、基礎から応用まで幅広い対象で重要度が増すと考えられる分野研究動向、新たな産業創出、人材育成の動向を調査した。

学術振興方策として、国内外の研究者育成、研究助成、国際交流に関する助成等の現状と課題を調査し、特に異分野融合研究に焦点を当て、研究支援基盤整備、プロジェクト支援、国際協力体制整備、人材育成について詳細に調査した。

調査研究活動・企画の報告では、大阪大学フォアフロント研究センターと連携し、「南部コロキウム」シリーズを実施した。また、チリ・サンティアゴで開催された国際会議 TWC2024 に参加し、アスタチンを用いた核医学治療開発に関する国際ネットワーク構築に向けた意見交換を行った。日米欧のイニシャティブによりワールド・アスタチン・コミュニティ（WAC）が発足し、今後の連携が決まった。

日米の原子核物理学及び関連分野の研究者が定期的集まる「日米物理学会合同核物理分科会」の開催を支援した。また、旧原子核研究所から KEK 12 GeV-PS、そして J-PARC への展開、理研 RARF から RIBF へと至る RI ビーム実験の流れ、RCNP における精密核物理、RHIC や LHC などの海外施設における研究など、今日までの原子核物理学の歴史を俯瞰し、分野の第一人者の講演によって原子核物理学の未来について討論する「核談 70 周年記念シンポジウム」での講演と開催支援も行った。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：岡 朋治

所属・職：慶應義塾大学理工学部・教授

区分：数物系科学専門調査班 主任研究員

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

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

キーワード： 天の川銀河、ブラックホール、一般相対論、干渉計、天文衛星

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

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：木村 昭夫

所属・職：広島大学大学院先進理工系科学研究科・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：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—物質のトポロジーに関する研究動向調査—

キーワード：トポロジカル絶縁体、ワイル半金属、ベリー曲率、光制御

近年ではトポロジーという位相幾何学の概念が物性物理学に導入され、物質の新たな側面を明らかにしてきた。1980年代に整数量子ホール効果の発見がきっかけとなり、トポロジーの概念が固体物理学に導入され、ホール伝導度の整数値がトポロジカル不変量として理論的に導き出された。2005年には量子スピンホール効果の予言があり、それが実験的に確認され、固体のトポロジーによる分類研究が加速し、2015年にはワイル半金属などのトポロジカル物質が発見された。トポロジカル絶縁体は、内部が絶縁体であるが表面や端に特異なバンドが現れる性質を持ち、これを角度分解光電子分光を用いて観測し、トポロジカル数を同定する研究が行われた。その後、空間反転対称性や時間反転対称性が破れた結晶においてワイル半金属相が理論的に提案され、実験的にも確認された。ワイル半金属は特異なバンド構造を持ち、フェルミレベル近くでスピン縮退が解けている特徴を持つ。特に注目されているのは、磁性ワイル磁性体である。これは磁化が大きく異常ホール効果や異常ネルンスト効果を示す。これまで異常ホール効果は磁化に比例すると考えられてきたが、実験結果はこれを覆すものであった。また、異常ネルンスト効果は熱流と磁化の直交方向に起電力が生じる現象であり、その大きさは小さいものの、簡単なデバイス構成と低コストでの製造が期待されている。最近では、光を用いてワイル磁性体の磁化を制御したり、トポロジカル絶縁体にテラヘルツ光パルスを照射して新たなトポロジカル相への遷移を引き起こすことが報告されている。これらの研究は、将来の光スピントロニクスやトポロジカル素子の応用につながる可能性があり、光物性研究の更なる発展が期待される。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：中川 泰宏

所属・職：熊本大学・大学院先端科学研究部・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：「幾何学関連分野(複素幾何学・微分幾何学)に関する学術研究動向」

—幾何学，およびその周辺領域における新たなる潮流—

キーワード：幾何学，微分幾何学，複素幾何学

2023年度は、「日本数学会2023年度年会(2023年3月15～18日・中央大学)」，「日本数学会2023年度秋季総合分科会(2023年9月20～23日・東北大学)」はともに無事対面形式で開催された。また，「第70回幾何学シンポジウム(2023年8月31日～9月3日・広島大学)」も対面形式で開催された。今年度は感染防止に注意を払いながら，対面形式での研究集会がかなり増えてきて，ほぼコロナ禍前の状況に戻ってきたようである。一方，オンライン開催の研究集会やセミナーが減ってしまったために，気軽に参加できるものが少なくなってしまったことは残念なことである。やはりハイブリッド形式での研究集会・セミナーの開催は主催者の負担が大きく，なかなか難しいのであろう。今後はハイブリッド形式での開催が可能となるように，設備の充実やスキルの育成が各大学や研究所に望まれるように思う。

そんな中，担当者の専門分野である幾何学においては，「2023年度日本数学会幾何学賞」を藤田健人氏(大阪大学)が受賞した。受賞題目は「Fano 多様体の K 安定性の双有理幾何学的手法による研究」というものである。私の研究テーマとも非常に近い研究テーマであるが，彼の研究手法は完全に代数幾何学の観点からのものである。この周辺の分野では，ここ数年彼のような代数幾何学からの若い研究者の参入により，急速に進展している。さらに，藤田氏は「2024年度日本数学会賞春季賞」も「Fano 多様体の K 安定性の研究」という業績題目で受賞した。

また，「2023年度日本数学会春季賞」は入江慶氏(京都大学数理解析研究所)が「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」という業績題目で受賞した。入江氏は「第20回日本学術振興会賞」も受賞している。

以上のように，幾何学，およびその周辺領域においては優秀な若手研究者が育ってきており，今後ますますの発展が期待できそうである。

ここ数年における日本国内の幾何学におけるその他の学術動向として目立つものは，測度距離空間の幾何学，対称空間などの等質空間の幾何学，曲面論における特異点の解析等が挙げられると思う。これらの分野でも若手研究者が多数育ってきており，学会・研究集会等でも多数の講演がなされている。

また複素幾何学，特に私の研究テーマに近い分野においてのここ数年での目立った動きは，上に述べた藤田氏のような国内外の優秀な代数幾何学者が多数参入してきていることである。彼等の活躍もあり，この周辺の研究はここ数年大きく進展してきている。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：初田 真知子

所属・職：順天堂大学保健医療学部・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：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理理論分野に関する学術研究動向—素粒子理論と他分野の融合による新展開—

キーワード：ミューオン異常磁気能率、暗黒物質、量子コンピュータ、弦理論、研究会の取組

素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理理論分野に関する学術研究動向として、素粒子理論と他分野の融合による新展開に焦点をあてて報告する。標準理論は素粒子にはたらく3つの基本的な相互作用を記述するものであるが、標準理論では説明できない現象がいくつかあり、標準理論を超えた理論が必要である。さらに重力相互作用を記述できないため、重力に関する現象の説明には不十分である。標準理論で説明できない現象として、ミューオンの異常磁気能率、および暗黒物質がある。2023年8月にはフェルミ国立加速器研究所はミューオンの異常磁気能率のより高精度となった最新結果を発表し、標準模型との乖離を示した。この乖離の謎を解明するための標準理論を越える新しい物理理論が現在盛んに研究されている。暗黒物質の正体は現代物理の最大の謎の一つであり、様々な探査実験が計画されている。暗黒物質の候補として MACHO、WIMP、アクシオン、ダークフォトン、ステライルニュートリノ、超対称性粒子等について、天文学と素粒子理論と宇宙物理の連携・融合による研究が進んでいる。また量子コンピュータのハードウェアに大きな進展があり、LHC や低エネルギー素粒子実験及び量子もつれのシミュレーション計算などへ応用が期待されている。

重力の量子論を含む統一理論としての有力候補である弦理論において、散乱振幅、共形場の理論、ホログラフィー、ブラックホール、スワンプランド、ドジッター時空、デュアリティ等それぞれのテーマで進展があったが、実験的検証は難しい。ここでは、弦理論の新展開創出のための研究会の取組を報告する。2023 Simons Physics Summer Workshop では、朝食、昼食の提供、ビーチでの講演や音楽会等もあり、参加者はリラックスした雰囲気の中で自由に意見を交換できるようになっている。Strings 2023 での新しい試みは、Challenge Talks という新展開への挑戦を意図した講演である。その一つの Frenkel 氏による講演は、可積分性とラングランズ予想が弦のデュアリティに関係し、数学における統一を物理のデュアリティに広げるといったものだった。Discussion Session では、S 行列の未来など与えられたトピックについて、2名ずつの講演者とオンライン参加者が自由に議論できるインタラクティブな場であった。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：荒川 政彦

所属・職：神戸大学大学院理研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：宇宙惑星科学分野に関する学術研究動向

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

キーワード：月惑星探査、宇宙開発、国際協力

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：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。審査委員を割り当てる前提として、依然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。個別に事情を聴取すると、まず、30代や40代の研究者の中には、自分にはまだ早いと考えて未登録なケースがあった。しかし、学振DC,PDの経験者や若手研究の採択者は3割程度の競争率を既にくぐり抜けているのであり、審査委員としての資質があるかどうかを十分に吟味できる対象である。そこで、学会の教育研究資金問題検討委員会の機会を活用して、登録を促す活動を行なった。また、当該委員会でセンター研究員の職務に関しても説明する機会をいただき説明を行なった。また、ライフイベントや大学内外の個別の仕事などのため、特定の年度に審査委員を引き受けられないと言う事情で登録しないケースも見受けられた。これに対しても、審査委員登録をしていて実際に審査委員の依頼が来ても、打診に対して引き受けることは強制や自動的ではなく、個別的な事情でその年度の委員への就任を断ることもできることを伝えた。ただし実際には多くの候補者に断られるとセンター研究員の至急の作業が増えるので、痛し痒しではあるけれど。また、ダイバーシティについても、性別のみをダイバーシティと認識している研究者が少なからずいたが、性別以外にも、年齢のバランスを取ることや、大学に所属する場合は特定の大学への重複を避けるなど内訳に関しても目配りする必要があるなど、さまざまな観点からのダイバーシティに配慮していることを知ってもらう必要がある。大きな大学に所属しない研究者の中には、審査は誰か偉い人がやってくれることで自分には無縁と思っているケースもあったが、むしろ、そういった環境でも立派な業績や研究をおこなっている研究者は数学の場合はたくさんあり、そういった研究者たちにも審査をお任せすることが望ましい。確かに大きくない学科で審査の委員を付託することは負担が重い点は申し訳ないものの、これも登録者が増えれば個別の負担は分散されるため、より良い審査のためにご協力をいただきたい。こういった趣旨のことを年に2回の学会の教育研究資金の委員会などで、公開可能な情報に限って公開することで理解を深めていただくことに努めた。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：郡司 修一

所属・職：山形大学学術研究院・教授

区分：数物系専門調査班 専門研究員

調査研究題目：宇宙線及び宇宙物理学分野(実験)に関する学術研究動向調査

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

キーワード：高エネルギー宇宙物理学、科学観測衛星

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

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

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：比村 治彦

所属・職：京都工芸繊維大学電気電子工学系・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

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

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

キーワード：核融合プラズマ、世界プロジェクト、核融合ベンチャー

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：市川 温子

所属・職：東北大学大学院理学研究科・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

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

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

キーワード：素粒子物理学、高エネルギー物理学、加速器

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

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：岡 隆史

所属・職：東京大学・物性研究所・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

調査研究題目：量子物性分野に関する学術研究動向

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

キーワード：物性物理学、国際化、学術動向

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

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

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

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：成田 宏秋

所属・職：早稲田大学大学院基幹理工学研究科数学応用数理専攻・教授

区分：数物科学系専門調査班 専門研究員

調査研究題目：代数学分野(保型形式論)に関する学術研究動向

キーワード：圏論、垂完全空間と可換環論、力学系、宇宙際タイヒミュラー理論、内視分類理論

分野横断的研究の観点で「圏論」がキーワードとして印象強く残った。秋の日本数学会の特別講演では、大川新之助氏による非可換代数幾何学、斉藤秀司氏によるモチヴィックコホモロジー、榎本悠久氏のアーベル圏の部分圏に関する話題は、いずれも圏論が重要な基礎として関わる。また代数学シンポジウムでも中岡宏行氏の講演など圏論が関連するものが5つも取り上げられ話題も多岐に渡った。圏論的視点の重要性は純粋、応用問わず幅広い分野で認識されているが、今年度のこのような動向はその分野横断的展開の潜在性を強く感じさせた。他にも数論に由来を持つ垂完全空間 (Perfectoid space) の可換環論への応用に関する下元数馬氏の研究は、視野が広いもので分野横断性の視点から注目される。また分野横断に加え新しい潮流という観点で、自己写像の多重合成の代数幾何学的及び整数論的性質を調べる「力学系」と呼ばれている研究がアクティブになっていることが注目される。若手研究者による活発な研究が一つの特徴で、例えば安福悠氏、松澤陽介氏、佐野薫氏、色川怜未氏などの名前が挙げられる。

そして整数論における重要な動きを2つ報告する。最初は望月新一氏が確立した宇宙際タイヒミュラー(IUT)理論(および関連した遠アーベル幾何の研究)の動向である。望月氏は国際集会の開催や概説記事の公開(例えば MFO-RIMS 共同開催集会の概説記事)、メールでの積極的働きかけ等により、IUT 理論についての議論の門戸を開いており、その努力により海外でも理解者が次第に増えている。しかし十分な吟味を伴わない誤った認識、偏見が依然広く残っている。望月氏、山下剛氏、Benjamin Collas 氏に研究動向について詳しく話を聞いたが、今後も数学的議論の深化による正常化を目指す動きが活発に継続される見通しである。

もう一つ、保型形式の整数論における Langlands プログラムで重要な Arthur の内視分類理論の動向を紹介する。2013 年に本が出版され 2016 年に跡公式の(捻り付き)安定化が確立して以来、多数の関連論文が出版された。しかし最近になって本の中で引用されている3つの未出版論文[A25], [A26], [A27]について、慎重に検討し証明を付ける動きが跡部発氏、Wee Teck Gan 氏、市野篤史氏、Tasho Kaletha 氏、Alberto Minguez 氏、Sug Woo Shin 氏のグループにより本格化している。この動きは調査に協力した市野氏本人より確認している。

令和5（2023）年度調査研究実績報告書

研究担当者名：長谷部 徳子

所属・職：金沢大学環日本海域環境研究センター・教授

区分：数物系科学専門調査班 専門研究員

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

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

キーワード：国際連携，変動史対比，放射年代測定

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

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

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