

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

数物系科学（とくに数学）分野にかかる学術研究動向に関する調査研究及び学術振興方策に関する調査研究 - 数学および数学と他分野との連携における新たな潮流と展開 -

小島 定吉（早稲田大学理工学術院・教授）

数学のとくに代数学および幾何学における過去 10 数年間のトレンドの一つとして、圏と関手を用いた問題の定式化が増えている。また、素粒子物理学におけるミラー対称性や物性物理学におけるトポロジカル絶縁体の分類などに圏論的定式化が有効であることが認識され始めている。圏論は数学的推論（演繹）の本質を浮き彫りにする枠組みであり、将来の基礎科学の基本的な言語になりうる。一方、各種概念や手法の擬化（緩和化）が数学のいろいろな場面に登場していることも指摘しておきたい。擬化の考え方の影響は幾何学にはたいへん大きく、多様体が主な研究対象だった時代は過去になりつつある。

国際数学者会議(ICM)は 4 年に 1 回開催される数学界最大のイベントである。昨年度リオデジャネイロで ICM2018 が開催され、ある意味で過去 4~6 年間の数学研究の世界的な総括があった。今回はノーベル賞に比されるフィールズ賞受賞者がカバーする研究領域が大きく広がっているという特徴があり、20 世紀には発散細分化した数学が 21 世紀に入り纏まりを見せつつある。また我が国は ICM2018 で、総裁、授賞者選考委員会委員、招待講演者選考委員会委員として 5 名が参画、またチャーン賞受賞および招待講演者が 5 名選ばれるなど、その存在感を遺憾なく示した。

数学・数理科学は数理モデルとデータ解析を柱に他の学術領域や社会の問題に応用されていることは周知の通りである。理化学研究所は数理創造プログラムを創始させるとともに革新知能統合研究センターに数理科学チームや数理解析チームを設け、また CREST は 2019 年度に「数理的情報活用基盤」と題する研究領域を発足させた。しかしながら数学・数理科学と他の学術領域や社会の問題との接点は今や数理モデルとデータ解析には留まらないとの声徐徐に大きくなっており、情報を活用するための数理的

基盤を整備することに数学者・数理科学者が積極的に加担することが一層強く求められている。

諸外国での数学・数理科学分野での学術振興策の現状と国内での議論を背景に、日本学術会議数理科学委員会数学分科会は、「訪問滞在型」研究所設立の必要性を唱える提言を 2017 年度に発表した。その延長として、関連 3 学会が共同して第 24 期学術の大型施設計画・大規模研究計画に関するマスタープラン 2020 に応募し、重点大型研究計画に採択された。訪問滞在型方式は、デザイン次第で数学および数理科学分野と他分野を結びつけるトップダウン型の企画立案にも大きく資すると考えられる。一方、数学分野において学術振興を牽引するのは、研究者個人の発想に基づくボトムアップ型の研究が多くを占める。研究費を選択集中させるだけでなく、広く支援することも必要であり、科研費各種目における区分ごとの採択件数を申請件数と総申請額双方を加味して算出する方式は堅持が必要であろう。

数物系科学（とくに素粒子、宇宙物理、天文）分野に関する学術研究動向及び学術振興方策 - 素粒子・宇宙物理・天文学の分野間連携における新たな潮流と展開 -

神田 展行（大阪市立大学大学院理学研究科・教授）

素粒子・宇宙物理・天文学の分野では、新しい実験や観測が学術動向に与える影響は大きい。新しい結果は知見の拡大や研究の深化を促し、関連する研究を誘発する。本年度もそのような最新の結果や進展の報告があった。

地球上の 8 つの電波望遠鏡を結合させた国際協力プロジェクトであるイベント・ホライズン・テレスコープが発表した「巨大ブラックホールとその影の存在を初めて画像で直接証明」は、この分野に非常に大きな影響を与えた。重力波や X 線の観測でブラックホールについての観測的知見が近年増えてきたが、電波による“ブラックホールの撮像”は新しい知見である。理論研究におけるブラックホールのフォトンスフィアやシャドウとへいった話題と関連し、議

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

論が大いに盛り上がった。またこの解析には、スパースモデリングといった新しい統計手法も駆使されている。画像という結果はわかりやすく、国民一般にも広く認知され、天文・宇宙物理についての一層の関心呼び起こした。

宇宙線観測分野では、MAGIC 実験による地上のチェレンコフ望遠鏡によるガンマ線バーストの信号を初観測したという結果も注目される。ガンマ線バーストは知られている中で最も光度の高い宇宙高エネルギー現象であり、まだまだ謎多き現象である。ガンマ線や X 線の衛星による観測が主流であるが、MAGIC 実験が地上で初めて観測した。過去最高エネルギーの TeV ガンマ線放射を確認している。チェレンコフ望遠鏡による高エネルギー天体観測において、マイルストーンとなる成果だと思われる。

急速に観測を進展させている重力波観測においては、米国 LIGO と欧州 Virgo が第 3 次の観測運転を行なった。公式発表された重力波事象候補は、今まで(2020 年 3 月)に 56 事象になる。これらについての速報は追観測を試みる研究グループに提供されており、マルチメッセンジャー天文学の推進に役立っている。2020 年 2 月末には日本の KAGRA 実験も観測運転を開始した。今後の動向に関心が寄せられている。

ナノ構造物理学分野に係る学術研究動向に関する調査研究 -基礎科学と工学を繋ぐ接点としてのナノ構造物理学研究の新たな進展-

長谷川 剛 (早稲田大学理工学術院・教授)

近年、深層学習システムを始めとした人工知能があらゆる分野で幅広く使われるようになった。逐次演算型の現在のコンピューターでは、各計算ノードが相互同時に作用するネットワーク型の並行演算を模倣することは難しいとされてきたが、記憶容量の大規模化と演算速度の超高速化がそれを可能にした。人工知能が広く一般に認知されたことで、新しい応用を目指した融合領域研究分野も次々と立ち上がってきた。本学術研究動向調査で対象としたナノ構造物理学は、従来、半導体素子の大規模集積化や低消費エネルギー化、様々な電子機器や医療機器などの小型化を推

進するための基礎科学として大きな貢献をしてきた。近年、その場で可能な情報処理を行い、必要な情報のみを必要なときにサーバーに送るエッジコンピューティングが注目されてきている。ナノ構造物理学は、当該分野において新しい研究分野を確立しつつある。例えば、人間の指先にある触覚センサーは、「痛い」と思って初めて脳に信号を送っている。これら生物の多様かつ高度な機能を模倣すべく、物質や材料の特異な機能を活用することで、センシングから情報処理までを一貫して物質・材料に任せようとする研究が始められている。このような研究は「マテリアル知能」や「エッジ・オブ・エッジ」をキーワードに進められており、情報処理機能を有する五感センサーをロボットに搭載することなどが応用先として掲げられている。一方、ナノ構造物理学分野に関する新しい取り組みとして、次世代コンピューティングをキーワードにした国際会議において、量子コンピューターと脳型コンピューターが同一のセッションで議論されたことが挙げられる。現時点では、前者に携わる基礎物理学者と後者に携わる材料系研究者がお互いの「言語」を理解しあう段階にあると感じられたが、近い将来において全く新しい学問領域が創成されることを予感させるものであった。

素粒子原子核宇宙分野に係る学術研究動向に関する調査研究 -素粒子物理学と他分野の境界領域における新たな潮流と展開-

磯 暁 (高エネルギー加速器研究機構・教授)

素粒子物理学は、従来の加速器実験や地上での非加速器実験を中心とした学問を超えて、宇宙物理学や天体物理学など境界領域との分野融合がますます盛んになって来ている。欧米の研究機関では両者の境目がほぼなくなっており、日本でも研究機関の設立趣旨や大学の講座にとらわれないより柔軟な交流がさらに望まれる。また、素粒子原子核物理学と物性物理学、情報学との境界領域における進展や、深層学習と物理学との融合研究も盛んに行われるようになってきた。平成 31 年度は、昨年度に引き続いて、このような異なる分野をまたがる学問領域の発展を調査する

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

ため、国内外の研究者を招聘して、世界における動向調査活動をおこなった。

研究においては、もはや素粒子、原子核物理学と宇宙、天体物理学との垣根はほぼなくなりつつあると言ってよい。しかしながら、国内では、素粒子物理、原子核物理、宇宙物理、天体物理という出身分野の違いが、未だに若手研究者のキャリアパスにも影響している。シニアな研究者がこのことを意識して分野間の人材交流を進める必要がある。

今回の調査活動で注目した分野間連携の可能性として、深層機械学習と物理学との連携がある。ビッグデータ解析という応用面に加えて、深層機械学習の仕組みを数理物理学的に理解するという基礎面の研究も、海外では積極的に始まっており、言語学や脳認知科学も巻き込んだ学術分野創生につながる可能性を秘めている。従来の情報学の視点を超えて、物理学や生物学など幅広い観点から、この分野にチャレンジする研究者や学生をエンカレッジする仕組みが求められる。

大気水圏科学関連分野に関する学術研究動向

— 新規学際研究と日本の貢献の動向 —

大島 慶一郎（北海道大学低温科学研究所・教授）

大気水圏科学研究は、地球規模の気候変動の理解と予測、というのが重要な役割の一つになっている。それを国際的に取り纏めているのが、IPCC(気候変動に関する政府間パネル)であり、6-7年ごとに出版しているIPCC評価報告書である。IPCCは、2019年9月「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する特別報告書」を公開した。この背景には、現在の地球温暖化において海洋と雪氷圏で起きている変化が極めて重要であることが明白になってきたことがある。この報告書には、新規学際研究も含め、近年の大気水圏科学研究の動向が集約されている。報告書によると、雪氷圏においては、「地球温暖化により、最近数十年にわたって、雪氷圏の広範に及ぶ縮退をもたらし、それは氷床及び氷河の質量の消失、北極域の海水の面積や厚さの減少等を

伴う」としている。海洋圏においては、「世界全体の海洋は、この50年ほぼ確実に昇温しており、気候システムの余剰熱の90%を超える熱を取り込んできた。1990年代以降、海洋の昇温速度は2倍を超えて加速している。海洋がより多くのCO₂を吸収することによって、表面海水の酸性化が進行している」としている。

雪氷・海洋圏の中で、特に将来、地球規模の環境変動への影響が大きいと考えられているのが、氷床融解加速と北極海の海水激減の2点である。20世紀に全世界で15cm程度海面水位が上昇したが、その上昇ペースは氷河と氷床の融解により加速しており、今後長期間上昇は続くと考えられる。温室効果ガス排出量が大幅な増加を続ければ、100年以内に1mを越すとする予想もある。ただし、海面上昇に換算して60mにも及ぶ南極氷床が温暖化にどのように反応するかに関しては、大きな不確実性が残っている。北極域の海水の縮小も確実に進むことが予想され、その縮小の度合いは温暖化シナリオによるが、今世紀中に夏季に北極海から海水が消える年が頻発する可能性が指摘されている。日本においても、これらの課題に対応するように、新学術領域研究「熱-水-物質の巨大リザーバ：全球環境変動を駆動する南大洋・南極氷床」(2017-2022年)や「北極域研究加速プロジェクト(ArCS II)」(2020年~2025年)が進行中(予定)である。

応用数学および統計数学関連分野に関する学術研究動向 — 流体现象を始めとする非線形問題における数理解析および数値解析の現状と将来

木村 芳文（名古屋大学大学院多元数理科学研究科・教授）

担当者の専門分野は応用数学および統計数学関連分野(流体力学)であり、流体力学の数学的側面を主な研究対象としている。流体力学は工業問題、航空船舶、宇宙環境問題における様々な問題に関連し、幅広い応用を抱える学問であるが、その数学的な側面については大きく分けて次の2つの考え方が存在すると考えられる。

(1) 流体、特に粘性流体の運動を記述する非線形偏微分方程式であるNavier-Stokes方程式やそこから派生す

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

る方程式、およびそれらを基にしたモデル方程式を基礎方程式として、基礎方程式の解析およびその解の性質を知ることによって現実の問題の理解を行う立場

(2) 現象の様々なデータから統計操作によって問題とする物理量の特徴を抽出し、予測を行う立場

前者は元来の流体力学の問題意識であり、現在でも数値解析を含めた多くの研究がこの立場で行われているのに対し、後者は近年のAIおよびデータ駆動型研究の発展の下、機械学習・深層学習の範疇として注目されている立場である。これらの2つの立場は相補的であり、例えば(1)で方程式の特異性を研究することは(2)の弱点とも言える突発的大偏差現象の予測に対する情報を提供することになると考えられるし、(2)の方法を用いることによって(1)の立場では計算できないような複雑な状況下の問題について予測が可能になる。

担当者はこれまで(1)の立場で研究を続けてきているが、新しいトレンドとしての(2)の立場に興味を持つとともに(1)と(2)のハイブリッド型の研究の可能性について研究動向を注目しており、この観点から令和元年度は日本数学会(金沢大学)とアメリカ物理学会・流体力学分会(シアトル)の2つの学会において機械学習の流体力学への応用をテーマとしたセッションの調査を行なった。

半導体関連、ナノ構造物理関連分野に関する学術研究動向ーナノ物理学がもたらす量子制御と物質の新機能ー

小林 研介(大阪大学大学院理学研究科・教授)

2019年度、今後の科学の研究動向に長期的な影響を与える出来事があったので、この機会に学術研究動向調査研究として報告する。2018年11月16日、メートル条約締約国が国際単位系(International System of Units, SI)を改定するための決議の投票を行い、キログラム・アンペア・ケルビン・モルの定義を変更し、改定されたSIが2019年5月20日に発効したのである。このような度量衡すなわち計測の基盤となる計量標準に関わる研究を「標準研究」と呼ぶ。質の高い標準研究を行うためには、最先端のあらゆる

計測技術・物質科学を動員する必要があり、結果として標準研究は極めて高度であると同時に分野横断的なものとなる。今回の改定では、100年以上にわたって使われてきた国際キログラム原器が役目を終え、質量の定義がプランク定数に基づいたものになった。特筆すべき点は、今回の改定において、日本の標準研究者が決定的な役割を果たしていることである。プランク定数の定義に関しては、超高純度のシリコン球の体積を精密に測定しアボガドロ数を数える「X線結晶密度法」と、電気力学的に重量を測定する「キップル(ワット)バランス法」の二つの手法がある。産業技術総合研究所計量標準総合センター(NMIJ)が、前者の手法において決定的な役割を果たし、プランク定数の決定に貢献した。欧米以外の国がSIの定義において決定的な役割を果たすのは、長い歴史の中でも今回が初めてである。今回の改定によって、フランスにあったキログラム原器が廃止され、全ての計量標準が物理定数によって与えられることになった。ある意味では、全ての国にとって平等な時代が訪れたとも言えるが、今回の改定を機に、科学の「ものさし」をそれぞれの国が自らの力で開発・維持していく必要性がさらに明確になったとも言える。信頼できる計量標準を持てるかどうかは、その国の「科学的な基礎体力」の指標となると言っても良い。このような研究の重要性が広く周知され、我が国の標準研究が継続的に発展していくことを願っている。

核融合学、プラズマ科学関連分野に関する学術研究動向ー核融合燃焼実験に向かい取り巻く展開ー

山田 弘司(東京大学大学院新領域創成科学研究科・教授)

本調査研究は核融合学およびプラズマ科学関連分野において、国際熱核融合実験炉(ITER)計画における核融合燃焼実験に向かい、これを取り巻く学術研究の動向について海外を中心に我が国の状況も合わせて調査することを目的とした。ITER計画は、一つの実験プロジェクトの範囲を越えて、関連する研究の極めて指向性の高い集約統合を求める時代背景を生み出しつつある一方、この分野の「学術研究」の全体を包摂するものではない。このため、ITER計画

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

への研究開発の加速と、多様な学術研究の拡がりの合一に注視する。そこで欧州物理学学会プラズマ物理会議 (EPS-DPP) とデータ駆動型プラズマ科学国際会議 (ICDDPS) および国内の日本物理学会秋季学会とプラズマ・核融合学会年会に出席し、動向調査を行った。EPS-DPP では磁場閉じ込め核融合、ビームプラズマと慣性核融合、基礎・宇宙・天体プラズマ、低温・ダストプラズマの4分野を網羅している。最高の顕彰である Alfvén 賞がレーザープラズマによつて粒子加速、またイノベーション賞がホローカソード放電の研究に授与されるなどプラズマに関わる分野を横断する包括的な議論の場を提供している。ITER を主題とした核燃焼プラズマの研究がこのようなプラットフォームにおいて議論される意義は大変大きい。ICPPDS は 2018 年に日仏英の研究者が中心となって創設した新しい会議である。データ駆動型科学は今やあらゆる分野において勃興しており、プラズマ科学を横断した物質とプラズマの相互作用などに半導体産業から核融合炉まで共通性を持った広範な貢献が見られた。国内においても、日本物理学会(領域2)およびプラズマ・核融合学会年会では乱流物理やデータ駆動科学などの国際動向に対応あるいは率先する企画、中性子源とレーザー光源の応用やタンパク質化学との共同など学際的研究展開が進められていることが認められた。

素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理に関連する実験分野に係る学術研究動向ー将来素粒子実験計画の国際的新展開ー

川越 清以(九州大学大学院理学研究院・教授)

素粒子物理の実験的研究(高エネルギー物理学)には高エネルギー粒子を人工的に作る大型加速器が必要になる。欧州原子核研究機構が建設した大型ハドロンコライダー(LHC)によるヒッグス粒子の発見(2012年)は、人類の自然観を変革する大発見となった。素粒子研究のための加速器プロジェクトは大規模化・長期化し、LHC レベルの将来大型加速器はアジア・欧州・北米の研究者コミュニティが協力・分担して実現しようとしている。

国際将来加速器委員会(ICFA)は、国際リニアコライダー(ILC)をグローバルな将来計画の中心と位置付け、国際設

計チームによって2013年に技術設計書を完成させた。ILCはエネルギーフロンティアの電子陽電子コライダーであり、その第一段階ではLHCで発見されたヒッグス粒子を大量生成し(ヒッグスファクトリー)、その精密測定から新しい物理を発見・解明する。日本の研究者コミュニティ(高エネルギー物理学研究者会議)はILCを日本に建設することを提案しており、ICFAはその提案を支持し、国際プロジェクトとしての実現に向けた取り組みを続けている。

欧米の高エネルギー物理学研究者コミュニティでは数年に一度、将来計画に関する議論を時間をかけて行っている。

「欧州素粒子物理戦略」の前の更新(2013年)でILC計画に対する強い関心が示されており、2018年に始まった今回の更新においても、「ヒッグスファクトリー」の重要性は十分認識されている模様である。米国ではエネルギー省科学局および国立科学財団の下で高エネルギー物理諮問委員会が数年に一度、高エネルギー物理学の将来計画についてコミュニティの意見を集約している。前回の報告(2014年)では、LHCとニュートリノ実験に加え、ILCへの参加を強く希望した。米国での新たなプロセスは2020年4月から始まり、2021年夏の会議で集中的な議論が行われる予定である。

代数学分野に関する学術研究動向ー一整数論および代数学関連分野の最近の発展と展開

栗原 将人(慶應義塾大学理工学部・教授)

京都大学数理解析研究所は、同研究所のShinichi Mochizukiによる600ページに及ぶ論文を2020年2月に同研究所が発行するPublications of the Research Institute for Mathematical Sciences誌に掲載受理したと(2020年4月に)発表した。これは、同氏がInteruniversal Teichmüller theoryと呼び、長年にわたって構成してきた理論に関する論文であり、論文の成果の一つとしてabc予想が証明されている。この論文では、著者によってそれまで開発されてきた、まったく新しい概念・用語を用いた理論が展開されていたため、査読に8年以上を費やすという異例の経過の末の掲載受理であった。この論文はその新しさのため、当初は読者が少なかったが、最近是比较的多くの

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

研究者によって研究されている。Mochizuki 理論を支持する研究者達がいる一方で、証明にギャップがあると主張する研究者達が今もあり、専門誌に掲載が決まったと言っても、証明の正しさが世界の数学界に受け入れられた状態ではない。このように掲載受理が決まったと言っても、現在の状況は Fermat 予想など過去に数論関係の大有りが証明されたときとは異なっている。

2020 年 1 月、インド・ムンバイの Tata 研究所において行われた研究集会で、S. Dasgupta と M. Kakde は Brumer Stark 予想を証明したと発表した。この予想は、イデアル類群という数論的な対象とゼータ関数という解析的な対象を結びつける重要な予想であり、19 世紀に得られた Stickelberger の定理の代数体への一般化であると同時に、整数論の最重要問題のひとつである、類体の構成に関する Hilbert の 12 問題に大きな進歩をもたらす。実際、Dasgupta と Kakde の方法は、 p 進的なもので代数体の abel 拡大の生成元を求める方法も与えている。研究が、完成されれば大変重要な成果となる。

多くの重要な研究が日本でも行われているが、若手によるいくつかの特筆すべき研究をピックアップすると、九州大の K. Namikawa による保型表現の研究からの p 進 Asai L 関数の構成、同じく九州大学の N. Sato, M. Hirose による多重ゼータ値の具体的な関係式に関する研究、慶應義塾大の T. Kataoka による同変岩澤予想に関する研究は重要な成果である。

天文学関連分野に関する学術研究動向—次世代大型光学赤外線望遠鏡計画に関する動向調査

土居 守 (東京大学大学院理学系研究科・教授)

光学赤外線天文学分野においては、30m 級の次世代大型望遠鏡の建設が進んでいる。ハワイ島マウナケア山に米国、日本、カナダ、中国、インド中心に建設中の口径 30m の TMT 計画、チリ北部アルマゾネス山にヨーロッパ南天天文台が建設中の口径 39mELT 計画、米国、オーストラリア、韓国、ブラジル中心に建設中の口径 24.5mGMT 計画である。これらの望遠鏡に期待される科学成果は、130 億光年彼方の生まれたての銀河や星の爆発から、太陽系天体の観測ま

で大変幅広い。ただし、望遠鏡はそれぞれに基本設計から異なり、またとりつけられる観測装置も多様である。TMT 計画は日本が中心メンバーであるため進展については様々な情報が入ってきているが、ELT 計画と GMT 計画については必ずしも十分情報があるとは言えない。そこで実際にこれらの計画のコアメンバーを訪問して懇談を行い、実際の動向を分析した。

その結果、3 台の次世代大型望遠鏡は観測装置も含め、それぞれに特長があり、したがって初期に特長を活かせる科学テーマも相補的であることがわかった。また TMT は北半球に建設される予定であるが、ELT と GMT はいずれも南半球に建設される。南半球には日米欧中心で建設した大型電波干渉計 ALMA があり、衛星望遠鏡の大部分は全天の観測が可能であることから、やはり ELT や GMT で観測することが望ましいケースがあることが予想される。日本の技術力や実績を考えると、より積極的に観測装置開発も含めた国際協力により観測時間を確保していくことが望ましいと考えられる。ただし、望遠鏡時間の大規模かつ長期的な確保は正式メンバーにならない限り難しく、長期的には日本の光赤外線観測のフロンティアを支える大型望遠鏡として TMT が必須であり、TMT を中心としながら、相補的に他の 2 台の望遠鏡へのアクセスも科学研究費等によって部分的に確保するような進め方の検討が望ましいと思われる。したがって長期・大規模かつ国際協力に対応した科学研究費等の充実が望まれる。

固体地球科学関連分野に関する学術研究動向 —地球惑星物質科学における新たな潮流—

中村 美千彦 (東北大学大学院理学研究科・教授)

(1) 学術研究動向の概要

固体地球科学は、まず構成物質の種類を解明し、次にその物性を決定するという順序で発展してきた。地球物理学的な観測で構造を見出し、高温高压実験でその原因を決定するというのが典型的な発展型である。レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルによって安定的に発生できる温度圧力は、ほぼ地球中心核に到達し、高温高压下でのブリルアン

令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(数物系科学専門調査班)

散乱法など、物性をその場測定する手法も発展している。第一原理計算の進展も珍しく、数値実験による予想と高圧実験による検証という新たな型も生まれた。重要な研究課題の設定には異なるアプローチの統合が不可欠となっている。観測手法にも、地震波走時トモグラフィに限らず Ambient Noise Tomography や Magnetotelluric 法などの新しい手法・計算機性能の向上により空間分解能が大幅に改善された手法などの実用化が拡がり、マグマや超臨界流体の分布や量の検出に威力を発揮しつつある。現在の地球の化学組成・同位体組成と、その地球を構成した材料物質との差異、およびその原因を調べる研究、外殻の軽元素組成などは、なお基本的問題として残されている。マンツルの対流や地震発生に繋がる破壊現象などを調べるレオロジー、マグマの脱ガスや破砕など火山噴火メカニズムに関する実験や理論研究も活発に行われている。これらに加え、惑星探査、海洋底探査、有機無機相互作用に基づく、生命の起源や初期進化の研究も発展が著しい。

(2) 調査研究活動・企画の報告

日本鉱物科学会において、科研費制度改革に関する説明会と意見収集を行った。概ね「従来通りに良い研究計画を出せばよい」との理解を得た一方で、区分の拡大によって専門性が担保されるのかとの懸念も根強く、引き続き検証が必要と思われる。またドイツの鉱物学の国内学会 GeoMunster2019 に参加し、非英語圏の国内学会の状況を調べた。大会の公用語は英語だが、大学院生にはドイツ語での発表が認められていることや、野外巡検では案内も資料もドイツ語だったなどの状況は日本と通ずるものがあり、EU 内でも、英語・国際化対応にはそれぞれ努力を要していることが再認識された。

磁性、超伝導および強相関係連分野に関する学術研究動向—磁性と他分野の境界領域における新たな潮流と展開—

村上 修一（東京工業大学理学院・教授）

トポロジカル相の物理は、2005 年でのトポロジカル絶縁体

の理論提案に端を発して、急速に分野を拡大してきた。当初は、絶縁体のうちの特異な新しいカテゴリとして研究が始まった分野であるが、その後トポロジカル半金属の発見なども含めトポロジカル相の物理は大きくその研究範囲を広げてきた。最近では超伝導体・磁性体へ、また人工系であるメタマテリアル系などへとその裾野が広がっている。電子系にかかわるトポロジカル相の研究は、光電子分光や輸送現象等の測定を通じてかなりの進展を見せ、さらに巨大なスピホール効果等を利用したスピントロニクス素子への応用の可能性なども探索が進んでいる。またトポロジカル超伝導体への展開は、マヨラナ粒子と呼ばれる特異な準粒子の物理と、それを用いた量子計算への展開という新しい境地を切りひらきつつある。またトポロジカル磁性体についても実験・理論両面へと最近研究が展開してきた。またフォトニクス結晶、音響人工結晶、電気回路などでの人工的な周期系では、比較的自由に構造を制御できるため、トポロジカル相に対応する構造の作製と測定や、トポロジカルな性質を積極的に利用した応用研究が盛んにおこなわれている。

材料科学においては最近、マテリアルズ・インフォマティクスの一環で情報科学的手法を取り入れた新しい方向性が一つの有力な方向性として発展してきている。この方向性はトポロジカル物質科学にも取り入れられ、物質データベースとトポロジカル物質の探索を融合させた研究が最近大きな成果を上げてきた。従来はトポロジカル物質の探索は一個一個、経験と勘で行われてきたのが、データベースとの組み合わせで一気に何千個ものトポロジカル物質の発見が行われた。またさらに磁性体や超伝導体へこうした探索手法が拡張されてきた。磁性体についてはさまざまな磁性や磁気テクスチャ、超伝導体では超伝導ギャップ関数の対称性が多様性を持つため、その探索は絶縁体や半金属よりも困難であるが、着実に進展している。このように多様な分野にまたがる「横串」として、トポロジカル相の物理は今後も重要な研究テーマの一つであり続けるだろう。