

9. 研究科教育活動状況

博士課程後期では長らく単位制を採っていなかったが、大学院教育の実質化を図り博士課程後期の履修成果を明確にするため、研究指導科目を単位化、新たに設置した特修科目の履修も修了の要件に加える改正を行った（2013 年度入学生から適用）。また、これに伴い博士課程前期の履修方法を変更する改正を行った。

また、理学研究科および各専攻では、「人材養成および教育研究上の目的」ならびに、それを実現するための3つのポリシーを定め、ホームページ上で公開している。さらに、福岡大学の内部質保証の方針のもと、研究科でも自己点検・評価を実施し、運営体制やカリキュラムを点検し、必要に応じて見直しを行い、組織的かつ継続的に教育効果を高める取り組みを行っている。2021 年度には3つのポリシーの総合的な見直しを行うとともに、「アセスメントプラン」を策定し、2022 年度より「アセスメントプラン」にしたがって学生の学習成果を測定、評価している。

ここでは、理学研究科各専攻が 2023 年度に行った特徴的な教育活動状況について報告する。

1. 【応用数学専攻】

(1) 研究の中間発表会の実施

2023 年 10 月 31 日に、応用数学科の教職員と学部学生を対象として、大学院生による中間研究発表会を行った。大学院生はこれまでの研究内容をまとめ、発表する良い機会が与えられた。同時に、様々な分野の先生から研究についてのアドバイスをもらうことが可能となった。さらに、学部学生に対しても、大学院での勉強や研究の内容に触れさせる機会を持つことになり大学院志願者数の増加に繋がったようだ。

(2) 修士論文発表会並びに博士論文公聴会の実施

2024 年 2 月 1 日に最終試験として実施された。教員と大学院生・学部生の参加を得て活発な討議が行われ、研究内容の理解を深めるとともに、発表能力を向上させ今後の研究課題を考えるために非常に役立っている。発表者は 30 分の時間内で発表を行い、発表は十分に準備されたものであった。発表者は質問にも適切に答え、修士の学位ならびに博士の学位を与えるに十分なものと判定された。例年通り有意義な修士論文発表会並びに博士論文公聴会であった。

(3) 志願者および入学者の確保

■大学院の広報の実施

学部学生に対し大学院での勉強や研究の様子を知ってもらうために、2023 年 4 月の新入生ガイダンスにおいて大学院進学の意義や受験資格・手続き等も含めて説明を行った。さらに、2023 年 11 月に 3 年次生と 4 年次生を対象とした大学院生による大学院の紹介を兼ねた中間発表会を行い、大学院進学の意義や受験資格・手続きなどを説明した。

(4) 大学院高度化推進計画による研究の推進

《2023 年高度化タイプ I》

研究題目：代数とトポロジーによる空間構造の解明とその周辺分野への応用

研究代表者：理学研究科 応用数学専攻 石黒 賢士

研究分担者：佐藤 拓・島倉 裕樹・藤木 淳・宮内 敏行・浅尾 泰彦

1. 研究の背景と目的

位相空間などの幾何学的対象はホモロジー群、コホモロジー環、ホモトピー群といった概念を用いることにより、代数的対象に変換して研究することが可能となる。そのような研究は現代代数と深く結びつき、空間構造の解明における位相幾何学（トポロジー）研究の飛躍的高度化を促してきた。更に、情報系・工学への応用も視野に入れ研究を進めるのが本研究の特色である。代数とトポロジーによる空間構造の研究および周辺分野への応用に関する考察という新たな視点を加えて情報交換、議論、研究を行うことで、相互の研究の発展や新たな課題の解明が期待できる。具体的な内容は以下の通りである。

代数幾何学で重要な代数多様体のクラスの一つであるトーリック多様体の構造を解明することが大きな目的であるが、その手法については、幾何学的、解析学的、代数的、組合せ論的、位相幾何学的と様々存在し、そのいずれもが有用である。本研究では特に幾何学的、位相幾何学的な方面からの構造解明を試みる。また、トーリック多様体はコンピュータを用いての計算と相性が比較的良く、効率よく計算する方法についても考察する。更に2次元共形場理論と関係がある頂点作用素代数を用いた代数的なアプローチによって、様々な分野との関係性が見えてきている。とりわけ、頂点作用素代数の対称性として興味深い有限群が現れることから、頂点作用素代数の自己同型群を調べることは重要である。また、組合せ論的対象である格子に付随する格子頂点作用素代数は頂点作用素代数の研究で重要な役割を果たしており、モンスターを自己同型群に持つムーンシャイン頂点作用素代数の構成にも用いられている。

トポロジーによる空間構造の研究では、空間を複数の高次球面を球面の次元の順に張り付けたものに近似して研究を行っており、非安定ホモトピー群はこの球面の張り付け方を分類するもので重要である。非安定ホモトピー群の群構造の研究は停滞しており、その理由は研究の基礎となるのが球面の非安定ホモトピー群であり、その情報不足のためである。球面の非安定ホモトピー群の構造の研究を行い、解明が進めば、Lie群や等質空間等の重要な空間の非安定ホモトピー群の情報のみならず、トポロジー全般の研究の進展が期待できる。また、T. Leinster によって提唱された豊穡圏のオイラー標数であるマグニチュードを距離空間に適用することで幾何学へのホモトピー論的アプローチを進めることを目的とした研究も行っている。これまでグラフなどの限定的な距離空間に対してはマグニチュードの幾何学的な意味を示唆する代数的な結果が

様々な研究者によって得られているが、リーマン多様体などの連続的な空間に対しては解析的なアプローチしかしられていないため、それらも含むような大きな枠組みを構築することを目指している。

代数とトポロジーによる空間構造の解明とその周辺分野への応用可能性について探ることが重要である。トポロジーの情報分野への応用としてはパーシステントホモロジーを用いて離散的な点データから連続的なトポロジーの構造(データに内在する穴)を検出することが精力的に行われているが、そのためには各点を適切にふくらませるための距離構造を適切に把握する必要がある。特に情報幾何学的側面から統計多様体の構造を代数とトポロジーを用いて解明するために、情報幾何学で用いられる非対称距離の1つであるカルバックライブラーダイバージェンスにもとづいた統計多様体の構造について考察することが目的である。

2. 成果の概要

各構成員の成果の概要は以下の通りである。

石黒はコンパクト Lie 群の分類空間の位相的性質を調べることを起点とし、コホモロジー論的視点から p -コンパクト群の分類空間の rigidity (単純性) を解明することを目的とする研究を行った。Lie 群は位相群と多様体の構造を併せ持ち、多くの数学の分野で様々な角度から研究されている。分類空間上の写像については高次の行列に対する計算機科学の応用も含め、その成果を活用することができた。特に分類空間の代数的構造及び位相的構造についてファイバー空間のコホモロジー論や Weyl 群の作用等を用いて調べた。具体的には、コンパクト Lie 群のカテゴリーでのホモトピー論の研究をし、更に対称群の整係数表現に着目して、主に鏡映群の invariant ring の代数的構造を多項式環にとどまらず Cohen-Macaulay 環まで一連のヒエラルキーに沿った研究を行った。

佐藤は幾何学的手法については、特に複素幾何学的な視点からの研究をメインに行い、代数幾何学の範疇を越え、いわゆるトーリック超ケーラー多様体に関する考察を行った。その結果、トーリック多様体上に葉層構造を考えたとき、ある種の不変量を用いてトーリック多様体の構造がある程度決定出来ることを示した。これについての論文は出版されている。概要は次の通りである。射影的で \mathbb{Q} 分解的なトーリック多様体にトーリック的な葉層構造を考えると、その第一チャーン類が通常の場合と同様に定義出来る。その第一チャーン類の -1 倍を標準因子として考えるのであるが、通常の本理論と同様にクライマン・森錐の端射線の長さを定義すると、その長さが大きい場合にはトーリック多様体の構造が限定される。具体的に言うと、射影空間束の構造を持つことが分かった。トーリック多様体上の葉層構造の研究は未だあまり行われておらず、先駆的な研究と言える。

島倉は奇素数位数の自己同型に関する格子頂点作用素代数の軌道体において、元の格子頂点作用素代数から誘導されない例外的な自己同型を持つための格子に関する必要

十分条件を Ching Hung Lam 氏（台湾中央研究院）との共同研究で明らかにした。その過程で、構成法 B と呼ばれる符号から格子を構成する方法を一般化し、この構成法で得られる格子が格子頂点作用素代数の軌道体の研究で重要な役割を果たすことを明らかにした。さらに、Frenkel-Lepowsky-Meurman による位数 2 の例外的な自己同型の構成を拡張し、奇素数位数の場合に構成法 B で得られる格子に付随する格子頂点作用素代数の軌道体の例外的な自己同型を構成した。

藤木はこれまで、統計多様体における部分多様体の関係を記述する際、カルバックライブラーダイバージェンスの最小化から得られる「垂直」という構造にのみ着目する、つまり統計多様体上の「円」に関する研究によって空間構造を理解することが中心であり、この研究については福岡大学理学部の天羽隆史氏との共同研究によって、確率分布の推定手法の開発として現在投稿中である。また、産業技術研究所の赤穂昭太郎氏との共同研究によって、統計多様体上の「垂直二等分線」に関する研究を進めている最中である。垂直の二等分線の定式化自体は、本高度化の申請の準備段階において既に行なっており、現在はそのパターン認識への応用とダイバージェンスの値そのものの意味付けに関して研究を行っている最中であり、この意味付けの研究は今後も進めて行く予定である。

宮内はホモトピー群の生成元の構成で重要な matrix Toda bracket について、信州大学の向井純夫氏、BIMSA の Juxin Yang 氏との共同研究で、非安定ホモトピー群で特に重要になるインデックス付き matrix Toda bracket の研究を行い、球面のホモトピー群の EHP 系列における H-準同型による matrix Toda bracket の像と P-準同型の逆像の関係式を得ることができ、それを用いて先行研究の球面のホモトピー群の生成元の matrix Toda bracket による再構成を行い、未解明であった EHP 系列における生成元の情報を得ることができた。さらに、matrix Toda bracket には 2 つの型があり、これまでは片方のインデックス付き matrix Toda bracket しか構成できていなかったが、もう一方の型についてもインデックス付き matrix Toda bracket を構成することができた。また、九州大学の岸本大祐氏、京都大学の Yichen Tong 氏、箕輪悠希氏との共同研究で、対称空間のループ空間の構造のホモトピー可換性について、有理ホモトピー論、Steenrod 作用素を用いた研究を行い、先行結果と合わせることで、3次元複素射影空間以外の既約対称空間のループ空間は、ホモトピー可換ではないことを示すことが出来た。

浅尾は、グラフに対して興味深いスペクトル系列を構成した。その 1 ページ目はマグニチュードホモロジーであり、2 ページ目は Grigor'yan-Muranov-Lin-Yau によって推進されているパスホモロジーと一致する。またマグニチュードホモロジーが、層係数ホモロジーのように導来関手としてあらわせることを示した。それを用いて geodetic とよばれる距離空間のマグニチュードホモロジーを完全に決定した。これによって Jubin や Kaneta-Yoshinaga らの先行研究を一部完成させることができた。また、metric fibration とよばれる距離空間のファイブレーションに対してそのマグニチュードホモロジーが底空間とファイバーのマグニチュードホモロジーのテンソル積となることを示した。

3. まとめ

本研究において純粋数学の基礎研究、および近年様々な手法で試みられている応用研究が行われた。各構成員の専門分野を活かし、さらには分野を横断する幅広い研究の有用性を踏まえ、より現代的に数理・情報分野の充実を図るための研究を行った。当初の研究計画・方法は十分に保たれたと言える。更に博士課程前期および後期の大学院生とのトポロジー研究も推進でき、研究論文が3編および国内外での学会発表により情報発信を行った。研究実績および今後の展望は以下の通りである。

Invariant 理論は代数的にも位相的にも重要な研究分野であり、多くの研究結果が得られているが、鏡映群としての対称群の様々な表現に関する invariant ring の研究を行い、modular 表現に関する結果が得られた。特に、dual 表現についての研究が一定の成果をあげ、その構造への理解が深まっており更なる進展が期待される。また、トポロジーによる空間構造の研究で重要となる非安定ホモトピー群の研究手法を開発することが出来た。更に、積を持つ空間のホモトピー可換性の分類を進めることが出来た。距離空間のマグニチュードホモロジーの理論については、高度なホモロジー代数とホモトピー論を用いたアプローチを行い、大きく分けて4つの成果を得た。これらはこれまでの先行研究を大きく前進させる結果である。

研究対象は代数的であるが、幾何学的なアプローチを用いてトーリック多様体の研究を行うことができ有意義であった。そのようなテクニック等を今後の研究でも役立てて行きたい。また、格子頂点作用素代数の軌道体の自己同型群の研究を行い、例外的な自己同型を持つ格子の分類を行った。これにより、新たに組合せ論的な対象である符号や格子と代数的な対象である頂点作用素代数との間の新たな関係が発見された。そして、軌道体の自己同型群に関する一般論の構築に向けて、大きく前進した。

代数とトポロジーによる空間構造の解明を統計多様体に適用するための研究を行うために統計多様体の距離構造を統計多様体上の円や垂直二等分線を利用して理解するための研究を行うために様々な定式化を行っている最中である。情報収集のため多くの研究者と意見を交換したものの、統計多様体で垂直二等分線を考える試みは少ししか考えられておらず、今後このような一般論を構築していくことの重要性が示唆された。

2. 【応用物理学専攻】

(1) 特別講義と特別講義講師による講演会の実施

外部講師を招聘して、本専攻の専任教員だけではカバーできないより広い先端的研究内容について以下の特別講義2科目を開講した。

「物性物理学特別講義」(九州工業大学：石丸 学 教授)

この講義は、デバイスの子集積化・微細化にともない重要となる極微構造解析手法のひとつである透過電子顕微鏡法の基礎と応用について学ぶ講義である。

「物理情報計測特別講義」(一橋大学：本武 陽一 准教授)

この講義は、モデル評価指標、スパースモデリング、ベイジ的線形回帰や深層ニュー

ーラルネット等の学習を通して機械学習の原理を理解し、機械学習の学習結果を解釈する方法について学ぶための講義である。

(2) 修士論文発表会の実施

2024年2月1日に博士前期課程の研究の集大成として修士論文発表会を開催した。発表者は7名で、2年間の研究成果を一人あたり約20分(発表15分、質疑応答4分、交代1分)で発表を行い、各院生の提出した論文が修士の学位を与えるに十分なものであることを確認した。

(3) 外国人招聘研究者による指導

大学院生の研究能力及び英語によるコミュニケーション能力を高めるため、2023年12月5日から12月23日の間、誘電体セラミック・ポリマー・複合体の専門家である華中科技大のHaibo Zhang教授を招聘した。誘電体に関する研究活動や英語による議論などを大学院生と行った。

(4) 志願者および入学者の確保

応用物理学専攻では大学院への志願者確保のため、新入生及び学部学生向けの広報活動を行っている。

大学入学後の早い時期に、卒業後の進路として大学院への進学の実績があることを新入生並びに保護者に知らせておくことが重要であると考え、大学入学後の懇談会において大学院への進学の実績、修了後の進路などについての説明を行った。

学部3年次生には、物理科学研究配属説明会(7月)の中で大学院の紹介を行い、大学院進学の実績、大学院の入試制度、受験資格、学費、奨学金制度、大学院での研究活動、大学院修了後の就職状況、TA等に関する説明を行った。

(5) FD研修会

一橋大学本武陽一准教授による「解釈可能AIによるデータ駆動理学の実現へ向けた取り組み」と題して、深層ニューラルネットワークを中心に、急速に発展するデータ駆動科学の先端研究について講演を行った。理学部から他学科を含め28名の参加者があり、質疑応答においては多くの質問があり、有意義な研修会となった。

3. 【化学専攻】

(1) 専修部門で特別講義と特修講義の実施

「構造物理化学特別講義Ⅱ」(担当:海野 雅司):8月28日~8月29日

「物質機能化学特別講義Ⅱ」(担当:志賀 拓也):9月11日~9月12日

「ナノ化学特別講義」(担当:田丸 俊一):9月7日~9月8日

「機能生物化学特別講義Ⅱ」(担当:萩原 正規):8月8日~8月9日

(2) 特別講師による講演会の実施

- ① 演 題：ラマン光学活性分光を用いてタンパク質の活性部位を“見る”
開催日時：8月29日（金）14:40～16:10
講 師：海野 雅司 教授（佐賀大学理工学部）

- ② 演 題：金属錯体のスピン状態制御と熱量効果材料への展開
開催日時：9月12日（火）14:40～16:10
講 師：志賀 拓也 教授（筑波大学数理物質系）

- ③ 演 題：超分子化学的戦略に基づく動的機能材料の開発
開催日時：9月7日（木） 14:40～16:10
講 師：田丸 俊一 教授（崇城大学工学部）

- ④ 演 題：グアニン四重鎖の構造、機能制御
開催日時：8月9日（水） 14:40～16:10
講 師：萩原 正規 准教授（弘前大学理工学部）

これらの講義や講演会は、専任教員の専門分野とは少し異なり、大学院生の知識や研究の幅を広げることに役立っている。また、化学専攻教員の研究の活性化や視野の拡大に関しても良い刺激となっている。

(3) 研究の中間発表会の実施

大学院生の指導教員および副指導教員が、複数の教員および学部学生とともに参加し、博士課程の大学院生の研究中間報告会を、研究グループ毎に年に1～2回開催した。中間報告会では、大学院生は研究の進捗状況を発表し、指導教員等からの研究を進展させるアドバイスを受けることができた。

(4) 修士論文発表会の実施

恒例の修士論文発表会を2024年2月1日（木）に開催した。発表者は17名で、一人あたり25分（発表15分、質疑応答9分、交代1分）の発表を行った。大学院生たちは2年間の研究成果を化学科の全教員および大学院生・学部学生の前で発表した。教員の質問に対して適切に答え、十分な質疑応答がなされた。成果内容を適切にまとめる力や発表能力を向上させる上で非常に役立っていること、公開発表により修士学位の適切性を示す観点からも大変有意義な修士論文発表会であった。

(5) 談話会の開催

理学研究科化学専攻と理学部化学科は、FD講演会を兼ねて恒例の第43回「談話会」を2024年3月13日（水）に開催した。

講演者と講演のタイトルは次のとおりである。

- 第43回「談話会」

2024年3月13日(水)開催 921教室

長洞 記嘉(准教授)「高周期16族元素を含むカチオン性芳香族化合物」

濱口 智彦(助教)「酸化還元を基盤とした機能性分子の開発」

(6) 交際交流事業の実施談話会の開催

理学部と理学研究科の共同事業として、韓国蔚山大学校自然科学部とのジョイントセミナーを企画した。新型コロナウイルス感染症の拡大が一定の落ち着きをみせたことから、韓国蔚山大学校において8月22日～8月24日の日程で開催された。大学院生の参加者は蔚山大学(15名)と本学(5名)であった。

4. 【地球圏科学専攻】

(1) 研究の中間発表会の実施

中間発表会は専修部門ごとに教員・院生が参加して適時行われている。また、本専攻では主指導教員が、副指導教員と共に指導する体制が採られている。これによって教員・院生ともに複数教員による指導を意識することになり、研究活動や修士論文の作成においても、その水準と評価の客観性が担保されていると考えられる。

(2) 修士論文発表会の実施

2024年2月1日に対面で開催した。発表者は5名であった。博士課程前期教育プログラムの集大成である修士論文の研究内容を衆目の前で口頭発表し、大学院担当の教員全員による評価が行われた。当日は教員だけでなく、大学院生、学部学生の聴講も得て活発な発表、質疑応答が行われた。大学院生は発表会を意識して研究活動に励み、発表内容の要旨(各自A4用紙2頁)を準備し、口頭発表によってプレゼンテーション技術の向上が図られた。これらが公開で行われたことにより、修士の学位の適格性が担保された。

(3) 地球圏科学専攻・地球圏科学科「研究成果交流会」

地球圏科学専攻と地球圏科学科では、学科を構成する3分野の教員の最新の研究成果や研究分野のトピックを学生および教員に紹介し、学科の特徴の理解と交流を深めるために、毎年「地球と生物について語ろう」を開催している。2023年度は、2023年12月9日に18号館1824教室において開催した。この催しは今回で第15回目となる。今回の話題提供者、講演タイトルは以下の通りである。なお、今回は、客員教授として学科に滞在中であった小西卓哉氏(シンシナティ大学)にも話題を提供していただいたことが特徴であった。

○「airborne ?????」のはなし

地球物理学分野 林 政彦 教授

○「モササウルス」のはなし

地球科学分野 小西 卓哉 客員教授(シンシナティ大学)

○「ハチにもいる腸内細菌」のはなし

生物科学分野 末次 翔太 助教

在学生の参加者は24名であった。講演後のディスカッションの時間には、地球圏科学専攻の特徴である多様な見地からの活発な討論が行われた。

(4) 志願者および入学者の確保

昨年度から引き続き、大学院受験者現象への対策として、「卒論発表会」、「修論発表会」、「地球圏科学科研究成果交流会」に2、3年生の参加を促し、現在の地球圏科学科および専攻の研究の魅力を学生に理解させる努力を継続している。また、3年次までの専門実験実習を含む専門教育を更に充実させるとともに、教員自身の研究活動の活発化とその研究内容の学生への積極的な広報についても継続的とする。

学部学生に対して早い段階から大学院進学への意識を持たせるため、2023年12月8日に開催した3年次分野選択のための分野説明会の際、理学研究科の紹介と概要の説明を行った。