

数理科学を基点とする自然科学諸分野の研究交流促進と研究課題の発掘 (平成 19 年度学部長裁量経費 研究報告書)

平成 20 年 2 月 26 日提出

平成 20 年 3 月 17 日再提出

井上和行^a (研究代表者), 西田憲司^a, 玉木 大^a, 一ノ瀬弥^a, 乙部厳己^a, 小竹 悟^b
川村嘉春^b, 尾関寿美男^c, 三宅康幸^d, 藤山静雄^e, 塚原弘昭^f, 村越直美^f

^a 数理・自然情報科学科, ^b 物理科学科, ^c 化学科

^d 地質科学科, ^e 生物科学科, ^f 物質循環学科

1. はじめに (研究目的と位置付け)

数学には固有の研究対象と研究方法があるが、歴史的に見ると諸科学との関わりの中で研究が発展してきた側面がある。本研究課題では、数学分野にとどまらず、自然科学諸分野において取り組まれている様々な最先端の研究テーマを、数理科学の視点から関連付けて横断的に捉え、数理科学的課題の掘り下げを行うとともに、自然科学諸分野間の研究交流の中から、そこに参加する研究者の研究課題の発掘をも目論むものである。我々は、数理科学をキーワードとした自然科学諸分野間の研究交流を持続的に発展させることにより、広い学問分野をカバーする上で制約のある、地方大学での理学研究に対する特色ある「方法論的モデル」を構築したいと思う。

本研究課題は、理学部の「平成 20 年度事業計画・予算書」の中に位置付けられた教育研究プロジェクトにおける「数理科学研究所 (バーチャル)」の実現を展望しつつ、理学部内の分野横断的研究プロジェクトとして、数理・自然情報科学科構成員の全面協力の下で取り組まれている。

2. 「数理科学談話会」の開催

数学と自然科学の諸分野における研究テーマを数理科学の視点から横断的に捉え、そこに潜む数理科学的課題を探索し、さらに振り返って個別分野における研究課題の発掘にも役立つ目的で、諸分野間の交流を意図した公開講演会を計画した。これは、理学研究に携わる人たちが集う、バーチャルな「数理科学の広場」である。数学または自然科学の研究者である講師には、初心者向けの分かりやすい解説をお願いした。

具体的には、数理・自然情報科学科における「数理科学談話会」のシステムを活用して、その公開版の形で実施した。すなわち、様々な分野からの話題提供には、副題をつけて「数理科学談話会ー物理学における数理ー」、「数理科学談話会ー化学における数理ー」、「数理科学談話会ー計算機科学における数理ー」等として、数理科学との関連を明確にした。また、数理科学の基礎をなす数学に関しても、複数分野が関連するテーマを設定した。さら

に多方面からの参加が得られるよう、講師や講演要旨等の講演会情報は数理・自然情報科学のホームページに掲載し、信州大学のホームページの「イベント情報」にも投稿した。以下の7件が計画され、本報告書の提出期限である2月末日までに3件が実施された。

参加人数は、出席ノートへの記名数であり、現実にはこれを上回っている場合がある。

① 平成20年1月21日（月）15：00－16：30（90分）

- ・講師：谷村省吾氏（京都大学准教授，大学院情報学研究科数理工学専攻）
- ・演題：「ダブルスリットにおける干渉縞と経路識別の相補性と不確定性関係
－古くて新しい量子論のパラドックス－」
- ・参加者41人（教員15人，学生26人）
- ・世話人：小竹 悟（物理科学科）

<要旨>

ダブルスリットを通過した電子や光子が干渉縞を作ることは、量子力学における粒子と波動の二重性を示す現象としてよく知られている。また、粒子がどちらのスリットを通過したか判別するような測定を行うと、干渉縞のコントラストが失われる。干渉効果と粒子の経路の識別が両立しないのは、位置と運動量の不確定性関係のせいだという説明もしばしばなされる。近年、小澤正直氏が不確定性関係を再定式化・検討して、不確定性関係の数学的・物理的意味がよく理解されるようになり、不確定性関係には Kennard-Robertson 型と Heisenberg-Ozawa 型とでも呼ぶべき種類があることが明確になった。そこで、我々は、この新しい不確定性関係と比較するために、ダブルスリットのモデルを代数的量子論の視点から定式化・分析した。その結果、干渉縞と経路識別の相補性の起源は、干渉縞を特徴付ける演算子と、経路識別のための演算子の非可換性にあることがわかった。小澤氏の仕事も含めて、これらの研究について解説したい。なお、この研究は現在小嶋泉氏と共同研究を進めている課題である。

②平成20年1月30日（水）15：00－16：30（90分）

- ・講師：好村滋行氏（首都大学東京准教授，大学院理工学研究科）
- ・演題：「弾性殻の座屈－フラーレンからピンポン玉まで－」
- ・参加者26人（教員13人，学生13人）
- ・世話人：尾関寿美男（化学）

<要旨>

1. 緒言： 近年、グラファイト膜や固体ラングミュア膜、細胞膜骨格などの弾性薄膜の変形が調べられている。また理論的にもフォン・カルマン方程式による平板の変形のスケール解析が行われている。しかし、これらは全て平面の弾性板に対する研究であり、曲がった弾性板、つまり弾性殻についての研究は少ない。弾性殻の性質は平面弾性板のそれとは異なり、曲げ変形には必ず面内の伸張を伴う。我々は基板吸着

による弾性殻の変形において、新たな不安定性があることを見出したので、解析的な考察を含めて報告する [1]。

2. 手法および結果： 数値的なモデルとして、球面を三角分割したバネ・ビーズモデルを採用した。このような球面上の弾性殻が固体基板に吸着するとして、平衡状態の構造を共役勾配法によって求めた。一般に弾性殻は伸張定数と曲げ定数の二つの弾性定数によって特徴付けられる。この二つの弾性定数を変化させた時の典型的な形状を右に示す (図略)。我々はいくつかの形状解析をすることによって、連続的な座屈転移と不連続な座屈転移があることを見つけた。このような現象はファン・デル・ワールス流体の相変化と類似しており、連続転移と不連続転移を分ける臨界点が存在する。さらに様々なサイズの弾性殻の臨界点を調べたところ、変形が殻の厚みの約2倍を超えたところで座屈が起こることがわかった。このような普遍性は、弾性殻のスケーリング解析によって説明され、ベシクルやピンポン玉など全くスケールの異なる弾性殻でも確かめられている。

[1] S. Komura, K. Tamura, and T. Kato, Eur. Phys. J. E 18, 343-358(2005).

[注] ②は平成18年度に実施すべく計画されたが都合により中止されたものである。この企画内容を変更することなく、平成19年度において実施されたものである。

③平成20年2月13日(水) 15:00-16:30 (90分)

- ・講師：野村祐司氏 (愛媛大学准教授, 大学院理工学研究科)
- ・演題：「グラフ上のラプラシアンとスペクトル」
- ・参加者17人 (教員10人, 学生7人)
- ・世話人：一ノ瀬 弥 (数理・自然情報科学科)

<要旨>

グラフ上に自己共役な作用素であるラプラシアンを定義し、その固有値 (スペクトル) とグラフの幾何学的な構造との関係について入門的なお話をしたいと思います。最初は有限グラフの場合に、具体的なグラフを扱ってみます。固有値の対称性、染色数と固有値の関係などについて述べ、時間があれば等周定数についても言及したいと思います。次に無限グラフの場合、特に有限グラフの無限被覆グラフのスペクトルや、ランダムポテンシャルを持つシュレーディンガー作用素のスペクトルについても紹介したいと考えています。

④平成20年3月6日(木) 15:00-16:00 (60分)

- ・講師：池田 岳氏 (岡山理科大学講師, 理学部応用数学科)
- ・演題：「シューベルト幾何と特殊多項式」
- ・参加者18人 (教員8人, 学生10人)

- ・世話人：栗林勝彦（数理）

<要旨>

グラスマン多様体のコホモロジー環はシューア多項式を自然な基底とする自由加群であることがよく知られています。トーラス同変なコホモロジー環で同様のことを考えるとき、自然な基底をなす多項式はシューベルト多様体の特異点の情報を持っていることを紹介します。この例のように、シューベルト多様体の幾何と特殊多項式の世界には深い結びつきがあることを、他の例とともに示したいと思います。

⑤平成 20 年 3 月 7 日（金）13：45－14：45（60 分）

- ・講師：杉田 洋氏（大阪大学教授，大学院理学研究科数学専攻）
- ・演題：「モンテカルロ法の数学的定式化」
- ・参加者 9 人（教員 8 人，学生 1 人）
- ・世話人：乙部 巖己（数理・自然情報科学科）

<要旨>

数理・自然情報科学科のホームページに掲載の予定。

⑥平成 20 年 3 月 7 日（金）15：00－16：30（90 分）

- ・講師：渡邊 哲氏（京都大学助教，大学院工学研究科化学工学専攻）
- ・演題：「2 次元・3 次元コロイド結晶の普遍的な形成条件」
- ・参加者 23 人（教員 9 人，学生 14 人）
- ・世話人：尾関寿美男（化学）

<要旨>

粒径がサブミクロンオーダーの単分散コロイド粒子が 2 次元・3 次元に規則的に配列した構造体はコロイド結晶と呼ばれ、特異な光学特性を有することから注目を集めており、盛んに研究が行なわれている。コロイド結晶は、構造色を利用した色材や種々のセンサー、フォトニック結晶など広い範囲への応用が期待されている。我々は、粒子間の静電斥力により粒子同士が非接触で周期構造を形成する荷電安定系のコロイド結晶を対象に、2 次元および 3 次元規則構造形成過程のブラウン動力学シミュレーションを行い、その結果を基に、秩序－未秩序の相境界を予測しうる新たなモデルの構築に成功したので報告する。本モデルは、剛体球系の相転移条件(Alder 転移)をコロイド系に拡張することにより得られたもので、任意の粒径・温度・塩濃度について構造の次元によらず適用可能であり、原理的には斥力系粒子間の相互作用プロファイルさえあれば、得られる規則構造の体積分率（被覆率）や粒子間距離を事前に予測することが可能となることを示した。

⑦平成 20 年 3 月 10 日（月）15：30－16：30（60 分）

- ・講師：鈴木智博氏（准教授，山梨大学総合情報処理センター）

- ・演題：「大規模数値線形代数計算」
- ・参加者12人（教員8人，学生4人）
- ・世話人：花木章秀（数理・自然情報科学科）

<要旨>

気象予報や自動車製造にコンピュータシミュレーションが多用されることは広く知られています。シミュレーションにおける科学技術計算のほとんどは「線形方程式系の解法」に帰着され、シミュレーションの精度を上げるためには大規模な系を解く必要があります。コンピュータの演算能力と記憶容量が増加していることが大規模な問題を扱えるようになった要因ですが、高性能コンピュータでこのような計算を行なうにはある程度の知識と技術が必要です。談話会では、高性能コンピュータ用に最適化された副プログラムを使って比較的手軽にその能力を引き出す方法や、大規模な問題向きの計算アルゴリズムなどを紹介します。

3. 「数理科学談話会」の講演内容の記録

数理科学談話会の開催日時および講演要旨については、数理・自然情報科学科のホームページにおける数理科学談話会のコーナーに掲載されている。講師の研究テーマ等に関する情報は「信州数理科学研究センター」のホームページで紹介されている。これらの講演内容は、今後さらに「数理科学談話会報告集」の年度毎の冊子体に編集して、理学部の科学情報バンクで気軽に閲覧できるように手配する予定である。それぞれの講演内容の問い合わせには世話人が対応する。

4. 数理科学談話会の講師を囲む研究交流

数理科学談話会では世話人が座長となって講演後に質疑応答の場をもった。また、講師が信州大学に来訪された機会を利用して、世話人が中心となり、講師の専門分野と関わる「セミナー」を開催し専門家同士の交流の場を設けることに努めた。今年度は、プロジェクトへの取り組み開始が年度末の忙しい時期に重なったので、様々な講演企画を相互に関連付けて全体的に纏め上げるための検討時間を確保することができなかった。企画の募集や研究分担者および協力者との意見交換はメール方式にとどまった。

来年度以降は、自然科学諸分野における数理科学関連の諸課題を概観するイベントのアイデアを語り合い、数理科学プロジェクトによる研究交流の今後のあり方を方向付けるために、世話人および協力者が一堂に会して意見交換する場を設けたいと思う。講師の話を受身的に聴くだけでなく、講師と聴衆との実質的な対話が実現するように、予め「討論者（質問者）」、「解説者」を依頼しておく方式の導入も検討したいと思う。

5. 「数理科学講義録」の作成

現在および過去に実施された講義資料を含めて、諸分野における数理科学関連の資料を

冊子体または電子媒体の形で「数理科学講義録」として再編集する計画が昨年度から存在するが、今年度はプロジェクトへの取り組み開始が遅れ日程的な制約のため着手できなかった。来年度には是非実施したいと思う。

6. まとめ（手続に関する要望と今後の展望）

研究計画の採択通知を12月5日付で受け取った後に具体的に企画を実施し報告書を提出する2月末日までに設定された取組期間では余裕がなく、また学期末でもあり講演会の日程調整に大変苦労しました。特に、本研究計画の中心的企画である連続講演会の講師と開催日程が確定するまでには、少なくとも4週間程度の時間的余裕が必要となるので、12月初旬に準備を開始しても、講演会の開催は1月中旬以降になるという結果になりました。さらに、1月から3月にかけては卒業論文・修士論文・博士論文の発表会の時期とも重なるので、講演会への参加を期待される学生や大学院生にとっても、また指導教員にとっても多忙を極めています。講師の先生のためにも、準備期間を十分に確保したいと思います。どうかこのような事情に配慮いただき、来年度以降は企画の準備に充当できる期間を確保して、夏休みのゆったりした雰囲気の中での講演会開催が可能となるように、募集から採択までの事務手続きを早めに設定していただくようお願い致します。

学部長裁量経費から研究助成をいただき、公開講演会形式の数理科学談話会開催という取り組みを開始してから満2年となり、数学はもとより数理物理学、物理学、化学、化学工学、環境科学、計算機科学等の広い分野から講師を招くことができました。来年度以降はさらに意識的に、自然科学のより多彩な分野に目を向け、「自然科学研究における数理科学的方法の最前線」を鋭敏に捉えた企画を生み出すように努めたいと思います。この為には、学問状況の最前線に対する認識を研ぎ澄ませる必要があり、企画者と協力者が気軽に意見交換をする状況を醸成することが求められます。

「数理科学プロジェクト」を成功させるには、新鮮な研究情報を得るための「多少の助成金」と、聴衆の知的興味をそそる「講演企画のアイデア」と、会場に足を運ぶ方々の「時間と気持ちのゆとり」が必要です。「数理科学プロジェクト」を理学部の特色ある研究企画として育てるべく、引き続き全理学部的なご支援をお願いします。

3月17日追記： 2月26日に本報告書を提出後、3月10日までに4件の講演会を実施したので、それらの企画への参加人数を加筆しました。年度末という事情が影響したとはいえ、2月以前に実施されたものと比べて大変寂しい参加人数となりました。責任者としては、忙しい中で準備をされた講師の先生および世話人に対して申し訳ない気持ちを抑えることが出来ません。どの講演も入念に準備され、専門家だけでなく専門外の人たちが聴いてもよく分るように工夫され、講師の先生の研究に寄せる思いが伝わる大変興味深い内容でした。例えば、杉田洋先生は講演「モンテカルロ法の数学的定式化」のために事前に作成した、26ページからなる講義録を寄せて下さいました。今後はこれらの資料を再

活用したいと考えています（手許に残部があるので、興味のある方はご請求ください）。