

# 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 27 年度学部長裁量経費 研究報告書)

平成 28 年 3 月 13 日提出

井上和行 (研究代表者, 特任教授), 沼田泰英<sup>a</sup>, 玉木 大<sup>a</sup>, 高木啓行<sup>a</sup>, 乙部厳己<sup>a</sup>,  
佐々木格<sup>a</sup>, 小竹 悟<sup>b</sup>, 川村嘉春<sup>b</sup>, 浜崎重富<sup>c</sup>, 浅見崇比呂<sup>d</sup>, 村越直美<sup>e</sup>, 岩田拓記<sup>e</sup>  
a 数学科, b 理学科 (物理), c 理学科 (化学), d 理学科 (生物), e 理学科 (物循)

## 1. はじめに (研究目的と位置付け)

現代の科学研究においては, 個別分野の先鋭化 (=高度化・専門化) と分野間の融合 (=連携・学際化) という二つの方向性が顕著であり, 研究の現場ではこの状況を踏まえた対応が必要とされる。森羅万象の論理構造に関心をもつ数学では, 諸科学から提起される様々な課題を取り込みながら, 研究の対象を広げ手法を発展させてきた側面がある。そこで, 本研究課題では, 自然科学諸分野における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とらえ, 数理科学的課題を探究するとともに, 研究分野の枠を越えた交流の中から, 個別分野における研究課題の発掘をも目論むものである。我々は, バーチャルな研究組織「信州数理科学研究センター」(平成 18 年度発足) の活動実績を積み上げる努力を通じて, 数理科学をキーワードとした研究交流の風土を理学部に根付かせ, 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おける特色ある「方法論的モデル」を構築したいと思う。

本研究課題は, 理学部の事業計画 (平成 22~27 年度) において, 「基礎科学研究を推進するための研究組織 (バーチャルを含む) を構築し, コア研究を推進し, 大型資金プロジェクトを策定するとともに萌芽的研究を育成して, 異分野間交流型研究プロジェクトを推進する」という課題に対応するものである。本研究課題は, 数理科学に関心を寄せる理学部の各学科教員の協力を得て取り組まれる。研究代表者は, 信州数理科学研究センターの業務を推進する立場から参加する。

## 2. 自然科学諸分野の研究交流促進～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てる目的で, 諸分野間の交流を意図した公開講演会を企画した。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。世話人の方々には, 専門分野の異なる人々が共通に関心を持てるような話題を取り上げるようお願いした。講師の方々には, 初心者向けの分かりやすい解説をお願いした。このような趣旨に基づく数理科学談話会は公開シリーズとして位置付けられ, 以下の 5 企画が実施された。

① 平成 27 年 10 月 13 日 (火) 16:00–17:30 (90 分)

- ・講師：大槻知貴氏 (東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構)
- ・演題：「共形ブートストラップにおける最近の進展について」
- ・参加者数：24 名 (教員等 12 名, 学生 12 名)
- ・世話人：小竹 悟 (理学科・物理学)

<要旨> 近年, 高次元の場の理論を調べる非摂動的な手法として, 「共形ブートストラップ」という手法が大変注目されています。驚くべきことに, この手法でもって 3 次元イジング模型など, 非自明な高次元の場の理論が「解けた」と言われています。本講演では, この手法による「解」とはどのようなものであるかを理解することを目標にします。時間が許せば, (将来的に)どのような応用があるかも紹介したいと思います。

<キーワード> 共形場の理論, 臨界現象, 非摂動的場の理論

<講師の専門分野> 場の量子論

<世話人のコメント> 共形対称性が無限次元となる 2 次元と違い, 3 次元以上では共形ブートストラップの方法はさほど役立たないと思われていたが, そうではない事が近年分かってきた。共形対称性が要請する条件における必要条件を上手く取り扱くと, 模型の非摂動的な性質を取り出す事ができる事を, 次元イジング模型等を例に取って分かり易く説明してくれた。この話題に関心を持った聴衆が少なからずいたであろう。

② 平成 27 年 11 月 6 日 (金) 16:20–17:50 (90 分)

- ・講師：川田剛之氏 (金沢工業大学情報フロンティア学部 教授)
- ・演題：「リモートセンシング画像データの解析手法」
- ・参加者数：11 名 (教員等 7 名, 学生 4 名)
- ・世話人：井上和行 (信州数理科学研究センター)

<要旨> 初期の衛星リモートセンシングデータ解析は衛星センサが出力する相対的デジタル値を用いた地球表面画像の計算機処理技術の開発や画像処理技術を中心とする定性的データ解析がリモートセンシング研究の中心となっていた。しかし, 現在では, 地球大気や地表面の物理的モデルを利用して地球物理学的なパラメータを抽出するアルゴリズム開発に研究の重点が移っている。ここでは, 講演者が実施した POLDER 画像データを利用した大気エアロゾルの光学特性パラメータを抽出する手法とその結果などについて述べる。この解析で使われるのは大気中における光の多重散乱理論と地球大気・地表系モデルである。既知の入力エネルギー(大気表面への太陽放射照度)を用いて, 地球大気・地表系モデルにおける光の多重散乱計算により, 衛星センサに到達する理論的放射輝度値をシミュレーションする。これを観測放射輝度値と比較することにより, 地球大気・地表系モデルに含まれる未知のパラメータ量(エアロゾル光学特性)は推定可能となる。リモートセンシングはいまや地球環境, 農林, 漁業, 土木, 防災, 都市計画など各分野の様々な問題を定量的に広域調査・解析する手段として不可欠な技術となっている。最後に, 講演者が最近興味を

持って取り組んでいる航空機 LiDAR 点群データから 3 次元の都市空間環境を自動作成する研究について紹介する。

<キーワード> 多重散乱理論, 大気エアロゾル, 大気・地表系モデル

<講師の専門分野> 大気散乱, 衛星画像解析

### ③平成 27 年 12 月 21 日 (月) 16:20-17:50 (90 分)

・講師：石原与四郎氏 (福岡大学理学部地球圏科学科 助教)

・演題：「縞状堆積物とその解析」

・参加者数：10 名 (教員等 6 名, 学生 4 名)

・世話人：村越直美 (理学科・物質循環学)

<要旨> 湖や深海, 洞窟などの静穏な環境で形成された地層には, しばしばリズムカルな縞や互層が認められる。このような縞や互層を成す堆積物のうち, 1 年に 1 組の層が形成されるものを年縞堆積物と呼び, その層の数そのものが年輪のような年代軸として扱えることから過去の環境を解析する上での強力な指標となっている。たとえば, 現世の湖成堆積物の年縞に挟在される異質な堆積物は歴史上の地震や洪水, 火山噴火等の各種イベントとの対比がなされていたり, 鍾乳石の一種である石筍からは, 年縞とは別に測定された分析結果から地表の植生の変遷や古気温等が得られていたりする。一方, このような堆積物を解析する上では, 年縞の形成モデルの検討や, 年縞の認識・認定それから測定が必要となる。認定や測定は, 以前は顕微鏡下で肉眼によって判定

しながら行われることが多かったが, 再現性や計測時間の問題から近年では堆積物のスキャン画像や分析画像などを用い, 画像解析を利用することが多くなってきた。本講演では, 湖成の年縞堆積物と石筍の年縞の例について, 堆積物の形成過程, 画像解析を用いた年縞の認定・測定方法, 解析結果の例を示し, このような研究において残された問題点についても紹介する。

<キーワード> 年縞堆積物, イベント堆積物, 画像解析, 周期解析

<講師の専門分野> 地質学・堆積学 (タービダイトに関する研究, 浅層地下地質・地盤に関する研究, 湖成層や石筍等の年縞堆積物に関する研究等)

### ④平成 28 年 1 月 8 日 (金) 16:20-17:50 (90 分)

・講師：安井久一氏 (産業技術総合研究所 中部センター 主任研究員)

・演題：「音響キャビテーションにおける広帯域雑音

～カオスの気泡振動より重要な気泡数の時間変動～」

・参加者数：48 名 (教員等 9 名, 学生 39 名)

・世話人：浜崎亜富・金継業 (理学科・化学)

<要旨> 強力な超音波を液体に照射すると, 液体に溶解していた気体が多数の気泡として現れ, 超音波の圧力振動によって, 膨張と収縮 (圧壊) を繰り返す。これを音響キャビ

ーションという。それぞれの気泡は、膨張、収縮という振動によって、周囲に音波を放射する。この音波を、音響キャビテーション・ノイズという。超音波強度を徐々に上げていくと、観測される音波の周波数スペクトルは、駆動超音波の周波数成分だけである状態から、高調波が見られるようになる。その後、分調波、超高調波が生じ、最後に広帯域雑音が生じると言われている。気泡の膨張、収縮は、Rayleigh-Plesset 方程式という非線形方程式で記述されるため、上記の周波数スペクトルの変化は、気泡振動の決定論的カオスに対応するものとして、理解されてきた。ところが、我々が、今まで無視されていた気泡数の時間変動を考慮して、音響キャビテーション・ノイズの数値シミュレーションを行ったところ、気泡のカオス的振動（非周期振動）よりも、気泡数の乱雑な時間変動の方が、広帯域雑音のメカニズムとして重要であることが分かった。

<キーワード> 音響キャビテーション、気泡の膨張・収縮、広帯域雑音、数値シミュレーション、カオス的気泡振動、気泡数の時間変動、Rayleigh-Plesset 方程式

<講師の専門分野（研究テーマ）> 物理学、数値シミュレーション、ソノケミストリー、ソノルミネッセンス、ナノクリスタル、熱音響、超音波、微細気泡（ファインバブル）

#### ⑤平成 28 年 2 月 15 日（月）16:20–17:50（90 分）

- ・講師：寺北明久氏（大阪市立大学大学院理学研究科 教授）
- ・演題：「光で操る：動物が持つ光センサータンパク質の多様性と利用」
- ・参加者数：19 名（教員等 6 名，学生 13 名）
- ・世話人：浅見崇比呂（理学科・生物学）

<要旨> 多くの動物は光受容タンパク質であるオプシンにより光を捉え、形や色を見る視覚情報として利用したり、生体リズムの光調節などの視覚以外の機能調節（非視覚）等に利用している。これまでに、数千のオプシンがさまざまな動物に同定され、動物は複数種類のオプシンを持つことが明らかになった。例えば、ヒトは 9 種類のオプシン遺伝子を持つ。なぜ、動物は多様なオプシンを持つのかに興味を持ち、それぞれのオプシンの分子特性が、どのように、どれぐらい“機能”に貢献しているのかを解析している。講演では、「光で行動を操る」解析の結果から、オプシンの分子特性（分光感度）がハエトリグモの奥行き知覚（距離測定）に意外な貢献をしていることを紹介する。また、オプシンを神経細胞に導入し動物の行動を「光で操る」、オプシンの“利用”についてもふれたい。

<キーワード> 視覚、奥行き知覚、光受容タンパク質、光遺伝学

<講師の専門分野> 分子生理学、光生物学

### 3. 個別専門分野における研究課題の発掘～セミナーと研究集会の開催～

数理科学プロジェクトでは、数理科学に関連する個別専門分野における研究課題の発掘を目論んでいる。このような趣旨で個別専門分野における研究課題を掘り下げる企画として、セミナー2 企画および研究集会 3 企画を実施した。

① 平成 27 年 8 月 18 日 (火) ～8 月 20 日 (木)

【研究集会：「空間の代数的・幾何的モデルとその周辺」】

- ・会場：理学部第 1 講義室
- ・講演プログラム：URL <<http://math.shinshu-u.ac.jp/~center/conferences.html>>
- ・世話人：境圭一 (信州大学), 鳥居猛 (岡山大学), 栗林勝彦 (信州大学)

<世話人のコメント> 代数的・幾何学的トポロジーの専門家や、それに関連する代数学の専門家など、31 名の参加者があった。従来通りの研究発表に加えて、分野を超えて問題意識を共有することを目的として、各分野の詳しい内容を連続講演により紹介していただいた。これらの講演をもとに、参加者の間で活発な議論が交わされた。

② 平成 27 年 12 月 3 日 (木) ～12 月 4 日 (金)

【第 4 回信州関数解析シンポジウム】

- ・会場：数理・自然情報合同研究室 (理学部 A 棟 4 階)
- ・講演プログラム：URL <<http://math.shinshu-u.ac.jp/~center/conferences.html>>
- ・世話人：松澤泰道 (信州大学教育学部), (代表) 大野博道 (信州大学工学部)  
佐々木格 (信州大学理学部), 鈴木章斗 (信州大学工学部)

<世話人のコメント> 4 回目の信州関数解析シンポジウムは、2 日間にわたって計 5 人 7 回の講演により行われ、17 名の参加者があった。今回のシンポジウムのプログラムも、勉強会的な意味合いの強いものであった。初歩的なところからの解説をお願いしていたため、どの講演も理解しやすい構成になっており、参加者は、各分野の基本的なアイデアについて知識を増やすことができたのではないかと思う。参加者は、場の理論、観測理論、測度論、関数解析の研究者及び学生であり、質疑応答では活発な情報交換が行われた。

③ 平成 28 年 1 月 28 日 (木) 16:30-18:00

【物質基礎科学セミナー (今週の物理)】

- ・会場：理学部 A 棟 614 号室 (6 階リフレッシュラウンジ)
- ・講師：兼村晋哉氏 (富山大学 教授)
- ・演題：「ヒッグスセクターと背後の物理」
- ・世話人：小竹 悟 (物理科学科)
- ・参加者数：20 名 (教員等 8 名, 学生 12 名)

<世話人のコメント> ヒッグス粒子は 2012 年に発見され、素粒子の標準模型はより確固たるものになったが、それで終わりではなく、標準模型を超える本当の物理の研究はこれから始まる。現在進行中の大型ハドロン衝突型加速器(LHC)の結果に注目が集まり、また国際リニアコライダー(ILC)等の計画進行中の実験の実現が待たれる。あと数時間分程の話が用意されていたが、時間の都合で聞けなかったのは残念であった。

④ 平成 28 年 2 月 18 日 (木) 16:30-18:00

【信州代数セミナー】

- ・会場：理学部 A 棟 4 階 数理攻究室 (A-427)
- ・講師：斉藤義久氏 (東京大学)
- ・演題：「楕円ルート系について」
- ・世話人：和田堅太郎 (数学科)
- ・参加者数：5 名
- ・アブストラクト：URL <<http://math.shinshu-u.ac.jp/~algebra/>>

<参加者のコメント> 有限ルート系, アフィン・ルート系, "その次"に現れる楕円ルート系についての定義と基本性質について解説が行なわれた。講演者を含め参加人数は 5 名ではあったが, ループ群や数理物理に興味を持つトポロジーを専門にする研究者 2 名の参加もあり, 分野間交流も行なうことが出来たと考える。また講演後, 表現論を専門にする世話人と講演者の間で活発な質疑応答が行なわれ, 専門的, 学術的にも意義のあるセミナーとなった。

⑤ 平成 28 年 2 月 20 日 (土) 午後~2 月 22 日 (月) 午前

【研究集会：「(非) 可換代数とトポロジー」】

- ・会場：理学部第 1 講義室
- ・講演プログラム：URL <<http://math.shinshu-u.ac.jp/~center/conferences.html>>
- ・参加者数：40 名 (内 学生 12 名)
- ・世話人：栗林勝彦 (信州大学), 毛利 出 (静岡大学)

<世話人のコメント> 今回で 6 回目を与える本研究集会では, 公理的安定ホモトピー論, 三角圏の傾理論に関する集中講義的講演, 研究発表を含む 10 講演が行なわれた。環・表現論, トポロジー・ホモトピー論関係者が多く集まり, 最新の研究結果や境界領域に関して活発な議論を行なうことができた。また企画としては盛り込まなかったが, 講演終了後または研究集会終了後もストリングトポロジーや三角圏, 導来圏に関するセミナーが出席者により行われ, 充実した 3 日間となった。

#### 4. 講演会企画の広報と記録

数理科学談話会については, 理学部内でのポスター掲示と案内文配布に併せて, 講演会情報を「信州数理科学研究センター」のホームページ(<http://math.shinshu-u.ac.jp/~center/>)と理学部のホームページに掲載し, 学内外に広く伝えた。講演の様子はビデオ撮影されている。平成 18 年度以降の 10 年間に実施された数理科学談話会の講演の概要も, センターのホームページ上で公開されている。研究集会およびセミナーについても「信州数理科学研究センター」のホームページ上で公開されている。

## 5. 理学部における知的交流活動の発展のために

過去 10 年間に及ぶ理学部「数理科学プロジェクト」の取組は、専門分野を越えた研究交流の取組として、研究者や受験生の間でも認知度が高まっている。中心的企画である数理科学談話会が、理学部の「知的サロン」としてさらに発展するよう、理学部の皆様のご支援をお願いしたい。