

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 25 年度学部長裁量経費 研究報告書)

平成 26 年 3 月 14 日提出

平成 26 年 3 月 24 日再提出

平成 26 年 3 月 28 日改訂版提出

井上和行 (研究代表者, 特任教授), 西田憲司^a, 玉木 大^a, 高木啓行^a, 乙部巖己^a,
小竹 悟^b, 川村嘉春^b, 尾関寿美男^c, 飯山 拓^c, 三宅康幸^d, 藤山静雄^e, 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)

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。ところで, 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, 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り, 信州数理科学研究センター (平成 18 年度発足) の取り組み実績構築が期待されている。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。本年度は数理科学に関連する次の研究課題に対して, 学長裁量経費 [教育研究推進経費] が助成された。

研究課題^(☆): 「対称性および場の数理とその相互作用: 信州数理科学研究センター特別重点研究」

上記の課題^(☆)では, 数理科学における分野横断的研究の推進を目論んでいる。本研究課題は学長裁量経費の課題^(☆)と相互補完関係にあるので, 実務面でも連携して取り扱うことについて関係者から了解を頂いた。従って, 本報告書では, 両方の課題に位置付けられる取

組については注釈^(☆)を付して記載することとした。

2. 「数理科学談話会(公開シリーズ)」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。それぞれに企画された数理科学談話会とは別に、世話人が関係する専門分野の研究者および大学院生を対象とするセミナー、コロキウム等も実施された。このような趣旨の数理科学談話会は公開シリーズとして企画され、以下の5件が実施された。参加人数は、出席ノートに基づくものである。

①-1. 平成25年10月17日(木)16:20-17:20(60分)【一般人対象】^(☆)

- ・講師：伊豆哲也氏(富士通研究所 ソフトウェア技術研究所 主任研究員)
- ・演題：「私はだあれ？ー日常生活で使われる暗号技術の紹介ー」
- ・参加者数：36名(教員13名, 学生23名)
- ・世話人：沼田泰英(数理・自然情報科学科)

<要旨>

暗号技術は、古代ギリシャ時代から最近に至るまで主に軍事目的で使われてきましたが、インターネット時代を迎え、現代では日常の暮らしに必須な技術となっています。本講演では、認証技術(他人に対して自分が自分であることを信用させる技術)を例として、どのような暗号技術が利用されているか、その原理はどうなっているか、その安全性と数学がどのように関わっているか、それでも生じる課題は何か、さらには企業の研究開発とどのように関わっているか、などを紹介します。

<講演のキーワード> 暗号技術, 認証, トークン, パスワード, 生体認証

<講師の研究分野> 情報セキュリティ, 認証

①-2. 平成25年10月17日(木)17:30-18:30(60分)【専門家対象】^(☆)

- ・講師：伊豆哲也氏(富士通研究所 ソフトウェア技術研究所 主任研究員)
- ・演題：「公開鍵暗号の安全性と数学問題の困難性について」
- ・参加者数：36名(教員13名, 学生23名)
- ・世話人：沼田泰英(数理・自然情報科学科)

<要旨>

送信者から受信者にメッセージを暗号化して送信する場合、送信者は受信者の暗号鍵によって暗号化し、受信者は自分が秘密に保持する復号鍵によって復号して元のメッセ

ージを入手します。公開鍵暗号は、受信者の暗号鍵は誰でもアクセスできるように公開されているという顕著な特徴を持ちますが、この特徴は数学的問題の困難性に依存しています。本講演では、現代の公開鍵暗号において使用されるいくつかの数学的問題（素因数分解問題・離散対数問題・格子問題・多変数多項式問題等）と、その難しさについて紹介します。

<講演のキーワード>公開鍵暗号, 素因数分解問題, 離散対数問題, 格子問題, 多変数多項式問題

②平成 25 年 11 月 15 日（金）16:20–17:50（90 分）

- ・講師：富樫一巳氏(東京大学大学院農学生命科学研究科 教授)
- ・演題：「マツ材線虫病（松枯れ）における病原線虫と媒介昆虫の相互関係および病気の分布拡大の解析とモデル」
- ・参加者数：29 名（教員 7 名，学生 14 名，学外者 8 名）
- ・世話人：藤山静雄（生物科学科）

<要旨>

松枯れはマツノザイセンチュウの感染によって起こり、それをマツノマダラカミキリ成虫が伝播する。枯れたばかりのマツに媒介昆虫が産卵し、幼虫は内樹皮を食べて発育する。病原線虫は枯れたマツの中で増殖する。翌年には線虫を持った媒介昆虫の成虫が木から出てきて健全なマツの枝の樹皮を食べる。枝の傷口から病原線虫は樹体内に侵入して感染環は完成する。病原線虫と媒介昆虫は相利共生関係にあると言われるが、病原線虫は媒介昆虫の気管に入って運ばれるため、個体レベルでは必ずしも相利共生ではない。線虫の伝播経路は複雑であり、線虫の存続を助ける。松枯れの始まった林ではマツの発病率と昆虫密度には正の相関が見られる。林内の発病木の時間的空間的分布の特徴は、媒介昆虫の個体群調査と実験室の研究から推定され、モデルによって再現される。さらに、林内の媒介昆虫個体群の動態モデルと長距離飛翔分布を結び付けたモデルによって、長距離飛翔個体の割合が 0 から高くなるにつれて、病気の感染地の拡大速度は増加し、6–7 km/年に達するが、割合がある値を超えると速度が急に低下することが示される。セミナーではこれらの研究を紹介する。

<講演のキーワード>伝染病, 松枯れ, マツノマダラカミキリ, マツノザイセンチュウ, マツ材線虫病

<講師の研究分野>森林保護学, 森林昆虫学, 応用生態学

③-1. 平成 25 年 12 月 17 日（火）15:30–17:00（90 分）【一般人対象】

- ・講師：綿村 哲氏(東北大学大学院理学研究科 准教授)
- ・演題：「弦が見る時空—プランクスケールの幾何学—」
- ・参加者数：32 名（教員 14 名，学生 18 名）

・世話人：小竹 悟（物理科学科）

<要旨>

量子論と一般相対論が統一されるとき、理論が何らかの変更または一般化をされなければならないことは、様々な議論からもはや疑う余地はない。特にプランクスケールでの時空の描像は我々の日常的な経験とは大きく異なると考えられる。では、統一理論の最有力候補の超弦理論では、どのように時空が見えるのだろうか。このトークでは、非可換幾何学や一般化幾何学といった理論の発展で理解されつつある、弦のしているプランクスケールの時空について議論する。

<講演のキーワード>弦理論, 量子重力

<講師の研究分野>素粒子理論

③-2. 平成 25 年 12 月 18 日（水）10:40-12:10（90 分）【物質基礎科学セミナー】

・講師：綿村 哲氏(東北大学大学院理学研究科 准教授)

・演題：「D-brane in generalized geometry」

・参加者数：16 名（教員等 5 名，学生 11 名）

・世話人：小竹 悟（物理科学科）

④平成 26 年 1 月 31 日（金）16:20-17:50（90 分）

・講師：北沢俊幸氏(立正大学地球環境科学部 助教)

・演題：「地層に時間目盛を入れる—ルミネッセンス年代測定法—」

・参加者数：10 名（教員 4 名，学生 6 名）

・世話人：村越直美（物質循環学科）

<要旨>

例えばページ番号の入っていない分厚い資料は使いづらいしバラバラになるのも嫌なので、ページ番号を記入したい。整理されて使い易くなるだろうし、もしかしたら乱丁や落丁が見つかるかも知れない。地層の年代測定とはそのようなもので、ページのように積み重なった地層になるべく正確に沢山の時間目盛りを入れたいという欲求である。数百年～数十万年前までの年代測定が可能であり、第四紀地質学、自然地理学、考古学などで利用が広がりつつあるルミネッセンス年代測定法は、鉱物に蓄積した放射線量を光や熱などの励起によって発する光（ルミネッセンス）の強さから求め、年代に換算するものである。他の多くの年代測定法が、測定対象となる物の「発見」が必要なのに対して、ルミネッセンス年代測定法は測定したい部位を「選定」できるのが大きな特長である。つまりその気になればページ 1 枚 1 枚に番号を記入できるかも知れないのである。本講演では原理、測定例、3.11 津波への適用、問題点などについて話題を提供する。

<講演のキーワード>地層, 年代測定, ルミネッセンス

<講師の研究分野>地質学, 堆積学, 地形学

⑤-1. 平成 26 年 3 月 14 日 (金) 14:00-15:30 (90 分) 【一般人対象】

- ・講師：田中秀樹氏(京都大学大学院工学研究科 講師)
- ・演題：「水素同位体の量子分子篩 (ふるい) —分子シミュレーションによるアプローチ—」
- ・参加者数：19 名 (教員 6 名, 学生 12 名, 学外者 1 名)
- ・世話人：飯山 拓 (化学科)

<要旨>

水素 (H) の安定同位体である重水素 (D) は、重水素化医薬品、LSI の長寿命化、光ファイバーの透過率向上など様々な分野での応用が期待されているが、化学的性質の極めて似通った水素と重水素を分離することは難しく、その分離プロセスは高コストとなることが知られている。しかし、質量の小さな分子では、低温下においてその波動性を無視することができなくなる (量子力学的効果) ことを利用するならば、H₂ 分子と D₂ 分子における物理化学的性質の違いを際立たせることができる。つまり、D₂ 分子よりも質量の小さな H₂ 分子では、熱ド・ブロイ波長が長くなり、その有効分子径が大きくなることから、極微細な細孔を有する多孔質材料を用いることで H₂ と D₂ をふるい分けることが可能となる。これが「量子分子篩 (ふるい)」の概念である。我々は、この量子分子篩を実現する多孔質材料を探索・創製することを目的とし、分子シミュレーションを用いた検討を進めている。本講演では、そのシミュレーション手法と、量子分子篩材料として有望であることが明らかとなった、いくつかの多孔質材料について紹介をしたい。

<講演のキーワード>水素同位体分離, 量子力学的効果, 吸着, 分子シミュレーション

<講師の研究分野>吸着工学

⑤-2. 平成 26 年 3 月 14 日 (金) 16:00-17:00 (60 分) 【化学コロキウム：専門家対象】

- ・講師：田中秀樹氏(京都大学大学院工学研究科 講師)
- ・演題：「多孔性配位高分子における吸着誘起構造転移のメカニズム」
- ・参加者数：13 名 (教員 3 名, 学生 10 名)
- ・世話人：飯山 拓 (化学科)

3. 「数理科学談話会」の広報と記録

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/>)に掲載し、同時に理学部のホームページにも投稿し、学内外に広く伝えた。講演の様子はビデオ撮影されており、ビデオ・ライブラリを作成した。平成 18 年度以降の 8 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。

4. 全国規模の「数理科学研究集会」の企画

信州大学が企画する全国規模の数理科学研究集会は、今年度は学長裁量経費の課題^(☆)の枠組みで実施した。詳しくは学長裁量経費の報告書を参照されたい。

5. 理学部における知的交流活動の発展のために

理学部「数理科学プロジェクト」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。