

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

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)

数学における伝統的な研究形態は個人研究が主流であるが、研究者相互の交流や組織的取り組みも盛んである。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個別研究分野における研究課題の発掘をも目論むものである。

本研究課題は、信州大学研究戦略企画チームに対して理学部が提案した「数理科学を基点とした学問領域間の相互交流促進および新分野創成の研究」(平成 18 年 5 月)に関連する「信州数理科学研究センター」設置構想への具体的着手としても位置付けられる。我々は、広い学問分野をカバーする上で組織的な限界がある地方大学において、数学研究の組織的取り組みに対する新たなモデルを提案するとともに、数理科学をキーワードとした学問領域間の研究交流を、理学部の特色ある取り組みとして育てる夢をもっている。

本研究課題は、理学部の平成 18 年度計画における「研究に関する目標を達成するための措置」(2・(1))の中に位置付けられ、自然科学と数学との学問的コミュニケーションに関心をもつ方々のご協力と、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

数学や自然科学の個別研究分野にはそれぞれ固有の研究対象と研究課題があるが、我々はそれらを数理科学の視点から関連付けて横断的に捉え、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研究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連続講演会を計画した。この講演会は、数学や自然科学の個別分野に身をおく研究者から見ると、バーチャルな「数理科学の広場」である。講師はいずれも数学または自然科学の個別研究分野における専門家であり、最先端の個性的な研究に取り組む方々であるが、専門外の人たちにも理解できるように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、副題をつけて「数理科学談話会－物理学における数理－」、「数理科学談話会－化学における数理－」、「数理科学談話会－環境科学における数理－」等として位置付けたのである。また、数理科学の基礎をなす数学に関しては、各分野の研究者が関与できる統一テーマを設定し、カテゴリー理論の連続講演会を計画した。

そして、事前に数理・自然情報科学科のホームページで講演要旨等を広報した。また、所属や分野を越えた参加が得られるよう、講演会情報は信州大学のホームページにも掲載された。以下の6件が計画され、うち5件が実施された。参加人数は、出席ノートへの記名により確認したが、現実の参加者数はこれらを上回っていることにご注意願いたい。

①平成18年12月19日(火)：参加者22人(教員：12人，学生10人)

講師：Brian Forbes氏(京都大学数理解析研究所 講師《研究機関研究員》)

演題：「局所ミラー対称性と紐双対入門」

世話人：高瀬将道(数理)

<要旨> 弦理論の双対性の数学への応用について論じる。主要な例は、ミラー対称性とconifold transitionである。

②平成19年1月16日(火)：参加者51人(教員：21人，学生30人)

講師：田中秀樹氏(岡山大学理学部 教授)

演題：「ナノ空間および低次元世界の水」

世話人：尾関寿美男・飯山拓(化学)

<要旨> 水は密度の極大をはじめ、多くの特異な物理化学的性質を有する。また、この異状性は低温においては比熱や等温圧縮率が非常に大きくなることで強調される。これらは、氷の四面体構造が液体状態においても大部分が保持されていることに由来すると考えられている。この四面体構造は水素結合に由来し、その強さは25 kJ/mol程度であることから、室温以下における水の構造と相挙動を決定するのにきわめて重要な役割を果たすことは云うまでもない。100万気圧以上の超高压を除けば、水は分子として存在することが知られ、隣接4分子との水素結合により安定に存在することができる(氷VIIでは配位数は8であるが、水素結合数は4に留まる)¹⁾。

水の微視的な構造や巨視的な相挙動は、温度・圧力のみならず、固体表面や細孔などの幾何学的な拘束条件によって、またその拘束をもたらす環境によって大きく変化する。ミクロン程度の直径の細孔では、水の融点はその直径に反比例して低下することが知られている²⁾。これは、水が通常の水に相転移を起こすときに、その界面での自由エネルギーの上昇を補償するためである。しかし、全てが界面となる1nm程度の大きさの空間に閉じ込められた水では、予想される結晶型はバルク相の場合とは全く異なり、またその相挙動も三次元の場合には観測されない新規な特徴が出現すると考えられる。

ここでは、分子間の相互作用を仮定した計算機シミュレーションから得られた準二次元と準一次元的な空間における水の相挙動と、そこで予想される新たな結晶型を紹介する³⁻⁵⁾。バルク相における水は他の液体と比べて特異な物理化学的性質を有するが、ナノ空間中でそれらが強調されたり、さらに新規な構造的特性を持つようになる事例を示す。これらは全て水の四面体的水素結合能に由来すると考えられるが、バルクの場合とは異なり水素結合にはナノ空間を構成する外壁による大きな歪を伴う。また、ナノ空間では分子配置の制約のために、三次

元空間のバルク相とは異なった準二次元または準一次的性質が現れる。なお、これらの理論的予測の後、チューブ状の氷は実験的にも観測されている⁶⁾。なお、制約空間中の水の研究についての詳細は最近の解説書を参照されたい⁷⁾。

- 1) V. F. P. Petrenko and R. W. Whitworth, *Physics of Ice*, Oxford University Press, NY, (1999).
- 2) D. Akporiaye, E.W. Hansen, R. Schmidt, and M. Stocker, *J. Phys. Chem.*, **98**, 1926 (1994).
- 3) K. Koga, H. Tanaka, X. C. Zeng, *Nature*, **408**, 564 (2000).
- 4) K. Koga, X. C. Zeng, and H. Tanaka, *Phys. Rev. Lett.*, **79**, 5013 (1997).
- 5) K.Koga, G.T.Gao, H.Tanaka, X.C.Zeng, *Nature*, **412**, 802 (2001).
- 6) Y. Maniwa et al. *J.Phys. Soc. Jpn.* **71**, 2863 (2002).
- 7) *Water in Confining Geometries*, edited by V. Buch and P. L. Devlin, Springer ,Berlin, (2003).

③平成 19 年 1 月 16 日 (火) : [講師都合により中止] *

講師 : 好村滋行氏 (首都大学東京 助教授)

演題 : 「弾性殻の座屈－フラーレンからピンポン玉まで－」

世話人 : 尾関寿美男・飯山拓 (化学)

④平成 19 年 2 月 16 日 (金) : 参加者 19 人 (教員 : 12 人, 学生 7 人)

講師 : 遠藤徳孝氏 (金沢大学自然科学研究科 助手)

演題 : 「衝突する砂丘のモルフォダイナミクス」

世話人 : 村越直美 (物産)

<要旨> モルフォダイナミクスとは、聞き慣れない言葉かもしれませんが、地形など、ものの形の形成や変化を、物理的なプロセスとして理解しようとする概念です。今回は、砂丘についてお話しします。実は砂丘は、じつと動かないものではありません。砂丘は、それ自体が全体としてあたかも生き物のように動き、静物でなく“動物“なのです (ただし、見る間に動くという速さではありませんが)。砂丘の形は砂の量と風向の変化の度合いによっておよそ決まりますが、なかでも上から見ると三日月型をしているバルハン砂丘

(barchan dune) は最も移動性に富んだ砂丘です。バルハン是世界中の乾燥地および火星などに多く存在します。バルハンの移動速度は同じ地域で比較すると、サイズが小さいものほど速く、場所によっては年数十メートル位移動するものもあります。バルハンの移動速度はサイズに依存するので、小さく速いバルハンの風下に大きく遅いバルハンがあれば、必然的に両者は衝突するはずで、砂丘が衝突する際の振る舞いは、一つの沙漠における砂丘のサイズ分布や空間分布に関わる問題であり、ひいては砂丘群全体の時間発展を考える上でも重要です。しかし、これについての野外調査は、幾つかの困難により、皆無に近い状態です。そこで、バルハンの衝突過程の全容を調べるためのアナログ実験およびそれに基づくコンピューターシミュレーションを行ないました。これらの結果についてお

話しします。尚、この研究は、谷口圭輔氏・勝木厚成氏との共同研究として遂行されました。

⑤平成19年2月19日(月)：参加者18人(教員：12人，学生6人)

講師：荒谷督司氏(奈良教育大学 非常勤講師)

演題：「加群の圏とアウスランダー・ライテン クィバーについて」

世話人：栗林勝彦(数理)

<要旨> 有限次代数の表現論において、アウスランダー・ライテン クィバーは加群の圏を調べるときによく使われているとても重要な概念です。また、アウスランダー・ライテン クィバーは、有限次代数上の加群の圏と非常によく似た性質を持つコーエン・マコーレー環上の極大コーエン・マコーレー加群の圏にも導入されています。この講演ではアウスランダー・ライテン クィバーと加群の圏との関係について話をします。

⑥平成19年2月19日(月)：参加者14人(教員：10人，学生4人)

講師：石井 亮氏(広島大学理学部 助教授)

演題：「Douglas-Bridgeland の安定性条件の空間について」

世話人：玉木 大(数理)

<要旨> 環が与えられれば、その環上の加群のなす圏を考える事ができるし、代数多様体が与えられればその上の接続層のなす圏を考える事が出来ます。これらの圏はアーベル圏という性質を持っています。アーベル圏に対し、その鎖複体のなす導来圏というものを考える事が出来ます。導来圏は、抽象的には三角圏と言う構造を持っています。近年、双有理幾何学、ミラー対称性等様々な観点から、代数多様体上の接続層の導来圏の具体的構造を調べる事が重要になって来ています。中でも、三角圏に対して定まる「(その圏の)安定性条件の空間」という複素多様体は興味深いものです。これは、物理学者 Douglas が提唱し、数学者 Bridgeland が定式化したものです。この講演では、導来圏とその安定性条件の空間について、特に、曲面の特異点で A_n 型と呼ばれるものに関する三角圏の場合の、植田一石氏と上原北斗氏との共同研究について紹介する予定です。この圏は、いわゆる McKay 対応を圏論的に定式化する時に現れるものです。

[注*] ③は講師都合により中止し、年度内開催は断念して経費は未使用とした。関係者は平成19年度における復活実施を見込んで準備しているので、助成の継続を要望する。

3. 「数理科学談話会」の講演内容の記録

当初は、講演内容を記録し、冊子体または電子媒体の形で「数理科学談話会報告集」(概要紹介または講義録)として編集・保存し、数理科学に関心を寄せる人たちがいつでも誰でも利用できるような閲覧システムを作る方針を立てたが、著作権等に関連して配慮すべ

き問題があることが分かったのでこれらの方法を慎重に検討中である。当面の措置として、講演者の了解を得た以下の資料については、理学部の科学情報バンクに、閲覧コーナーを設けることとし、内容の問い合わせには世話人が対応することとした。

- [1] Brian Forbes : 「局所ミラー対称性と紐双対入門」 (2006. 12. 19 講義録) 21 ページ.
- [2] 甲賀研一郎・田中秀樹: 「微小空間内部の水の構造と相転移」 (2006 年 9 月「現代化学」, 24-30).
- [3] N. Endo, K. Taniguchi and A. Katsuki: Observation of the whole process of interaction between barchans by flume experiments, Geophysical Res. Lett. 31 (2004) L12503.
- [4] N. Endo, H. Kubo and T. Sunamura: Barchan-shaped ripple marks in a wave flume, Earth Surface Processes and Landforms 29 (2004) 31-42.
- [5] A. Katsuki, M. Kikuchi and N. Endo: Emergence of a barchan belt in a unidirectional flow: Experiment and numerical simulation, Journal of the Physical Society of Japan, 74-3 (2005) 878-881.
- [6] N. Endo, T. Sunamura and H. Takimoto: Barchan ripple under unidirectional water flow in the laboratory: formation and planar morphology, Earth Surface Processes and Landforms 30 (2005) 1675-1682.
- [7] A. Katsuki, H. Nishimori, N. Endo and K. Taniguchi: Collision dynamics of two barchan dunes simulated using a simple model, Journal of the Physical Society of Japan 74-2 (2005) 538-541.
- [8] 荒谷督司: 「加群の圏とアウスランダー・ライテン クィバーについて」 (数理科学談話会講演ノート, 2007.2.19, 西田憲司記録).
- [9] 石井 亮: 「Douglas-Bridgeland の安定性条件の空間について」 (数理科学談話会講演ノート, 2007.2.19, 西田憲司記録).

4. 研究交流のための「懇談会」の開催

「数理科学談話会ー化学における数理ー」(1月16日)の講演終了後「茶話会」を行い、講師を囲み講演内容に関連する話題を中心にして約30分間懇談した。講演と質疑応答に90分ほど費やした後の時間帯であり、講演時には70人以上いた参加者が、「茶話会」になると10名ほどに減少した。この経験に基づくと、次年度以降の「懇談会」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し、数理科学をキーワードとする研究交流のあり方について意見交換する目的で、独立した企画として別途開催することが望ましい。

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」として再編集することが計画され、全体で2件が実施された。これらは、今後 e-Learning 教材等の形で活用することができる。

①樋口雄介先生の講義録作成 [世話人：井上和行，服部久美子]

平成 18 年 12 月 4 日～12 月 8 日の期間，信州大学において行われた樋口雄介先生 [昭和大学] の集中講義「**グラフ理論入門**」を，博士課程 1 年次の小塚勇樹君が聴講して，その講義

ノートを TEX ワードプロで清書したものである（全 46 ページ）。図形部分は手書きであり完成版ではないが，講師の了解を得たので，理学部の科学情報バンクに置く。

②寺澤修先生の授業・研究ノートの整理 [世話人：川村嘉春，小竹悟]

寺澤修先生は，素粒子物理学を専門とし，本学理学部において長年にわたり教育と研究に尽力なされました。具体的には，教育に関しては，次のような授業を担当されました。量子力学，素粒子物理学，物理数学演習，量子力学演習，物理学概論，卒業研究ゼミナール，修士課程のゼミナール，など。また，次のようなテーマのもとで素粒子物理学に関する研究を遂行されました。軽粒子を伴わない弱い相互作用，ヒッグス粒子の検出，トップクォークの生成，など。不幸にして在職中の 2005 年 2 月 21 日に病気のために亡くなりましたが，授業や研究のために作成された数多くのノートやメモ書きが研究室に残されていました。これらの多くは要領よくまとまっており，様々な目的で活用できると思われます。寺澤先生の業績を偲び，また，かつて寺澤先生の授業を受けた卒業生の方々及びこれから量子力学・素粒子物理学を学ぼうとする多くの若い学生の皆さんが有効利用できるように，それらを電子媒体という形で保存しました。この授業・研究ノートは素粒子論研究室のホームページに掲載する予定です。ノート整理は平成 18 年度理学部学部長裁量経費の支援を受けて行いました。ここに，学部長，申請代表者井上教授をはじめ関係者の方々，及び作業を実行してくれた学生の皆さんに感謝致します。（川村 嘉春，小竹 悟）

6. まとめ（教訓と今後の展望）

今回は，研究計画の採択通知を受けてから実施するまでの猶予期間が短く，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。来年度以降は準備期間を確保して，夏休みのゆったりした雰囲気の中で実施できるように，事務手続き上のご配慮をいただければ幸いです。

我々の企画には，新鮮な生の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」が必要なのです。理学部の皆さまには，これからも「数理科学プロジェクト」を，微笑ましい文化的企画として温かく育てていただくようご支援お願い申し上げます。