

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 20 年度学部長裁量経費 研究報告書)

平成 21 年 2 月 27 日提出

平成 21 年 3 月 6 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。

本研究課題の取り組みを始めて 3 年が経過した。我々はこの「数理科学プロジェクト」の推進を通じて、理学部の「平成 21 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)」の実現に向けて、理学部内の分野横断的研究プロジェクトとしての実績積み上げを図りたいと思う。また、「広い学問的視野と数理科学的思考力を併せ持つ高度専門的職業人の養成」(平成 21 年度学内版 GP 申請プログラム) を掲げる大学院教育の改善にも役立てたいと思う。これらの取り組みを成功させるためにも、数学関係者に限らず、専門分野を越えた方々のご支援とご協力をお願いする次第である。

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てる目的で、諸分野間の交流を意図した公開講演会シリーズを企画した。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、異分野の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。

今年度に取り上げた新たな分野としては、地震学の話題および、生物学における DNA の話題がある。地震の確率予測の話題では、統計理論では様々な適用例が知られる、更新過程に対する統計モデル選択の様子が具体的に紹介された。DNA トポロジーの話題は、幾何学における結び目理論の適用例を示したものと言えるだろう。理論物理学の3講演は、日本人物理学者がノーベル賞を受賞した時期とも重なり意義深い企画となった。数理科学の基礎をなす数学については、統計力学、確率論、さらに代数学と幾何学に跨る複合領域における最新の話題が取り上げられた。また、「代数学若手研究会」が信州大学で開催される機会をとらえて、全国の若手研究者との交流促進のために、講演の一部を信州大学の数理科学談話会との共催で実施した。

数理科学談話会は、以下の9件（共催1件を含む）が計画され、2月末日までに8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り、現実にはこれを上回っている場合がある。

① 平成20年9月19日（金）15：00－16：00（60分）

- ・講師：Jean-Dominique Deuschel 氏（ベルリン工科大学 教授）
- ・演題：“Decay of covariances, uniqueness of ergodic component and scaling limit for $\nabla\phi$ systems with non-convex potential”（「凸でないポテンシャルを持つ $\nabla\phi$ 界面モデルに対する共分散の減少、エルゴード成分の一意性およびスケール極限」）
- ・参加者数：17人（教員9人、学生8人）
- ・世話人：乙部巖己（数理・自然情報科学科）

<要旨>

We consider a gradient interface model on the lattice with interaction potential which is a non-convex perturbation of a convex potential. Using a technique which decouples the neighbouring vertices sites into even and odd vertices, we show at high temperature: the decay of covariances, uniqueness of ergodic component for $\nabla\phi$ -Gibbs measures and the scaling limit.

②平成20年10月6日（月）15：00－16：30（90分）

- ・講師：坂井典佑氏（東京女子大学文理学部数理学科 教授）
- ・演題：「ヒッグス相のソリトン：モジュライ行列の方法」
- ・参加者数：34人（教員14人、学生20人）
- ・世話人：川村嘉春（物理科学科）

<要旨>

物性物理学での超伝導体のように、ゲージ理論でゲージ対称性が自発的に破れた場合を、ヒッグス相と呼びます。その場合にはさまざまなソリトンが解として登場しますが、それらの統一的な理解は不十分でした。今回の講演では、今年春の日本数学会・日本物

理学会の合同大会での講演を土台にして、素粒子理論の立場から、私たちの提案するモジュライ行列という新しい方法をご紹介します。種々のソリトンを構成すると、素粒子と宇宙の統一理論のひとつの可能性としてのブレーン・ワールド模型に応用できます。またソリトンは数理物理学としても興味深い性質を持っていますので、数学の方々からも種々教えていただければありがたいと思っています。

③平成 20 年 10 月 14 日（火）15：00－16：20（80 分）

- ・ 講師：橋本幸士氏（理化学研究所 仁科加速器研究センター 研究員）
- ・ 演題：「超弦理論によるクォークの強結合理論の記述：ホログラフィック QCD」
- ・ 参加者数：19 人（教員 9 人，学生 10 人）
- ・ 世話人：川村嘉春（物理科学科）

<要旨>

D ブレーンと呼ばれる、超弦理論における広がった物体は、近年非常に重要であることが判明した。その理由の一つに、ゲージ・重力対応がある。ゲージ・重力対応は、D ブレーンから導出される対応原理であり、粒子の強いゲージ相互作用が、ある高次元の重力理論と等価である、ということをも主張している。この対応は弦理論固有の新しい対応原理であるが、実際にこの対応原理を用いて、クォークの強い相互作用の理論である量子色力学(QCD)の解析を行う。強い相互作用のため、QCD を解析することは従来非常に困難であったが、ゲージ・重力対応を用いれば、解析が非常に容易になる。このように、弦理論は現在、技術的に実際に実験と比較することのできるステージに達している。この「ホログラフィック QCD」と呼ばれる計算手法について、レビューし、最近の成果について報告する。

④平成 20 年 10 月 21 日（火）15：00－16：00（60 分）

- ・ 講師：高橋陽一郎氏（京都大学数理解析研究所 教授）
- ・ 演題：「散乱理論と大偏差原理」
- ・ 参加者数：29 人（教員 14 人，学生 15 人）
- ・ 世話人：乙部巖己（数理・自然情報科学科）

<要旨>

大偏差原理は状況によりさまざまな顔を見せる。その一例を紹介する。1960 年代に多次元ブラウン運動の滞在時間の長時間挙動が Spitzer[1]等により研究され、その漸近展開の主要項は容量であることが示された。1970 年代に Kac-Luttinger[2]は、シュレディンガー方程式の散乱問題における散乱距離は、“よい”集合に関するハードコア・ポテンシャルの場合、容量であることを指摘した。また、散乱距離は径路空間上で積分表示することもできる[3]。講演では、それが、実は、互いに独立な無限粒子からなる平衡過程に対する大偏差原理であることを（一般化して）示す。その際、ポアソン過程に関す

る Wiener-Ito 展開を用いる。なお、関連する問題と背景については、[4]を参照されたい。

- [1] F. Spitzer, Electronic Capacity, Heat Flow and Brownian Motions, Z. f. W. 3 (1965), 110-121.
- [2] M. Kac and J.M. Luttinger, Scattering length and capacity, Ann. Inst. Fourier 25 (1975), 317-321.
- [3] Y. Takahashi, An integral representation on the path space for scattering length, Osaka J. Math. 27 (1990), 373-379.
- [4] S. Ozawa, Spectra in Random Media, 109-122, AMS Translation Series 2, Vol. 161 (1994).

⑤平成 20 年 11 月 11 日（火）15：00－16：20（80 分）

- ・講師：杉本茂樹氏（東京大学数物連携宇宙研究機構 特任教授）
- ・演題：「超弦理論と QCD」
- ・参加者数：21 人（教員 10 人，学生 11 人）
- ・世話人：川村嘉春（物理科学科）

<要旨>

超弦理論の枠内に QCD を実現し、それを超重力理論を用いて解析する方法を解説する。カイラル対称性の破れなど、QCD で期待される性質がいかんして再現されるかを説明し、メソンの質量や結合定数などの実験値との比較も行う。

⑥平成 20 年 11 月 19 日（水）16：20－17：30（70 分）

- ・講師：伊藤 潔氏（京都大学防災研究所 元教授）
- ・演題：「地震発生の確率予測と強振動予測」
- ・参加者数：14 人（教員 7 人，学生 7 人）
- ・世話人：塚原弘昭（物質循環学科）

<要旨>

地震調査研究推進本部によって、活断層の内陸地震や海溝型の地震について、地震の確率予測や発生確率に基づく強震動の予測が発表されている。これらの発表までの経緯やその手法および問題点について報告する。これらの理解のための近年の基本的な地震発生についての調査結果，更新過程としての確率予測の方法およびその結果を利用した全国強震動予測地図について述べる。さらに、これらの利用のされ方，問題点についても考察する。

⑦平成 20 年 11 月 28 日（月）16：30－17：30（60 分）

- ・講師：下川航也氏（埼玉大学大学院理工学研究科 准教授）

- ・演題：「DNA と結び目理論」
- ・参加者数：27人（教員11人，学生16人）
- ・世話人：玉木 大（数理・自然情報科学科）

<要旨>

DNA を空間内の紐と見るとき，DNA に働く酵素で DNA のトポロジーを変えるものがある。その酵素の働きの特徴付けに結び目のデーモン手術の理論が応用されている。この講演では結び目理論がどの様に応用されるかを紹介する。

⑧平成 21 年 1 月 29 日（木）16:00-17:30

- ・講師：飛田明彦氏（埼玉大学教育学部 准教授）
- ・演題：「多元環上の加群の support variety」
- ・参加者数：16人（教員6人，学生10人）
- ・世話人：栗林勝彦（数理・自然情報科学科）

<要旨>

有限群のモデューラー表現論において，加群の多様体の理論は Benson, Carlson を中心とする研究により大きく発展してきました。そして，それらの結果に触発され，可換環や有限次元多元環，あるいは圏論的な枠組みでの類似の構成や一般化が研究されています。講演では，有限群の表現での加群の多様体の理論の概略を述べ，また，最近の話題として，Hochschild cohomology を利用した有限次元多元環への拡張について紹介します。

⑨平成 21 年 3 月 4 日（水）15:00-16:30 [代数学若手研究会との共催]

- ・講師：浅芝秀人（静岡大学理学部 教授）
- ・演題：「自由作用を仮定しない圏の被覆理論と導来同値」
- ・参加者数：32人（教員13人，学生19人）
- ・世話人：高橋亮（数理・自然情報科学科）

<要旨>

以下，可換環 k を一つ固定し，圏および関手はすべて k 線型と仮定する．群 G が圏 C に単準同型 $G \rightarrow \text{Aut}(C) (= C$ の自己同型群) で作用しているとする．従来， G の作用は C （の対象）に自由に作用しているものと仮定されていたが，ここではこの自由作用は仮定しない．それは， G の C への作用が自由であっても，それから自然に導かれる $\text{Mod } C$ や $K^b(\text{prj } C)$ への作用が自由にならない場合があるため，自由作用の仮定なしで，従来の結果が導かれれば非常に便利であるからである．ただし， $\text{Mod } C$ は，右 C 加群（すなわち， C から k 加群の圏への反変関手）のなす圏で， $K^b(\text{prj } C)$ は，有限生成射影的 C 加群の有界複体のなす圏である．(1) キーポイントは， G 被覆関手 $F: C \rightarrow C'$ という概念を導入し，これを特徴づけることにある．これにより， C から C' が $C' = C/G$ （軌道圏）として構成でき，逆に C' から C が $C = C' \# G$ （smash product）として構成できる

ことが分かる. 副産物として, C を”弱 G 同変”な圏 $(C/G)\#G$ に取り替えることにより G 作用を”自由化”できることが分かる. (2) また, F の引き上げ(pull-up)と押し下げ(push-down)を調べ, それにより $\text{Mod } C$ と $\text{Mod } C'$ が相互に記述しあうことを示す. 特に, 押し下げ関手は前 G 被覆関手 $K^{\wedge b}(\text{prj } C) \rightarrow K^{\wedge b}(\text{prj } C')$ を導く. これの応用として, (G の $K^{\wedge b}(\text{prj } C)$ への作用が自由でなくても) C と 圏 D の間の弱 G 同変な導来同値から C/G と D/G の間の導来同値が導かれることを示すことができる. (3) 以上は, G が C の自己同型群を通して作用する場合であるが, 自然同型を法とする C の自己圏同値全体のなす群を通して作用する場合でも G が巡回群であるときには, そのままでは定義できない軌道圏 (重要な例としてクラスター圏がある) を定義するには, その代わりに”余極限軌道圏”を用いればよい, ということがやはり副産物として得られる.

3. 「数理科学談話会」の広報と記録

数理科学談話会の広報については, 通常のポスター掲示に併せて, 講演のために来訪する講師に関する情報や講演要旨等の講演会情報を, 数理・自然情報科学科に附属する「信州数理科学研究センター」のホームページに掲載するとともに, 信州大学のホームページの「イベント情報」にも投稿し, 学内外に広く伝えた. 講演の様子は, 前年度に購入した機材を用いてビデオ撮影された.

4. 代数学若手研究会等への後援

全国から集まる代数学分野の研究者と, 信州大学の教員および大学院学生との研究交流を推進するために, 信州大学理学部を会場として開催される「代数学若手セミナー」(2009年3月1日) および「代数学若手研究会」(2009年3月2日-4日) を後援し, 特に「特別講演」を公開形式の数理科学談話会として実施した(3月4日).

- ・「代数学若手セミナー」: 講演3件, 講演者数3人, 参加者数16人
- ・「代数学若手研究会」: 講演19件, 講演者数21人, 参加者数37人

また, 信州大学の教員と大学院学生は「代数学若手会セミナー」および「代数学若手研究会」のスタッフとして運営を支えた. [世話人: 高橋亮 (数理・自然情報科学科)]

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」として作成保存する取り組みを3年前から始めている. 講義の状況を生々しく再現して伝えるものとして, 「数理科学講義録」は気軽に作成され利用されることが望ましい. これまではワープロで作成してきたが, 今後は手書き原稿のものを含めて作成件数の増加を図るべく, 講義の原稿を持っている方々にはこの企画への参加を呼びかけたい. 今年度は, 次の講義録を作業中である.

[1] 「数理ファイナンス入門 (仮題)」: 伏屋広隆氏・述, 石江誠・記, 2009年2月.

6. 世話役活動への取り組み

今年度は、学部長裁量経費の募集が4月段階から始められたので、関係者の間での準備的な意見交換のための時間を十分に確保することができた。交付通知を受けた(6月16日)後、理学部の中で「数理科学プロジェクト」に関心を持つ方々に呼びかけた「実施計画打ち合わせ会」(6月25日)には7名が参加した。「打ち合わせ会」で確認された実務的事項、企画の素案、企画リスト決定までの手順については、分担者全員と数理・自然情報科学科の構成員に対してメールで報告され、さらに追加的な企画の募集が行なわれた。内容の確定した企画については、担当者を決め準備を進めた。

数理科学談話会の企画が幾つか確定した時点で、3回にわたり信州大学のホームページの「イベント情報」コーナーに投稿し(9月9日、10月7日、10月24日)、その記事は開催日直前の「週間信大」にも掲載された。これらの企画を進める過程での意見交換はメールで行なわれた。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、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。数理科学談話会を実施する時間帯の設定については、通常の学科業務との重複を避けるように配慮したが、改善すべき課題を残している。

7. 要望とご支援のお願い

数理科学談話会の開催時期は、大学の行事日程の上ではゆとりのある5月から12月までの時期に設定するのが理想的と思われます。夏休み以前(6月-7月)の開催も可能となるよう、学部長裁量経費の募集開始時期を早めて下さるよう要望します。

「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、聴衆の知的好奇心を刺激する「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。また、世話役活動に新たに参加する方がおられましたら、分野を問わず歓迎いたします。この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、引き続き理学部の皆さまのご支援をお願いします。