

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

(平成 24 年度学部長裁量経費 研究報告書)

平成 25 年 3 月 8 日提出

平成 25 年 3 月 22 日再提出

井上和行 (研究代表者, 特任教授), 西田憲司^a, 花木章秀^a, 和田堅太郎^a, 栗林勝彦^a, 玉木 大^a, 五味清紀^a, 境 圭一^a, 一ノ瀬弥^a, 高木啓行^a, 谷内 靖^a, 中山一昭^a, 乙部巖己^a, 小竹 悟^b, 川村嘉春^b, 奥山和美^b, 謝 賓^{ac}, 佐々木格^{ac}

^a 数理・自然情報科学科, ^b 物理科学科, ^c ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点

1. はじめに (研究目的と位置付け)

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」の構築を目標に掲げて, 信州数理科学研究センターが平成 18 年度に発足した。ここで, 数理科学とは数学的な概念や手法を用いる個別諸科学をも含むような, 広い学問領域の意味で用いられる。数学における研究の歴史を振り返ると, 森羅万象の論理構造に関心をもつ数学は, 諸科学から提起される様々な課題を取り込みながら, 自らの研究対象を広げ手法を発展させてきた側面がある。本研究課題では, 信州数理科学研究センターの取組の一環として, 代数学, 幾何学, 解析学, そして数理物理学に現れる数学的な「場」の研究を組織的に行うことで, 共通概念の相互理解を深めるとともにその相互作用の明確化を目指す。このため, 分野横断的な研究集会や公開セミナーを開催する。このように分野の枠を超えた交流の活性化を通じて, 各自の研究分野における課題の発掘をも目論むものである。

本研究課題は, 理学部の平成 24 年度事業計画における「新規バーチャル研究所を設置し, 信州数理科学研究センター (バーチャル) とともに研究集会やセミナー, 談話会などを実施する」という記述に対応する取組である。また, 信州大学ビジョン 2015 に盛り込まれた「長期的視野に立った学問分野横断型の研究プロジェクトに挑戦する」, および PLANthe”FIRST”信州「知の森」の育成と発展で述べられた「教育, 研究, そして社会貢献に専念できる“まなびや”」の構築の具象化をも目指している。なお, 研究代表者 (特任教授) は, 信州数理科学研究センターの企画・運営を職務としている。

本年度は数理科学に関連する次の研究課題に対しても, 学部長裁量経費が助成された。

研究課題^(◎): 「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」
この課題^(◎)では, 平成 18 年度以来継続的に学部長裁量経費の助成を受けており, 公開の数理科学談話会とともに, 分野横断的テーマによる全国規模の「数理科学研究集会」の開催にも取り組んできた。これら 2 つの研究課題には相互補完関係があるので, 連携して実務対応することについて関係者から了解を頂いた。従って, この研究報告書では, 研究課

題^(◎)に関する取組についても、注釈^(◎)を付して記載することとした。

2. 分野横断的テーマによる全国規模の「数理科学研究集会」の開催

本研究課題の下では、4つの研究集会 [A], [B], [C], [D] が開催された。初めの [A], [B], [C] は別の研究課題^(◎)との連携企画であり、[D] は3月中旬に開催予定である。特に、[B] は数理・自然情報科学科と物理科学科の教員の共同企画である。世話人の方々には、本研究課題の趣旨に沿う個性的な研究集会の開催をお願いし、数学と物理にまたがる研究集会や、少し小規模なワークショップが提案されるなど、結果的にはバラエティのあるものとなった。それぞれに工夫された研究集会であり、今後の企画立案のモデルケースが得られた。

[A] 信州応用トポロジーセミナー2012

- ・開催日程：平成24年11月23日（金）
- ・会場：数理攻究室（理学部A棟4F）
- ・世話人：玉木 大（数理・自然情報科学科）
- ・講演者と講演題目

- ① 玉木 大（信州大学理学部）：「Bicategories and topological categories in combinatorial algebraic topology」
- ② 平岡裕章（九州大学 Institute of Mathematics for Industry）：「Algebraic structure of maximum likelihood decodings: invariants and duality」
- ③ 田中康平（信州大学理学部）：「Reconstruction of manifolds from their Morse functions」
- ④ Vidit Nanda（University of Pennsylvania）：「Reconstructing the induced map on homology from images of random samples」

《世話人からの呼びかけ(抜粋)》 ペンシルバニア大学から Vidit Nanda 氏を、九州大学から平岡裕章氏をお招きし、いくつかの応用トポロジーそして組み合わせトポロジーに関する話題について議論する機会を設けました。

《世話人からの事後報告》 本シンポジウムには、信州大学以外には3大学から、全体で11名の研究者および大学院生が参加しました。

[B] 研究集会「場の数理とトポロジー」

- ・開催日程：平成25年2月6日（水）－2月8日（金）
- ・会場：信州大学全学教育機構12番教室
- ・世話人：阿部孝順（信州大学名誉教授）、奥山和美（物理科学科）、栗林勝彦（数理・自然情報科学科）
- ・講演者と講演題目

- ① 菅原祐二(立命館大学理工学部) : 「N=2 および N=4 2次元超共形場理論における modular completion について」
- ② 野原雄一(香川大学教育学部) : 「Integrable systems on Grassmannians and potential functions」
- ③ 三鍋聡司(東京電機大学) : 「Introduction to mixed Frobenius manifolds」
- ④ 吉岡朗(東京理科大学理学部) : 「Star 積について」 (I, II, III)
- ⑤ 細道和夫(京都大学基礎物理学研究所) : 「Seiberg-Witten Theorems on Ellipsoids」
- ⑥ 酒井一博(京都大学基礎物理学研究所) : 「E 弦理論と Nekrasov 型公式」
- ⑦ 岡田崇(小山工業高等専門学校) : 「Homological mirror symmetries and stability conditions」
- ⑧ 佐藤勇二(筑波大学数理物質系物理学域) : 「Gluon scattering amplitudes and two-dimensional integrable systems」

《世話人からの呼びかけ(抜粋)》 「場の数理」をキーワードに幾何学, トポロジー, 素粒子論, 場の理論の研究者が情報交換, 議論, 討論の場を設けるため本研究集会を開催します。数学, 理論物理学の研究者間交流を促すことも研究集会の重要な目的です。

《世話人からの事後報告》 本研究集会は, 理論物理を専門にする4名の研究者と4名の数学者による計10講演を計画し, 32名の参加の下に開催されました。その内容としては, 2日目に変形量子化に関連する集中3講演が行われ, さらに3日間を通じて, ミラー対称性, 弦理論における分配関数, 経路積分, 可積分系に現れるモデル等をキーワードに7講演が行われました。講演後には分野を超えた活発な質疑応答や, 休憩時間においては議論等が行われていました。こうした光景から, 本研究集会がきっかけとなり, 理論物理および数学における分野間交流が生まれることが期待されます。講演記録として, アブストラクトおよび講演のスライドファイルを下記の研究集会ホームページで公開する予定です。

<http://marine.shinshu-u.ac.jp/~kuri/TPT2013/Home.html>

雪の影響で講演者が遅れるという混乱はありましたが, 講演の順番を変えることで対応し計画通り, 講演プログラムを全て行うことが出来ました。このことも付記しておきます。

[C] ワークショップ「数理解科学と情報科学の周辺」

- ・開催日程: 平成25年2月14日(木)
- ・会場: 数理・自然情報合同研究室(理学部A棟4F)
- ・世話人: 沼田泰英(数理・自然情報科学科)
- ・講演者と講演題目

- ① 栗原大武(京都大学数理解析研究所) : 「デザイン理論とアソシエーションスキーム, またそれらの応用について」
- ② 鍛冶静雄(山口大学大学院理工学研究科) : 「幾何学的な形状補間法」

- ③ 縫田光司（産業技術総合研究所）：「暗号プロトコルの無仮定擬似ランダム化へ向けて」
- ④ 前野俊昭（名城大学理工学部）：「Function Density Problem について」

《世話人からの呼びかけ(抜粋)》 2013年2月14日(木)に信州大学数理・自然情報科学科にて、広い意味での情報科学に関する数学をテーマとした小さな研究集会を行いますのでご案内致します。純粋数学が実際に応用され使われている研究分野の一つとして、広い意味での情報科学があります。本研究集会は、広い意味での情報科学に関連する、もしくは、今後関連する可能性のある数学の話題について知ること、研究の視野を広げ、新しい研究の可能性を探ることを目的として行います。講演要旨は次のホームページに記載されています。

<http://math.shinshu-u.ac.jp/~nu/html/workshop/20130214/>

《世話人からの事後報告》 本ワークショップには、信州大学からは理学部および工学部から、信州大学以外では5大学・研究所から、全体で16名の研究者および大学院生が参加しました。参加者の比較的少ないワークショップという事もあり、講演中や講演後に活発な質疑応答や議論が行われておりました。

[D] 信州関数解析シンポジウム

- ・開催日程：平成25年3月14日(木) - 3月15日(金)
 - ・会場：数理・自然情報合同研究室(理学部A棟4F)
 - ・世話人：佐々木 格(信州大学理学部, ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点), 大野 博道(信大工学部), 鈴木 章斗(信大工学部), 松澤 泰道(信大教育学部)
 - ・後援：日本数学会
 - ・講演者と講演題目
- ① 縄田紀夫(千葉大学・PD)：「Fundamental groups of C^* -algebras」
 - ② 寺西功哲(北海道大学・D2)：「一般化されたスピノゾンモデルの自己共役性について」
 - ③ 二口伸一郎(北海道大学・D2)：「フェルミ場の系のスペクトル表示について」
 - ④ 望月 清(首都大学東京 名誉教授)：「Star-graph 上の Schrodinger 作用素に対するスペクトル・散乱問題について」
 - ⑤ 竹内祐太(信州大学・M1)・林 大希：「格子上の離散ラプラシアン of the spectrumについて」
 - ⑥ 谷保智哉(信州大学・M1)・河邊 淳：「漸近平行移動可能性条件を用いたジョケ積分表示定理の拡張」
 - ⑦ 田中 亨(早稲田大学・M2)：「最小情報取得による密度演算子の固有値測定」
 - ⑧ 黒田成俊(学習院大学 名誉教授)：「N次元スペクトル測度のスペクトルに関する話題」
 - ⑨ 臼井耕太(北海道大学・PD)：「格子上の場の理論における伝搬関数のスペクトル表示について」

⑩ 清水翔之(東北大学・研究員):「On the scattering theory for non-relativistic infinitely many boson systems」

《世話人からの呼びかけ(抜粋)》「信州関数解析シンポジウム」を開催いたします。作用素論, シュレディンガー作用素, 作用素環, 量子場などの話題についての講演があります。興味がありましたら是非ご参加下さい。

《世話人からの事後報告》本シンポジウムは2日間にわたって開催され, 作用素環, 場の量子論, シュレディンガー作用素, ショケ積分, スペクトル理論, 量子情報理論の研究者10名による講演が行われました。聴講者含めて全体で21名の参加がありました。講演者には非専門家向けの解説をお願いしていた事もあり, 専門外の人にも理解しやすい講演が行われ, 活発な議論が交わされました。

3. 公開セミナーの開催(他大学の研究者との交流)

本研究課題では, 専門分野の日常的なセミナー活動に対して, 他大学の研究者を招いて交流する取組を奨励した。本年度は, 信州トポロジーセミナー(世話人: 境圭一氏, 数理・自然情報科学科)の提案による公開セミナーの講演企画4件を支援した。

①平成24年11月9日(金)16:30-18:00

- ・会場: 数理攻究室(理学部A棟427)
- ・講師: 清水達郎氏(東京大学大学院数理科学研究科・D2)
- ・演題: 「ホモロジー3球面の1次の有限型不変量とそのcorrespondenceに対する拡張について」

②平成24年12月7日(金)16:30-18:00

- ・会場: 数理攻究室(理学部A棟427)
- ・講師: 吉田尚彦氏(明治大学理工学部・講師)
- ・演題: 「Torus fibrations and localization of index」

③平成24年12月12日(水)16:30-18:00

- ・会場: 数理攻究室(A棟427)
- ・講師: 森谷駿二氏(京都大学理学部・PD)
- ・演題: 「Homology of space of long knots and model category of operads」

④平成24年12月14日(金)16:30-18:00

- ・会場: 数理攻究室(A棟427)
- ・講師: Ismar Volic氏(Wellesley College)
- ・演題: 「Calculus of functors and spaces of knots and links」

4. 研究に直結した教育活動の支援

本研究課題では, 信州大学における研究者の人材と人脈を活用して, 全国の学生や大学

院生にも数学研究の最前線の話題に触れるような学習の機会を提供し、またそれが信州大学の学生にとっても他大学の学生との刺激的な交流の機会となるような、新しい形態の教育活動を創出する取組にも挑戦した。これは、数学研究の後継者を育てる取組であり、研究者としての社会貢献活動でもある。我々はこのような努力を続けることが、長い目で見れば信州大学の大学院教育の充実と繋がるものと期待する。本年度は、信州大学の特色を活かして、この構想を「代数的トポロジー信州春の学校」の取組として具体化した。

[E] 代数的トポロジー信州春の学校

・開催期間：平成 25 年 3 月 8 日（金）午後－3 月 10 日（日）午前

・会場：信州大学理学部 第 1 講義室

・世話人：玉木 大（数理・自然情報科学科）

・講義内容（講師）：

①スペクトル系列という考え方（玉木 大，信州大学）

②Serre および Atiyah-Hirzebruch スペクトル系列（西本 哲，近畿福祉大学）

③Eilenberg-Moore スペクトル系列（栗林勝彦，信州大学）

④ Bockstein スペクトル系列（玉木 大，信州大学）

⑤ Adams 型スペクトル系列（中井洋史，東京都市大学）

⑥ Problem session

《世話人からの呼びかけ(抜粋)》 全国の代数的トポロジーに興味を持つ学生の方々に集中して学ぶ機会を提供することを目的に、「春の学校」を企画しました。「春の学校」とは名ばかりの、信州ではまだ寒い時期ですが、代数的トポロジーに興味を持っている学生や若い方々の交流も兼ねていますので、奮ってご参加下さい。第 1 回目のテーマは、代数的トポロジーの最も基本的な道具の一つ「スペクトル系列」です。証明の道具としてスペクトル系列が用いられることの多い代数幾何学などの分野と大きく異なり、代数的トポロジーではスペクトル系列の計算のテクニックが発達し、計算の道具として重要な役割を果たしています。今回は、代数的トポロジーで用いられる典型的なスペクトル系列について、それぞれのスペクトル系列を用いた計算の経験豊富な講師の方々に「使い方」を教えてください。予定です。

《世話人からの事後報告》 このような勉強会は初めての企画だったが、予想を遥かに超える参加者があり、学生の参加者 47 人、教員等の参加者 34 人、合計 81 人が参加した。学生は、信州大学の 12 人を除く 35 人は北海道大学から九州大学まで全国の 12 の大学から集った学生だった。中でも東京大学から信州大学の 12 人を超える 15 人の参加者があった。テーマがスペクトル系列という難しいものだったのにもかかわらず、このような大勢の学生が全国から集ったのは、驚きであった。学生以外の参加者の内、世話人と講師を合わせた 6 人を除いた 28 人が、スペクトル系列の勉強のために参加した研究者であるが、学生向けの勉強会にもかかわらず、28 人もの研究者が全国から参加したことから、かなり高度な内容

だったことがわかる。その中には、タイの Kasetsart 大学と韓国の Seoul 国立大学からの、それぞれ 1 人ずつの参加者も含まれる。このような様々な大学から、2 年生 2 人を含む 17 人の学部生、19 人の修士課程学生、11 人の博士課程学生という幅広い学年構成の学生達が会したのであるが、専門分野も代数的 K 理論や数論トポロジーという代数に近いものから、解析学の一分野である作用素環論まで様々であり、学生の交流の場としても大いに機能した。もちろん、信州大学の学生にとっても、これだけ様々な大学の様々な学生と交流を持てたのは貴重な機会であったと思う。

今後の運営改善のために終了後にアンケートを配布した。45 枚を回収し集計を行なったところ、開催時期として今回の時期が最も適切であることが分かった。次回のテーマや改善案などもアンケートから得られたので、次回開催するときはそれらを参考に企画したい。