

立教大学学術推進特別重点資金 (立教 S F R)
プロジェクト研究 (自由プロジェクト研究)
2004 年度研究【経過・成果】報告書

研究課題	弦理論と重力理論の数学的構造解明に関する学際的研究		
研究代表者	所属・職名	氏名	
	理学部・助教授	矢彦沢 茂明 印	
研究組織	所属大学名等・職名	氏名	
	立教大学・理学部・教授	佐藤 文廣	
	立教大学・理学部・教授	田中 秀和	
	立教大学・理学部・教授	比嘉 達夫	
	立教大学・理学部・助教授	筧 三郎	
	立教大学・理学部・助教授	佐藤 信哉	
	立教大学・理学部・助教授	矢彦沢 茂明	
	立教大学・理学部・講師	大杉 英史	
	立教大学・理学部・講師	須佐 元	
	東京大学大学院・理学系研究科・助手	今村 洋介	
京都大学・基礎物理学研究所・助手	杉本 茂樹		
研究期間	2004 年度	～	年度
研究経費	2004 年度	年度	総計
	3,360 千円	千円	千円

研究の概要 (200～300 字で記入、図・グラフ等は使用しないこと。)

本プロジェクト研究の目的は、物理学の基礎理論である弦理論と重力理論から生み出されてきたアイデアを数学的観点から検討し、その構造を解明することを通して、物理学と数学の交流を活性化し、研究を推進することである。2004 年度には、重点テーマとして、

- (A) W代数・有理楕円曲面と弦理論
- (B) ゲージ理論・行列模型と非平衡統計物理学
- (C) 可積分系と関連する話題

を取り上げ、6 回の研究集会を行うことによって両分野間の理解を深めることができた。また、この 3 つのテーマに関連する題材に関しても、個々の成果を上げることができた。さらに、講演やレクチャーを元に 5 冊の講究録を作成したことは、今後の進展に有意義であると共に、学外への波及や大学院教育にも役立ったと言える。

キーワード (研究内容をよく表しているものを 3 項目以内で記入。)

[弦理論] [可積分系] [ゲージ理論]

研究【経過・成果】の概要 (図・グラフ等は使用しないこと。)

本プロジェクト研究は、物理学の基礎理論である弦理論と重力理論に表れる数学的構造を吟味・検討することを通して、物理学・数学の交流をより親密かつ活発にし、両分野における新たな研究領域を切り開くことを目的としている。この目的を達成するために、2004年度は、いくつかの具体的なテーマを設定し、それらに対する物理学・数学双方からの知識を集積することによって、お互いの理解を深め、新たな研究領域の考察を行った。テーマとしては、

- (A) W代数・有理楕円曲面と弦理論
- (B) ゲージ理論・行列模型と非平衡統計物理学
- (C) 可積分系と関連する話題

という3つに重点をおき、プロジェクトメンバー以外も参加する形での研究集会を開催し、そこでの講演に基づいた講究録を作成している。(講究録に関して、詳しくは「研究発表(様式3)」を参照していただきたい。) 昨年度と合わせて作成した8冊の講究録は全国の関連する大学に配布し、本学においても図書館に公開したため、多くの波及効果が生じた。特に、北海道大学、名古屋大学、中央大学等から賞賛の言葉や追加要請などがあつた。また、本学OB等から本学の図書館に対してコピーや購入などの問い合わせが来ている。このような反響は本プロジェクトが学外からも高評価であったことの、一つの現れであるといえよう。さらに、研究会を通してフランスの研究者との交流が持てたことはとても有益であった。

以下ではまず、(A)、(B)、(C) それぞれに対して、2004年度における成果を、具体的に紹介する。

(A) W代数・有理楕円曲面と弦理論

弦理論は重力を含む四つの力と物質を統一的に纏め上げる最有力候補として現在盛んに研究されているが、その過程において、弦理論の数学的な構造を解明することが重要である。昨年度に引継ぎ、この観点から本プロジェクトメンバーとその他の学外の研究者により、このテーマに関する研究会を3回開催した。

まず、2004年9月にはW代数と弦場の理論に焦点を絞った研究会を開催した。栗田英資氏(名古屋大)からは、弦理論において登場するVirasoro代数の対称性を拡大したW代数とその表現論、及び、行列模型やJack多項式等との対応関係についての解説が行われた。高橋智彦氏(奈良女子大)は、弦の場の理論の基本的構成法を説明し、その古典解としてタキオン凝縮解が存在する事を解説した。これらの話題は弦理論の構成法に大変有益であり、今村氏や矢澤氏を初めとする本プロジェクトメンバーの今後の発展の契機となった。

2004年12月の研究会においては、まず、酒井一博氏(1' Ecole Normale Supérieure)が有理楕円曲面と弦理論についての解説を行った。特に、超対称ゲージ理論のSeiberg-Witten理論・6次元非臨界E弦・ミラー対称性・位相的ゲージ理論等と有理楕円曲面との関連を明快に説明した。有理楕円曲面の話は、昨年行った研究会での山田泰彦氏(神戸大)と塩田徹治氏(立教大)の講演内容と直結しており、本学の塩田氏発案のモデル・ヴェイユ格子と深く関連している。これらは数学と物理が深く関連している題材であり、これからの進展に大いに期待できる。さらに酒井氏は、弦理論におけるAdS/CFT対応に表れる可積分系の構造の解説を行った。これは可積分系を専門とする本プロジェクトメンバーの寛氏にとっても有益な内容であり、新しい発想を得た。坂井秀隆氏(東京大)は、パンルベ方程式を有理曲面の理論により特徴付ける解説を行った。パンルベ方程式は行列模型においても登場する方程式であり、多くの課題と関連することがさらに見えてきた。

この二つの研究会の講演内容と、昨年本プロジェクトメンバーの杉本氏が行ったD-braneとK理論の関係についての講演内容を、立教SFR講究録No.4として出版した事は大変有意義であった。これは学外への波及効果も大きいと思われる。さらに、2005年2月に弦理論研究会を太刀川記念会館多目的ホールで開催し、弦理論における様々なテーマについての講演を企画した。特に、宇宙論と超弦理論、高次元重力理論、行列模型の一般座標変換、リウビル模型とブラックホール、ゲージ理論の分配関数、超弦理論による現象論、光円錐ゲージにおけるpp-wave上の弦場の理論とホログラフィー、AdS/CFT対応におけるスピッチェイン、超弦理論から導くハドロン等の講演は刺激的であった。これらの講演内容に加え、70名程の参加者による活発な議論はこれからの進展の契機となるであろう。講演内容はホームページ<http://www.rikkyo.ne.jp/grp/itp/workshop/index.htm>に公開されている。

研究【経過・**成果**】の概要 つづき

(B) ゲージ理論・行列模型と非平衡統計物理学

ゲージ理論や弦理論と行列模型との深い関わり合いについては1970年代から現代まで研究が続いている。一方、非平衡統計物理学においても非衝突ブラウン運動などにおいて行列模型が使われている。従って、行列模型を通して、ゲージ理論や弦理論と非平衡統計物理学との関係を調べることは両者にとって新たな進展の契機となる。また、数学の観点からも深い意味を持っている。そこで、これらをテーマとしている研究者の方々を中心として2004年11月に研究会を開催した。菅野浩明氏(名古屋大)からは、超対称ゲージ理論におけるNekrasovの分配関数と位相的弦理論及びD2ブレインのモジュライ空間の関係について丁寧な解説が行われた。松浦壮氏(理化学研究所)は、2次元のヤン・ミルズ理論の観点から弦理論や行列模型及び超対称ゲージ理論のプレポテンシャルについての解説を行った。香取眞理氏(中央大)は、1次元上の非衝突ブラウン運動について、特に時間的に非斉次な場合に関して解説をし、この際、行列模型が主要な役割を果たすことを強調した。笹本智弘氏(東京工業大)からは、1次元多核成長模型(PNG模型)と呼ばれる界面成長の原点における高さがランダム行列模型の最大値の揺らぎと等しい事の解説、及び、多行列模型・外場のあるPNG模型・非交叉ブラウン運動等の関係についての説明が行われた。ここに登場する行列模型は、本プロジェクトメンバーである矢彦沢氏が研究している非臨界弦模型と関連のある行列模型とも密接しており、これからの進展のヒントになった。さらに、行列模型は本プロジェクトメンバーの寛氏の専門である可積分系とも関わっており、非常に良い出発点となった。この研究会の講演内容は立教SFR講究録No.5として出版した事は大変有意義であった。

(C) 可積分系と関連する話題

ここでいう「可積分系」とは、物理学の諸分野に現れるモデルの中で、数学的に厳密な取り扱いが可能であるものを指す。こうした「可積分系」は、一見すると関係のない分野に対して、それらをつなぐ掛け橋のような役割を果たす場合がある。2004年度においては、数回の研究会・セミナーにおいて関連する話題を取り上げ、学外の専門家に講演を依頼した。樋上和弘氏(東大)からは、結び目の量子不変量と保型形式との関連についての解説が行われた。この結果は、本プロジェクトメンバーの佐藤信哉氏による量子不変量の研究、佐藤文廣氏による保型形式の研究の双方と関連し、これを契機とする今後の発展が期待される。竹山美宏氏(筑波大)からは量子スピノス系とゼータ関数の特殊値との関係が紹介された。これは、物理系と整数論との間の新たな結びつきを示唆する重要な結果である。川向洋之氏(三重大)、川上拓志氏(東京大)からは、物理学のゲージ理論に現れるヤン・ミルズ方程式の可積分系としての側面が紹介された。

以上のような結果は、全てある種の物理モデルに基づくものである一方、数学的な応用範囲は多岐にわたっており、しかも今後さらに新たな方向への発展が生まれる可能性がある。これらの結果が、可積分系の専門家のみが集まる研究会ではなく、本プロジェクトのように異なる分野の専門家が集まる機会に講演されたことの意義は大きい。そこで、さらに多くの人々の関心を引くべく、これらの結果をSFR講究録No.6としてまとめた。また、竹山氏の結果に現れるゼータ特殊値に関連して、多変数ゼータ関数の特殊値である「多重ゼータ値」についての、(故)荒川恒男氏(前本学教授、本プロジェクトメンバー)と金子昌信氏(九州大)による講義録を、SFR講究録No.7として発行した。さらに、可積分系に関連するまた別の話題として、曲面の微分幾何学との関係をまとめたものを、SFR講究録No.8として発行した。曲面論の中でも、特に調和写像の理論は物理学における場の理論のモデルと密接に関連しており、今回のような形で可積分系との関連を学習しやすい形でまとめておくことは意義深いと思われる。さらに、本プロジェクトのメンバーである矢彦沢氏の研究テーマである「情報の場の理論」と可積分系との関係を探る上でも、よい出発点を提供することができた。

上記の三つのテーマと関連して、本プロジェクトメンバーの個々の成果もあがっている。具体的には、佐藤文廣氏の保型形式と概均質ベクトル空間のゼータ関数の研究、杉本茂樹氏の超弦理論の双対性を用いたQCDのカイラル対称性の破れやハドロンのスペクトルの解析、田中秀和氏の場の理論における散乱断面積の計算に現れる展開係数をゼータ値を用いて書き下す手法の開発、寛三郎氏の可積分系における楕円ワイル群と楕円ルート系の研究、大杉英史氏のトーリック環のGorenstein性の研究、比嘉達夫氏ファインマン積分と位相不変量の研究、佐藤信哉氏のLongo-Rehren subfactorにおけるorbifold現象の研究、矢彦沢茂明氏のpp-wave上の弦の量子化の研究等が挙げられる。これまでに得られた共通認識の下、これらのテーマがさらに関連し、影響をおよぼしあいつつ発展すると期待できる。

※ この(様式2)に記入の、経過・成果の公表を見合わせる必要がある場合は、その理由及び差し控え期間等を記入した調書(A4縦型横書き1枚・自由様式)を添付すること。