

採用年度	平成 20 年度
種別	国際戦略型

先端研究拠点事業
平成20年度 事業実績報告書

平成21年 4月15日

領域・分野	数物系科学・数学
分科細目名（分科細目コード）	代数学（4101）
採用番号	18005
研究交流課題名（和文）	数論幾何・モチーフ理論・ガロア理論の新展開と、その社会的実用
研究交流課題名（英文）	New Developments of Arithmetic Geometry, Motive, Galois Theory, and Their Practical Applications
採用期間	平成20年 4月 1日～平成23年 3月31日 （36ヶ月）

《実施組織体制》

日本側

拠点機関名	広島大学
実施組織代表者（所属・職・氏名）	広島大学・学長・浅原 利正
コーディネーター（所属・職・氏名）	大学院理学研究科・教授・松本 眞
協力機関数	4
参加者数	125名

相手国1

国名	アメリカ
拠点機関名	デューク大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	理学部・教授・Richard Hain
協力機関数	0
参加者数	14名
マッチングファンド （出資機関・プログラム名）	National Science Foundation “Topology and Algebra and Number Theory, the Division of Mathematical Sciences of the NSF”

相手国 2

国名	イタリア
拠点機関名	パドバ大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	理学部・教授・Bruno Chiarellotto
協力機関数	0
参加者数	8名
マッチングファンド （出資機関・プログラム名）	Ministero dell' Universita' e della Ricerca (MUR) "Programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale, PRIN"

相手国 3

国名	フランス
拠点機関名	パリ11大学オルセー
コーディネーター（所属・職・氏名）	理学部・教授・Jean-Marc Fontaine
協力機関数	3
参加者数	60名
マッチングファンド （出資機関・プログラム名）	Agence Nationale de la Recherche "REP GAL AUT"

相手国 4

国名	カナダ
拠点機関名	モントリオール大学
コーディネーター（所属・職・氏名）	オペレーションリサーチ学科・教授・Pierre L'Ecuyer
協力機関数	0
参加者数	9名
マッチングファンド （出資機関・プログラム名）	Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada "Discovery Grants (Individual, Group and Subatomic Physics [SAP] Project)" Canadian Government via Prof. L'Ecuyer's Canada Research Chair on "stochastic simulation and optimization"

交流目標の達成（見込）状況

① 平成20年度事業計画における達成目標

本研究交流の目的は、世界的規模での研究交流を通して、

1. 現代的純粋数学理論を発展させる、
 2. 古典から最先端までの純粋数学理論より、暗号・乱数など実用に供される技術のシードを抽出し・展開させ、実用プログラムを開発する、
 3. 社会的実用性の立場から数学に求められるものを、純粋数学者にフィードバックする、
- の3点にある。

H19年度までに構築された国際的研究協力体制を元に、共同研究・セミナーなどを通して数論的代数幾何・モチーフ理論・ p 進幾何などの先端的純粋数学の研究交流を押しすすめ、暗号・乱数など実用に供される技術を開発し実際に社会に普及を図る。

大学院学生など若手研究者を中心に、海外の先端的研究者と交流する機会をつくり、さらに高度な実用理論に触れる機会を設け、研究協力拠点体制を構築する。

② 平成20年度事業計画の達成状況

A. 学術的な成果(代表的なものを抜粋)

純粋数学的成果:

名古屋大・古庄英和助教は、本事業による一部支援を受けて数論幾何において基本的な対象である「混合テートモチーフの生成元と関係式」を研究し、pentagon 関係式から double shuffle 関係式が導けるかという大予想を肯定的に解決し、論文は投稿中である。

Duke 大・Hain 教授と広島大学・松本教授はトレリ群から写像類群への自然な埋め込みが、相対 $pro-l$ 完備化後に単射性を失うことを示した。また、相対 $pro-l$ 完備化へのガロア作用が l の外で不分岐であることを示し、共著論文は Journal of Algebra 電子版に2009年3月に掲載された。また、Hain 教授、松本教授、Parlestein 准教授、東京大学寺杣教授は2008年5月に米国 MSRI 研究所にて2週間に渡る集中的研究を行い、混合ホッジ構造の変形に関する論文など、複数の論文執筆に着手した。

Padova 大・Chiarellotto 教授と広島大学・都築教授は p 進対数的増大度に関する「Dwork の問題」の正確な定式化と階数2の場合の証明を行い、共著論文が J. Inst. Math. Jussieu に受理された。(元パリ南大学の)フランス・カエン大学 Caro 教授と都築教授は「数論的D加群における極大過剰決定系」の研究を行い、共著論文を投稿中である。

広島大学・木村准教授は、ライデン大学 Jacobi Murre 教授と「有限次元モチーフのピカルモチーフへの応用」について共同論文を執筆し、投稿中である。

実用的成果:

モントリオール大学 L'Ecuyer 教授、広島大学の松本教授、広島大学特別研究員原本博史は、Karatsuba 多項式乗算にもとづくメルセンヌツイスターなどの長周期疑似乱数のジャンプアルゴリズムを共同開発し、国際会議 SETA08 にて発表、共著論文は Springer 社発行の Lecture Notes in Computer Science に掲載された。

実数乱数を高速に発生する疑似乱数発生器 dSFMT を広島大学松本教授・斎藤睦夫助教は共同開発し、成果を国際会議 MCQMC にて発表、現在論文が投稿中である。

乱数を評価する際に一般的な 2-level テストは、統計学をよく知らないユーザにはテスト結果の解釈に困窮することがある。広島大学特別研究員原本博史は、ユーザがテスト結果である「確率値の羅列」を見なくても、乱数の検定に対する合否を明確に理解できる新しいタイプの検定法を、L'Ecuyer-Simard 開発の TESTU01 上に構築した。成果を国際会議 MCQMC にて発表、現在論文を投稿中である。

B. 協力関係の基盤構築

国内で4回、イタリアで1回、フランスで1回、カナダで1回の国際研究集会を共催し、米国・イタリア・フランス・カナダ側研究者との研究協力体制を強化した。米国側とは、デューク大学と広島大学を中心にした二つの研究チーム(デューク大学 Hain 教授、広島大学松本教授、東京大学寺嶋教授らによる純粋数学研究、デューク大学 Trevide 教授、広島大学土肥教授らによる応用数学研究)による共同研究を行い、関係を強化した。「フランス・サマースクール」には若手の養成と若手同士の研究交流に重点をおき、博士課程学生を中心に5名の日本人参加者を補助した。

C. 若手育成

上記Bのほか、広島大学にて、博士課程学生および学振による海外 Fellow Ship による来日者らを主な発表者とする整数論集会を開催し、若手の研究成果発表ならびに交流の場を設けた。この集会における博士学生講演者らの多くが、のちに学振 PD や COE 研究員、大学助教などについており、本集会が若手育成に一役荷っているものと考えられる。有期ポジションである広島大学特別研究員の原本博史氏(元博士学生)は、08 年度に二回の国際研究集会発表を行い、相手国研究者との共著論文も出版され、2008 年 10 月 1 日より呉高等専門学校専任講師(期限なしポジション)となった。そのほか、本事業に参加の多くの若手研究者(特に博士学生)が学振 PD や特別研究員などに採用された。乱数研究者メンバーである西村山形大助教は、4 月より准教授に昇任が内定した。

D. 情報収集整備

国際的共同研究・セミナーを通して、まだ論文に書かれていない最新の研究成果についての情報を収集することができた。最新の数論幾何の発展はめざましいものがあり、日本の若手研究者をフランス・イタリアなどに派遣して、直接最先端の結果に触れさせることで、国際的な研究レベルの維持が続けられるようになってきていると感じている。また、広島大学が発行する国際学術雑誌 Hiroshima Mathematical Journal に対する投稿論文数が増えたほか、従来は比較的少なかった数論幾何分野からの投稿が増えたなど、情報の収集力が高まった。たとえば、パリ・ジュシュウ大学 Marco Boggi 研究員(当時)から、「写像類群の合同部分群問題予想」について、超楕円写像類群に関してはこの予想が成立するという重要な論文が投稿され、掲載予定となっている。

E. 事業の波及効果

本年度の研究交流成果により、本事業の国際的知名度は高いものとなった。フランス・レンヌ大学から、本事業の研究拠点になりたいという申し入れがあったが、残念ながらマッチングファンドの獲得ができなかった。しかしながら、海外 4 カ国との連携により、本事業の知名度はあがり、2009 年度はさらに多くの国際研究集会を共催するはこびとなった。

本事業の実用的な成果の一つである SFMT 擬似乱数発生法のプログラムは広島大学ホームページで公開され、現在までに35000件を超えるダウンロードがあり、世界に広がりつつある。また、乱数・アルゴリズム関係で、二つの国内企業から広島大学松本教授に共同研究開発の申し入れがあり、現在進行中となっている。

インターネット検索大手の「google 日本」で「先端研究拠点」を検索すると、09 年 3 月 23 日現在で、本事業が 3 番目の検索結果である。(1 位、2 位は学振のページである。)その米語版 <http://www.google.com/> で「Core-to-Core Program」を検索すると、本事業は 2 番目である。(1 位は学振のページ)。

実施状況

研究交流計画実施にあたる実施体制

- ・米国側研究拠点 Duke 大学コーディネータ Hain 教授・Pearlstein 准教授・広島大学松本教授・東京大学寺杣教授は2008年5月に米国 MSRI 研究所を2週間訪問し、共同研究を遂行したほか、本事業に関して米国 NSF への予算申請などの打ち合わせを行った。
- ・フランス側研究拠点パリ南大学コーディネータ Fontaine 教授と松本教授、協力機関東京大学斎藤毅教授とは電子メールで連絡をとりあい、フランス側予算確保の調整を行った。
- ・協力機関東北大学の都築教授は、本事業共催セミナーがイタリア側研究拠点パドバ大学で開かれたとき、イタリア側コーディネータ Chiarellotto 教授を訪問し共同研究を進める傍ら、本事業の次年度の計画について話し合った。
- ・カナダ側コーディネータ L' Ecuyer 教授と共催した実用的数学国際研究集会 Monte Carlo Quasi Monte Carlo2009 には、広島大学松本教授ほか5名を派遣し、共同研究および研究交流を図る傍ら、次年度以降の計画について話し合った。

日本側拠点機関における研究交流課題への取り組み（事務支援体制等の観点より）

- ・本事業委託手数料にて、英語が堪能な事務処理担当非常勤職員を一名 H18 年度から継続して雇用しており、本国際事業に関する数多の事務処理を行ってもらった。
- ・広島大学学術室国際企画連携グループと、上記非常勤職員は、緊密な協力のもと、海外からのセミナー参加者の旅行事務をはじめとする多くの事務処理を効率的に行った。同グループは、学術振興会との連絡をスムーズに行い、かつ、「一般の方の視点」による本事業へのコメント・フィードバックを与えることにより、本事業の実施に大いに役立った。
- ・広島大学理学研究科は学部長裁量経費から「Hiroshima Mathematical Journal の出版関連予算」として240万円、「純粋・実用数学先端研究拠点形成における研究教育環境整備」に関して144万円計上し、本事業の情報収集発信能力、ならびに研究能力の向上に協力した。
- ・広島大学大学院理学研究科は、本事業を「理学研究科が特に重点を置く事業」の一つとして認定しており、理学研究科の中期目標にも記載している。

共同研究

1. 日本側コーディネータ松本眞教授を代表者とし、米国コーディネータ・デューク大学ヘイン教授、京都大学玉川安騎男教授・望月新一教授、名古屋大学古庄助教、東京大学寺杣教授らをメンバーとする「ガロア群、写像類群とモジュライ空間の幾何」の共同研究。ヘイン教授・松本教授は2007年から執筆の共著論文を完成させ、2009年3月に Journal of Algebra に電子掲載された。ヘイン教授・松本教授・寺杣教授らは、混合ホッジ構造の変形や写像類群へのガロア作用などについて、複数の共著論文を執筆中である。
2. 協力機関東北大学のメンバー都築暢夫教授を代表者とする、イタリアパドバ大学との共同研究「数論的微分方程式とその Frobenius 構造」。イタリア側ではキアレロット教授、バルダサーリ教授らがメンバーである。キアレロット―都築は p 進対数的増大度に関する Dwork の問題」の階数2の場合の証明を与える論文を執筆し、掲載予定となったほか、研究拠点パリ南大学(当時所属)の Caro 准教授(現在はフランス・カン大学教授)と都築は共著論文を投稿中である。
3. 松本教授を代表者とし、研究協力者カナダ・モントリオール大学オペレーションリサーチ学科レキエ教授・広島大学斎藤睦夫助教・山形大学理学部西村助教・広島大学原本特別研究員らをメンバーとする共同研究「高速多機能擬似乱数の開発」。2008年6月にレキエ教授らとモントリオール大学で共催した「MCQMC2008」に松本教授・斎藤助教・原本特別研究員が参加、研究討論を行い共同研究を進めた。メルセンヌツイスタ擬似乱数発生法に対する高速ジャンプ技法(原本―松本―レキエ、論文掲載済み)、といった成果を挙げている。
4. 広島大学工学研究科土肥正教授・岡村准教授を代表者とし、米国研究拠点デューク大学 Trivedi 教授らと行った高速マルコフ連鎖解析とその応用の研究。松本教授らが開発した MT (Mersenne Twister)系乱数発生法の超高次元均等分布性と高速性を生かした、新しい一様化アルゴリズムを導入することで大規模マルコフモデルを高速に扱う。計算機・通信システムなどの実システムの信頼性・性能評価を行うための次世代コア技術を開発しつつある。土肥・岡村・Trivedi による共著論文“On-Line Adaptive Algorithms in Autonomic Restart Control”が投稿中となっている。

セミナー

1. 「数論幾何・代数幾何会議」2008年7月3日－7月6日（東京大学）
数論幾何、代数幾何に関連した、純粋理論から暗号など応用理論にいたるまで、国内外の一流のスピーカーを招いた研究集会である。協力機関メンバー寺杣友秀東大教授らがオルガナイザーをつとめ、フランス側拠点機関メンバーIllusie 教授や、モジュライ空間の幾何の研究で著名な協力研究者であるオランダ・Oort 教授が講演を行ったほか、暗号理論で世界的に著名な NTT 研究所の協力研究者岡本龍明氏の講演もあり、純粋数学者への応用理論のフィードバックの場でもある。本集会は、純粋数学とその符号理論への応用などの研究で高名な東京大学桂利明教授の還暦記念をかねている。一流の研究者らによる、純粋理論研究と応用研究の交流の場となり、本事業の発展に大きく寄与した。
2. 「モンテカルロ・準モンテカルロ法08」2008年7月6日－11日（モントリオール大学）
本会議は、隔年で開催される、モンテカルロ法関連では最も大きな規模の国際研究集会の一つである。本事業で編み出された高速擬似乱数発生法や、その評価方法を発表し喧伝したほか、準モンテカルロ法やその金融工学への実用的応用などに触れる機会でもあった。広島大学の博士課程学生らにも参加・発表させることで、若手の国際化と育成をもちかけた。初日には、初学者向けのチュートリアルも行われた。本事業による研究成果の世界への発信を行い、実用数学研究としてのモンテカルロ法・準モンテカルロ法の現在の動向に触れ、若手研究者の国際性を養成した。
3. 「サマースクール：p進群のp進表現」2008年7月7日－12日（パリ第7大学ジュシュー数学研究所）
ここ数年来、パリで毎年、数論および数論幾何の若手向けサマースクールが開催されており、それを本事業が協力・共催している。本年度のテーマは本事業の推進するp進表現の理論であった。若手研究者を中心に派遣をおこない、その分野での最先端の研究者の講演に触れ、また若手同士の研究交流をおこなった。セール予想の解決など、最新の数論研究に用いられているp進表現の理論を、国内の若手研究者が習得するとともに、世界の第一人者や若手との交流関係を築いた。
4. 「第7回広島整数論集会」2008年7月22日－25日（広島大学）
整数論・数論幾何学およびその応用に関する若手研究者による研究交流セミナー。特に、博士在学中の学生の優れた修士論文や、学振フェローとして日本に滞在する若手海外研究者の発表を中心にするにより、若手の育成に主眼を置いた。若手研究者を中心に発表者を選び、知見の交換と育成を図った。若手研究者に対し、実用の視点からのフィードバックを与える機会を持った。
5. 「p進微分方程式：ジレ・クリストール教授の業績をたたえて」2008年9月6日－9日
（イタリア・ブレッサノネ）
Gilles Christol 教授（パリ6大学）の業績をたたえ、彼の理論の最近のp進微分方程式とその数論幾何への応用に関する成果を発表する研究集会であった。イタリア・フランスを中心とする先端的p進微分方程式や数論幾何研究者との研究成果交流、協力体制の緊密化が行えた。
6. 「モチーフ勉強会第4回」2008年12月15日－19日（東京大学大学院数理科学研究科）
モチーフの基礎理論から最新理論にいたる、専門家によるサーベイを中心にした勉強会である。今回は、Bloch-Kato 予想で著名な米国ラットガース大学 C. Weibel 教授の連続講演、南カリフォルニア大学 Friedlander 教授ら海外から多数の講演があった。先端的研究を学ぶことで、国際共同研究に参加する能力を持つ若手研究者が育成できた。
7. 「第4回 鹿児島代数・解析・幾何セミナー」2009年2月16日－19日（鹿児島大学）
数学の中心分野である代数、解析、幾何の最新の研究成果発表と交流を通して、純粋数学理論の発展と応用の交流を図った。本研究集会は、鹿児島にて開催されるこのシリーズの集会の第4回目に当たる。代数、解析、幾何の最新の研究成果について、数学の広い分野から、18の講演（各1時間）を通し、広範囲な交流を行った。

研究者交流

- 1 4年に一回開かれるヨーロッパ最大の数学会議ECM（今回はオランダ、7/14～18）に、協力機関古庄助教を派遣し、最先端の数学の動向を調べた。
- 2 広島大学島田伊知朗教授を8/24～9/15 シンガポールに派遣し、かねてより交流の深い De-Qi Zhang 准教授を訪問、代数幾何に関する成果発表ならびに共同研究を進展させた。
- 3 東京大学研究生・中村健太郎氏を、10/8～11/8 研究拠点パドバ大学とリヨン大学に派遣して研究交流をおこなった。
- 4 東京大学博士課程学生・阿部知行氏を、協力機関レンヌ大学に11/12～12/23の間派遣し、研究交流をおこなった。
- 5 広島大学北臺如法特任助教を、1/22～2/12 米国MSRI 研究所に派遣し研究成果発表をおこなった。MSRI で開かれていた代数幾何の special half year にも参加。
- 6 京都大学博士学生・森田知真氏は、前年度より今年度9/24まで、フランス研究拠点パリ11大学オルセーを訪問して研究交流をおこなった。

そのほか、広島大・東大・京大・名古屋大を中心に、国内での研究連絡を密接におこない、国際交流を意義深いものにさせる準備とした。