

平成22年度 先端研究拠点事業—国際戦略型—  
事後評価資料

## 1. 概要

領域	数物系科学	分科	数学	
		細目	代数学 (4101)	
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 (英文) New Developments of Arithmetic Geometry, Motive, Galois Theory, and Their Practical Application			
実施期間 (拠点形成型時含む)	2006年 4月 1日 ~ 2010年 3月31日 (48か月)			
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 機関	参加者数	141 名	
交流相手国	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 機関	参加者数	14 名	
マッチングファンド (出資機関名)	Topology and Algebra and Number Theory, the Division of Mathematical Sciences of the NSF: DMS-0706955 (National Science Foundation)			
交流相手国	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	理学部数学科・教授・Bruno Chiarellotto			
協力機関数	0 機関	参加者数	8 名	
マッチングファンド (出資機関名)	Progetti di Ricerca Ateneo: "Rappresentazioni e Motivi" CPDA078279/07 (University of Padova)			

交流相手国	フランス		
拠点機関名	パリ 11 大学 Orsay		
コーディネーター 所属・職・氏名	理学部数学科・教授・Jean-Marc Fontaine		
協力機関数	3 機関	参加者数	61 名
マッチングファンド (出資機関名)	"REP GAL AUT": ANR - BLAN-06-1-138449 (Agence Nationale de la Recherche)		
交流相手国	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 機関	参加者数	9 名
マッチングファンド (出資機関名)	Discovery Grants: Individual, Group and Subatomic Physics [SAP] Project: ODGP110050 (Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada)  via Prof. L'Ecuyer's Canada Research Chair on "stochastic simulation and optimization" (Canadian Government)		

※交流相手国数に応じて記入欄を追加して記入してください。

## 2. 研究交流目標

移行審査申請時に計画した研究交流目標とその達成度について記載してください。(2頁以内)

### ○移行審査申請時の研究交流目標（移行審査資料に記載した目標を転載のこと）

#### 2-1 国際戦略型における交流目標

1)・ 拠点形成型における成果をふまえ、国際戦略型として研究交流を発展させるうえでの交流目標を、拠点形成型における目標との違いを明確にしつつ記載してください。

・ 国際戦略型として支援を受ける期間だけでなく、支援終了後5年間まで見据えた目標及び戦略性としてください。

拠点形成型事業における研究成果として、

ア 社会的実用段階に進んだ成果（すでに利用の進んでいる実用的擬似乱数 SFMT、高い評価を受けているストリーム暗号 CryptMT、高速ジャンプの計算法）

イ 高度な純粋数学的成果（数論的写像類群の相対マルセフ完備化による「モチーフの1進実現の構成と幾何的トポロジーを駆使した研究、 $p$ 進微分方程式の数論幾何的研究」など）

があがっている。また、研究交流として、毎年フランス・イタリアで若手をも対象とした国際研究集会を共催し、日本側からも多くの若手研究者を参加させたほか、広島大学および日本側協力機関でも国際研究集会を共催し、相手側機関をはじめ多くの国からの参加者があった。

戦略型においては、これらの研究成果と交流をさらに発展させ、かつ持続的なものとするを目標とする。拠点形成事業中に行った多くの研究討論から、興味深い研究シードが多数得られている。これらのシードを、相手国側研究者や若手研究者を巻き込んだ形で発展させていくことにより、拠点形成時に想像したよりも大きな成果を数多く挙げるができると考えられる。

また、拠点形成時に「国際研究集会開催」、および「博士課程学生派遣」に関するノウハウが蓄積された。これらの経験を元に、共同研究と研究者交流を持続的に展開しつつ、「先端的数学の発展と、その社会的実用」というテーマをさらに発展させた研究拠点協力体制を構築する。

2) 拠点形成型実施時における研究教育活動への実績・特色に触れながら、本事業により構築する国際学術交流拠点が拠点機関の研究教育活動においてどのように位置づけられるか、記入してください。

なお、現在申請中または過去5年間に他制度での機関支援型事業の助成<sup>注</sup>を得ている場合には、それらと本申請との相違点を含めて記入してください。

現在、日本側拠点機関の中心である広島大学理学研究科数学専攻では、機関支援型の事業は受けていない。

拠点形成事業により、拠点機関の博士課程学生を述べ3名、国際研究集会にて口頭発表させることができた。内容はそれぞれ査読論文として発表済み、および受理済みになっており、高く評価されている。また、広島で二回の国際研究集会を開くことで、拠点機関の教員・学生に最先端の研究者に触れる機会を作ることができた。

これらの成果から、本事業は広島大学大学院理学研究科から「重点事業」と認定されており（8つのうちの一つ）、学内予算措置による学内PDの採用申請などができるように配慮されている（ただし、平成18年度は該当者なし）。戦略型に昇格された場合には、広島大学、および同大学理学研究科から一層重点的に支援を受けられるものと期待している。

### ○目標に対する達成度

目標は想定以上に達成された。

目標は想定どおり達成された。

目標はある程度達成された。

目標はほとんど達成されなかった。

## 【理由】

国際的研究交流は想定以上に有効に進み、持続的な協力体制が構築された。戦略型に移行後、H20、21年度にカナダで1回、イタリアで1回、フランスで5回、日本で9回の国際会議を開催し、米国ではMSRI研究所にて2週間のclosedな会議を協催した。海外拠点の研究者との共同研究成果も上がり、多くの共著論文が出版されている他、投稿中・準備中となっている（Hain-松本、原本-松本- L'Ecuyer、Chiarellotto-都築、Abbes-斎藤毅など）。また、若手研究者を積極的に交流相手国に派遣し、海外の先端的研究を吸収させることで若手の育成にもつながった。本事業による海外派遣ののちに成果をあげ、学振PDやCOE研究員、助教などのポジションを得た博士学生は10名にのぼる。また、すでに職位を得ているメンバーのなかにも、昇進・栄転した教員が多く出た。また、海外の博士学生・若手研究者が日本の教員と共同研究成果を上げて、ポジションを得たり昇進をする例も複数あった（Cadoret-玉川、Kerz-斎藤秀司など）。

事業終了後のH22年度にも、米国側拠点コーディネータ Richard Hain 教授、フランス側拠点メンバー Luc Illusie 教授、フランス側協力機関の Abbes 教授、イタリア側拠点の Chiarellotto 教授が訪日し、本事業における共同研究を継続・発展させており、自律的持続的研究交流の基盤が形成されている。各国のコーディネータ、メンバーからは「是非本事業を継続させていきたい」という強い言葉が寄せられており、すでにイタリア側ではマッチングファンドを確保している。国際研究集会に出席するたびに「さらなる発展を」多数の研究者から求められ、(H22年度辞退の心苦しさとともに)国際的な評価の高さを実感させられる。

研究拠点としての広島大学理学研究科数学専攻においては、特に実用数学である疑似乱数研究において、世界レベルの研究成果と発信が行われるようになった。最近のCPUが備える Single Instruction Multiple Data (SIMD)に対応した疑似乱数発生法 SFMT や、最近のスーパーコンピュータが基礎としている画像処理ユニット (GPU)による一般科学計算 (GPGPU)に特化して高速化された Mersenne Twister for Graphic Processors (MTGP)が広島大学斎藤睦夫助教を中心に開発され、同大学のホームページから無料で配布されており、すでに4万件を超えるダウンロードがある。純粋数学分野においても、広島大学木村俊一教授、島田伊知朗教授、鎌田聖一教授らによる世界レベルの研究グループが構築されており、H22年度以降も年に2,3件の国際研究集会を継続していくほか、今まで整数論分野で若手研究者の育成に貢献してきたと思われる広島整数論集会も今後継続していく予定である。また、数学専攻が中心となり発行している学術雑誌 Hiroshima Mathematical Journal には、「ガロア群の曲線の基本群への作用の忠実性予想」の解決など、学術的に価値のある研究成果が内外から寄せられるようになった。

本事業は広島大学からも高く評価され、事業終了後も「理事裁量経費」から援助を受けている。H22年度は Hiroshima Mathematical Journal 出版、本事業継続事務、国際会議開催、博士学生の海外派遣に計490万円の援助が決まっている。

以上のように、「目標は想定以上に達成されている」と言えると思われるが、人的異動のために、広島大学における研究拠点としての集中度が計画より低くなった分を引いて「想定どおりに達成されている」という自己評価とした。

### 3. これまでの交流を通じて得られた成果

これまでの交流を通じての成果を「国際学術交流拠点の形成」、「成果の学術的価値」、「若手人材育成への貢献」、「情報集約性」、及び「社会貢献性」の観点から記載してください。(3頁以内)

#### ○国際学術交流拠点の形成

H21 年度だけでもフランスで 4 回、国内で 5 回、本課題による国際セミナーを共催した。米国側コーディネータ Hain 教授、フランス側協力者 Cadoret 助教ら多数のメンバーが来日した。イタリア側予算により、研究協力機関の東北大学都築暢夫教授が 2 か月間イタリア側研究拠点パドバ大学ならびにフランス・パリ 13 大学を訪問し共同研究を進めた。終了後の H22 年度にもイタリア側コーディネータのキアレロット教授、米国側コーディネータのヘイン教授、フランス拠点期間のイルージュ教授、フランス協力機関の Cadoret 助教らが来日して研究協力を発展させている。カナダ側コーディネータ・レキエ教授と松本は、2010 年 8 月にワルシャワで開催される国際会議において、共同研究の打ち合わせをした。この 4 年間で形成された人的研究交流に基づく協力関係の基盤は、極めて持続性が高いと考えられる。

本事業は持続的に、かつ自発的に発展していく段階に達しつつある。甚だ残念ながら、日本側コーディネータ松本眞が広島大学から東京大学に転出するため、本事業予算を「広島大学を中心とした拠点形成を継続する」

ために用いることが困難となったため、2010 年度においては事業予算を辞退するに至った。しかしながら、本事業の目標である「持続的な協力関係の基盤形成」はすでにほぼ達成しつつあり、今後も広範な研究協力体制が発展していくものと思われる。広島大学を中心とする実用的疑似乱数研究拠点、ならびにモチーフ・代数幾何・トポロジーの研究拠点、研究協力機関の東京大学・京都大学・東北大学・名古屋大学における数論幾何・モチーフ論の拠点と、フランス、イタリア、米国、カナダ、それぞれの研究拠点・協力機関との研究協力による結合は極めて強いものとなっている。

しかし、より正直なところを言えば、本事業が最も成果を上げたのは「人的な国際ネットワークの持続的・発展的基盤形成」と言える。数学という学問の特性上、実験装置などの物理的束縛がなく、人材が大学間で異動しやすい。広島大学からは 09 年に都築暢夫教授が東北大学に転出しているが、同時に北海道大学から島田伊知朗氏を広島大学教授に招き、本事業の中心メンバーである広島大学木村俊一准教授 (H22 年度より教授昇進)、石井亮准教授らとともに代数幾何の研究拠点を形成しており、また、広島大学が強い分野であるトポロジーの鎌田聖一・作間誠両教授とも共同で、国際研究集会を 2010 年度も開催していく予定となっている。また、本事業のメンバーであった若手の平之内俊郎氏は、京都大学 COE 研究員から 09 年 8 月に広島大学数学専攻助教に採用され、数論幾何面でも広島大学は強化されている。

#### ○成果の学術的価値

純粋数学的成果：日本側コーディネータ松本眞教授は米国側コーディネータ Hain 教授との共同研究により、「トレリ群の写像類群への埋め込みが、 $pro-I$  完備化後に単射でなくなることを示した。(出版済み) また、「楕円曲線のモジュライ空間の数論的相対完備化基本群の構造」ならびに「MHS の変形」(Hain 教授、松本眞、東京大学寺杣教授、Parlestine 准教授との共著) について、それぞれ論文を共同執筆中である。また、共同研究の副産物として、松本は「基本群へのガロア作用と外ガロア作用の核がほとんどすべての有理点で異なるような曲線」が多数存在することを示し、単著論文として投稿中である。この内容は、ケンブリッジ大学で開かれた anabelian geometry、研究集会、ならびにボルドー大学で開かれた本事業共催セミナーである Torsion of Abelian Schemes and Rational Points on Moduli Spaces において、それぞれ依頼講演として発表された。

京都大学玉川安騎男教授は、フランス側協力者ボルドー大学 Anna Cadoret 助教と曲線の数論的基本群の 1 進線形表現が strictly rationally perfect ならば、ガロア像が open ではなくなるような曲線上の点が有限個であることを示し、複数の共著論文を投稿中である。この内容は上記のボルドー大学における本事業共催セミナーにて連続基調講演として発表された。

東京大学・斎藤秀司教授はドイツ・エッセン大 Kerz 助教（ドイツ側研究協力者の Jansenn 教授の博士学生だった）との共同研究により、高次元類体論に関する加藤予想を、非常に広いクラスのスキームに対して証明した。Kertz 助教は H21, H22 両年度日本を訪問し、この結果や他の結果を広島大学代数学セミナー、ならびに本事業共催セミナーである「モチーフ勉強会（第 5 回）」（東京大学）にて招待講演として発表した。

広島大学木村俊一教授（当時准教授）は、モチーフ論的ゼータ関数を  $A^1$  ホモトピーで考えたときに有理的になる例を構成し、上記「モチーフ勉強会（第 5 回）」で発表した（海外共同研究成果である）。

応用数学的成果：広島大学における乱数研究チーム（松本眞、斎藤睦夫助教、数学専攻博士 2 年原瀬晋氏、広島大学博士課程卒業の原本博史呉高専講師）は、カナダ側コーディネータ・モントリオール大 P. L'Ecuyer 教授らとの研究討論の成果として、Couture-L'Ecuyer による均等分布次元計算アルゴリズムを 10 倍から 20 倍高速にすることに成功した。これにより、分散計算システム上に別々の漸化式を持つ疑似乱数発生法を割り振る手法を高速化できる。論文は、米国数学会誌 Mathematics of Computation に受理されたほか、ベルギーで開催された Monte Carlo 国際会議にて原瀬により口頭発表された。斎藤睦夫は、近年脚光を浴びている“Graphic Processor による科学シミュレーション”のために特化した並列高速疑似乱数発生法を開発し、ホームページから配布している。この成果は、統計数理研究所における国内会議で招待講演として発表された。

昨年度より研究した、実数乱数を高速に発生する疑似乱数発生器 dSFMT は、広島大学松本教授・斎藤睦夫助教の共著論文として査読付き国際会議録に掲載された。これら一連のプログラムは広島大学のホームページにて公開し、5 万件を超えるダウンロードがある。

研究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。元広島大学特別研究員・現在呉高専の原本博史講師は、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可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、論文は査読付き国際会議録に掲載された。

### ○若手人材育成への貢献

数学の世界では若手のポジションが少なく、極めて狭い門となっている。そんな中で、本事業のメンバーから数多く、任期付き・任期なしのポジションを得るものや、昇進するものが出ていることは、本事業が若手養成に成功していることを示すものだと考えている。例をあげれば、北大助教・京大 GCOE 研究員・数理解析研究所助教・広島大学助教・呉高専講師・韓国 KIAS 研究員などである。

海外でのセミナーに修士・博士学生を多数派遣し、また、セミナーにおいて院生を聴衆に意識した発表を組み込むなどの工夫が若手育成の成果を上げていると思われる。数学は 30 前の若いうちに大きな成果を上げるものが多い分野であり、院生のうちから海外の先端の研究者と交流を持つことは意義深い。コーディネータの経験においても、院生や助手のころの海外研究者との研究交流が、現在も太い持続的な研究協力体制につながっており、若い世代にもこのような場が確保できたことにより、将来の協力体制に期待ができる。

### ○情報集約性

先端的な研究は、それらが発表される研究集会に参加し、直接研究者と話し合うことによって情報を

得るのが最も有効である。本事業により開催したセミナー、共同研究は人から人への直接情報収集に大きく寄与した。

広島大学数学教室が発行している国際学術誌「Hiroshima Mathematical Journal」への投稿論文も、従来は少なかった数論幾何分野の投稿（特に長い論文）が増え、情報収集および発信機能が上がっている。

実用数学である「モンテカルロ法疑似乱数発生アルゴリズム開発」においては、本事業を通じて広島大学が世界的拠点となったと考えている。研究者数は小規模ながら、SIMD 用疑似乱数 SFMT, グラフィックプロセッサ用疑似乱数発生器 MTGP やその動的生成法 Dynamic Creator が、拠点メンバー斎藤睦夫氏、原瀬晋氏らにより開発され、広島大学のホームページからダウンロード可能となっている。オリジナルは C 言語で公開したが、他言語による実装が他国の研究チームからよせられ、それらも同じページで公開している。ダウンロード件数は 5 万件を超える。

### ○社会貢献性

国内の院生など若手メンバーが、研究員・助教・海外派遣研究員などにつぎつぎ選ばれており、当該分野全体の研究力を底上げしていると考えられる。さらに、東京大学斎藤秀司教授がドイツで院生だった Kerz 氏と共同研究成果を上げるなどで Kerz 氏が Essen 大の助教の職を得たり、京都大学玉川教授がフランスで院生だった Cadoret 氏と研究成果を上げて Cadoret 氏が Bordeaux 大学の助教の職を得るなど、海外の若手の育成にも寄与している。コーディネータ松本真にも、米国・スタンフォード大学の修士学生 Kyle Matoba 氏（指導教員は Art Owen 教授）が、H23 年度に 6 週間の滞在をして疑似乱数関連の研究をしたい旨申し出があった。このような「対等」な海外との協力関係、特に国内の若手育成のみならず海外の若手も育成することは、国際的観点から、日本の存在感を高めるとともに、将来的な協力関係を保証していくものと感じている。

より「実用的」な社会貢献として、上記に記載の「グラフィックプロセッサ用疑似乱数」は、グラフィックプロセッサ設計販売最大手の NVIDIA 社から直接、広島大学斎藤睦夫助教に設計を勧められたものであり、このような形で産業・学術の連携にも広がっている。最近のスーパーコンピュータのほとんどが、多数のグラフィックプロセッサを格子状につなげて並列計算をすることによってそのパフォーマンスを高めているものである。テラフロップス級の安価なスーパーコンピュータは 100 万円程度で購入できる。ここで確率的現象を含むシミュレーションを行うには疑似乱数が不可欠であり、そのようなアーキテクチャに特化した疑似乱数発生器は非常にニーズが高い。この研究成果は、従来のグラフィックプロセッサ向け疑似乱数よりも 10 倍程度高速に乱数を発生することができ、非常に広範な科学技術シミュレーションにおいて、有用なものであると考えている。実際、H22 年 8 月にワルシャワにて開催された MCQMC 2010 国際会議でこの内容を発表したあとに、論文とコードのありか（ホームページ）を求めてきた聴衆が 10 名ほどおり、うち一人は Waterloo 大学で開発中のライブラリにこのコードを組み込みたいと言うものであった。

これらの疑似乱数発生法の基本的原理は、「 $1 + 1 = 0$ 」が成り立つ数の体系において、多項式を考え、それらの商による無限小数を考えて幾何を行い、最適化をするというものである。このような「一見無意味な抽象数学」が、世界中のコンピュータで使われていることは興味深い。「数学の予期せざる効用」の一例として、公開講座や高校生向け講座において、本事業の成果の一部を解説している。

## 4. 実施状況

### (1) 戦略性

移行審査申請時に記載した拠点機関の将来構想及び全体戦略を踏まえて、拠点機関全体として、どのように戦略的かつ計画的に本事業を実施したかを記載してください。またそれがどのように拠点機関及び日本のプレゼンスを高めるのに役立ったか記載してください。

日本国内で、数学研究の国際拠点は東京大学・京都大学・数理解析研究所などに集中している。米国ではプリンストン大学やMSRI、フランスではIHESに代表されている。そんな中で、広島大学を拠点機関とし国内外で主導的な立場を保ちながら、かつ境界を限定しない発展的国際研究交流を行うために、研究テーマにおける独創性と一般性、研究機関における集中と分散のバランスをとった。別の言い方をすれば、数学研究においては維持発展しにくい「機関と機関の物理的なネットワーク」を構成するのではなく、より実質的と思われる「研究者と研究者の多層的なネットワーク」の構築を行った。

より率直に言えば、MSRI、プリンストン研究所、IHESなどと互角に対応できるのは日本では数理解析研究所か東大数理科学研究科程度である。それでは、既存の研究交流の延長に終わる可能性があり、新たな枠組みでの純粋数学交流や実用数学交流を行い、若手の研究の幅を広げ、新たな研究拠点を作るとはむずかしい。

一方、広島大学ではCOE・GCOEなどの大規模予算に対し、数学専攻提案の独創性の高い応募内容は評価されず、大学から応募することができなかった。そのような状況下で、本事業のような中規模ながら独創性の高く研究交流を重視した事業を広島大学を拠点とし、Duke大・Padova大・パリ南大・モンリオール大といった、(無遠慮ながら)総合トップではないかもしれないが、当該分野ではトップクラスの大学と連携することにより、独自のながら独善的でない、開かれた研究交流ネットワークを構築することができた。また、疑似乱数の分野では名実ともに世界トップクラスの研究拠点を広島に形成することができた。

研究集会であう多くの海外研究者に、「本事業は極めて有効に働いた。辞退は残念でならない。同種の事業を今後再開することはできないだろうか」という話を持ちかけられることから、我が国の存在感を上げしめたという実感がある。また、事業終了後も多くの訪日研究者がおり、ドイツ・イギリスなど本事業の相手国以外の国を巻き込みつつ、国内外若手を含めた研究交流が発展していることから、持続的な研究交流拠点の形成に大きく貢献したと考えている。

### (2) 拠点形成に向けた実施体制

拠点機関及び協力機関においてどのような運営体制をとっていたかについて、国内外の連携体制にも触れながら記載してください。

日本を中心に、米国・イタリア・フランス・カナダの各研究交流拠点間で、各コーディネータを中心に研究集会の開催・共同研究の進展・若手人材の交流について、電子メールや直接相対しての議論を緊密に行った。本事業は、機関対機関という組織間の交流レベルと、「人的ネットワーク間」の交流レベルという二つの面をもつ。前者に対しては、国際部国際企画・連携グループと、本事業予算により雇用した英語の堪能な非常勤職員による緊密な協力のもと、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、本事業の実施に大いに役立った。

後者の研究者による人的ネットワークの構築については、相手国機関と綿密な計画のもと、専門家向けの専門性の高いセミナー、若手に先端的話題を供給するセミナー、若手を主たる発表者とするセミナ



一、実用と純粋の垣根を超えるセミナーなどをバランスを考えて開催した。結果として、年齢的にも分野的にも層の厚い、持続的な研究ネットワークが構築されたと考えている。共同研究成果も多数上がったのみならず、新たな研究協力・共同研究のシーズを提供することにもなった。たとえば、2008年カナダでの本事業セミナーでの討論から、Owen-Su-松本-西村はマルコフ過程モンテカルロ法に、幾何的に最適化された数列を代入することで、近似計算の収束速度が数百倍に高速になる実験例を求めることに成功した。

研究拠点広島大学は、国内協力機関である東京大学、京都大学、名古屋大学、東北大学と緊密に連携し、セミナー開催時における話題や講演者の選定、海外派遣する学生の選出等を行った。結果として、持続的かつ発展的な人的ネットワークが形成されている。

## 5. 今後の展望

今後、当該拠点の研究交流活動を持続的に展開してく上での将来展望について記載してください。

広島大学研究拠点において、実用数学である疑似乱数アルゴリズムについてはすでに世界レベルの研究開発・情報発信拠点が形成されている。特に、広島大学数学専攻斎藤睦夫助教は、1. SIMD-oriented Fast Mersenne Twister 2. GPGPU 特化の疑似乱数 MTGP とその動的生成法 MTGPDG 3. 暗号用乱数 CryptMT など松本らと共同開発し広島大学のホームページからコードを無料で配布しており、海外からさまざまな反響・質問がよせられている。H22年4月に広島大学から東京大学に転出したコーディネータ松本は、H22年度も1カ月に二回程度のペースで斎藤氏を訪問し、ヤング図形を用いて乱数数列をマルコフ過程向けに最適化する実験などの共同研究を進めている。本研究は、スタンフォード大学統計学科の Art Owen 教授、Su 博士課程学生、山形大学准教授西村氏との共同研究である。斎藤氏は、疑似乱数にあらわれる代数学・幾何学に深い造詣があるだけでなく、最新の CPU・GPU の命令セットや並列性、ハードウェアアーキテクチャに造詣が深く、コンパイル後のコードのアセンブラを調べて数学アルゴリズムを最適化できる国内外でも希少な研究者であり、今後の疑似乱数・超一様数列の研究拠点を担う人材である。また、H22年度広島大学は本事業の継続のために理事裁量経費を配分した。この予算により、この方向の研究に不可欠な最新の CPU・GPU を備えた実験用計算機を購入している。また、同予算により国際会議開催費、Hiroshima Mathematical Journal の出版費が補助されている。

純粋数学においては、本事業により海外における広島大学数学専攻の認識度が上がり、関連する国際研究集会を今後も毎年数回広島で開催していく予定となっている。また、整数論の広い分野から、博士学生や PD などの若手の優れた研究成果の発表の場を提供することを一目的として開催してきた「広島整数論集会」も、H22年度は東北大学で(イタリア側コーディネータ Chiarellotto 教授が東北滞在中のため)開催したが、H23年度は広島大学での開催を予定している。Chiarellotto 教授は都築教授との共同研究を進めている。

相手国側研究拠点、ならびに国内協力機関との連携も、より発展しつつある。H22年度はフランス側拠点パリ南大学 Luc Illusie 教授が半年間東京大学に滞在したほか、米国側拠点コーディネータ Hain 教授も10日間東京大学を訪問して、松本・寺杣教授らとの共同研究を進めている。フランス協力機関レンヌ大学 Abbes 教授も来日の予定である。

数学における研究協力には、他の理系分野にはない特徴がある。

(1) 高価な実験機器などに頼る必要があまりない。

(2) 特定の不変なグループを構成してそのグループ内だけで研究協力をし、他のグループと排他的な競争

をすることが少ない。

(3)その普遍性から、人的資源（＝人材と時間）とテーマの相性、交流予算さえあれば研究協力が遂行できる。

本事業がテーマとしたモチーフ論、ガロア理論、数論的トポロジー、 $p$ 進幾何、疑似乱数などは日本の研究レベルが世界に伍する分野と思われ、それと特徴(2)、(3)により、対等で有機的な国際研究協力が自然に可能であった。お互いの利益となり、若手育成も進み、無理がない上、発展中の共同研究も増え、本事業による国際研究協力体制は持続的に自律的に発展していくと予想している。

一方、特徴の(2)、(3)により、ある大学のある特定のグループと固着的に研究協力をしていくのは自然にはおきない。数学においては人材が大学間を移動することも多く、研究協力の基盤は「人的ネットワーク」にあり、研究テーマも自然に変化し、協力グループも拡大したり、まったく新しいグループと協力体制に入ったり（前述スタンフォード大との共同研究の開始などがその例）するため、「目に見えるハコモノ」としての拠点を形成するのには向かなかつたかもしれない（京大数理解析研究所・フランスIHES・米国プリンストン高等研究所のような予算規模と人材規模が必要に思う）。一方で、柔軟に変化しながら新しい研究協力を展開していく、「持続的な人的ネットワーク」を形成することは、数学では上記特徴(1)(2)(3)から自然であり、それは十二分に達成されたと考えている。さらに、本事業により海外派遣された博士学生らが研究員・助教のポジションを得ているので、今後の国際研究協力を発展させてくれると期待できる（例：広島大学平之内助教がドイツから招へいをうけ H22 年度渡航、河村北大研究員が H22 フランスに渡航）。

本事業に関して、コーディネータ松本眞は、海外拠点・協力機関メンバーから「きわめて有効に働いているのに 1 年短縮して辞退するのは大変に残念である。是非、今後も類似の予算の獲得をして研究協力体制を拡大したい」という要請を多数いただいており、今後何らかの資金獲得をして一層の発展的国際研究協力基盤を形成していきたいと強く思っている。

## 6. 活動実績

(1)実施した「共同研究」について概略を記入してください。

1	研究課題・テーマ名	ガロア理論とモジュライ空間の幾何
	実施期間	平成18年度
	代表者 国名	米国
	所属機関・職・氏名	デューク大学・教授・Richard Hain
2	研究課題・テーマ名	p 進微分方程式と数論幾何
	実施期間	平成18年度
	代表者 国名	イタリア
	所属機関・職・氏名	パドバ大学・教授・Bruno Chiarellotto
3	研究課題・テーマ名	実用数学としての高速多機能擬似乱数
	実施期間	平成18年度
	代表者 国名	カナダ
	所属機関・職・氏名	モントリオール大学・教授・Pierre L'Ecuyer
4	研究課題・テーマ名	ガロア群、写像類群とモジュライ空間の幾何
	実施期間	平成19年度～平成21年度
	代表者 国名	米国
	所属機関・職・氏名	デューク大学・教授・Richard Hain
5	研究課題・テーマ名	数論的微分方程式とその Frobenius 構造
	実施期間	平成19年度～平成21年度
	代表者 国名	イタリア
	所属機関・職・氏名	パドバ大学・教授・Bruno Chiarellotto
6	研究課題・テーマ名	高速多機能擬似乱数の開発
	実施期間	平成19年度～平成21年度
	代表者 国名	カナダ
	所属機関・職・氏名	モントリオール大学・教授・Pierre L'Ecuyer
7	研究課題・テーマ名	高速マルコフ連鎖解析とその応用
	実施期間	平成20年度～平成21年度
	代表者 国名	米国
	所属機関・職・氏名	デューク大学・教授・Kishor S. Trivedi
8	研究課題・テーマ名	
	実施期間	
	代表者 国名	
	所属機関・職・氏名	

※ 記入欄が足りない場合には、適宜追加してください。

(2)この研究交流課題に関連した主な発表論文等(詳細は別表1により記入してください。)

※ 論文等総数	368 件	内訳	論文	231 件
※のうち、相手国参加研究者との共著	20件		著書	12 件
※のうち、本事業名が明記されているもの	95件		総説	21 件
			その他	104 件

(3)共同セミナーの開催実績について記入してください。(詳細は別表3により記入してください。)

(回)

	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
国内開催		6	4	4	5
海外開催		2	2	3	4
合計		8	6	7	9

(4)派遣・受入実績について記入してください。(詳細は別表4-1、4-2により記入してください。)

(名)

	平成 17 年度	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
派遣人数		17	27	30	42
受入人数*		0	0	0	0

\* 本事業経費により受け入れた人数を記入のこと。