

6. 拠点形成の目的

数学は人類文明の最深部に位置して科学全体の基盤となる基礎的学問分野であり、現代社会における科学・技術を支えている。本計画では、数学全般における長期的な視野のもとに次世代研究者を育成し、事業推進担当者を次の3グループにわけ、各々のテーマにおいて先端的数学の国際的拠点形成を行う。

第1グループ：無限と大域の対称性。テーマ：無限可積分系、幾何学的表現論、モジュライ空間の幾何

第2グループ：数論と代数幾何の融合。テーマ：双有理幾何、数論幾何

第3グループ：数理現象の解析。テーマ：複素力学系、数理流体力学、確率解析

数学の新しい発展は、常に異なるテーマ間の相互作用や新しい連関の発見によってもたらされてきた。この点に機能的に対応するため、上記の8つのテーマのほかにも萌芽的なテーマを積極的に取入れる。

数理解析研究所と理学研究科数学・数理解析専攻が協力して拠点を構成する。京都大学の将来構想にあるように世界的研究・教育拠点の形成を目指す。より詳しく、以下のような目標を掲げる。

第一に、研究者の直接交流の場を京都に形成することである。数学の発展には、他の自然科学のように大きな実験装置は必要としないが、研究者の直接の対話によりアイデアを提供し合って新しい視点を見つけていくことが不可欠である。国外では高等研究所(米)、数理科学研究所(米)、アイザック・ニュートン研究所(英)、マックス・プランク研究所(独)、アンリ・ポアンカレ研究所(仏)等が長短期の研究プログラムにより研究交流の成果を挙げている。数理解析研究所では公募によるプロジェクト研究を実施し大きな成果をあげてきたが、国内共同利用の制約があり国際的活動としては未だ十分でない。21世紀COE国際拠点形成にあたっては、数理解析研究所と数学教室を合わせた研究グループを基盤とする長期(3-12ヶ月)の国際共同研究プログラムを実行し、京都における国際的な研究交流のなかで、無限可積分系、幾何学的表現論、モジュライ空間の幾何、

双有理幾何、数論幾何、複素力学系、数理流体力学、確率解析などのテーマにおける独創的研究を進展させる。

第二に、次世代研究者の育成をめざす。数学の新たな発展は若い研究者の新しいアイデアに負うところが大きく、次世代研究者の育成は数学そのものの発展に直結している。大学院重点化によって大学院修士課程の入学定員は増えたものの、その平均的学力は、20年前に比べ劣っていると云わざるを得ない。このような状況のなかで、社会に対する人材の供給と研究者の育成を推進するためには、数学・数理解析専攻と数理解析研究所がそれぞれの特徴を生かし連携する必要がある。若い研究者にとって、大学院博士課程やポスドクなどの研究テーマを模索する時期に、国際的な研究交流の現場に立ち会う事はその才能を開花させる絶好の機会である。本拠点形成の中心的事業として、京都数学フェローを全国公募し、国際共同研究プログラムのなかで次世代研究者として育成する。また修士課程修了後大学院から巣立つスケールの大きな人材の養成にも、修士在学中に国際的な雰囲気のなかで研究させることは非常に有効である。

一方、数学という学問の性格においては、大学院入学以前の段階で通常のカリキュラムを越えて進んだ学習をすることが、独創的な研究を育てるために必須である。このためには、意欲ある学生に数学の魅力を伝え正しい方向性を与えなければならない。この目的に沿う1対1対話型の新たなプログラムを創成し、次世代研究者育成の一環とする。

7. 研究実施計画

本拠点の形成に当たっては、数理解析研究所、理学研究科数学・数理解析専攻両拠点23名の事業推進担当者を3グループに分け、京都数学フェロー、大学院生を加えた研究グループを構成する。さらに、国外の研究機関および両拠点以外の京都大学の研究科から、それぞれのグループに数名の研究協力者を加え、国際拠点としての性格を強化し京都大学における数学研究、教育の総合的体制を構築する。各グループに代表者(そのグループのとりまとめ)、プログラムディレクターを置き、3つのグループの有機的協力態勢をはかる。又、海外の研究者を含めた評価委員会を設け、平成17年度、平成19年度に評価を行い計画の向上をはかる。

第1グループ：無限と大域の対称性。21世紀における対称性の先端的問題は、無限次元代数の表現論と大域幾何における無限次元空間の研究である。無限可積分系や弦理論は両者を結ぶ鍵となっている。第一グループは、この「無限と大域の対称性」をテーマに事業担当者の深谷(代表者)、柏原、上野、三輪(プログラムディレクター)、河野、齋藤、中島、竹井、加藤(毅)に加えてB. Feigin(ランダウ研究所、ロシア)、P. Schapira(パリ大学、仏)、S.-J. Kang(KIAS、韓国)、Y.-G. Oh(同)、堀健太郎(トロント、カナダ)、松木敏彦(京都大学総合人間学部)、高崎金久(同)による研究を行なう。

第2グループ：数論と代数幾何の融合。数論は有史以来の数学の中心的テーマの一つである。しかし、数論的問題を幾何学的視点でとらえようという考え方が、20世紀にヴェイユの抽象代数多様体の理論、グロタンディクのスキーム理論等により、飛躍的に発展した。また、代数幾何学は他の分野との接点になることが多く、数論固有の問題だと思われていたことが代数幾何学を媒体として数理物理学等の研究に現れている。21世紀に入って、数論と代数幾何の融合は、数学のみならず他の科学分野にもますます多大な影響を与えられられる。第二グループは、この「数論と代数幾何の融合」をテーマに森(代表者)、吉田(敬)、向井、加藤(和)、玉川、望月、森脇(プログラムデ

イレクター)に加えてC. Soule(IHES、パリ)、M. Reid(ウォーリック、英)、齋藤裕(京大大学院人間環境学研究科)による研究を行う。

第3グループ：数理現象の解析。流体中の渦のような複雑な現象や、経済活動に見られるような予想の立てにくい現象を理論的に解明することは極めて今日的なテーマであり、技術的な応用にも結びつく。このような数理現象の解析は、数学に課せられた重要な使命の一つである。本グループでは、このような現象の数理モデルとして複素力学系と数理流体力学を研究する。又、数理現象の解析の基礎として確率解析の研究を行う。研究者には岡本(代表者)、高橋、穴倉(プログラムディレクター)、重川、大木谷、國府、熊谷に、山田道夫(平成15年4月より数理解析研究所教授)、藤重 悟(同)、劉 太平(台湾科学アカデミー数学研究所所長)、P. Constantin(シカゴ大学)を加える。

具体的な活動としては、国際的先端数学研究のため、各グループにおいてその年のテーマを設定して、3-12ヶ月間にわたり海外からの研究者5-30人が1-6ヶ月京都に滞在する長期滞在型国際共同研究(年間3件程度)を行う。1、2週間程度の国際シンポジウム(年間12件程度)を京都において開催する。

8. 教育実施計画

本拠点における学部・大学院教育で我々が目指すものは次の3つのカテゴリーの育成である。

- (A) 先端的数学の研究者、
- (B) 高度の数学的問題解決能力を身につけ中高教育や企業等の研究機関で社会に貢献する人材、
- (C) 高等数学に対する深い理解を基礎に一般企業あるいは行政の第一線で活躍する人材

本拠点の形成において教育面で中心となるものは(A)(B)であるがこれを切り離して行なうことはできない。(C)も含めた数学の専門教育の中で(B)さらに(A)の部分を特化していくプログラムを創出したい。特に数学においては若い頭脳の活躍が新しい発展に重要であるにもかかわらず、学部学生の学力低下が大学院教育(特に(A))を困難にしている。従って、学部教育の改善も重要度が高いと考える。このために学部教育においても大学院教育の基礎となる新たな取り組みを行なう。具体的には、以下のプログラムを予定している。

(1) 数学吉田塾(学部1、2年次)。数学へのきっかけを与え先端との距離感を身につけさせるため30名程度の1、2回生に対し週一回午後7~10時に数名の教官の交替による講義と討論の塾形式で数学吉田塾を開く。

(2) 1対1対話型教育による学部専門教育の高度化(学部3、4年次)。現在、大学院入学者の学力低下が大きな問題となっている。このため京都大学理学部では一般の学部学生の数学専門科目に対する理解を確実なものにするため、授業内容を整理するカリキュラム改革が進行中である。これにより大学院に進学する学生が基本的な学識を習得すると考えている。この改革をこのプログラムのTAによる3回生レベルの演習支援によって強化する。一方で特に優秀な学生に大学院レベルの教育を学部段階から実施する事も重要と考えている。3・4回生レベルで教官と学生が1対1で行なうセミナー形式の教育を実施する。このような指導を行ううえでの問題点は、学生と教官の年齢の差が大きくなりすぎていることである。過去には、20代の助手クラスの教官による学生指導での多くの成功例がある。このため研究支援職

員・教務補佐員をチューターとして採用し、1対1対話型教育を実現する。この結果、研究者を目指す優秀な大学院入学者を確保することが可能になり、併せて3年次終了時点からの進学者や大学院在学5年未満の博士の学位取得者の増加が見込まれる。数学・数理解析専攻における大学院教育は従来通り数理解析系では(A)のみ、数学系では(A)(B)にわたっての指導を行なうが、本拠点の形成により以下の新たな取り組みを創出する。

(3) 城崎新人セミナーと院生国際ネットワーク。教官の指導のもと、院生自らが企画して国内他大学の院生も集めてブレインストーミングを行なう。

(4) 京都オープンスクール事業

国内外の第一線の数学者を招き連続講演を行なう。大学院進学時のレベルと最先端の数学の基礎部分を繋ぐことが目的である。

(5) 京都数学フェロー等

TA、RA、研究教育支援職員、教務補佐員を多数採用する。TA、教務補佐員には演習支援を、RAには城崎新人セミナーの運営を、研究教育支援職員には演習、講究、(B)カテゴリーの大学院教育等の支援をさせることによって研究教育の円滑化をはかる。これに加えて研究に専念させる目的で京都数学フェローを創設する。これは、国内外からの公募により2~5年の任期で20名程度のPDに対して研究に専念できる自由な研究環境を与えるものである。海外の国際研究集会への参加を支援し必要と認められた場合は海外への長期滞在についても柔軟に考えたい。

9. 研究教育拠点形成活動実績

目的の達成状況

1) 世界最高水準の研究教育拠点形成計画全体の目的達成度。

当初の目的は十分達成されたと自負している。最終年度に行った外部評価（委員長：小島定吉東工大教授、前数学会理事長）の評価レポートは、「外部評価委員会は、プログラムの事業内容、多分野にわたる研究、大学院生の教育、ポスドク研究員の支援、さらに日本人数学者と海外研究者（訪問者）の参加のもとでの国際会議の運営、が高レベルであることに感銘を受けた。この成功は、数理解析研究所と大学院理学研究科数学教室の構成員による業務遂行の賜物である。このプロジェクトは、確かに「センターオブエクセレンス」と称するに値する。」と結論づけている。以下、具体的にこれを補足していきたい。

COEで行ったプロジェクト研究は、
平成15年度 複素力学系
平成16年度 代数解析的方法による可積分系の研究
平成17年度 Navier-Stokes方程式の数理とその応用
平成18年度 数論的代数幾何学の研究
平成19年度 ミラー対称性と位相的場の理論である。いずれも国際会議を含む4～7回のシンポジウムを開催し、世界的な数学者が参集した。たとえば平成15年度にはフィールズ賞受賞者であるジョン・ミルナー教授の集中講義が行われたし、平成18年度には数論幾何の世界的権威であるS. Bloch教授(シカゴ大学教授)を招聘することができた。

高水準の研究が続いていることは各種賞の受賞でも確認することができる。

- ・平成15年度大阪科学賞 向井 茂
- ・平成16年 藤原賞 森 重文
- ・平成17年学士院賞恩賜賞 加藤和也
- ・平成19年12月 COEリーダーの柏原正樹が学士院会員に選ばれる。
- ・日本学術振興会賞 望月新一（平成16年度）、中島 啓（平成17年度）、小林俊行（平成18年度）、大槻知忠（平成19年度）

- ・日本数学会春季賞 大槻知忠（平成15年度）、熊谷 隆（平成16年度）、望月拓郎（平成18年度）、中西賢次（平成19年度）、（望月 拓郎氏は、「純ツイスターD加群の理論」を建設し、いわゆるKashiwara Conjectureを解決した。彼のこの業績は特筆に値するものである。）
- ・科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手数学者賞 加藤 毅(平成18年度)、岩田 寛(平成19年度)、長谷川真人（平成20年度）
- ・平成20年 第一回湯川・朝永奨励賞 望月拓郎
- ・中島啓は2002年の国際数学者会議において基調講演を行った。また、2006年の国際数学者会議では加藤和也が基調講演をおこなった。4年に一度開催される同会議で基調講演を行うことは大きな栄誉であり、最近3回の国際数学者会議で基調講演を行っているのは日本人では本COE関係者のみである。
- ・リーダーの柏原正樹に平成20年度藤原賞が授与された。

教育面では、吉田塾、けいはんなセミナー、城崎新人セミナー、ソウル大学との若手交流会を毎年行った。

小島定吉東工大教授（前日本数学会理事長）を委員長とする外部評価委員会を設け、外国人2名を含む7名の委員によるレビューを受けた。そのアドバイスを今後の活動に生かしてゆく予定である。

- ### 2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与。
- 京都数学フェローを雇用した。国際公募を行い、外国人を含む優れたポスドクが集まった。
- 平成15年度 近藤 智、岸本 崇、Florin Ambro、
 - 平成16年度 近藤 智、Florin Ambro、Davide Guzzetti
 - 平成17年度 近藤 智、Florin Ambro、Davide Guzzetti、Beniot Collins
 - 平成18年度 近藤 智、Florin Ambro、Davide Guzzetti、山下 剛
 - 平成19年度 近藤 智、山下 剛

毎年行ってきた吉田塾では、学部1年生から4年生まで幅広い学生が集まり、講義や演習によって先端数学に触れることができるようにした。参加者は概ね15名から20名程度であった。けいはんなセミナー（毎冬）や城崎新人セミナー（年一回）では京大生にとどまらず、全国の若手に門戸を開いてセミナーを開催した。



（城崎新人セミナー）

ソウル大学との若手交流は毎年行った。ここでは2ないし3の講演とともに、ポスターセッションを設け、両大学の大学院生やポスドク研究者が成果を発表した。学生たちは、これまでともすれば欧米のみに目が向きがちであったのが、アジアにも強力なライバルがいることを認識するようになり、適度の緊張感を与える意味でも大変有効であった。ソウル大学数学教室もその有効性を認めており、今後も是非続け



てゆきたいと強く要請されている。
（ソウル大学におけるポスターセッション風景）

3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

A. 柏原正樹は量子群の理論において結晶基底

の概念を導入した。これは表現論と組み合わせ論をつなぐ鍵となっている。

B. 佐藤幹夫によって創始された代数解析は、柏原正樹と河合隆裕によって超局所解析の肉付けが与えられ、線形偏微分方程式論に画期的な影響を与えた。これは現在、表現論などの他分野にも大きな影響を与えつつある。

C. 森重文は代数多様体に関する3次元極小モデル理論を構築した。その高次元化は多くの数学者によって鋭意追求され続けている。森はまた、イスコフスキー予想を解決した。

D. 深谷賢治と中島啓によって、幾何学を偏微分方程式、数理物理学、表現論、可積分系、ホモロジー代数学、代数的組み合わせ論などと結びつけて研究する、現在国際的に大変盛んになっている分野が強化された。周期ハミルトン系についてのアーノルド予想やラグランジュ部分多様体のフレア-ホモロジーの研究（深谷カテゴリー）、籠多様体・ヒルベルト概形やその表現論への応用の研究やゲージ理論におけるネクラソフ予想の解決などの著しい成果が挙げられている。

E. 数理解体力学の基本予想のひとつであるオイラー方程式の解の爆発について、岡本と大木谷はモデルと数値計算を併用して研究した。彼らの研究は、これまでの予想とは逆に、オイラー方程式の解の爆発が必ずしも起きるとは限らないと示唆するものであり、この方面のターニングポイントとなるかもしれない。

4) 事業推進担当者相互の有機的連携

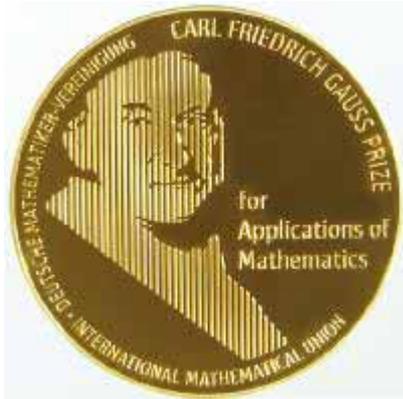
運営委員会を定期的に関き、予算のスムーズな執行に腐心した。このため、数理解析研究所と理学研究科数学数理解析専攻が一致協力して事業を行うことができた。様々な談話会には分野を超えて聴衆が集まるようになった。吉田塾、けいはんなセミナー、ソウル大学との若手交流は全分野が参加して行った。

5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

数理解析研究所とソウル大学（韓国）数学教室とは2000年に研究協力協定を結んだ。2006年にこれを更新し、これに基づいて大学院教育が活発に行われた。韓国高等研究所(KIAS)とも研究協定を結んでおり、シンポジウムへの招待があ

った。

2006年度に伊藤清名誉教授がガウス賞(数学の応用に関する最も権威のある賞)を受賞した。これを機会にシンガポール大学と合同で数理ファイナンスや確率解析のシンポジウムが行われた。



(ガウス賞メダル)

6)国内外に向けた情報発信

数理解析研究所は平成18年度より、「講究録別冊」の刊行を開始した。講究録別冊は英語で書かれたレフリーつきオリジナル論文のみを集めたものである。これによってCOEなどによって開催された国際会議の会議録が迅速に公表できるようになった。

COEの活動は平成17年と平成20年に外部評価を受けている。

7)拠点形成費等補助金の用途について(拠点形成のため効果的に使用されたか)

数学には実験設備は必要でない。ものではなく人に直接投資することが重要であり、ポスドクや教務補佐員等の給与がきわめて重要な位置を占めている。給与を決める際にも業績に応じた給与にするなど、適当な競争的環境を維持することに努めた。その意味で、本COE補助金は当初の目的に沿って使用され、それに見合った成果が上がったといえることができる。

予算配分は柏原正樹のリーダーシップのもと、運営委員会が行ない、分野ごとの機械的分配は行なっていない。もう少し予算規模が大きければ、大学院生をサマースクールに派遣するような事業も行なえたかもしれないが、これについては十分行なったとは言えない。それでも最終年度には5名の院生を米国でのチュート

リアルコースに派遣することができた。

今後の展望

本COEプログラムによって数学の研究が進み、数学研究を志す学生も増えた。同様の外部資金を獲得することによって、今後も数学研究の進展が大いに見込まれる。数理解析研究所では新たに「合宿型セミナー」という研究集会のシリーズを開始したが、これによってCOEプログラムの一部の機能を維持することが可能となっている。

反省点としては、補助金の絶対額の限界のため、大学院生に国際経験を積ませることが必ずしも十分にできなかったことがあげられる。また、昨今の就職状況の影響もあって、修士課程で就職する学生が増え、博士課程進学を志望する学生が減る危険のある情勢である。これを改善することが今後の課題である。

2006年5月に文部科学省科学技術政策研究所が発行したPolicy Study No.12は我が国における数学の必要性を論じ、「数学は諸科学の基盤となる科学である。そのため、数学の進歩を他分野に還元することは他分野のさらなる発展の可能性を生み出し、数学-他分野融合研究から得られる社会利益は巨大であると推測される。」と数学の必要性を強調している。この点で本学の果たすべき役割は大きいと認識しており、期待に添うべく努力を続けてゆきたい。

その他(世界的な研究教育拠点の形成が学内外に与えた影響度)

数学はすべての科学の基礎になっており、およそどのような研究分野とも共同することができる。数学と物理学との緊密な関係は17世紀以来よく知られているが、最近は経済学などとの連携も重要となっている。京大経済研究所などとの共同研究が芽生えつつある。

ソウル大学数学教室との協力が成果を生み出しているというニュースが伝わっているせいもあるが、他の機関からも共同研究・教育を始めたいという申し出を受けている。香港中文大学やモスクワ自由大学との連携は大いに有望であるので鋭意検討中である。

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	京都大学	拠点番号	G14
拠点のプログラム名称	先端数学の国際拠点形成と次世代研究者育成		
<p>1. 研究活動実績</p> <p>①この拠点形成計画に関連した主な発表論文名・著書名【公表】</p> <p>・事業推進担当者(拠点リーダーを含む)が事業実施期間中に既に発表したこの拠点形成計画に関連した主な論文等〔著書、公刊論文、学術雑誌、その他当該プログラムにおいて公刊したもの〕</p> <p>・本拠点形成計画の成果で、ディスカッション・ペーパー、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるもの ※著者名(全員) : 論文名、著書名、学会誌名、巻(号)、最初と最後の頁、発表年(西暦)の順に記入 波下線() : 拠点からコピーが提出されている論文 下線() : 拠点を形成する専攻等に所属し、拠点の研究活動に参加している博士課程後期学生</p> <p>・ M. Kashiwara and P. Schapira, Constructibility and duality for simple holonomic modules on complex symplectic manifolds. <i>Amer. J. Math.</i> 130, no. 1, 207–23, 2008.</p> <p>・ K. Jeong, S.–J. Kang, M. Kashiwara and D.–U. Shin, Abstract crystals for quantum generalized Kac–Moody algebras. <i>Int. Math. Res. Not. IMRN</i>, no. 1, Art. ID rnm 001, 19 pp., 2007</p> <p>・ N. Enomoto and M. Kashiwara, Symmetric crystals and affine Hecke algebras of type B. <i>Proc. Japan Acad. Ser. A Math. Sci.</i> 82, no. 8, 131–136, 2006.</p> <p>・ K. Jeong, S.–J. Kang and M. Kashiwara, Crystal bases for quantum generalized Kac–Moody algebras. <i>Proc. London Math. Soc.</i> (3) 90, no. 2, 395–438, 2005.</p> <p>・ M. Kashiwara and P. Schapira, Categories and sheaves. <i>Grundlehren der Mathematischen Wissenschaften</i>, 332. Springer–Verlag, Berlin, 2006.</p> <p>・ Y. Takei, Toward the exact WKB analysis for higher–order Painlevé equations— The case of Noumi–Yamada systems, <i>Publ. RIMS, Kyoto Univ.</i>, 40, 709–730, 2004.</p> <p>・ T. Aoki, T. Kawai, T. Koike and Y. Takei, On the exact WKB analysis of microdifferential operators of WKB type, <i>Ann. Inst. Fourier, Grenoble</i>, 54, 1393–1421, 2004.</p> <p>・ T. Aoki, T. Kawai, S. Sasaki, A. Shudo and Y. Takei, Virtual turning points and bifurcation of Stokes curves for higher order ordinary differential equations, <i>J. Phys. A</i>, 38, 3317–3336, 2005.</p> <p>・ T. Kawai and Y. Takei, WKB analysis of higher order Painlevé equations with a large parameter, <i>Adv. Math.</i>, 203, 636–672, 2006.</p> <p>・ Y. Takei and H. Wakako, Exact WKB analysis for the degenerate third Painlevé equation of type D_6, <i>Proc. Japan Acad., Ser. A</i>, 83, 63–68, 2007.</p> <p>・ H. Nakajima, Quiver varieties and t-analogs of q-characters of quantum affine algebras, <i>Ann. of Math.</i> 160, 1057–1097, 2004.</p> <p>・ J. Beck and H. Nakajima, Crystal bases and two–sided cells of quantum affine algebras, <i>Duke Math.</i>, 123, no. 2, 335–402, 2004.</p> <p>・ H. Nakajima and K. Yoshioka, Instanton counting on blowup. I. 4–dimensional pure gauge theory, <i>Invent. Math.</i> 162, no. 2, 313–355, 2005.</p> <p>・ H. Nakajima and K. Yoshioka, Instanton counting on blowup. II. K-theoretic partition function, <i>Transform. Groups</i> 10, no. 3–4, 489–519, 2005.</p> <p>・ L. Göttsche, H. Nakajima and K. Yoshioka, Instanton counting and Donaldson invariants, accepted for a publication in <i>Jour. of Diff. Geom.</i></p> <p>・ Y. G. Oh and K. Fukaya, Floer homology in symplectic geometry and in mirror symmetry. <i>International Congress of Mathematicians. Vol. II</i>, 879–905, <i>Eur. Math. Soc., Zurich</i>, 2006.</p> <p>・ K. Fukaya, Application of Floer homology of Lagrangian submanifolds to symplectic topology, in ‘Morse Theoretic Methods in Nonlinear Analysis and in Symplectic Topology’, 231–276, <i>NATO Sci. Ser. II Math. Phys. Chem.</i>, 217, Springer, 2006.</p> <p>・ K. Fukaya, Metric Riemannian geometry, in ‘Handbook of Differential Geometry’. Vol. II, 189–313, Elsevier/North-Holland, Amsterdam, 2006.</p> <p>・ K. Fukaya, Multivalued Morse theory, asymptotic analysis and mirror symmetry. <i>Graphs and patterns in mathematics and theoretical physics</i>, 205–278, <i>Proc. Sympos. Pure Math.</i>, 73, Amer. Math. Soc., Providence, RI, 2005.</p> <p>・ J. E. Andersen, G. Masbaum and K. Ueno, Topological quantum field theory and the Nielsen–Thurston classification of $M(0, 4)$, <i>Math. Proc. Cambridge Philos. Soc.</i> 141, 477–488, 2006.</p> <p>・ J. E. Andersen and K. Ueno, Geometric construction of modular functor from conformal field theory, <i>J. Knot Theory and its Ramification</i>, 16, 127–202, 2007.</p> <p>・ J. E. Andersen and K. Ueno, Abelian Conformal Field Theory and Determinant Bundles, <i>International J. Math.</i> 18, 919–993, 2007.</p> <p>・ Y. Kamiyama, D. Kishimoto, A. Kono and S. Tsukuda, Samelson products of $SO(3)$ and applications. <i>Glasg. Math. J.</i> 49, no. 2, 405–409, 2007.</p> <p>・ N. Iwase and A. Kono, Lusternik–Schnirelmann category of $Spin(9)$. <i>Trans. Amer. Math. Soc.</i> 359, no. 4, 1517–1526, 2007</p> <p>・ H. Hamanaka, D. Kishimoto and A. Kono, Self homotopy groups with large nilpotency classes. <i>Topology Appl.</i> 153, no. 14, 2425–2429, 2006.</p> <p>・ H. Hamanaka and A. Kono, Unstable K^1-group and homotopy type of certain gauge groups. <i>Proc. Roy. Soc. Edinburgh Sect. A</i> 136, no. 1, 149–155, 2006.</p> <p>・ S. Mori and N. Saito, Fano threefolds with wild conic bundle structures, <i>Proc. Japan Acad.</i>, 79, Ser. A, 111–113, 2003.</p> <p>・ S. Mori and Y. Prokhorov, On Q-conic bundles, <i>Publ. RIMS Kyoto Univ.</i>, 44, 315–369, 2008.</p> <p>・ S. Mori and Y. Prokhorov, On Q-conic bundles, II, <i>Publ. RIMS Kyoto Univ.</i>, accepted, 2008.</p> <p>・ M. Ide and S. Mukai, Canonical curves of genus eight, <i>Proc. Japan Acad.</i>, 3, 59–64, 2003.</p> <p>・ S. Mukai, Geometric realization of T-shaped root systems and counterexamples to Hilbert’s fourteenth problem, <i>Algebraic Transformation Groups and Algebraic Varieties</i>, (ed) V. L. Popov, Springer–Verlag, pp. 123–129, 2004.</p> <p>・ S. Mukai, Polarized K3 surfaces of genus thirteen, <i>Adv. Stud. Pure Math.</i>, 45, 315–326, 2006.</p> <p>・ S. Mukai and H. Nasu, Obstructions to deforming curves on a threefold, I, to appear in <i>J. Alg. Geom.</i></p> <p>・ S. Mukai, An introduction to invariants and moduli, Cambridge University Press, xx+502 pages, 2003.</p>			

- S. Mochizuki, The Absolute Anabelian Geometry of Canonical Curves, *Kazuya Kato's fiftieth birthday, Doc. Math. Extra Vol.*, pp. 609–640, 2003.
- S. Mochizuki, Semi-graphs of Anabelioids, *Publ. Res. Inst. Math. Sci.* **42**, pp. 221–322, 2006.
- S. Mochizuki, A combinatorial version of the Grothendieck conjecture, *Tohoku Math. J.* **59**, pp. 455–479, 2007.
- S. Mochizuki, Absolute anabelian cuspidalizations of proper hyperbolic curves, *J. Math. Kyoto Univ.* **47**, pp. 451–539, 2007.
- S. Mochizuki and A. Tamagawa, The algebraic and anabelian geometry of configuration spaces, *Hokkaido Math. J.* **37**, pp. 75–131, 2008.
- A. Moriwaki, Continuity of volumes on arithmetic varieties, to appear in *J. Algebraic Geometry*
- A. Moriwaki, Rigidity of log morphisms, *Publ. RIMS.* **44**, 371–401, 2008.
- I. Iwanari and A. Moriwaki, Dominant rational maps in the category of log schemes, *Tohoku Math. J.*, **59**, 481–525, 2007.
- A. Moriwaki, On the finiteness of abelian varieties with bounded modular height. Moduli spaces and arithmetic geometry, 157–187, *Adv. Stud. Pure Math.*, **45**, Math. Soc. Japan, Tokyo, 2006.
- A. Moriwaki, The number of algebraic cycles with bounded degree. *J. Math. Kyoto Univ.* **44**, no. 4, 819–890, 2004.
- A. Tamagawa, Unramified Skolem problems and unramified arithmetic Bertini theorems in positive characteristic, *Documenta Math. Extra Volume: Kazuya Kato's Fiftieth Birthday*, 789–831, 2003.
- A. Tamagawa, Finiteness of isomorphism classes of curves in positive characteristic with prescribed fundamental groups, *J. Algebraic Geom.* **13**, 675–724, 2004.
- A. Tamagawa, Resolution of nonsingularities of families of curves, *Publ. RIMS, Kyoto Univ.* **40**, no. 4, 1291–1336, 2004.
- M. Kim and A. Tamagawa, The l -component of the unipotent Albanese map, *Math. Ann.* **340**, no. 1, 223–235, 2008.
- H. Yoshida, Absolute CM-periods, *Mathematical Surveys and Monographs* **106**, pp. 282, American Mathematical Society, 2003.
- T. Kashio and H. Yoshida, On the p -adic absolute CM-period symbol, *Algebra and number theory* (ed. R. Tandon), Proc. of the Silver Jubilee Conference, University of Hyderabad, 359–399, Hindustan Book Agency, 2005.
- H. Yoshida, Absolute CM-periods—complex and p -adic, *Arithmetic geometry and number theory* (ed. L. Weng and I. Nakamura), 65–101, Word Scientific, 2006.
- 吉田敬之, 絶対 CM 周期について, *数学* **59**, 380–398, 2007.
- T. Kashio and H. Yoshida, On p -adic absolute CM-periods I, to appear in *Amer. J. Math.*
- J.-Y. Briend, S. Cantat and M. Shishikura, Linearity of the exceptional set for maps of $P^k(\mathbb{C})$, *Math. Annalen*, **330**, 39–43, 2004.
- J. H. Hubbard, D. Schleicher and M. Shishikura, A Topological Characterization of Postsingularly Finite Exponential Maps and Limits of Quadratic Differentials, *Journal of Amer. Math. Soc.* to appear.
- H. Kokubu and R. Roussarie, Existence of a singularly degenerate heteroclinic cycle in the Lorenz system and its dynamical consequences, Part I, *Journal of Dynamics and Differential Equations*, **16**, 513–557, 2004.
- F. Dumortier, S. Ibanez and H. Kokubu, Cocoon bifurcations in three dimensional reversible vector fields, *Nonlinearity* **19**, 305–328, 2006.
- T. Gedeon, H. Kokubu, K. Mischaikow and H. Oka, The Conley index for fast-slow systems II: Multi-dimensional slow variable, *Journal of Differential Equations* **225**, 242–307, 2006.
- H. Kokubu, D. Wilczak and P. Zgliczynski, Rigorous verification of the cocoon bifurcation in the Michelson system, *Nonlinearity* **20**, 2147–2174, 2007.
- M. Gameiro, T. Gedeon, W. Kalies, H. Kokubu, K. Mischaikow and H. Oka, Topological horseshoes of travelling waves for a fast-slow predator-prey system, *Journal of Dynamics and Differential Equations*, **19**, 623–654, 2007.
- S.-C. Kim and H. Okamoto, Bifurcations and inviscid limit of rhombic Navier-Stokes flows in tori, *IMA J. Appl. Math.*, **68**, 119–134, 2003.
- H. Okamoto & K. Ohkitani, On the role of the convection term in the equations of motion of incompressible fluid, *J. Phys. Soc. Japan*, **74**, 2737–2742, 2005.
- S.-C. Kim and H. Okamoto, Uniqueness of the exact solutions of the Navier-Stokes equations having null nonlinearity, *Proc. R. Soc. Edinburgh*, **136 A**, 1303–1315, 2006.
- C.-H. Cho, S. Hamada and H. Okamoto, On the finite difference approximation for a parabolic blow-up problem, *Japan J. Indust. Appl. Math.*, **24**, 131–160, 2007.
- H. Okamoto, Well-posedness of the generalized Proudman-Johnson equation without viscosity, to appear in *J. Math. Fluid Mech*
- K. Ohkitani and P. Constantin, Numerical study of the Eulerian-Lagrangian formulation of the Navier-Stokes equations, *Phys. Fluids* **15**–10, pp. 3251–3254, 2003.
- R. Pelz and K. Ohkitani, Linearly strained flows with and without boundaries —the regularizing effect of the pressure term—, *Fluid Dyn. Res.* **36**, 193–210, 2005.
- K. Ohkitani, A blow-up problem of a class of axisymmetric Navier-Stokes equations with infinite energy, *J. Math. Phys.* **48**, 065205-1—065205-13, 2007.
- K. Ohkitani, A Geometrical Study of 3D Incompressible Euler Flows with Clebsch potentials — a long-lived Euler flow and its power-law energy spectrum—, *Physica D*, in press, 2008.
- I. Shigekawa, Schrödinger operators on the Wiener space, *Communications on Stochastic Analysis*, **1**, 1–17, 2007
- I. Shigekawa, Defective intertwining property and generator domain, *J. Funct. Anal.* **239**, no. 2, 357–374, 2006.
- T. Miyokawa and I. Shigekawa, On equivalence of L^p -norms related to Schrödinger type operators on Riemannian manifolds, *Probab. Theory Related Fields* **135**, no. 4, 487–519, 2006.
- I. Shigekawa, L^p multiplier theorem for the Hodge-Kodaira operator. *Séminaire de Probabilités XXXVIII*, 226–246, Lecture Notes in Math., 1857, Springer, Berlin, 2005.
- I. Shigekawa, Vanishing theorem of the Hodge-Kodaira operator for differential forms on a convex domain of the Wiener space, *Infin. Dimens. Anal. Quantum Probab. Relat. Top.* **6**, suppl., 53–63, 2003.
- B. M. Hambly and T. Kumagai, Diffusion processes on fractal fields: heat kernel estimates and large deviations. *Probab. Theory Relat. Fields*, **127**, no. 3, 305–352, 2003.
- M. T. Barlow, T. Coulhon and T. Kumagai, Characterization of sub-Gaussian heat kernel estimates on strongly recurrent graphs. *Comm. Pure Appl. Math.*, **58**, no. 12, 1642–1677, 2005.
- M. Hino and T. Kumagai, A trace theorem for Dirichlet forms on fractals. *J. Func. Anal.*, **238**, no. 2, 578–611, 2006.
- R. F. Bass and T. Kumagai, Symmetric Markov chains on Z^d with unbounded range. *Trans. Amer. Math. Soc.*, **360**, no. 4, 2041–2075, 2008.
- M. T. Barlow, A. A. Járai, T. Kumagai and G. Slade, Random walk on the incipient infinite cluster for oriented percolation in high dimensions. *Comm. Math. Phys.*, **278**, 385–431, 2008.

②国際会議等の開催状況【公表】

(事業実施期間中に開催した主な国際会議等の開催時期・場所、会議等の名称、参加人数(うち外国人参加者数)、主な招待講演者(3名程度))

1. 2003年12月1日～5日、京都大学数理解析研究所、**Complex Dynamics in Higher Dimension**, 参加者50名(10名), Eric Bedford (Indiana University, USA), Charles Favre (CNRS, France), John Milnor (State University of New York at Stony Brook, USA)
2. 2004年1月19日～23日、京都大学数理解析研究所、**Topological and geometrical methods of complex differential equations**, 参加者45名(9名), Filippo Bracci (Univ. di Roma, Italy), Jorge Pereira (Universite de Rennes, France), Michael McQuillan (Univ. of Glasgow, UK)
3. 2004年2月4日～10日、京都大学数理解析研究所、**Quantum Integrable Systems and Infinite Dimensional Algebras**, 参加者63名(15名), B. FEIGIN (Landau Institute, Russia), V. BAZHANOV (Australian National Univ.), I. CHEREDNIK (Univ. of North Carolina, USA)
4. 2004年2月16日～20日、京都大学数理解析研究所、**Complex Dynamics**, 参加者60名(14名), Adrien Douady (Universite de Paris-Sud, France), Weixiao Shen (Univ. Warwick, UK), Genadi Levin (Hebrew Univ. of Jerusalem, Israel)
5. 2004年6月28日～7月2日、京都大学数理解析研究所、**Recent Trends in Exponential Asymptotics**, 参加者59名(11名) Ovidiu Costin (Rutgers Univ.), Adri Olde Daalhuis (Univ. of Edinburgh), Nalini Joshi (Univ. of Sydney)
6. 2004年7月26日～30日、京都大学理学部数学教室、**Mathematical Aspects of String Theory**, 参加者40名(12名) E. Getzler (NorthWestern University), K. Hori (堀) (University of Toronto), J. Sawon (SUNY at Stony Brook)
7. 2004年8月8日～21日、京都大学数理解析研究所、**International Workshop on Tropical Algebraic Geometry and Tropical Combinatorics**, 参加者37名(11名) D. Speyer (Univ. California, Berkeley, USA), O. Viro (Uppsala University, Sweden), E. Miller (Univ Minnesota, USA)
8. 2004年8月12日～13日、京都大学理学部数学教室、**Representation Theory and Geometry**, 参加者22名(7名) R. Bezrukavnikov (Northwestern Univ., USA) A. Braverman (Harvard Univ. USA), M. Finkelberg (Moscow Univ., Russia)
9. 2004年9月1日～4日、京都大学数理解析研究所、**Thirty years of the double exponential transforms**, 参加者70名(7名) James N. Lyness (Argonne National Laboratory, USA), I.H. Sloan (Univ. New South Wales, Australia), F. Stenger (Univ. Utah, USA)
10. 2005年7月7日～14日、京都大学数理解析研究所 & 京都大学時計台記念館国際交流ホール、**Algebraic Analysis of Differential Equations**, 参加者118名(18名), L. Boutet de Monvel (Univ. de Paris VI, France), J. Sjostrand (Ecole Polytechnique, France), H.J. Silverstone (Johns Hopkins Univ., USA)
11. 2005年9月28日～30日、京都大学数理解析研究所、**Some Recent Topics on Stochastic Models**, 参加者75名(8名), Martin Barlow (Univ. British Columbia, Canada), J.-D. Deuschel (Tech. Univ. Berlin, Germany), G.B. Arous (Courant Institute of Mathematical Sciences, USA)
12. 2006年1月6日～10日、京都大学数理解析研究所、**Kyoto Conference on the Navier-Stokes equations and their Applications**, 参加者140名(55名), J. T. Beale (Duke U.), Z. Xin (Chinese U. of Hong Kong), E. S. Titi (U. of California, Irvine; Weizmann Institute of Science)
13. 2006年5月15日～5月20日、京都大学数理解析研究所、**Algebraic, Analytic and Geometric Aspects of Complex Differential Equations and their Deformations. Painleve Hierarchies**, 参加者81名(19名), B. Malgrange (Grenoble, France), R. Schafke (Strasbourg, France), P. Boalch (ENS, France)
14. 2006年8月3日～7日、札幌コンベンションセンター、**The First China-Japan-Korea Joint Conference on Numerical Mathematics**, 参加者60名(21名), Zhong-Zhi Bai (Chinese Academy of Sciences, China), Dongwoo Sheen (Seoul National Univ., Korea), Tao Tang (Hong Kong Baptist University, 香港)
15. 2006年9月11日～15日、京都大学数理解析研究所、**Arithmetic Algebraic Geometry**, 参加者104名(18名), S. Bloch (Univ. Chicago, USA), D. Burns (King's College London, UK), D. Blasius (UCLA, USA)
16. 2006年10月23日～27日、京都大学数理解析研究所、**Arithmetic Galois Theory and Related Moduli Spaces**, 参加者57名(22名), P. Debes (Univ. Lille, France), J. Stix (IAS, USA), M. Dettweiler (Univ. Heidelberg, Germany)
17. 2006年11月20日～22日、京都大学数理解析研究所、**p-adic Arithmetic Geometry**, 参加者52名(13名), J. Coates (Univ. Cambridge, UK), J.-M. Fontaine (Univ. Paris 11, France), R. Sujatha (Tata Inst. Fund. Res., India)
18. 2007年5月10日～15日、京都大学大学院理学研究科数学教室 & 数理解析研究所、**Link homology and Categorification**, 参加者79名(21名), Peter Ozsvath (Columbia Univ., USA), Dror Bar-Natan (Univ. Toronto, Canada), Sabin Cautis (Harvard Univ., USA)
19. 2007年6月25日～30日、京都大学数理解析研究所 & 芝蘭会館稲盛ホール、**Algebraic Analysis and Around**, 参加者159名(57名), Seok-Jin Kang (Seoul National University, Korea), Pierre Schapira (Univ. Paris 6, France), A. Beilinson (Univ. Chicago, USA)
20. 2007年12月3日～7日、京都大学数理解析研究所、**Categorical Aspects of Algebraic Geometry in Mirror Symmetry**, 参加者65名(11名), A. Bondal (Steklov Institute, Russia), A. Kuznetsov (Steklov Institute, Russia)
21. 2007年12月3日～7日、京都大学理学研究科数学教室、**International Conference on Topology and its Applications 2007**, 参加者207名(96名), Zhihong Xia (Northwestern University, USA), Jesus Gonzalez (CINVESTAV, Mexico), Stevo Todorovic (University of Toronto, CNRS, Paris)
22. 2007年12月17日～18日、京都大学数理解析研究所、**Differential Equations and Asymptotic Analysis**, 参加者10名(2名), N. Joshi, Univ. Sydney, L. Stolovitch (Univ. Paul Sabatier, France), K. Kajiwara (Kyushu Univ. Japan)

2. 教育活動実績【公表】

博士課程等若手研究者の人材育成プログラムなど特色ある教育取組等についての、各取組の対象（選抜するものであればその方法を含む）、実施時期、具体的内容

◎ 数学吉田塾。

大学院で数学を目指す学生をリクルートするために学部学生を対象に、講義・セミナー・合宿を行った。その中で、加藤和也（理学研究科数学・数理解析専攻教授）：「素数のひみつ」他6回の数学入門講義が行われた。

◎ けいはんなセミナー。

けいはんなセミナーは大学院に進学することが決まっている学部学生を主たる対象とし、修士課程および博士課程の大学院生も加え、講演とセミナーを行う。これを通じて大学院での勉学を始められるようにする企画である。学生は全国から参加をつのり、京都大学以外からの参加も多かった。第1回：2004年2月20日～23日、第2回：2005年2月18～21日、第3回：2006年2月20日～23日、第4回：2007年2月16日～19日、第5回：2008年2月15日～18日。使われたテキストは内容的にはどれも高度なものであり、参加学生の多くがまだ学習していない内容を含んでいたが、チューターの熱心な指導もあって、短期間のうちに新しい概念を皆がマスターすることができた。また、多くの異なる大学の学生・院生・研究者がセミナーを通して親しくなり、今後の数学の研究でも協力していくことが期待できる。

◎ 城崎新人セミナー。

大学院博士課程の学生を中心としたセミナーである。院生自らが企画して国内他大学の院生も集めてブレインストーミングを行なう。これは基礎技術の訓練ではないので最先端に近いレベルで行なうことが効果的である。従って多人数での学校形式ではなく特定のテーマで近い分野の院生を集めて10名程度の規模で複数行なった。開催地としては、これまで数多くの数学シンポジウムが開催されてきた城崎で行った。第1回：2004年2月17日～20日、第2回：2005年2月21日～25日、第3回：2006年2月20日～23日、第4回：2007年2月19日～22日、第5回：2008年2月18日～21日。なお、報告集はインターネット上で公開している。

◎ ソウル大学数学教室との若手数学者交流会。

京都大学およびソウル大学双方から2, 3名の講師を派遣し、同時に10名程度の大学院生やポスドクがポスターセッションで意見交換を行った。学生はアジアのライバルを意識するようになり、モチベーションを高めることに大きく貢献した。実際、ソウル大学の数学研究のレベルはかなり高く、かつてのように欧米さえフォローしていれば最新動向がすべてわかるという時代ではなくなりつつある。第1回：2003年11月21日（@京都大学数学教室）。第2回：2004年9月16日（@ソウル大学数学教室）。第3回：2006年2月21日～22日（@京都大学数学教室）。第4回：2007年2月13日～14日（@ソウル大学数学教室）。第5回：2008年2月12日～13日（@京都大学芝蘭会館）。第5回は香港中文大学からも参加し、にぎやかに行われた。これは今後も何らかの資金を使って継続することにしている。

◎ 学生など若手数学者の、数学一般に対する教養を高めるため、数学史の特別講義を随時行った。以下はその例である。

■ 講師：Alex D.D. Craik (University of St Andrews)

講演題目：Prehistory of Faá di Bruno's formula

日時：2003年11月20日

■ 数学史連続講義

講師：小川 東（四日市大学）、上野健爾（京都大学）、林 知宏（学習院高等科）、小林龍彦（前橋工科大学）、曲 安京（西北大学）、佐藤健一（電気通信大学）他

2008年3月6日～9日

◎ 21世紀COEティータイム。

これはポスドクや博士課程学生などがコーヒーやお茶を飲みながら談話会を開いて若手どうしの横のつながりを強めよう、という企画である。専門の違う人々にもわかりやすくアイデアを説明する努力が必要となるので、教育効果も見込める。外部評価委員会（委員長：小島定吉 前日本数学会理事長）の勧告によって18年度の終わりに始まった。合計で31回のティータイムを開催し、いずれも熱のこもった講演が行われた。なお、この企画はすべてポスドク・大学院生によって自主的に運営され、教員は話を聞きに行くことはあっても運営にはいっさい干渉しなかった。内容は、数論・表現論などから偏微分方程式・流体力学まで多岐にわたっている。

21世紀COEプログラム委員会における事後評価結果

(総括評価)

設定された目的は十分達成された

(コメント)

拠点形成計画全体については、先端的数学における「無限と大域の対称性(無限可積分系、幾何学的表現論、モジュライ空間の幾何)」、「数論と代数幾何の融合(双有理幾何、数論幾何)」、「数理現象の解析(複素力学系、数理流体力学、確率解析)」の3グループ・8テーマ、及び萌芽的テーマの研究に関する国際的拠点を形成するとともに、長期的視野の下で次世代研究者を育成するという目的が十分達成されたと評価できる。

人材育成面については、「数学吉田塾」、大学院生の自主企画による「城崎新人セミナー」、「けいはんなセミナー」、国際公募による「京都数学フェロー」などの大学院生支援事業により、長期的視野に立った人材育成体制が整備・実行され、先端的数学者が順調に育成されており、また、高度の数学的問題解決能力を備えた専門家の育成状況も改善されつつあると評価できる。今後、高度の数理科学的問題解決能力を備えた専門家の活躍が不可欠となると予想される社会に、博士後期課程修了者を多数供給すべく、博士後期課程の定員充足に努めることが望まれる。

研究活動面については、事業推進担当者による受賞状況及び画期的論文の発表状況は目覚ましく、本事業による国際的なプロジェクト研究も毎年実施され、国際的研究拠点として主要研究者を世界各地から引きつけたことは評価できる。

補助事業終了後の持続的展開については、新たに「合宿型セミナー」という研究集会の開始に象徴される姿勢の変化が期待でき、外部資金などの更なる活用による発展を期待する。