

21 世紀 COE プログラム

「特異性から見た非線形構造の数学」

小澤 徹

文部科学省 21 世紀 COE プログラム平成 15 年度採択拠点事業「特異性から見た非線形構造」の活動実績につきましてご報告致します。

拠点形成の目的

非線形構造とは、まがった空間のような幾何学的な対象ばかりではなく、入力を 2 倍にしても結果が 2 倍とならないといった現象の背景にある構造のことです。本 COE は数学を含めた様々な学問分野で重要な非線形構造を、特異性に視点を置いて、非線形方程式、離散と連続、対称性と構造の 3 方面から研究し、その数学的基礎を築く事とともに、他分野との連携の強化を主要な目的としています。その結果として、数学自身及び他分野の根源的な発展を促していこうとするものです。その実現には、他分野との連携だけではなく、国内外との拠点との研究交流や若手研究者の育成、また文献知的財の整備発信が極めて重要な役割をもちます。そこで本 COE では、柔軟で横断的な 3 機能（先端研究機能、交流機能、情報文献機能）を構築し、従来個別に行ってきた取組みを有機的に連携させ、組織化して対応しました。

拠点形成の目的達成

その様な活動により、世界最高水準の研究教育拠点を形成するという目的は十分達成されたと思います。以下、その成果を具体的に述べます。交流機能の活動では、様々な国際研究集会や特別月を実施した結果、本 COE での目的である非線形構造と特異性に関する成果発信が十分になされました。また、北大数学は「魅力ある大学院教育」イニシアティブ事業の一環としての「全国滞在型共通教育プログラム」（2005～2006 年度）に参画し、トップクラスの数学研究者によるスクール形式の大学院専門教育を実施しました。このスクールを通して、国内の複数の大学院と単位互換を行い、教育連携を実現しました。さらに、交流協定の締結機関とは中間評価以降も順調に研究交流を重ね、本事業終了後もこの交流は継続しています。一方、交流協定締結準備中の機関（バレンシア大学、サンパウロ大学やダラム大学等）とも実質的な研究交流が促進され、本事業終了と同時にスタートした ITP（International training program）ではこれらの交流機関への大学院生派遣が実施されています。このように、本 COE 拠点形成事業は、今後の北大数学部門における国際交流の基礎を成すこととなりました。

先端研究機能では「先端研究のための数学センター」を核として活動を展開し、学内の異分野交流と他分野の活性化に実績をあげてきました。同センターでは、学内他専攻の研究者が先端研究を推進する上で遭遇した数学上の質問を扱い、新たな問題を数学研究に取込むことで、他分野との連携の強化を図りました。例えば、医学系の研究者からの質問は数学研究者との共同研究に結実しました。

産業との連携では、製鐵会社や発動機会社との共同研究に、COE ポスドクや博士後期課程の学生を参加させて、それが博士論文につながるなど大きな成果を得ました。

情報文献機能では、数学の研究基盤としての基礎情報を効果的に扱う手段を確立しました。数学の研究に関わる基礎情報は、次の4つに関する型に分類されます：(1) 論文、書籍等 (2) 論文、書籍等の本文 (3) セミナー、集中講義、研究集会の開催 (4) セミナー、集中講義、研究集会の記録（講義録、会議報告、講演動画等）。

これらの基礎情報を格納するプラットフォームは研究機関の個性を考慮し（バックアップを想定しても）複数存在するべきです。分散する基礎情報を統一して扱う仕様を決定し、実装と運用について研究しました。同時に、情報文献機能が想定する仕様と同様の機能を持つプラットフォームはいわゆる機関リポジトリとして各大学に設置されつつあります。これらのもとに、日本の主要な数学系学術出版誌及び研究集会の基礎情報は MathSciNet に頼らずとも統一的に扱うことが可能になりました。協力対象としては、日本数学会出版委員会技術専門部会、国立情報学研究所 Cyber Science Infrastructure プロジェクトです。2006 年からは京都大学数理解析研究所の共同利用事業 RIMS 研究集会を毎年開催しています。この協力過程で情報文献機能は情報学分野からも注目され、国立情報学研究所との共同研究にも結び付きました。

人材育成面での成果と拠点形成への寄与

交流機能の活動の一つとして計画された「数学総合若手研究集会」は初年度を除き毎年実施され、合計4回に及びました。この研究集会は、費用以外のすべてに於いて大学院生、ポスドクが中心となり実施する形態であり、その結果、これら若手研究者の自立が促進されました。分野も数学内部に限らず工学、物理学その他の分野の多岐にわたる国内外で例を見ない形式の研究集会となりました。この成功を踏まえ、この研究集会は本事業終了後も他の研究費により継続される予定です。また、国際公募によるポスドクの採用を通して、大学院生と外国人研究員との交流が進み、大学院生の国際感覚向上に多に役に立ちました。これらポスドクの約半数が本 COE のポスドク終了後大学教員となり、残りのほとんどの者は国内外の研究員として次の職を得た事は特筆に値します。これらのポスドク制度、及び博士課程大学院生に対する RA 制度を活用し、若手研究者を特別月等の3機能の活動に積極的に参加させました。同時に、若手研究者を主な対象とした COE 研究員連続講演会、COE 院生連続講演会、外国人研究員による「COE Research Course」等を実施することで、他の研究者とも十分討論のできる力を持った若手研究者の育成の仕組みを構築しました。実際、本 COE の若手研究者が国際会議で講演する機会も増え、大学院生をはじめ若手研究者が活気づき成果をあげました。

「数学の海」プロジェクトでは、数学と実装との双方に長けたポスドク、博士課程学生を4名見出しました。うち2名は大学教員、1名はNPO、1名は在学中であり、関連研究に関わっています。情報学においては情報を発信するのみならず、可能な限りの情報を一点に効果的に集約し、その上でマイニング処理等の付加価値を与えた上で元の発信者へ還元することが可能になりつつあります。情報文献機能は数学分野においてそのような実装を与えました。膨大な情報から価値のある情報を取り出すには本質的に数学が寄与するはずのものであり、上記のように情報文献機能を情報学としても遂行できるような博士取得者は、様々な研究分野で必要となっていくものと思われます。また、産業との連携、共同研究をきっかけとして、製鐵会社や発動機会社に就職し、製鐵技術や発動機技術の研究など、産業技術の研究に数学を活かして活躍する人材を輩出しました。

研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

各事業推進担当者が非線形構造に関わるテーマを多面的に選び、非線形方程式、離散と連続、対称性と構造の3方面から数学的基礎を構築するための研究を進めました。その結果、波動場の幾何と解析、偏微分方程式と微分幾何の特異点論的研究、散逸系における複雑時空パターンをはじめ、各方面で特筆すべき学術的新知見が創出され、原著論文は国際的に評価の高い学術専門誌に発表されました。さらに、利根川事業推進担当者が医学研究科石橋教授の質問に応える形で始まった共同研究は、酵素反応学における2次元生体膜での酵素反応速度について数理的説明を与えました。

また、電子化の時代に、論文、書類、セミナー、研究集会等の研究基盤としての基礎情報を効果的に保持し、発信することは重要です。本 COE では数学分野においてそれを扱う手法を確立しました。基礎情報を格納するプラットフォームは、研究機関の個性を考慮して、複数存在すべきです。そこで、分散する基礎情報を統一して扱う仕様を決定し、実装と運用について研究しました。この結果、日本の主要な数学学術出版誌及び研究集会の基礎情報はアメリカ数学会のレファレンス検索システム MathSciNet に頼らずとも統一的に扱うことが可能になりました。この研究は情報学の分野からも注目されました。情報学においては情報を発信するだけでなく、可能な限りの情報を一点に効果的に集約し、その上でデータマイニング処理等の付加価値を与えた上で元の発信者に還元することが可能になりつつあります。「数学の海」プロジェクトは、数学分野でその様なことを実装することに成功しました。研究者にとって使いやすい研究基盤をいかに構築していくかは、サービスサイエンスの典型的な課題ともいえます。「数学の海」プロジェクトは、情報学及びサイエンスの開発研究としての新分野を開拓したと高く評価されています。

事業推進担当者相互の有機的連携

事業推進担当者それぞれの得意不得意を考えて、担当を決めて事業を推進したため、効率良く有機的な連携を維持することができました。COE 運営委員会を定期的で開催し、詳細な議事録をまとめ、教室全員に公表しました。運営委員会では、テレビ会議システムを用いて東京の事業推進担当者との連携を密にしました。

国際競争力ある大学づくりへの貢献

北海道を中心に、小規模大学の数学研究者を対象に COE 協力研究員制度を創設しました。この制度により、協力研究員は北海道大学数学プレプリントシリーズ及び講究録に研究成果を発表できるようになり、また、文献の収集やセミナーへの参加等の点でも研究に対する便宜が図られました。その結果、本 COE を核とした数学研究者のネットワークが構築されました。この成功にならって、京都大学数理解析研究所ではこの制度を取り入れようと具体的検討に入っています。

本プログラムにおいては、小野薫（日本数学会賞秋季賞・井上學術賞）、儀我美一（井上學術賞）、蔵本由紀（朝日賞）、津田一郎（ICIAM 基調講演者）、中村郁（日本数学会代数学賞）をはじめとする世界トップレベルの多数の数学研究者が拠点形成を担ってきました。このように高い研究能力を活かし、テーマを絞った特別月や多数の特徴ある国際会議を開催して研究を進めるとともに、UCLA などの海外拠点と国際学術協定を締結し、研究交流を推進することにより、本学の国際的競争力を一層高いものにしました。さらに、国内初の

数学情報・文献検索サーバ「数学の海」のシステムを研究開発・運用するとともに、大学や分野を越えてその技術供与を行い、本学の国際的存在感の向上に貢献しました。

国内外に向けた情報発信

数学に対する社会の誤解を少しでも是正するために「数学の分野の紹介と特徴について」というパンフレットを作成しました。この過程でアメリカ数学会の数学分類表の日本語訳をアメリカ数学会と議論しながら完成させました。ホームページにも掲載したため、様々な方面に大きな影響を与えました。ホームページは日本国内で数学部門も含めて最も充実したものになっています。

今後の展望

先端研究機能の活動の成果をもとに、北大内の理学、工学、情報科学、生命科学、医学等を分野横断的に結ぶ「数学連携研究センター」が2008年4月に設置され、数学を基点とした国内外で類を見ない学際的な研究ネットワークの形成が行われつつあります。

交流機能では、数理学の展開、Navier-Stokes Equations、Dispersive Equations、特異点論と関連分野の各テーマで特別月を開催し、国際学術拠点として世界に広く認知されました。また、現在の学術交流協定をバレンシア大学（スペイン）、サンパウロ大学（ブラジル）との交流協定（大学間協定）へと拡大する取組みを始めていますが、事務レベルの障害により、現在も継続協議中のままとなっています。一方、その間、実質的な研究者レベルの交流は進んでおり、それを基礎にさらに、国際的な研究交流ネットワークの構築が視野に入ってきています。実際、本 COE 事業終了と同時にスタートした ITP 事業では、主にこのネットワークを通じて大学院生の短期、長期の留学を実施しています。

情報文献機能の行っている「数学の海」プロジェクトで、分散する数学の基礎情報（論文、書類、セミナー研究者の情報）を統一して扱う仕様を決定し、実装と運用について研究しました。このプロジェクトは国立情報研究所 SPARC Japan のもとに1年間継続することになっており、有効性が認められればさらに継続する可能性があります。数学の研究基盤を強化する「数学の海」プロジェクトを強化発展させることは、数学分野以外のすべての科学技術分野にとって、特に情報学の課題としても重要です。また研究サービスという点ではサービスサイエンスの課題でもあります。この方面の人材は非常に手薄であり、数学出身者が多く必要とされる分野です。今後、この分野の開発研究をも継続していきたいと思えます。

本 COE 開始前、我が国で「数学」は旧文部省系の展開してきた「学術」の一学問として扱われるのみで、旧科学技術庁系が推進してきた「科学技術」政策には入っていませんでした。数学研究を振興し、科学技術の諸分野との連携を良くする事が科学技術全般の発展にとって極めて重要であるということが、我が国ではほとんど認識されてこなかった事が原因と考えられます。数学自身の深化とともに、数学と他分野の連携を強め、科学技術全般の発展に寄与していこうとする本 COE の考え方は、我が国の科学技術政策の改善に大きな影響を与えています。特に「数学」が科学技術政策の中で取り上げられるようになった事は、本 COE の成果といえます。

例えば、津田・儀我両事業推進担当者は2004年5月27日、文部科学省科学技術政策研

研究所（以下、政策研究所）に招かれ、「数学で何が出来るか—なぜ科学技術に重要か、どうすれば有効に活用出来るか」という演題で講演を行い、本 COE の理念を詳しく説いています（記録は科学技術政策研究所講演録—147, 2004 年 11 月として刊行）。両氏は 2005 年 5 月 10 日、政策研と（社）日本数学会共催のワークショップ「数学の将来シナリオを考える」に招かれ、「他分野との関わり（北大の試み）」、「数学を基点とする分野横断型研究拠点へ向けて」という演題で講演を行い、本 COE の活動を紹介し、将来に向けての提案を行いました（記録は政策研「科学技術動向」2005 年 6 月号に掲載）。さらに両氏は 2006 年 5 月 17 日に（社）日本数学会と日本学術会議主催の「礎の学問：数学—数学研究と諸科学・産業技術との連携」にも招かれ、同趣旨の講演を行いました（記録は「科学技術動向」2006 年 7 月号に掲載）。これらの活動の成果として、2007 年より JST 戦略的創造研究推進事業「社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学／数理科学研究によるブレークスルーの探索」が採択され、研究総括者として本 COE の事業推進担当者である西浦廉政教授が選任されました。なお JST の 2007 年度同事業の募集要項の戦略目標に、本 COE 先端研究機能の「先端研究のための数学センター」での取り組みが北大の名前とともに取り上げられています。戦略目標に大学の具体名入りで紹介されることは極めて異例であるとの事です。

また、本 COE の活動は、読売新聞（2005 年 10 月 5 日）、毎日新聞（2006 年 9 月 7 日）、日経産業新聞（2006 年 10 月 7 日）、北海道新聞（2006 年 11 月 14 日、2007 年 6 月 8 日、6 月 14 日）、毎日新聞（2007 年 3 月 10 日）、数学セミナー（2004 年 4 月号、2007 年 12 月）等で紹介されるなど、社会的にも注目されました。

拠点形成費等補助金は効果的に使用させていただきました。人件費の占める割合が多く、予算の制約上、十分な対価を充てられなかったのが残念です。研究に関する部分は事業推進担当者の獲得した研究費でカバーしました。

21 世紀 COE プログラム平成 15 年度採択拠点事業は平成 19 年度を以って終了致しましたが本学数学教室の研究教育活動に終わりは無く今後共様々な時限付プログラムの支援も視野に入れつつ実績を挙げていく所存です。

同窓会の皆様におかれましては、この様な世界にも類を見ない研究教育拠点としての数学教室の活動に、ご理解ご協力を戴きます様今後共よろしくお願い申し上げます。

（数学科 特別会員
早稲田大学理工学術院 教授）