

## CREST「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」 研究領域事後評価報告書

### 総合所見

数学は自然を語る言葉であるが、我が国においては永らく「忘れられた科学」であった。本研究領域は、戦略的創造研究推進事業で初めての数学領域として、同時にさきがけ・CREST 複合領域として、卓越した成果を挙げるとともに、本事業として新たなモデルを創出したといえよう。また、数学を核とする研究体制としてもヴァーチャル・インスティテュートというアイデアは将来に大きな影響を与えることになる。

研究総括は、数学・数理科学分野の現況、とくに我が国固有の特性を踏まえて、数学と諸分野の協働によるブレークスルーを目指し、知的ハブとしての「ヴァーチャル・インスティテュート」を標榜して、ヘテロな研究者集団のなすネットワークを形成し、大きな成果をもたらした。

領域アドバイザー、さきがけ研究者、CREST 代表研究者の人選も適切であり、領域会議、さきがけ数学塾、JST 数学キャラバン、文部科学省協働ワークショップ、領域シンポジウム、国際会議 (CREST-SBM (Search for Breakthrough by Mathematics) International Symposium)、大学訪問 (サイトビジット)、チーム間の交流、領域会議、チームインタビューなどを有機的に配して、本研究領域の運営体制を構築し、適切なマネジメントを行った。さらに、さきがけ先行型複合領域のメリットを活かして CREST への継続展開 3 件も実現した。

これにより「ポリバレント」(polyvalent:多価) な研究を模索する若手研究者への指導・助言を行うシステムが確立され、若くて優秀な数学者に対して「場」を与えることに成功し、これまでの数学者の在り方と共存する新たなタイプの人材群が輩出しつつある。また、CREST の各研究課題において主導的な役割を担う研究者たちが相互に刺激し合い、数学領域におけるチーム型研究の有り様に関する共通理解を醸成したことは、ややもすれば閉鎖的と言われてきた日本における数学文化のイノベーションという観点からも、特筆するに値する。

注目すべき研究成果としては、数学的には予想されていたダイヤモンドツイン(K4 物質)がナノ物質合成への大きな動機付けを与えたこと、および、3 チームが放射線医学、数理腫瘍学、皮膚疾患に初めて取り組み、例えば水藤チームにおいては専門医による診断の背後にある数学的な根拠および数値指標の抽出に成功し、その普及の可能性を開いた。さらに、計算錯覚学、デジタル映像数学という新分野の創出も認められる。

アウトリーチ活動も後半はさらに強化され、国際会議招待講演数や特許出願数も数学・数理科学領域としては遜色のないものである。

以上を総括し、本研究領域は総合的に特に優れていると評価できる。

## 1. 研究領域としての成果について

### (1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

選ばれた研究課題は、工学や物理、化学、医学、経済学に渡り選択の幅も十分に広く、協働する諸分野のバランスを配慮しつつ、将来の可能性に重点がおかれていて、適切であった。研究者の専門・年齢分布も多様で、社会的なニーズの高さとブレークスルーへの潜在的な可能性に関する判断も適切であった。とくに、さきがけ研究者から3件がCRESTへの展開にも成功している。(坂上チーム、水藤チームおよび長山チーム)

領域アドバイザーの人選も的を射たものであり、とくに、アドバイザーからの積極的な助言・提言があり、それに基づき、運営方針の策定や指導などがより有効に行われたことがうかがえる。

本研究領域はJSTの戦略的創造研究推進事業の中で数学を中心に据えて諸分野と協働した初めての研究領域であり、研究領域の運営は他の研究領域には見られない多くの困難が伴ったと推察されるが、さきがけ数学塾の開催に始まり、領域シンポジウム、チーム間の交流、領域会議、チームインタビュー等を通じて、研究課題間の連携とともに研究領域としての方針の徹底が図られ、同時に進捗状況の把握が行われて適切な指導に繋がったものと判断している。研究費の配分は適切であり、とくに追加研究費の配分は時宜を得たものであったと評価できる。人材育成に関しては、「ポリバレント」(polyvalent:多価)な若手の育成は順調に進んだものと思われる。さらに、研究代表者クラスにまで及ぶ意識改革を図ったことが推察され、そこから将来の研究総括クラスの人材への成長の可能性も期待される。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていたと評価できる。

### (2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

#### ① 研究成果の科学技術への貢献

発表論文、国際会議の招待講演数、特許出願数など、データは数学・数理科学関係の一領域として十分な水準のものであると判断する。

小谷チームは世界をリードする水準にあり、今後もWPI-AIMR(World Premier International Research-Advanced Institute for Material Research)として物質科学への貢献とともに数学への還元が期待される。とくに、その活動全体は、数学的には予想されていたダイヤモンドツイン(K4物質)がナノ物質合成に動機付けを与えたことも含め、数学が材料科学に大きな役割を果たしうることを明確に示した象徴的な出来事であった。

医学・生理学分野と数学の協働は国内では稀であったが、3チーム(水藤、鈴木および長山チーム)が放射線医学、数理腫瘍学、皮膚疾患に初めて取り組み、例えば水藤チームにおいては専門医による診断の背後にある数学的な根拠および数値指標の抽出に成功し、その普及の可能性を開いた。

その他の脳神経-身体リズム、生物ロコモーション、エラーフリーな計算等のチームの成

果も高い水準にあり、各種の大規模データに対する位相幾何的手法の展開は数学からの貢献として特筆に値する。さらに、計算錯覚学、デジタル映像数学という新分野の創出も認められる。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については、特に高い水準にあると評価できる。

## ②研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

数学の科学技術イノベーションへの貢献において、中進国の日本は欧米に後れをとってきた。そのことが本研究領域設定の大きな動機となったものとする。もちろん、日本発の数学イノベーションの例として世界的に知られている確率微分方程式のように例外もあるが、これは数学界、産業界双方に、さらに言えば、明治維新以来の歴史に起因するものであり、一朝一夕に改善されるものではない。

また、数学領域は結果が出るのにきわめて時間のかかる基礎的な領域であるが、特色ある研究が展開された。流体、数値計算、力学系、確率過程といった既に応用数学では古典的な分野から、錯視、CG 映像化、材料デザインといった新しい応用まで、今までにない方向性がみえつつある。一方、企業側と数学者の共同課題もいくつかあり、このような新たな試みの今後の進展を期待したい。

いくつかの新分野も産声を上げており、杉原チームの計算錯覚学は日本発の新技术であり、小林チームの生物ロコモーションは新たな制御思想の提唱である。坂上チームの流れの位相構造の記号化は、流体の見せる多様な諸相の数学的記述を可能とし、大石チーム、日比チームはそれぞれ数値計算手法の著しい改善をもたらす可能性がある。

特許がただちにイノベーションに繋がるとは限らないが、その中で、本研究領域から 30 件超の特許出願がなされ、1 件が実施許諾契約にまで至る成果（「錯視画像生成装置」関連）をあげたことは高く評価される。

一方で、本研究領域はブレークスルーの端緒としては優れた成果をあげたが、産業界・社会への展開・実装のためのプロセスはまだまだ時間がかかる。時間をかけて優れたものを創出していくことが期待される。

以上により、研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献については、特に高い水準にあると評価できる。

## 2. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開等についての提言

### (1) 本研究領域の活動や成果を、科学技術の進歩へと展開させるための方策

まず積極的な説明・宣伝 (promotion) 活動をあげたい。本研究領域の成果は、当該分野の外から見ればどの程度の貢献であるか、あるいはどのような可能性をもつか、まだわかりやすいとは言い難い。本研究領域や現在進行中の数学関連研究領域の成果の波及効果を高めるためには、日本数学会や応用数理学会と連携しつつ、10～15 年といった長期的な視座

に基づいて仕組みを構築していく必要がある。

数学側から見ればニーズの把握とともにシーズからの発信が肝要であり、本研究領域の「ヴァーチャル・インスティテュート」をさらに発展させて協働を行うより安定した場の設置が求められる。

他方、この種の活動を安定的に発展させるためには、ニーズ把握の新たな手法の創出やシーズの発信とともに、数学界へのフィードバックを欠くことはできず、数学者への問題提起および大学教育への浸透、さらには高校生以下への啓蒙を図っていく必要がある。

## (2) 本研究領域の活動や成果を、社会還元や産業化・実用化に向けて実現させるための方策

JST や文部科学省の尽力もあり、「忘れられた数学」が、未だ極一部とはいえ、思い出され始めた感がある。

産業界から数学へのニーズの発信を促す仕組みを創設することが望ましく、技術者集団と数学者集団の連携の場を設定して、相互にアドバイスをを行うシステムが構築される必要がある。産業界参加のプラットフォームに関しては JST に期待するところも大きい。

また、基礎的・基盤的な研究から市場価値が判断しやすい段階までの間の研究開発の死の谷における支援獲得が難しい。例えば技術ユーザまたは技術開発関係者との打ち合わせのための支援（旅費等）の継続的提供を含めて、「つなぎ支援」が必要となる。

## (3) その他の提言

戦略的創造研究推進事業では、現在、数学分野に関連する研究領域が 2 件（CREST 研究領域「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」、さきがけ研究領域「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」）が展開されているが、日本の数学文化の一翼として定着させ、さらに実質的な研究所に発展させることを期待する。その際、数学分野の特質を踏まえ、（年度当たりの研究費は少なくしても）幅広く、長期にわたる研究プロジェクトの実施が望ましい。

今後は、他分野や産業界で活躍する人材の一層の育成と供給、需要の発掘・醸成を図る必要がある。また、コーディネータの育成の努力は重ねられつつあるが、そのような人材のキャリアパスを確保するための仕組みを整備していくことが必須である。

その他、数学分野における研究成果の発信や他の分野から数学への問題提起のために science writer の直接活用等も一考に値するであろう。また、数学の応用に関する視野を広げるために、より多数の女性研究者の参画を促すべきであるとの意見もあった。