

戦略的創造研究推進事業
チーム型研究(CREST)
研究領域事後評価用資料

研究領域「数学と諸分野の協働による
ブレークスルーの探索」

研究総括：西浦 廉政

2016 年 3 月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	2
(3) 研究総括	2
(4) 採択課題・研究費	3
2. 研究領域および研究総括の選定について（JST 記載）	4
3. 研究総括のねらい	4
4. 研究課題の選考について	9
5. 領域アドバイザーについて	11
6. 研究領域の運営について	12
7. 研究を実施した結果と所見	29
8. 総合所見	39

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「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（幅広い科学技術の研究分野との協働を軸として）」

①達成目標

数学と異分野の連携を深めるためには、まずは一定条件の下で数学研究者の意思に基づくテーマ設定による個人研究を進めつつ、他分野との連携の可能性を模索して共同研究の芽を育て、他分野との共同研究に発展させるといった取り組みを柔軟に組み合わせることが望ましい。また対象とする研究課題が数学を活用することで有効にソリューションにつながるかどうかの判断には、数学研究者サイドで他分野への視野も広い人材を活用することが必要である。そのため、数学―他分野の連携研究のための以下のような体制構築に取り組む。

- ・ 異分野の視点を兼ね備えた数学研究者を研究領域の研究総括として設定。
- ・ 数学研究者から、他分野への展開を期待できる数学の課題を募集し、研究総括による選定の上研究を進める。
- ・ 数学研究者と他分野の研究者の交流の場としてワークショップ等を開催し、数学―他分野の連携研究の機運を醸成する。
- ・ 課題提案者の申請時における他分野との連携のフェーズに応じて、研究形態（個人研究／チーム型研究）を柔軟に設定できるように配慮する。

②戦略目標設定の背景

本戦略目標に関連して、分野別推進戦略の情報通信分野に、「どのような情報通信技術も、数学的成果を利用していることは明らかである。数学研究者の育成の強化は、今後 30 年を考えた場合の情報通信技術、さらには他の領域における科学技術の進展に必須の政策である。」との言及がある他、ライフサイエンス等の他の分野でもシミュレーションやシステム的な研究などの形で数学の必要性が示されている。

また、第 3 期科学技術基本計画に「新たな知の創造のために、既存の分野区分を越え課題解決に必要な研究者の知恵が自在に結集される研究開発を促進するなど、異分野間の知的な触発や融合を促す環境を整える必要がある。」との記述がある。

我が国における数学研究の現状を見ると、日本の数学の研究レベルは一定水準を保っているものの、諸科学、諸分野、産業等への広がりには十分ではない。結果として論文数など量的な拡大は期待できず、研究者数を考慮するとしても欧州並ではあるが、米国には遠く及ばない（4～5 倍）。

政策的に数学振興が脚光を浴びることは皆無に等しく、欧米主要国と比較して日本の数学への投資は極めて少ない（米：約 400 億円、仏：約 190 億円、日：数 10 億円）。

日本の数学は純粋数学研究の比重が大きく応用に関わる研究が少ない。

分野間の専門用語の違いなど異文化間の障壁もあり、異分野の研究との接点がなかなか持てないという特徴がある。

一方で、数学は諸科学の基礎となる学問であり、他分野との連携研究により多くの領域での研究開発においてブレークスルーをもたらすものである。第 3 期科学技術基本計画においても、「8 つの分野別推進戦略を策定する際にも、これら新興領域・融合領域へ機動的に対応しイノベーションに適切につなげていくことに十分に配慮して進める」と述べられている。事実、科学技術政策研究所における国内の重点 8 分野の産学官研究者に対するアンケート調査では、数学の貢献を期待したい課題があるとの回答は 81%に上り、数学へのニーズは高い。

したがって、数学それ自体の振興にとどまらず、その成果を活用することで異分野の更なる発展に貢献できるような取り組みに早急に着手する必要がある。

(2) 研究領域

「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」（2008 年度発足）

<研究領域の概要>

本研究領域は、数学者が社会的ニーズの高い課題の解決を目指して、諸分野の研究者と協働し、ブレークスルーの探索を行う研究を対象とするものです。いわば 21 世紀におけるデカルト流の数学的真理とベーコン流の経験則の蓄積との統合を目指すものです。

諸分野の例として、材料・生命・環境・情報通信・金融などが想定されますが、社会的ニーズに対応した新しい研究課題の創出と解決を目指すものであればこの限りではありません。

諸分野の研究対象である自然現象や社会現象に対し、数学的手法を応用するだけではなく、それらの数学的研究を通じて新しい数学的概念・方法論の提案を行うなど、数学と実験科学の融合を促進する双方向的研究を重視するものです。

(3) 研究総括

西浦 廉政（東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授）

(4) 採択課題・研究費

(百万円)

採択 年度	研究代表者	研究終了時の 所属・役職	研究課題	研究費*)
2008 年度	小谷 元子	東北大学 教授	離散幾何学から提案する新物質創 成と物性発現の解明	289
	小林 亮	広島大学 教授	生物ロコモーションに学ぶ大自由 度システム制御の新展開	228
	日比 孝之	大阪大学 教授	現代の産業社会とグレブナー基底 の調和	259
2009 年度	大石 進一	早稲田大学 教授	非線形系の精度保証付き数値計算 法の基盤とエラーフリーな計算工 学アルゴリズムの探求	227
	國府 寛司	京都大学 教授	ダイナミクス全構造計算法の発展 による脳神経-身体リズム機構の 解明と制御	202
	コハツ・ヒガ アルツーロ	立命館大学 教授	複雑な金融商品の数学的構造と無 限次元解析	170
	柴田 良弘	早稲田大学 教授	現代数学解析による流体力学の未 解決問題への挑戦	241
	鈴木 貴	大阪大学 教授	数理医学が拓く腫瘍形成原理解明 と医療技術革新	206
2010 年度	安生 健一	(株)オー・エル・エム・デジタル 取締役	デジタル映像数学の構築と表現技 術の革新	199
	坂上 貴之	京都大学 教授	渦・境界相互作用が創出するパラ ダイムシフト	167
	水藤 寛	岡山大学 教授	放射線医学と数理科学の協働によ る高度臨床診断の実現	252
	杉原 厚吉	明治大学 特任教 授	計算錯覚学の構築 --- 錯視の数理 モデリングとその応用	222
	長山 雅晴	北海道大学 教授	生理学と協働した数理科学による 皮膚疾患機構の解明	226
			総研究費	2,888

*) 各研究課題とも5年間の見込み総額

2. 研究領域および研究総括の選定について（JST 記載）

本研究領域は、数学者が社会的ニーズの高い課題の解決を目指して、諸分野の研究者と協働し、ブレークスルーの探索を行う研究を対象とする。ここでの研究は、モノや構造の支配原理を見いだすための普遍的かつ強力なツールである数学が、材料・生命・環境・情報通信・金融などの諸分野におけるブレークスルーをもたらすと期待される。本研究領域は、数学と実験科学の融合を促進する双方向的研究を指向していることから、戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。本研究領域は、諸分野との協働を目指した個人型研究と、数学者と諸分野研究者によるチーム型研究を対象としており、様々な連携フェーズの幅広い研究提案が見込まれる。

(1) 研究総括の選定

西浦廉政は、分岐理論・特異摂動論を用いた反応拡散系の大振幅の定常解の存在、非常に難しいとされる連立である反応拡散系の解析を容易にするための手法 shadow system の提案、反応拡散系の定常解の安定性解析、ポリマー系の数学理論等、純粋数学と応用数学の両方にわたり先駆的な業績があり、特に、反応拡散系のパターンダイナミクスにおいては、日本数学会賞秋季賞を授賞されるなど高い評価を受けており、本研究領域について先見性・洞察力を有していると見られる。

また、2005 年まで北海道大学電子科学研究所長を務め、現在は北海道大学電子科学研究所教授の職にあり、21 世紀 COE プログラム「特異性から見た非線形構造の数学」の中では、当該領域に密接に関連する先端研究機能の副代表を担当するなど、本研究領域について、適切なマネジメントを行う経験・能力を有していると見られる。さらに、日本数学会評議員や日本応用数理学会評議員など学会等においても要職を歴任し、European Journal of Applied Mathematics や Physica D など国際論文誌の編集委員も務めている。これらを総合すると、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行いうると見られる。

3. 研究総括のねらい

(1) 領域全体としてのねらい

科学の細分化とその情報量の肥大化に伴う社会システムの不確実性と不安定化に対し我々が何をなし得るのかは、数学を含め現代科学がもつ困難な問題である。数学はその抽象性と普遍性により科学におけるその基盤的地位をゆるぎないものとしたが、同時に諸科学、産業との乖離が生じたことも否めない。この乖離を埋め、再び循環、新陳代謝を取り戻すことは、数学の土壌を豊かにするのみならず、21 世紀現代社会をどのようにデザインしていくのかという指針に大きな役割を果たすと考えられる。そのための新たな協働のスタイルを模索し、開かれた数学を目指すのが本領域の趣旨である。数学も極めて多岐にわたるが、本領域では特定の分野に限定せず、またどのようなやり方が望ましいかについて

も、テーマ毎に異なると考えられるのでその多様性を出来得る限り許容することとした。戦略目標が「ブレークスルーの探索」となっているのもこの事情による。具体的には以下のような提案を期待した。

①直面する課題に立ち向かう数学者

環境、エネルギー、経済、情報、輸送、医療から人間心理に至る複雑で不確実な社会に山積する全人類的課題に、数学は定量的記述の枠組みを与えるのみならず、そこに潜む根源的な問題の所在や、一見無関係な諸問題相互の関連性を浮かび上がらせる機能を果たすと期待されます。数学のもつ強力な普遍性が、これまで困難と思われていた問題群に光を当てる契機となると考えられます。現状をよく学び、問題を共有し、解決に向けての具体的な姿勢が感じられる提案を期待したい。

②つながる知

数学内での様々な分野間連携、諸科学、諸分野との連携を介して、細分化された知のつながりを取り戻す試みを期待したい。とりわけ数学、数理科学の複数のディシプリンが具体的な諸分野、諸科学の課題を通してつながるような課題設定を望みたい。さきがけにおいては、連携に向けた大胆で挑戦的な課題が望まれるが、一方で数学の深い力を感じさせ、今後の広がりが期待される探索的、萌芽的提案も歓迎したい。CREST においてはチーム編成において実験科学者、産業側研究者を含め、理論と実践とのバランス、コミュニケーションが十分にとれる構成を望みたい。

③共創による新領域開拓

より長期的な観点からは、連携、協働の結果として数学を核とした新たな学問領域の萌芽が立ち上がることが望ましい。これは簡単なことではなく、また3年、5年という短期の研究成果として望むのは無理がある。しかしながら領域全体のスケールメリットあるいはさきがけから CREST への2段階継続研究により、その萌芽的なものは期待できると考えられる。数学者個人の発想から生まれるもの、共同研究者との共創の結果として生まれるものなど多くの可能性がある。数学の古典には多くの宝が眠っており、それらが新たな出番を待ち受けている。それらの発掘と現代的活用も興味深い提案をもたらすと思われる。

④成果の社会還元とアウトリーチ活動

本研究領域における他分野との協働の成果を、具体的な形で社会還元していくことを目指した。物やソフトという具体的なアウトプットと同時に、暗黙知の定式化や数理モデルの構築ということによる問題点の発見や予測の向上による時間短縮という成果も重要であり、その知財化も試みたい。現代社会は複雑に情報化され、全体が見えにくくなっている。そのような社会構造をどのように設計していくかは、数学にとっても大きな挑戦である。

これまで培ってきた数学という抽象的な枠組み作りの方法論、視点が階層的情報社会において重要な役割を果たし得ることを高校生、一般の方々に理解し、実感してもらうことは重要であり、次世代育成につながる。そのためのチュートリアルや地方での数学キャラバンも実施していく。

(2) さきがけ、CREST それぞれのねらい及び複合領域としてのねらい

当領域は、個人型研究さきがけおよびチーム型研究 CREST よりなるハイブリッド領域である。さきがけは CREST に 1 年先行してスタートすることとした。このことは後で大きな意味をもつこととなる。

さきがけにおいては、数学と諸科学の連携の枠を拓く萌芽的な研究となることを期待した。とくにこの分野における独創的で将来性のある研究を期待するとともに、当該分野における将来のリーダとなる人材、とくにインターフェース的役割を併せ持つ人材育成を心懸けた。数学の強固な知的基盤をもつと同時に「ポリバレント性」をもつ数学者・数理科学者、すなわち「開かれた知」「つながる知」を縦横に駆使できるネットワーク型の知的数学者集団の存在が今後重要となるからである。これはこれまでの数学者のあり方と対立するものではなく、むしろそれらを重要なノードとして活用することにより両者共存するものと考えられる。

CREST においては、分野横断的なチーム編成はもとより、広い意味で文化の壁を乗り越える目標をかかげて取り組むことを期待した。何が重要で価値あるものかについて他分野と合意を得ることは単純ではない。個々のメンバーの寄与を統合し、チーム全体としての強いメッセージを打ち出せるような設計が望まれる。

また、CREST とさきがけのハイブリッド領域として、チーム型研究、個人型研究のもつ研究特性が最大限に活かされるよう、既存の仕組み（領域シンポジウム、さきがけ領域会議等）だけでなく、他領域さきがけとの相互乗り入れ、CREST チーム間相互交流、さきがけ領域会議に CREST メンバーを参加させるなど人的な相互交流を図りながら、諸科学との融合を目指す新たな研究領域を構築することを狙った。

とくに CREST が 1 年遅れてスタートするので、さきがけ 1 期生は研究終了時に CREST への応募が可能となり、約 8 年強の研究継続が可能となる。この 2 段階ロケット型方式は数学のような協働に至る過程に時間を要する学問分野にとくにふさわしく、ねらいの 3 番目に述べた、新領域開拓に今後つながることが期待される。

(3) 募集・選考・研究領域運営にあたっての方針（領域発足時）

高度に発達した現代社会を見えない部分で支えているのが数学の特徴である。見えない部分という意味は、裏方としての基盤的側面のみならず、日常の人間の感覚を超えた複雑な問題に対して、目に見える「もの」という形ではなく、それに対する斬新な「見方」を提示することで、新たな解決の糸口を提供するという面も含む。

現代の科学や社会が孕む多くの困難な問題に現代数学が本質的にできる寄与は、後者に属すると考えられる。例えば、高度な計測技術による材料科学や生命科学における膨大な時空間データと階層的かつネットワーク型の自己組織化ダイナミクスは、数学が提供する概念を介さずには理解が困難と思われる。また環境、経済、情報、輸送、政治から人間心理に至る複雑で不確実な社会に山積する全人類的課題に、数学は定量的記述の枠組みを与えるのみならず、そこに潜む根源的な問題の所在や、一見無関係な諸問題相互の関連性を浮かび上がらせる機能を果たすと期待される。数学のもつ強力な普遍性が、これまで困難とされていた問題群に光を当てる契機となると考えられる。

数学の姿は本来開かれたものであり、また諸科学と不可分のものであると思われる。しかし、前世紀の論理的厳密性の危機を乗り越えた数学は、その内的運動により自律的に深化することが可能になると同時に諸科学との乖離傾向を歩み始めたことも否定できない。本研究領域の推進により、これまでの膨大な数学的蓄積に光を当て、全く新たな応用を見出すと共に、数学者が異なる研究分野に深く関わることにより、単なる表層的応用を越えた新たな数学的概念の創出を実験科学者と共に目指すような研究課題が期待される。

実施体制については、2007 年度は個人型研究（さきがけタイプ）でスタートする。予算規模はこれまでのさきがけタイプと必ずしも同程度である必要はなく、小規模でも申請可能だが、本研究領域の趣旨を踏まえたものであることが必要条件となる。単に名前を連ねた論文発表だけにならないように、緊密な情報交換と共同作業に努めて研究を実施することを望む。若手・中堅の研究者による数学と実験科学の融合をはかった萌芽的ではあるが挑戦的な研究課題や、上に述べた様々な諸問題を全く新たな数学の観点からとり上げた独創的な研究課題が望まれる。またそれらの中から CREST タイプに移行できるものが出ることを期待する。2008 年度以降は、数学者と実験科学の研究者が協働し、融合的・実証的に研究を行う比較的規模の小さいチーム型研究（CREST タイプ）も対象とする。

但し、CREST タイプについては、本研究領域の趣旨に合致した優れた研究課題の提案が少ない場合には、採択数が少なくなることもある。

研究期間については、さきがけタイプは3年間、CREST タイプは5年間を標準としますが、CREST タイプについては、研究の進捗状況によっては、必要に応じて規模や期間の見直し、共同研究者の入れ替えやテーマの一部変更を行うなど、研究総括と研究代表者が協議して柔軟な領域運営を実施する。また3年目の中間評価等の結果によっては研究課題を中止する場合がある。開拓精神に溢れた多くの研究課題が提案されることを望む。

(4) 研究領域運営にあたっての方針（領域中間評価以降）

本研究領域は、さきがけを1年先行してスタートさせたため、従来のハイブリッド領域のように領域終了時にさきがけ・CREST の評価を行なうのではなく、領域中間評価の際にさきがけ終了評価を実施した。これにより、領域後半の活動がさきがけの成果を踏まえつつ、残りの CREST 活動に専念することが可能となった。

また CREST 中間評価において指摘された事項や期待については以下のような対応を行った。

➤ CREST 研究領域のマネジメントについて

- ・今後さらにアウトリーチの幅を広げていくことが期待される。
- ・これらのチームの連携を図り、バーチャルインスティテュートの実体化をさらに図ることが望まれる。

(※研究領域中間評価報告書より抜粋)

この指摘に対して、CREST 領域中間評価以降、アウトリーチ活動の充実を図った。詳細は 6 節に記載した。また総括裁量経費ならびに国際強化支援策による支援を実施して各チーム主催による 10 件の国際シンポジウム開催をバックアップするとともに、2015 年 9 月には「22 世紀創造のための数学」と題した領域主催のシンポジウムを開催した。

また、チーム連携の促進と CREST 間の敷居を低くするために、新たに領域運営アドバイザーを委嘱して具体的な活動の展開を図り、2 回の若手研究者交流合宿、応用数学チュートリアル、さきがけ－CREST 数学懇話会／ワークショップなど、さきがけや CREST チーム間の垣根を超えた交流を実現している。更にこの活動は、2014 年度に新たに発足したさきがけ「数学協働」、CREST「数理モデリング」研究領域にも展開を図っている。

➤ CREST 研究成果について

- ・科学技術イノベーションの創出の展開の基盤になる成果もおおいに期待される。
- ・過大な期待かもしれないが本領域におけるイノベーション探索の成果が数学にフィードバックされ、新たな数学の芽が生まれることも期待したい。
- ・今後着実な展開を行い、長期的に科学技術の進歩および科学技術イノベーションの創出に資する研究成果をあげていくことを期待する。

(※研究領域中間評価報告書より抜粋)

この指摘に対して、個別の事例については後述（7～8 節）するが、新たな数学の芽についても、数理物質科学など、その中にいくつかの萌芽的成果が得られつつあることをここでは指摘したい。領域としては、科学技術イノベーションの創出に寄与し、成果の認知度向上のため、特許等の出願を通じて研究成果を社会還元することを後押しした。とくに CREST 領域中間評価以降は、JST 知財部門と連携して将来の科学技術イノベーションの核となりうる可能性のある基礎技術を戦略的に取り上げ、基本／応用合わせて合計 22 件（国内：13 件、海外：9 件）の特許を JST より出願した。このうち、錯視画像生成手法に関しては、2013 年以降の六花亭バレンタインチョコレートのパッケージに錯視画像（ラウンドハート）を提供するとともに、楽プリ（株）による“浮遊錯視画像”の商用サービスにライセンス供与している。また流れの言語表現という、流体数学とトポロジーの融合研究の成果による

特許、また資生堂との連携による皮膚科学に関する特許もある。これまで数学では、知財に関わる積極的関与は少なく、その意識も低かったが、本領域ではその姿勢を変えることも奨励し、実績を挙げた。領域発足の初期段階から知財教育も実施してきたことが功を奏したと言える。

4. 研究課題の選考について

(1) 課題選考にあたっての考え方

数学、数理科学の複数のディシプリンが具体的な諸分野、諸科学の課題を通してつながるような課題設定を重視した。さきがけにおいては、連携に向けた大胆で挑戦的な課題が望まれるが、一方で数学の深い力を感じさせ、今後の広がりが期待される探索的、萌芽的提案も歓迎した。CREST においてはチーム編成において実験科学者、産業側研究者を含め、理論と実践とのバランスがとれ、将来の新規領域開拓につながる提案を期待した。したがって内容的には高いレベルであっても、既存の枠の延長上にあるものは低い評価とした。予算規模としては、理論が核となる領域であることを考慮し、通常の CREST の半分程度の規模を目安とした。しかし内容に応じて柔軟に対応することとした。

選考の具体的な過程は下記のように行った。

- 選考は「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域に設けた選考委員 13 名の協力を得て、研究総括が行なう。
- 選考方法は、書類選考、面接選考及び総合選考とする。
 - ・書類選考において 1 提案につき 3 名の選考委員が査読評価を行なう。
 - ・選考委員の所属機関と応募者の所属機関が異なるよう配慮し、書類選考は利害関係者を査読対象とせず、面接選考において利害関係者は席を外して実施する。
 - ・面接選考では可能な限り多くの研究提案を直接聴取し、質疑応答する。
- 選考に当たっては、研究構想、計画性、課題への取り組みなどの観点のほか、諸分野とのつながりを具体的にどのように実現させるのか、その姿勢や他の助成金等ではできない斬新な取り組みを重視する。
- 一応募課題につき領域アドバイザー・外部評価者 3 名が書類審査し、書類選考会議において面接選考の対象を選考した。続いて、面接選考および総合選考により、採択課題を選定した。

(2) 選考結果について

2008 年度（第一期）は非常に多岐の話題について、また多くの分野の研究者からの応募があった。予算的にも広い範囲の分布となった。チーム型研究(CREST)は「孤立した知からつながる知」を目指す研究を積極的に取り上げる事にした。諸分野の研究対象である自然現象や社会現象に対し、数学的手法を応用するだけでなく、それらの数学的研究を通じ

て新しい数学的概念・方法論の提案を行うなど、数学と諸分野との双方向的研究を重視する研究を対象とし、公募と共に日本数学会総合分科会において説明会を 2 度開催し、ホームページにおいても情報公開を行った。その結果、数学のみならず、他分野を専攻とする研究者からの提案も含め合計 44 件の応募があり、12 件の面接課題を選び、最終的に 3 件の提案を採択した。初年度ということもあり、予算、課題、チーム体制も多様なものが出そろった。選考に当たっては、研究提案が数学と諸分野との連携を格段に進めるものであること、研究代表者がリーダーシップを十分に発揮し、期間内に一定の成果が十分期待できるもの、生み出される成果が並置的でなく、提案全体として強いメッセージをもつものを重視した。結果としてほぼ 15 倍の難関となり、数理解物質科学、大自由度生物ロコモーション、グレブナー基底の 3 件が採択された。一方採択されなかった提案においても優れたものがあつたが次年度以降の応募に期待した。

2009 年度（第二期）は前年度同様に多様な分野からの提案があつた。前年度の応募で採択されなかった課題が十分な検討を経て、焦点が絞り込めた提案として再応募された提案も複数あり、その内の優れたものは採択につながった。予算的にもスリム化され、総花的でなく、5 年の期間で何が達成されるか明確な提案が増えた。30 件の応募から 12 件を面接対象とし、エラーフリー計算工学、脳神経一リズムの全構造計算、流体、複雑金融商品、数理医学の 5 件を採択した。

2010 年度（第三期）は最終年度ということもあり、純粋数学からも含め、より多彩な応募となった。さきがけ一期生が応募可能な年度であり、非常に優れた提案が多く、選考は時間がかかることとなったが、さきがけ二、三期生が応募できなかったことも考え合わせると今後につながるポテンシャルを強く感じた。数学の独自性を感じさせる提案も多く、医療、流れ、映像数学、錯覚、皮膚など多彩なチーム陣容となった。一方で、研究班が多く並置的なもの、設備優先と思われる提案、既存結果の単なる延長とみなされる提案も散見されたが、それらのいくつかは改善されれば、採択に値するものもあつた。

選考年度	応募件数	面接件数	採択件数
2008 年度	44 件	12 件	3 件
2009 年度	30 件	12 件	5 件
2010 年度	37 件	11 件	5 件

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー名	終了時の所属	役職	任期
赤平 昌文	筑波大学	名誉教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
池田 勉	龍谷大学	副学長／常務理事	2007 年 5 月～2016 年 3 月
織田 孝幸	東京大学	名誉教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
小田 忠雄	東北大学	名誉教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
小野 寛晰	北陸先端科学技術大学院大学	シニアプロフェッサー	2007 年 5 月～2016 年 3 月
高橋 理一	(株)コンボン研究所	顧問	2007 年 5 月～2016 年 3 月
津田 一郎	北海道大学	教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
長井 英生	関西大学	教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
宮岡 礼子	東北大学	教授	2007 年 5 月～2016 年 3 月
山口 智彦	国立研究開発法人産業技術総合研究所	主席研究員	2007 年 5 月～2016 年 3 月
野水 昭彦	情報・システム研究機構	シニア URA	2014 年 7 月～2016 年 3 月 (領域運営アドバイザー)

(1) 人選にあたっての考え方

数学における専門性と諸分野に対する広い知見を有する数学者に加え、諸科学との連携現場に詳しい産総研の山口氏、またトヨタにおける企業での研究のあり方に造詣が深い高橋氏にも最初から参画していただいた。数学全領域を十分にカバーすることは困難であるが、脳科学（津田氏）、統計・確率（赤平氏、長井氏）、さらに数学基礎論（小野氏）も含めることにより、様々な角度からのコメントを期待した。実際、この 10 名のアドバイザー方々からは、選考時における貴重なコメントのみならず、領域運営、あらたな提案、また個別の研究者およびグループへの様々なアドバイスをいただくことができている。

6. 研究領域の運営について

(1) 領域運営の基本的な考え方

・知のハブとしてのバーチャルインスティテュート

数学は時代に先んじて世界観を与えるものであるとするならば、さきがけ研究者に対しては、未完成であってもそれをぶつけ合う場として、また CREST チームに対しては課題解決に向けての具体的な数学的方法論のメッセージ性が外から見えるようにバーチャルインスティテュートの運営を心懸けた。それらの総体として中長期的に「知のハブ」が形成されるように努力している。極めて多岐にわたる分野とテーマの内容であるが、そのヘテロ性が数学という視点から結びつき、それが領域内でのネットワーク形成を生み、さらに協働を通して領域外に広がるスーパーネットワークを作り出すように試みている。このつながりこそが数学と諸分野の連携を将来にわたって推進するエンジンになると考えるからである。

欧米においては、本領域と同じような（とくにさきがけに相当する）事業はないが、研究者ネットワーク形成においては滞在型国際研究拠点がほぼ同じような機能を国際的レベルで果たしてきた。実際ドイツのオーバボルファ数学研究所は最も古いものであり、アメリカの IMA、IPAM、英国のニュートン研究所、カナダのバンフ数学拠点など先進主要国では 80 年代から 90 年代に整備され、先端的テーマの発掘、主導、人的な知のハブとしての機能を果たしている。日本においてはこれに相当する拠点はまだ存在していない。本領域の運営においては、そのような拠点が発足した折に、それを牽引できる人材を育成することも念頭においた。

アドバイザーの役割は後述するように広い分野をカバーする本領域では不可欠であり、個々の研究テーマに関する相談、アドバイスから領域活動の新たな提案に至るまで活躍いただいている。同時に技術参事、事務参事、事務補助員からなる領域事務所は領域全体の流れを常に把握し、きめ細かい研究者への対応を実施する上で不可欠のものであった。研究遂行、予算の有効利用など、渡しきりではなく、きちんとしたフォローアップはこのようなバーチャルインスティテュートでは重要となる。

研究の推移と共に、各 CREST チームの再編、追加のアドバイスをを行った。国際連携を強めるために、国際強化支援の予算も併用しつつ、国際会議、招聘、派遣等の活動を多数支援した。そのことにより、複数のチームにおける具体的な国際ネットワーク構築の基盤を作ることができた。

CREST 事業の後半においても、領域というスケールメリットを生かすため、関連するテーマのチーム間およびさきがけ研究者との交流を積極的に実施した。とくに CREST 若手による交流合宿は 2016 年 2 月実施分含め、計 3 回実施したが、そのポテンシャルは大きい。多彩なテーマとヘテロな人材、そしてオープンかつフラットな関係と自主的運営から生まれ

る今後の新たな方向が期待される。またこれらの CREST 間交流は CREST 「数理モデリング」領域（研究総括：坪井 俊）においても、積極的に継続されることとなり、研究代表者同士のより組織的な協働も今後進んでいくことになる。異なる CREST チーム同士の連携を積極的に奨励することは、これまであまりなかったように思われる。チームの独立性、テーマの相違を考えれば当然とも言えるが、数学においては、その効果は絶大と考えられる。その実施においては JST バックアップ体制が個々の CREST チームと研究総括、領域アドバイザーを有機的に結びつけるために不可欠であった。

理論系、中でも数学分野の特徴としては、他人との議論や意見交換の機会および自らの頭の中での思索が、他の実験系における実験材料や実験設備・施設などに相当することになる。そのため対象者や条件を吟味した下で、特別に外部研究者の招聘を認める運営を行なった。これら実験系との文化の違いは領域後半にかけては、数学領域においては自然なものと認知されるようになった。

(2) 複合領域としてのマネジメント

当領域は、個人型研究さきがけおよびチーム型研究 CREST よりなるハイブリッド領域である。そのスケールメリットを生かし、「開かれた知」「つながる知」が形成されやすい雰囲気作りを心懸けた。とくに既存の仕組み（領域シンポジウム、さきがけ領域会議等）だけでなく、他領域さきがけとの相互乗り入れ、CREST チーム間相互交流、さきがけ領域会議に CREST メンバーを参加させるなど人的な相互交流を図った。

とくに領域活動の後半においては、元さきがけ技術参事を領域運営アドバイザーに迎え、CREST チーム間の相互交流と協働を促進するために、終了したさきがけ研究者をそのテーマに応じて CREST チームの討議に積極的に参加させるなどの取組みを行ったことに加え、2014 年度に新たに発足した数学関連の CREST・さきがけ各新領域を交えた、JST における数学関連領域による連携シンポジウム開催などを積極的に行った。

領域中間評価を踏まえた改善点については、既に 3 節の研究総括のねらいで述べたが、特にバーチャル・インスティテュートの実体化については、さきがけ、CREST チーム間の垣根を取り払い、また国際ネットワークの構築の推進を実施した。アジア諸国との連携についても、日中韓フォーサイト事業などにも展開が進められている。

(3) 諸分野および社会に向けた領域の全体活動

数学と諸分野をつなぐため、以下の活動を行なった。

① JST 戦略的創造研究推進事業としての活動

- (i) 領域シンポジウムの開催
- (ii) 国際会議シリーズ (CREST-SBM) の開催
- (iii) サイトビジットの実施
- (iv) CREST 領域会議の開催

- (v) 知的財産権活動
- ② 数学と諸分野の協働という領域特有性に鑑みた活動
 - (i) さきがけ数学塾 (さきがけ+CREST)
 - (ii) JST 数学キャラバン (さきがけ+CREST)
 - (iii) 諸分野との協働に関するワークショップ (さきがけ+CREST)
 - (iv) 国際研究集会の開催 (さきがけ+CREST)
 - (v) 出版、メディア出演などのアウトリーチ活動と成果 (さきがけ、CREST)

① JST 戦略的創造研究推進事業としての活動

(i) 領域シンポジウムの開催

2011 年は CREST1 期生、2 期生の研究報告を中心にした領域シンポジウム「越境する数学」を開催した。2014 年には、活動最終年度となった FIRST (最先端研究開発支援プログラム) 合原プロジェクト「複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技術プログラム」と合同シンポジウムを開催し、主にライフサイエンス分野に関連するテーマで両プロジェクトから研究報告を行った。

2015 年 9 月には、「22 世紀創造のための数学」と題した 2 部構成の国際シンポジウムを領域主催で開催した。第一部では、国内 3 名、海外から 5 名の招待講演者を招聘し、純粋数学からライフサイエンス、コンピュータサイエンス、環境問題、経済、社会科学など幅広い応用分野からの講演を行った。また、さきがけ「数学」、CREST「数学」研究者に加えて、2014 年度に新設された、さきがけ「数学協働」、CREST「数理モデリング」研究領域の研究者の協力も得て、8 件の講演、23 件のポスター発表、4 件のデモ展示を実施することができた。第二部は、さきがけ 1 期生を経て CREST3 期生に採択された 3 チームが中心となり、足かけ 9 年間にわたって実施した研究の成果報告を行うとともに、今後の展望について講演を行った。

領域シンポジウム開催実績

開催日	会議名称 (開催内容)	開催場所	参加者数
2011/9/7	領域シンポジウム「越境する数学」 (CREST1、2 期生研究報告)	アキバホール	157
2014/1/11	FIRST 合原プロジェクトーCREST 数学領域 合同シンポジウム	JST 東京本部別館	94
2015/9/28-29	領域シンポジウム「22 世紀創造のための数学」 (第一部：国際招待講演、さきがけ /CREST 課題報告)	アキバホール	200

2015/9/30-10/1	領域シンポジウム「22 世紀創造のための数学」 (第二部：さきがけ～CREST9 年間の研究を実施した 3 チームの研究報告)	ステーションコンファレンス東京	110
----------------	--	-----------------	-----



「22 世紀創造のための数学」



シンポジウム会場（第一部）



シンポジウム会場（第二部）



ポスターセッションならびにデモ展示ブース

(ii) 国際会議シリーズ (CREST-SBM) の開催

人類は環境・エネルギー問題、経済・リスク問題から食料・水及び感染症問題にいたるまで、その存在を脅かす多くの課題に直面している。これらは単純な原因－結果という因果律で解決できるものではなく、多数の複合的要素がネットワーク的に関連すると同時に時空間の様々なスケールが絡み合っており、全く新たな視点と方法論が必要とされている。本数学領域の多くの課題がこれらの難問に深く関わっており、それらをテーマ毎に横断的に束ね、国際的視野から多くの最先端研究者と共に理解を深め、問題解決に向けてその一歩を踏み出すために、国際会議シリーズ CREST-SBM (Search for Breakthrough by Mathematics) を企画し、下記のように 8 回開催した。

CREST-SBM 開催実績

	開催日時	テーマ	主催	開催場所	参加人数
第 1 回	2010/1/25 ～29	Random Media	小谷 チーム	仙台国際セ ンター	100 名
第 2 回	2010/6/28 ～7/2	Harmony of Gröbner bases and the modern industrial society	日比 チーム	ホテル阪急 エキスポパ ーク	75 名
第 3 回	2011/6/8 ～9	Mathematical Methods in Cancer Cell Biology	鈴木 チーム	広島大学 医学部広仁 会館	100 名
第 4 回	2013/3/13 ～14	Collaboration between Mathematical Science and Clinical Medicine	水藤 チーム	東京大学	52 名
第 5 回	2013/7/1 ～2	Topological Problems in Fluid Dynamics	坂上 チーム	札幌コンベ ンションセ ンター	150 名
第 6 回	2014/3/10 ～14	New Directions in Applied Dynamical Systems	國府 チーム	京都大学	75 名
第 7 回	2014/3/15 ～20	The International Workshop on Numerical Verification and its Applications	大石 チーム	早稲田大学 京都大学	40 名
第 8 回	2014/11/1 1～14	International Conference on Mathematical Fluid Dynamics、 Present and Future	柴田 チーム	早稲田大学	99 名

(iii) サイトビジットの実施

戦略的創造研究推進事業として初めての分野であることから、新規採択者のサイトビジットにおいては原則学長に面会を行い、当領域の意義ならびに数学分野の研究支援の重要性を説明、理解と協力を求めた。またチーム編成の変更、研究計画の改訂の相談などについては適宜サイトビジットを実施した。

(iv) CREST 領域会議の開催

CREST においては、採択時は互いの研究内容の理解のためにキックオフミーティングを行った。また年度が進むにつれチーム間交流を図るための領域会議を開催したが、発表が主となる傾向があり、関連チームの強い交流を期待して、チームインタビューを行った。複数チームが互に意見交換することにより、それまで知りえなかった研究の共通性・類似性が見出され、共同研究の可能性を拡げることができた。第 4 回には、研究代表者だけでなく主たる共同研究者を集めた全体領域会議を開催した。

CREST 領域会議／チームインタビュー開催実績(全 10 回)

	会議名称	開催日	場所	会議場	参加チーム
1	採択課題キックオフ 兼 第 1 回領域会議	2008/10/23	都内	JST 三番町ビル	1 年次採択課題 (3 チーム)
2	採択課題キックオフ 兼 第 2 回領域会議	2010/1/12	都内	JST 三番町ビル	1、2 年次課題 (全 8 チーム)
3	採択課題キックオフミ ーティング	2010/11/4	都内	JST 三番町ビル	3 年次課題 (全 5 チーム)
4	第 3 回領域会議	2010/11/20- 21	都内	早稲田大学	1～3 年次課題 (全 13 チーム)
5	第 4 回領域会議	2013/1/14 -15	都内	アーバンネット 神田	全 13 チーム +関係者 全 68 名
6	チームインタビュー	2012/5/14	仙台	東北大構内	安生 T、大石 T
7	チームインタビュー	2012/5/18	仙台	東北大構内	コハツ T、 坂上 T、柴田 T
8	チームインタビュー	2012/5/24	仙台	東北大構内	鈴木 T
9	チームインタビュー	2012/5/25	仙台	東北大構内	杉原 T、國府 T、小林 T
10	チームインタビュー	2012/6/29	仙台	東北大構内	水藤 T、長山 T

(v) 知的財産権活動

数学研究に、特許出願は無縁のものと思われがちであったが、8 年間の CREST 研究を通して下記のように合計 36 件の特許出願を行った（国内：24 件、海外：12 件）。

特許出願件数

出願年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	合計
国内	0	1	1	3	6	9	3	1	24
海外	0	1	1	2	1	6	1	0	12
年度合計	0	2	2	5	7	15	4	1	36

このうち、坂上チームと杉原チーム／新井グループに関しては、JST 知財部門と連携して重要な基本特許と応用特許を出願する戦略的な活動を行った。この結果、22 件（国内：13 件、海外：9 件）については JST が出願人となって特許出願を実施した。これにより、錯視画像ならびに錯視画像生成プログラムの下記のようなライセンス供与が実現した。

- ・六花亭バレンタインチョコのパッケージに錯視画像採用（2013 年より毎年発売）
- ・楽プリ(株)による“浮遊錯視画像”の商用サービス開始（2015 年）

②数学と諸分野の協働という領域特有性に鑑みた活動

諸分野との協働においては「数学者の自発的な外に向かった意識改革」が不可欠であり、そのため本領域では、数学の重要性と諸分野とのつながりを一般に理解していただくためのアウトリーチ活動や数学界全体に本領域の意義ならびに活動を発信するワークショップ、さらに諸分野の代表として企業研究所との研究交流などを行った。また、これらの活動を通じて、諸分野をつなぐコーディネータの育成にも寄与することを強く期待した。

アウトリーチ活動としては、「さきがけ数学塾」および「JST 数学キャラバン」を研究者主体により開催した。後者については、当初「さきがけ数学キャラバン」と称していたが、本領域がハイブリッド領域であることを活かし、CREST 研究代表者にも働きかけ、協力して運営開催したため、名称からさきがけの名を外し「JST 数学キャラバン」と改めたものである。また、他分野の研究者との協働を検討するワークショップの開催、企業研究所との交流、国際研究会の開催、さらに一般市民への広報である出版やメディア出演など、幅広い活動を行った。

(i) さきがけ数学塾（さきがけ＋CREST）

主に大学生（学部 3 年以降、博士課程後期まで）を対象と考え、JST や大学施設を利用して経済的かつ効果的に実施した。集中講義と演習による特訓が内容であるが、全国に拡がる学生の人的ネットワークづくりも狙いの一つである。これまでに下記のとおり計 5 回開催した。

・さきがけ数学塾開催実績(全5回)



グループ演習

第2回
応用数学と物理学の協働
～作ってみよう数理モデル・動かしてみよう数理モデル～

2010.3.8～10

第3回
変分法入門
～幾何学と解析学の橋渡し。そして応用へ～

2011.3.7～9

第4回
数学を使う
～生命現象への挑戦～

2012.3.7～9

	開催日	テーマ	開催場所	受講者数	講師 (*非 JST)
1	2009/3/7-9	力学系・カオス理論	JST 三番町ビル	27	新井、三波*、平岡、郡
2	2010/3/8-10	応用数学と物理学の協働 ～作ってみよう数理モデル・動かしてみよう数理モデル～	JST 三番町ビル	40	北畑、長山
3	2011/3/7-9	変分法入門 ～幾何学と解析学の橋渡し。そして応用へ～	JST 三番町ビル	37	大下、小磯、藤田*
4	2012/3/7-9	数学を使う ～生命現象への挑戦～	JST 五番町ビル	49	寺前、三浦、伊藤
5	2014/7/28-30	自然・社会現象の数理モデリングとシミュレーション	お茶の水女子大学	29	長山、北畑

(ii) JST 数学キャラバン (さがけ+CREST)

主として高校生を対象に、研究者の所属する大学と協力して各地で開催。これまでに計 17 回開催した。

当初は、さがけ研究者が所属する各地の大学において開催したため「さがけ数学キャラバン」と呼んでいたが、本領域がハイブリッド領域であることを活かし、CREST 研究代表者にも働きかけ、協力して運営開催したため、名称からさがけの名を外し「JST 数学キャラバン」と改めた。岡山、水戸では、現地の高校教育関係者の協力も得て定例開催の見通しが立った。2015 年度からは、第 2 期数学領域の研究者にも講師陣に加わってもらっており、今後は JST の理数学習推進部とも協力しながら、数学関連領域の重要なアウトリーチ活動の一つとして継続させて行く予定である。

数学キャラバン開催実績(全 17 回)

	開催日	開催地	主催・共催後援	参加者数	講師 (*非 JST)
1	2009/12/12	岡山国際交流センター	JST	102	西浦総括、新井、長山、水藤、大下、西成
2	2011/2/20	山形大学	JST・山形大学理学部	80	水藤、荒井、蓮尾、長山
3	2011/5/14	神戸大学	JST・神戸大学理学部	197	西浦総括、平岡、牧野、郡
4	2011/10/9	香林坊プラザホール	金沢大学・JST 北國新聞社、石川県教育委員会	77	西浦総括、新井、原田、中村*、水藤
5	2011/10/23	岡山国際交流センター	岡山大学・JST 岡山県教育委員会	75	内田*、蓮尾、小磯、伊藤、水藤
6	2012/6/17	千葉大学	JST・千葉大学理学部 千葉市科学館	121	池田 AD、小磯、原田、郡
7	2013/1/5	コラッセふくしま	JST&福島大学 福島県教育委員会	132	原田、北畑、濱野*、池田 AD、郡
8	2013/1/13	岡山国際交流センター	岡山大学・JST 岡山県教育委員会	75	荒井、原田、清水*、小紫*

9	2013/11/16	尾道市しまなみ交流館	岡山大学・JST 広島県教育委員会、 岡山県教育委員会	10	郡、北畑
10	2013/11/17	岡山大学	岡山大学・JST 岡山県教育委員会	94	杉山*、郡、北 畑、中筋*、坂 上
11	2014/8/9	北海道大学	JST・北海道大学 北海道教育委員会、 札幌市教育委員会、 北海道私立中学高 等学校協会	81	池田、新井、荒 井、郡、北畑
12	2014/11/9	東京国際交流館)	JST (サイエンスア ゴラ) 日本数学検定協会	40	北岡、北畑、小 林
13	2014/11/24	岡山大学	岡山大学・JST 岡山県教育委員会	95	井上*、笥*、寺 前、佐々木*、 長山
14	2014/11/29	水戸第二高校	JST 茨城県教育委員会	113	小磯、長山、河 原田、郡
15	2015/1/11	いわき産業創造館	福島大学・JST 福島県教育委員会、 福島県学術教育振 興財団の助成	20	笠井*、中山*、 水藤
16	2016/1/23	岡山大学	岡山大学・JST 岡山県教育委員会	48	鈴木*、富安
17	2016/1/30	水戸第二高校	JST 茨城県教育委員会	108	小林*、 D. Packwood、廣 瀬、河原田
のべ参加人数				1,468	



(第 9 回) 岡山：講演後の講師との交流



(第 12 回) 水戸：講演会場



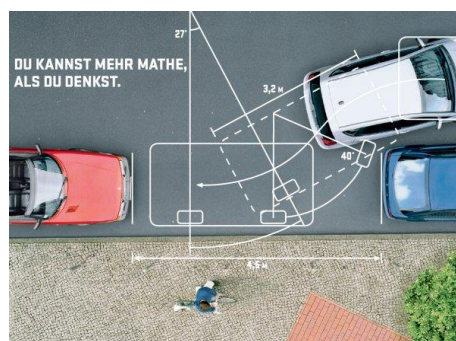
(第 12 回) 水戸： PC 実習／デモ実験

(参考)：ドイツにおける Year of Mathematics

このような数学キャラバンのような草の根活動は地味ではあるが極めて重要であり、実際ドイツにおいても 2008 年に以下の数学の活動が実施された。

- ・ (教育戦略) 大学院生やポスドクの人財育成を、産学連携研究の中で実施。キャリア教育も兼ねる。
- ・ (広報戦略) 2008 年に国を挙げて数学年「Year of Mathematics」として大々的に広報宣伝活動。様々なイベント (高校卒業生用の数学に関する本の発行、各学校の最優秀生徒への贈呈、数学コンテスト、博物館展示、最優秀数学マンガへの表彰等)

これは大成功を収め、社会からの、特に若者の数学に対するイメージ変革に成功。予算は約 10 億円。ドイツテレコムが主たるスポンサーの一つであった。



(iii) 諸分野との協働に関するワークショップ（さきがけ+CREST）

研究総括ならびに有志によるワークショップを以下の通り開催した。

<開催実績>

- ・ シンポジウム『広がっていく数学—社会からの期待』
研究総括講演「つながる知を目指して —JST 数学領域の活動と展望—」
パネルディスカッション「数学と他分野・産業界との連携」
2010 年 2 月 23 日（火） 東京大学
- ・ 有志による「諸分野との協働により数理科学のフロンティア」
2010 年 11 月 17 日（水）-19 日（金） 京都大学
- ・ 文部科学省ワークショップ「広がっていく数学」
2011 年 2 月 19 日（土）、3 月 7 日（月）
- ・ 文部科学省 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ
「JST 数学領域の現状と展望 インキュベーションからフロントウェーブへ」
2012 年 11 月 10 日（日）

(iv) 国際研究集会の開催（さきがけ+CREST）

- ・ International Workshop “Emerging Topics in Nonlinear Science”
日時：2010 年 9 月 12 日～18 日
場所：イタリア Schloss Goldrain、Goldrain
参加者：西浦研究総括、
さきがけ研究者（郡、水藤、荒井、春名、斉藤、北畑、坂上貴洋）
- ・ International Workshop “Emerging Topics on Differential Equations and their Applications—Sino-Japan Conference of Young Mathematicians”
日時：2011 年 12 月 5 日～9 日
場所：中国 天津
参加者：西浦研究総括、宮岡アドバイザー、さきがけ研究者（大下）
CREST 代表者（小谷、國府、坂上貴之）
- ・ IMA Special Workshop “Joint US-Japan Conference for Young Researchers on Interactions among Localized Patterns in Dissipative Systems”
日時：2013 年 6 月 3 日～7 日
場所：米国 Institute for Mathematics and its Applications、Minnesota Univ.
参加者：西浦研究総括、CREST 研究者（國府、飯間、長山、坂上、水藤）
さきがけ研究者 OB（平岡、北畑）

- RIMS International Conference “Sapporo summer conference on dynamics of patterns in materials science”

日時：2014 年 7 月 31 日～8 月 2 日

場所：北海道大学 電子科学研究所

参加者：西浦研究総括、CREST 研究者（小谷、尾畑、中垣）

- RIMS International Conference “Mathematical Challenge to a New Phase of Materials Science”

日時：2014 年 8 月 4 日～8 日

場所：京都大学 益川ホール

参加者：西浦研究総括、さきがけ研究者 OB（平岡）、CREST 研究者（小谷、尾畑）



イタリア Schloss Goldrain、Goldrain



中国 天津

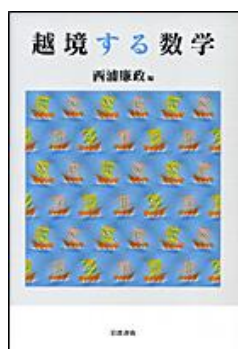
(v)出版、メディア出演などによるアウトリーチ活動と成果

【テレビ出演】

「世界一受けたい授業」「すイエんサー」「ワンダー×ワンダー」「めざましテレビ」「ワールドビジネスサテライト」「王様のブランチ」「モーニングバード」「スッキリ」「やじうまテレビ」「ガリレオX」「朝ズバッ！」

【出版、雑誌掲載（一般向け）】

- ・「越境する数学（岩波書店）」「数学セミナー」「日経パソコン」「文部科学広報」
- ・「JST NEWS」
 - 2013 年 4 月 [表紙・特集 2] 脳をだます「錯視」を数学的に解明
 - 2013 年 9 月 [明日へのトビラ] 数学で皮膚機能の謎に迫る
 - 2013 年 11 月 [明日へのトビラ] 道路の錯覚を解き明かして交通事故を減らす
- ・「Science Window」
 - 2015 年冬号 [特集] なぜ数学をまなぶの？



書籍「越境する数学」

JST News（2013 年 4 月）

【出版（入門書等）】

- ・JST CREST 日比チーム編「グレブナー道場」、共立出版、2011 年 9 月
- ・鈴木 貴著／新井 仁之、小林 俊行、斎藤 毅、吉田 朋広編「数理医学入門」、共立出版、2015 年 5 月
- ・圏論の歩き方委員会（蓮尾一郎他）「圏論の歩き方」、日本評論社、2015 年 9 月



【プレス発表、新聞掲載】

- ・ JST ホームページ、河北新報、ヨミウリオンライン、読売新聞、毎日新聞、中日新聞
- ・ 2010 年 9 月 12 日 日経ヴェリタス
「使えるリスク分析金融工学復権への道」(コハツ ヒガ・アルツロー)
- ・ 2011 年 4 月 8 日 日刊工業
「阪大、細胞の画像からがん判別」(鈴木 貴)
- ・ 2012 年 8 月 9 日 日本経済新聞
「ハートが鼓動する～数学が読み解く“錯視”」(新井 仁之／杉原 T)
- ・ 2014 年 1 月 28 日 日経産業新聞
「東北大、分子の形に指標 カーボンナノチューブで」(小谷 元子)
- ・ 2015 年 6 月 15 日 北海道新聞
「皮膚の謎 数式で迫る」(長山 雅晴)

【成果の公開展示】

- ・ 杉原チーム研究拠点「錯覚美術館」における体験型成果展示
2011 年 5 月～2015 年 12 月にかけて毎週土曜日に全 235 回一般向けに開館し、のべ 22,179 人(記帳者人数)の来場があった。一日あたりの平均来場者数は 94 名であった。

【外部展示協力】

CREST 杉原チームは、ギャラリーやミュージアムへの錯視作品の提供や監修を行っている。更に協力先のイベント企画会社による錯覚美術館の地方巡回展示は、2013 年以来 10 カ所以上で開催され、10 万人以上が来場した。



(CREST 杉原チーム) 錯覚美術館



錯覚美術館の地方巡回

【その他 (社会への成果還元)】

- ・ 科学技術週間 “科学技術の「美」パネル展“入選
2013 年度：2 件 (優秀賞受賞：さきがけ／CREST 新井仁之)
2015 年度：2 件

- ・六花亭バレンタインチョコのパッケージに錯視画像採用（2013 年より毎年発売）
- ・レディガガの CD ジャケットデザインに錯視画像採用（2013 年）
- ・資生堂 CM 動画「世界は数式でできている」
- ・ロンドン国際広告賞 ブロンズ賞受賞（2013 年）
- ・ホンダ「渋滞抑制アプリ」ジャカルタ警視庁が使用実験で効果確認（2013 年）
- ・楽プリ(株)による“浮遊錯視画像”の商用サービス開始（2015 年）

(4) 研究課題の指導とマネジメント

①研究推進における仕組み的な支援

理論領域においては「人 vs 人」の直接討論が重要であり、CREST チーム間の交流、とくに若手研究者の交流活性化を図るため、さきがけ研究者 OB、新設のさきがけ「数学協働」、CREST「数理モデリング」領域にも呼びかけて数学領域横断若手合宿を 2 回（第 3 回目を計画）、更に 4 チーム合同で応用数学チュートリアルを開催した。また、さきがけ OB～CREST 研究者交流を図るため、交流会／ワークショップを 2 回開催した。

さきがけ OB、CREST チーム間交流の開催実績

	会議名称	開催日	場所	会議場	参加チーム
1	第 1 回若手交流合宿	2014/1/31-2/2	指宿	休暇村指宿	9 チーム (31 名)
2	第 2 回若手交流合宿	2015/3/9-11	福岡	休暇村志賀島	11 チーム (24 名)
3	第 3 回若手交流合宿 (開催予定)	2016/2/21-23	淡路	淡路夢舞台 国際会議場	8 チーム (21 名)
4	応用数学チュートリアル	2014/2/21-24	那覇	かんぽの宿那覇 沖縄青年会館	國府 T、坂上 T、水藤 T、長 山 T (49 名)
5	さきがけ-CREST 懇話会	2014/4/19-20	伊東	ラフォーレ倶楽部	さきがけ OB、 柴田 T、坂上 T、水藤 T、長 山 T (21 名)
6	さきがけ-CREST 数学領域ワークショッ プ 2015	2015/11/14-15	甲州市	勝沼ぶどうの丘	さきがけ OB、 柴田 T、坂上 T、水藤 T、長 山 T (21 名)



第1回若手合宿（研究発表）



第1回若手合宿（ポスター発表）



第2回若手合宿（グループ討議）



応用数学チュートリアル

②研究費の配分と増減（追加研究費について）

当初計画した研究費に加えて、下記のような研究費の追加を実施した。

表2 追加研究費の明細 (百万円)

費目	執行額
総括裁量経費等による増額	180
男女共同参画支援策(2名)	11
国際強化支援策(13件)	29
合計	220

増額金額は「表1：研究課題別の研究費」の内数

総括裁量経費は、研究活動の結果生じた新たな展開のうち、必要な研究費を追加することにより重要な成果が期待できるもの、グループ追加などの体制強化により研究加速や望ましい新展開が期待できるものを中心に配賦を行った。

国際強化支援については、13件の国際シンポジウム開催を支援し、国内外の研究者との研究交流の活性化を促進した。また、男女共同参画支援策については、JST男女共同参画支援制度の利用推薦により、2名の女性研究者の出産育児にともなう負担の軽減を図った。

7. 研究を実施した結果と所見

(1)「つながる知」としての数学

数学と諸分野との連携という営みはこれまでの数学の立場からは極めて評価が難しいものとなる。数学そのものが深い内容を持ち、その内部運動のみで大きな成果を挙げており、諸分野との連携は、数学の既存の手法の単なる応用問題にすぎないと見なされるおそれがあるからである。しかし数学といえども生きている学問である以上、外との相互作用は避けられない。特に先端計測技術の発展やデータの爆発的増大、社会の複雑性と不確定性への対処などは数学がどのような役割を果たせるか、現時点ではまだまだ未知数であるが、数学のみがそれを記述し、議論できる場を提供できる可能性がある。また医療、経済、政治などの経験知が支配する世界においてもより一層、数学の視点が入ることが望まれる。そのためにはこれまでの数学の古典的蓄積にも新たな光を当て、開かれた「つながる知」としての数学が活躍し、高い評価を得ることも必要と考えられる。

上記のような観点から本数学領域においてはねらいに述べた3つの点：「直面する課題に立ち向かう数学者」、「つながる知」、「共創による新領域開拓」、に焦点を当て、総合的に評価することとした。なお多くのチームは複数の項目に貢献しているが（実際すべてのチームはなんらかの意味で「つながる知」に関わっている）、代表的成果に基づき分類した。最後に中間評価以降に得られた果実の一つとして「数学における新たな分野形成」についても本領域の寄与を述べた。なお「成果の社会還元とアウトリーチ活動」の詳細については、6. 研究領域の運営についての項を参照されたい。

(2)CRESTにおける研究の経過と所見

①直面する課題に立ち向かう数学者（小谷、大石、鈴木、コハツ、水藤、長山）

環境、エネルギー、経済、情報、輸送、医療から人間心理に至る複雑で不確実な社会に山積する全人類的課題に数学は定量的記述の枠組みを与えるのみならず、そこに潜む根源的な問題の所在や一見無関係な諸問題相互の関連性を浮かび上がらせる機能を果たすと期待される。数学のもつ強力な普遍性がこれまで困難と思われていた問題群に光を当てる契機となると考えられる。現状をよく観察し問題を共有し、解決に向けての具体的姿勢が感じられる提案群であった。

・小谷チーム（「離散幾何学から提案する新物質創成・物性発現の解明」）

離散幾何学者と東北大が誇る材料科学の実験チームとの協働により新物質創成を目指すものである。数学的に予想されたダイヤモンドツイン(K4 格子)の安定的な創成、準結晶を用いた構造化照明法の開発、耐熱性高分子中における高熱伝導、絶縁性の同時実現など挑戦的課題に対し成果を挙げてきた。東北大学 WPI-AIMR における数学ユニットの設置も実現

させ、WPI 事業終了後も東北大学から恒久的支援を得ることに成功し、今後の数理物質科学の礎を築いた。

・大石チーム（「非線形系の精度保証付き数値計算法の基盤とエラーフリーな計算工学アルゴリズムの探求」）

100 万次元の非線形方程式系を精度保証可能にし、また計算工学の問題を計算時間平均 2 倍以内で完全精度保証化することなどを通じ「数値計算において生じる誤差の恐怖から研究者を解放すること」を目指す研究でありその今日的意義は大きい。適度な計算速度を保ちつつ精度はしっかりというのが今後目指すべき数値計算の方向となっていくであろう。また一部の成果は企業との共同研究にも発展し、商品化されている点は高く評価できる。特許出願は 0 であるが、これはポリシーあつてのことと思われる。

・鈴木チーム（「数理医学が拓く腫瘍形成原理解明と医療技術革新」）

腫瘍形成の原理解明を目指し数理モデルによる知見を創薬に結びつける研究を視野に入れながら、「数理腫瘍学」という新しい学問分野の確立を図るという極めて困難な課題に挑戦し多くの成果を挙げた。その基盤として分泌性基底膜分解酵素に関わる生物学仮説に忠実なモデリング法の確立を目指し、数理的手法によるキープ探索や阻害剤シミュレーションの基礎を与えた。また、細胞分子動態ネットワークの分析をして、数理モデルの解析を進め完全可積分可能な反応分子ネットワークの発見に至っている等、創薬までは至らなかったとしても基礎研究としての成果は十分挙げたといえる。また Computational Homology の手法を用いたがん組織画像診断法の自動化について特許化を進め各国でも出願、大腸がんの診断に関しては大阪大学がベンチャー企業と実施許諾契約を結び関連特許も申請するなど、社会に資する科学技術への応用展開においても顕著な成果がみられた国際連携においても英国ダンディー大学、米国ワンダービルト大学、またフランスボルドー大学の参加もあり、これらから提供された細胞分子動態のデータを使用することにより大きな研究成果を得た。また、JST「A-STEP」事業探索型に採択されているほか、戦略的基盤技術高度化支援事業を実施し、大阪大学と民間企業との関連特許の実施許諾契約書を取り交わし様々な社会還元を試みている。

・コハツチーム（「複雑な金融商品の数学的構造と無限次元解析」）

近年盛んに取引されている複雑に設計された金融デリバティブを理論的に解釈し、それに伴うリスクを軽減し金融危機に対処することを目指した。そのために不連続高頻度な現実のデータをどう解析・予測し、今後の金融危機回避にも役立てようという野心的課題に挑戦した。特にリーマンショック以降の学術界、実務界での大きな変化、模索の中でコハツ CREST チームは海外動向も積極的に取り入れ、現実的金融データに対し数理ファイナンスと統計ファイナンスの両方の視点から果敢に現実問題を直視しつつ研究を進めた。特に

代表者を中心として確率微分方程式の最大値や停止時間の無限次元解析およびそのリスク評価において、目標とした金融商品の数学的、数値解析的問題に対し大きな成果を得た。特に新たなシミュレーション法として Stochastic Parametrix を見だし、高い国際的評価を得た。その応用は、金融にとどまらず、ランダムネスが関与する現象を記述する多くの確率微分方程式のシミュレーションに関わるものであり、その視野は十分に広く、数学への波及のみならず、社会的インパクトも大きい。本チームの分担者である内田は新たに発足した大阪大学数理・データ科学教育研究センター長として、本 CREST 成果の発展と拡充に尽力している。

・水藤チーム（「放射線医学と数理科学の協働による高度臨床診断の実現」）

さきがけからの研究パートナーである放射線科医との協働を軸として、数学と医学の両方の分野でブレークスルーを目指すものである。臨床医学と数学が言葉と文化の壁を乗り越え、信頼感のある協働体制が実現し、胸部大動脈瘤ステント治療に関わる成果から始まり、樹木図を用いた熟練医の暗黙知である腫瘍画像診断論理のアルゴリズム化に至るまで流体力学、微分幾何学、統計学的手法と数値解析、シミュレーション技法を巧みに融合させ、臨床的にも意義のある大きな成果を得た。これは医師の負担軽減と高齢化時代の要求に応えた画期的なものである。また意識改革という意味においても、臨床医と数学者の意識を変え、その協働を新たなフェーズに向かわせつつあることの意義は大きい。

・長山チーム（「生理学と協働した数理科学による皮膚疾患機構の解明」）

皮膚の恒常性はどこからくるのだろうかという疑問からスタートする。細胞運動（分裂、分化、成長、運動）だけでは皮膚のバリア機構は説明できず、表皮構造は不安定である。角層直下でのカルシウムイオン動態がその鍵を握っており、その端緒は代表者のさきがけ研究で明らかにされた。本 CREST では資生堂の協働研究者と共に、数理モデル主導により皮膚バリア機能の解明、アトピー性皮膚炎患者の痒みの原因の探求等において実験生理学者との協働により画期的な成果を残した。具体的にはバリア機能恒常性維持のモデルによる数理的評価により、細胞分裂率の重要性、老化現象における真皮形状の特徴付け、Orai3 の関与を示唆し、さらにバリア機能抑制効果をもたらすカルシウム興奮の評価からスギ花粉がバリア回復を抑制する結果を得た。二光子顕微鏡による観測で、アトピー性皮膚炎患者の痒みの原因が従来の定説を覆す表皮内神経線維密度の上昇でないことを明確にし、痒み関連受容体の存在が重要であることを示唆した。これにより新たな数理モデルへの道が開かれ、今後大きな社会的貢献が期待されている。また国内特許出願 4 件はこの分野においては立派な成果である。

②つながる知（小林、日比、國府、柴田、坂上）

数学内での様々な分野間連携、諸科学、諸分野との連携を介して、細分化された知のつ

なかりを取り戻す試みを実施した。実際、数学・数理科学を核として複数のディシプリンが具体的な諸分野、諸科学の課題を通してつながるような提案を多数得た。CREST のチーム編成においては実験科学者、産業側研究者を含め、理論と実践とのバランス、コミュニケーションが十分にとれる構成を要請し、それを実現することができた。

・小林チーム（「生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御の新展開」）

生物ロコモーションの原理と考えられる自律分散システムをまねることにより、複雑環境下においてもしなやかに適応できるロボットを製作することを目指す。そのために生物学者（中垣）・数学者（小林）・工学者（石黒）からなる研究チームを作った。大自由度系における自律分散制御の設計原理の開発のため、小林チームは粘菌やアメーバのような単細胞生物に立ち返って、この設計原理を抽出することを試みた。粘菌の運動の数理モデルから「齟齬関数」という概念を抽出し、それによりアメーバ様ロボット・ヘビ型ロボット・4脚歩行ロボットなど、様々なタイプのロボット製作にその有効性を示した。ここにおける設計原理はいわゆるアンドロイド型の人型ロボットとは対極の発想である。簡単な要素集合だけから自己創発的に、変化する環境にしなやかに対応できるロボットの基本原理の数理的解明は生命とは何かともつながるところがあり、実に興味深い。なお粘菌の知的ロコモーションの研究では、粘菌が高度なネットワーク形成能力を持つことを示し、そのしくみを数理モデルによって解明し、その成果は Science 誌に掲載され、イグノーベル賞を受賞した。今後この設計原理によるロボットの実用性が立証され災害現場などにおいて活躍することが期待される。

・日比チーム（「現代の産業社会とグレブナー基底の調和」）

グレブナー基底を軸にして代数学と統計学の新たな接点を見つけ、それによりグレブナー基底による統計学への画期的応用を見いだした（第四のブレークスルー）。とりわけ指数型分布族の基準化定数、最尤推定量の計算のための全く新しい汎用的な方法（ホロノミック勾配降下法と命名）を得ることに成功し、更に微分作用素環のグレブナー基底の高速計算の実装の下、球面上の Fisher-Bingham 分布など空間統計学で重要なパラメータ次元の高い分布でも、ホロノミック勾配降下法が適用可能であることを実証した。これは当初予期していなかった新展開であり、D 加群のグレブナー基底と積分アルゴリズムが、統計学に応用できることが判明した。グレブナー基底の「辞書」作成のツール及び計算系が担う Risa/Asir の進化とともに、代数統計パッケージの開発も実施した。このように日比チームは、理論系、応用系、計算系のグループから構成される「グレブナー基底の仮想研究所」ともいふべき成果を挙げた。また「グレブナースクール」開催、「グレブナー道場」の出版などアウトリーチ活動にも積極的であり、そのことは若手育成にもはっきりとした形で成果が出ている。実際、雇用した 7 名のポストドックの内 6 名が常勤職を得た。

・國府チーム（「ダイナミクス全構造計算法の発展による脳神経-身体リズム機構の解明と制御」）

数学理論による運動系の解明を目指し、異分野連携を介して新しい数学理論開拓を目指した。とりわけ位相計算的時系列解析法の確立に成功し、ヒトの歩行・身体運動、ネットワーク結合系等の相空間構造解析を位相縮約理論やベイズ推定を併用しつつ、これまでにない広い視野からの全相空間解析を発展させ、めざましい成果を挙げた。さらに、社会や科学技術へのインパクトとして、リハビリやスポーツ科学への応用、ロボット工学、気象学などへの応用、さらに脳深部刺激の有効性に関する神経機構の解明など、将来大きく飛躍する可能性がある分野への開拓も実施した。代表者が率いる相空間全構造解析グループを中心として、ネットワーク結合力学グループと身体力学グループの3つのグループの協働関係がプロジェクトの進行と共に深まり、数学、物理学、機械工学の分野をまたぐ研究が大きく進展した。新しく開発された数学的手法は、不安定な軌道を含むものであり、より精度の高い時系列予測ができる可能性がある。それにより突発的な大きな揺らぎ現象を伴う不安定な自然現象の解明と制御や災害防止などに対する基礎技術の可能性を示唆した。国際展開も幅広く、米・ラトガース大、プリンストン大、ブラジル・サンパウロ大、ドイツ・ベルリン自由大、イギリス・ブリストル大等の研究者と研究協力・連携を行った。また、国内では、北大、理研、東大、同志社大、香川大等の研究者と連携した研究体制を築くことができた。

・柴田チーム（「現代数学解析による流体工学の未解決問題への挑戦」）

流体の不安定現象とその制御、とりわけそのミクロからマクロにわたる統一的な理解を目指している。とりわけ乱流や混相流など数学的解明が極めて困難な流体工学の未解決問題に挑戦し、大きな成果を挙げた。具体的には、キャビテーション現象の解明、分岐解析による流れの大域構造の解明そして物体後流の安定性の解明に着実な成果を挙げた。キャビテーション現象は、水中で高速に動く物体の周辺で発生し、材料の破壊や壊食を引き起こすが、気泡生成を伴う複雑な混相流であるため未開拓分野であった。柴田チームは超高速カメラを用いて、単一気泡及び気泡クラウドの非定常挙動についての実験観測及びそれに基づく数学モデリングと解析に関する協働研究を推進し、衝撃波解析、確率項を含むレイリー・プレセット方程式など、混相流のプロトモデル方程式構築まで達成した。

もう一つの重要な成果は空間局在解が重要な役割を果たす二種混合流体の熱対流および生物対流がある。パラメータに関する分岐大域構造、局在解相互作用について俯瞰的な視点を獲得し、ミドリ虫を用いた実験により、実験と整合的な生物対流数理モデルの構築に成功した。また円柱内の流体運動に対する時系列解析の手法開発にも成功した。

・坂上チーム（「渦・境界相互作用が創出するパラダイムシフト」）

シーズドリブン型研究戦略が功を奏した数学領域らしい見ごたえのある研究成果を得た。

従来の渦の生成＝厄介者というパラダイムをもう一度見直し、必要であれば、逆に渦をうまく利用して、エネルギー効率のよい新しい空力特性を実現することを目標とした。実際 Kasper 翼を動機とする剥離渦の境界近傍での閉じ込めを精緻な数値モデルや大規模数値計算・実証流体実験をチーム連携で明らかにし、全く新しい空力特性を実現できることを示した。これは既存の流体力学的パラダイムの転換につながるものであり、数学主導の「シーズ型研究」の好例でもある。さらに企業と協働でその実証実験にも成功した。後半での大きな成果である「2次元多重連結領域の流れの位相構造の分類とその語表現の理論の完成と展開」は本質的に位相幾何学的考察が重要であり、大きな応用可能性を秘めている。この数学の他分野との深い連携が本 CREST でなされたことは、数学領域全体として意義深く、従来の流体研究とは一線を画すものである。49 編の査読付き論文発表、招待講演、受賞などその質と量も申し分ない。若手育成にも成功した。また特許出願を国際 PCT も含め多数出していることはシーズドリブンであるが故の汎用性を物語っている。さらにラボステイをきっかけとしたアイシンや鉄道総合研究所といった企業との共同研究、インペリアルカレッジを始めとする諸外国との共同研究、國府 CREST や柴田 CREST との CREST 間交流など、多彩な研究ネットワーク構築を成し遂げた。

③共創による新領域開拓（杉原、安生）

より長期的な観点からは、連携、協働の結果として数学を核とした新たな学問領域の萌芽が立ち上がることが望ましい。これは簡単なことではなく、また3年、5年という短期の研究成果として望むのは無理がある。しかしながら領域全体のスケールメリットあるいはさきがけから CREST への2段階継続研究により、その萌芽的なものは期待できると考えられる。数学者個人の発想から生まれるもの、協働研究者との共創の結果として生まれるものなど多くの可能性がある。数学の古典には多くの宝が眠っており、それらが新たな出番を待ち受けている。それらの発掘と現代的活用が新たな領域開拓を生み出すと考えられる。本項目では、数学外部に新たな領域開拓を目指した2チームについて述べ、数学へのフィードバックとしての新分野形成については後述する。

・杉原チーム（「計算錯覚学の構築」）

様々な錯覚の数理的基盤を構築することにより、錯覚とくに錯視の数量化と制御を可能とし、それにより豊かで安全な社会を目指すことを実践している。数学ならではの発想であり、これまでの科学推進の方法にも一石を投じるものともなっている。また企業との新ビジネスをたちあげ、多くの商品への錯視画の提供の道を開いた。報道、受賞も多く、極めて広範囲のアウトリーチ活動を実施した。とくに「錯覚美術館」は、土曜日みの開館でありながら、開館回数 235 回、全来場者数 22,179 人（1日平均 94 人）を数え、社会からの理解を得るために大きな貢献を果たした。この「錯覚美術館」の企画、運営を始め特許（国内 10 件、海外 7 件）も多いことは特筆に値する。基礎科学としての学術論文も 64

報あり、文理融合としての側面もある。全体として「計算錯覚学」という新領域の礎の構築に成功したと判断できる。

・安生チーム（「デジタル映像数学の構築と表現技術の革新」）

「人間は、映像の何をみてリアルと感じるのか？」に対する数学的アプローチとその成果の実際応用を、特に人間と流体を対象に推進し大きな成果を挙げた。CG の精度が増すほど、アンドロイド研究で遭遇する「不気味の壁」の問題が顕在化する可能性があり、人間の感情表出や自然現象のリアリティに関わる評価基準の設定は本質的困難を伴う。本 CREST 研究では、その壁を乗り越えるべく、顔モデルの特徴抽出空間では直接操作法の理論に対し学習論的手法を取り込み、再生核ヒルベルト空間による数学的解釈を与え、同時に表情の変換と編集を自在に可能とする技術を開拓した。これらは映像制作現場でも既に本格的利用がされている。アニメーション変形を効率的かつ直感的に実現する技術、また形状変形の理論と応用とを結びつけるために Lie 理論の活用を行い大きな成果を挙げた。流体の編集技術に関しては、ラプラシアン固有関数、あるいは動径基底関数の数学的な考察を通じて、陰影制御や形状変形に関する直接操作法を開発した。雲、煙、炎、爆発などの実写 2 次元画像から、3 次元の流体レンダリングのパラメータ抽出方法を開発し、大幅な効率化にも成功した。ここでも EM アルゴリズム等の発想を活かし、人間にとってリアルと感じるものは何かに注目し、新しい定式化を提唱した。これらはすべて CEDEC、SIGGRAPH を始めとする CG 業界での世界的に最も著名な会議で採択され、2014 年度 CG Japan Award も獲得し、世界的認知度は高い。学術論文(欧文 52 件、和文 18 件)も十分であり、主要メンバーは平成 26 年度文部科学大臣表彰も獲得した。また国際シンポジウム MEIS を計 3 回開催し、「デジタル映像数学」という新たな新領域の礎を築いた。

なお水藤チームは既に項目 a において述べたが、「数理臨床医学」とも言うべき、実践的かつ高齢化社会への貢献を目指す応用数学の新たな分野形成にも大きく貢献した。方法論としては流体力学、微分幾何学、イメージング、統計学を含むデータ解析手法を用いて、循環器系の課題、熟練医の膨大な暗黙知のアルゴリズム化などに取り組んで成果を挙げた。臨床医療の分野は流体、イメージング、ビッグデータの交錯するところであり、熟練医師のもつ暗黙知の外在化は社会のニーズも高く、新領域開拓に向け、中心的ロールモデルとしての役割を果たすと期待される。

さて数学へのフィードバックという意味で極めて重要となる数学新分野の創成の可能性について報告する。

④数学新分野の創成

本領域での研究活動の成果が、数学の新たな問題や方法論を編み出し、それがこれまでになかった数学の小分野を形成する動きにつながれば、課題探索という枠組みを越えて、数学・数理科学に与える影響は極めて大きい。極めて短期間にそのような結果を得ることは

数学の歴史を振り返っても極めて難しいことであるが、萌芽的なものはいくつか示唆された。

最初は小谷チームによる「数理物質科学」の建設に向けての貢献である。離散幾何と計算トポロジーという方法論により、新たな「材料創成」を目指すものであるが、最先端実験による膨大なデータは数学に対し、新たな枠組みの構築を強く促しており、これが小分野の形成につながる可能性が高い。同時にこれまで着実に研究体制を整え、WPI-AIMR における数学ユニットへの創設につなげ、同じ屋根の下で世界最先端の材料科学の実験家と数学者が協働を行うという世界で初の試みにも成功した。さらに WPI 事業終了後もこの数学ユニットは東北大学の強力な支援の下、存続が確定しており、長期的枠組みで取り組めることになったことは、新分野形成への突破口となるであろう。

次に坂上チームによる流れの分類に対する位相幾何学の本格的導入がある。これにより、現時点では 2 次元に限定されるが、流れの完全な語表現が可能となり、様々な応用が期待されると同時に「流れトポロジー」に一石を投じた。さらに日比チームによる代数学と統計学の出会いによる第四のブレークスルー、國府チームによるデータ解析とトポロジーなど今後の発展によっては、数学への大きなフィードバックが期待される多数の成果が出た。

最後に、各チームが本研究領域に続いて獲得した研究資金ならびに CREST 研究期間中の顕彰・受賞一覧を下記に示した。

本領域終了後に継続的に研究資金を獲得したチームは多数あるが、ここでは科研費の基盤 S、基盤 A、新学術領域（研究領域提案型）に限定して記載する。また 2014 年に発足した新たな JST 数学 CREST 領域に採択された提案も多いがここでは割愛する。

・小谷元子

科研費／基盤研究（A） 2012～2016 年度

「量子スピン系の離散幾何解析学」

研究費総額： 35,620 千円

・日比孝之

科研費／基盤研究（S） 2014～2018 年度

「統計と計算を戦略とする可換代数と凸多面体論の現代的潮流の誕生」

研究費総額： 64,220 千円

・竹村彰通（日比チーム）

科研費／基盤研究（S） 2013～2017 年度

「計算代数統計による統計と関連数学領域の革新」

研究費総額： 80,990 千円

・中垣俊之（小林チーム）

科研費／新学術領域研究（研究領域提案型） 2013～2014 年度

「細胞運動における細胞レオロジーと応力場のクロストーク」

研究費総額： 17,680 千円

・柴田良弘

科研費／基盤研究（S） 2012～2016 年度

「流体现象のマクロ構造とメゾ構造解明のための解析理論の構築」

研究費総額： 67,860 千円

・土橋宜典（安生チーム）

科研費／新学術領域研究（研究領域提案型） 2015～2019 年度

「コンピュータグラフィクスによる質感表現技術」

研究費： 13,000 千円（2015 年度）

顕彰・受賞一覧

チーム	受賞者名	賞の名称	授与者名	受賞日(時期)
小谷 チーム	阿尻 雅文	文部科学大臣表彰 科学技術賞	文部科学大臣	2010 年 6 月
	阿尻 雅文	化学工学会賞	化学工学会	2013 年 3 月
小林 チーム	大脇 大、大須賀 公一、石黒 章夫	第 24 回研究奨励賞	日本ロボット学会	2009 年 9 月
	中垣 俊之 小林 亮ほか	イグノーベル賞		2010 年 9 月
日比 チーム	栗木 哲	研究業績賞	日本統計学会	2010 年 9 月
大石 チーム	大石 進一	文部科学大臣表彰 科学技術賞	文部科学大臣	2010 年 4 月
	大石 進一 荻田 武史	第 1 回業績賞[分類 A]	日本応用数理学会	2012 年 2 月
	大石 進一	紫綬褒章	内閣府	2012 年 4 月
	尾崎 克久、荻田 武史、大石 進一	ベストオーサー賞	日本応用数理学会	2012 年 8 月

コハツ チーム	内田 雅之	研究業績賞	日本統計学会	2013 年 9 月
柴田 チーム	山本 勝弘	第 89 期流体工学部門賞	日本機械学会	2011 年 9 月
鈴木 チーム	鈴木 貴	フェロー賞	日本応用数理学会	2014 年 6 月
安生 チーム	安生 健一、落合 啓之、土橋 宜典	文部科学大臣表彰 科学技術賞	文部科学大臣	2014 年 4 月
	安生 健一	CG Japan Award	芸術科学会	2014 年 11 月
坂上 チーム	金田 行雄 石原 卓ほか	論文賞	日本流体力学会	2012 年 2 月
	米田 剛	井上研究奨励賞	井上科学振興財団	2012 年 6 月
	米田 剛	日本数学会賞 建部賢弘特別賞	日本数学会	2012 年 9 月
水藤 チーム	水藤 寛	藤原洋数理科学賞 大賞	藤原 洋	2013 年 10 月
	滝沢 研二	文部科学大臣表彰 若手科学者賞	文部科学大臣	2015 年 4 月
杉原 チーム	新井 仁之 新井 しのぶ	日本応用数理学会 論文賞	日本応用数理学会	2013 年 9 月
	J. Ono A. Tomoeda K. Sugihara	Best Illusion of the Year Contest 優勝		2013 年 5 月

8. 総合所見

人類社会が抱える諸問題の解決に数学・数理科学はどのような貢献ができるだろうか。またそれらは我々の心を豊かにし、夢を与えてくれるであろうか。さらにそのような実践を通して、21 世紀社会をデザインできる新たな数学者群が形成されるであろうか。

数学・数理科学は今や我々の日常生活を支えるものであり、エネルギー、材料、通信、輸送、安全、医療、ファイナンス、データ解析等、いずれもその背後では、数学、統計学、計算機科学等の分野が活躍しており、それなしではもはや現代生活を営むことはできない。その意味で最も抽象的と思われる数学が最も身近な環境を大きく変えていく可能性をもっている。そのための最初の大きな第一歩を踏み出すために当領域が発足した。数学が核となる研究領域の発足は本領域が初めてであり、同時に数学全体を包括する極めて広い領域設定となっている。このことは異分野間のつながりを生み出す大きな母体となり、改めて数学のポテンシャルの高さを示す結果となった。多くの問題が単一のディシプリンでは解決困難であり、複数分野の橋渡しは数学なくしてはあり得ず、その多くの実践例を本領域で示すことができた。そのインパクトは大きく、数学ソサエティのみならず、多くの分野に越境しつつあり、今後は「知のハブ」としてさらなる影響を与えていくと思われる。

課題の選考においては、新規性、独創性、研究計画、研究実施体制等の項目に加え、諸科学、諸分野の研究者との協働が期待できること、とくに数学をどのように介在させることで協働を推進するのかを重視した。CREST においては、次の時代を先取りする斬新さと、新たな数学分野創設につながる提案を期待した。選考の結果、CREST では 13 件の課題が採択された。我が国を代表する一流の数学者、数理科学者による挑戦的な課題を採択することができた。とくに本領域においては CREST が 1 年遅れてスタートしたため、さきがけから CREST へのシームレスな継続研究が可能となり、実際 3 課題がそれに該当する（坂上、水藤、長山）。また CREST の代表者ではないが、分担者として活躍した本領域さきがけ出身者も複数名いる。これらは今後新分野開拓を担っていくことになる。科研費などのボトムアップ型の研究資金と比較して、本数学領域が大きく異なるのは、総括、アドバイザーそして研究者同士の間での相互作用を介しての研究へのフィードバックと忌憚のない意見が取り交わされ、それにより研究の質がいつもポリッシュアップされ、位置付けの再認識と方向修正がなされる点である。

領域内で形成された人的ネットワークは「研究課題の選考」の節に示したように非常に多岐にわたり、今後も諸分野に拡大していくと思われる。これは当初の予想を上回るものであり、ねらいの一つである「つながる知」が達成されつつあることを示すと共に、改めて数学のもつ普遍性の高さを認識することとなった。CREST においても、チーム間交流を促進するために、若手を中心とする交流合宿を 2014 年 1 月から開始し、さきがけ領域のメンバーにも参加を求め、2016 年 2 月まで 3 回実施した。この合宿は若手のファシリテータを中心に、「何が問題か？」から始まるボトムアップなオープンワークショップである。自由で忌憚のない討論は、数学の若手にとっては新鮮かつ刺激的であり今後も継続予定であ

る。この CREST 間交流は本領域の「ブレークスルーの探索」という趣旨にも沿うものであり、実際新たな問題発掘にもつながっている。この活動はいわば CREST 若手で自主的に構成するさきがけ領域とも言える。そこにおける運営のヒントは終了したさきがけ領域における「連携の壁をどう乗り越えるか」という課題に対しての領域会議、連携セッション、統括セッション、あるいはパネル討論等での蓄積が大いに役立った。協働相手の分野が異なる場合、言葉の壁、時間の壁、そして文化の壁を粘り強く乗り越えて行く必要があり、両者が共通の土俵を形作る努力が不可欠である。交流合宿の更なる継続により、次世代 CREST 人材の育成と共に、幅広い人的つながりは今後の数学と諸分野連携における強力なエンジンとなることは間違いない。

本 CREST 領域においては、社会が直面する課題解決、つながる知、共創による新領域開拓、新たな数学分野形成、そして成果の社会還元とアウトリーチ活動に大きな成果があった。材料科学、ロコモーションとロボティクス、グレブナー基底、流体、金融、応用力学系とトポロジー、臨床医学、映像数学、錯覚、皮膚科学と多岐にわたるブレークスルーの探索とその発展は7節で詳しく述べたように大きな成功を収めた。そのような諸科学、諸分野へ導入された数学的方法論が実践の過程を経て、どのような数学概念を返してくれるかは、今後の大きな課題であり、いわば「壁を越えた後の大きな試練」といえよう。本領域においては、萌芽的とは言え、その取り組みが積極的になされ、具体的な成果が出たことは大きい。小谷チームの「数理物質科学」、水藤チームの「数理臨床医学」、杉原チーム「計算錯覚学」など、言葉の壁を乗り越え、最終的には文化の壁にも立ち向かわざるを得ず、極めて困難ではあるが、今後の時間をかけた熟成が期待できる。本領域の成果の市民への還元とアウトリーチ活動についても継続的に実施し、大きな成果を挙げた。杉原チームの「錯覚美術館」の試みは、市民と数学をつなぐ上で大きな成功であり、地方での開催も極めて盛況であった。また JST 数学キャラバンも次世代を担う若手育成と数学への見方を変える意味で大きな役割を果たし、反響も大きかった。このキャラバン活動は新数学領域にも引き継がれることとなった意義は大きい。

以上の研究成果の総体は領域全体としての新たな学術分野の創成にむけて一つの大きなメッセージを発信している。スローガンとして言えば「人・社会とつながる数学」と言える。数学を専門としない一般の方々には、数学という行為を知ってもらうことにつながり、結果として数学者の意識変革にも長期的には寄与すると考えられる。最終的な目標の一つは22世紀の社会をどうデザインしていけばよいかについてのビジョンを語る数学者を生む母体为本領域から広がっていくことである。つながる知のネットワークは今後そのベースキャンプの役割を果たすことになる。

そのようなネットワーク形成は明確なミッションの下で組織されたバーチャルインスティテュートとしてのさきがけ/CREST という枠組みによって初めて可能となった。そこにおけるヘテロな研究者・研究分野の相互作用は、総括、領域アドバイザーの触媒効果なくして不可能であり、ボトムアップ型のファンディングでは極めて実現が困難なものである。

むろん本領域内で作られたネットワーク人材だけでは、日本全体の大きな流れを生み出すにはまだ非力である。さらに外に広がるスーパーネットワークの形成は不可欠であり、その具体的指標の一つとして、次のことを指摘しておきたい。日本全国の主要な大学においては、数学と諸分野との協働を目指すセンターが数多く設置されている。それらの発足に本領域は直接関与したわけではないが、ほぼすべての数学を核とする連携センターの発足、維持活動に本領域関係者が牽引役として貢献していることは事実である。戦略目標の目指すゴールがそこにおいても引き継がれ、遺伝子としての役割が果たされつつある。

最後に 2014 年度より新たな数学を核とするさきがけ及び CREST 領域が発足した。これらは本領域の精神を引き継ぐものであり、数学者側と連携相手側の意識変革がより浸透しつつある中で、これまで述べた成果の更なる発展が期待される。とりわけ CREST「数理モデリング」領域（研究総括：坪井 俊）では、さきがけや CREST「数学」領域の出身者が多数参画している。これにより本領域での成果をさらなる継続と同時に、上述のベースキャンプの充実にも寄与できる。本領域での経験と蓄積が新領域においても十分生かされることが期待され、数学へのフィードバックの長期的熟成が期待され、その意義は大きい。