

戦略的創造研究推進事業

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」

－ 個人型研究（さきがけ）－
研究領域事後評価用資料
－ C R E S T タイプ－
研究領域中間評価用資料

平成25年3月30日

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
(4-1) 採択課題・研究費（さきがけ）.....	3
(4-2) 採択課題・研究費（CREST）.....	7
2. 研究領域および研究総括の選定について（領域発足時）.....	8
3. 研究総括のねらい.....	9
4. 研究課題の選考について.....	12
5. 領域アドバイザーについて.....	18
6. 研究領域の運営の状況について.....	19
7. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況、および研究の経過と所見.....	37
8. 総合所見.....	45

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）」

<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。

- (1) 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。
- (2) 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。
- (3) 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。
- (4) 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。

<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」 (平成 19 年度発足)

<研究領域の概要>

本研究領域は，数学研究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。謂わば 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

氏名 西浦 廉政 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構 教授)

(4-1) 採択課題・研究費（さきがけ）

（百万円）

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：応募時	研究課題	研究費※
平成 19年度	荒井 迅	北海道大学創成研究機構 特任助教 (京都大学 助教)	数学と計算機科学の連携による数理モデルの大域的計算理論	28
	新井 仁之	東京大学大学院数理科学研究科 教授 (同上)	ウェーブレットフレームを用いた視覚の数理モデル	16
	坂上 貴之	北海道大学大学院理学研究院 教授 (同上 准教授)	水圏環境力学理論の構築	25
	水藤 寛	岡山大学大学院環境学研究科 教授 (同上 准教授)	臨床医療診断の現場と協働する数理科学	29
	長藤 かおり	九州大学大学院数理学研究院 准教授 (同上)	科学工学モデルの安定性に関する計算機援用解析	28
	中野 張	東京工業大学大学院イノベーションマネジメント研究科 准教授 (大阪大学 特任助教)	保険型金融商品のリスク分散メカニズムの解明	6
	長山 雅晴	金沢大学理工学研究域数物科学系 教授 (同上 准教授)	自己組織化としての皮膚バリア機能の数理解析	27
	西成 活裕	東京大学先端科学技術研究センター 教授 (同上大学院 准教授)	輸送と渋滞に関する諸現象の統一的解析と渋滞解消	47
	蓮尾 一郎	京都大学数理解析研究所 助教 (同上)	「計算機システムの科学」のための数学	17

	牧野 和久	東京大学情報理工系研究科 准教授 (同上)	離散アルゴリズムに対する品質保証技術	40
	吉田 朋広	東京大学大学院数理科学研究科 教授 (同上)	確率過程の統計推測法の基礎理論およびその実装	38
平成 20年度	大下 承民	岡山大学大学院自然科学研究科 准教授 (同上)	ヤング測度による高分子共重合体の微細構造の解明及びヤング測度の展開	18
	小磯 深幸	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 教授 (奈良女子大学 教授)	幾何学的変分問題の解の大域解析とその応用	29
	郡 宏	お茶の水女子大学お茶大アカデミック・プロダクション 特任助教 (同上)	振動子理論の生物・化学・工学・医療分野への応用	45
	田中 冬彦	東京大学大学院情報理工学研究科 助教 (同上)	統計モデル多様体の普遍的な性質のベイズ予測理論への応用	12
	原田 昌晃	山形大学大学院理学部 准教授 (同上)	代数的符号理論による組合せ構造の解析と量子符号への応用	25
	春名 太一	神戸大学大学院理学研究科 助教 (同上)	システム生物学に関わる情報と記述の諸問題	16
	平岡 裕章	九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 准教授 (広島大学 助教)	シャノン限界の実現と次世代情報通信理論の構築	16
	三浦 佳二	東北大学情報科学研究科 助教 (東京大学 日本学術振興会特別研究員)	情報幾何学の計算論的神経科学への応用	8
平成	石川 博	早稲田大学理工学術院 教授	非記号計算の基礎理論の構築と構造学習への応	25

21年度		(名古屋市立大学 准教授)	用	
	一宮 尚志	岐阜大学大学院医学系研究科 准教授 (京都大学グローバル COE 特定研究員)	数学を応用した動力学シミュレーション法の開発	9
	伊藤 公人	北海道大学人獣共通感染症リサーチセンター 准教授 (同上)	インフルエンザウイルスの遺伝子変異に内在する数学的構造の探求	30
	川北 素子	滋賀医科大学医学部 准教授 (同上)	符号・暗号のための代数曲線論	7
	北畑 裕之	千葉大学大学院理学研究科 准教授 (同上 講師)	非平衡系における界面張力の数理物理学	32
	斉藤 朝輝	公立ほこだて未来大学システム情報科学部 准教授 (同上)	真軌道によるシミュレーションの実現とその応用	19
	坂上 貴洋	九州大学理学研究院 助教 (京都大学福井謙一記念研究センター研究員)	揺らぐ結び目構造の数理	33
	田村 隆志	大阪府立大学学術研究院 准教授 (大阪大学大学院基礎工学研究科 助教)	非線型マクロ経済モデルのためのフレームワークの構築	8
	寺前 順之介	大阪大学大学院情報科学研究科 准教授 (理化学研究所脳科学総合研究センター 基礎科学特別研究員)	非線形情報理論：環境雑音を活用する次世代情報処理の実現	11
	浜野 正浩	科学技術振興機構 専任研究者 (沖縄科学技術研究基盤整備機構 研究員)	情報論理学の新パラダイムがもたらす生物現象の計算構造の解明	18
	水口 毅	大阪府立大学大学院工学研究科 講師 (同上)	力学系における不安定対称解の探査と制御の展開	9

	溝口 紀子	東京学芸大学教育学部 准教授 (同上)	非線形放物型方程式の解の爆発とその応用	21
			総研究費	692

※ 各研究課題とも3年間の見込みの総額

(なお平成19年度採択の田中ダン研究者は、平成21年度に逝去し、本領域事後評価の実績には反映していない)

(4-2) 採択課題・研究費 (CREST)

(百万円)

採択年度	研究代表者	中間評価時 所属・役職	研究課題	研究費*
平成 20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	230
	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	261
平成 21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	226
	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 アルツロー	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	171
	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	242
	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	203
平成 22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	198
	坂上貴之	北海道大学 教授	渦・境界相互作用が創出するパラダイムシフト	164
	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	208
	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	218
	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	209
			総研究費	2,821

* 研究費：平成24年度上期までの実績額に平成24年度下期以降の計画額を加算した金額

2. 研究領域および研究総括の選定について（領域発足時）

本研究領域は、数学研究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、数学研究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。

西浦廉政氏は、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思われる。

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思われる。さらに、日本数学会評議員や日本応用数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、公平な評価を行うと思われる。

3. 研究総括のねらい

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、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も興味深い提案をもたらすと思われる。

さきがけ、CREST それぞれのねらい及びハイブリッド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拡げる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ーとなる人材、とくにインターフェイ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 期生は終了時に CREST 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。

<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す。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まれます。

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ます。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ます。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。

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ます。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ません。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ます。

実施体制については、平成19年度は個人型研究（さきがけタイプ）でスタートします。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ですが、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ります。単に名前を連ねた論文発表だけにならないように、緊密な情報交換と協働作業に努めて研究を実施することを望みます。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ます。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します。

平成20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）も対象とします。

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多くない場合には、採択数が少なくなることもあります。

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年間の標準としますが、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します。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ります。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みます。

4. 研究課題の選考について

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．

- (1) 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．
- (2) 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．
- (3) 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うるのか，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．
- (4) 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．

選考結果について

(1) さきがけの選考結果

平成19年度（第一期）は諸科学，諸分野との連携を目指した予想を上回る多数の応募があった．潜在的にこのような領域設定が強く望まれていた背景があると考えられる．図1は一期生の数学と諸分野を軸としての分布を模式的に表したものである．渋滞，臨床医療，保険金融などの社会的要請の高い課題から離散アルゴリズム，統計，トポロジカルな大域力学系まで多様性のある採択ができた．

この分布図は、「数学通信」第15巻第4号に投稿したさきがけ一期生をサッカーチームに見立てた布陣である。

領域とは、これまでの数学の分野縦割りの同値類を超えた「多様性を育む場」をつくることにより、様々な分野の研究者による混成チームが構成され、個人の大きな成長を図ると同時に、領域全体の戦略目標達成に向けた機能が発現することとなる。

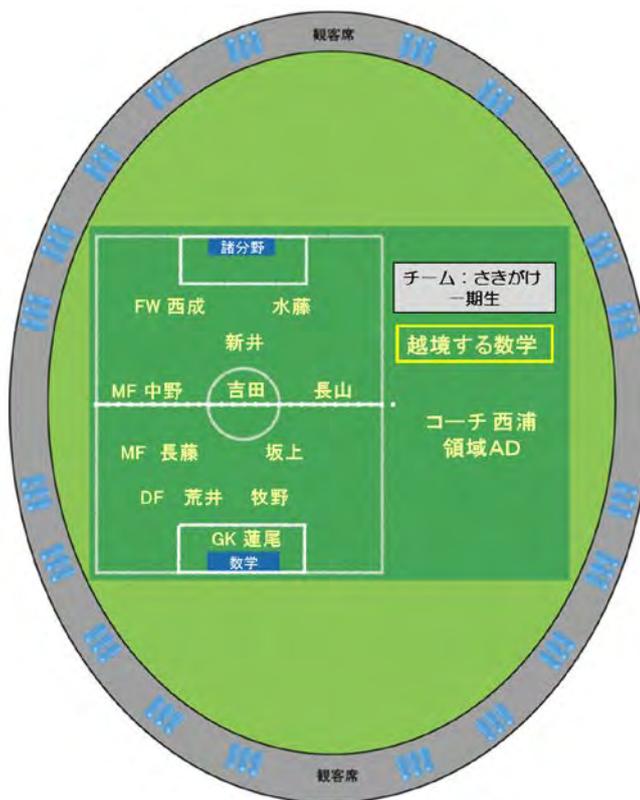


図1. さきがけ一期生の布陣

平成20年度（第二期）も多彩な分野からの応募があった。実際、代数的符号理論、情報幾何的観点から量子統計理論へ、高分子重合体の数学理論、幾何的変分問題の大域理論、振動子理論の生物問題への応用、シャノン限界に挑む次世代通信理論等を含む66件の応募があった。領域内での意味のある人的ネットワークを形成するにはどのような分野構成が望ましいかについても考慮した。物理、化学、生命、情報という諸科学との連携の観点からバランスのとれた採択となった。

平成21年度（第三期）はさきがけ最終年度であり、これまで以上に数学のみならず諸分野の研究者による数学を要とする分野横断的提案がなされ、裾野の広がりを感じさせるものであった。提案課題は非記号計算、力学系、金融・経済問題から情報通信、統計、非線形物理、真軌道計算、爆発問題、さらには感染症問題と幅広い応募があり、また広い意味での生命科学に関わる課題も多く見られた。いずれも国内外の第一線で活躍されている優秀な研究者の提案で、前年度と同様に様々な分野とのつながりを意識し、新たな切り口を開拓しようとする意欲的な提案が数多くあった。最終的には12件（内女性研究者2名）を採択することとなった。

以上の結果、さきがけにおいては3年間で32件の研究課題を採択した。
(なお平成19年度採択課題の研究者が1名、さきがけ研究期間中に逝去)

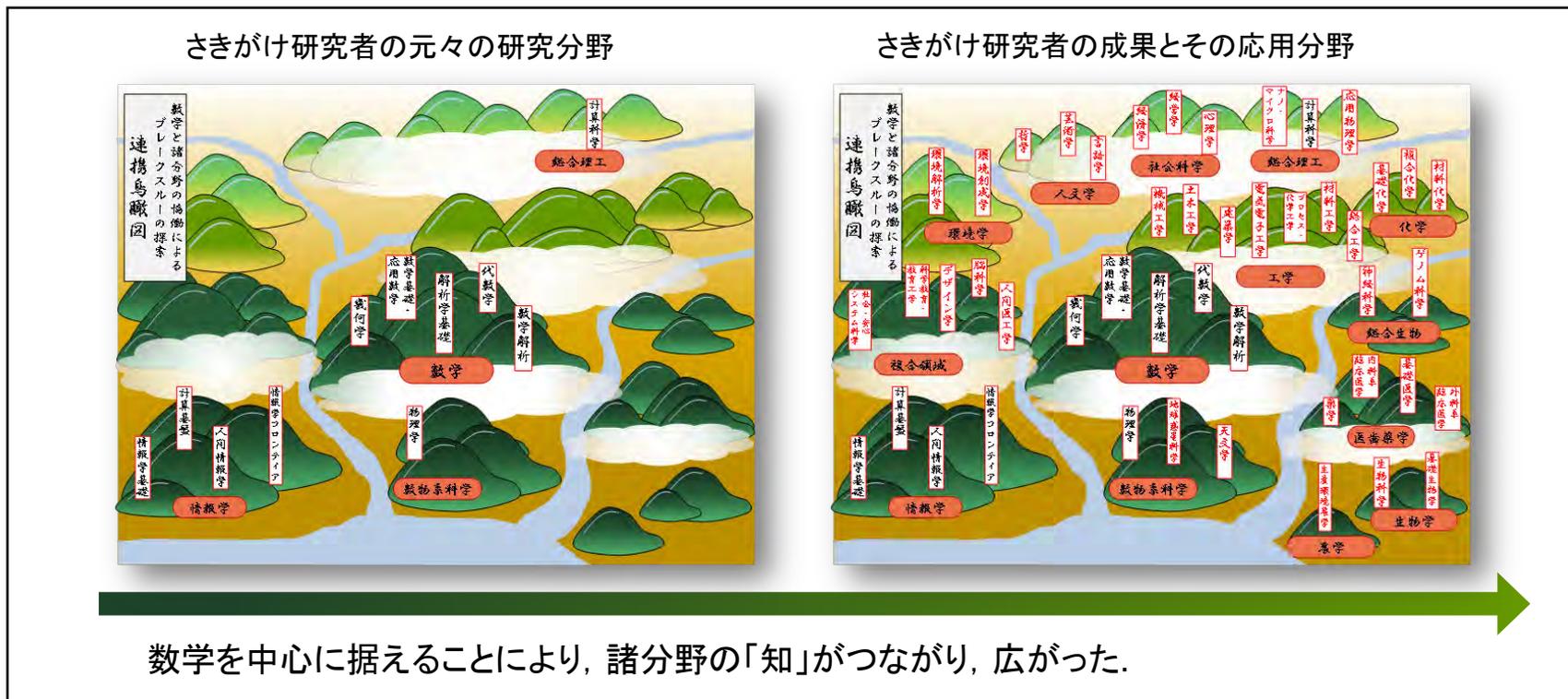
選考年度	応募件数	面接件数	採択件数
平成19年度	169件	25件	12件
平成20年度	66件	23件	8件
平成21年度	73件	23件	12件

これらさきがけ研究者が、研究期間中にどれほど協働分野を拓けたかを下図に示す。

採択当初、各自の研究分野は左の図であるが、さきがけ研究期間中に積極的に越境することにより、実に様々な分野と協働することができた（右図の赤字）。

さきがけ 31 名の研究者による協働実績は、実に 240 例に上り、当初の狙いを大きく上回るものとなった。

なお分野は、科研費 71 細目による分類を用いている。



(2) CREST の選考結果

平成20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。

平成21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つた。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—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。

平成22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つたが、さきがけ二、三期生が応募できなかつ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。

CRESTにおいては3年間で13件の研究課題を採択した。

選考年度	応募件数	面接件数	採択件数
平成20年度	44件	12件	3件
平成21年度	30件	12件	5件
平成22年度	37件	11件	5件

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザー一覧

領域アドバイザー名	所属	現役職	任期
赤平 昌文	筑波大学	理事／副学長	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
池田 勉	龍谷大学	副学長／常務理事	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
織田 孝幸	東京大学	教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
小田 忠雄	東北大学	名誉教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
小野 寛晰	北陸先端科学技術大学院大学	特別招聘教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
高橋 理一	(株) コンポン研究所	取締役	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
津田 一郎	北海道大学	教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
長井 英生	関西大学	教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
宮岡 礼子	東北大学	教授	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月
山口 智彦	(独) 産業技術総合研究所	研究部門長	平成 19 年 5 月～平成 25 年 3 月

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. 研究領域の運営の状況について

領域運営の基本的な考え方

・知のハブとしてのヴァ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ヴァ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ヴァーチャルインスティテュートでは重要となる。

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て行く予定である。そのためにも領域事務所と同等の機能をもつ 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と思われる。

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。そのため個人型研究でありながら、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。

また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ない、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。

さきがけにおいて、特に若手研究者が多く、また諸分野との協働の経験が乏しいこともあり、海外研究の積極的支援やアウトリーチ活動の促進など機会の創出を行なった。

さらに研究費の増減についても、雇用者の有無、実験を考慮するなど、メリハリを利かした判断を行なった。

研究者の異動に対しては、適宜訪問してサイトビジットを行なうようにしたことと、研究継続に必要な支援等を検討し、対応を実施した。

特にさきがけでは、前述のように J S T 領域事務所体制が確立され、技術参事・事務参事が揃っていることを最大限利用して、研究者に対するきめ細かい世話役活動を行なった。

複合領域としてのマネージメント

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。

とくに今後の領域後半においては CREST チーム間の相互交流と協働を促進していきたい。そのためには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ことも考えている。

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) J S T 戦略的創造研究推進事業としての活動

- (1-1) 領域シンポジウム（研究成果報告会）の開催（さきがけ、CREST）
- (1-2) サイトビジットの実施（さきがけ、CREST）
- (1-3) 領域会議の開催（さきがけ、CREST）

(2) 数学と諸分野の協働という領域特有性に鑑みた活動

- (2-1) さきがけ数学塾（さきがけ）
- (2-2) J S T 数学キャラバン（さきがけ+CREST）
- (2-3) 諸分野との協働に関するワークショップ（さきがけ+CREST）
- (2-4) 企業研究所との交流（さきがけ）
- (2-5) 国際研究会の開催（さきがけ+CREST）

(2-6) 出版、メディア出演などのアウトリーチ (さきがけ、CREST)

(1) JST 戦略的創造研究推進事業としての活動

(1-1) 領域シンポジウムの開催 (さきがけ、CREST)

さきがけの各期終了年度において、研究成果報告会を開催した。その際には、他分野に対する協働をテーマとしているため、数学分野の研究者だけではなく一般にも理解されるよう、タイトルや発表内容を工夫するように努めた。また、さきがけ+CREST のハイブリッド領域であることを利用し、領域シンポジウム「越境する数学」として両者を融合した形での開催を検討したが、実際にはそれぞれの個別開催となった。今後はCRESTを中心に、さきがけOBも協力して、応用分野別開催などを検討して実施する予定である。

<開催実績>

シンポジウム	開催日	開催内容	開催場所	参加者数
第1回	H23/1/16	さきがけ一期生 成果報告会	東京大学弥生講堂・一条ホール	120
第2回	H23/9/7	CREST 1+2年次課題	アキバホール	157
第3回	H23/12/20	さきがけ二期生 成果報告会	東京大学弥生講堂・一条ホール	111
第4回	H24/11/27	さきがけ三期生 成果報告会	東京大学弥生講堂・一条ホール	106



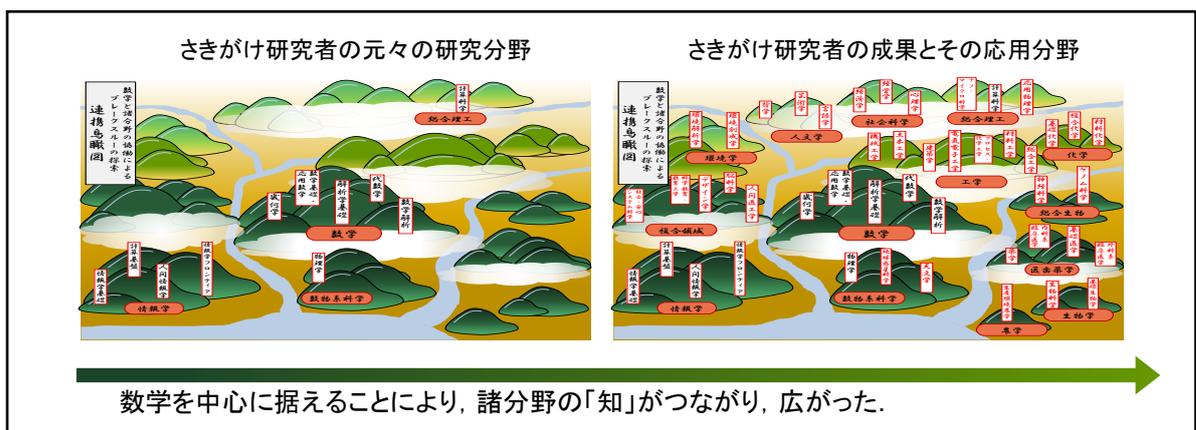
(第1回) パネルディスカッション：越境する数学



(第2回) ポスターセッション



(第3回) OBによるインタビュー：さきがけを終えて



(第4回) 企画「つながる知」：数学連携図，数学キャラバン，数学塾

(1-2) サイトビジットの実施（さきがけ、CREST）

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ない、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、さきがけ研究者の異動に際しても、研究総括または領域事務所の技術参事および事務参事が適宜訪問を行なった。

(1-3) 領域会議の開催（さきがけ、CREST）

a. さきがけ領域会議の開催

さきがけにおいては、特に以下の考え方で運営を行なった。

- ・周知を結集する貴重な機会である「場」を最大限生かすことを考え、個々の問題を出し合い、その解決を図るための議論を通じて、全体で共有することが最も重要なことである。また、前回との差分やできたことを発表するのではなく、できなかったこと、困っている内容を出し合うことを求め、ともに議論を行なうような内容とする。
- ・発表だけでなく議論の時間も重視、質疑や討論ができるよう運営を工夫する。
発表後も発表者を囲んだ複数での議論ができるようにするため、会議場の後部に机と白板を設置するなども行なった。
- ・三期生が揃う第5回から全体討論を開始。数学分野のことや戦略目標についてなどを全員で考え、外部へ発信していく。
議論内容は、音声を文字化して共有を図るとともに、連携ワークショップや出版などに活用した。
- ・一般的に他から見えにくい「数学の研究」の内容と自分が考えていること、目標などアピールできるよう、プレゼンテーション能力の伸展を図る。
- ・領域内の研究者交流をできる限り活性化し、共同研究の創出を図る。
上記2点の対策としてお互いの研究内容を紹介しあう「ペア発表」を第6回で取り入れた。事前に打合せするなどの準備を含め、相互理解が進むとともに本人の気付いていない研究の視野が拡がり、また共同研究に発展したケースもあった。
- ・関連他領域やCRESTとも相互参加を促し、より広がった交流を図る。
同時期に発足した生命科学分野と数学にまたがる領域は、比較的研究内容が近いものがあることから、各々の領域会議にお互いの研究者が参加しあうよう促し、結果として双方の研究者交流の範囲を大きく広げることができた。

<さきがけ領域会議開催実績> 全 11 回

	開催日	場所	会議場	参加者	特記事項
第 1 回	H20/2/15-16	都内	ホテルフロラ シオン青山	一期生	
第 2 回	H20/8/25-26	北海道	支笏湖丸駒温 泉旅館	二期生	
第 3 回	H21/2/18-20	千葉	かずさアカデ ミアパーク	一十二 期生	
第 4 回	H21/8/30-9/1	長野	軽井沢プリン スホテル	一十二 期生	
第 5 回	H22/2/14-16	宮城	仙台ホテルク レセント	一～三 期生	討論会
第 6 回	H22/7/18-20	滋賀	北ビワコホテ ルグラツィエ	〃	ペア発表, 特許説明, 討論会
第 7 回	H23/2/17-18	都内	東京ガーデン パレス	〃	一期生報告会に連続
第 8 回	H23/6/23-25	北海道	ヒルトンニセ コ	〃	ペア発表 他領域研究者が参加
第 9 回	H24/1/26-28	奈良	橿原神宮ロイ ヤルホテル	〃	事前アンケート+討 論会
第 10 回	H24/8/16-18	宮城	宮城蔵王ロイ ヤルホテル	〃	総括報告 (海外拠点, AIMR) 今後の領域活動
第 11 回	H25/1/27-28	福岡	玄海ロイヤル ホテル	〃	討論会 (現状と展望) 継続領域について

<全体討論>

- ・ 第 1 回 全体討論～知の連鎖 (H22/2/18_第 5 回領域会議)
自主検討会 (H22/6/3@北大)
- ・ 第 2 回 過去から未来へ (H22/7/18_第 6 回領域会議)
- ・ 第 3 回 戦略目標～他分野との協働 (H24/1/30_第 9 回領域会議)
- ・ 第 4 回 今後のアウトリーチ活動 (H24/8/16_第 10 回領域会議)
- ・ 第 5 回 現状と展望, 継続領域 (H25/1/27_第 11 回領域会議)

b. C R E S T領域会議の開催

- ・ C R E S T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なった。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なった。複数チームが互い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。



(第4回) C R E S T領域会議

< C R E S T領域会議、インタビュー開催実績 > 全10回

	開催日	場所	会議場	参加チーム
採択課題キックオフ ミーティング 兼 第1回領域会議	H20/10/23	都内	J S T 三番町 ビル	1年次採択課題 (3チーム)
採択課題キックオフ ミーティング 兼 第2回領域会議	H22/1/12	都内	J S T 三番町 ビル	1、2年次課題 (全8チーム)
採択課題キックオフ ミーティング	H22/11/4	都内	J S T 三番町 ビル	3年次課題 (全5チーム)
第3回領域会議	H22/11/20 -21	都内	早稲田大学	1～3年次課題 (全13チーム)
第4回領域会議	H25/ 1/14-15	都内	アーバンネット ト神田	全13チーム +関係者 全68名
チームインタビュー	H24/5/14	仙台	東北大構内	安生T、大石T
チームインタビュー	H24/5/18	仙台	東北大構内	コハツT、 坂上T、柴田T

チームインタビュー	H24/5/24	仙台	東北大構内	鈴木 T
チームインタビュー	H24/5/25	仙台	東北大構内	杉原 T、 國府 T、小林 T
チームインタビュー	H24/6/29	仙台	東北大構内	水藤 T、長山 T

(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つての意識改革」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なった。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、幅広い活動を行なった。

(2-1) さきがけ数学塾（さきがけ）

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、全国に広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、毎年3月上旬に計4回を開催。受講者からは継続を希望する声が多く、さきがけ終了後も研究者が自主的に開催を計画中である。

<開催実績> 全4回

開催日	テーマ	開催場所	受講者数	講師（*非JST）
H21/3/7-9	力学系・カオス理論	JST 三番町ビル	27	新井, 三波*, 平岡, 郡
H22/3/8-10	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
H23/3/7-9	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*
H24/3/7-9	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



グループ演習

<p>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-</p> <p>2010.3.8~10</p>	<p>第3回 変分法入門 -生命現象への挑戦-</p> <p>2011.3.7~9</p>	<p>第4回 数学を使う -生命現象への挑戦-</p> <p>2012.3.7~9</p>
--	---	---

(2-2) JST数学キャラバン (さきがけ+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7回を開催した。

当初は、さき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「さき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、名称からさきがけの名を外し「JST数学キャラバン」と改めている。

<開催実績> 全7回

開催日	開催地	主催・共催 後援	参加 者数	講師 (*非 JST)
H23/2/20	山形大学	JST・山形大学理学部	80	水藤, 荒井, 蓮尾, 長山
H23/5/14	神戸大学	JST・神戸大学理学部	197	西浦総括, 平岡, 牧 野, 郡

H23/10/9	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
H23/10/23	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
H24/6/17	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
H25/1/5	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
H25/1/13	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*



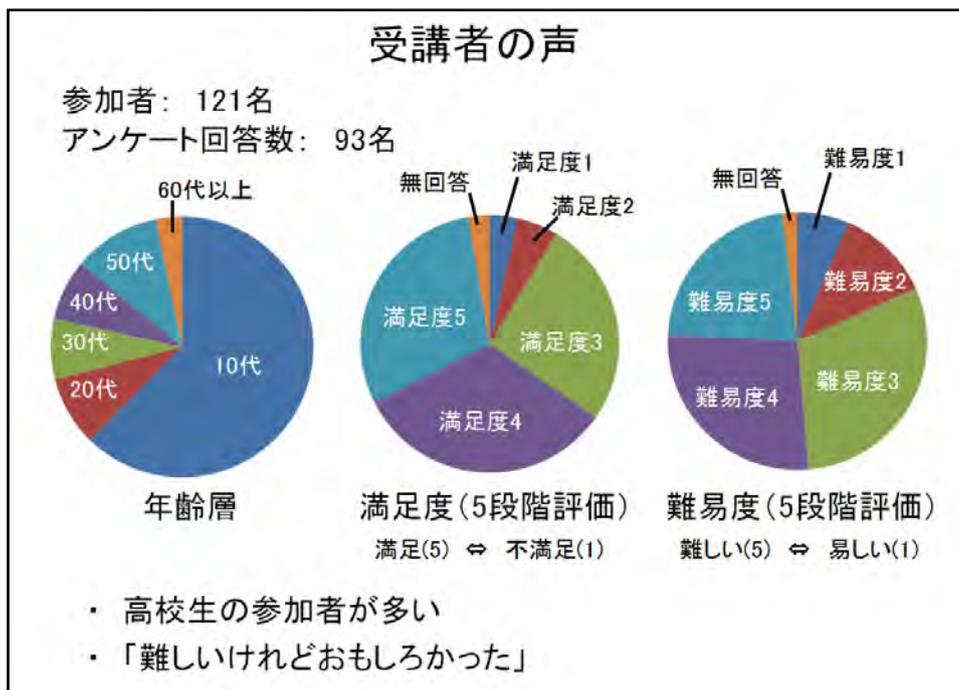
(第2回) 神戸：講演後の質問



(第6回) 福島：デモ実験

JST数学キャラバン 11

2011.2.20 山形	2011.5.14 神戸	2011.10.9 金沢	2011.10.23 岡山
2012.6.17 千葉	2013.1.5 福島	2013.1.13 岡山	



第5回開催時 アンケート結果

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。



(2-3) 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」
平成 22 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学のフロンティア」
平成 22 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」
平成 23 年 2 月 19 日 (土), 3 月 7 日 (月)
- ・文部科学省 数学・数理学と諸科学・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」
平成 24 年 11 月 10 日 (日)

(2-4) 企業研究所との研究交流 (さきがけ)

領域アドバイザーを務めていただいている高橋理一アドバイザーを通じて, 豊田中央研究所とさきがけ研究者の研究交流を行なった. 双方ともに極めて貴重な機会であり, 大変意義のある交流会であった.

日時: 平成 22 年 12 月 20 日 (月)

場所: (株) 豊田中央研究所

参加: 西浦研究総括, 高橋領域アドバイザー,

さきがけ研究者 8 名 (蓮尾, 荒井, 坂上貴之, 長山, 郡, 原田, 小磯, 一宮)

内容: 領域概要紹介, 研究講演, フラッシュトーク, 会社概要紹介, 研究講演,
ポスター討議

(2-5) 国際研究会の開催 (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"

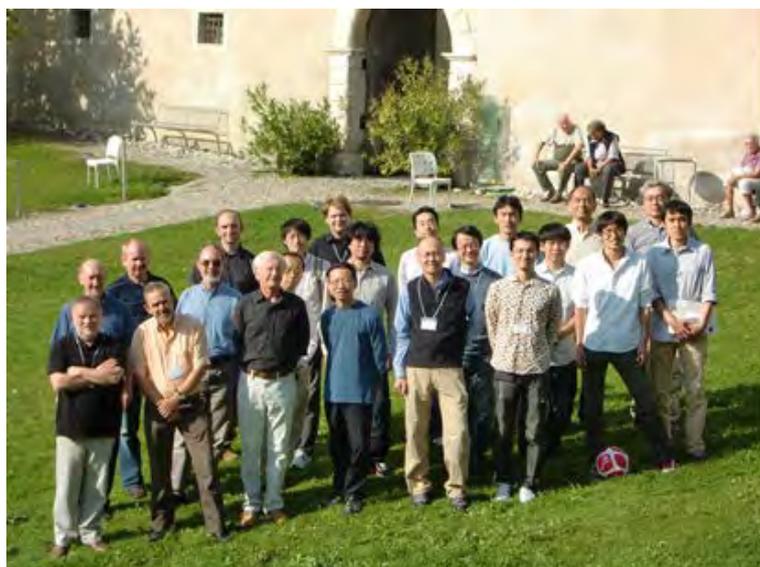
日時: 2011 年 12 月 5 日~9 日

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）



イタリア Schloss Goldrain, Goldrain



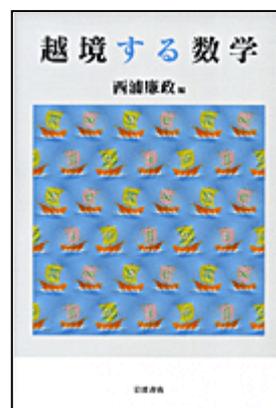
中国 天津

(2-6) メディア出演, 出版などによるアウトリーチ活動 (さきがけ、CREST)

- ・テレビ出演
 - 「世界一受けたい授業」「サイエンス」「ワンダー×ワンダー」「大科学実験」「めざましテレビ」
- ・出版, 雑誌掲載 (研究書ではなく, 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」
- ・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, 日本経済新聞
- ・研究拠点「錯覚美術館」における体験型成果展示 (毎週土曜日公開)



(CREST杉原チーム) 錯覚美術館



書籍「越境する数学」

JSTトップ > プレス一覧 > 共同発表

  平成24年6月21日
科学技術振興機構(JST)
東北大学 大学院情報科学研究科

脳の嗅覚皮質における電気信号の解読に成構の解明に前進

ポイント

動物は1回の呼吸ですばやく匂いを判別できるが、脳がどう情報匂いの情報は、嗅覚系の出口付近で電気信号の回数として伝る包括的な脳神経活動の解明や人間の嗅覚障害の治療・人工嗅る

JST 課題達成型基礎研究の一環として、東北大学の三浦 佳二覚皮質において、神経細胞の**電気信号(パルス)**^(注1)を解読し、嗅ばやく判別されるメカニズムを初めて解明しました。
我々の脳は、神経細胞が電気パルスをやり取りすることによっう短時間に感覚情報を処理し、行動を制御する能力を持っていまのように行われているかはよく分かっていません。特に、神経活動

(さきがけ) 三浦研究者

トップ 東北 内外 スポーツ 特集 河北DB ふらっと 動画・シネマ
宮城 青森 岩手 秋田 山形 福島 広域 分野別 河北春秋 河北抄

電報のニュース いいね! 4

脳の匂いかぎ分け 仕組み解明 東北大グループ

東北大学大学院情報科学研究科の三浦佳二助教(応用数学)の研究グループは、脳の嗅覚皮質にある神経細胞の電気信号(パルス)を数学の応用で解読し、匂いの違いを素早く判別する脳のメカニズムを解明した。

動物は1回息を吸い込んだだけで、素早く匂いを判別する。匂いの分子は鼻の中にあるセンサーに検出され、情報はパルスとなって脳内へと伝わる。しかし、脳が嗅覚情報を処理する仕組みは、よく分からなかった。グループは、頭部に電極を付けたラットに匂いを判別する課題を与え、嗅覚皮質の神経細胞が発するパルスを記録し、数学的手法で解析した。その結果、脳の入り口近くにある嗅球では、パルスの伝わるタイミングで匂いを区別するのに対し、脳の奥にある嗅覚皮質では、パルスの回数(頻度)の違いを判別していたことが分かった。また、嗅覚皮質の多くの神経細胞が、互いに独立して匂いの情報を処理をしていた。このような神経細胞の活動の違いが、素早く正確な判別を可能にしていた。三浦助教は「研究ではラットを使ったが、同じほ乳類である人間とは高い類似性があると考えられる。嗅覚障害の治療や人工嗅覚の開発への応用が期待できる」と話している。研究成果は、21日付の米科学雑誌「Neuron」に掲載された。

印刷用ページ 2012年06月21日 木曜日

研究課題の指導とマネージメント

(1) さきがけにおける研究課題の指導とマネージメント

(1-1) 研究推進における仕組み的な支援

他の研究領域には見られない当領域特有の課題がいくつかあった。このうち制度に関することはJST本部と連携して運用体制を整備して対応を行なった。

a. 研究者招聘

さきがけでは個人研究者が独立して研究を推進する事を原則としており、個人研究者自身が出張することが基本的スタンスであったため、外部研究者の招聘は原則として認めていなかった。しかしながら、研究設備を利用して成果を評価する事が必要な場合、あるいは学会などで外部研究者が近くに来ておりすぐに個人研究者の研究室に立ち寄ることが可能など、経費面でも合理的であり、かつ招聘する方が研究の進捗に効果的である場合については旅費の支給について個別に対応していた事例もある。

このような状況の中で、数学分野の研究は、領域運営の基本的考え方で述べたように、「人 vs 物」ではなく「人 vs 人」が必須条件であり、異なる脳をもつ人との議論や交流が実験となるため、以下の点に留意することを条件に招聘を認めた。

- ・分野にもよるが、議論はワークステーションを購入するよりも重要になりうる。しかし、さきがけは個人研究であり、招聘により教えを請うばかりでは困る。
- ・さきがけの研究計画内において、「是非ともこの部分について知恵を借りたい」という姿勢において招聘を行なうものとする。

また、以下のことについても併せて考慮した。

- ・経済的効率性（海外研究者の別件の出張の際の立ち寄り）
- ・複数招聘
- ・自分の実験器具等の環境を使用しながら、議論しないといけない場合
- ・公開のセミナーを企画する場合

b. 研究補助者特殊雇用形態の対応

一部に規定数以上の補助者を必要とする申請があったため、同時雇用数の制限と人数確保の両立を図るべく、週内シフト雇用を認めた。これにより同時雇用数を既定の範囲内に留めることができた。

(1-2) 海外における研究の支援

a. 専任研究者の海外駐在

研究者：三浦佳二（JST専任）

2009. 4. 1～2011. 3. 31 ハーバード大学

b. 兼任研究者の海外長期出張対応

著名な海外の優秀な研究者のもとで研究することは極めて価値があることで

あるが、滞在費等の経済的処遇が常識を逸脱しないよう、以下の研究者らの所属機関に対して研究目的であることを考慮した提案を行なった。

- ・大下承民研究者（岡山大学）

2008. 11～2009. 8 オックスフォード大学

- ・平岡裕章研究者（広島大学）

2009. 8～2010. 7 ペンシルバニア大学

- ・斉藤朝輝研究者（公立はこだて未来大学）

2011. 8～2012. 5 英国ウォーリック大学

2012. 5～2012. 9 米国メリーランド大学

中でも斉藤研究者は、所属機関が初めて外部資金獲得者による海外研究制度を開始したところであり、委託契約による経費執行を拒んだため、期間中の支払いをすべてJSTによる直接執行で対応した。さきがけの事務所体制があつてこそ実現できた海外研究といえる。

（1－3）研究費の配分と増減

a.当初計画作成時

各研究計画の内容を吟味し、募集要項に沿った範囲内（最大 40 百万円）で各テーマに応じた研究費の予算配分を行なった。

b.追加予算配分

研究進捗に伴い、成果が期待される新たな社会実験（西成研究者の多数車両を使った交通渋滞実験や、郡研究者のシアノバクテリアを使った生物体内時計の実験）など、予算追加の意義が明確なものに追加配分を認めた。一方、補助者が雇用できないため減額変更を認めざるを得ない計画などもあつたなど、領域の全体予算を有効的に活用できた。

（2）CRESTにおける研究課題の指導とマネージメント

（2－1）研究推進における仕組み的な支援

さきがけの項でも述べたが、理論領域においては「人 vs 人」の直接討論が重要であり、研究者招聘に関しては他領域より積極的に活用してもらっている。チームのテーマ毎の国際会議も CREST-SBM 国際研究集会シリーズとして開催を継続中である。通常の CREST 領域会議の開催と共に、テーマに近い、たとえば「医療」「流れ」「ロコモーション」などのトピックで複数の CREST チームが集まり、より深い議論ができる場の設定も試みた。これは今後もチーム間交流を進める上でも継続する予定である。

<CREST-SBM 開催実績および今後の予定>

	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	約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	約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	約100名
第4回 (予定)	2013/3/13 ～14	Collaboration between Mathematical Science and Clinical Medicine	水藤 チーム	東京大学	—
第5回 (予定)	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	—

(2-2) 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*	50
男女共同参画支援策(2件)	5
国際強化支援策(5件)	15
合計	70

*総括裁量経費は、「表1：研究課題別の研究費」の内数、それ以外は外数。

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、5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. 研究領域のねらいに対する成果の達成状況、および研究の経過と所見

・「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。とく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、成果を評価する。さきがけにおいてはとくに最初の2つを、CRESTにおいては3つ目も含めて総合的に検討することとした。

(1) さきがけにおける成果と所見

3年間という短い期間ではあるが、ねらいの最初の2つの達成度及び新たな研究課題の発掘という観点から分類し、その成果を評価した。

a. 直面する社会的課題への模索と挑戦

(水藤、坂上、西成、中野、牧野、伊藤、中野)

渋滞から生じる莫大な資源の浪費とそれに伴う環境悪化は想像を超えるものがある。西成研究者は、ASEPという数理モデルから出発し、その原因を抜き出し、さらに具体的にどのようなルールを導入すれば渋滞緩和が可能か、社会実験も実施しつつその解決に挑んだ。人の流れを制御するのに、ボトルネックに障害物を置くことで退避時間を短縮できるなど、一見直感に反する提案もシミュレーションと実験を基礎に明快に示した。水藤研究者は臨床現場の放射線科医と連携し、肝臓Perfusion解析、胸部大動脈の流れ解析を始め、医療現場におけるデータ解析を通して、具体的な診断手法を詳細な数理モデルをもとに提案した。医者経験知を数理的観点から明らかにしていく試みとして高く評価できる。感染症のウイルス予測はインフルエンザに代表されるように身近であるが、困難な課題である。伊藤研究者は人獣共通感染症センターの研究者らと共に、極めて次元の高いウイルス進化空間での遷移を統計解析の手法を用いて、7割近い予測を可能とした。流れに関わる

環境汚染の数学的基礎問題に取り組んだ坂上（貴之）研究者，保険の中野研究者など，単純な因果律の連鎖で解決できない複雑な諸問題にさきがけ研究者の寄与は 3 年間という短い期間にもかかわらずその貢献度は極めて高いものがあつた。

b. 諸科学（物理，化学，生命等）との連携による自然を理解するための新たな探索

（長山，大下，郡，小磯，春名，一宮，北畑，坂上，寺前，浜野，水口）

皮膚は体内と外界を隔てるインターフェイスであるが，その機構は案外知られていない．長山研究者は資生堂の傳田氏と協働し，皮膚モデルの構築に取り組んだ．カルシウム分布やその伝搬の数理モデルが構築され皮膚バリア機構に関して顕著な貢献があつた．郡研究者は生物時計の正確さの起源について振動子モデルを用いて解析し，坂上（貴洋）研究者はトポロジカルな拘束をもつ高分子系という困難な問題に対して初期のブレークスルーを成し遂げた．寺前研究者は不規則で確率的挙動をする素子がどのような相互作用を通して，意味のあるネットワーク機能を創出するかを明らかにした．物理学者が数学者との連携を通して新たな展開を図る試みも多数実施された．とくに物理学者である北畑研究者と微分幾何学者の小磯研究者は界面張力が支配的な系における幾何形状について協働を実施した．諸科学との連携は領域内におけるテーマ分布を見ても，議論の場が自発的に生まれる可能性が高く，実際，上の例も含め，多くの交流実績があつた．今後は萌芽的連携をフォローアップする制度の必要性が強く感じられた．

c. 新たな研究課題の発掘と数学的手法の開発

（荒井，新井，原田，長藤，蓮尾，吉田，田中，三浦，平岡，石川，川北，斉藤，田村，溝口）

錯視を通して脳の視覚メカニズムを理解する新たなアプローチが新井研究者によって提案され，「かざぐるまフレームレット」という視覚の数理的基盤を与えるものを，提案し，錯視量の制御も可能となった．数学から脳科学への貢献が期待される大きな発掘である．平岡研究者はシャノン限界を実現する実用的誤り訂正符号の開発およびネットワーク符号における層コホモロジーを用いた解析手法の開発を行い，これまでにない視点と新たな手法を導入し，BCH 符号と同等以上かつ現実の設計にも応用可能となる復号方式を提案した．春名研究者は圏論的手法という新たな数理言語を用いて，自然科学とくにシステム生物学にこれまでにないアプローチを試みた．生命系の複雑ネットワークに圏論的双対性を用いることにより，側方経路の存在や順列エントロピーに関わる興味深い発見は注目に値する．蓮尾研究者による圏論を用いて定式化した代数・余代数の理論による計算機システムに対する数学的アプローチと共に領域全体に対して圏論的アプローチの有効性を知らしめるきっかけ

けともなった。三浦研究者によるラットの匂い物質の符号化問題における情報幾何学の応用や田中研究者のベイズ予測の最新の成果を用いた量子統計モデルの推定問題、石川研究者のパターン認識における非記号計算など将来大きく発展する可能性を秘めた多くの課題発掘があった。

上記のように予想以上の大きな成果と将来に向けての問題発掘もなされたが、さきがけにおいても一つの重要な柱は人材育成である。Face to face の議論を領域会議等により継続的に異分野の研究者と行うことにより、次世代を担える多くの若手研究者が育った。

(2) CREST における研究の経過と所見

a. 直面する課題に立ち向かう数学者（小谷，水藤，大石，鈴木，坂上，長山，コハツ）

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を期待したい。

それぞれの研究成果と今後への期待は以下のとおりである。

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」）は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し，今後の数理物質科学の益々の発展を期待する。

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」）は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。現時点での具体的対象は血管と血流に関する流れと形状に関する幾何学的考察を踏まえて，大動脈瘤や大動脈解離の発生因子の特定，また蓄積された臨床データを用いて統計的手法での予後予測も行っている。熟練医師の経験知をどのように診断アルゴリズムに反映させていくかという困難な問題にも積極的にアプローチをしており，臨床現場における一つの協働の雛形として今後の発展が期待される。

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」）は 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。今後産業界への貢献も期待され、極めて順調に研究が進捗していると言える。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。

応用面としては、偏微分方程式のみならず、確率微分方程式、分子動力学などより多様な方向を是非探索して欲しい。例えばコハツ CREST チームではモデル選択のために情報量基準の評価を実施しているが、高次多項式の最大値・最小値などの評価の精度保証ができると、平坦部分をもつ広いクラスの関数に対してもなんらかの貢献ができる可能性があり、これは CREST チーム間協働研究にもつながり、本来の数学領域という Virtual Institute にとっても大きな刺激となる。

最後になるが国際会議やワークショップなどの開催など、国際的 visibility をその成果に見合う程度にもっと盛り上げていただければと思う。

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」）は癌の初期浸潤過程を理論チームの主導により細胞動態から本質的な要因を取り出して構築するモデリングに成功し、その定性的性質の研究を推進している。分子・細胞レベルでの ECM 分解への接着、分解、細胞変形の 3 過程を考え、数理モデルと細胞生物学的手法の併用により、統合モデルを作成し、フィードバック揺らぎを含め、その分子間相互作用の解明について優れた成果を出したことは高く評価できる。腫瘍微小環境の研究では、競合的走化性の下で選択的自己組織化が達成されることを証明した。これらの成果は数学研究としても高く評価される。

同時に癌部位の画像診断の自動化についても Computational Homology の手法を用いて開発が進み、現場においても認知が進んでいることは今後の発展が期待される。本 CREST において数学者が医学系の研究者と協働し、一定の成果を期限内に出すことは隠れた大変な努力があったと想像される。これらの成果は浸潤抑制する手段を提供し、創薬への道を開くものとして評価できるが、可能性を示唆するだけではなく、困難ではあるが、実際の医療現場にまで還元できるところまで目処をつけることはできないものであろうか。是非挑戦していただきたい。

一方癌細胞の画像自動診断は、数学が関与することで初めて実現可能となったものである。ホモロジーという位相不変量による癌細胞の特徴づけは、本数学領域の特色が良く出た成果であり、今後、現場での実用化が強く望まれる。

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」）は渦の生成＝厄介者という従来の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し、同時に環境と調和したエコデザインにつながる新たなコンセプトを打ち出すことを目標にしている。先のさきがけ研究において、複雑な地形をもつ流れに対しても写像変換により標準的問題への帰着を可能とし、大幅な問題の簡約化に成功した。その成果は、例えば流れに関わる環境汚染の数学的基盤を成したと言える。しかし渦と境界の相互作用は流体力学において、依然大きな難問の一つとして残っており、逆に言えば、そこをうまく制御できれば、大きなブレークスルーの可能性もある。力学系と大規模数値計算を行う研究分担者との協働によりトポロジ的手法と精緻な数値計算という相補的アプローチが大きな成果の予感を感じさせる。さらに CREST 他チームとの協働やアイシン AW を始めとする企業とのラボステイなどについても積極的に実施しており、新たな問題発掘にも大きな期待がかかる。今後問題の集約と共にチーム全体が一丸となる体制で新たなパラダイム構築に邁進していただきたい。

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」）は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、表皮細胞の老化現象、表皮細胞と神経細胞の相互作用モデルの構築、外部刺激に対する表皮細胞の反応を明らかにすることを目指している。皮膚は外界とのインターフェイスにあり、最も身近な身体部分であるが、外部環境との関係でいえば、まだその生理学的機能は未開拓である。数理モデルと実験班との協働の今後の進展を期待したい。

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」）は複雑に設計された金融デリバティブは仕組商品と呼ばれ、近年盛んに取引されているものの、その未熟な取り扱いが最近の金融危機の一因となったと指摘されている。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ている。特にリーマンショック以降の学术界、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ている。この姿勢は望ましく是非とも継続して欲しい。ジャンプや停止時間が含まれる高頻度データの数学理論の構築は部分的にでも実現されれば、実務界にも大きな影響がある。

b. つながる知（小林，國府，日比，柴田）

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．(別添資料 No. 1「つながる知」も参照)

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」）は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「齧齧関数」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，実に興味深く．数学的にもより洗練されたものになることを期待したい．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．

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」）はヒトや動物が動的に変動する環境に適応して活動する基礎となる脳神経系と身体系のリズム制御機構を，ダイナミクス全構造計算法などの主に力学系的方法により明らかにしようという試みである．とくに **Conley-Morse** グラフの手法は新しくこれまでにないものである．しかしリズム調整や歩容遷移などの歩行制御機構の研究に対し直接 **CM** グラフの手法を適用するのは，膨大な計算資源と時間がかかり簡単ではない．國府チームは，その障壁を乗り越えるため，数理モデルの選択ではなく，時系列データから得られる相空間情報そのものが，むしろ有用であり，解析可能であることを示した．これは大幅な方向転換であるが，現実問題にどう対処するかという観点からは，望ましくインパクトもある．今後は，この方向をより組織的，普遍的な

ものにすることが求められるだろう。

日比チーム（「現代の産業社会とグレブナー基底の調和」）は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（第四のブレイクスルー）。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ており、今後のさらなる発展が期待される。

柴田チーム（「現代数学解析による流体力学の未解決問題への挑戦」）は流体の不安定現象とその制御、とりわけそのマイクロからマクロにわたる統一的な理解を目指している。マイクロの素過程がどのようにマクロの階梯を昇っていくのか、それをどのように数学的に記述するのかは大きなチャレンジである。自然科学の原点である精密な実験に立ち戻り、そこから新たな出発点を模索し、モデル化、そして数学解析へと研究を推進してきた。実験においても新発見があり、素過程及びマクロな記述の両面から進展があり、望ましい順調な進捗状況である。実験と数学理論をつなぐという JST 数学領域の重要な課題を流体の不安定現象をテーマに今後も精力的に取り組んで欲しい。とりわけキャビテーション問題における単一気泡のダイナミクスからその集団としての気泡雲のマクロな挙動が理解できれば、騒音、物体の壊食効果の解明のみならず、その破壊効果を利用して、洗浄や分解という工学的応用の範囲も広がり社会的インパクトも大きい。

c. 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も興味

深い提案をもたらすと思われる。

杉原チーム（「計算錯覚学の構築」）は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。同時に錯覚美術館などの設置、運営も行い、市民社会への還元も行っている。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。

安生チーム（「デジタル映像数学の構築と表現技術の革新」）は「人間は何を見てリアルと感じるのか？」という映像表現における基本的問いに対し、あらゆる数学的手法を駆使して迫ろうというプロジェクトである。人間の表情や動きは大量のデータベースから人間らしさを抽出しつつ、水、炎、煙などの物理的リアリティは物理モデルを用いるハイブリッド手法である。学習理論からリー代数まで、新しいビジュアルイゼーションの世界を数学の力で開拓中である。

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。この発想は現代では自然と言えるだろう。数学・数理科学は今や我々の日常生活の一部であり、通信、輸送、安全、医療、ファイナンス、いずれもその裏では、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。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。さきがけにおいては、協働に至る過程としての *forward looking* な萌芽的、探索的な提案も採択した。CREST においては、次の時代を先取りする斬新な提案を期待した。選考の結果、さきがけでは32件の課題が、CREST では13件の課題が採択された。将来の牽引役となりうる多彩な数学・数理科学者によるさきがけ提案を採択することができた。CREST においては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本領域では可能となり、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ているさきがけ研究者も複数名いる。これらについては新分野開拓に向けての今後の発展を期待している。

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、チーム間交流によりさらなる広がり期待される。この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であろう。

領域運営の(1-1)で述べたように、領域会議においては、研究発表と討論のみな

らず、各研究者が連携する上で生じる問題点について、実践的な討論が連携セッション、統括セッション、あるいはパネル討論の形で多数開催された。連携における壁をどう乗り越えていくべきか、その具体的な方策が論じられたことは極めて意義深い。例えば、協働する相手と両方にまたがるポストドックあるいは若手研究者を配置し、常に情報の流れがあるように保つことで研究の活性化が大幅に進む。セミナー、講演会のみでは継続の力が半減し、最終的には真の協働に至らないことが多い。

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。

さきがけにおける研究成果はめざましいものがあつた。

我々が直面している様々な課題、例えば渋滞、臨床医療、感染症ウイルス予測などの諸問題に数理的立場から何が可能かを、西成、水藤、伊藤氏らは実践的な答えを出すことができた。諸科学（物理、化学、生命、情報）との連携も様々な形で実施できた。郡氏、三浦氏らは生命系と、北畑氏は化学系と、田中氏は量子統計への接近のため物理学者とのより広いネットワーク作りにも貢献した。平岡氏は情報系科学者との協働が進展した。とくに平岡氏の力学系的観点からの符号理論は全く新たな切り口を提供し、藤原数理学賞（若手）にもつながった。「計算機システムの科学」のための数学を实践した蓮尾氏も同賞を受賞した。また資生堂の皮膚科学者と長山氏はその連携が進展し CREST にも繋がった。新分野開拓あるいはその萌芽として、西成氏の渋滞学、新井氏の視覚数理学などが挙げられる。とくに新井氏は数学内部の深化の結果として、自然に視覚脳科学とつながりつつ、最終的に大きなブレークスルーになる可能性がある。またアウトリーチ活動においても予想以上の大きな成果があり、「さきがけ数学塾」「数学キャラバン」から得たフィードバックは大きい。

CREST における研究進捗も順調に進んでいる。

小谷チームは数理物質科学の建設に向けて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がった。同じ屋根の下で世界最先端の実験家と数学者が協働を行うという世界でもおそらく初の試みは極めて注目に値する。小林チームは粘菌行動から出発し、環境にしなやかに適応する分散、協調型のロボティクスの数理的設計原理とそれに基づくロボットの製作を精力的に進めている。アンドロイド型のロボットとは発想は全く異なり、その使用目的も異なるが、災害現場などにおいては、この設計原理はより実用的であるように思われる。日比チームの代数学と統計学の出会いによる第四のブレークスルーは「つながる知」としての成果の代表例と言えるだろう。大石チームは地道ではあるが、エラーフリーな計算という基盤を支える仕事であり、社会的な重要度は極めて高い。コハツチームも現実のデータに立ち向かう姿勢が明確である。鈴木チームは水藤チーム同様、医学と数学の連携を様々な形で試み、診断法における経験

知の数学的記述をも試みている。國府チームは力学系の立場から歩容などの遷移運動を含む身体性に関わる問題を物理学者、工学者との協働により進めている。柴田チームも実験家との協働が本格的に軌道に乗り始めている。

杉原チームの数理錯覚学、安生チームの映像と数学の出会いと協働は、数学のみに可能な新たな領域開拓につながると思われる。さらに数学領域から市民への成果還元という意味でも、この2つのチームの貢献は大きい。とくに杉原チームによる「錯覚美術館」の創設は象徴的である。

最後にさきがけから CREST へと継続研究を進めているさきがけ一期生の坂上、水藤、長山の3チームは諸分野との協働を進める上で重要な示唆を含んでいる。初期の出会いから連携を開始し、それをどのように真の協働につなげていくのかという模索と協働関係の構築は数学の場合に一定の時間がかかり自明でない。具体的にどのようなプロセスが必要で、その萌芽的レベルをどう発展させていくかについての具体的な問題も含め、この3チームは今後注目していく必要がある。

これらの個別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。つながる知の目指す重要なゴールの一つはここにある。

明確なミッションの下で組織されたヴァーチャルインスティテュートの発足はさきがけ/CREST という枠組みによって初めて可能となり、そこにおけるヘテロな研究者・研究分野の相互作用とネットワークの形成は、ボトムアップ型のファンディングでは実現が困難なものである。本領域内で作られたネットワーク、さらにそこから外に広がるスーパーネットワークの形成は、今後の学術新領域の創成を大きく期待させるものである。とりわけ諸科学、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。この克服にはより長い時間スパンが必要であり、また本領域のみで達成されるわけではない。しかしながら本領域で育った人材がそれを担って成長していくことは間違いないと思われる。

以上