

戦略的創造研究推進事業
—個人型研究(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」

研究領域事後評価用資料

研究総括：國府寛司

2020年2月

目 次

1. 研究領域の概要	1
(1)戦略目標	1
(2)研究領域	8
(3)研究総括	9
(4)採択研究課題・研究費	10
2. 研究領域および研究総括の設定について.....	12
3. 研究総括のねらい	15
4. 研究課題の選考について	17
5. 領域アドバイザーについて	21
6. 研究領域のマネジメントについて.....	23
7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について.....	44
8. 総合所見	63

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

① 戦略目標 1

「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」

(i) 達成目標

社会における諸現象のうち、現時点で支配原理・法則が明確でなく、数理モデル化ができれば社会に対して大きなインパクトが見込まれる現象について、数学・数理科学の研究者と応用分野の研究者などによる異分野協働などを通じて、数学がもつ抽象性・普遍性を活用し、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を数学的に見いだすことにより、以下の実現を目指す。

○現象を数学的に記述するモデルの導出

○導出された数理モデルの実証・検証及び評価のための数学的理論等の構築

(ii) 将来実現しうる重要課題の達成ビジョン

本戦略目標を実施し、「(i) 達成目標」に記載した研究成果が得られることで、現時点で支配原理・法則が明確ではない現象について、数理モデルを導出することができる。

また、数理モデルを実証、検証及び評価するための新たな数学的理論が構築される。さらに、検証された数理モデルは、その普遍性によって、対象や時代の変化を受けることなく、様々な状況下において利用可能となることが期待される。

対象となる現象と応用分野は、例えば以下が想定される。

- ・社会現象（経済変動、感染症の伝搬、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化 等）

- ・自然現象（気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象 等）

- ・生命現象（遺伝子間の相互作用メカニズム、脳内の知覚認識・情報処理メカニズム 等）

上記のような現象について数理モデルを導出することで、例えば以下のことが将来に期待される。

○諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分の抽出、数学的に裏付けられた処理の効率化

複雑な構造の現象をモデル化する際の様々な困難（モデルの複雑化等）を回避するため、その「本質」部分を数学的に見だし、数理的な根拠をもって簡略化した記述を行うことで、情報量が多く計算機の処理負荷が高い作業を著しく効率化することができる。例えば、比較的単純で安定な構造によって新たな機能発現を期待する新材料の創成が、その構造の「本質」部分を数学的に見だし精密に制御することにより可能となることや、画像解析処理時間の大幅な短縮、データ分析に要する時間の大幅な短縮などが期待される。

○リスクが顕在化する前の「兆し」の解明、スマートな未然の対応や効果的制御

現象をネットワーク構造の変化と捉えて数理モデル化することで、例えば、ネットワーク構造を有する、電力供給システム、経済システム、製造のプロセス、各種情報サービス等に対して、不安定になる「兆し」等の検出が可能となり、事前の対策や効果的な制御につながる事が期待される。

また、限られたデータだけによる経験的モデルでは想定できなかった、まだ発生していない現象の「兆し」の検出が可能になることが期待される。

(iii) 具体的内容

(背景)

近年、社会の情報化・複雑化や計測機器の発達、計算機性能の飛躍的向上等に伴い、生命現象や自然現象、社会現象などに関する情報を得ることが可能となり、これらの現象の複雑さがよく分かるようになってきた。しかし、これらの現象については、支配原理・法則が不明確でモデルを作れないため、なぜそのような現象が起こるのかは十分に分からないまま、うまく対処した経験知の積み重ねによって現象を理解しているものも多い。また、経済やエネルギー、防災などにおいては既に何らかのモデルが用いられていても、個別分野固有の理論的枠組みに基づくモデルだけでは捉えきれないものが増えており、現象の「本質」を理解する上で不可欠な数学・数理科学研究者との連携は必ずしも十分とは言えない。さらに、近年の数学の発展により、これまで応用されたことのない現代数学の理論がこのような現象の「本質」を理解する手掛かりを与え、画期的な成果をもたらす可能性が残されている。

このような状況の中、我が国では平成 19 年度に戦略目標「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」を設定し、数学・数理科学研究者と諸科学分野の研究者の連携を促進している。この取組からは、純粋数学の手法を現象解明に適用したことで課題解決に発展したこと、特に、様々な現象を記述する数理モデルの構築が連携による注目すべき成果として報告されている。

これらの状況を踏まえ、本戦略目標では、従来の科学技術の延長では解決が困難な社会的課題に取り組み、ブレークスルーを起こすために、純粋数学の研究者が現実社会の課題の中から数学的問題を取り上げ参加することを期待するとともに、数学・数理科学の力が発揮できる「現象の数理モデリング」に注力する。また、数理モデルの導出には、既存のモデルの枠組みを超えて、異なる数学分野の技法を融合することや全く新しい定式化を行う必要があることから、数学内の様々な分野の研究者間の連携や、異なる数理モデリングにかかわる理論研究者間の連携も不可欠である。

(研究内容)

1) 現象を数学的に記述するモデルの導出

社会現象や工学分野などにおける既存のモデル化技術と、現象の「本質」を理解する上で不可欠な数学・数理科学的知見や理論とを融合することで、諸現象に潜む複雑な構造の「本

質」部分を見だし、データが十分にある現象だけでなく、不足している現象についても、それを記述する数理モデルを導出する。

対象となる現象と応用分野としては、例えば社会現象においては、経済変動、感染症の伝搬、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化等、自然現象においては、気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象等、また、生命現象においては、遺伝子間の相互作用メカニズム、脳内の知覚認識・情報処理メカニズム等が想定される。

これらの現象を記述する数理モデルの枠組みの例としては、以下のようなものがある。

- 1：電力網、通信網、神経網、人の接触関係などの現実の複雑なネットワークにおける構造とダイナミクスを表現するネットワークモデル
- 2：時空間的に異なるスケールのサブシステムが階層を構成するようなシステムを統合的に扱うためのマルチスケールモデルやマイクロモデルとマクロモデルの中間に位置づけられるメゾスコピックモデル
- 3：連続変数と離散変数を含む電子回路や物理的作用と化学的作用を含む生物の組織形成などのように異質なシステムが相互作用するシステムを記述するための、ハイブリッドモデルやマルチフィジックスモデル

また、導出された数理モデルの普遍性を活用し、当初対象としていた現象とは異なる現象に応用することで、様々な分野に横断的に応用可能なモデリング技術へ発展することを目指す。

2)数理モデルの実証・検証及び評価のための数学的理論等の構築

上記1)で導出される数理モデルや既存の数理モデルについて、実際の課題や現象を記述していることを実証・検証するとともに、モデル評価のための数学的理論や技術の構築を目指す。

(iv)政策上の位置付け(政策体系における位置付け、政策上の必要性・緊急性等)

第4期科学技術基本計画(平成23年8月19日閣議決定)では、「III.我が国が直面する重要課題への対応」の「(5)科学技術の共通基盤の充実、強化」において、「数理科学」は「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術」として位置付けられ、それに関する研究開発を推進することが明記されている。

また、数学イノベーション戦略(中間報告)(平成24年8月科学技術・学術審議会先端研究基盤部会)においては、「複雑な現象やシステム等の構造の解明」、「リスク管理」、「将来の変動の予測」等につながる課題が、数学・数理科学の活用による解決が期待される課題として整理されている。

(v)他の関連施策との連携及び役割分担・政策効果の違い

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」(平成 19 年度設定)に基づいて発足した独立行政法人科学技術振興機構(JST)「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」研究領域で、純粋数学をはじめとする幅広い分野の研究者の協働により、新たな数理モデルをはじめ、優れた成果が出始めている。

本戦略目標では、同領域と連携しつつ、純粋数学をはじめとする幅広い分野の研究者を取り込みながら、数学と諸分野の協働により社会課題の解決を図る取組を加速していく。

また、平成 23 年度より文部科学省が大学等と共催している「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」(平成 23 年度、24 年度は合計 57 件、参加者合計 3,211 名)や、文部科学省委託事業「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム」(平成 24 年度開始)においては、諸科学・産業における数学・数理科学的知見の活用による解決が期待できる課題を積極的に発掘して諸科学・産業との協働による研究テーマを具体化し、具体的な研究へとつなげるための活動を行っている。これらの活動を通じて議論が深められた課題や研究テーマが本戦略目標での研究に発展することが期待される。

(vi) 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

JST 研究開発戦略センター(CRDS)の報告書によると、我が国におけるモデリングや解析技術の研究は、各大学の数理工学科や複雑理工学科、内閣府最先端研究開発支援プログラムの最先端数理モデルプロジェクトなどにおいて進められており、基礎研究の水準は高いと考えられる。今後は、生物医学におけるゲノム情報などのハイスループットデータの蓄積、脳科学における多計測脳波データの取得、地理情報学におけるリアルタイムの交通・輸送情報データの計測など各分野において大量のデータ取得が可能となってきている中、これらのデータから実際のシステムの本質を抽出し数理モデリングを行う技術の確立が課題となっている。

また、同報告書では、米国の NSF、NIH、USDA、及び英国の BBSR が共同で、約 15 億円を投じて 2012 年から 5 年間のプロジェクト「感染症の生態学と進化」を発足しており、その目標の一部として、感染症抑制のための生態学的、進化的、社会生態学的原理の数理モデリングを掲げていること、米国 DOE は、応用数学分野のプロジェクト編成の枠組みにおける指針において、今後どのような数理モデリング研究やアルゴリズム研究にファンディングを配分していくのかを示していることが記載されている。

数理モデリングを中核に据えた本戦略目標を設定することで、各応用分野の研究者、数理科学研究者、数学研究者等を集めて数理モデリング研究に注力させ、国際競争力の更なる向上を図る必要がある。

②戦略目標 2

「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」

(i) 達成目標

情報科学・数理科学分野とビッグデータの利活用により大きな社会的インパクトを生むような様々な研究分野(アプリケーション分野)との協働により研究を進め、アプリケーション分野での課題解決を通じてビッグデータから新たな知識や洞察を得ることを可能とする次世代アプリケーション技術を創出し、高度化すると同時に、様々な分野のビッグデータを統合解析することを可能とする共通基盤技術の構築を目指す。そのため、以下の目標の達成を目指す。

○各アプリケーション分野においてビッグデータの利活用を推進しつつ様々な分野に展開することを想定した次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化

○様々な分野のビッグデータの統合解析を行うための次世代基盤技術の創出・高度化・体系化

(ii) 将来実現し得る重要課題の達成ビジョン

本戦略目標を実施し、「(i) 達成目標」に記載した研究成果が得られることで、様々な分野のビッグデータを統合解析するための共通基盤技術を構築することができ、分野を超えたビッグデータの利活用を実現することができる。構築された技術を用いることで、ビッグデータの利活用が有効な研究分野の論文データ、実験・シミュレーションデータ、観測データ等の高度利用が可能となり、社会科学・人文科学等を含む複数の分野が連携した異分野融合領域のイノベーション創出を加速させることができる。

本事業終了後、アカデミア・企業等が様々な分野のビッグデータを統合解析できる共通基盤技術を活用して、研究開発や実用化を推進することで、例えば

・ライフサイエンス分野では、診療情報と関連づけられた 10 万人規模の全ゲノムデータ (30 億塩基対) を活用した、疾患関連遺伝子の効率的な探索技術等による、オーダーメイド医療や早期診断、効果的治療法の確立

・地球環境分野では、様々な要因が複雑に絡み合う地球規模課題の解決に貢献し持続可能な社会を構築するため、地球温暖化、森林や水などの自然循環、生態系、地理空間等の異なるデータ間の関係性を高度につなぎ合わせる基盤的情報技術の確立

・防災分野では、災害・事故から得られた気象、地理空間等のデータを容易に分析可能な形に蓄積・構造化する技術等による精緻な災害の予測や防災機能強化の推進、都市の最適設計手法の高度化等

の実現を目指す。これらの実現によって、イノベーションによる新産業・新市場の創出や、国際競争力の強化を推進し、第4期科学技術基本計画(平成23年8月19日閣議決定)の「我が国の産業競争力の強化」、「研究情報基盤の整備」の達成に貢献することを目指す。

(iii) 具体的内容

(背景)

高度情報化社会の進展に伴い、デジタルデータが爆発的に増大するビッグデータ(情報爆発)時代が到来した。世界のデジタルデータの量は、民間調査機関の推計※1によれば、2020年には、約40ゼタバイト(2010年度時の約50倍)へ拡大する見込みである。また、情報通信政策研究所の調査※2によると、日本における平成21年度の流通情報量は7.61E21ビット(一日あたりDVD約2.9億枚相当。例えば、E18ビットは10の18乗であることを示している。)であるが、消費情報量は2.87E17ビット(一日あたりDVD約1.1万枚相当)であり、流通に対して消費された情報量は0.004%にしかすぎない、とされている。

その質的・量的に膨大なデータ(ビッグデータ)には新たな知識や洞察を得られる可能性があるが、様々なデータ(バイオ、天体観測等の自然科学のデータから社会科学的な人の観測データまで多様)を組み合わせて、大規模な処理を実行しようとする、想定外のデータや正常に分析できないデータが大きくなることが多く、現況においてはその多くのデータが整理・構造化されておらず、有効に活用できていない状況である。

このため、ビッグデータを効果的・効率的に収集・集約し、革新的な科学的手法により知識発見や新たな価値を創造することの重要性が、国際的に認識されてきている。第一の科学的手法である経験科学(実験)、第二の科学的手法である理論科学、第三の科学的手法である計算科学(シミュレーション)と並び、データ科学(data centric science = e-サイエンス)は第四の科学的手法と言われ※3、ビッグデータ時代における科学の新たな地平を拓(ひらく)方法論として注目されている。

(研究内容)

本戦略目標では、ビッグデータの解析を円滑に実行するための革新的な方法論等の創出等のため、2つの達成目標の実現を目指す。具体的には以下の研究を想定する。

1) 各アプリケーション分野においてビッグデータの利活用を推進しつつ様々な分野に展開することを想定した次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化

個別のアプリケーション分野の課題解決とともに、固有技術の他分野展開や新規基盤要素技術の導入を強力に推進する。このため、情報科学・数理学分野とアプリケーション分野の研究者等による協働研究チーム体制を構築することが期待される。具体的には、以下の研究を推進する。

・多様かつ大量のアプリケーションデータ(健康・医療データ、地球観測データ、防災関連データ、ソーシャルデータ等)の転送、圧縮、保管等を容易に実現するための研究

・画像データや3次元データ等の多様なデータを検索、比較、解析等することで有意な情報を抽出するための研究

・アプリケーションデータから新たな課題の発見や洞察をより正確に行うための研究(疾患要因の解明、気候変動予測、リアルタイム解析による減災、人のニーズの予測等)

・定量データから生体、自然現象等に係る多様な数理モデルを構築し、実測データと組み合わせることで新たな知見を得るような、発見的探索スタイルの研究アプローチ推進のための研究基盤創出

2) 様々な分野のビッグデータの統合解析を行うための次世代基盤技術の創出・高度化・体系化

情報科学・数理科学分野や人文科学の研究者による、独自の新規基盤要素技術の創出や複数のアプリケーション分野に展開する新規要素技術の創出を行う。具体的には、以下の研究を推進する。

・データクレンジング技術(ノイズ除去、データの正規化、不要なデータ変動の吸収等)やデータに対して自動的に意味や内容に係る注釈を付与する技術

・高度な圧縮技術、圧縮したままで検索する技術、秘密性や匿名性を損なわないままマイニングする技術

・データマイニング技術や機械学習の高度化(大量・多様なデータからのモデリング技術、異種データから関連性を探索する技術等)

・多様なアプリケーションデータの相関や関係性から新たな洞察を導くための可視化技術

・ビッグデータを共有・流通するためのシステム技術(データの加工、メタデータ管理、トレーサビリティ、匿名化、セキュリティ、課金等)

・課題の本質やビッグデータの構造を見いだすための数理的手法

なお、1)の次世代アプリケーション基盤技術の創出・高度化に当たっては、2)の研究で得られる次世代基盤技術を取り込みながら推進することが効果的であり、また、2)の次世代基盤技術の創出・高度化・体系化に当たっては、1)の研究で得られる次世代アプリケーション基盤技術やデータを共有、活用しながら研究を進めることが効果的であることから、1)と2)の研究が相互に連携することが求められる。

※1 IDC, “Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East”, 2012.12

※2 情報通信政策研究所調査部「我が国の情報通信市場の実態と情報流通量の計量に関する調査研究結果(平成21年度)ー情報インデックスの計量ー」, 平成23年8月

※3 Tony Hey, Stewart Tansley, and Kristin Tolle, The Fourth Paradigm: Data-intensive Scientific Discovery, (Microsoft Research 2009)

(iv) 科学的裏付け(国内外の研究動向を踏まえた必要性・緊急性・実現可能性等)

米国においては、2011年に科学技術に関する大統領諮問委員会(PCAST)が、連邦政府はビッグデータ技術への投資が少ないと結論づけたことに対応し、科学技術政策局(OSTP)が2012年3月29日にビッグデータイニシアチブに関する公告を発表した。このイニシアチブには6機関(NSF、NIH、DOD、DARPA、DOE、USGS)が総額2億ドルを投資し、データへのアクセス、体系化、知見を集める技術を改善、強化するとしている。欧州、アジアにおいても、ビッグデータに対する研究投資を実施しており、今後、激しい国際競争が予想される。具体的には、欧州では2020年までにICTにおける研究開発への公共支出を55億ユーロから110億ユーロへと増倍させ、大規模なパイロットプロジェクトを実施し、公共に利益のある分野における革新的かつ相互運用可能なソリューション(エネルギーや資源を節約するためのICT、持続可能な保険医療、電子政府、インテリジェント輸送システム等)を開発することとしている。また、中国では情報資源を共有するためのセンターを設置し、収集したデータの相互の関係付けのためにメタデータの付与や自動分類等の技術開発を行っている。さらに、韓国ではビッグデータを含む研究データの共有とデータ科学を推進する National Scientific Data Center を2013年から構築することとなっている。このことから、官民の役割分担と省庁の枠を越えた連携のもと、科学技術分野におけるイノベーションの推進等に向け、分野を超えたビッグデータの利活用を促進するための研究開発が急務となっている。

我が国は、各種センサー情報が発達していること、ハイパフォーマンスコンピューティング、自然言語処理等、世界的に高い研究水準を有する関連研究領域があることや、遺伝子情報等の地域単位での研究が必要な大規模データを扱う領域にも取り組んでいる。このことから、大規模データの活用において、これらの強みが幅広い分野・領域に展開することで、科学技術における共通基盤の強化や産業競争力の強化が可能な環境である。

(2) 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」(2014年度発足)

① 研究領域の概要

従来の科学技術の延長ではなかなか解決できない社会的課題に取り組み、ブレークスルーを起こすためには、現代の数学から幅広いアイデアや方法を取り入れた斬新な発想による解決が強く求められる。そのためには、代数、幾何、解析などの純粋数学や応用数学、統計数学、離散数学など、数学内の様々な分野において「社会的課題を数学的問題として取り上げる」ことが必要となる。

本研究領域は、社会的課題の解決に向けて数学の力を最大限発揮するとともに、課題に取り組むプロセスの中で数学自体の発展をも目指すものである。研究推進においては、社会での様々な問題に対して研究者自らが現場に入り込んで課題を認識し、その解決に向けたア

アプローチを意識して基礎研究を推進することを重視する。数学分野の研究者が自然科学、情報科学、工学、生命科学の理論や実験の研究者と連携することや、諸分野の研究者が数学分野に参入し課題解決に取り組むことを期待する。研究領域の運営においては、研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組む姿勢を重視する。これにより、新しい数理科学の分野の形成や牽引の担い手となる将来の世界レベルの若手研究リーダーの輩出を目指す。

(3) 研究総括

國府寛司(京都大学大学院理学研究科 教授)

(4) 採択研究課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究者	所属・役職 上段：研究終了時 下段：採択時	研究課題	研究費*
2014 年度	神山 直之	九州大学 准教授 同上	都市・社会システム最適化のための 離散的数学理論の深化	10.5
	小谷 潔	東京大学 准教授 同上	時間遅れ多体系フロケ理論の構築 と脳の持つ‘弱いリズム’の機能 解明	41.0
	小林 景	慶應義塾大学 准教 授 情報・システム研 究機構統計数理研 究所 助教	データ空間の幾何学的特徴を活用 する解析手法と統計理論	33.3
	鈴木 大慈	東京大学 准教授 東京工業大学 准教 授	統合的統計モデリングの数理基盤 と方法論	35.0
	田中 久美 子	東京大学 教授 九州大学 教授	言語の計測可能な不変量の探求	40.6
	富安 亮子	山形大学 准教授 高エネルギー加速 器研究機構 特任助 教	結晶学的位相問題の解を列挙する 理論とソフトウェアの開発	16.4
	中野 直人	京都大学 特定講師 科学技術振興機構 さきがけ研究者	包括的な数学的手法による気象予 測プロセスの確立	21.0
	縫田 光司	産業技術総合研究 所 主任研究員 同上	大規模ゲノム情報の安全な統合分 析を実現する超高機能暗号	10.0
	Daniel Packwood	京都大学 講師 東北大学 助教	数理モデルでグラフェン合成の制 御—次世代の電子材料に向けて—	33.0
2015 年度	大森 亮介	北海道大学 特任准 教授 北海道大学 助教	非疫学データによる感染症流行動 態解析の新展開	28.0

	荻原 哲平	情報・システム研究機構統計数理研究所 助教 同上	関数空間上への機械学習理論の展開と高頻度金融データ解析	31.4
	Elliott Ginder	明治大学 准教授 北海道大学 助教	フォノン結晶における多相形状最適化	21.0
	小林 徹也	東京大学 准教授 同上	増殖系に内在する変分構造とその増殖制御問題への応用	30.2
	末永 幸平	京都大学 准教授 同上	ハイブリッドシステムのための超準プログラミング言語理論を用いた形式手法	29.9
	杉山 由恵	大阪大学 教授 九州大学 教授	白血球走化性ダイナミクスの解明と個別化癌治療への応用	44.1
	中嶋 浩平	東京大学 特任准教授 京都大学 特定助教	やわらかいデバイスのための力学系に基づいた新規情報処理技術の開発	31.5
	永田 賢二	産業技術総合研究所 主任研究員 同上	計算論的代数幾何学によるデータ駆動科学の発展	20.4
	奈良 高明	東京大学 教授 東京大学 准教授	関数論に基づく間接計測の数理基盤構築	32.3
2016 年度	李 聖林	広島大学 准教授 広島大学 助教	動的変形空間による細胞機能決定機構の解明及び In vitro 実験への検証	30.0
	伊師 英之	大阪市立大学 教授 名古屋大学 准教授	正定値対称行列の数理に関する革新的新技術	13.5
	鍛冶 静雄	九州大学 准教授 山口大学 准教授	かたちと動きの数理基盤	14.2
	来嶋 秀治	九州大学 准教授 同上	乱択アルゴリズム設計の技法と脱乱択化の数理	9.0
	齊木 吉隆	一橋大学 准教授 同上	ヘテロ次元サイクルに着目した同期理論の構築－複雑現象の理解に向けて－	18.9
	田嶋 達裕	ジュネーブ大学 研究員 同上	大規模神経力学系のトポロジーと臨床応用	11.4

	千葉 逸人	東北大学 教授 九州大学 准教授	一般化スペクトル理論に基づいたネットワーク上の大自由度力学系の同期現象の研究	7.1
	寺本 央	北海道大学 准教授 日立製作所 客員主任研究員	特異点論の物質科学への応用	32.7
	中岡 慎治	北海道大学 特任講師 科学技術振興機構 さきがけ研究者	構成要素の多様性が変化する系の数学理論構築と細菌群集の関わる疾患制御への応用	42.0
	野津 裕史	金沢大学 教授 金沢大学 准教授	界面をもつポリマー流体の3次元挙動の数理解析	34.4
	早水 桃子	情報・システム研究機構統計数理研究所 助教 総合研究大学院大学複合科学研究科 5年一貫制博士課程 5年	基礎医学と社会医学をつなぐ離散幾何学的モデリング	44.2
	谷口 隆晴	神戸大学 准教授 同上	情報幾何学と離散力学の融合と社会ネットワーク解析への応用	20.0
	横山 知郎	京都教育大学 准教授 同上	流れの位相的な文字化理論とその計算機上への実装	33.1
			総研究費	820.1

*各研究課題とも3年間の見込み総額

田嶋達裕は事情により研究中止。研究期間：2016年10月～2017年8月

2. 研究領域および研究総括の設定について

(1) 研究領域設定の理由

戦略目標1は、社会における諸現象のうち、現時点で支配原理・法則が明確でなく、数理モデル化ができれば社会に対して大きなインパクトが見込まれる現象について、数学・数理科学の研究者と応用分野の研究者などによる異分野協働などを通じて、その現象を表現する数学的モデルの導出やモデルの実証・検証および評価のための数学的理論等の構築を目指すものである。

戦略目標 2 は、数理科学分野とビッグデータの利活用により大きな社会的インパクトを生むような様々な研究分野との協働により研究を進め、課題解決を通じてビッグデータから新たな知識や洞察を得ることを可能とする次世代アプリケーション技術を創出し、高度化すると同時に、様々な分野のビッグデータを統合解析することを可能とする共通基盤技術の構築を目指すものである。

近年の数学の発展により、これまで応用されたことのない現代数学の理論が、経済変動や交通流などの社会現象、気候変動などの自然現象、遺伝子間の相互作用メカニズムなどの生命現象において、その現象に潜む「本質」を理解する手がかりを与え、諸現象に関わる社会的課題の解決に向けて画期的な成果をもたらすことが期待されている。たとえば、複雑な構造をした現象の「本質」部分を数学的に見だし、数理的な根拠をもって簡略化した記述を行うことで、情報量が多く計算機の処理負荷が高い作業を著しく効率化することができる。また、数学的な問題として捉えることにより、その現象が不安定になる「兆し」等の検出が可能となり、電力システム等における不安定化回避の対策や効果的な制御につながることを期待される。これらにおいては、現象に対する数学理論からのアプローチに加え、ビッグデータを統計学的に利活用するアプローチなどが想定される。

これらの状況を踏まえ、本研究領域は、社会的課題を数学的問題として取り上げ、数学の力を最大限発揮して革新的な解決手法の構築を目指すよう設定されている。対象分野としては、社会現象、自然現象、生命現象等幅広い分野を対象とするが、とくに複雑な現象やシステム等の解明、リスク管理、将来の変動の予測等、従来手法では解決が難しい課題に対して現代数学の幅広いアイデアを取り入れて斬新な解決手法を構築することを目指している。

研究推進においては、社会における様々な問題に対して、研究者自らが現場に入り込んで解決すべき課題を認識し、その解決に向けて自然科学、情報科学、工学、生命科学の理論や実験の研究者とも双方向に連携して研究を進めることを重視している。

以上を総合すると、本研究領域は戦略目標 1、2 の達成に向けて適切に設定されており、社会の様々な課題の解決に貢献するための数学ならではの革新的な手法の創出が高く期待できる。

このような取り組みに関連した先行例として、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」（平成 19 年度設定）に基づいて発足した CREST 及びさきがけ研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」（以下、複合領域「数学」と称す）で、交通渋滞を数学的に解析し、高速自動車道での実証実験にまで発展した例など、優れた成果が出始めている。また、文部科学省委託事業「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム」（平成 24 年度開始）において、諸科学・産業における数学・数理科学的知見の活用で解決が期待できる課題を積極的に発掘し、具体的な研究へとつなげるための活動を行っている。以上の先行する取り組みの状況と、有識者インタビュー等による本研究領域選定にかかる調査

から、数学・数理科学の研究者が自身の研究が諸科学に対してどのようなブレークスルーをもたらすかを探索する段階から、具体的な社会的課題の解決に取り組む段階へと進展してきており、本研究領域に対して優れた研究提案が多数見込まれる。また、本研究領域では、数学・数理科学の研究者だけではなく、他分野の研究者が数学分野へ挑戦することも促しており、本研究領域の推進を通じて研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組むことが期待される。このため、科学技術のイノベーションの源泉となる研究成果の創出に加え、新しい数理科学の分野の形成や牽引の担い手となる将来の世界レベルの若手研究リーダーの輩出が期待され、将来にわたって持続的に戦略目標 1、2 に貢献し得る人材層の形成が期待できる。

(2) 研究総括設定の理由 研究総括 國府 寛司

國府寛司氏は、力学系およびその分岐理論を専門としている。力学系とは、決定論的法則に従って時間と共に変化するシステムのことをいい、数学的には微分方程式や写像の反復合成として定義される。自然科学、工学、生命科学、社会科学など様々な分野において時間と共に変化するシステムが示す振舞いは頻繁に現れ、それらの多くは力学系(ダイナミクス)の問題として数学的に捉えられる。國府氏はこのようなダイナミクスの数学理論である力学系の研究に取り組み、特にダイナミクスがパラメータと共に変化する仕方を記述する分岐理論において、余次元の高い退化した特異点からのカオスのダイナミクスの分岐や、ホモクリニック軌道と呼ばれる大域的な特異不変集合からの様々な分岐の構造の解明において成果をあげている。最近では、力学系の相空間全体を精度保証付き数値計算とグラフ計算を用いて位相的観点から粗く捉える研究を行っており、さらにそれを、実験や計測などによって得られた時系列データに適用することで、様々な分野のダイナミクスの問題に新たな視点から応用することに挑戦している。また、純粋数学者として応用分野との協働にも積極的に取り組んでおり、本研究領域についての高い先見性・洞察力を有していると認められる。

加えて、関連分野の主要な国際論文誌の編集委員を歴任していることなどから、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認められる。

一方、2013 年から京都大学大学院理学研究科の副研究科長を務めるとともに、同数理解析研究所の 2013 年度の研究プロジェクト「力学系：理論と応用の新展開」を委員長として推進している。さらには、京都大学力学系セミナー・応用数学セミナーの運営や若手数学研究者を対象とした研究会を企画運営するなど、教育、若手研究者育成にも力を入れていることなどから、本さきがけ研究領域について適切な研究マネジメントを行う経験、能力を有していると認められる。以上を総合すると、同氏は本研究領域の研究総括として適任であると判断される。

(JST 記載)

3. 研究総括のねらい

(1) 戦略目標に対する研究領域の位置づけとそのねらい

① 研究領域の位置づけ

先の「1. 研究領域の概要」の項の2つの戦略目標

戦略目標1:「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」

戦略目標2:「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」

を受けて、本研究領域を「社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働」と名付け、「社会現象、自然現象、生命現象等に現れる、従来手法では解決が難しい様々な社会的課題や人類的課題を数学的問題として取り上げ、諸科学・諸分野の研究者と連携しながら、現代数学の幅広いアイデアを取り入れて、数学の力を最大限発揮してそれらの革新的な解決手法の構築を目指すもの」と位置づけた。

② 研究領域のねらい

近年の計測機器の発達、計算機性能の飛躍的向上等に伴い、生命現象や自然現象、社会現象などに関する多くの情報を得ることが可能となったが、これらの現象に含まれる本質的な複雑さのために依然としてそれらの完全な理解や制御が困難な状況にある。こうした理解や制御を実現するためには、複雑な現象の「本質」部分を数理的に抽出し理解することが大変重要になっている。また、様々な現象から観測・収集される多様かつ膨大な情報(ビッグデータ)を統合・解析し、必要となる知識を効率的に取り出して社会における価値創造へと結びつけるためには、数理的な手法やアルゴリズム等の基盤技術の構築が不可欠である。

このような状況においては、課題解決のための新たな数理的手法の構築はもとより、これまで応用が積極的になされたことのない現代数学の理論が手掛かりとなって画期的な成果につながることを期待される。本研究領域では、従来の科学技術の延長ではなかなか解決できない社会的・人類的課題に対し、数学・数理科学のアイデアをもって取り組むことで、それらの課題の解決に向けて数学の力を最大限発揮するとともに、課題に取り組むプロセスの中で数学自体の発展をも視野に入れた研究を行って新しい展開を目指すことをそのねらいとした。

本研究領域は JST の戦略的創造研究推進事業においてはユニークな、数学・数理科学という学術分野を背景としている。数学という学問は、エジプトやギリシアの古代から現代まで、自然科学や工学などの多くの科学技術の進歩に密接に関わって発展した学術であるが、その発展の歴史の中で、高度に抽象的で普遍的な思考と記述の様式を生み出し発達させてきた。その抽象性と普遍性のゆえに、数学は特定の学術分野に限定することなく、あらゆる学

術分野において、法則や理論を表現するための基本言語の役割を果たし、それによって様々な科学技術研究の成果が、分野と時間と空間を超えて共有され、その発達に貢献してきたといえる。このような抽象性と普遍性によって発揮される数学・数理科学の貢献は、現代の科学技術研究においてますます注目されており、我が国でも 2006 年の「忘れられた科学-数学-」のレポートなどにより、科学技術の進歩において数学が担う重要性が広く再認識されるようになった。

本研究領域においても、数学の抽象性と普遍性は極めて重要な視点と考えており、さきがけ研究の 3 年半という短い期間ではあるが、その効果をできるだけ発揮するような研究活動と成果を目指した。具体的には、それぞれの研究者が、自らの数学・数理科学の専門分野や学術的背景を基に、領域内外のさまざまな研究者との交流や連携をすることにより、新たな研究手法を見出したり、思いがけない発想を得たり、あるいは新しい課題の発見につながるなどの形で、数学の抽象性と普遍性により、それぞれの研究者の研究課題に留まらない新しい研究の展開が生まれることを期待した。このことを大きな理由として、本研究領域では数学・数理科学の特定の分野に限定せず、あらゆる数学・数理科学の発想や理論、手法を対象とし、それが広く多様な研究課題の解決に活用されるような研究活動が行われることをねらいとした。

(2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと

本研究領域では、数学分野の先行の研究領域である複合領域「数学」の後を受けて、数学・数理科学と諸科学・諸分野との連携をより確実なものとするをねらった。

また、本研究領域では、2つの戦略目標に沿って、社会的／人類的課題の解決へ数学・数理科学を用いて挑戦する研究と、ビッグデータの利活用に関わる新たな数理的手法の開拓や高度化をねらう研究について、以下のような観点から高く評価される優れた研究成果があがることを目指した。

- ・研究の独創性・重要性
- ・研究の科学技術的インパクト
- ・数学の抽象性・普遍性という学問的特質の発揮
- ・現場との緊密な連携
- ・社会へのインパクト・波及効果
- ・研究成果のソフトウェアなどによる実装
- ・企業・産業界との協働

このうち、「数学の抽象性・普遍性という学問的特質の発揮」と「現場との緊密な連携」は本研究領域に特徴的な重要な観点である。前者は上の「3. (1) ②研究領域のねらい」で述べたことの実現をねらうものであり、後者では、社会での様々な問題に対して机上の空論に陥ることなく、研究者自らが対象となる分野の研究現場に入り込んで課題を認識し、その解決に向けたアプローチを意識して基礎研究を推進することを重視した。

このような研究成果を目指すために、数学・数理科学に関わる若手研究者の横のつながりが極めて重要である。本研究領域では、領域内はもとより、関連する他のさきがけやCREST研究領域、さらには国内外の研究者との緊密な交流や連携の促進をねらった。こうした研究交流の中で、数学の内在的な問題に留まらず、科学技術のさまざまな分野に問題意識を持ち、それを解決するために広い視野と数学的発想を持って研究を推進する若手研究者の集団の形成と、そこから科学技術の進歩を促す次の世代の研究リーダーの育成をねらい、その実現によって本研究領域が将来の科学技術の進歩への貢献につながると考えた。

4. 研究課題の選考について

(1) 研究課題の選考方針、及び選考結果

① 研究課題の選考方針

従来の科学技術の延長ではなかなか解決できない社会的課題に取り組み、ブレークスルーを起こすためには、代数、幾何、解析などの純粋数学や応用数学、統計数学、離散数学などの、現代の数学・数理科学から幅広いアイデアや方法を取り入れた斬新な発想による解決が強く求められている。そのためには、「社会的課題を数学的問題として取り上げる」ことが必要であった。本研究領域では、社会での様々な問題に対して研究者自らが現場に入り込んで課題を認識し、その解決に向けたアプローチを意識して基礎研究を推進することが重要であると考えた。数学分野の研究者が自然科学、情報科学、工学、生命科学の理論や実験の研究者と連携することや、諸分野の研究者が数学分野に参入して課題解決に取り組むこと、また、領域内外で異なる課題に取り組む研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組む姿勢を重視した。これにより、新しい数理科学の分野の形成や牽引の担い手となる将来の世界レベルの若手研究リーダーの輩出を期待した。

研究課題としては、数理的アイデアや方法が斬新であり、それが社会的／人類的課題の解決につながると期待できる提案や、社会的／人類的課題の解決のための数理的方法が、その有効性をこれまでにない新しい形で明確に示す提案を重視した。

優れた発想に基づく提案であっても、数理的発想や方法の有用性や斬新性が足りないと思われるものや、対象とする社会的／人類的課題の解決に向けて現場と連携する意欲が不十分と思われるもの、個人研究である「さきがけ」の趣旨に合致しないものなどは不採択とした。

② 募集・選考・研究領域運営にあたっての研究総括の方針

本研究領域では、従来の科学技術の延長ではなかなか解決できない社会的・人類的課題に対し、数学・数理科学のアイデアをもって取り組むことで、それらに新しいブレークスルーを起こすことが期待される提案を募集した。現在の数学・数理科学分野が果たす新し

い科学的・技術的な貢献はもちろんのこと、その研究成果が現在の社会的課題に対し、どのような解決をもたらし得るのかという視点も重視した。研究課題については本研究領域の戦略目標の記述の中にも含まれているが、それらにしばられず、様々な分野・現象に対し、応募者の自由な発想による以下のような観点での新しい提案を期待した。

- 極めて複雑、大規模、多様であるために通常の数理的取り扱い(解析や計算など)が困難であるものに対して、新しい数理的アイデア・手法を開拓すること
- 非常に重大な影響をもたらす現象であるが、局所的、一過性、再現困難、測定困難などの理由により、現象の発生や規模、影響が予測できないものに対して、数理的発想によりその予報・予知のための技術を進展させること
- 現象に対する従来の見方や方法に対して、斬新な数理的発想や方法により、その理解や記述を格段に進展させることで、新しい解析や制御の方法を与えること

課題解決に用いる数学理論や方法には制約は一切なく、代数、幾何、解析などの純粋数学や応用数学、統計数学、離散数学など数学のあらゆる分野を対象としたが、数学・数理科学分野の研究者からの研究提案だけでなく、他分野の研究者が数学・数理科学分野に参入し課題解決に取り組む提案も同様に評価した。また、その解決に向けて自然科学、情報科学、工学、生命科学の理論や実験の研究者とも双方向に連携して研究を進めることが期待された。

研究推進においては、社会での様々な問題に対して提案者自らが対象となる分野の研究現場に入り込んで課題を認識し、その解決に向けたアプローチを意識して基礎研究を推進することを重視した。よって、特に社会とのつながりを意識し、その重要性を認識した上でそれを課題として取り上げ、解決の糸口を数学的に図る提案を検討して本研究領域に応募されることを期待する。数学分野の研究活動のみにとどまらず企業や諸分野の研究者との連携等の活動を積極的に行なう意思のある研究者の応募を評価した。

研究領域の運営にあたっては、数学内の様々な分野の研究者間の連携や、対象とする研究課題に関わる様々な分野の研究者との連携などが進められるよう、領域会議やワークショップなどを積極的に開催するとともに、関連する CREST、さきがけの研究領域とも連携し、さらには、数学関連のアウトリーチ活動や啓蒙活動等についても、本研究領域の研究者の協力を得つつ取り組んでいく意欲のある提案を評価した。

本研究領域のさきがけ研究の活動を通じて、研究領域において研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組む中で、科学技術のイノベーションの源泉となる研究成果を創出し、さらには新しい数理科学の分野の形成や牽引の担い手となるような、世界に通用する若手研究リーダーが輩出されることを目指した。

③選考結果

以上の選考方針の下に、本研究領域では3年間で31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
2014年度	111件	18件	9件

2015 年度	78 件	19 件	9 件
2016 年度	67 件	21 件	13 件

研究領域発足第 1 年目の 2014 年度は、数学・数理科学に関連した多様な研究課題を掲げて、数理科学分野はもちろん、物理学や生物学・生命科学、工学などの幅広い分野から 111 件の応募があり、領域アドバイザーと外部委員の協力を得て選考を行い、18 件の面接を経て、最終的に 9 件を採択した。採択された研究提案は、都市・社会システム、脳のリズム、言語、機械学習、結晶構造解析、気象予測、暗号、グラフェン合成のように極めて幅広く、用いられる数学も代数学、幾何学、解析学、統計科学、離散数学と多岐にわたるものであった。

第 2 年目の 2015 年度は、前年度同様、感染症、金融、物質・材料、医学、計算科学、間接計測などの幅広い分野の関わる 78 件の応募があり、19 件の面接を経て、9 件を採択した。この 2 年間の応募で、数学・数理科学のアイデアや手法の可能性を広げるような十分に幅広い研究課題が取り上げられたと思われるが、一方で応募者の中でのいわゆる「純粋数学」を基盤とする研究者の応募が比較的少ないと感じられた。

これを受けて最終年度となる 2016 年度の募集では、数学分野からの研究提案を活性化させる目的で、2016 年 3 月 18 日に日本数学会年会の会場において「数学者が『さきがけ』でできること」と題した領域説明会を行い、研究領域の説明と共に、新井仁之氏(東京大学・教授/複合領域「数学」のさきがけ経験者)、楠岡成雄氏(東京大学名誉教授/本研究領域アドバイザー)の講演や、本研究領域のさきがけ研究者 3 名のパネルディスカッションを行った。その結果、最終年度にはそれ以前よりも多くの数学分野からも応募があり、67 件の応募に対して、面接対象は 21 件で、最終的には 13 件の研究提案を採択した。特にそれまで比較的少なかった幾何学に関わる研究課題で優れたものが複数あり、研究領域全体としての研究課題の多様性がさらに高まったのは大変喜ばしいことであった。

(2) 研究課題採択を通じ、戦略目標を達成する上で必要な研究課題、研究者の参加が適切に得られたか

2 つの戦略目標に対して、数学・数理科学のアイデアや方法の多様さと、取り上げられた研究テーマの広がりとの両方の観点で、十分な研究課題と研究者の参加があったといえる。

戦略目標 1 については、都市や社会システムの最適化や瓦礫埋没者の探索などの間接計測技法、新物質探索、情報セキュリティや自動車の安全走行のためのシステム検証などの多様な社会的課題の解決を目指す研究提案や、数学・数理科学を活用して、医学・生命科学、脳神経科学、人文・社会科学、環境科学、物質材料科学、流体工学、CG・映像科学、情報科学などの諸科学と密接に連携する研究提案が多数集まった。

戦略目標 2 についても、高頻度金融データ、結晶回折データ、感染症の非疫学データ、大量のコーパスによる自然言語データ、細胞増殖や細胞機能データなどの様々なデータに対

する新たな数理的手法の開発を目指す研究提案や、深層学習の数学理論の進展やデータ解析への幾何的視点の導入、時系列データに対する新たな予測手法の開拓、ソフトマテリアルを用いた機械学習などの数学・数理科学の斬新な発想に基づくビッグデータ解析の理論と方法の新展開を目指す研究提案が数多く集まった。

研究の方法においても、群論や数論、表現論などの代数学、トポロジー・微分幾何学や特異点論などの幾何学、偏微分方程式、関数解析、函数論、確率論、力学系理論などの解析学、数値解析、流体数学、数理生物学などの応用数学、統計科学、理論計算機科学、数理論理学、離散数学など、様々な数学・数理科学のアイデアや理論、方法が活用された。

以下は、第1期の研究者の成果発表時に用いられた研究テーマとその背景となる数学分野をまとめたものであり、これだけからでも上記のことはよく見て取れる。



5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザーの一覧

領域アドバイザー名	終了時の所属	役職	任期
石井 志保子	清華大学	教授	2014年4月～2020年3月
大島 利雄	城西大学	教授	2014年4月～2020年3月
楠岡 成雄	東京大学	名誉教授	2014年4月～2020年3月
坂上 貴之	京都大学	教授	2014年4月～2020年3月
高田 章	ロンドン大学	特任教授	2014年4月～2020年3月
田崎 晴明	学習院大学	教授	2014年4月～2020年3月
土谷 隆	政策研究大学院大学	教授	2014年4月～2020年3月
長山 雅晴	北海道大学	教授	2014年4月～2020年3月
藤重 悟	京都大学	特任教授	2014年4月～2020年3月
宮岡 礼子	東北大学	総長特命教授	2014年4月～2020年3月

(1) 人選にあたっての考え方

領域アドバイザーの人選の基本方針は、数学の広い分野を十分にカバーできること、企業研究者を入れること、同時に立ち上がった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」（坪井俊研究総括、以下、CREST「数理モデリング」と記す）との連携が十分にできるようにすること、また、先行の複合領域「数学」との継続性を持てるようにすることである。

本研究領域は数学・数理科学分野を背景としており、JSTの戦略的創造研究推進事業においてはそのような研究領域は、2007年から2015年まで実施された複合領域「数学」と、本研究領域と同時に発足したCREST「数理モデリング」だけであった。数学の抽象性と普遍性という学問的特質を発揮するためには、これらの研究領域の研究者の相互交流と連携が本質的に重要であると考え、本研究領域の領域アドバイザーの人選においても、これらの研究領域との関連性や継続性を保てることをねらった。

この方針に基づいて、以下のように様々な分野をカバーする優れた学識と研究歴を持つ領域アドバイザー10名を委嘱した。

領域アドバイザー名	専門分野	JST 数学関連研究領域での活動状況
石井 志保子	代数学、代数幾何学	
大島 利雄	代数学、表現論	CREST「数理モデリング」領域アドバイザー
楠岡 成雄	解析学、確率論	

坂上 貴之	流体数学、偏微分方程式、数値解析	複合領域「数学」さきがけ研究者、CREST 研究代表者
高田 章	応用数学	
田崎 晴明	数理物理学、統計物理学	CREST「数理モデリング」領域アドバイザー
土谷 隆	統計科学、数理工学	CREST「数理モデリング」領域アドバイザー
長山 雅晴	数理モデリング、数理生物学	複合領域「数学」さきがけ研究者、CREST 研究代表者
藤重 悟	離散数学	CREST「数理モデリング」領域アドバイザー
宮岡 礼子	幾何学	CREST「数理モデリング」領域アドバイザー /複合領域「数学」領域アドバイザー

このうち、高田章氏は、現在はロンドン大学の特任教授だが、2018 年度まで長年にわたる企業研究者としての経歴があり、そのような観点からさきがけ研究者にも豊富なアドバイスをしていた。

宮岡礼子氏は先行の複合領域「数学」でも領域アドバイザーを務められ、坂上貴之氏と長山雅晴氏は複合領域「数学」のさきがけ研究者、CREST 研究代表者としての経験をもつことから、先行研究領域での様々な試みや議論が伝えられるなど、継続性が確保された。

領域アドバイザーの選定にあたっては、同時発足の CREST「数理モデリング」の坪井俊研究総括と意見交換を行い、大島氏、田崎氏、土谷氏、藤重氏、宮岡氏の 5 名に両研究領域に共通の領域アドバイザーをお願いした。

以上のように、本研究領域の領域アドバイザーは多様な観点を考慮して委嘱しており、その効果は選考時にも研究領域活動においても大いに発揮され、多くの建設的なアドバイスをいただくことができた。

6. 研究領域のマネジメントについて

(1) 領域運営の基本的な考え方

本研究領域では、従来の科学技術の延長では解決が難しい社会的・人類的課題に対し、数学・数理科学のアイデアをもって取り組み新しいブレークスルーを起こすとともに、その過程で数学自体の発展をも目指すような研究を求めた。それに鑑み、本研究領域の運営にあたっては以下の4点をその基本的な考え方に据えた。

- (A) 研究者自らが対象となる分野の研究現場へ入り込んで研究課題を認識することを重視する。
- (B) 研究領域内や応用分野との連携を促進する。そのために定期的に領域会議を開催するとともに、様々な研究者と協力して研究の交流を広げる。
- (C) 数学に関連する他の研究領域や学会と協力して研究の交流や連携を深める。
- (D) アウトリーチや啓蒙・教育活動にも積極的に取り組む。

これらを運営の基本方針として、本研究領域では次のような活動を進めた。

研究の進捗の把握と評価・指導のための活動

領域会議、サイトビジット、担当アドバイザー制の導入

研究課題の事後評価と成果報告会の開催

研究領域内外の研究者との交流と連携の推進

研究領域内の研究連携、産業界との連携、JST 数学関連研究領域との連携、

JST の各支援を活用した他分野研究領域との交流と連携、

数学に関連する学会や研究者との交流と連携、その他

アウトリーチ活動

CREST「数理モデリング」と連携した公開シンポジウムの開催、

数学キャラバン、一般向けの著作物や教科書などの刊行

上記について、以下にそれぞれの内容を記録(一部は添付資料)と共に説明する。

(2) 研究の進捗の把握と評価・指導のための活動

① 領域会議

さきがけ領域会議は、研究総括、さきがけ研究者および領域アドバイザーが一堂に会し、研究者が研究課題進捗状況を報告し、研究内容について討議する合宿形式の非公開会議で実施した。さきがけ研究者にとっては、相互の研鑽、最新情報の交換、討議による発想の転換、研究者の発表スキルの強化、研究連携の機会、研究者の間の交流等の推進を目的とした。

本研究領域では合計で11回の領域会議を開催した。



領域会議では、研究者が研究の進捗状況をプレゼンテーションとポスターセッションで発表し、研究総括、領域アドバイザー、研究者相互に密なディスカッションを行ってそれぞれの研究進捗に繋げると共に、新たな連携や共同研究が自然に生まれるような場とした。同時に、それぞれの研究者や領域アドバイザーの研究分野・研究者ネットワークの情報が共有され、個々の研究者だけでは到底得られないような、分野を超えた研究の展開も行われた。研究者がプレゼンテーションで進捗を発表するだけでなく、全研究者のポスターセッションにも時間を割き、研究総括や領域アドバイザー、研究者相互の議論の活性化を図った。ポスターセッションでは発表する研究者は自分の説明に時間を取られるため、開催期間中に複数回のセッションに分け、コアタイムを設けて発表に専念する時間帯と自由に他の研究者の発表を聞いて議論を出来る時間帯を区別して、研究者同士の議論が活発に行えるように配慮した。また、研究期間が終了した研究者にも任意で参加を呼びかけ、本研究課題のその後の進展を発表してもらい、研究者間のコミュニケーション継続や意見交換の場を設けた。

さきがけ研究者の研究課題の進捗状況は、毎回の領域会議での発表やディスカッション、担当アドバイザーとのミーティングを通じて定期的に把握しているが、特に節目の時期の研究進捗状況の把握は重要である。本研究領域では、研究期間が残り1年余となる時期の領域会議での発表の機会を利用して、丁寧な研究進捗状況確認とそれに基づく指導を行った。あくまでも研究者の自由な発想を損なわないように、評価でなく進捗確認と位置付けた。

具体的には、第5回の領域会議で1期生の研究進捗確認を行うため、1期生のプレゼンテーション及びポスターセッションから研究進捗状況を担当アドバイザーが確認し、それをコメントシートにして研究総括と情報共有し、今後の研究方針指導の指針とした。第8回領域会議では研究期間終了まで1年となる2期生の研究進捗発表を、第11回領域会議(最終回)では3期生の研究進捗発表を行った。

本研究領域はJST戦略的創造研究推進事業としては、同時発足のCREST「数理モデリング」と共に、2度目の数学関連研究領域として発足したことを受けて、CREST「数理モデリング」や先行研究領域である複合領域「数学」との連携も重視した。そのため、最初の領域会議は、CREST「数理モデリング」の坪井研究総括と相談して共同で開催し、その後も坪井研究総括

には、ほぼすべての本研究領域の領域会議に参加していただいた。また、本研究領域単独で開催した第2回領域会議には、数学分野の新さきがけ領域として、先行研究領域である複合領域「数学」の研究者に参加を呼びかけ、複合領域「数学」の西浦研究総括とさきがけ研究終了者7名に参加していただいた。西浦研究総括はその後もたびたび領域会議に参加された。これらは、他の数学関連研究領域との交流・連携を維持するために重要な役割を果たし、実際に後に述べるさまざまな活動を通じて、数学関連研究領域の研究者の交流と連携の機会ができて、研究者相互のネットワーク形成とそれによる研究の進展に役立った。

領域会議では、ほぼ毎回、研究総括と領域アドバイザーによる運営会議を行い、研究領域運営についてのさまざまな意見交換や情報共有を行った。同様にほぼ毎回、全体討論の時間を設け、数学と諸分野の連携をより円滑に行うための活動や課題について研究者、領域アドバイザーと議論を行った。

②サイトビジット

サイトビジットは、研究総括が研究者の研究現場を訪問し、研究環境の確認や研究者と研究総括がフェイス・トゥー・フェイスで意見交換が出来る機会となる。また、研究者の上長にさきがけ事業の紹介、研究領域の目標などを説明して、さきがけ研究推進や、さきがけ研究領域活動へのご理解とご協力の依頼・承諾を頂く場でもある。

本研究領域では、合計で24回のサイトビジットを行った。日程の都合などですべての研究者のサイトビジットを行うことはできなかったが、必要度の高い研究者を優先して実施した。

例えば、1期生の中野直人は、さきがけ専任研究者として北海道大学大学院理学研究院で研究を行っていたが、任期の後半にさきがけ研究の終了後のキャリアを得るために数学分野では必要とされる教育経験を持てるようにしたいとの希望が、サイトビジットの際に本人および所属長の大本教授から出された。そこで、さきがけ専任研究者が所属機関で非常勤講師として教育経験を積むこともできるようにJSTに提案して承認され、中野直人がその後の職を得るための一助となった。

また、3期生の横山知郎は、所属大学が委託研究契約としてJSTさきがけ研究者を受け入れた経験がなかったために、予算執行や職務の規定などの制約でさきがけ研究の遂行が十分に行えないところがあった。そこでサイトビジットの際に副学長や事務局長に事情を説明して問題点をご理解いただき、研究の遂行をより円滑に行えるように対応していただくことができた。

③担当アドバイザー制の導入

本研究領域では他の研究領域に先行して、2015年度より「担当アドバイザー制」を導入した。これは、さきがけ研究の研究総括および領域アドバイザーが、メンターとして若手研究者を指導していくという趣旨に鑑み、本研究領域の各専門分野のエキスパートである領

域アドバイザーの能力を活かして、よりきめ細かい研究指導が行えるように、さきがけ研究者とその担当アドバイザーが1対1で、研究の進捗状況について年2回のディスカッションを行い、領域会議と併せて年4回の適切な助言・指導の場を持てるようにする制度である。担当アドバイザーと研究者の組み合わせを決めて、第1回目を2015年5～6月に実施し、その後も半年ごとにそれを継続してきた。

研究総括が、領域アドバイザーに割り当てたさきがけ研究者のメンターとなって、研究における様々な悩みや障害についての相談役となり、解決のための支援や助言を行うことは重要であり、研究の進展と研究者の成長のために有用である。具体的に、さきがけ研究者からも、

- 領域会議は日程がタイトでなかなかゆっくり議論する時間はなかったがアドバイザーミーティングでは深い議論ができたのが良かった。
- 半年に1度、6時間ほどノンストップで対面指導していただける機会を得られ、研究の重大な方向性を示していただけで素晴らしい制度だった。
- 担当アドバイザーが同じだった別のさきがけ研究者の方の研究内容について詳しく知る機会ができた。
- 専門家をご紹介いただいて、一緒に研究をすすめることができた。これは自分だけで研究を進めていたらできない繋がりだったと思う。
- 研究の進捗は勿論のこと、必ずしも直接関連はしないが今後のテーマとなりうる事柄に関して、数理的な捉え方を伺えたのも大変参考になった。

などの意見が出ており、さきがけ研究者にも概ね好評であり十分に活用された。一方で、

- アドバイザーミーティングに向けた発表資料作成など、論文締め切り前や繁忙期(特に1月)での負担が大きいため、各研究者と担当アドバイザーの判断で自由にミーティング実施時期や回数を調整するなどの柔軟な運用としても良いのではないか。
- 研究課題の進捗状況に応じて、担当アドバイザーの交代もできるようにしても良い。
- 育児中の女性研究者の場合、年2回のアドバイザーミーティングは出張が増える点で負担が生じるので(特に場所が遠いと相当な負担)、この点の配慮が事前にあっても良い。
- 担当アドバイザーと真剣に議論をしていると共同研究の芽が生まれることが当然ある(特に担当アドバイザーの専門分野が自分の研究分野と近いケースでは)。さきがけ研究者と担当アドバイザーの共著論文発表や共同研究発表は制限されるべきものではなく、むしろ研究領域内の活発な交流の結果として、研究者同士の共同研究と同様に推奨されるべきではないか。
- 領域会議とあわせると成果報告の機会が多くなり、注意しないと、短期間で成果がでる研究課題を優先してしまいそうになる。

など、運用や実施の方法についての建設的な意見も出ており、今後のさきがけ研究領域での参考にしていただけると良いと考える。

なお、本研究領域の「担当アドバイザー制」は、戦略的創造研究推進事業取組・成果

「成果最大化へ向けた運営の取組事例」

充実した領域マネジメントと研究推進サポート若手研究者の人材育成

<https://www.jst.go.jp/kisoken/research/operations/case02.html#01>

で紹介されるなど、その効果が高く評価され、その後、他のさきがけ研究領域にも展開されている。

④課題の事後評価と成果報告会の開催

研究期間終了時の課題事後評価は、研究総括だけでなく、担当アドバイザー、および第3者としてもう1人の領域アドバイザーを研究総括が指定し、その意見も取り入れて行った。また、数学と諸分野の連携を通じて様々な社会的・人類的課題に挑戦してきた課題研究成果を紹介するため、一般に公開する形の成果報告会を行った。

1期生の成果報告会は、2018年3月7日に「変わりゆく数学 ～数学による社会的・人類的課題への挑戦～」というタイトルで、東京大学大学院数理科学研究科棟大講義室で、公開シンポジウムとして開催した。本研究領域1期生9名によるさきがけ研究課題の成果報告講演に加えて、企画セッションとして総括・研究者によるパネルセッションが行われた。

2期生と3期生の成果報告会については、一般の参加者がより参加しやすくすることを考慮して、CREST「数理モデリング」との連携した公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える」と合わせた2日間のイベントの1日の企画として開催した。

2期生の成果報告会は、2019年3月11日に東京ガーデンパレスで開催され、2期生9名による成果報告講演と、「数学『協働』活動事例紹介」という企画セッションが行われた。

3期生の成果報告会は、2020年2月1日に秋葉原コンベンションホールで開催する予定であり、3期生12名による成果報告講演と企画セッションを計画している。

(3) 領域内外の研究者との交流と連携の推進

①領域内の研究連携

募集・選考時のみならず領域会議などの機会に領域内外の研究者との研究の交流や連携を強く推奨した結果、さきがけ研究者が研究面で相互に相談や助言をしたり、研究討論を行うなどの、領域内での交流や連携は活発に行われた。それが共同研究に発展した事例も数多くあり、現在でも進行中のものも多い。いくつかの成功した事例については、「7. (2) 研究領域全体の特筆すべき研究成果」で取り上げる。

また、第5回領域会議において研究総括の指示で行なったテーマ別ディスカッションの成果として、領域内のアクティビティグループ PresTop が発足した。

PresTop (Presto と Topology を重ねた造語)

1. 概要と発足の経緯

さきがけ数学研究領域内の研究者有志が集まり、トポロジーの応用について議論するとおもしろいことができるのではないかという趣旨で活動する研究グループを 2016 年 10 月の領域会議の時に結成した。活動メンバーは、コアメンバーが鍛冶静雄、横山知郎、坂上貴之領域アドバイザーで、話題ごとに領域内外から参加者を募り、議論やワークショップ、共同研究を行うものとする。

具体的な活動は次の 4 つのフェーズで進める。

Phase 1. ネタ出し・技術相談:

- ・ (新テーマ開拓) 理論研究から面白そうな話題を紹介し、その応用の可能性を探る。
- ・ (技術相談) 取り組んでいる具体的問題を解説してもらい、その解決に使えるようなトポロジーの道具を探す。

Phase 2. 出てきた話題に対して、各自が持ち帰り検討する。

Phase 3. 検討結果を持ち寄って議論を繰り返す。必要に応じてワークショップなども開催する。議論の展開の可能性や興味の方角性によって、途中での参加者の入れ替わりや、話題そのものが途中で終了することもあり得るが、それもよしとする。

Phase 4. うまくゆけば論文作成やソフトウェア実装などのアウトプットにつなげる。

2. 活動

これまでに日常的な活動以外に 2 回のワークショップを開催した。

2. 1. PresTop workshop in Kyoto

開催日時: 2017 年 8 月 1 日 (火) 10:00 - 8 月 2 日 (水) 午後

開催場所: 京都大学理学部 3 号館 108 号室

参加者: 本研究領域内 4 名、JST 関係研究者 2 名、その他の研究者 2 名

2. 2. 第 2 回 PresTop workshop 「流体の画像解析とその周辺」

開催日時: 2018 年 6 月 8 日 (金) 13:00~2018 年 6 月 10 日 (日) 18:00

開催場所: 松島町文化観光交流館

参加者: 本研究領域内 6 名、JST 関係研究者 1 名、その他の研究者 4 名

2. 3. 日常的な活動状況

- ・ 吉田浩之氏 (大阪大学) との、液晶配向場のトポロジー制御による多安定性スイッチングと機能開拓に関する研究打合せ
- ・ 平井豊博氏 (京都大学大学院医学研究科・呼吸器内科学・教授) らとの共同研究
- ・ 研究領域内では Daniel Packwood や末永幸平らと個別の議論や共同研究が行われた (継続中を含む)。

3. 成果

第 1 回ワークショップでは、講演をいただいた JST 他研究領域さきがけ研究者の内田幸明氏 (大阪大学大学院基礎工学研究科・准教授) との議論が発展し、別の JST 他研究領域さきがけ研究者の吉田氏との共同研究に結びついて、研究の展開が行われた。これは今年度に採択された科研費による共同研究として発展している。第 2 回ワークショップで行った

流体のトポロジーを抽出するデータについての議論が、その後のプログラム開発の展開の基礎となり、役に立った。

それぞれの共同研究では成果が得られつつあるが、まだ発表などのアウトプットには至っていない。副産物として、平井氏らとの共同研究に関連して、パーシステントホモロジーの高速計算ソフトの改良を行って、以下により公開した。

https://github.com/shizuo-kaji/CubicalRipser_3dim

②産業界との連携

個々のさきがけ研究者が企業と行った共同研究については「7. (4)研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献」に実績をまとめた。その他に、企業研究者であった高田領域アドバイザーの尽力により、

日本応用数理学会「ものづくり企業に役立つ応用数理手法の研究会」

<https://na.cs.tsukuba.ac.jp/mono/>

において、以下のさきがけ研究者が研究発表を行い、企業研究者との交流の機会を持った。これにより企業研究者に本研究領域が知られるようになり、さきがけ研究者にも企業での研究の状況を知る貴重な機会となった。

第16回 講演 2017年2月8日

「よりよい社会システム構築のための基盤技術としての離散最適化」

神山直之准教授(九州大学)

第17回 講演 2017年4月28日

「機械学習の理論：スパース学習から深層学習まで」

鈴木大慈准教授(東京大学)

第18回 講演 2017年6月28日

「結晶構造解析における数理の進展と凸最適化の応用について」

富安亮子准教授(山形大学理学部数理科学科)

第22回 講演 2018年2月5日

「“ことば”はどのようにフラクタルか」

田中(石井)久美子教授(東京大学先端科学技術研究センター)

第24回 講演 2018年6月7日

「ヒト神経系・循環器系の非侵襲計測と数理解析」

小谷潔准教授(東京大学先端科学技術研究センター)

第25回 講演 2018年8月17日

「高頻度データを用いた株価変動リスクの計測」

荻原哲平助教(統計数理研究所)

第 26 回 講演 2018 年 10 月 29 日

「やわらかいマテリアルを用いた機械学習法：Reservoir Computing の展開」

中嶋浩平特任准教授(東京大学)

第 28 回 講演 2019 年 2 月 18 日

「多数のヒンジからなる、自由度 1 の閉リンク機構」

鍛冶静雄准教授(九州大学 IMI 研究所)

第 31 回 講演 2019 年 8 月 26 日

「希少(少量)データに対するデータ駆動科学」

永田賢二主任研究員(物質・材料研究機構)

第 34 回 講演 2020 年 2 月 21 日

「力学系理論と機械学習的手法によるデータ駆動型モデリングによる時系列解析と予測」

中野直人特定講師(京都大学国際高等教育院)

③JST 数学関連領域との連携

本研究領域に先行する複合領域「数学」では、その期間後半に CREST チームに所属する若手研究者の間の交流の機会を設けるために領域横断若手合宿を始めたが、本研究領域と同時に CREST「数理モデリング」が発足したため、領域横断若手合宿を継承して、JST 数学関連研究領域の若手研究者の交流の場とするために実施した。

領域横断若手合宿は 2 年にわたって開催されたが、その中から新たな若手研究者の研究交流の場として、未解決問題ワークショップの企画が自発的に誕生した。その企画趣旨は研究領域のねらいに合致し、良い効果が期待されたため、両研究領域の研究総括が賛同して、2017 年度よりこれまでに 3 回未解決問題ワークショップを開催している。

(i) 領域横断若手合宿

様々な学問的背景や目的を持って JST 数学関連研究領域に係わる若手研究者同士の連携をより強化すると共に、今後の数学を背景にする学際的研究の更なる発展の一つの契機とすることをねらいとして企画した。合宿では、微分方程式、トポロジー、統計、数値解析、数理モデル、流体力学、力学系、ロボティクス等の多岐に渡る分野から意欲的な若手が一堂に会した。JST 数学関連研究領域の若手研究者の分野横断連携への高いポテンシャルと意欲を感じさせられるものであり、今後の展開に期待ができる極めて有意義な合宿であった。

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 CREST さきがけ

JST 科学技術振興機構

JST数学関連領域横断若手合宿

主催：独立行政法人 科学技術振興機構
 日時：2015年3月9日(月)～11日(水) (2泊3日)
 場所：休暇村志賀島
 〒811-0325 福岡県東区大字膳馬1803-13

様々な学問的背景や目的を持って数学関係領域に関連する若手研究者同士の連携をより強化すると共に、今後の数学を背景にする学際的研究の更なる発展の1つの契機とすることを目指します。

URL <http://www.math.kyoto-u.ac.jp/~obayashi/crest-wakate-2015/>

運営幹事口
 中野直人 (JST さきがけ専任・北海道大学) □
 大林一平 (京都大学) □ 川原田茜 (静岡県立大学) □
 林 邦好 (岡山大学) □ 廣瀬三平 (芝浦工業大学) □

独立行政法人 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業
 CREST/ さきがけ 「数学と隣分野の協働によるフレクスループの探索」領域 (総括：西浦康敏) □
 □ 「石炭貯」 「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」領域 (総括：坪井 俊) □
 □ さきがけ 「社会的課題の解決に向けた数学と隣分野の協働」領域 (総括：藤野真司) □

連絡先：中野直人/JST さきがけ専任研究者・北海道大学) n_nakano@math.sci.hokudai.ac.jp

本研究領域発足以降では、

○第2回領域横断若手合宿：2015年3月9日～11日
 参加者 21名 (左はそのポスター)

本研究領域からは中野直人が参加し、運営幹事を務めた。

○第3回領域横断若手合宿：2016年2月21日～23日
 参加者 21名

本研究領域からは末永幸平が参加した。

○第4回領域横断若手合宿：2017年2月21日～23日
 参加者 26名

本研究領域からは鍛冶静雄、早水桃子、横山知郎が参加した。

(ii) 未解決問題ワークショップ

上記の領域横断若手合宿を行う中で、研究者相互の議論から自然に生まれた企画であり、以下のような趣旨と方法で、数学・数理科学の活用の1つの実験場として行うという発想と意欲を評価して、JST 数学関連研究領域の共通の活動として支援することになった。

【趣旨】JST 数学関連研究領域(複合領域「数学」、CREST「数理モデリング」、本研究領域)に参画する研究者同士の研究領域や専門分野の垣根を越えた連携を強化するため、合宿形式のワークショップを開催する。様々な学問的背景をもつ研究者が一堂に会することで、相互理解を深めるとともに、さきがけ・CREST 活動における学際的研究の萌芽を育てる契機となることを目指す。

【方法】研究総括ならびに参加希望者から事前に「解くことができれば研究の加速に役立つと思われる数学における未解決問題」を募集する。その中から適切なものを幾つかピックアップして、合宿形式のワークショップで問題解決を目指す。参加者は、選定された未解決問題毎のグループに分かれ、それぞれの立場から智恵を出して問題解決に取り組む。問題解決に至った場合には、共著論文発表等につなげる。

第1回未解決問題ワークショップは、2017年9月25日～27日に、汐留コンファレンスセンターで開催した。ワークショップでは予め募集した数学・数理科学に関連する未解決問題をそれぞれ担当するグループ分けをして、二日間の集中議論で問題の解決を図った。CREST、さきがけ数学関連研究領域の若手研究者等と研究総括、領域アドバイザー等合計31名が参加した。本研究領域からは研究総括、領域アドバイザー2名、研究者9名が参加した。本研究領域の早水桃子が幹事を務めた。事前に集めた未解決問題から抽出した10件の問題をグループに分けて議論した。

第2回未解決問題ワークショップは、2018年9月7日～9日に、汐留コンファレンスセンターで開催した。CREST、さきがけ数学関連研究領域の若手研究者等と研究総括、領域アドバイザー等合計20名が参加した。本研究領域からは研究総括、研究者6名が参加した。本研究領域の横山知郎が幹事を務め、事前に集めた15件の未解決問題から抽出した問題をグループに分けて議論した。

第3回未解決問題ワークショップは、2019年9月6日～8日に、クロスウェーブ府中で開催した。CREST、さきがけ数学関連研究領域の若手研究者等と総括、領域アドバイザー等合計23名が参加した。本研究領域からは研究総括、研究者3名が参加した。事前に集めた未解決問題から抽出した9件の問題をグループに分けて議論した。なお、このワークショップでは次のような成果が得られた。

【成果】本研究領域から参加した寺本央らは、未解決問題「辺縮約の回数が最小となるグラフマイナー埋め込みの構成」に関連する議論を基に、次のような論文を発表した。
Graph minors from simulated annealing for annealing machines with sparse connectivity, International Conference on Theory and Practice of Natural Computing, Springer International Publishing, DOI:10.1007/978-3-030-04070-3_9

なお、未解決問題ワークショップは、

戦略的創造研究推進事業取組・成果 「成果最大化へ向けた運営の取組事例」

充実した領域マネジメントと研究推進サポート 若手研究者の人材育成

<https://www.jst.go.jp/kisoken/research/operations/case02.html#01>

で取り上げられた。

④JSTの各支援を活用した他分野研究領域との交流と連携

(i) さきがけ研究者交流会

学会等では経験できない異分野交流を通じて科学技術イノベーションの新たな源泉を生み出すことは、さきがけ研究領域発足時からの理念である。さきがけ研究者交流会は、各分野のさきがけ研究領域ごとの交流を、異なる研究領域のさきがけ研究者間の横に広い異分野ネットワーク形成の機会として開催している。

本研究領域からの参加状況は以下のとおりであり、毎回ほぼ複数名、多い場合には6名の研究者が参加して、そこから新たな研究の展開につながった例も少なくない。

- ・ 第5回さきがけ研究者交流会(2014. 11. 04)
神山直之、中野直人、Daniel Packwood
- ・ 第6回さきがけ研究者交流会(2015. 08. 01)
小谷潔、中野直人、Daniel Packwood、小林景
- ・ 第7回さきがけ研究者交流会(2016. 02. 27)
中野直人、荻原哲平、Elliott Ginder、末永幸平
- ・ 第8回さきがけ研究者交流会(2016. 09. 03)

中野直人

- ・ 第 9 回 さきがけ研究者交流会 (2017. 05. 20)
小谷潔、中野直人、杉山由恵、中岡慎治、野津裕史、横山知郎
- ・ 第 10 回 さきがけ研究者交流会 (2017. 11. 05)
中野直人、鍛冶静雄、横山知郎
- ・ 第 11 回 さきがけ研究者交流会 (2018. 06. 30)
中野直人、鍛冶静雄、中岡慎治、横山知郎
- ・ 第 12 回 さきがけ研究者交流会 (2019. 01. 26)
横山知郎
- ・ 第 13 回 さきがけ研究者交流会 (2019. 08. 31)
伊師英之、横山知郎

(ii) SciFoS (Science For Society)

SciFoS 活動は、さきがけ研究での取り組みが社会的な価値を創造するか、またどのような社会的ニーズを満たすものなのかについて、研究者自身が研究室の外に出て考え、再整理し、自分の研究を社会からの期待の中で位置づけなおす作業を自ら行うことを通じて、仮説検証によるコミュニケーション能力の重要性に気づき、今後の研究のステップアップにつながることを目的としている JST 戦略研究推進部の事業である。さらにその体験を他研究領域研究者や研究領域内の他研究者と共有し、社会の中の科学という観点から自らの研究を振り返る機会を得ることも目指している。

本研究領域からの SciFoS 参加研究者は、以下のとおりであった。各年度に研究者から希望を募り、研究総括による承認を得て、SciFoS 活動に参加した。

- ・ 2017 年度：Daniel Packwood、荻原哲平、杉山由恵、鍛冶静雄
- ・ 2018 年度：谷口隆晴、横山知郎

上記 6 名に付き、SciFoS 実施費用として、該当年度の研究費旅費を 100 千円増額した。

(iii) 共同 FS (feasibility study)

さきがけ研究者交流会や、その他の交流から生まれた研究連携に対し、さきがけ研究者の所属する研究領域の研究総括がその内容を承認した連携に対して、研究成果最大化を目的にフィージビリティスタディ費用として資金的支援を行うものである。

本研究領域からも多くの研究者が申請を行い、研究総括の承認のもと、相応する研究費の増額を行った。

⑤ 数学に関連する学会や研究者との交流と連携

数学・数理科学の発想を活かして諸分野の問題や社会的・人類的課題の解決を目指す本研究領域では、数学の特徴である抽象性と普遍性を考慮して、特定分野の数学理論だけでなく、

幅広い分野の理論や発想を取り入れることが重要であると考えている。また、数学・数理学と諸分野の連携から生まれる新しいアイデアや理論・方法は数学自体の進展を促し、そこから新たな研究の展開を促すことにもつながると期待される。このような数学・数理学との双方向の連携は、本研究領域だけでなく、研究領域の外の関連する研究者と広く交流することで最大の効果をあげることができる。特にこのような場に研究領域内外の若手研究者を巻き込んで、新たな研究の芽が生まれる場を共有することで、我が国の広い意味での数学・数理学の研究に関わる次世代の研究者の育成にも良い影響をもたらすと考えた。

そこで本研究領域の主たる目的の活動からはやや外れるが、研究領域に関わる研究の振興を外から補強し支援する活動として、以下の 2 つを研究総括のマネジメントの形で行った。

- ・日本数学会との共催による「数学連携ワークショップ」の開催
- ・若手数学者交流会の開催

前者は日本数学会の場を借りて、数学会の会員に広く数学関連研究領域の目指す方向や活動について知ってもらい、関心と連携を促進するための活動である。一方で、後者は、特に数学・数理学の若手研究者を対象に、数学と諸分野の連携と純数学との双方向の交流を目指した。

(i) 数学連携ワークショップ

日本数学会の年に 2 回の学会において、数学と諸分野の連携に関する最新の研究動向について、日本数学会会員の関心と理解を深めてもらうことを目的に、毎回テーマを変えて CREST「数理モデリング」と協力して、JST 主催のワークショップを 5 回開催した。また、本研究領域における研究活動を紹介し、応用分野からの数学・数理学への期待についても様々な形で情報を提供して、今後の展望について議論を行った。各回の司会は本研究領域総括の國府が行った。本研究領域からも合計で 4 名の研究者が講演した。

日本数学会2018年度年会ワークショップ
Society 5.0と数学
 ～量子コンピュータと人工知能を題材に～

2018年
3/18(日)
 9:30-12:00
 東京大学 駒場キャンパス
 12号館 2階 1225教室

「Society5.0の基盤構築に向けて」
 小谷元子(東北大学 材料科学高等研究所所長
 / 総合科学技術・イノベーション会議議員/理化学研究所理事)

講演1「量子コンピュータへの挑戦 -物理・工学・数学の融合領域-」
 藤井啓祐(京都大学 大学院理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻)

講演2「人工知能・機械学習における課題、数学の役割と期待について」
 鈴木大慈(東京大学 大学院情報理工学系研究科
 / 理化学研究所 革新知能統合研究センター/ さきがけ研究者)

講演3「人工知能・機械学習の研究を始めてみる」
 坂内健一(慶應義塾大学 理工学部 数理科学科
 / KIPAS主任研究員/ 理化学研究所 革新知能統合研究センター)

座長：園府寛司(京都大学大学院理学研究科/ さきがけ数学協働領域研究総括)

主催：文部科学省、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所「数学アノミスト/イノベーションプラットフォームAIMaP」
 共催：日本数学会、理化学研究所 革新知能統合研究センター

・2017年9月12日 数学だからできる現実世界を超えた「メタ」現実の可能性 --- JST/CREST「数理モデリング」研究領域を通して見える展望---

・2018年3月18日 Society5.0と数学 ～量子コンピュータと人工知能を題材に～
 鈴木大慈「人工知能・機械学習における課題、数学の役割と期待について」

・2018年9月24日 Society5.0と数学2 ～量子コンピュータと人工知能を題材に～

・2019年3月19日 Society5.0と数学3 ～数学と情報セキュリティ研究のかかわり～
 野津裕史、横山知郎「さきがけ/CREST研究を体験して」

・2019年9月19日 Society5.0と数学4 ～

AI やビッグデータが注目される現代における数学への期待から～
 鍛冶静雄「異分野連携ヒッチハイクガイド」

(ii) 若手数学者交流会 (Session “Young Mathematicians’ Challenge”)

数学には内在的な研究対象や未解決の問題が豊富にあり、特に問題意識を数学の外に向けなくても学問的発展は盛んに進められている。このような数学の研究形態は「純粋数学」と呼ばれる。一方で数学・数理科学のアイデアや理論・方法が数学の外にある様々な科学技術分野の諸問題や、広く社会的・人類的課題の解決に大きな貢献をできる大きな可能性があることが認識され、本研究領域を含めた多くの研究プロジェクトが行われている。そこでは数学・数理科学の最先端の成果を含めた発想や方法が活用され、また問題解決のために新たな数学理論が生まれている。このような数学の研究の進展は、純粋数学とは異なる動機に促されるものであるが、それが数学それ自体の発展の契機ともなり、これを広く数学研究に携わる若手研究者が共有することは、彼らの研究の進展と研究者としての成長に大きく役立つものと信じている。

この若手数学者交流会は、純粋数学の若手研究者(若手教員・ポスドク・大学院生)に JST 数学関連研究領域などで行っている数学と諸分野の連携に基づく研究への理解と興味を増進すること、また数学関連研究領域の若手研究者に純粋数学研究の動向を知る機会となることを目指し、数学と諸分野との連携から生まれる新しい数学の潜在的可能性を感じ取り、



SESSION
"YOUNG MATHEMATICIANS' CHALLENGE"
数学と諸分野の連携にむけた
若手数学者交流会
2019.3.15 FRI 13:00-19:30
3.16 SAT 10:00-17:10
会場 科学技術振興機構 (JST) 東京本館 B1大会堂
〒100-8558 東京都千代田区西葛西5-3-3
科学技術振興機構 (JST) 東京本館 B1大会堂
https://www.jst.go.jp/kisoken/crest/math-challenge2019/

3月15日(土)		3月16日(日)	
13:00	開会	10:00	開会
13:00-14:00	講演1「数学の心と広がり」 一橋大学理学部数学科 佐藤 隆 講演2「データサイエンスと数学」 東京大学 藤原 隆 講演3「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	10:00-11:20	講演4「科学技術と数学の連携」 東京大学 藤原 隆 講演5「AIと数学」 東京大学 藤原 隆
14:00-14:10	講演6「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	11:20-12:20	講演7「AIと数学」 東京大学 藤原 隆
14:00-14:25	講演8「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	13:20-14:25	講演9「AIと数学」 東京大学 藤原 隆
15:40-16:15	講演10「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	14:40-16:00	講演11「AIと数学」 東京大学 藤原 隆
16:50-17:30	講演12「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	16:00-17:00	講演13「AIと数学」 東京大学 藤原 隆
18:00-18:30	講演14「AIと数学」 東京大学 藤原 隆	17:10	閉会

あるいは再認識して、それぞれの研究の方向性やキャリアパスを再考し、広く数学・数理科学の若手研究者の双方向の交流をさらに促進するための企画として考案し、2019年3月15・16日に開催した。

純粹数学である代数幾何学と可積分系の分野で優れた研究業績を上げ、また所属大学では数理データサイエンスセンター長として最近の数学とデータ科学の連携を進めている神戸大学の齋藤政彦教授に基調講演を依頼し、JST 数学関連研究領域 (ERATO、CREST、さきがけ) や新学術領域、理研 AIP センター、数学関係の科研費基盤 S などの代表者に若手研究者の推薦を依頼し、口頭発表とポスターセッションを行った。本研究領域からは、

- ・「人工知能・機械学習に関わる数学・数理科学」セッション：小林景

- ・「数学による物質・物性理解」セッション：Daniel Packwood

- ・「位相的データ解析とその周辺」セッション：横山知郎

が自身の研究と数学と諸分野の連携について講演した。

なお第2回を2020年3月14・15日に開催する予定で準備中である。

⑥その他

(i) 数学教育学会での特別講演

本研究領域が2014年度に発足したことの1つの波及効果として、数学教育学会会長(当時)の落合卓四郎氏(東京大学・数理科学研究科・名誉教授)から依頼を受け、同学会の2015年度秋季例会において「数学と諸分野の協働の推進のために数学・数理科学の教育について考えること」というタイトルで総合講演を行った。そこでは、本研究領域の運営を行う中で、研究総括として数学・数理科学の学識と発想をもって諸分野の問題の解決に挑む若手研究者の育成に関して日頃考えることなどを述べた。講演後には落合会長を初めとする学会員諸氏と有益な議論が行われ、反響があった。

2015 年度数学教育学会秋季例会プログラム (第 1 報) 案

最新情報は、数学教育学会ホームページにて公開いたします

<http://www.mes-j.or.jp/>

日時 2015年9月13日(日)～15日(火)
 会場 京都産業大学(〒603-8555 京都市北区上賀茂本山)
 教室番号 全体会場 12号館 12502教室
 第1会場 3号館 301教室, 第2会場 302教室, 第3会場 303教室
 実行委員長 柳本哲
 実行委員 黒田恭史、二澤善紀、岡本尚子、白石和夫、島田啓子
 顧問 牛瀧文宏(京都産業大学)

9月13日(日)(受付時間 9:00-16:00)

	第1会場	第2会場	第3会場
9:30~12:30	高等学校分科会1	中学校分科会1	幼稚園・小学校分科会1
13:30~15:00	第1会場 Organized Session A 「戦後数学教育の評価と将来に向けての対応 についての研究」 オーガナイザー：守屋誠司(玉川大学) 招待発表者： 河合博一(KMI 主宰,元駿台甲府高校校長) 菊池乙夫(算数数学教育研究 21世紀セミ ナー主宰) 渡邊伸樹(関西学院大学)	第3会場 Organized Session B 「SSHの現状と今後の展望(仮)」 オーガナイザー：二澤善紀(佛教大) 招待発表者： 田中博氏(立命館中学校・高等学校前校長) 林慶治氏(京都教育大学附属高等学校) 波多野善隆氏(大阪府立四條畷高等学校)	
15:10~18:00	高等学校分科会2	中学校分科会2	幼稚園・小学校分科会2

9月14日(月)(受付時間 9:00-16:00)

	第1会場	第2会場	第3会場
9:20~11:20	高等学校分科会3	専門学校・大学分科会1	統計・情報教育分科会
12:20~13:20	全体会場 総合講演Ⅰ 数学と諸分野の協働の推進のために数学・数理学の教育について考えること 國府寛司(京都大学)(JST さきがけ 数学協働領域 研究総括)		
13:20~14:20	全体会場 総合講演Ⅱ 数学研究者として学校と教育とに関わること ～見よう見まねで教員支援などを始めて十数年～ 牛瀧文宏(京都産業大学)		
14:30~17:00	全体会場 シンポジウム 「数学と現実世界—数学の特性とその進化論的基礎」 コーディネーター：植野 義明(東京工芸大学工学部) パネリスト： 河合博一(KMI 主宰,元駿台甲府高校校長) 儀我真理子(日本医科大学) 青木孝子(東海大学) 小張朝子(東京大学附属中等教育学校)		
17:10~18:10	第1会場：理事会		
18:20~20:20	懇親会 京都産業大学内 並楽館4階		

(ii) 日本数学会「数学通信」の巻頭言

本研究領域の発足に関しては、日本数学会からも依頼を受けて、学会員向けの「数学通信」21巻(2016年)3号の巻頭言を寄稿した。

<https://mathsoc.jp/publication/tushin/backnumber.html>

<https://mathsoc.jp/publication/tushin/2103/2103kantougen.pdf>

ここでは数学分野のさきがけ研究領域としての特徴や活動を紹介し、数学会員の理解や支援と協力をお願いした。

(4) アウトリーチ活動

本研究領域では、アウトリーチ活動にも力を入れた。特に2016年度から今年度(予定)まで4回開催した公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える」と、複合領域「数学」から引き継いだ「数学キャラバン」については、CREST「数理モデリング」と協力して開催することで、講演者の幅を広げ、より効果的な企画と実施ができたと考える。また、研究総括が企画に中心的に関わった日本評論社の一般向け雑誌「数学セミナー」の連載「数理のクロスロード」では、広い読者層に本研究領域の活動や研究成果を伝える良い機会となった。この他にも研究総括や個々の研究者による様々な形での著作の刊行が行われた。

①CREST「数理モデリング」と連携した公開シンポジウムの開催

(i) 「数学パワーが世界を変える」シンポジウム

「数学パワーが世界を変える 2017」

CREST・さきがけ数学関連研究領域の研究成果アウトリーチ活動として、2017年2月11日～2月12日に公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える」を開催した。CREST「数理モデリング」、本研究領域、文部科学省委託事業「数学協働プログラム」の3プロジェクト合同のシンポジウムで、研究分野を絞った講演とポスターセッション、研究者座談会を行った。本研究領域からは、「数学と材料科学」セッションに富安亮子、「数学と医療・生命科学」セッションに大森亮介、「数学と人工知能・情報学」セッションに中嶋浩平が発表を行った。また、ポスターセッションでは、小谷潔、Daniel Packwood、李聖林、中岡慎治、谷口隆晴がポスター発表を行った。参加者は約200名で、企業からも多くの参加者が集まった。

「数学パワーが世界を変える 2018」

2018年1月21日に公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える 2018」を開催した。CREST「数理モデリング」、本研究領域合同のシンポジウムで、研究分野を絞った講演とポスターセッションを行った。本研究領域からは、「セキュリティと数学」セッションに縫田光司、「数学と金融」セッションに荻原哲平が講演を行った。また、ポスターセッションでは、Elliott Ginder、横山知郎がポスター発表を行った。参加者は約130名で、企業からも多くの参加者が集まった。

「数学パワーが世界を変える 2019」

2019年3月10日、11日に公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える 2019」を開催した。今回は、CREST「数理モデリング」、本研究領域、文部科学省委託事業「数学アドバンストイノベーションプラットフォーム(AIMaP)」の合同シンポジウムで、研究分野を絞った

講演とポスターセッションを行った。本研究領域からは、「最適化／マッチング問題とその応用」セッションで神山直之、「生命現象の数理とその応用」セッションで李聖林、AIMaP 公開ワークショップ「数学と諸科学分野・産業との協働の進化」で寺本央が講演を行った。また、各プロジェクトの講演者間コミュニケーションの活性化や集客の効率化のため、本研究領域 2 期生成果報告会をこのシンポジウムの中に埋め込む形で第 2 日目のプログラムとして開催し、2 期生 9 名が研究成果を発表した。約 210 名の参加者が集まった。

「数学パワーが世界を変える 2020」

今年度も、2020 年 2 月 1 日、2 日に CREST「数理モデリング」、本研究領域、文部科学省委託事業「数学アドバンスイノベーションプラットフォーム (AIMaP) の合同シンポジウムとして公開シンポジウム「数学パワーが世界を変える 2020」を開催する予定である。第 1 日目は本研究領域 3 期生成果報告会として、3 期生 12 名が研究成果を発表する。第 2 日目は合同シンポジウムで、本研究領域からは、「機械学習の数理の最前線」セッションで鈴木大慈、「データを読み解く新たな数理科学の探求」セッションで田中久美子、「センシング／制御技術の数理的新展開」セッションで奈良高明が講演を行う予定である。

②数学キャラバン

高校生・一般を対象に、数理科学への理解や興味を深めてもらうことを目的に、数学関連 CREST・さきがけ研究領域のアウトリーチ活動の一環として、継続的に講演会を開催している。さきがけ・CREST の研究者が、日頃の研究成果を含め、数学が社会に役立っていることを分かりやすく解説している。2011 年、複合領域「数学」の時より始まり、本研究領域と、CREST「数理モデリング」が引き継いで、活動は既に 9 年目に入り、毎回多くの一般・高校生が参加している。アンケートからは、過半数の参加者が、講演内容を楽しめた、興味を持たたと回答しており、数学が実社会でどのように利活用されているかについて理解や興味を深めることができた。



本研究領域からは以下のように、研究領域開始時期の第 11 回から第 32 回までの間に 12 名の研究者が 18 回の講演を行った。

第 15 回: 富安亮子「歪んだダイヤモンドはどれぐらい面心格子か? ~高次元の空間を使って対称性を調べる~」

第 16 回: Daniel Packwood「数理モデリングで未来を創る~次世代の電気材料へ~」

第 19 回: 鈴木大慈「コンピュータが学び賢くなる -人工知能のための数学-」

第 23 回: 鍛冶静雄「不思議な“数”の演算と図形の関係」

富安亮子「0 に一番近い整数の話」

中野直人「数列から構造を見出す? -でたらめと秩序のはざまで-」

第 24 回: 横山知郎「幅のない折れ線で正方形を塗りつぶせるか? 空間充填とビリヤード」

谷口隆晴「計算で楽器を鳴らしてみよう -音響計算の中の幾何学-」

第 25 回: 縫田光司「数が隠れているのに計算できる「秘密計算」と暗号と数学」

谷口隆晴「計算で演奏するショパン~楽器のシミュレーションと図形の面積~」

中野直人 司会進行、講演者オーガナイズ

第 28 回: 中野直人「数列から漸化式を推理しよう~データ駆動科学ことはじめ~」

第 29 回: 来嶋秀治「アルゴリズムのはなし」

鍛冶静雄「まわれメビウス折り紙」

末永幸平「プログラムが正しく動くことを「証明」せよ」

第 30 回: 伊師英之「楽しい反復計算」

中野直人 司会進行、講演者オーガナイズ

第 32 回: 早水桃子「“進化”のシナリオを探る数学」

鍛冶静雄「まわれメビウス折り紙」

③一般向けの著作物や教科書など

本研究領域の研究活動は、数学や科学関係の出版社にも関心を持たれ、さまざまな形でさきがけ研究者の研究成果やそれに関連する啓蒙書、特集記事、解説記事などが刊行された。

特に、鈴木大慈による著書「機械学習のための連続最適化」(共著)と「確率的最適化」(単著)、Daniel Packwood の著書「Bayesian Optimization for Materials Science」、小林徹也による編著「定量生物学」は専門分野の著作として重要である。小谷潔の著書「「極限」を使いこなす:微積分・微分方程式・確率統計」は、本研究領域での研究者間の交流にも触発され、諸科学・諸分野を学ぶ学生に数学の重要性や勘所を伝えようとした教科書である。日経サイエンスの特集:AI の身体性「体で計算するコンピュータ」は中嶋浩平の研究を大きく取り上げている。

また、日本評論社の一般向け月刊雑誌「数学セミナー」では「数理のクロスロード」という連載が行われた。これは日本評論社からの依頼に応じて、複合領域「数学」の西浦研究総括と本研究領域の國府研究総括が企画したもので、2018年1月号の座談会「数理にもっと対話を」から始まり2020年4月号(予定)までの26号にわたって、両研究領域のさきがけ研究者がそれぞれの研究やその背景などを2~3回ずつの連載記事にまとめた。以下はその連載の一覧である。また、日本評論社とこの連載を単行本として出版することを計画しており、現在その検討を進めている。

2018年1月号 座談会「数理にもっと対話を」鈴木大慈、鍛冶静雄、田中久美子、坂上貴之、水藤 寛、國府寛司、西浦廉政

2018年2月号-4月号 神山直之「離散最適化の理論と応用」

2018年5月号-7月号 奈良高明「函数論の計測工学への応用」

2018年8月号-10月号 田中久美子「言語の数理的普遍」

2018年11月号-12月号 鈴木大慈「機械学習の数理」

2019年1月号-3月号 寺前順之介「脳と知能の数理:理論神経科学の最前線」

2019年4月号-5月号 野津裕史「流体シミュレーションの数理」

2019年6月号-7月号 鍛冶静雄「かたちと動きの数理基盤」

2019年8月号-11月号 北畑裕之・小磯深幸「しゃぼん膜としゃぼん玉の数理と物理」

2020年1月号-2月号 早水桃子「進化の系統樹とデータ解析」

2020年3月号-4月号 寺本央「計算機で挑戦する写像の特異点の分類とその応用」(予定)

*坂上貴之、水藤寛、寺前順之介、北畑裕之、小磯深幸は複合領域「数学」のさきがけ研究者

(5) 研究費配分上の工夫

研究者が研究課題の進捗状況等を踏まえ研究費の見直しを行ない、必要に応じて申請された案件を、研究総括として必要性などを考慮した上で承認し、JSTの審査を経て柔軟な予算変更をおこなった。以下には予算の追加支援を行なった研究者とその目的・金額などを一覧にまとめた。

研究計画を加速または拡大することによって、当初計画を超えた更なる研究成果が期待できる研究課題について、研究加速・発展のための追加支援を行った。特に、研究成果の国際的進展を図るために、積極的な海外との共同研究や国際会議開催、長短期の海外研究滞在を推奨し、必要に応じてそのための費用を追加支援した(齊木、千葉、野津、早水)。

異動により新たに研究室の立ち上げを行う研究者については、機器類や消耗品類の購入のための追加支援も考慮した。

研究者	目的	年度	金額(千円)
中野直人	数学キャラバンなどのアウトリーチ活動の旅費	2016	208
富安亮子	研究進捗により必要となったソフトウェア外注費	2016	307
杉山由恵	研究加速・発展のため、血流圧力に注目した瘤発生、増大、破裂のメカニズム解明の為に数値流体解析用の流体構造連成型解析ソフトウェアの外注費	2018	2420
奈良高明	研究加速・発展による音響インピーダンス計測ため、レーザードップラー振動計、XYZ ステージ、標準マイクロフォン・アンプシステム購入費	2017 2018	6666
伊師英之	異動に伴う研究加速支援	2019	500
鍛冶静雄	さきがけ研究成果のアウトリーチ活動のため法律専門家の相談費用	2019	1300
齊木吉隆	高速計算機(GPGPU)購入と、研究成果の国際的進展のための連携用旅費	2018 2019	3130
千葉逸人	研究成果の国際的進展のための連携用旅費	2019	100
野津裕史	本研究課題成果の国際的展開のための MAFELAP2019 Mini-Symposium 開催費用	2019	1600
早水桃子	本研究課題成果のアルゴリズム実装費用と国際連携旅費	2019	4250

この他、小林徹也、李聖林、齊木吉隆の3名の研究者が、各所属機関の制度などを利用して海外大学に1年程度の長期滞在研究を希望したのでこれを承認し、さきがけ研究においても良い成果があがった。その際の研究領域活動への参加旅費などはさきがけ研究費からの支援を行った。

(6) 研究者の成長の状況

本研究領域のさきがけ研究者の成長ぶりには目を瞠るものがある。それは数々の受賞や昇任を伴う異動によく現れている。今後もますます研究成果があがり、近い将来に世界をリードするトップレベルの研究者に成長することが大いに期待される。

① さきがけ研究者の受賞

本研究領域のさきがけ研究者の研究期間から 2019 年 12 月末現在までの受賞は、総数 25 件となった。中でも以下の受賞は、本研究領域の研究成果に対する顕著な評価として注目に値するものである。

神山直之：2019 年度文部科学大臣表彰若手科学者賞

藤原洋数理科学賞奨励賞 (2019)

鈴木大慈：第 11 回日本統計学会研究業績賞 (2017)

富安亮子：藤原洋数理科学賞奨励賞 (2017)

縫田光司：2018 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰(科学技術賞研究部門)

* 共同受賞だが本研究領域研究成果も主要な業績に含む

Daniel Packwood：藤原洋数理科学賞奨励賞 (2016)

奈良高明：計測自動制御学会計測部門論文賞 (2017)

2019 年度計測自動制御学会論文・蓮沼賞

谷口隆晴：日本応用数理学会論文賞 (2017)

② キャリアアップ(研究者の異動・昇任情報)

1～3 期生合計 30 名のうち、さきがけ研究期間内に 13 名が昇任した(同一機関内及び転任を含む)。准教授から教授に昇任したのは、奈良高明(東京大学)、伊師英之(名古屋大学→大阪市立大学)、千葉逸人(九州大学→東北大学)、野津裕史(金沢大学)の 4 名である。助教から准教授に昇任したのは、小林景(統計数理研究所→慶應義塾大学)、大森亮介(北海道大学)、Elliott Ginder(北海道大学→明治大学)、中嶋浩平(京都大学→東京大学)、李聖林(広島大学)の 5 名、助教からさきがけ専任研究者を経て准教授や講師に昇任したのは、富安亮子(山形大学)、中野直人(京都大学)、中岡慎治(北海道大学)の 3 名、助教から講師に昇任したのは Daniel Packwood(東北大学→京都大学)の 1 名である。

また、さきがけ研究終了直後(1 年以内)に以下の昇任や異動(予定含む)があった。

神山直之(九州大学准教授→九州大学教授)

富安亮子(山形大学准教授→九州大学准教授)

縫田光司(産業技術総合研究所主任研究員→東京大学准教授)

荻原哲平(統計数理研究所助教→東京大学准教授)

李聖林(広島大学准教授→広島大学教授)

早水桃子(統計数理研究所助教→早稲田大学講師)

7. 研究領域としての戦略目標の達成状況について

(1) 研究総括のねらいに対する研究成果の達成状況

研究総括のねらいに対する研究成果の達成状況を見る上で、以下の表にまとめたように、本研究領域の 2 つの戦略目標のそれぞれに対して十分な研究課題と研究者を集めることができたこと、および、領域設計と研究成果についての研究総括としてのねらいである

「2つの戦略目標に沿って、社会的／人類的課題の解決へ数学・数理科学を用いて挑戦する研究と、ビッグデータの利活用に関わる新たな数理的手法の開拓や高度化をねらう研究で成果が挙がることを目指した。また、研究領域の位置づけとねらいを反映して、研究課題の現場との緊密な連携により数学・数理科学と諸分野との協働を推進する研究、および研究課題の解決に向けて数学的アイデアや方法を活用することで新たな展開を生み出す研究についても良い成果が得られることを目指した。」

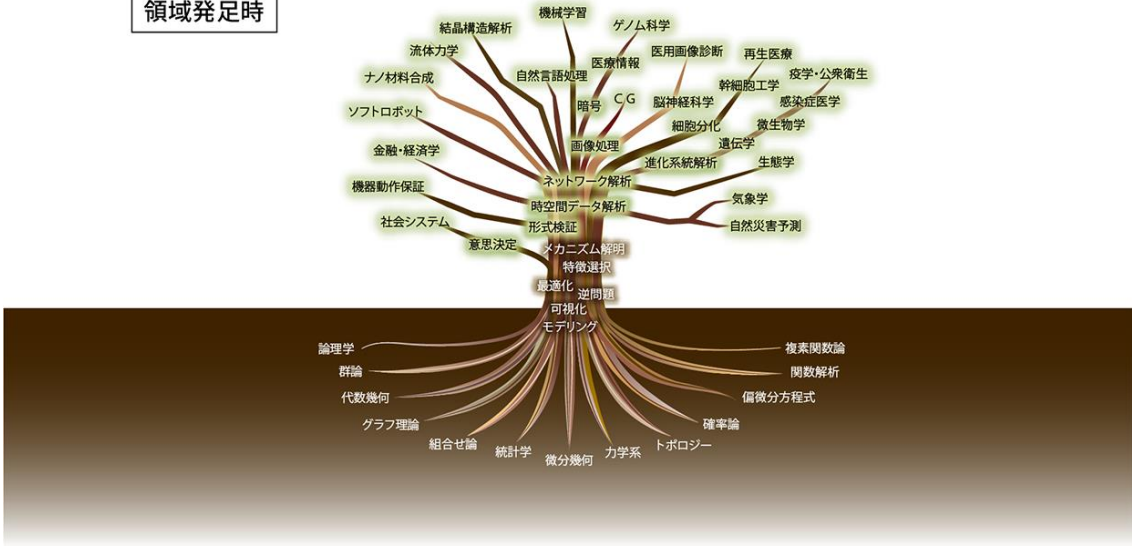
によく合致した研究者とその研究課題が集まったことをまず確認しておきたい。

	戦略目標 1: 社会的課題の解決	戦略目標 2: ビッグデータの利活用
緊密な連携	神山直之 小谷潔 Elliott Ginder 杉山由恵 李聖林 鍛冶静雄 中岡慎治 谷口隆晴	田中久美子 大森亮介 小林徹也 中嶋浩平 永田賢二 齊木吉隆
新たな活用	Daniel Packwood 末永幸平 奈良高明 来嶋秀治 千葉逸人 寺本央 野津裕史 横山知郎	小林景 鈴木大慈 富安亮子 中野直人 縫田光司 萩原哲平 伊師英之 早水桃子

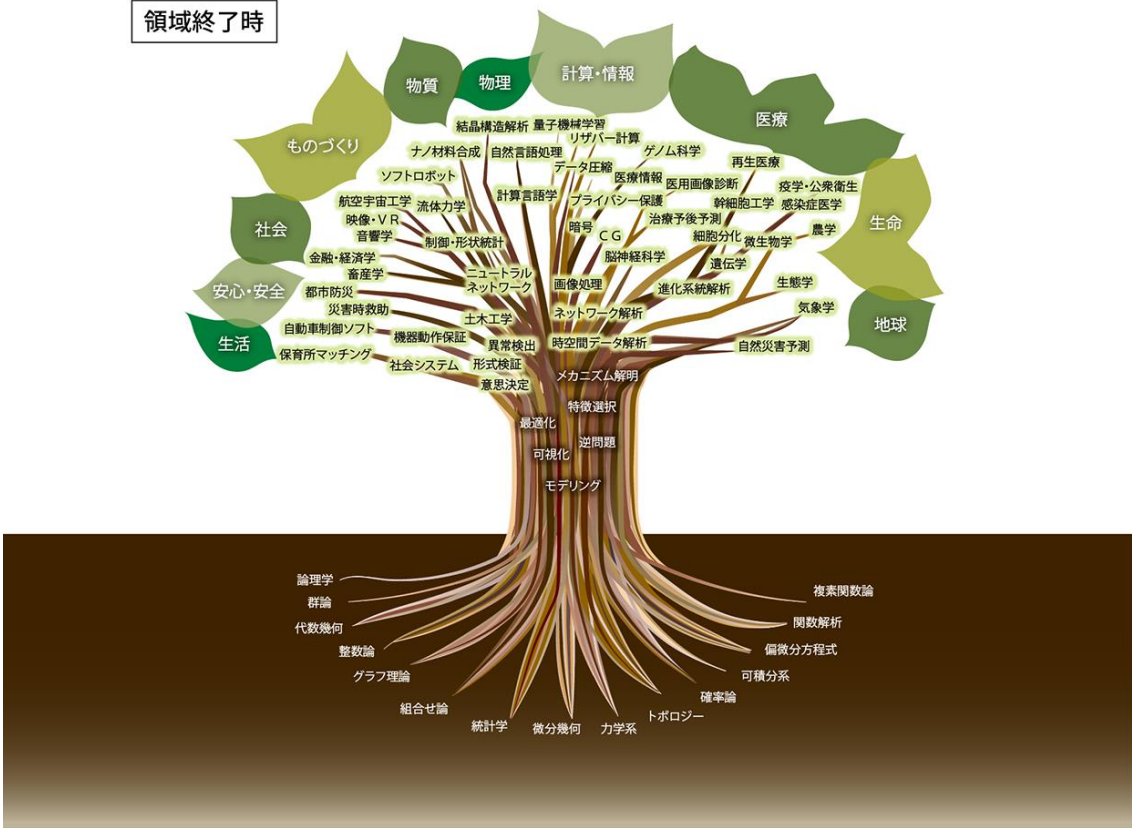
それぞれの研究者は、斬新な発想と旺盛な意欲で研究課題に挑戦し、また研究者自らが現場に入り込んで課題に取り組み、数学・数理科学の特質を十分に活かした研究を行って成果をあげたことは、本報告書の各所に記載した実績などから読み取っていただけたと思う。

以下の図は、3期生がその成果報告会のために準備した、本研究領域の研究者が研究期間中にどれだけ協働する諸科学・諸分野が広がったかを示したものである。それぞれの研究者の研究課題の深化・発展のみならず、流体数値計算による渦の情報処理能力の評価、蕁麻疹の数理モデル構築、道路下の陥没穴探索、造船における CAD 技術、低被曝 CT 画質改善、為替時系列に見られる同期、デンドログラムを用いた英語学習者の心内辞書構造の解析と学習支援ソフトウェア開発、ピアノの物理シミュレーションなど、領域内外との連携により、研究開始当初には想定になかった研究成果も数多く得られた。

領域発足時



領域終了時



本研究領域では、領域内外のさまざまな研究者との交流や連携のなかで、数学と諸分野との多様な協働を推奨した。さきがけ研究者は、領域内外での研究連携も活発に行い、新たな

共同研究が数多く始まるなど、数学の抽象性と普遍性を活かした研究展開を目指すというこのねらいもよく達成されたと考える。以下では、本研究領域でのさまざまな研究成果と共に、これらの連携活動の成果についても述べる。

(2) 研究領域全体の特筆すべき研究成果

本研究領域では多くの優れた研究成果が得られたが、本研究領域の 2 つの戦略目標や研究領域のねらいに照らして、特に以下の研究成果は特筆すべきといえる。

戦略目標 1「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」に関しては、神山直之の大規模保育所入所割り当て問題に対する実用的技術の開発、奈良高明の函数論を用いた新しい間接・非侵襲計測技術、鍛冶静雄のかたちと動きに関わるさまざまな数理的情報化技術の開拓、野津裕史のポリマー流体の 3 次元数値シミュレーション手法の構築などが特筆すべき研究成果として挙げられる。特に、神山直之は、親の希望を反映させた保育所の入園者配分(マッチング)のための、実用上ほぼ最適でしかも高速に行えるアルゴリズムを与え、それを富士通研究所・さいたま市の協力を得て実現して、その優れた効果を証明して見せたことは高く評価され、特筆に値する成果である。

戦略目標 2「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」に関しては、鈴木大慈の機械学習に関する数学理論の展開、中嶋浩平のソフトマテリアルの持つ情報処理能力についての数理的研究、早水桃子の複雑データに潜む系統樹の数え上げ・列挙・最適化技術の開発などが特筆すべき研究成果として挙げられる。特に、鈴木大慈は、低ランクテンソルモデルと深層学習に関する統計的学習理論の研究と、統計的学習を効率的に実行するための確率的最適化に基づくさまざまな技法の開発などの優れた成果をあげ、国際シンポジウムでの招待講演やトップレベル国際会議での論文採択などで学会においても高く評価された。これらに加えて、著書や数多くのチュートリアル講義など研究の普及やアウトリーチ活動においてもめざましい貢献をしたことは特筆に値する。

研究領域全体として 206 報以上の論文が発表され、その多くが国際的な学術誌や国際会議に採録された。特に Packwood Daniel の論文が *Nature Communication* に、田中久美子と大森亮介の論文が *PLOS One* に、富安亮子の論文が(さきがけ研究終了後に) *Scientific Reports* に、小林徹也の論文が *Physical Review Letters* に、中嶋浩平の論文が *Soft Robotics* に、李聖林の論文が *PLOS Computational Biology* に掲載されるなど、インパクトファクターの高い学術誌や各分野のトップレベルのジャーナル・国際会議に採録・刊行されたものも多い。

これらの研究成果は国内外の会議・シンポジウムや研究会などでも積極的に発表され、主要な国際会議に招待されるなど反響があった。また研究成果のいくつかは特許やソフトウェアなどの形で実装され、今後の科学技術イノベーションにつながると期待される。

以下では本研究領域としてのねらいや特徴を踏まえたいくつかの観点により整理して、さきがけ研究者の主要な研究成果の概要とその重要性をまとめる。具体的に、次の「(3)研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献」では

- ① 研究の独創性・重要性
- ② 研究の科学技術的インパクト
- ③ 数学の抽象性・普遍性という学問的特質の発揮(研究領域のねらいの1つ)
- ④ 現場との密接な連携による研究推進(研究領域のねらいの1つ)
- ⑤ 領域内外の研究者との密接な研究連携

に分類して研究成果をまとめ、「(4)研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献」では

- ⑥ 社会へのインパクト・波及効果
- ⑦ ソフトウェア・アルゴリズムなどの成果の実装と公開
- ⑧ 企業などの産業界(病院などを含む)との協働

に分類して研究成果をまとめた。

(3) 研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

本研究領域で得られた重要な研究成果について、「3. (2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと」で示した①から⑤の観点に沿って優れた成果を紹介する。

① 研究の独創性・重要性

研究テーマの独創性や重要性という点においては、田中久美子の自然言語の普遍統計法則の研究や、来嶋秀治の脱乱択アルゴリズムの探求が特に興味深い。

田中久美子は、自然言語が持つ複雑さを明らかにするために、データの量や種類に対して普遍的な統計法則に着目し、その統計量の数理的研究とその法則を満たす数理的生成モデルの構築によるその由来の探求という、統計物理学、複雑系科学、認知科学などにまたがる学際的分野における独創的な研究を行った。これにより、従来の定性的な記述ではない、自然言語と計算機プログラムなどの人工的なデータとの統計法則という観点での違いを明らかにするなど、興味深い研究成果が得られた。この研究は、さきがけ研究終了後も JST-RISTEX 研究に引き継がれ、研究成果の社会実装につながる研究に展開している。

来嶋秀治は、様々な場面で用いられる計算的技法におけるランダムネスの必然性について深く考察し、マルコフ連鎖モンテカルロ法などの乱択アルゴリズムによらない高次元多面体の体積の決定性近似可能性の証明や、カオス的決定系であるベータ展開の乱択アルゴリズム化による計算量改善など、乱択アルゴリズムと決定性アルゴリズムの差異をあぶり出すいくつかの興味深い重要な結果やその萌芽となる結果を得た。またそのような計算論的観点から安定マッチング、スケジューリング、分散計算など、現実社会におけるアルゴリ

ズム設計に関する諸問題の解決にも取り組んで成果をあげた。人工知能や機械学習などでランダムネスが計算に使われる機会はますます増えており、そのような情報化社会の基盤を保証するためにも、乱択アルゴリズムの数理を明らかにし、その計算への信頼性を確保する来嶋秀治の研究は極めて重要な意味を持っており、今後のさらなる研究展開が期待される。

②研究の科学技術的インパクト

研究の科学技術的インパクトという点では、機械学習の数学理論の研究、物質構造探索への数理の活用、物質科学への特異点論の新たな応用を目指した研究、ポリマー流体の3次元数値シミュレーション手法の構築、流体现象の位相データ解析などの新規性の高い発想や方法による成果が注目される。

鈴木大慈は、機械学習の数学理論の研究で顕著な成果をあげた。統計的学習理論における低ランクテンソルモデルのミニマックス最適レートの達成や、深層学習における良い汎化誤差を達成するための「自由度」に基づいた新理論など、数学理論を深化させることで機械学習分野での困難を乗り越える優れた成果を挙げ、その理論の有効性をデータによって実証したことは特筆に値する。また「確率最適化」などの著書や数々のチュートリアル講義などで研究成果の発信と普及に努め、この分野の研究の進展に大きな貢献を果たしたことも高く評価される。鈴木大慈はこれらの研究成果や学術への貢献が評価され、2017年度の日本統計学会研究業績賞などを受賞した。

Daniel Packwood は、グラフェンという次世代のナノスケール電気材料合成を目指し、数理工的手法を有効に用いて重要な成果を挙げた。グラフェンナノリボンの合成のためには、分子自己組織化によって形成した島構造と呼ばれる分子集合体の形状制御が重要になるが、その形状制御を記述する GAMMA モデルという数理モデルを開発し、それを用いてプリカーサー分子を予測して実験的検証につなげることに成功した。実際の物質合成にはさらなる実験的研究が必要であるが、独創性の高い数理工的手法を開拓してその端緒となる成果を得たことは、この分野への極めて重要な貢献といえる。Daniel Packwood はこの研究成果を含む「数理学による物質の機能・構造相関の研究」により、2016年度の藤原洋数理学賞奨励賞を受賞した。

寺本央は、理論化学で学位を取得し、さきがけ研究では物質科学への特異点論の新たな応用を目指した研究を行った。結晶内の電子のエネルギー準位がとるバンド構造の変化と物性との関係の理解や制御、量子化学における断熱エネルギー面交差の理解などのために、微分位相幾何学の一分野である特異点論を持ち込んでバンド構造や断熱エネルギー面交差の幾何学的構造を分類する新たな研究手法を開拓した。これは特異点論の単なる応用ではな

く、その数学理論を新たに展開することでもたらされたもので、数学研究の成果としても高く評価される。その数学サイドからの評価の一つの現れとして、トポロジーシンポジウムというトポロジー(位相幾何学)分野の最も重要とされるシンポジウムにおいて招待講演を行なったことは注目に値する。また新たに開拓した特異点の分類アルゴリズムをソフトウェアとして実装したことも、今後の科学技術イノベーションへの貢献につながるものが強く期待される。

野津裕史は、ポリマーなどの粘弾性流体の数値解析的研究で大きな成果をあげた。熱可塑性樹脂による高温ポリマー流体を金型に流し込んで所望の形状を成型する技術はさまざまな工業過程で用いられる極めて需要の高い技術であるが、その形状や物性値の予測が困難な場合も多く、射出過程での界面を高精度で数値シミュレーションすることは重要な課題である。野津裕史はポリマーなどの粘弾性流体の数値モデルに対する精密な数理解析を行い、それに基づいて高品質な3次元数値シミュレーション手法を構築した。特に3次元アダプティブ・メッシュリファインメント手法を独自に実装し、界面付近において動的に空間的なメッシュ解像度を高める技術と最良誤差評価を得る手法の融合に成功し、高精度な数値計算を可能にしたことは、ポリマー成型技術の改良への著しい貢献である。今後は企業との共同研究などにおいて研究成果を実装するなど、技術革新につながることを大いに期待する。

横山知郎はトポロジー(位相幾何学)のアイデアを用いて水や空気の流れのデータを解析する手法の開発で大きな成果をあげた。航空機や自動車などの回りの空気の流れは時にその運行状態に重大な影響を及ぼすことがあるなど、物体の回りの水や空気などの流体の流れを理解し制御することは、さまざまな科学技術における重要な課題である。横山知郎は、そのような流体の流れを流線データとして捉えてトポロジーの観点から分類し、それを文字列によって簡潔に記述する手法を、先行研究の結果を大きく改良する形で一般化することに成功した。これにより流体の流れをデータとして表現してそれを解析する方法が開拓され、それは位相流体データ解析(TFDA)という新しい分野として発展しつつあるが、横山知郎の研究成果はその大きな契機となったものである。この成果を基に、流れの構造がどのように変化するかを記述する遷移グラフや、流線データを比較する「距離」などの概念を定義して理論の整備も進めた。またそれらを自動計算するアルゴリズムの開発や、企業やJAXA, 首都大学東京との共同研究による流体に関わるデザイン設計への応用なども行なっており、今後さらなる研究成果の進展と科学技術イノベーションへの貢献が期待される。

③数学の抽象性・普遍性という学問的特質の発揮(研究領域のねらいの1つ)

これまでに何度も述べたように、本研究領域では、数学の抽象性・普遍性による研究の水平展開ということを重視してきた。さきがけ研究の3年半という短い期間では実際の水平展開を実現するところまで研究を進めることは困難だが、数学の特質を活かした、将来の展開が期待できるような成果は数多く得られている。その中でも今後の水平展開が期待される主なものを以下に挙げる。

中野直人は、天気の子節予報のような時間的に変化する複雑な現象の長時間予測のための数理技術の開拓を目指して研究を行った。気象の長期予測は極めて困難な問題であるが、中野直人はこの問題に果敢に挑み、確率微分方程式や統計的セル・オートマトン構成法などを用いた数理モデリングとその数理解析、遅延座標埋め込みによるデータ駆動型力学系解析手法の構築や、時系列予測手法の構築などで一定の成果をあげたことは高く評価される。特に、統計的セルオートマトンモデリングにより開発されたデータ予測手法は新規性の高いものであり、そのアイデアの抽象性・一般性の故に、気象予測だけでなく様々なデータ予測の問題に適用できる可能性があると考えられる興味深い方法である。この研究成果は国際ワークショップ AFCA' 15において共同研究者と共に Best Paper Award を受賞するなど、学会においても高く評価されており、今後の発展が大いに期待される。

荻原哲平は、高頻度金融データからの株式市場の分析・予測手法の構築で優れた成果をあげた。近年、高頻度金融データの利用が増加し、その膨大な情報量から金融市場の動向を分析する手法のニーズが高まっているが、高頻度データの構造の複雑性のため、そのモデル構築や統計解析は困難を極めていた。荻原哲平は、この問題に関数空間上の機械学習という発想で取り組み、確率微分方程式モデルの係数関数推定のための理論と推定手法を開発して大きな成果をあげた。この研究成果に基づいて、日本株式市場のボラティリティ構造を分析して推定手法の効果を確かめたことは、これらの手法の有効性を良く示すものである。確率微分方程式の係数推定という問題は、金融データだけでなく、より広汎な課題に現れ、さきがけ研究の成果をそれらに応用できる可能性も高いと考えられ、今後、そのような研究展開も期待される。

伊師英之は、ビッグデータや人工知能などに関わって頻繁に現れる巨大サイズの行列計算のアルゴリズムの評価、改良、新規開発を目指して研究を行い、応用展開への可能性を持つ「準コレスキ構造」と呼ぶ美しい数学的機構を発見した。それは従来、表現論や微分幾何学に関係して研究されてきた等質錐の理論と、数理統計学や機械学習などに関係するグラフィカルモデルの凸錐の理論を統合し一般化したものであり、これによりこれまで個々の場合ごとに行われていた計算技法の関係が明確になり、適用対象が広がるなどの大きな進展が得られた。伊師英之のこの研究成果は、数学の抽象性と普遍性という特質を見事に発揮

したものであり、高く評価される。さらにこの研究成果を含む学術的発展を経済学や工学、情報幾何学などの他分野の研究者にも伝え、さらなる交流を図るためのワークショップや国際シンポジウムの開催なども積極的に行ったことは重要な学術的貢献であるといえる。

千葉逸人は、振動する多数の素子が互いに相互作用をすることで集団としてのリズム運動を示す同期現象を取り上げて、その発生機構に関する数学理論を格段に進展させた。このような振動子集団の同期現象については、蔵本モデルと呼ばれる標準モデルがあり、千葉逸人は自身の先行研究で全素子が相互作用する場合の蔵本モデルの同期の発生に関する決定的な数学理論を証明したが、本さきがけ研究課題ではそれを、より一般のネットワーク上の結合振動子系の場合に一般化することに成功した。これは自身の手になる最新の数学理論の応用可能性を格段に広げ、電力ネットワークや脳神経系の数理モデルなどにおける同期やリズム運動の理解と制御に大きく貢献する成果であり、抽象性・普遍性のある数学理論の結果が全く異なる分野に現れるさまざまな社会的課題に展開されるという数学の特質をよく発揮した成功例として高く評価される。

④現場との密接な連携による研究推進(研究領域のねらいの1つ)

本さきがけ研究領域で重視したことの1つは、現場との緊密な連携による研究推進であった。数学が諸分野と連携して、社会的課題や人類的課題の解決を目指すには、さきがけ研究者自らが現場に入り込んで課題を認識して研究に取り組むことが不可欠であり、そのような姿勢をしっかりと保持した研究を行うことは、本研究領域だけでなく、我が国の科学技術イノベーションのための数学・数理科学の貢献のために、今後も様々な形で行われるであろう数学と諸分野の連携研究における基本姿勢として極めて重要であると考えられる。そのような現場との緊密な連携についても、本研究領域のすべてのさきがけ研究者はそれをよく認識して研究に取り組んだが、その中でも特に密接な連携による研究推進の研究成果として以下を挙げる。

小谷潔は、脳神経系を念頭において、多数の要素が結合して相互作用するシステムにおける弱いリズムの機能解明を目指した研究を行って良い成果を得た。脳での情報伝達が時間遅れを伴うことに注目し、時間遅れをもつ力学系理論を用いたリズム的同期現象の発生の理論解析や、脳のガンマ波振動の実験データを説明する数理モデリング、さらに脳計測装置の開発と実測まで、理論から実験までの幅広い研究を一人で行ったことは、現場との連携の1つの形として注目に値するユニークで挑戦的なものであり、そこで良い成果をあげたことは、本研究領域の目指す現場に密着した研究を行う姿勢の体現として高く評価される。

Elliott Ginder はフォノンニック結晶の表面弾性波の実験データからその内部構造を推定する逆問題の数理的研究で良い研究成果をあげた。これは、医療イメージングや材料科学な

どと密接に関係する重要で興味深い問題であるが、Elliott Ginderはこの問題を形状最適化問題として定式化し、2次元の場合について、複合弾性体波動方程式に基づいた評価汎関数の定式化やその勾配流の近似解法などの独自の発想による新しい結果を得た。この過程で、実験家と緊密に連携し、自らも実験を経験するなどにより問題を深く把握して、実験データから2相の複合弾性体の内部構造の推定に成功するなど、そのモデリングと数理解析や数値計算法の開拓に結びつけた。このような現場との密な連携によって研究成果をあげたことは本研究領域のねらいをよく実現したもので、高く評価される。

小林徹也は、増殖と死滅を繰り返して変化する細胞集団の性質や応答を、細胞系譜データや表現型・遺伝型多様性データなどから解析・推定・予測する数理技術の開拓により優れた成果をあげた。特に増殖系の変分構造に着目した一般理論の構築から、実験的に計測可能な情報に基づく増殖系の予測や制御方法の設計や、実データを用いた理論の概念実証と検証までつなげることで、実験と接続可能な数理技術としての有効性を確認したことは高く評価される。これは実験研究者や企業との緊密な連携が結実したものであり、本研究領域のねらいをよく体現したものであるといえる。研究成果への高い評価は、トップレベルジャーナルへの論文刊行や多くの国際会議での招待講演などにもよく現れており、今後の展開大いに期待される。

杉山由恵は、脳動脈瘤治療に関わる医学的課題に対し、新たな数理モデルの構築、偏微分方程式論と数値シミュレーションを用いて取り組んで良い成果をあげた。特に医学者との密接な連携に基づいて現象に対する理解を深め、血管内の血栓形成の数理モデルとして新たな偏微分方程式モデルを構築し、そのシミュレーションを行って現象を再現できることを確認したことは、今後につながる重要な成果である。それが医学者にも評価されて、特許申請やさらなる共同研究に発展していることは、本研究領域の現場との密接な連携をよく体現した研究として高く評価される。数学的にも新たな自由境界値問題としての研究展開も期待される。

李聖林は、細胞の機能決定や分化の機構を、遺伝子だけではなく細胞内分子や細胞内のタンパク質などの空間構造から明らかにするというユニークな発想で研究に取り組んだ。特に細胞核内のクロマチンの空間構造形成に果たす細胞核の動的変形の役割や、非対称細胞分裂におけるパターン形成や細胞の形が極性形成に与える影響を解明するなど、興味深い研究成果をあげた。クロマチンの空間構造形成に関する結果は実験でも検証され、PLOS Computational Biologyに掲載されるなど学会からの評価も高い。李聖林はさらにさきがけ研究の中で出会った蕁麻疹を研究する医学者との共同研究を開始し、蕁麻疹の病理的特徴である膨疹の形状を記述する数理モデルを構築して、これまで謎とされていた蕁麻疹の分子的仕組みを数学の視点から説明することに成功した。これらの結果は実験研究者や医学

者の知見や課題に数理的視点を入れることで達成されたものであり、現場研究者との密接な対話と連携なくしては得られない優れた研究成果として高く評価される。

齊木吉隆は、流体乱流や気象、金融などの予測や制御が困難な複雑現象に対し、それらに共通して見られる、平穏な状態(ラミナー)と急激な変動状態(バースト)を繰り返す間欠的振る舞いの発生メカニズムをヘテロカオス性という視点で数学解析と数値シミュレーションにより研究して、間欠性の発生機構についての興味深い結果を得た。また、流体乱流や複数为替時系列や鉱工業生産指数の同期現象の解析など、間欠性と同期という観点からの新しい数理的解析方法を開発し、流体乱流や経済データなどに見られる複雑現象の理解のためのアプローチとして整備することができた。特に経済データの同期の研究では、開発された数理的手法を実際のデータに適用して同期レベルと景気動向の関連などの興味深い結果を得ており、現場との密接な連携により得られた成果として評価される。

中岡慎治は、腸内細菌などの細菌群集(細菌叢)の多様性の減少に伴う疾患の制御のために、構成要素の多様性が変化するシステムの数学理論構築を目指して研究を行い、興味深い研究成果をあげた。特に細菌叢の膨大な塩基配列データから細菌種の構成や存在量を抽出するシステムを開発し、それを用いて細菌叢の個体群ダイナミクスを記述する数理モデルの構築とそのシミュレーションを行って、多様性変化のメカニズムを解析し、生物種の存続条件に関する数学的条件の検討を行った。ここでは特に細菌叢の非時系列データから時間変化を推定する擬似時間再構成法と呼ぶ独自の方法が有効であり、今後の同様の研究課題への応用が大いに期待される。これらの研究成果は数理生物学の学識や研究実績に加えて、実験データに密着して課題を認識して解決するという本研究領域がねらいとする現場との密接な連携を実現して成果をあげたものであり、高く評価される。

⑤領域内外の研究者との密接な研究連携

本研究領域では、領域内外のさまざまな研究者との交流や連携を推奨し、実際に多くの連携や共同研究が行われた。領域外の研究者との共同研究の事例については、「6. (3) 領域内外の研究者との交流と連携の推進」の(iv)で述べたさきがけ交流会、SciFos、共同FSを中心に行われたので、その実績と研究成果については、そちらに譲る。ここでは領域内共同研究の成功事例として2つをあげたい。

1つは小谷潔と千葉逸人の共同研究である。小谷潔は脳神経科学の分野で、ミクロな脳神経細胞の集団がマクロな機能、特に弱いリズムの生成機構について、理論と実験を併用して研究を行い、特にガンマ振動の集団リズムについての数理モデルの構築や解析、その実験的検証などで研究成果をあげた。千葉逸人は弱い相互作用を持つ振動子集団の同期現象に関する蔵本予想の数学的研究で優れた研究成果をあげており、さきがけ研究では独自の一般化スペクトル理論を用いてさらに広汎な同期現象への数学的貢献を目指していたが、小谷

潔が実験研究や Ott Antonsen Ansatz による次元低減などの理論解析を行っていた数理モデルに、千葉逸人の一般化スペクトル理論が適用できることがわかり、共同研究につながって良い研究成果が得られると共に、一方では新たな数学的課題も明確になっており、さらなる研究の必要性も明確になってきた。この共同研究は、脳神経科学の分野での数学・数理科学的研究の貢献の可能性をさらに広げる良い事例として特筆に値するものである。

もう1つは中嶋浩平と野津裕史の共同研究である。野津裕史はポリマーなどの粘弾性流体の数理モデリングとその数値解析的研究を行い、ポリマー流体の特徴的な現象を見事に再現する3次元数値シミュレーション手法の構築に成功した。中嶋浩平は物理リザバー計算というソフトマテリアルなどの物理系を用いた人工知能の研究を行っているが、さきかけ研究の中で流体を用いた物理リザバー計算の可能性を明らかにして、その計算能力などを評価するなどの成果をあげたが、その過程で野津裕史の研究に触発されて、流体のリザバー計算能力を数値計算によって評価するという発想を得て、共同研究に結びついた。これはリザバー計算への数値解析手法の貢献だけでなく、流体力学の数学的研究の観点でも、渦の情報処理能力という新たな概念を得て研究の新展開に繋がった。これが契機となって、両研究者が中心となったデータサイエンスと微分方程式の融合という新たな研究グループができて国際会議の企画などの研究活動が始まろうとしており、今後の展開が大いに注目される。

(4) 研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

本研究領域で得られた重要な研究成果について、「3. (2) 研究領域で実現をねらったこと、研究成果として目指したこと」で示した⑥から⑧の観点に沿って優れた成果を紹介する。

⑥社会へのインパクト・波及効果

本研究領域では、社会的・人類的課題の解決を目指した高い水準の研究により、社会的なインパクト、波及効果のある研究成果も多く得られた。その観点で優れた成果は以下のようである。

神山直之は、離散最適化理論を用いた現実の都市・社会システムの最適化を目指して、福岡空港の人の流れのシミュレーションや、保育所割り当ての最適化問題に取り組んだ。これらは理論的研究としても新規性の高いものであるが、富士通との共同研究として社会実装にも配慮して、実際の効果の検証も行われた。特に保育所割り当て問題では、保育所の利用調整において申請者の優先順位のみならず、兄弟の同一保育所への入所希望などの非常に複雑な制約を考える必要があるが、これに対して実用上ほぼ最適となる優れた解を高速に見つけられる技術を開発した。しかも、富士通研究所と協力して、さいたま市においてこの技術を実際に運用して、大きな効率化が認められたことは、数学・数理科学を活用して社会的課題を解決するという本研究領域の戦略目標を実現する成果として、特筆に値するもの

である。この研究成果は関連する論文発表や講演、特許申請に加えてプレス発表も行われた。神山直之はこれらの研究成果により、さきがけ研究期間終了後ではあるが、2018 年度人工知能学会現場イノベーション賞(金賞、共同受賞)、2019 年度に文部科学大臣表彰若手科学者賞と藤原数理科学賞奨励賞を受賞した。

縫田光司は、従来の暗号技術を格段に高機能化する数理的手法の開拓で優れた研究成果をあげた。暗号技術は現代の情報化社会にあって、プライバシーや機密情報を保護しながら高速で円滑なコミュニケーションや情報伝達を保証するために不可欠であるが、特に医療などで遺伝子情報のような個人特定能力が極めて高い情報のやり取りを安全に行う必要性など、科学技術の発展とインフラの整備により、ますます高機能な暗号技術が求められている。縫田光司は、完全準同型暗号と呼ばれる秘密計算技術の実現に向けて、組合せ群論という数学理論に基づく新たな構成原理の提案や、効率低下要因の解消などの優れた成果を得た。また、生命情報学分野の研究者と連携して、遺伝子配列の検索アルゴリズムの効率的な秘密計算化に初めて成功するなど、より高い安全性を持つ秘密計算技術の実現への端緒を開いた。これらの研究成果は、縫田光司を含む研究グループの平成 30 年度文部科学大臣表彰(科学技術賞研究部門)の共同受賞の対象となった研究の重要な部分であり、縫田光司の研究成果への高い評価の 1 つの表れといえる。

大森亮介は、HIV などの性感染症やインフルエンザなどのように、感染者数データのような疫学データを利用できない感染症についての流行ダイナミクスを、遺伝子配列情報などの非疫学的データに基づいて推定し制御する研究を行った。感染症は重大な社会問題を引き起こす可能性があり、その制御や制圧は最も重要な人類的課題の一つである。大森亮介は、感染症の複雑な流行ダイナミクスの理解と制御のために、遺伝子配列情報などの非疫学データから感染個体数などの疫学データを推定する手法や、性行動データなどから性感染症流行動態の推定を行う数理的手法を開発した。またそれを地方衛生研究所や海外大学研究者とも協働して、実際の疫学解析で生じている課題に取り組んで研究成果をあげたことは、数理的手法がこのような社会的に極めて重大な課題に有効であることを明確に示したものとして特筆に値するものである。大森亮介はその研究成果の一部をプレス発表し、日本経済新聞にも掲載され、また SIAM(米国応用数理学会)の News にも取り上げられるなど注目を集めた。

末永幸平は、現代社会でさまざまな機械やシステムに組み込まれているソフトウェア(人工システム)の動作の検証と安全性の保証という問題に理論計算機科学の観点から取り組んで良い研究成果をあげた。科学技術の発展に伴い急速に大規模・複雑化する人工システムの動作と安全性を保証することは極めて重要な社会的課題である。末永幸平はそのような人工システムをプログラムと捉え、それが設計どおりの動作をすることをソフトウェア科

学における形式検証するという発想でこの問題に取り組み、従来の手法を改良・発展させた。特にハイブリッドシステムという連続量と離散量を含むシステムに適用できる形式検証手法や、代数的不変条件に着目して計算機代数などを援用した新しい形式検証手法の開発などに成功し、トップレベル国際会議での発表や合計6件の国内・国際特許出願を行うなどの優れた研究成果をあげた。また自動車メーカーやソフトウェア関連企業などと協力して研究成果の実装も目指しており、今後の展開が大いに期待される。

中嶋浩平は、物理リザバー計算という独創的な研究を行って興味深い研究成果をあげた。リザバー計算は回帰的ニューラルネットワークを用いた機械学習の1つであるが、物理リザバー計算は、ソフトマテリアルや流体などの現実の物理系を用いてリザバー計算を行うというユニークな発想に基づくものである。中嶋浩平は実際にタコの足のようなソフトマテリアルによりリザバー計算が可能であることを実証し、そこから進んで流体を用いたリザバー計算の実機も作成し、それらの計算や情報処理能力の評価や、リザバー計算の理論解析などを行い、重要な研究成果をあげた。さらに量子多体系やスピントロニクスなどの新たな物理系を用いたリザバー計算の可能性も見出し、今後の科学技術イノベーションの重要な貢献を果たしたといえる。中嶋浩平の研究成果は日経サイエンス2018年9月号で「特集：AIする身体」として取り上げられ注目を集めた。

永田賢二は、代数幾何学からのアイデアをデータ科学に活用し、新しいデータ駆動的アプローチの推進を目指した研究を行って良い成果をあげた。特にデータから得られた統計モデルが特異な代数多様体構造をもつ場合に有用な推定アルゴリズムの開発や高精度化を行い、それを地震動イメージングからの地盤構造推定の問題や、データ科学との融合が未開拓であった物性科学・化学分野での触媒予測の問題などに適用して有効性を検証できたことは高く評価される。このような永田賢二の提唱する計算論的代数幾何学に裏付けられたデータ駆動科学は、今後、社会や工業技術のさまざまな課題に適用できると考えられ、その社会的インパクトや波及効果は大変大きいものがあると期待される。また、未公開の研究成果であるが、本研究から逆に代数幾何学そのものにフィードバックする貢献も期待され、数学とデータ駆動科学の双方向の研究の成果として注目される。

奈良高明は、函数論という古典的で数学の特質をよく表す精緻な理論が、脳磁場の非侵襲計測や瓦礫(雪崩)埋没者探索などの社会的課題の解決に有効であることを明確に示す優れた研究成果を得た。函数論は複素変数の関数の微積分学であるが、電磁気学や流体力学とも密接に関係しており、数理物理学の基礎となる重要な数学理論である。奈良高明の研究成果は間接／非侵襲計測という観点から、函数論の新たな応用を見出したものと言える。てんかんの部位の位置や形状を脳磁場計測で正確に推定して治療に役立てる技術や、雪崩・瓦礫に埋没した遭難者の救助のためのセンサーの性能を従来のビーコンより格段に

向上させる技術などを、関数論やそれに関連するポテンシャル論という数学理論を有効に活用して開発した成果は、社会的課題の解決への数理的発想や方法の活用という本研究領域のねらいに照らして、特筆に値するものといえる。このうちてんかんの形状推定では、広島大学病院との共同研究により、臨床データを用いた検証も行って、その技術の有効性を確認した。奈良高明は間接／非侵襲計測に関する一連の業績が評価され、2017年度計測自動制御学会計測部門論文賞や2019年度計測自動制御学会論文・蓮沼賞を受賞した。

⑦ソフトウェア・アルゴリズムなどの成果の実装と公開

数学の研究成果を社会的課題の解決に用いるための最も有効な方法の1つは、数学・数理学の方法に基づく研究成果を、アルゴリズムやソフトウェアとして実装して公開することであると思われる。本研究領域でも、多くの研究者がそのような形での社会への貢献を目指して成果の実装に取り組んだ。以下は其中で既に公開された、あるいは公開間近のソフトウェアやアルゴリズムについて、それを開発された研究成果と共に紹介する。

小林景は、データの「形」に着目することで統計解析を格段に高度化する研究に取り組んで良い研究成果をあげた。特にデータの曲がり具合を表す曲率を取り上げ、従来にはない新しい観点や手法でデータ空間の幾何学的情報を有効に利用する統計的解析の新手法を開発した。特に曲率を積極的にコントロールすることで統計解析の精度を向上させる手法、未知のデータ空間の幾何学的形状を推定する方法、データ空間の変化を効果的に視覚化する方法などの優れた成果を得た。これらのデータ空間の幾何学による解析手法と統計理論は、それを実装したソフトウェアを含めてホームページで公開され、その研究成果が自由に使える形で提供されていることは、研究成果の社会へのインパクト・波及効果という点で高く評価される。小林景の開発したソフトウェアなどは以下のとおりである：

- ・ データ空間の曲率をコントロールすることにより統計解析精度を向上させるソフトウェア
- ・ 空間データの地点間の相関関係を地図を変形することで視覚化するソフトウェア
(いずれも GitHub で公開) : <http://www.math.keio.ac.jp/~kei/GDS/>

富安亮子は、結晶の X 線回折データから結晶構造を復元する位相回復問題に取り組み、数学理論とソフトウェアの実装の両面で優れた研究成果をあげた。特にどのような場合に回折データから結晶構造が一意的に決まるかという一意性決定の良い判定法を与え、それをソフトウェアとして実装して公開するなど多くの優れた研究成果を得た。この解決には整数論的な研究が密接に関わるが、富安亮子はその過程で、Kaplansky 予想と呼ばれる整数論の未解決問題にも重要な貢献を果たした。これらの成果は2017年度藤原洋数理学賞奨励賞を受賞やさまざまな招待講演などで高く評価されている。富安亮子が開発したソフトウェアなどは以下のとおりである。

- EBSD ab-initio indexing : いくつかの新しい手法を導入(公開準備中)
<https://ja.osdn.net/projects/ebsd-conograph/>よりダウンロード可能
- Z-Rietveld (高エネルギー加速器研究機構, J-PARC から配布しているソフトウェア) : 新しい磁気構造解析手法 : <https://z-code.kek.jp/zrg/>
- 粉末回折用 ab-initio indexing ソフトウェア (高エネルギー加速器研究機構ホームページから配布中)
 : <https://z-code.kek.jp/zrg/> (Z-Rietveld と同じページで別ソフト)
- 粉末回折用 ab-initio indexing : 第 6 回藤原洋数理学奨励賞受賞の対象となった。

鍛冶静雄は、かたちや動きのような記述が容易でない対象に対して、トポロジー(位相幾何学)という数学のアイデアや理論を用いて迫り、それらをデータとして捉えるための数理的手法を開拓してさまざまな良い成果をあげた。かたちや動きは映像やCG、3D印刷などの技術の発達により、視覚情報としてますますその重要性が高まっているが、文字や音声に比べて定量化が困難なために、それを情報としてコンピュータなどで処理することには多くの課題が残されている。鍛冶静雄は、トポロジー、離散微分幾何、離散可積分系などの最新の数学理論を用いてこの課題に挑戦し、コンピュータ画面上での操作性に優れた画像や形状変形アルゴリズムの開発、深層学習とトポロジーの融合によるハイブリッド画像・ボリュームデータ解析手法の開発などで研究成果をあげた。後者では大学病院と共同で低品質 CT 画像の画質改善による医療応用の貢献につながった。さらに 1 自由度リンク機構の数理的構造についての興味深い結果を得て、形状デザインとしての研究成果のみならず、数学理論としても新たな研究対象の発見につながる注目すべき研究成果をあげた。鍛冶静雄の開発したソフトウェアなどは以下のとおりである。

- 画像・形状・トポロジーの処理・解析ソフトウェア (GitHub で公開)
 “かたち”にまつわる様々なアルゴリズム(20以上)を実装し、業界標準のソフトウェアやタブレットに対応させて実用可能なレベルにした。 :
<https://github.com/shizuo-kaji/>

早水桃子は、多様な生物学的現象やデータの扱いに離散幾何的な視点を導入し、細胞の分化や細菌・ウィルスの進化を記述するモデル構築のための新たな方法論を開拓して優れた研究成果をあげた。特に生物進化の系統樹のような木モデルを拡張した tree-based network に関する構造定理を証明し、それに基づいて全域系統樹の列挙、数え上げ、最適化などの問題を解く線形時間アルゴリズム(列挙については線形時間遅延アルゴリズム)を与え、tree-based network に関する問題の計算量についての未解決問題を解決したことは特筆に値する成果といえる。早水桃子はこの他にも離散数学と統計科学を駆使して幹細胞生物学を含む生命科学・医学分野に貢献する重要な研究成果をあげ、またその成果をアルゴリズムやソフトウェアとして実装もしており、その研究成果が科学技術イノベーションに貢

献することが期待される。早水桃子の研究成果は、国内外でのさまざまな会議の招待講演や優秀講演賞などとして、学会でも高く評価されている。早水桃子の開発したソフトウェアなどは以下のとおりである：

- tree-fit (仮称 ; GitHub で 2020 年 2 月中に公開予定)

シングルセルの遺伝子発現データを活用した細胞分化の軌跡推定 (trajectory inference) を定量的に行うためのソフトウェア (R 版+Python 版)。摂動に対する木構造の安定性を定量化してデータと木モデルのフィッティングの良さを評価し、さらに主成分パスの本数を予測する。

谷口隆晴は、時間変化するネットワークの数理モデル構築とその応用において興味深い研究成果をあげた。心理学や経済学、農学などで、人や金融機関、動物などのつながりがネットワークとして表現され、それが時間と共に変化する様子を理解することが重要になる。谷口隆晴は、情報幾何学や離散力学、統計科学を活用して、そのような時間変化するネットワークの数理モデルの構築や実データへの適用の際の解析手法の開発を行い、それを放牧牛の関係を GPS データから推定する農学の問題、高齢化地区の人々の交流をアンケートデータから解析する心理学の問題など、これまで解析手法が乏しかった分野の問題に応用して良い研究成果を得た。特にこれらの問題に取り組む中でさまざまな解析手法やアルゴリズムが開発され、実装されたことは、今後のこのような分野への重要な貢献につながるものと期待される。谷口隆晴の開発したソフトウェアなどは以下のとおりである。

- 交流アンケートデータからのネットワーク推定アルゴリズム (公開準備中)

高齢化の進んだ地域における助け合いの推進のために、個々の住人の交流人数のデータのみから地域内の交流の様子を推定し可視化するアルゴリズム。

共同研究者が企業向けの講演などで紹介。

- アンケートデータのヒーピング修正アルゴリズム (公開準備中)

人数など、数を回答するアンケートデータで、5 の倍数などの切りのいい数字に回答が偏るヒーピングの影響を修正する、統計的な手法に基づくアルゴリズム。

共同研究者が企業向けの講演などで紹介。

- 離散自動微分 (公開準備中)

力学の運動方程式に対し、エネルギーを厳密に保存する数値計算法の導出に必要な離散勾配を自動的に導出するアルゴリズム

日本応用数学会研究部会連合発表会優秀講演賞受賞

論文は A. Ishikawa, T. Yaguchi, Automatic discrete differentiation and its applications, arXiv:1905.08604 にまとめた。

- 離散力学によるネットワーク異常検知アルゴリズム (公開準備中)

時間発展型ネットワークとして、特に各時刻におけるネットワークが独立に構築されている場合に異常を検知するアルゴリズム

⑧企業などの産業界(病院などを含む)との協働

本研究領域では、企業などの産業界(病院を含む)との共同研究も活発に行われた。現在進行中のものもあるため、その詳細をすべて挙げるのは困難であるが、上に挙げた神山直之と富士通研究所、奈良高明と広島大学病院との共同研究の他にも、例えば以下のような共同研究が行われ、成果があがった。

(i) 鈴木大慈

1. 株式会社イシダ(共同研究契約)

- ・内容：食品工場生産ラインに使用する計量器の機械学習による精度向上および生産ラインの自動化

2. NTT データおよびNTT データ数理システム(共同研究契約)

- ・内容：深層学習理論を応用した深層ニューラルネットワークの小型化および少数データ下のドメイン適合学習の研究
- ・成果：学術論文2編、うち1編は機械学習のトップ会議 ICLR に採録。メディアの取材も受けた。

3. Japan Digital Design(UFJ グループの研究部門、共同研究契約)

- ・内容：機械学習を用いた金融時系列解析の研究、グラフニューラルネットワークを用いた企業間取引予測の研究(現在も継続)

4. ヤフー株式会社(共同研究契約)

- ・内容：機械学習の広告推薦システムへの応用、特にテンソル分解法の応用
- ・成果：機械学習のトップ会議 ICML および NIPS に論文が採録。さきがけ研究の主要結果に関係。

5. 株式会社 IHI(共同研究契約)

- ・内容：深層学習の小地域天気予報への応用
- ・成果：データマイニングの国際会議である BigData に論文が採録。

(ii) 鍛冶静雄

1. 東京大学病院

- ・内容：画像処理による低被曝 CT の画質改善
- ・アピール：SciFos がきっかけとなって始まった共同研究

2. 株式会社 ZOZO テクノロジーズ

- ・内容：選好データの超平面配置を用いたベクトル化
- ・アピール：機械学習に載せる前段階としてデータを定量化するところに数学を活用した。データドリブン全盛とはいえ、そもそも対象に構造を入れて計算に載る記述を与えるには数学的発想が必要。

(iii) 寺本央

1. 富士通研究所

- ・内容：多目的最適化のパレート集合とパレートフロントの微分位相幾何学的な構造の研究
- ・成果：論文1報を投稿中
- ・アピール：応用の派手さはないが、パレート集合とパレートフロントの効率的探索法等に活かせる、特異点論も役立つことが示された。

(iv) 谷口隆晴

1. 楽器メーカー(機密保持契約のため企業名を省略)

- ・内容：ピアノの数値シミュレーション、モデリング

(v) 横山知郎

1. JAXA(共同研究契約)

- ・内容：翼周りの位相的流体データ解析
- 2. 自動車メーカー(機密保持契約のため企業名を省略)
- 3. タイヤメーカー(機密保持契約のため企業名を省略)

(5) 本研究領域に続く研究資金の獲得状況

本研究領域での研究が評価され、さきがけ研究をさらに継続発展させる研究資金を獲得している研究者は多い。以下にはその中でも特に規模の大きい研究資金を獲得している研究者の状況を挙げる。

さきがけ研究終了後の JST の競争的資金には以下の 5 名の研究者が採択された。

- ・ 神山直之：2017 年 10 月 科学技術振興機構さきがけ「新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出」研究領域に研究課題「数理的システムデザインに潜む離散構造の研究とその応用」で採択された。
- ・ 田中久美子：2018 年 10 月 科学技術振興機構社会技術研究開発センター(RISTEX)に「霧則(べきそく)からみる実社会の共進化研究 -AI は非平衡な複雑系を擬態しうるか-」で採択された。
- ・ 富安亮子：2018 年 11 月 科学技術振興機構 未来社会創造事業 探索加速型「共通基盤」領域に「物質の構造解析に用いるフーリエ解析・大域的最適化の高度化」で採択された。

- ・早水桃子：2019年10月 科学技術振興機構さきがけ「数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用」研究領域に研究課題「離散幾何学が拓く計算系統学の新展開」で採択された。
- ・谷口隆晴：2019年10月 科学技術振興機構 CREST「数学・数理科学と情報科学の連携・融合による情報活用基盤の創出と社会課題解決に向けた展開」研究領域に研究課題「幾何学的離散力学を核とする構造保存的システムモデリング・シミュレーション基盤」で採択された。

大型の科学研究費助成事業を獲得した11名の研究者は以下の表に纏めた。

研究者	課題名	交付金	通期金額（千円）
小谷潔	データ駆動型医療用超音波診断システムによる心機能の自動評価	基盤研究(A) 2018- 2021	34,500
鈴木大慈	深層機械学習理論の深化とその構造解析への応用	基盤研究(B) 2018- 2021	13,200
縫田光司	高機能な秘密計算暗号に向けた「弱い代数系」の組合せ論的群論に基づく研究	基盤研究(B) 2019-2021	13,300
小林徹也	適応過程の情報物理学的理解	新学術領域研究 2019-2023	49,700
	細胞複製能の階層横断的理解	基盤研究(B) 2019-2021	13,300
	低次元化に基づく免疫受容体配列ダイバーシティ解析手法の改良と応用展開	新学術領域研究 2018-2019	6,000
	深層ネットワークを援用した表現型制約と表現型進化原理の探索と普遍構造の探求	新学術領域研究 2018-2019	7,400
末永幸平	IoT システムのための形式検証手法の深化	基盤研究(B) 2019-2023	13,100
杉山由恵	脳動脈瘤治癒過程における血栓化ダイナミクスを説明する数理モデルの構築と臨床応用	基盤研究(B) 2018-2020	14,200
中嶋浩平	ソフトロボット学の創成：機電・物質・生体情報の有機的融合	新学術領域研究 2018-2022	74,300
奈良高明	導電率の非侵襲計測と脳磁場逆問題の統合に基づく神経電流源の領域形状推定法	基盤研究(B) 2019-2021	13,700
李聖林	非対称細胞分裂の統合的解明及び大域的数理	基盤研究(B)	12,900

	モデリング手法の開発	2019-2023	
	細胞の空間制御による時間制御の仕組み解明 及びパターン形成の新たな理論創出	国際共同研究加速 基金 2018-220	10, 400
齊木吉隆	ヘテロカオスにおける間欠性と予測	国際共同研究加速 基金 2019-2022	13, 900
野津裕史	粘弾性流体に特有な渦の数理解析	基盤研究(B) 2018-2021	13, 000

8. 総合所見

(1) 研究領域のマネジメント

本研究領域においては、研究総括として、年に2回の領域会議において研究の進捗の確認と評価や指導を行ったことに加えて、担当アドバイザー制という新たな研究者指導と支援の仕組みを他のさきがけ研究領域に先んじて導入して良い効果をあげた。また、大半のさきがけ研究者のサイトビジットを行って、所属機関での理解と支援をお願いし、研究環境の確認により改善すべき点があればできる限りの対応をして研究が円滑に進むように努めた。

さきがけ研究者の研究成果は公開の成果報告会を開催して一般市民に向けて発表する機会を作り、学術論文や講演、特許出願などの研究発表に止まらず、プレスリリースや著作などで広く社会に発信することを奨励した。また CREST「数理モデリング」の坪井研究総括と協力して「数学パワーは世界を変える」という公開シンポジウムも4回(予定も含む)を開催して、本研究領域の活動を広く社会に向けて伝える活動を行った。

本研究領域での研究の進展には、領域内外のさまざまな関連分野の研究者との交流や連携が不可欠であると考え、領域内の共同研究や JST の SciFos、共同 FS、さきがけ交流会の仕組みを活用した他研究領域のさきがけ研究者との交流、企業や産業界との連携や共同研究、さらには数学・数理科学の若手研究者との連携のための領域横断若手合宿や未解決問題ワークショップ、若手数学者交流会などのさまざまな新たな事業を開始し、数学と諸分野の多様な形の連携を強化し、新たな共同研究や交流が数多く実現した。

CREST「数理モデリング」とは、領域アドバイザーの人選、研究総括の領域会議の相互参加、上記の公開シンポジウム開催などの形で数学・数理科学に関わる研究領域として相互に緊密な連携・協力体制を築き、双方の研究領域の研究者の間の交流も活発に行われた。

本研究領域に先行する複合領域「数学」で始まった数学キャラバンという高校生や一般市民向けの講演会活動を、CREST「数理モデリング」の坪井研究総括と共に継承し、さきがけ研究者は企画や講演などで本領域の期間中に10回の数学キャラバンに携わって好評を得た。

この他にも数学セミナー「数理のクロスロード」の連載などの新たな企画も立ち上げ、個々のさきがけ研究者の著作物の刊行なども含めて多彩なアウトリーチ活動が展開できた。

募集・選考においては、2つの戦略目標に沿って、さまざまな学問分野に関わる社会的・人類的課題を取り上げると共に、数学の抽象性・普遍性という学問的特質を発揮するために、数学・数理科学の幅広い分野にわたって優れた研究提案を採択することに意を注いだ。特に第3期の募集では、数学関連研究領域としての特徴をより際立たせることと、数学分野での若手研究者に数学と諸分野の協働という研究の重要性と魅力を伝えるために、純粋数学の若手研究者に向けた説明会などを強化して良い効果があがった。

その後も日本数学会での数学連携ワークショップをCREST「数理モデリング」の坪井研究総括と協力して開催し、数学教育学会での特別講演など、このような方向での活動は積極的に継続して、本研究領域の研究活動や研究成果がさらに継承・発展する基盤の強化に努めた。

以上のように、本研究領域の活動において、研究総括として研究成果を最大化するために十分なマネジメントを行って良い成果があがった。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

本研究領域では、2つの戦略目標に沿った重要で興味深い研究課題を幅広く取り上げて、それぞれの研究者が自らの研究課題にしっかりと取り組んで数多くの良い研究成果があがった。

戦略目標1については、神山直之による都市・社会システムの最適化のための数学理論の開拓の中で得られた保育所マッチングの最適化手法が、実際に自治体で用いられ、保護者の希望が実用的にはほぼ最適といえるレベルまで取り入れられ、しかも職員の労力と時間の大幅な軽減ができたこと、奈良高明による脳磁場計測によるてんかん病巣の形状推定手法や瓦礫・雪崩埋没者の探索手法の改良などの、函数論を応用した新しい間接・非侵襲計測手法が開発されたこと、鍛冶静雄によるトポロジーを用いたかたちや動きのデータ化・情報化により実現されたさまざまな数理的手法が得られ、それらがアルゴリズムやソフトウェアの形で実装されたことなど、社会や生活、ものづくり、生命や医療、環境などの幅広い分野における、支配原理・法則が明確でない諸現象、諸課題を数理的に記述・解明する数理的モデルや手法が開拓され、あるいはその糸口となる研究成果が得られた。

戦略目標2については、鈴木大慈による機械学習のための数学理論の深化・発展とその理論の有用性の検証と応用展開、大森亮介の非疫学的データからの感染症の流行動態推定や荻原哲平の高頻度金融データ解析のための数学理論の展開などの従来手法では扱いが困難なデータのための新たな数理的手法の開拓、小林景のデータ空間の曲率操作によるデータ解析手法や伊師英之のデータ解析に関わる巨大行列計算アルゴリズムに関する準コレスキ構造の発見とその応用、早水桃子による tree-based network の構造理論とそれに基づく系統樹推定アルゴリズムの格段の改良など、新たな数学理論のデータ科学への展開など、ビッグデータの利活用のための革新的な情報技術を支える数理的手法の創出・高度化・体系化を大きく進展させる成果が数多く得られた。

本研究領域の研究結果の多くは、トップレベルジャーナルを含む国際的学術誌に論文として刊行され、また主要な国際会議に採録あるいは招待されるなど、学界でも高く評価されている。それは本研究領域の研究者による様々な賞の受賞実績にも現れている。その成果の中には特許申請され、あるいはアルゴリズムやソフトウェアとして実装されるなど、実用可能な形で提供されたものも少なくない。さらには一般に公開されたシンポジウムや成果報告会、あるいは成果のプレスリリースや科学メディアによるインタビューや記事として、また自らのアウトリーチ活動によって、社会的にもよく発信されて反響があった。

さらに、本研究領域の研究の中から、領域内外の研究者との共同研究や研究連携を含む、数多くの新たな研究が生まれ、その中で新たな研究課題や問題意識も発掘され、本研究領域の研究者たちの研究は、とどまることなくますます発展していく勢いを如実に示している。彼らが近い将来、それぞれの分野の研究で世界的リーダーに育っていくことは大いに期待できると感じている。

以上により、本研究領域の戦略目標は十分に達成され、十分な研究成果と研究者の育成ができたといえる。

(3) 本研究領域を設定したことの意義(研究開始以前と事後評価時点の比較を念頭において)

本研究領域を設定したことには、以下の点で大きな意義があったと考える。

- ① 数学と諸分野の協働という本領域の方向性が、他の研究領域では果たせない形で、科学技術の進展によく貢献する可能性を示せた。
- ② 数学と諸分野の協働で成果をあげた若手の新たなリーダーが数多く育成された。
- ③ 数学・数理科学を活用してさまざまな社会的課題の解決に向かう優れた若手研究者集団が形成された。
- ④ 複合領域「数学」で始まった数学と諸分野の連携の基盤が強化され、さらに次の研究領域に継承された。

本研究領域の大きな特徴の一つは、研究で取り上げる社会的課題・人類的課題が、特定の学術分野に限定されない極めて幅広い問題を扱っていることである。これは JST の数学関連研究領域以外の戦略的創造研究推進事業やその他の研究推進事業には見られない、非常にユニークなものであり、社会や諸科学・諸分野のあらゆる課題から数理的構造を見抜き、それを手がかりに解決を図ろうとすることが本研究領域の姿勢であり、ねらいであった。そのようなユニークな特徴を持つ本研究領域で、多くの研究成果があがり、それが学術論文や招待講演、数々の受賞や特許などの形で評価されたことは、本研究領域のこのような方向性が十分に意義のあるものとして認められたことの証といえよう。数学・数理科学という抽象性・普遍性を持つ学術で非常に幅広い諸分野の課題の解決のための横串を刺す形の研究推

進事業で得られる学術的ポテンシャルは、今後も我が国の科学技術イノベーションに不可欠の貢献を果たすものであると強く確信する。

本研究領域のさきがけ研究者は、それぞれの分野で評価され、今後、各方面の世界的な研究リーダーに成長することが大いに期待される。それと共に、さきがけ研究での領域内外のさまざまな研究者との連携や交流の経験や研究者間のつながりは、彼ら自身の研究にとっても、また今後の数学と諸分野の協働に関わる研究推進のためにも、貴重な人的ネットワークとなるであろう。この研究者たちが、先行の複合領域「数学」での研究者集団に加わり、さらに拡大し強固になった若手研究者のネットワークになって、次の世代に継承されていくことも、本研究領域ができたことの大きな意義であり、貢献である。

(4) 科学技術イノベーション創出に向けた、今後への期待、展望、課題

上に述べたように、本研究領域では 2 つの戦略目標に沿った数多くの優れた研究成果が生み出され、また、予想をはるかに超える幅広い範囲の社会的・人類的課題に対し、数学・数理科学のアイデアや理論・方法を活用した解決やその糸口が提示された。さらにその解決法がソフトウェアやアルゴリズムのような形で実装されて提供されたものも少なくなく、諸課題を解決する数理的手法が、数学の専門的素養を必要とせず多くの人々に利用可能になった。このことの意義は例えば、これまで多大な人的労力と時間をかけて手作業で行われていた保育所の割り当て作業が、神山直之の数学理論とその実装により極めて短時間に、正確に、実用上最適な割り当てができるようになり、しかもそれが自治体職員の誰でもごくわずかの講習で利用可能になったという成果に端的に現れている。

数学・数理科学の社会的・人類的課題の解決のための活用とは、このようなことを科学技術の分野から社会、経済、医療や環境問題など、人類社会のあらゆるところで実現することを目指すということであると考え。本研究領域では、すべてのさきがけ研究者がこのような目標に向かって努力し、それぞれが 3 年半という短い期間ではあったが、多くの研究成果をあげることができ、しかもそれを今後も継続する学識と経験と意欲を備えた数学・数理科学の研究者集団を形成することができた。これは我が国の科学技術イノベーションへの大きな貢献となるものと自負している。

以上のことから、本研究領域のような、数学・数理科学の学問的特質を発揮して、さまざまな諸科学・諸分野に関係する多種多様な社会的・人類的課題の解決を目指す領域を継続することは、我が国の科学技術イノベーションのさらなる推進のために不可欠であると確信している。その際、重要となるのは以下のような諸点であろう。

- ① どのようにすれば数学の抽象性と普遍性という学問的特質をよく発揮して、数学・数理科学を諸科学・諸分野や社会の課題に活用する研究を促進できるか。
- ② どのようにして、その研究成果を社会に還元できるか。
- ③ どのようにして諸科学・諸分野や社会の課題を数学・数理科学の研究課題として認識

することができるか。

- ④ どのように数学と諸分野の協働という科学技術イノベーション活動により多くの数学・数理科学の研究者を引き込むことができるか。

このうち①については、これを JST のさきがけや CREST のような戦略的創造研究推進事業として行うのであれば、数学の分野を限定しないことが極めて重要であると考えられる。本研究領域のような、研究対象として社会や生活、ものづくり、生命や医療、環境、情報・データなどの非常に幅広い分野における諸現象・諸課題を扱う研究領域は、数学関連領域の他にはないと断言して良いであろう。それが可能になったのは、数学・数理科学が極めて抽象的であるためにあらゆる課題を数理的に扱えるからである。その結果として、ある問題の解決として得られた結果は、全く違った問題でも同種の数理的構造を持つならば同様に適用できるという普遍性という特質を持つ。このような抽象性・普遍性という数学の特質は、数学の分野を限定しては十分に発揮されない。ある数学分野を学問的背景とする研究者が取り組む課題に、全く異なる数学分野の理論や手法が有効に活用できることは、本研究領域でも頻繁に見られたことであり、それこそが我が国の科学技術イノベーションにおいて、このような数学に関連する研究領域の意義であると考えられるからである。

②については、本研究領域の研究活動を通じて、数学・数理科学の研究成果の社会への還元には、ソフトウェアやアルゴリズムとしての実装が最も適していると考えられる。数学・数理科学の研究成果は学術論文やシンポジウム・研究集会などの学術的な会合での講演として発表されることがもっとも多く、それは専門家以外にはなかなか理解されず、それが直ちに社会的諸課題の解決や科学技術イノベーションに活用されることは難しい。また、数学的結果は極めて抽象的・一般的であるために、その結果そのものを特許とすることもできない。しかし、その研究成果がアルゴリズムやソフトウェアとして、例えば計算機上に、実装されれば、それを利用して様々な問題の解決に利用することは格段に容易になり、またその技術の特許申請することも可能になる。学術的な活動としての数学研究に留まらず、その研究成果を社会や諸科学・諸分野との協働に結びつけるためには、このようなソフトウェアの実装が不可欠のステップとなるであろう。

③については、数学者・数理科学者への研究相談を容易に行える体制の構築が重要である。西浦廉政氏が研究総括を務めた複合領域「数学」の発足から現在まで、JST の数学関連研究領域の研究者を初めとして、数学と諸分野の協働を経験し、そこで研究成果をあげた数学・数理科学の研究者が増えている。そのような研究者をうまく組織することで、社会や諸科学・諸分野における数理的課題について相談できる場を全国各地に設け、そこから数学と諸分野の協働に意欲を持つ研究者の全国的なネットワークを介して適切な研究者につなげる体制を構築することで、数理的諸課題の解決とそれに関連する数学理論の発展の双方に良い効果があると期待される。このような体制はすでに議論され検討されていると聞いているが、残念ながらまだ実現に至ってはいない。なお、本研究領域では、小規模ではあるが、

領域アドバイザーの坂上貴之氏が「6. (3)」で取り上げた PresTop も含めてこのような取り組みを試験的に行っており、実際に良い効果が上がっている。

④については、数学・数理科学の若手研究者に対し、数学と諸分野の協働に関わる研究活動を行うことへの十分なインセンティブを示すことが重要であると考えます。インセンティブとしては研究資金、職、顕彰などが考えられるが、最も効果的であるのは安定して研究を継続できる職であろう。そのためには数学コミュニティと数学以外のコミュニティの双方で、このような研究を行う数学・数理科学の若手研究者の採用を増やすことが必要であるが、大学教員や研究者の職が削減されている現在の状況ではこれは極めて困難である。それを改善するためには、国としてこのような若手研究者の重要性を認識して、是非とも少しでも安定的な研究職を増やしていただきたいと強く願っている。同時に、企業などでもこのような研究者の採用が増え、採用後もその経験と実績を活かした研究活動が継続できれば、数学・数理科学の若手研究者のキャリアパスの拡大につながり、非常に良い効果が期待できる。

今後、以上の諸点が、JST の戦略的創造研究推進事業だけでなく、我が国のより多くの研究推進・研究支援事業においても共有され、広がって行くことを強く期待している。

(5) 所感、その他

まず率直な感想として、本研究領域の研究総括の仕事は、さまざまな苦労はあったが、大変楽しくやりがいのあるものであった。優秀で意欲を持ち、将来を嘱望される若手研究者がお互いに切磋琢磨しながら、次々と研究成果をあげ、あるいは時に迷い苦しみつつも目標に向かって真摯に努力する姿を見て、それを支援することは、大きな喜びであり、とても充実した6年間であった。研究総括の打診を受けた時点では、実際に自分がどこまでできるのか大いに不安であったが、領域アドバイザーの方々、JST の職員の方々、先行の複合領域「数学」の西浦研究総括、CREST「数理モデリング」の坪井研究総括やこれらの数学関連研究領域の研究者の方々、そして何よりも本研究領域のさきがけ研究者の方々の協力と努力により、この報告書で述べたような多くの活動が実り、良い成果をあげることができたことに深く感謝したい。

上記の「(3) 本研究領域を設定したことの意義」で述べたことは、本研究領域に限らず、先行の複合領域「数学」や現在進行中の CREST「数理モデリング」を始めとして、数学と諸分野の協働に関連する研究推進事業でも期待でき、実現していることであり、今後も継承されていくことを期待している。その意味で、今年度に新たに JST の CREST、さきがけ、ACT-X で数学関連の 3 つの戦略的創造研究推進事業が立ち上がったことは誠に喜ばしいことである。

本研究領域の領域アドバイザーの坂上貴之氏とは、これまで長い時間をかけて研究領域の運営や活動についてさまざまな議論をしてきたが、坂上氏は本研究領域を引き継ぐ形で

今年度に立ち上がったさきがけ研究領域「数学と情報科学で解き明かす多様な対象の数理構造と活用」の研究総括に就任されたので、これまでの数学関連研究領域の取り組みや基本となる考えがそこに受け継がれ、領域運営に活用されてより大きな成果や発展として結実することを確信している。

以上