

CREST「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」

研究領域中間評価報告書

総合所見

本研究領域は、数学者と数学を応用する分野の研究者が相互に連携する研究チームにより、まだ支配原理・法則が確立していない現時点で解決が困難な社会的課題の現象の本質的なモデリングを可能にすることを戦略目標とする重要かつ挑戦的な研究領域である。

また、過去に実施され数理研究の有効性を示した CREST・さきがけ複合研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」（2007～2015 年度）の後継の CREST 研究領域であり、必要な数理科学の問題を解決することにより、現実の問題の解決を進展させるとともに、数理科学に提示された問題の解決に向かうことを目指している。このため、対象となる現象の本質に迫る数学的アイデアに裏付けられた汎用性のあるモデリング手法を構築することや、導出された数理モデルについて、実証・検証やモデル評価のための数学理論や技術の構築を行なうことで、社会的課題を取り扱う枠組みの整備を目的として本研究領域が設定された。

研究課題の公募は 2014 年度から 2 年間、2 期にわたり、総計 11 件の研究課題が採択された。数学研究はその特徴として、その検証が得られるまでに長い時間を要することがあるため、継続し切れ目のない研究をさせるという研究総括の考えに基づき、公募を 2 回とし、優れた課題については、最長 2 年の延長を可能とするユニークな仕組みで研究が行われている。

研究マネジメントの観点では、チーム内に閉じることなく外に触れる機会を多く設定している。具体的には、様々な側面から自身の数学的課題を考えさせるため、若手中心のグループディスカッションを行う数学領域横断若手合宿や、研究者が抱える数学的課題を持ち寄り議論する未解決問題ワークショップへと従来の領域会議の形態を改編したり、一般公開の数学パワーシンポジウムを立ち上げるなど、数学分野で極めて多数の若手研究人材を各研究課題のチームに引きつけ、それぞれの研究課題で研究成果を多く上げていることは特筆すべきと評価できる。

戦略目標の達成に向けた研究成果の科学的・技術的な観点では、機械工学分野における環境変化対応のロボット制御、数理モデルに基づいた皮膚科学、熟練医の診断方法をアルゴリズム化する医療診断、物質材料分野におけるソフトマター記述言語、経済分野における金融取引モデル化など、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が見出され、あるいは再認識されている。

また、アルゴリズム/コンピューティング理論やコンピュータグラフィックス、暗号など特徴的で極めて多様性のある数多くの著名な国際会議論文が発表されており、さらに、文部科学大臣表彰 3 件、藤原洋数理科学賞奨励賞 2 件などを含む 95 件の表彰を受賞するなど実

績を重ねている。

戦略目標の達成に向けた研究成果の社会的・経済的な観点では、保険会社のリスク管理、人工透析患者投薬管理、人工皮膚の培養、電鉄会社の混雑解消、素材メーカーの材料相変化可視化/品質予測、白黒画像カラー化など、具体的に目に見える応用事例での進捗が認められる。また、社会からの期待や関心が高い量子暗号、画像認識/変換、数理モデルに基づく皮膚科学、環境変化対応のロボット制御など 130 件におよぶ報道がなされ社会的にインパクトを与えている。

さらに、小林、平岡、石川、水藤などは、企業や病院への技術協力を実施しており、潜在的なイノベーションにつながりそうな技術開発も多い。加えて、研究期間の中期にも関わらず 11 研究課題中、大石、吉田、松本、石川、平岡の研究課題チームで 9 つの研究成果に基づくソフトウェアやライブラリーの開発と公開を行っており、チュートリアルで普及活動に取り組みなど数理科学研究の成果を着実に社会に浸透させている。

一方、本研究領域は「社会における諸現象」の幅広い分野における数理モデルの構築を研究対象としていることから、研究課題採択時の領域アドバイザーの専門分野が必ずしも十分とは言えないかもしれない。研究成果が社会的に認められ、拡がりを持ち始めていることから、今後、領域アドバイザーの追加が望まれる。例えば、医学・生命科学に関係するチームが複数あることから医療に詳しい領域アドバイザーや、本研究領域の特徴である「数理と応用」、「モデルの不明な多様な社会的課題」の観点から、横断的・俯瞰的に評価する領域アドバイザーなどが重要と考える。

今後は、新しい数理モデルの導出による具体的な応用を扱う研究課題に対しては、数理研究を社会にさらに浸透させていくため、産業応用で社会にインパクトを与え、社会的認知度の一層の向上をしていくことが望まれる。モデル評価の数学理論に重点を置く研究課題に対しては、数学理論としての構造化・体系化により国際的に著名な学術誌への多くの論文発表を期待する。それぞれが目指す戦略目標の出口を今一度明確化させ、残された研究期間に各研究課題の目標を着実に達成することを期待する。

以上を総括し、本研究領域は総合的に優れていると評価できる。

1. 研究領域としての成果について

(1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

本研究領域は、数学者と数学を応用する分野の研究者が相互に連携する研究チームにより、まだ支配原理・法則が確立していない現時点で解決が困難な社会的課題の現象の本質的なモデリングを可能にすることを戦略目標とする重要かつ挑戦的な研究領域である。

研究総括のねらいは、必要な数理科学の問題を解決することにより、現実の問題の解決を進展させるとともに、数理科学に提示された問題の解決に向かうものを目指すことであり、対象となる現象の本質に迫る数学的アイデアに裏付けられた汎用性のあるモデリング手法を構築すること、導出された数理モデルについて、実証・検証やモデル評価のための数理解

論や技術の構築を行なうことで社会的課題を取り扱う枠組みの整備を実現するというものである。採択された11の研究課題は、いずれもこれら研究総括のねらいに合致するとともに、社会における現象を扱う驚くほど広範な分野にまたがり、社会のニーズを広く受け止めようとしている姿勢が伺え一定の評価ができる。各研究代表者の専門分野も経歴も所属も様々であり、多様な形での融合が期待できる。

一方、幅広い分野における数理モデルの構築を研究対象としているが、研究総括によるサイトビジット、採択時と研究課題中間評価時を除く領域アドバイザーの助言・指導・評価や領域アドバイザーの専門分野が必ずしも十分とは言えないかもしれない。研究成果が社会的に認められ、拡がりを持ち始めていることから、今後、領域アドバイザーの追加が望まれる。例えば、医学・生命科学に関係する研究課題のチームが複数あることから医療に詳しい領域アドバイザーや、本研究領域の特徴である「数理と応用」、「モデルの不明な多様な社会的課題」の観点から横断的・俯瞰的に評価する領域アドバイザーなどを配置するなど、より一層の強化が望まれる。

研究運営の会議体や人材育成に関しては、チーム内に閉じることなく外に触れる機会を多く設定している。具体的には、様々な側面から自身の数学的課題を考えさせるため、若手中心のグループディスカッションを行う数学領域横断若手合宿や、研究者が抱える数学的課題を持ち寄り議論する未解決問題ワークショップへと従来の領域会議の形態を改編し、加えて一般公開の数学パワーシンポジウムを立ち上げるなど、数学分野で極めて多数の若手研究人材を各チームに引きつけ、それぞれの研究課題で多くの研究成果を上げていることは特筆すべきと評価できる。

参加した研究人材の多くは、ポスドク研究員を経て常勤的なポストへの採用や昇任、企業への就職などキャリアアップを重ねている。異分野、異業種の研究開発者との共同研究の経験はこれら若手研究人材の今後に大きな影響を与え、我が国の数学・数理科学研究をこれまでとは違う社会により開かれたものとしていくことが期待される。

アウトリーチ活動に関しては、「数学パワーが世界を変える」シリーズのシンポジウム(2017、2018、2019年)、さきがけと合同での「未解決問題ワークショップ」、20回におよぶ「数学キャラバン」による高校生を対象とした活動などが活発に行われており、本研究領域が数学分野の幅広い人材育成に大きく貢献している。数学とそれ以外の分野の異分野協働に興味をもつ研究者の層を厚くすることは、中長期的には、数学と諸分野が目指す方向や形式だけでなく研究人材的にも連続的に結ばれ、両者の協働によるブレークスルーを引き起こすことにつながるはずである。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていると評価できる。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

①研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

本研究領域の特異な点は、通常、応用・実用には直接的でなく遠いとされる数学分野において、基礎研究を通じて、独創性・先行性だけでなく優位性をも示しつつ科学技術イノベーションにつながる革新的シーズ創出を目指す所にある。研究開始から4年が経過し、論文や学会などにおける発表状況から見て、全般的にアルゴリズム/コンピューティング理論やコンピュータグラフィックス、暗号など特徴的で極めて多様性のある数多くの著名な国際会議論文が発表されており、また、文部科学大臣表彰3件(若手科学者賞2件、科学技術賞1件)、藤原洋数理科学賞奨励賞2件などを含む95件の表彰を受賞し実績を重ねている。

さらに、小林の機械工学分野における環境変化対応のロボット制御、長山の数理モデルを基にした皮膚科学、水藤の熟練医の診断方法のアルゴリズム化による医療診断、平岡の物質材料分野におけるソフトマター記述言語、吉田の経済分野における金融取引モデル化など、諸分野との連携から新しい数学の潜在的可能性が見出され、あるいは再認識されていることは評価に値する。

技術的に実用レベルに達し、社会や産業界で実際に使われるようになるか、または、基礎研究として戦略目標にあるように「数学的に記述・解明」し、当該分野の数理モデルの理論的確立に達するか、それぞれが目指す出口をいま一度明確化させて、残された研究期間に各研究課題の目標を達成することを期待する。

以上より、研究成果の科学・技術な観点からの貢献については、高い水準が期待できると評価される。

②研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

本研究領域では社会的・経済的な観点から貢献することを全ての研究課題で優先目標と設定されてきたわけではないが、吉田の保険会社のリスク管理、水藤の人工透析患者投薬管理、長山の人工皮膚の培養、岩田の電鉄会社の混雑解消、平岡の素材メーカーの材料相変化可視化/品質予測、石川の白黒画像カラー化など、ほとんどの研究課題で具体的に目に見える応用事例での進捗が認められる。

また、小林はロボットの自動制御関連で4社、平岡は材料相変化/可視化関連で5社、石川は画像認識関連で4社、水藤は医療現場の課題解決関連で4つの病院など、企業や病院への技術協力を実施しており、潜在的なイノベーションにつながりそうな技術開発も多く、今後の応用展開が期待できる。

さらに、研究期間の中期にも関わらず11研究課題中、大石の精度保証計算ライブラリー kv、吉田の確率過程の統計推測 YUIMA、松本の準モンテカルロ法による数値積分用点集合 Low WAFOM、石川の白黒写真の全自動自然カラー化、画像欠損部分補完やラフスケッチ自動線画化、平岡のパーシステントホモロジーのデータ解析 HomCloud など9つの研究成果に基づくソフトウェアやライブラリーの開発と公開を行っている。それだけではなくチュートリアルで普及活動に取り組むなど実施し、数理科学研究の成果を着実に社会に浸透させている。今後は、より社会実装が広がるよう、実際の利用者数増加やメンテナンスの方策について留

意することを期待する。

加えて、社会からの期待や関心が高い高木の量子暗号、石川の画像認識/変換、長山の数理モデルに基づく皮膚科学、小林のムカデのように動くロボットなど 130 件におよぶ報道がなされ社会的にインパクトを与えている。

以上により、研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献については、高い水準が期待できると評価される。