

CREST「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」

研究領域事後評価報告書

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、戦略目標「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」の下に設定され、その研究総括のねらいとしては、以下の3方針を掲げて運営がなされた。

- I. 社会の具体的な課題に対し、数理モデルを構築し、課題解決に貢献
- II. 数理モデルの妥当性を論理的に示すこと、あるいはそれを支える手法の開発
- III. 数理モデル構築に必要な数学理論の構築と応用

この内、II.の数理モデルの妥当性をデータやシミュレーションではなく数学的理論に基づいて検証しようとするのは本研究領域において提示された新しい方法論そのものであり、大石、吉田、平岡、岩田の4チームの研究課題を中心に展開された。I.数理モデルによる課題解決、および、III.数学モデルのための数学理論の構築については、当初の目的を達成するとともに、チームによっては、ソフトウェア開発、企業や他分野・他チームとの共同研究・開発に発展させたと判断できる。

研究課題は、延べ99件の応募課題から11件が採択された。選考では、研究領域全体が、数理科学と諸科学・産業との連携を医療生命・経済・社会等バランス良く発展させられるように考慮された。採択された研究課題は、戦略目標の達成に向けて解決すべき社会的課題を設定した上で、参加研究者が有機的につながり、数理科学と諸科学・産業との交流を推進、数理モデルを幅広く活用する研究者等からの研究チームで構成されており評価できる。

本研究領域では、数理モデリングという方法論をあえて中心テーマに据えることによって、数学的アイデアによる革新的モデルを導出する研究だけでなく、新しい数理的手法を開発する研究や数理モデルの実証・検証・評価のための数学的理論等という形で、数学・数理科学の広範な領域をカバーしている。この研究領域であるがゆえに数学・数理科学分野から多くの応募と実力のある研究者を採択でき、5つの幅広い専門分野(データ解析、暗号理論、精度保証計算・高速計算、モデル最適化・制御理論、医療・生命科学)で挑戦的な6つの応用分野(情報通信、ロボット制御、医学・生命科学、物質・材料、金融・経済・社会、およびこれらを下支えする計算科学)を網羅する研究領域を構築できている。研究代表者の所属、専門分野等の点を含めて、選考方針は適切であったと判断される。

領域アドバイザーは5つの専門分野をカバーし、その半数は本研究領域と同一戦略目標下のさきがけ「数学協働」の領域アドバイザーと兼任することでシナジー効果をねらった。さらに研究領域中間評価結果を受けて横断的俯瞰的に評価する領域アドバイザーと医療・生命科学分野の領域アドバイザー2名を拡充し、適切な専門的助言ができる領域アドバイザー構成としたことは評価できる。

従来型の領域会議やサイトビジットは研究期間初期に開催され、領域アドバイザーによる研究進捗状況の把握と課題毎の評価等に資するものとなった。その後、様々な形式のシンポジウム、ワークショップに形を変え、研究進捗状況の把握と評価だけでなく、社会的・経済的な観点からの貢献の考え方やその方法等について、適切な指導が行われた。また、長い期間を要する数学研究の特質を考慮し、切れ目のない研究ができるように研究期間延長の仕組みを取り入れたことはマネジメントの工夫として評価できる。研究期間の延長をする研究課題を決定する際には、研究課題のサポートがほぼ目的を果たしたと思われる場合は延長無しとし、新たな進展や最新数理学の現場応用が期待できるものを抽出することで研究期間内での研究成果最大化を図っている。

本研究領域の戦略目標と研究領域設定の理由には、人材育成重視の記述はないが、掲げられている「数学自体の発展をも目指す」ことの実現のために、数学研究の担い手である若手の育成にも意図を持って積極的に活動を広げ、大きく貢献していると判断できる。

数学領域横断若手合宿、未解決問題ワークショップ、数学キャラバン、開発したソフトウェアのチュートリアル、企業技術者を対象とする教育講座等も活発に行った。このうち、数学領域横断若手合宿は様々な側面から若手研究者自身の数学的課題を考えさせるものであり、未解決問題ワークショップは研究者が抱える数学的課題を持ち寄り議論する良い機会になったと考える。これらを通じて女性研究者を含む多数の若手研究人材を数理モデリングに引きつけ、個々の研究者を鍛え、各チームの研究課題やチーム間、異分野研究者間、企業との連携で多くの研究成果を上げたことは十分に評価できる。チュートリアルや教育講座における他分野やユーザからのフィードバックも研究成果の質の向上に有効であった。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは特に優れていたと評価できる。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成状況

各チームは科学的・技術的な観点から優れた貢献を行っただけでなく、社会的・経済的な観点からの貢献にもチャレンジし、個々に大きな研究成果を上げた。

研究領域全体で発表論文 1149 報(うち国際論文 1046 報)、口頭発表 3169 件(うち国際口頭発表 1329 件)であり、この中で招待講演は 1454 件(うち国際招待講演 716 件)、特許出願 15 件(うち国際特許出願 6 件)、著名なものを含む受賞 157 件と十分な研究成果を上げている。また、153 件報道されたことや、半数のチームがソフトウェアを開発・公開し、普及のためのチュートリアルを実施したことは数学・数理学分野のアウトリーチ活動としては特筆される。

以下、科学的・技術的観点と社会的・経済的観点に大別して代表的な研究成果を示す。

研究成果の科学的・技術的な貢献において、専門分野であるデータ解析分野では、吉田チームが大規模な時系列データに対する数学的な手法の開発で成果を上げ、金融データのダブルオークションシステムのデータからなるリミットオーダーブックに適用して点過程によるモデリング手法などを開発した。金融に関するモデリングにおいても多数の研究成果を得て、著名な国際専門誌に発表している。平岡チームは、パーシステントホモロジーを用いた物質科学の研究を行ない、材

料分野での機械学習手法につながる研究成果を上げ、ガラス材料などの無秩序系を対象とした物質科学研究に貢献した。また粉体が結晶になる際の構造の変化を解明する等の研究成果を上げた。

暗号理論では、高木チームが暗号分野で必要となる安全性の数理モデリングを行い、想定される攻撃モデルに対する防御手法の研究を行った。その研究成果を発展させ海外での RSA 暗号(一般に広く利用されている公開鍵暗号方式)解読コンテストで世界記録をマークし国際的にもレベルの高いプレゼンスを示した。

精度保証計算・高速計算では、大石チームが精度保証計算分野において国際的にも認められる研究チームを形成し、精度保証計算ライブラリー kv として社会で有効に活用できる基盤を構築した。これらの研究成果は国際的にも高い水準にあると考えられ、本研究領域が目指す精度保証付き数値計算に基づいて数理モデルの妥当性を検証することを含めて、技術的な独創性や優位性があると判断される。

松本チームは、擬似モンテカルロ法の理論的研究を行い、準モンテカルロ法をほぼ点の個数の逆数の速さで収束させることのできる lowWAFOM 点集合を発見した。

モデル最適化・制御理論では、岩田チームが 40 年近く未解決であった重み付き線形マトロイド・パリティ問題に対して多項式時間解法を与え、科学的に大きなインパクトをもたらした。また、コウモリの飛行ルートの数理的解析とフィールド計測による研究でも成果を上げた。

医療・生命科学では、栄チームが細胞集団における生命現象の中で数理モデルと生物実験の比較検討を行い、検証、フィードバックを通し細胞分化の数理モデルを構築、生命系におけるパターン形成問題に関して理論と実験の交点を見いだしている。

研究成果の社会的・経済的な貢献において、応用分野であるロボット制御分野では、小林チームが少ない環境データの下で動きながらデータのフィードバックを受けて制御を行う手法の開発に取り組んだ。災害復旧支援など事前データの少ない状況で働くロボットの開発で建設機械の企業などとの共同研究に発展させたことは評価に値する。

医学・生命科学では、水藤チームが医療分野での画像解析や臨床データの解析において各種の手法を開発し、分野の垣根を越えた医療関係者との共同研究を進め、医療分野への数理科学応用の道筋を大きく開いた。長山チームは、細胞群の動態を用いた皮膚のモデリング研究をおこない、資生堂研究者と共同でスギ花粉が肌のバリア機能を低下させることを発見し特許出願に至った。

物質・材料では、平岡チームがソフトウェア HomCloud を公開し、好評を得て、材料系企業 6 社との共同研究、民間企業 19 社が参加する材料 TDA(Topological Data Analysis)コンソーシアムを設立するなどアウトリーチの幅を拡大している。今後の研究成果の材料分野への波及効果が期待される。

金融・経済・社会では、吉田チームが研究成果を確率過程の統計推測 R パッケージソフトウェア YUIMA に実装して公開したところダウンロード数は 3 万回を超えた。ユーザ会やチュートリアルは保険業界等企業関係者で盛況であった。石川チームは、深層学習に基づく自動色付けのアプリケ

ーションソフトを Web 上で公開した。多くのメディアが報道し、報道機関も使用するなど、画像を扱う機関をはじめ、一般の幅広い層に興味を持たれる発展的な研究成果となった。

チーム間、異分野研究者間、企業との連携では、例えば、高木チーム、大石チームの 3 次元幾何学への応用、栄チーム、長山チームの生命現象のモデル化、石川チーム、長山チーム、水藤チームの医療診断のモデル化などチーム間での新結合が生まれて当初想定していない研究成果を上げたことは特筆される。また、大石チーム、小林チーム、平岡チーム、石川チーム等における企業との共同研究や長山チーム、水藤チームにおける医療関係者との異分野共同研究も目覚ましいものであった。

以上により、研究成果の科学的・技術的および社会的・経済的な観点からの貢献については、高い水準にあると評価できる。

以上より、本研究領域は戦略目標の達成に資する成果の創出に十分に貢献をしたと評価できる。

以上