

**CREST「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」
研究領域事後評価報告書**

総合所見

本研究領域は、次々世代以降のスーパーコンピューティングの高効率化、高度化を目指し、システムソフトウェアおよびアプリケーション開発環境等の基盤技術に関する研究開発を進めるとともに、国際連携の推進、産学連携の促進、次代のリーダー育成等が行われた。領域目標の設定、課題選定、個々の研究計画に関する指導のそれぞれについて、研究総括・領域アドバイザーの目がよく行き届き、個々の研究チームも大部分が彼らの要望によく応えた。総じて研究領域として、テーマと研究成果・運営ともたいへん優れたものであったと判断される。また、領域アドバイザーの選考、研究課題と研究代表者の選定、その後の研究展開にあたってのマネジメントなど、研究マネジメントは戦略的に成功し、個々の課題、さらに全体目標達成に対しても、効果的かつ良好であった。

研究成果として、研究領域全体の発表論文 964 本（うち国際論文 810 本）、開発ソフトウェア 77 本（うち公開済み 61 本）、口頭発表 2406 件（うち招待講演数 523 件）、各種受賞 80 余件と十分で有り、特に、Graph500 における 6 回連続 1 位獲得、ゴードンベル賞、SC14 における HPC チャレンジ・ベストパフォーマンス賞、SC16 Best Paper Award 受賞は顕著な成果といえる。

ソフトウェアとしては、固有値解析エンジン、パッケージ ppOpen-HPC、軽量マルチスレッド処理ライブラリ、数理最適化問題ソルバ SDPARA、ステンシル計算用ライブラリ HHRT、シミュレーション実行管理環境 OACIS/CARAVAN、並列言語 XcalableACC コンパイラなど注目すべきものが開発され、その多くが公開され、活用されている。これらソフトウェアの応用展開として、津波遡上の 3D シミュレーション、全球大気アンサンブルデータ同化の実証実験、東京都心の詳細な気流シミュレーション、超精密気象—海洋モデル NICAM-COCO、グラフ解析による災害復旧手法、さらには金融など社会現象のシミュレーションまで、多岐にわたる成果が出ている。これらの基盤として、課題間の連携も盛んであった。

人材育成に関しては、研究代表者に「若手」を参画させ、領域アドバイザーに「世界的に実勢ある現役研究者を配する」、という方針がうまく活き、多くの若手研究者の受賞が続き、キャリアアップが実現したと考えられる。

ポストペタスケール高性能計算という競争の激しい中でもソフトウェアという広く不確定要素の多い分野できちんとした問題設定をして目標を定め、世の中の動向を綿密に観測しながらときに大胆な修正を入れ、全体として大きな成果を出した。特に、途中で研究総括交代があったにもかかわらず、しっかりと目標を達成したことは、高く評価される。

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

研究総括のねらいとして、①社会的・科学的課題解決へのスーパーコンピューティングによる貢献を持続させるための高機能・高信頼なシステムソフトウェアの研究・開発、②将来のスーパーコンピュータ研究・開発の方向性の提示、③次代のスーパーコンピュータ分野におけるリーダーの育成、の3つの方針が立てられ、運営がなされた。①の中では、OSの展開を縮小したという意見もあったが、これはポスト京プロジェクトとのバランスの中でのことで、我が国のスーパーコンピューティング開発の全体を睨んでの選択であった。②および③については、当初の目的を達成するとともに、AI・ビッグデータなど新しい課題に対応したことも大きな成果であったと考えられる。

研究課題は、ポストペタスケール時代のソフトウェア基盤として、OS、通信ミドルウェア、プログラミングモデル、プログラミング言語、コンパイラ技術、数値計算ライブラリ、開発ツールなど、広範かつ網羅的な課題設定がなされており、それぞれに有望なテーマを選択・採択した点は、高く評価できる。研究課題の中には、固有値計算ライブラリやグラフ計算など、領域中間評価の段階ですでに目に見える成果、国際的な成果をあげているものもあったが、GRAPH500の記録を伸ばすなど、最終的に一層の発展があった。また、ソフトウェアの吟味や取捨選択が必要との意見もあったが、研究総括・領域アドバイザーの指摘・誘導などによりうまく方向づけがなされた。

領域アドバイザーの構成については、研究代表者に「若手」を参画させ、領域アドバイザーに「世界的に実勢ある現役研究者を配する」点は、「研究進捗状況の把握と評価、より大きな成果を生み出すための方針変更をも伴う指導、メリハリのついた研究費配分など」において、取り組みとして成功したとあってよい。実際、領域アドバイザーとして国内でも最高水準の実績をもつ多様な方々が選ばれており、この点は高く評価できる。CREST後半では、アドバイザーの意見がよく反映されていたと考えられる。さらに、研究開発ターゲットの応用用途の想定／論文作成に必要な評価に留まらず、ソフトの公開、実際の利用評価（実用アプリケーションから使用して評価／改良）まで踏み込んで指導したことで研究成果の質が大きく高まった点は、評価できる。

研究領域のマネジメントとして、研究進捗状況の評価を行い、個々の課題・領域全体の研究の加速、成果最大化のための予算配分、課題間連携の推進などに力を入れていた。結果として、軌道修正や有効性検証が必要なソフトウェアについては、積極的に改善を行った。またCREST全体の戦略目標の達成、個々の研究課題の全体目標の中の貢献、出口戦略なども一定の評価が与えられる。また、領域会議やサイトビジットでの指示・助言や、研究の円滑な遂行・成果創出加速のための研究費配分の調整、および、ドイツDFG、フランスANR、JST共同でのSPPEXA-2イニシアチブの立ち上げと本研究領域から7チームの採択があり、国際連携の推進に大きな役割を果たし、グローバルに交流できるリーダーの人材育成へとつながった。さらに、産学連携を積極的に促進し、一部のチームで複数の企業との共同研究を進め

るに至ったことなど、優れた成果を挙げたと考えられる。シンポジウムの開催等による成果の発信も十分に行われていた。

以上により、本研究領域の研究マネジメントは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

① 研究成果の科学技術への貢献

研究領域全体で発表論文 964 本（うち国際論文 810 本）、開発ソフトウェア 77 本（うち公開済み 61 本）、口頭発表 2406 件（うち招待講演数 523 件）、受賞 80 余件と研究成果として十分で有り、特に、Graph500 における 6 回連続 1 位獲得（藤澤チーム）、ゴードンベル賞（丸山チーム）、SC14 における HPC チャレンジ・ベストパフォーマンス賞（朴チーム）、SC16 Best Paper Award（丸山チーム）は顕著な受賞といえる。

また、ディプロイおよびアプリケーションの展開もソフト公開など、社会ニーズに応じた顕著なものがあり、高く評価できる。

以上により、研究成果の科学技術への貢献については、高い水準にあると評価できる。

② 研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献

目に見える具体的な研究成果として、固有値解析エンジン（櫻井チーム）、パッケージ ppOpen-HPC（中島チーム）、次世代大規模ファイルシステム（建部チーム）、軽量マルチスレッド処理ライブラリ（丸山チーム）、数理最適化問題ソルバ SDPARA（藤澤チーム）、ステンシル計算用ライブラリ HHRT（遠藤チーム）、シミュレーション実行管理環境 OACIS/CARAVAN（野田チーム）、並列言語 XcalableACC コンパイラ（朴チーム）などがあげられる。また、基盤ソフトウェアシステムの技術も、論文・ソフトウェア数など充実した成果を見せ、最終的に有用なアプリケーションを稼働させた課題も多い。

本研究領域の研究課題の取り組みから生み出されたソフトウェアの多くが公開されていると共に、利活用の計画や、実際の利活用が進んでいる。特に、軽量マルチスレッド処理ライブラリは、Cray 社が研究開発を進めている「次世代の並列プログラミング言語 Chapel のスレッド実行基盤」として採用されている。また、並列ソルバ SDPARA などは、民間企業等との共同研究に用いられている。

また、社会公共性の高い課題に対する科学的課題解決への貢献として、本領域の研究課題取り組みから生み出されたソフトウェアを用いて、以下の取り組みがなされた。

- 東日本大震災時に石巻市で発生した「津波遡上の状況を大規模かつ三次元でシミュレーションする手法を実現」し実際に模擬することに成功し、将来の津波被害の予想や被害の予防に応用できる可能性を示した（塩谷チーム）。
- 「京」を用いた世界最大規模の全球大気アンサンブルデータ同化の実証実験に、本研究領域研究課題で取り組んだ「密行列固有値計算ライブラリ」が用いられた（櫻井チーム）。

- 東京都心部の気流を 1m という非常に細かい解像度でシミュレーションする手法を実現し、実際の都心部の建造物のデータをもとに気象シミュレーションを行うことに成功した（丸山チーム）。
- 全球大気モデル NICAM に、日本の代表的な全球気候モデル MIROC の海洋モデルを、並列カプラー ppOpen-MATH/MP によって連結させた超精密気象-海洋モデル「NICAM-COCO」を開発し、熱帯域を東進する巨大な雲群マッデン=ジュリアン振動と、東太平洋の海面温度が通常より高くなるエルニーニョ現象との相互作用の再現を可能とした。日本付近の季節予報や台風発生予測の精度向上に貢献することが期待される（中島チーム）。
- 開発したグラフ解析プログラムを用いて、災害時のライフラインや交通網などの復旧対策において、最適な復旧作業のスケジュールを高速に立案する技術を確立した。短期間に刻々と変化する状況に対してリアルタイムで計算することを可能としている（藤澤チーム）。
- その他、人工市場シミュレーションを用いた現実の金融制度の検証やこの取り組みの一環として東京証券取引所との共同研究の実施、金沢市における人流シミュレーションによる災害時の避難経路の策定や京都市異種車両混合交通シミュレーション等の広範囲な応用が開拓されている（野田チーム）。

さらに、AI やビッグデータ解析分野（藤澤チーム）および今後導入されるポテンシャルある新 HW 技術と連動したソフトウェア（近藤および遠藤チーム）の取り組みがなされたことも、高い評価に値する。

なお、研究成果に関しては、主に企業からの参加研究者から計 13 件が特許出願されている。

以上により、研究成果の科学技術イノベーション創出への貢献については、特に高い水準にあると評価できる。

2. 研究領域の活動・成果を踏まえた今後の展開等についての提言

研究総括の途中交代という事態にもかかわらず、プロジェクトは粛々と進められ、成果をあげた。各チームのたゆまぬ努力がうかがえるとともに、佐藤三久総括が並々ならぬご尽力をされたためと拝察される。

基本的な成果は、領域中間評価の段階で目に見える形になっていたが、各研究課題の発展と領域内研究の有機的連携と領域全体の戦略目標の達成、社会実装に向けた種々の取り組み、ソフトウェアシステム技術の有効性を実証するアプリケーションの実装・評価、シンポジウムやデモ展示などによる成果の世界への発信、AI・ビッグデータ分野への新たな貢献など、より多角的かつ効果的な展開が行われた。

今後は、ポスト京開発プロジェクトとの連携や国際連携が核となるだろうが、これら以外にも、オープンソース化されたソフトウェアの新展開や、A-STEP、共同研究、新規ベンチャーのエコシステム確立など、個々に、あるいは連携して、研究開発を進め、成果を示し続け

ていただきたい。

量子コンピュータや 3D VLSI など計算原理とハードウェアの進歩は今後も続くので、本研究領域で課題としたメニコアシステムに安住することなく、革新的コンピューティング基盤開発とリンクしたコンピューティングシステムに関する研究推進が重要である。