

CREST 研究領域「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」追跡評価報告書

1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域(2010 年度～2017 年度)は、戦略目標「メニーコアをはじめとした超並列計算環境に必要となるシステム制御等のための基盤的ソフトウェア技術の創出」の下で設定されたものである。本研究領域では、スーパーコンピュータ「京」の次の世代、あるいはそれ以降のスーパーコンピューティングに資するシステムソフトウェアやアプリケーション開発環境などの基盤技術の創出を目指し研究が行われた。具体的には、今後のメニーコア化や専用プロセッサを用いたスーパーコンピュータ上で、アプリケーションを高効率・高信頼化するシステムソフトウェア、アプリケーション開発支援システム、超大規模データ処理システムソフトウェアなどに関する研究が行われた。本研究領域では、14 の研究課題が採択され、それらは、“システムソフトウェア”、“プログラミング・モデル、言語”、“アプリケーション、数値ライブラリ”の3つに分類されるものであった。

本研究領域の研究終了後の発展・展開論文数は 270 報、この内、被引用数 Top10%以内は 31 報であった。研究終了後は研究代表者のみのカウントのため、研究期間内より報数は減少するが、それでも研究期間内の半数近くの論文数と Top10%以内の報数がある。また、研究期間内、研究終了後のそれぞれでの総論文数に占める Top10%以内の割合はほぼ同数である。これらのことから、研究終了後においても研究代表者は関連研究者をリードし、活発で質の高い研究活動を継続していることが認められる。特許出願件数は、研究終了後は国内 12 件(登録 3 件)、海外 1 件(登録 0 件)であった。国内出願は、研究期間内より研究終了後の件数が上回っている。国内出願には、櫻井の画像処理や分散データ処理関連 6 件、野田の MaaS(Mobility as a Service)関連 4 件があり、実用が進んでいることがうかがえる。

受賞は、研究終了後、研究代表者の 7 割以上に実績がある。例として、HPC Pioneer & Achievement Award、Outstanding Effort Award、Asia HPC Leadership Award が各 1 件、文部科学大臣表彰 2 件、日本ソフトウェア科学会や人工知能学会での功労賞、業績表彰に類するものが 6 件と多くある。研究終了後においても、本分野で、多大な学会貢献や業績が評価されていると認められる。また、藤澤は、研究終了後の 2017 年からスーパーコンピュータのグラフ処理性能ベンチマーク Graph500 の世界 1 位を 11 回受賞した。これは、我が国の本分野の高い総合技術力が高く評価された証左である。

オープンソースは、半数以上の研究代表が研究成果を GitHub などで公開し、オープンコラボレーション、コミュニティ形成を推進している。例えば、建部のアドホック分散ファイルシステム CHFS、堀のメニーコア向けタスクモデル PiP、南里のコード間結合フレームワーク CoToCoA、丸山の畳み込み層並列化アルゴリズム、滝沢のオフロードプログラミングフレームワーク neoSYCL、千葉の Fluent API 生成器 typelevelLR、塩谷の高周波電磁界解析ソフトウェア ADVENTURE_FullWave、波動音響解析ソフトウェア ADVENTURE_Sound などがある。

アウトリーチ活動は、研究総括および半数の研究代表者が精力的な活動を行っていることが認められる。例えば、「富岳」の概要、取り組み、「富岳」の次の議論に関するもの、若手研究者育成国際 HPC スクールなどである。また、研究代表者が開発をリードしている各機関のスーパーコンピュータ施設の取り組み(東京大学「Oakforest-PACS」、筑波大学「Cygnus」、「Pegasus」、九州大学「IT0」)など、合せて 30 件近くの活動がある。これらは、長期的視点で利用人材の醸成、研究者育成、様々な人材によるコデザイン、アプリケーション開発、普及につながる地道で貴重な活動である。

2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

(1) 研究成果の科学技術的観点からの貢献

本研究領域終了後、全ての研究代表者が、新たな潮流、新しい理論の提唱、分野間融合の創出に貢献している。

“システムソフトウェア”の研究での発展・展開例として、以下のものがある。

建部の広域分散ファイルシステム Gfarm、プロセススケジューラ Pwrake、分散並列相同性検索システム GHOSTZ PW/GF、スケラブル次世代ストレージアーキテクチャなどがある。これら大規模データ解析技術は、データ取得、効率的ワークフロー、データアクセスの最適化を頑強なソフトウェアスタックで実現するものである。また、堀の、導入が容易で可搬性に優れるメニーコア向けタスクモデル PiP、南里の、多大な工程、人的リソースを削減する連成計算フレームワーク CoToCoA、通信性能を落とすことなく、メモリ消費を削減する NVDIMM(Non-Volatile Dual In-line Memory Module)での新たなメッセージキューイングシステムなどがある。さらに、遠藤の、ドメイン特化言語 Halide を適用した高性能ステンシル計算、グラフ解析の重要カーネルである全点对最短経路アルゴリズムの Cache-Oblivious の再帰的実装による高性能化などがある。これは、ディープラーニング、機械学習など、幅広い用途に展開可能である。

“プログラミング・モデル、言語”の研究では、以下のものがある。

丸山の、大規模データセットのモデル学習高速化並列アルゴリズムがある。これは、並列性利用の効果のある追求すべき研究の方向性を示すことになった。ここでの並列化ソフトウェアスタックは、ディープラーニングのための一般的な方策として広く認知され利用されている。滝沢は、大規模並列異種混在型システムのプログラミングの生産性を向上させるオフロードプログラミングフレームワーク neoSYCL を提案した。neoSYCL は、ヘテロジェニアス並列アーキテクチャー向け標準インターフェイス SYCL の一つとして認知され、標準規格の議論が進んでいる。また、千葉の大規模並列異種混在型システムのソフトウェア開発の負担軽減とユーザの利便性向上を可能にする Fluent API の生成器 typelevelLR の開発などもある。本技術は埋め込み型領域特化プログラミング言語 EDSL の新しい設計技法として、今後、普及が期待されるものである。

“アプリケーション、数値ライブラリ”の研究では以下のものがあった。

櫻井の、高性能行列計算の機械学習における周回積分型固有値解析による教師あり次元削減手法や、組織間に分散した多数のデータの秘匿性を保持しながら解析する技術がある。これらは、膨大なデータの利活用を可能とし AI 解析精度を大幅に向上させるものである。野田は、本研究領域で開発した MASS (Multi-Agent Social Simulation) の実行管理フレームワーク OACIS、CARAVAN の「京」から「富岳」に引き継ぐ改版、および高性能化を実施した。また、国立研究開発法人産業技術総合研究所、東京大学、東京工業大学、立命館大学で個別に開発された異種現象シミュレーションの結果を相互に分析可能な相互連成シミュレーションの構築を行った。

これらの研究成果は、スーパーコンピュータが科学技術計算だけでなく、ビックデータ処理など幅広い分野でも極めて有効であることを示した。さらに、社会シミュレーションでは、従来は問題解決のみで完結していたものから、計算リソースが豊富になることで、今までなかった問題の抽出や、より効率的な施策、新しい応用・サービスにつながることを示したことは特筆すべきものである。

研究代表者の多くは、「富岳」はもとより、学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (JHPCN) や、最先端共同 HPC 基盤施設 (JCAHPC) のスーパーコンピュータの開発、運営の中核を担っている。例えば、建部、遠藤の、東京工業大学での「TSUBAME」、建部、朴の、筑波大学での異種演算加速スーパーコンピュータ「Cygnus」「Pegasus」、滝沢の、東北大学での「AOBA」、中島の、東京大学での「Oakforest-PACS」「Oakbridge-CX」、計算、データ、学習の融合を実現するスーパーコンピュータ「Wisteria/BDEC-01」、南里の、九州大学での「ITO」などである。これらのシステムは、全国の大学、研究機関をネットワークで結んだ革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ (HPCI) に組み込まれ、ナショナルフラッグシップシステム「富岳」を支える第二階層として計算機科学・工学の発展に貢献している。

また、近藤は、「富岳」の次世代の高性能計算機システムの開発についての大規模なコミュニティ活動 NGACI (Next-Generation Advanced Computing Infrastructure) を設立し、ホワイトペーパーをまとめ、我が国の本分野の研究開発指針の策定に貢献している。

(2) 研究成果の社会的・経済的観点からの貢献

多くの研究代表者が、今後の社会・経済に十分貢献する研究成果を創出している。

例として、滝沢の、実行中の通常ジョブを退避し、緊急ジョブを実行するシステムは、大手電機メーカーとの共同開発を経て、内閣府のリアルタイム津波浸水被害予測システムにつながっている。藤澤は、大量のセンサデータ (ヒト・モノの移動など) やオープンデータ (Wi-Fi などの移動履歴) を用いて、多くの民間企業と共同で、CPS (Cyber-Physical System) モビリティ最適化エンジン CPS-MOE を開発した。これにより、コスト・廃棄物削減、交通機関の最適制御スケジュールに関連する新しいサービスの創出に貢献している。野田の地域活性

化や交通課題など社会課題を解決する MaaS の研究成果は、野田が取締役を務める株式会社未来シェアで、20 以上の地域で導入・実証実験に至り、MaaS の普及に貢献している。千葉は、ソフトウェアの修正漏れなど監視するソリューションを提供している株式会社 Sider の社外取締役に就任している。

その他の社会的・経済的観点からの貢献では、従来では実現し得なかった超大規模データの高速な処理、解析を可能とすることで、近い将来、多いに期待される研究成果も見られた。

例として、櫻井の、周回積分型固有値解析による教師あり次元削減手法は、現在まで未処理のビックデータの活用が期待されるものであり、建部の、大規模メタゲノムデータの分散並列相同性検索システム GHOSTZ PW/GF は、細菌叢の群集構造や機能の解明に貢献するものである。生活習慣病や、癌、アレルギー、自閉症など、様々な疾患の原因解明、疾患の治療や予防につながると期待される。丸山の、モデル学習の高速化並列アルゴリズムによる現実的な時間での複雑なモデルの生成技術は、畳み込みニューラルネットワークが適用される多種多様なアプリケーションに好影響をもたらすと考えられる。塩谷の、高周波電磁界-熱伝導連成解析システムは、副作用の少ない癌の温熱治療法ハイパーサーミアの効率的な治療につながると期待される。加えて、塩谷は、様々な分野の研究者と連携することで、新たな分野の大規模計算電磁気学を立ち上げ、コミュニティ形成に中心的役割を果たしている。

本研究領域終了後のこれら研究活動により、我が国の計算科学・計算機科学の知見蓄積、大規模計算資源の開発が進んだ。また、自然科学、工学から人文社会科学まで広範な分野や、学際的な共同研究の促進にもつながった。科学技術の根底を支える本分野では、業績の訴求が難しく、さらにデバイス、システム、ソフトウェア技術が時をおかず素速く進展、陳腐化していく中、様々なチャレンジで我が国の科学技術の確実な底上げがなされ、社会経済への波及や貢献が認められたことは高い評価に値する。

以上