

「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」  
平成 24 年度採択研究代表者

H27 年度  
実績報告書

遠藤 敏夫

国立大学法人 東京工業大学 学術国際情報センター  
准教授

ポストペタスケール時代のメモリ階層の深化に対応するソフトウェア技術

## § 1. 研究実施体制

### (1) 遠藤グループ(東京工業大学)

- ① 研究代表者:遠藤 敏夫 (国立大学法人東京工業大学学術国際情報センター、准教授)
- ② 研究項目
  - ・メモリ階層対応ランタイムの研究開発とプログラミングモデル・アーキテクチャ統合
  - ・メモリ階層対応ダイナミックコンパイル技術の研究開発

### (2) 緑川グループ(成蹊大学)

- ① 主たる共同研究者:緑川 博子 (成蹊大学 理工学部、助教)
- ② 研究項目
  - ・大容量, 高性能を実現する多種多階層型メモリ構成技術と管理手法の研究

## § 2. 研究実施の概要

本 CREST チーム(通称「メモリ CREST」)の研究目的は、ポストペタ時代における科学技術計算の高性能化と大規模化の実現のために、今後ますます厳しくなるメモリウォール問題に対処するソフトウェア技術を確立することである。そのためにアプリケーションアルゴリズム・システムソフトウェア・メモリアーキテクチャの分野にまたがった研究開発を行う。前年度までに引き続き、アルゴリズムの局所性向上、メモリ階層を活用するシステムソフトウェアの研究開発およびメモリアクセスパターンに関するプロファイラ・シミュレータ開発・最適化支援技術開発などを行った。

特に本年度は、一ノードあたり TB 級の問題規模のシミュレーションコードの現実的な性能の実現を目標に、チーム内の知見を統合して、高メモリ階層利用技術を統合した。アクセラレータのデバイスメモリ・ホストメモリ・GB/s 級の高速 Flash デバイスを透過的に活用することにより、GPU による高速演算とノードあたり 192GiB の規模のステンシル計算を実現した。さらに最適化支援の文脈において、ステンシル計算の最適化技術がキャッシュメモリへ与える影響を詳細解析した。

メモリ階層対応ランタイムやソフトウェア・アーキテクチャ技術統合を担当する遠藤グループ遠藤タスクは、上記のような技術統合を下記のように行った。メモリ階層活用ランタイムライブラリ HHRT はこれまで GPU デバイスメモリとホストメモリ間の透過的データスワップ機能を持っていたが、これを緑川グループの知見を得てファイルシステムへ拡張した。また、前年度までに引き続き実アプリケーションにおける技術実証を進め、都市気流シミュレーション・金属樹状結晶シミュレーションにおいて、大規模シミュレーションを高い性能かつ低いプログラミングコストで実現した。

メモリ階層対応ダイナミックコンパイル技術の研究開発を担当する遠藤グループ佐藤タスクは、単一命令セット環境における実行時バイナリ変換に基づくコード変換、フィードバック駆動型ソースコード変換に基づく最適化方式の開発、及び、関連するレイヤとのコデザインによるダイナミックコンパイルシステムの性能チューニングに取り組んだ。また、これらの研究開発の成果の一部であるアプリケーションプロファイリングツールである Exana のループ階層やデータ依存に関するプロファイリング機構のコードを Web で公開するとともに、東京工業大学の TSUBAME2.5 の実験的サービスとして整備し、TSUBAME 利用者に随時利用できる環境を構築した。

主に多種多階層型メモリ構成技術を担当する緑川グループにおいては、フラッシュデバイス (flash SSD) を使い、主記憶の拡張メモリとして利用するため、時間的、空間的局所性を利用したアルゴリズムを導入し、非同期多重 IO による方式と自動最適化機構により、高性能計算で広く用いられているステンシル計算には実用上十分利用できるような環境を実現した。さらに、1 ノードコンピュータ上の主メモリ拡張だけではなく、各ノードに SSD を備えたコンピュータクラスタにおいて、コンピューティングノードに分散するメモリの総容量を超えるサイズのデータを扱う処理も実行できる手法を構築し、初期評価した。

### 【代表的な原著論文】

- Toshio Endo, Yuki Takasaki, Satoshi Matsuoka. Realizing Extremely Large-Scale Stencil Applications on GPU Supercomputers. In Proceedings of The 21st IEEE

International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS 2015), pp. 625-632, Melbourne, December, 2015.

- Yukinori Sato, Shimpei Sato, and Toshio Endo. Exana: An Execution-driven Application Analysis Tool for Assisting Productive Performance Tuning. Proceedings of the 2nd Workshop on Software Engineering for Parallel Systems (SEPS 2015), held in conjunction with SPLASH2015, Pages 1-10, October 2015. (DOI: 10.1145/2837476.2837477)
- Hiroko Midorikawa, Hideyuki Tan "Locality-Aware Stencil Computations using Flash SSDs as Main Memory Extension", Proc. of IEEE/ACM International Symp. on Cluster, Cloud and the Grid Computing CCGrid2015, pp.1163-1168, 2015-5