

TSUBAME 共同利用 平成 24 年度 学術利用 成果報告書

利用課題名 高性能・高生産性を達成する垂直統合型アプリケーションフレームワーク  
英文: High Performance, Highly Productive Application Frameworks

丸山直也  
Naoya Maruyama

理化学研究所計算科学研究機構  
RIKEN AICS  
<http://mt.aics.riken.jp>

邦文抄録(300 字程度) 本課題ではポストペタスケールに向けた最重要課題である「並列性の克服」、「信頼性」、「低消費電力化」の解決に大きく貢献する高生産性垂直統合型ソフトウェアスタックの研究開発を行う。これはスケーラブルマルチスレッドランタイムを基盤としたドメイン特化型アプリケーションフレームワークであり、自動並列化、自動チューニング、耐故障性、電力最適化等の各種技術を透過的に内包する。我々は提案ソフトウェアスタック構成法を流体シミュレーション(CFD)および分子動力学法(MD)を対象として設計し、それらを最新の大規模ヘテロジニアススーパーコンピュータである TSUBAME2 を基盤として設計開発する。

英文抄録(100 words 程度) We develop a vertically-integrated highly productive software stack for achieving parallel, resilient, and power-aware application development. We design the software stack as a domain-specific application framework built on top of a scalable multithreading runtime. More specifically, we develop frameworks for computational fluid dynamics and molecular dynamics applications using large-scale heterogeneous supercomputers such as TSUBAME2.

*Keywords:* 5つ程度 GPGPU, Programming model, high-level framework

## 背景と目的

GPU などのベクトルアクセラレータを共用したヘテロジニアスシステムの重要性は消費電力最適化の重要性と共に今日のペタスケールシステムにおいて広く認識されており、今日の最新 GPU は数千の SIMD コアが搭載されたメニーコアプロセッサであるが、このような多数コアの超高密度実装はポストペタスケール、さらにはエクサスケールの実現に向けてさらなる性能向上に不可欠な技術である。実際に主要プロセッサベンダは小規模スカラコアと大規模ベクトルアクセラレータを統合したヘテロジニアスプロセッサの設計開発を行っていると言われており、2015 年頃のポストペタスケール、2018 年頃のエクサスケールにおいて主流となることが予測される。

上述のアーキテクチャのためのソフトウェアスタックはヘテロジニアスプロセッサのプログラミング、性能最適化、スケーラビリティ、耐故障性、電力効率最適化などの種々の課題を解決し、またそのプログラミングモデルが将来に渡って連続性のある高い生産性を有したも

のでなければならない。今日におけるヘテロジニアスシステム向けソフトウェアスタックではシステムの性能を最大限に引き出すためには複雑かつ煩雑なプログラミングが必要とされ、また将来のアーキテクチャの革新に対する連続性を有しない。さらにソフトウェアスタック全体としては上述のプログラミングモデルの問題に加えて、通信オーバーヘッドの隠蔽や動的負荷分散によるスケーラビリティの達成、耐故障性、電力効率の最適化を実現しなければならないが、そのようなソフトウェアスタックは我々の知る限り存在しない。

本プロジェクトでは、上述したポストペタスケールシステムにおける課題を同時に解決する、新たな垂直統合型ソフトウェアスタックを提案する。ターゲットとするアプリケーションドメインを限定し、そのドメインに対して最適化したアプリケーションフレームワークをシステムソフトウェアおよびアプリケーション研究の専門家の密な協力により設計開発することで、上記課題を高い生産性のもと解決する。

## 概要

上述の目的を達成するために本課題では流体シミュレーション向けフレームワークである Physis の設計、開発を中心に進める。Physis は C 言語を拡張しステンスル計算を簡便に記述可能とするドメイン特化型言語およびそのランタイムから構成される。Physis にて記述したステンスル計算は Physis トランスレータによって各種実行アーキテクチャ向けコードに変換され、プログラマが明示的に並列化や GPU プログラミングを行う必要はない。本課題では Physis の設計の拡張やトランスレータの最適化等を進める。また Physis の実アプリケーションへの適用評価を進める。

## 結果および考察

本課題では Physis の設計、実装として GPU 向けコード生成の最適化、自動チューニング機構試作を行った。Physis は従来から GPU 向けコード生成として CUDA コードの生成に対応していたが、生成されるコードは正しく動作するものの十分に最適化されたものではなかった。本課題において TSUBAME の計算ノードの GPU を用いることによってステンスルおよび CUDA GPU に特有の最適化やその他一般的な最適化をコード生成時に適用するよう拡張した。具体的には多次元配列のオフセット計算の最適化やステンスルループの各種ブロッキング等を実装した。その結果、7 点移流計算や Himeno ベンチマークなどでは人出による最適化コードとほぼ同等の性能を達成できることを確認した。

また、このような最適化の効果は適用されるステンスルに依存するため、最適な最適化の組み合わせは一般的には対象コード毎に異なる。本課題では最適な最適化組み合わせを自動的に選択するために自動チューニング機構の試作を行った。本試作では Physis が持つ最適化の組み合わせを総当り探索によって特定することでユーザが数多くの組み合わせを自ら試行するのではなく、すべて Physis のトランスレータとランタイムによって最適コードの生成が行われる。

Physis のアプリケーション適用性の評価のために、既存気象シミュレーションコードの GPU への移植も進めた。本シミュレーションコードは理化学研究所計算科学研究機構にて京コンピュータを主な対象として開発さ

れているものであり、我々はそれを NVIDIA GPU へと移植した。現在のところ最適化等不十分であるが、今後 Physis を用いた実装およびその性能評価を行う。

## まとめ、今後の課題

(まとめと今後の課題について記載してください。)。本課題では高性能・高生産性を達成するソフトウェアスタックの実現に向けて、その一要素技術であるステンスルフレームワーク Physis の設計、実装を進めた。基本最適化を進め、自動チューニング機構試作を行った。今後は特にアプリケーション適用評価を進め、実問題における有効性の評価を進める。