

連続体力学におけるテンソル・行列演算向けDSL

河合浩志（東京大学） 荻野正雄（名古屋大学）
塩谷隆二（東洋大学） 吉村忍（東京大学）

連続体力学シミュレーション向けのDSLが望まれている。現在、連続体向け近似解法として、差分法に加え、有限要素法、有限体積法などの非構造格子向け解法、メッシュフリーや粒子法などの粒子ベース手法などが広く利用されている。これらに基づく解析システムのソースコードは、主に力学計算および物理計算の2種類のパートより構成される。前者の実装は計算格子の種類に強く依存し、しばしば大規模な連立一次方程式解法を伴う。一方、後者の実装は計算格子や近似解法の種類とは比較的独立であり、節点、セル、要素、あるいは粒子といった基本構成単位ごとに生じる。これは構造、流体、熱、電磁場といった連続体力学分野向けには、3次元テンソルあるいは対応する小規模サイズの行列、ベクトル間での演算パターンとなることが多い。ここに専門分野向けに特化したDSLとそこからのコード自動生成技術を導入することで、コード開発効率の大幅な向上が見込まれることが予想される。

一方、ポストペタスケール時代のHPC環境では、メニーコア、GPUといったアクセラレータあるいはヘテロ構成のCPUが普及することが予想されるが、その結果、解析コードの移植性に問題が生じる。多くの機能を有する汎用コードの場合、実装の大部分が物理計算に集中する傾向があるため、特にこの部分の移植性を将来に渡って確保する必要がある。

著者らはこれまで、オープンソースの汎用連続体力学シミュレータADVENTUREを開発してきた。本研究では、システム実装の多くを占める物理計算部のコード記述に、テンソルおよび小規模行列演算に特化したDSLを導入することを試みる。DSLからのトランスレータは統合数値計算プラットフォームADVENTURE Autoのテンソル・行列演算ライブラリAutoMTと連携することにより、各種HPC環境ごとに高効率なコードを生成する。

発表では、本システムの弾塑性構造解析への適用事例を示す。また、PCクラスタ、T2Kや京コンピュータなど各種マルチコア環境上での性能ベンチマークを行う。

なお、本研究はJST 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」よりご支援を得た。ここに謝意を表す。