

「3次元不均質場での地震波伝播の大規模シミュレーション」成果報告

東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター 古村孝志

研究の目的： 大地震により生まれる地震波が複雑な地下を伝わり、地表に強い揺れを作り出す過程を、運動方程式の FDM 計算により評価する。過去の被害地震の揺れを再現し、将来の大地震の揺れを正確に予測することにより、重要構造物の耐震設計など災害軽減に生かされる。本研究では、ベクトル計算機（地球シミュレータ）向けに開発した、地震波伝播並列計算コード（Seism3D3）の性能評価を T2K スパコン（スカラー型並列計算機）で行うとともに、8000~1000 コア以上の大規模並列計算の実用化を目指したコードの最適化を進めた。

研究の結果： (1) T2K スパコン（スカラーCPU）の性能を引き出すために、ループの分割や、配列の間接参照の抑制など、コードの修正を行った。これにより、2.5 倍の高速化を達成した。(2) Weak Scaling テストを行い、8192 コアまでの良いスケーラビリティを確認した。大きなモデル（1 GB/Core）計算では、8192 コアまで 99%以上の高いスケーリングが得られたが、モデルが小さい場合には、隣接ノード間通信のオーバーヘッドが原因と考えられる、若干の性能低下（15%程度）が起きた(3)大規模計算（ 1.7×10^{10} 格子モデル）において、4096 コアと 8192 コアの計算時間の実測から、並列化率

0.999937、実効性能 6.1TFLOPS を得た。この演算性能は、T2K スパコンの理論性能（9.2GFLOPS/コア）の 8.1%に相当する。(4)このとき、1 コアあたりの実効性能は、地球シミュレータの 1PE あたりの実効性能の 1/6.5 程度に相当することを確認した。

今後の課題： T2K スパコン、スカラー型並列計算機の性能をより一層引き出すために、以下の観点からコードの最適化を一層進める予定である：(1)CPU のキャッシュメモリを有効に活用した、3次元 FDM 計算アルゴリズムの開発、(2)通信データのブロック化やデータ圧縮を活用した、隣接ノード間通信の高速化、(3)OpenMP 等を用いたノード内スレッド並列の利用（現在は、ノード内/ノード間ともに MPI を使用）、(4)メモリアクセスの少ない、新しい FDM 計算アルゴリズム（低次高精度 FDM など）の検討。

