

マルチGPUによる三次元波動伝播シミュレーション

3-D Wave Propagation Simulation using Multi GPU

青井 真^{1*}, 藤井 公輔², 青木 尊之³

Shin Aoi^{1*}, Kosuke Fujii², Takayuki Aoki³

¹防災科研, ²日本SGI株式会社, ³東京工業大学

¹NIED, ²SGI Japan, Ltd, ³Tokyo Tech

近年の非常に高精細なグラフィック性能を支える技術に、プログラマブルシェーダがある。これは、複雑な画像処理を受け持つGPU (Graphics Processing Unit)の処理の一部を必要に応じてプログラミングによりコントロールできる機能のことである。このような機能を、画像処理だけでなく、一般的な数値計算に応用することにより大規模シミュレーションを効率的に行うGPGPU (General Purpose Computation on Graphics Processing Unit)という技術が多くの分野で注目を集めており、重力多体問題や流体問題など膨大な演算を伴うシミュレーションに適用されめざましい成果を上げてきた。

青井・他 (2009年地震学会秋季大会) では、GPGPUを用いることで、差分法による三次元地震動 (波動伝播) シミュレーションが効率的に行えることを示した。食い違い格子による空間・時間共に二次精度の差分演算子による速度-応力型の定式化 (e.g. Virieux, 1984) による差分法シミュレーションプログラムを、NVIDIA社より提供されているCUDA (Compute Unified Device Architecture)を用いた開発環境でGPGPUに対応するコードを開発した。格子数255x256x256 (約1670万格子) の比較的規模の小さなモデルを用いて行ったベンチマークでは、CPU (Altix4 700(Itaninu2, 1.66GHz)) に比べGPU (Asterism Power AQ232に搭載されたTesla D870) では計算時間が1/17.8に短縮された。

実際の地震ハザード評価を行う際に対象となるモデルはより大規模なものであり、単一のGPUによる計算では、メモリ容量、計算速度の両者に関して不十分である。現在一般的なGPGPUボードは最大4GB程度のグローバルメモリを有しているが、すでに数十GBのメモリを必要とする計算が一般的に行われており、今後ともモデルの規模は拡大することを考えれば、この容量は不十分である。また計算速度も、CPU (単一コア) と比較すれば20倍程度のパフォーマンスを有するものの、この速度は小規模なPCクラスタと同程度であり、とても大規模なシミュレーションを行うには十分とはいえない。従って、複数のGPUを用いた、いわゆるマルチGPU環境における並列計算がどの程度のパフォーマンスを持つかが、GPGPUが実用的なシミュレーションプラットフォームになりうるかの最も重要なファクターとなる。GPUはCPUに比較して演算速度は高速であるため、相対的に通信速度が遅く、GPU間の通信がボトルネックになることが考えられる。

本研究では、青井・他 (2009年) の手法を、MPI(Message-Passing Interface)を用いてマルチGPUに拡張し、その並列化性能の検証を行う。モデルを深さ方向に分割して各GPUに割り付け、差分演算を行う。各分割領域の接続面では隣接する領域の格子点の変数値が必要となるためGPU間の通信により必要な変数を取得するが、GPU間の通信は直接行うことは出来ないためPCI Express Busを介して一度メインメモリに転送後、MPIによりプロセス間 (ノード内あるいはノード間) 通信を行うことになる。今回はTesla D870が搭載されたAsterism Power AQ232からなるクラスタを用い並列化効率を検証した。4台のGPUを用いた計算では単一GPUの場合に比べ、演算時間は1/3.1に短縮された。これは、CPUでの並列計算に換算すると50コア程度の演算速度に相当し、安価なシミュレーション環境としての将来性が期待される。今回の検証は単純化のた

めにモデルを深さ方向のみに分割したために比較的多くのGPU間通信が必要であり並列化効率はそれほど高くない。そのため、水平方向にも分割を行い通信量の最適化を図る必要がある。また、通信と計算を同時に行うことで見かけ上通信に必要となる時間を隠蔽するなどの工夫により、より並列化効率の高い手法の開発を予定している。

キーワード: GPGPU, マルチGPU, 並列計算, 波動伝播シミュレーション, 差分法, 地震ハザード評価

Keywords: GPGPU, Multi GPU, parallel computing, ground motion simulation, FDM, seismic hazard evaluation