

高解像度 LES 計算の GPU による計算加速

二星 義裕* (筑波大学システム情報工学研究科) 朴 泰祐 (筑波大学システム情報工学研究科)

池田 亮作 (筑波大学生命環境科学研究科) 日下 博幸 (筑波大学生命環境科学研究科)

1. はじめに

近年, GPU (Graphics Processing Unit) の持つ高い浮動小数点演算処理能力と高いメモリバンド幅が注目され, GPU をグラフィックス計算以外の汎用計算に用いる GPGPU (General-Purpose GPU) の研究が盛んに行われている. 汎用 CPU と比べ GPU は非常に高い並列性・演算性能・メモリ転送性能を備えていることから, 数値流体力学をはじめ, 分子動力学, 重力多体計算や高速フーリエ変換など GPU を利用した研究が精力的に進められている. 大量の演算と高いメモリバンド幅が求められる気象計算の分野においても, GPU を利用する取り組みが開始されている. すでに, 工学系の数値流体力学モデルとしての LES モデル (Large Eddy Simulation) 1) や気象庁が開発を進める次世代気象計算のプロダクション・コード ASUCA の力学過程を含むコードを GPU 化が行われている 2). 一方, 複雑な地形を対象とした LES 気象モデルの GPU 化はほとんど例がない. そこで本研究では筑波大学計算科学研究センターで開発されている複雑な地形の効果を取り入れた一般曲線座標系による LES 気象モデル 3) を GPU に対応させる.

2. LES 気象モデルの GPU 化

本研究で扱う気象モデルを高速化するため, まずコード内の各サブルーチンが占める実行時間をプロファイリングした. 今回, プロファイリング結果に基づき, 実行時間の上位の占めるサブルーチンである各格子の圧力勾配の計算について GPU に対応させ高速化する. プロファイリング結果より計算時間の大部分を占める主要な処理は `bicgstab` と主にステンシル計算から成り立つ `gradient_cell_center_surface` と `gradient_cell_surface` 処理である. しかし, `bicgstab` は他の関数と違い, ステンシル計算ではないことから並列 GPU 化が難しい. 一方, `gradient_cell_center_surface` はステンシル計算であり, 比較的容易に実装できる. また同様の計算として `gradient_cell_surface` の実装が容易である. 今回, まずこれらの2つの処理を GPU に対応させる. しかし, これらの2つの処理は CPU と GPU のデータ転送が発生するため, 大きなオーバーヘッドとして現れる可能性がある. そこで, データの局所性を活かすよう `bicgstab` を除く主要部分についても GPU 化を行った.

3. 性能評価

図1にLES全実行時間のCPUとGPUの比較を示す. 縦軸は実行時間, 横軸は問題サイズを表す. 問題サイズ N は $imax_jmax_kmax$ とし, ここでは, $kmax=102$ と固定し $imax$ と $jmax$ のサイズを変化させた場合の実行

時間の変化を示している. なお, GPU の global memory の容量が 3GB であるため, GPU 上で実行できる $imax$, $jmax$ の問題サイズは 132 までに制限される. 評価を行った全ての問題サイズにおいて性能向上が得られた.

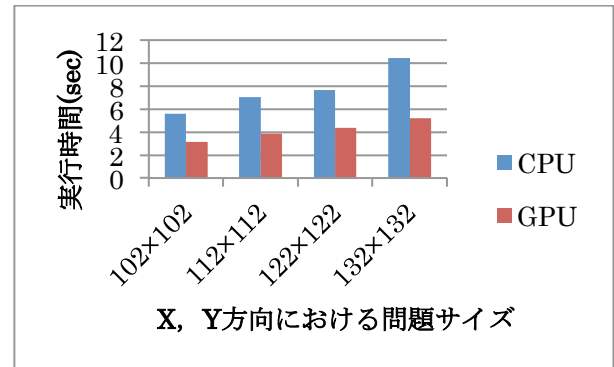


図 1 性能評価結果

4. おわりに

本稿では, 複雑地形を取り入れた気象モデルを対象とした LES 計算において, 計算負荷の高い関数を GPU への対応を行った. 評価より最大 1.9 倍の向上が得られたが, CPU による実行のプロファイル結果から推測すると, これらの処理が全実行時間に占める割合は元々 70% 程度であることから, 速度向上は 3 倍程度が限界である. 従って, 今回 GPU 化の対象外とした `bicgstab` 処理についても GPU 化を行う必要がある. また, 対象問題サイズが GPU の global memory 容量で制限されるため, 解像度の高い大規模 LES 処理を行うために, MPI などを用いた並列化が必須である. 大規模 GPU クラスタにおける実装と評価を行っていくのが今後の課題である.

参考文献

- 1) 小野寺直幸, 青木尊之, 小林宏充: GPU によるラージエィ・シミュレーションの高速化, 流体力学会年会 2010, 日本流体力学会. Dec. 2010.
- 2) 下川辺隆史, 青木尊之, 石田純一, 河野耕平, 室井ちあし: メソスケール気象モデル ASUCA の TSUBAME2.0 での実行, 日本流体力学会第 24 回数値流体シンポジウム講演予稿集. Dec. 2010.
- 3) 池田亮作, 日下博幸, 飯塚悟, 朴泰祐: 一般曲線座標系による並列 LES モデルの開発, 日本気象学会 2011 年度春季大会講演予稿集. May. 2011.