

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), 池田 亮作 (筑波大学生命環境科学研究科)
朴 泰祐 (筑波大学システム情報工学研究科), 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. 気象計算の分野においても, 計算を高速に実行する要求は非常に高い. 東京工業大学学術国際情報センターでは, 工学系の数値流体力学モデルとしての LES モデル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 化されている. 一方, 空間を詳細に分解した都市気象モデルの GPU 化は, ほとんど例がない. そこで, 空間分解能 10m の Large Eddy Simulation (LES) モデルをベースにした都市気象モデルを GPU 化することを目的とする.

2. 都市気象モデル

東京工業大学の青木らによる研究では気象計算の GPU 化を行なわれ, 高い高速化を実現している. これにより, 気象分野における GPU 支援の有効性が示されている. また近年, 都市のヒートアイランド研究など気象モデルの高解像度計算の一手段として LES が注目されている. LES 計算は, 理想計算を対象としてきたため地形の導入はなく地面は平坦であるものが多い. 一方, 複雑な地形の効果を取り入れた気象モデルを筑波大学の池田らによってスーパーコンピュータ T2k-Tsukuba 上で開発されてきた. しかし, 計算のコストが高いため, 結果が出るまでに長い時間がかかってしまう. そこで, 本研究では共同開発により池田らの開発した気象モデルを GPU によって計算を加速することによって処理時間の短縮を実現する.

3. GPU による高速化の検討

LES における流体計算は基本的にいわゆるステンシル計算であり, 領域分割法における内点計算と境界データの交換のコスト比率の観点から, GPU のような加速演算装置を使うメリットがあり, CPU に比べ大幅な高速化が期待できる. 本研究で扱う気象モデルの高速化を行うため, まずコード内の各サブルーチンが占める実行時間のプロファイリングを行った. プロファイリングの結果に基づき, 実行時間を占める上位のサブルーチンの一つである各格子状の圧力勾配の計算について今回 GPU を用いて高速化を行う.

4 性能評価

図 1 は CPU で実行した場合と GPU で実行した場合の比較図である. また, GPU は CPU と GPU のデータ転送を含む. 縦軸に実行時間を取り, 単位は sec(秒)である. 横軸は, 問題サイズの大きさを表す. $N = \text{imax} \times \text{jmax} \times \text{kmax}$ とし, ここでは, $\text{kmax} = 102$ と固定し imax と jmax を横軸の大きさにとっている. 図 7 から CPU は, 問題サイズの増加に伴い大きく実行時間が増加しているのに対し, GPU は, 比較的緩やかに増加していることから, GPU が CPU に比べ有効であることがわかる. また, GPU の実際の計算とデータ転送について検証を行った. 図 8 は, 横軸に問題サイズ, 縦軸に全実行時間の割合を表している. 図 8 から, GPU->CPU 間におけるデータ転送時間が全実行時間において大きな割合を占めていることがわかる. 今後, さらなる高速化を行うためには, GPU->CPU 間におけるデータ転送時間を減らす必要がある.

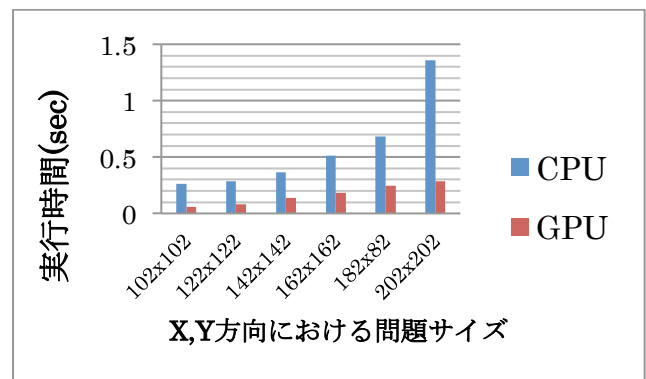


図 1 : 問題サイズの変更による処理時間

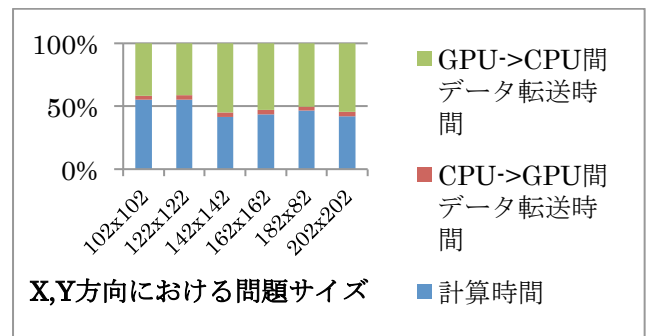


図 2 : GPU の各実行の割合

6. 今後の課題

プロファイリングに基づいた計算負荷の高いモジュール計算負荷の高いモジュールの内の一つに関してだけ GPU 化を現在行っただけなので, 残りのモジュールに関しても GPU 化を積極的に行い, 全体でどのくらい高速化が出来たのかの性能評価を今後行う予定.