

複雑地形・都市を対象とした並列版 LES モデルの開発

Development of Large Eddy Simulation Model written in the Parallel Computational Code for Complex Terrain and Urban Areas

日下博幸

筑波大学 計算科学研究センター

1. 研究目的

気象学分野の数値シミュレーションモデルは、地球全体を対象としたモデル、日本などの地域を対象としたモデル、そして、都市街区や複雑地形上などのより狭い範囲を対象としたモデルの3つに大別される。このようなモデルは、大気境界層の乱流全てをパラメータ化して扱う RANS モデルと小規模な乱流だけパラメータ化して大規模な乱流については直接計算する Large Eddy Simulation (LES) モデルに大別される。

本研究センターでは、気象学分野と建築工学分野の両方の技術を取り入れることで、都市域や複雑地形上でも利用可能な独自の LES モデルを開発してきた。さらには、コンピュータサイエンス分野との共同研究により、MPI+OpenMP 並列による高速化も実現させてきた。

平成30年度は、これまで開発してきた City-LES の Oakforest-PACS での実装をさらに進める。さらなる開発としては、これまで City-LES の課題だった WRF モデルとの結合を引き続き行う。また、新たにデータの出力部分の高速化に取り組む。これらとは別に、City-LES の公開に向けたコードとユーザマニュアルの整備も行う。最後に、LES の今後の改良に向けて OpenForm で風車翼を全解像したモデルでの風車周りの風況シミュレーションを行い、風車後方流れの詳細なデータを作成する。

2. 研究成果の内容

本センターの地球環境研究部門と高速計算システム研究部門で共同開発してきた都市気象 LES (City-LES) は、これまで主として COMA を用いて計算してきた。平成30年度は、COMA に加えて Oakforest-PACS を用いた計算も行なった。

LES ではポアソン方程式の解法の負荷が高い。そこで、マルチグリッド前処理付き Orthomin(1)法を採用し高速化に取り組んだ。また、LES では、時々刻々と変化する大気の状態を高頻度に出し解析する必要があるため、出力部分の負荷も高い。City-LES の場合では、ファイル入出力の最適化では MPI-I/O による netCDF 形式出力に対応させていたが、データの書き出し時間が計算時間全体に占める割合が大きいという課題はいぜんとして残っていた。平成30年度は、Oakforest-PACS に搭載されている高速ファイルキャッシュシステムを用いて I/O 負荷の軽減を行い、最大で 25 倍の高速化を実現した。

WRF と LES の結合計算は、WRF の計算結果を LES の境界条件として使用し、WRF では計算できない高解像度計算を行うものである。これによって周期境界条件によって乱流成分を作る理想化実験だけでなく、より現実的な場での計算が可能となった。ただし、大気の状態によっては、WRF と LES の温度差によって重力波が発生するなど、課題は残った。

本センターで開発している City-LES は、温暖化とヒートアイランドによる都市暑熱環境悪化に対する適応策など（たとえば、都市緑化、風の道の確保など）に資すると期待されている。そこで、今年度は初心者向けのユーザマニュアルの充実に努めた。具体的には、City-LES 実行のために必要な設定ファイルの説明を充実させ、初心者でも利用できるようにした。また、都市気象シミュレーション特有である土地利用データの入力方法などの説明も追加した。

そのほか、東京の熱環境シミュレーションや OpenForm を用いた風車周りの風況シミュレーションを実施した。また、LES による乱流構造データベース作成のための計算と大規模並列環境における乱流構造解析システムの開発を開始した。

以上のように、全体的にはコードとマニュアルの改良・整備を行った年となった。

3. 学際共同利用として実施した意義

City-LES の出力部分の高速化は、OFP の高速ファイルシステムの利用によって実現した。これは、学際共同利用を活かした成果と言える。また、ポアソン方程式求解の高速化に関して、コンピュータサイエンス分野の多田野助教と連携して進め、解法としてマルチグリッド前処理付き Orthomin(1)法を採用し検証を行った。別途、朴教授とも City-LES の GPU 化で連携を行っている。これらの気象学分野とコンピュータサイエンス分野の連携は、学際共同利用の長所を活かした成果である。

4. 今後の展望

大気の状態によるが、メソスケールモデル WRF とのネスティングが課題として残っている。この課題を克服する必要がある。WRF-LES のネスティングの際、格子ギャップが存在する。これを緩和するためには、両者の橋渡しをするやや低解像度の LES が必要となる。都市気象 LES の場合、解像度を粗くすると建物を解像できなくなるという問題があらたに発生する。建物をパラメータ化したモデルを City-LES に導入する必要がある。

また、City-LES の OFP や Cygnus での実績は COMA に比べて十分とは言えない。実際のシミュレーションを数多く行い、City-LES の一般公開に向けて、問題点を洗い出す必要がある。同時に、ユーザマニュアルやデータの入出力部分の改良によるさらなるユーザフレンドリー化も必要であろう。

5. 成果発表

(1) 学術論文 0

(2) 学会発表 0

(3) その他 0

使用計算機	使用計算機 に○	配分リソース※	
		当初配分	追加配分
COMA	○	75,000	
Oakforest-PACS	○	95,000	
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。			