

## 都市・ウィンドファームを対象とした並列版 LES モデルの開発と

### 応用

#### Development and application of Large Eddy Simulation Model written in the Parallel Computational Code for Urban Areas and Wind Farms

佐藤 拓人

生命環境科学研究科 地球環境科学専攻

#### 1. 研究目的

Large Eddy Simulation(LES)は都市気象の研究において、ヒートアイランドの基礎研究、都市で発生する豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）発生前の熱対流の構造や、局所的な暑熱環境の計算等に注目されている。また、ビル風や局地的な風況解析においても、LES による研究が着目されている。

本研究では、次世代の建物解像都市気象 LES モデルの開発・計算高速化を Oakforest-PACS を利用して行う。本モデルは、気象分野と工学分野の双方の技術を取り入れたモデルであり、気象の物理過程の他、建物解像かつ街路樹一本一本の効果も考慮可能な新たな LES モデルである。開発した LES モデルを用いて、従来の気象モデルでは計算できないような時間・空間スケールの小さい現象のシミュレーションを実施し、それぞれの現象の乱流構造や発生過程の解明に取り組む。

#### 2. 研究成果の内容

2019 年度までに、COMA 及び Oakforest-PACS を利用し、建物解像都市気象 LES モデルの開発・計算高速化を行ってきた。例えば、WRF-LES ネスティングと LES-LES ネスティングを可能にするためコードの改良を行った。これによって理想条件のみ(周期境界条件)の計算だけでなく、より現実的な場での計算や、LES 計算領域内でさらに高解像度計算をする領域を設けることを可能にすることが期待できる。また、HPC 分野と連携し、Oakforest-PACS の高速ファイルキャッシュシステムを利用した乱流解析ワークフローの検討も行った。

2019 年度は、開発の点では、昨年度までに実装した機能に加えて、人工排熱の影響を考慮できるよう改良を行った。これにより、都市内建物の詳細な力学的影響だけでなく、熱的な影響を考慮したシミュレーションが可能になった。また、コードの公開に向けたコード整備やマニュアル整備も継続した。応用の点では、実際の都市を対象に建物解像シミュレーションを行い、実都市上空にできる雲の発生に関する建物効果を検討した。これは、近年社会的にも関心が持たれている、都市で発生する豪雨(いわゆるゲリラ豪雨)発生時の都市の熱的・力学的影響の議論につながるものである。また、LES で再現された熱的乱流の構造解析のために、Oakforest-PACS に搭載されている高速ファイルキ

キャッシュシステムを用いて LES と解析アプリケーションを連結したワークフローを提案した。これにより、通常の並列ファイルシステムを用いる場合と比べて約 2 倍以上解析を高速化した。さらに、風車の影響を LES 中で表現するため、風車モデルの検討も行った。

### 3. 学際共同利用が果たした役割と意義

本研究の目的は、建物解像の次世代の LES 気象モデルの開発と、開発した LES モデルを用いた都市気象計算を行うことであり、実際の都市を対象とした計算や人工排熱など建物効果の評価・検証を行うための計算など、非常に高コストの計算を実行できた。また、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た I/O 部分の高速化や、大規模乱流構造解析システムの開発、大規模並列環境での実行を想定したさらなる改良や GPU 対応コードの開発などは、HPC 分野との連携が不可欠であるため、学際共同利用として実施する意義は大きかったと言える。

### 4. 今後の展望

今後は、今年度実装した人工排熱のさらなるテスト計算や、実都市での影響評価を行う。また、機能の拡張等を主として CPU 版で行っているため、GPU 版との同期を図る必要があるため、これについても取り組む予定である。また、乱流構造ワークフローを利用して、大規模な熱的乱流の解析を継続して行うことで、現在よく使用されている気象学 RANS モデルの再現精度の向上にも寄与できると期待できる。

### 5. 成果発表

#### (1) 学会発表

[査読あり国際会議]

Takuto Sato, Osamu Tatebe, Hiroyuki Kusaka, "In-situ Data Analysis System for High Resolution Meteorological Large Eddy Simulation Model", 6th IEEE/ACM International Conference on Big Data Computing, Applications and Technologies (BDCAT'19), pp. 155-158, 2019

#### (2) その他

高速ファイルキャッシュシステムを利用した大規模乱流構造解析ワークフローの開発, OFP 利活用報告会, 東京大学柏の葉キャンパス, 2019年10月

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
Cygnus			
Oakforest-PACS	○	112,500	20,000
※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。			