

# 都市を対象とした気象学 LES モデルの開発と応用 Development and Application of Large Eddy Simulation Model for Urban Areas

佐藤拓人

筑波大学計算科学研究センター

## 1. 研究目的

本課題では、建物解像都市気象 Large-eddy simulation モデルの開発と応用を、Wisteria/BDEC-01 システムと Cygnus システムを用いて行う。特に本年度は、(1) LES の計算条件の拡充のための開発・検証、(2) 暑熱環境緩和策の検討に資する都市熱環境・街区内風況計算、(3) 理想的な熱対流場における乱流の構造解析、(4) GPU コードと CPU コードの同期を行う。

## 2. 研究成果の内容

(1) LES の計算条件の拡充のための開発・検証では、地表面温度の尤もらしい初期値を得るためのスピニアップ機能の検証と、流入境界における乱れ生成方法の開発を行なった。スピニアップ機能は昨年度から実装している機能で、本年度はその検証のため、ヘリコプターから撮影された熱画像と LES によって計算された表面温度を比較した。その結果、LES は表面温度の空間分布をある程度よく再現できることが確認された。しかし、表面温度のばらつきの再現はまだ改善の余地があることがわかった。流入境界における乱れ生成手法では、昼間の対流が活発な場合でも適用可能な乱れ生成手法を開発した。この手法は既往の手法よりも風上境界近くから尤もらしい乱れを生成できた。また、気象学分野と CFD 分野で利用されている乱れ生成手法を比較し、両者の特徴を整理した。

(2) 暑熱環境緩和策の検討に資する都市熱環境・街区内風況計算では、東京丸の内エリアを対象としたシミュレーションを行い、現地観測の結果と比較してモデルの精度検証を行なった。この際、先に述べたスピニアップ機能や乱れ生成を含む流入境界条件を用いた計算も試験的に行なった。精度検証の結果、LES モデルは現地観測で得られた都市内の温度や暑さ指数の空間分布をよく再現できていることがわかった。特に、開発した乱れ生成法やスピニアップを用いることで、より観測を再現できる可能性があることがわかった。

(3) 理想的な熱対流場における乱流の構造解析では、熱対流の効果の検討に先立って、理想化した都市内の流れのシミュレーションを行い、乱れの特徴的な空間スケールと都市の幾何的パラメータとの関係を調査した。その結果から、建物の高さや道路幅を組み合わせた新たなスケールパラメータを提案した。

(4) GPU コードと CPU コードの同期では、特に格子点が多くなりやすい都市熱環境シミュレーションに関わる機能のうち、温熱要素の計算やドライミストなど CPU 版で開発を進めてきた機能のいくつかを GPU 版でも使用可能にした。

### 3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本研究は建物解像都市気象 LES モデルの開発と応用を目的としている。特に応用部分では、実都市を対象とした計算のために理想的な条件の計算よりも多数の格子点をとって計算を行うことが多い。そのため、GPU 版の開発や、大規模な計算機システムにおける実行が計算可能な問題の幅を広げ、多様・多数の計算を可能とする。特に GPU 版の開発は HPC 分野との連携によって進められたものであり、現在でも保守を続けていることから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。また、特に乱れの解析のように時空間的に大きなデータを用いるような研究も実現できており、学際共同利用によって得られた大規模な計算資源が非常に重要であったと言える。

### 4. 今後の展望

今後は、本年度と同様にコードの公開に向けた整備を継続する予定である。乱れ生成を含む境界条件の開発では、本年度提案した手法が実都市に対しても適用できるかを調査する予定である。また、GPU 版への同期も順次行なっていく予定である。

### 5. 成果発表

- (1) 学術論文
- (2) 学会発表

Hiroyuki Kusaka, Takuto Sato, Ryosaku Ikeda, Satoru Iizuka, Taisuke Boku, 2022, City-scale Large Eddy Simulation Model (City-LES) to Propose Better Adaptation Strategies for Heat Stress Mitigation in Urban Areas, AOGS 2022, online, 2022/08

Hiroyuki Kusaka, Ryosaku Ikeda, Takuto Sato, Taisuke Boku, Satoru Iizuka, Development of the City-Scale Large Eddy Simulation Model (City-LES) for Evaluating Heat Stress Mitigation Measures, JpGU 2022, online, 2022/05

Hiroyuki Kusaka, Ryosaku Ikeda, Takuto Sato, Satoru Iizuka, Taisuke Boku, New Version of the City-scale Large-Eddy Simulation Model (City-LES) to Propose Better Adaptation Strategies for Uncomfortable Thermal Environment in Urban Areas, online, UGI-IGU 2022, 2022/07

佐藤拓人, 日下博幸, 2022: 対流境界層内の流れの LES のための流入境界条件の相互比較, 第 36 回数値流体力学シンポジウム, オンライン, 2022/12

佐藤拓人, 日下博幸, 2022: 対流境界層を対象とした Large-eddy simulation のため

の流入境界条件の相互比較, 第 24 回非静力学モデルに関するワークショップ, つくば, 2022/12

日下博幸, 池田亮作, 佐藤拓人, 2022: 都市気象 LES モデル(City-LES)の精度検証, 第 24 回非静力学モデルに関するワークショップ, つくば, 2022/12

佐藤拓人, 日下博幸, 中村祐輔, 2022: 建物データの精度が LES モデルによる暑熱環境評価の精度に及ぼす影響の調査, CSIS days 2022, オンライン, 2022/11

佐藤拓人, 日下博幸, 2022: 対流境界層を対象とした LES のための流入境界条件の検討, 第 1 回都市極端気象シンポジウム(第 18 回台風研究会), 京都, 2022/09

日下博幸, 佐藤拓人, 池田亮作, 朴泰祐, 飯塚悟, 2022: 筑波大学で開発した都市街区気象 LES(City-LES)の精度検証, 第 1 回都市極端気象シンポジウム(第 18 回台風研究会), 京都, 2022/09

| 使用計算機                       | 使用計算機に<br>○ | 配分リソース※ |      |
|-----------------------------|-------------|---------|------|
|                             |             | 当初配分    | 追加配分 |
| Cygnus                      | ○           | 14,000  |      |
| Wisteria/BDEC-01            | ○           | 170,000 |      |
| ※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。 |             |         |      |