

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

日本原子力研究開発機構

1. 研究目的

本研究では、建物解像気象 LES モデル(City-LES)の開発・整備・応用・高速化を行う。今年度は特に、(1) LES の計算条件の拡充のための開発、(2) 暑熱環境緩和策に資するような都市熱環境・街区風況計算および検証実験、(3) 理想的な熱対流場における乱れの解析、(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)の計算条件の拡充のための開発では、相対的に粗な解像度の予備計算を行いその結果を本計算の境界条件に用いるネストダウン機能を整理した。昨年度までに取り組んでいた日中の対流活発な境界層を対象とした手法は、境界層厚さをパラメータとして利用するものであり夜間の安定境界層への適用は難しい。そのため、事前計算によって安定境界層の乱れをある程度再現し、それを直接境界条件として用いることを検討した。(2)の暑熱環境緩和策に資する計算では、本課題で開発している City-LES に加えて、その他の機関の都市熱環境シミュレーションモデルを用いた数値実験を行うことで、特に都市街区内の暑熱環境の再現性の相互比較を行なった。(3)の理想的な熱対流場における乱れの解析では、建物による乱れと熱的な乱れが混在する場の解析の足掛かりとして、2023 年度までに取り組んでいたモード分解手法を援用し、都市ヒートアイランド循環と熱対流という時空間スケールの異なる 2 つの現象の分離を試みた(Sato et al., 2024)。また、物質拡散分野で用いられている大気安定度区分に対応する乱れ生成が可能な計算設定に関する実験的な検討も行なった(Sato and Nakayama, 2024)。(4)の GPU コードと CPU コードの同期では、筑波大学 CCS 高性能計算システム研究部門の協力を受け、CPU 版で更新していたドライミストの気温低下を計算するルーチンの GPU 対応を行なった。また、GPU 版・CPU 版に共通して実行時間が長かった初期化部分に関しても、同部門の協力のもと OpenMP による最適化を施した。

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、建物解像気象 LES モデルの開発・応用を目的としている。特に実都市周りの計算や、理想化した多数の条件による計算は計算時間や格子点数が増大しやすく、計算負荷が大きくなりやすい。そのため、GPU 対応をはじめとした最適化は計算可能

な問題の幅を広げ、かつ研究の効率化を図ることができる。このような技術は HPC 分野との連携によって進められるものであり、学際共同利用として実施する意義は大きい。また、大規模な計算リソースがあることで、乱流解析をはじめとした時空間的に大きなデータ解析にも役立てることができ、データ駆動型モデリングのような LES モデルの様々なユーズケースに対応できている。この点に関しても、学際共同利用によって得られた計算資源が不可欠であったと思われる。

4. 今後の展望

計算条件を拡充するための流入乱れ生成法の検討では、引き続きネストダウン機能を中心に、安定大気中の乱れ生成の手法の確立を目指す。乱流解析に関しては、モード分解手法を用いて、低い計算コストで LES のデータベースを効率的に利用する手法を検討し、乱れを含む時空間詳細な場を簡便に再現できる手法を検討する予定である。

5. 成果発表

(1) 学術論文

Sato, T., H. Hino, and H. Kusaka, 2024: Separating urban heat island circulation and convective cells through dynamic mode decomposition. *Atmospheric Science Letters*, e1279

Sato, T., and H. Nakayama, 2024: Numerical simulations of convective boundary layers under different stability categories of the Pasquill-Gifford chart. *SOLA*, 20, 371-377.

(2) 学会発表

佐藤拓人, 中山浩成, 2024: LES モデルによるパスキル-ギフォード図の安定度区分に基づく対流境界層の数値シミュレーション. 第 38 回数値流体力学シンポジウム, 東京, 2024/12

(3) その他

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus	○	7,680	-6,200	
Pegasus	○	4,800	+3,100	
Wisteria/BDEC-01	○	160,000		
※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。 * バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				