

建物配置が都市境界層の乱流と熱輸送に与える影響
 Impacts of Building Arrangements on Turbulent Flows and Heat Transfer in Urban Surface
 Boundary Layers

○丹治星河・竹見哲也・DUAN Guangdong
 ○Seika TANJI, Tetsuya TAKEMI, Guangdong DUAN

In this work, we simulated the turbulent airflow and heat transport in two business districts in Osaka using a building-resolving large-eddy simulation model. No-heating and heating experiments in which building surfaces emitted uniformly heat flux were conducted in both areas. Comparing the results of the two districts, streamwise wind velocity, momentum flux, heat flux, and potential temperature indicated clearly different profiles, owing to the difference in the building arrangement of the two districts. For example, the wind speed in one area was clearly weakened behind the high-rise buildings and the upper level on the area had large heat flux and potential temperature, in the district having higher buildings, larger building height variability and building density than in the other area. By modifying the building height variability and building density in one area, the same experiments were conducted to investigate factors for causing the above features. The simulation in the modified areas displayed that building height variability and building density at higher levels were important to warm the air at upper levels.

1. はじめに

接地境界層の乱流の生成要因には、熱的生成と機械的生成の2種類がある。都市部の建物は、人工排熱の熱源であることに加え、風の流れに対する障害物でもある。よって、建物の密度や高さのばらつきといった建物配置は、乱流の生成とそれに伴う熱輸送の重要な役割を果たすと考えられる。建物配置が熱輸送に与える影響を陽に推定するためには、建物解像 Large-eddy simulation (LES)モデルを使用した数値シミュレーションが有用である。先行研究では、建物解像 LES モデルを用いて実都市における中立条件下の気流の計算[1],[2]や、理想的な粗度ブロックからの排熱による熱輸送の計算[3],[4]が行われてきた。しかし、実都市における熱輸送の計算に関する研究は少ない。そこで、本研究では、建物解像 LES モデルを用いて建物からの排熱に伴う実都市の熱輸送をシミュレーションすることにより、建物配置が接地境界層内の熱輸送に与える影響について調べることを目的とする。

2. 手法

本研究では、建物解像 LES モデルとしてドイツのハノーファー大学が開発している PALM[5]を使用した。このモデルでは、非静力・非圧縮下で、ブシネスク近似を施したナビエ・ストークス方程式を解く。Sub-grid scale 乱流モデルは、Deardorff

(1980)[6]の 1.5 次スキームとした。初期場として $0.6 \times 10^{-3} \text{ Pa m}^{-2}$ の圧力傾度を与え、温位は 300 K で一様とした。モデルの水平格子間隔は 2 m, 鉛直方向は最小間隔 2 m, モデル上端高度 491.7 m の全 82 層である。はじめに、流入変動風を生成するための事前計算として、流入出面を周期境界条件とした計算を 21,600 秒行った。その後、事前計算で計算した風分布を初期値としてメインの計算を 3,600 秒行った。計算領域の大きさは周囲の粗度ブロックを含めて事前計算が 672 m×542 m, メインの計算が 672 m×1184 m であり、計算対象は大阪駅周辺(OS)と京セラドーム大阪周辺(KD)の2か所である(図 1)。OS のほうが建物の平均高さが2倍以上高く、建物高さのばらつきが大きいという特徴がある。加えて、どの建物配置のパラメータが乱流や熱輸送に影響を与えるのか調べるために、OS 内の建物配置を変更した2つの領域でも実験を行った。一つは、KD と同じ建物高さのばらつきとなるように高い建物を低くした領域(V-OS1)と、もう一つは KD と同じ建物密度となるように建物の一部を削除した領域(V-OS2)である。実験の種類は2つで、排熱なし実験と、すべての建物の表面から $0.02 \text{ K}\cdot\text{m/s}$ の熱を放出する実験を4つの計算領域でそれぞれ行った。

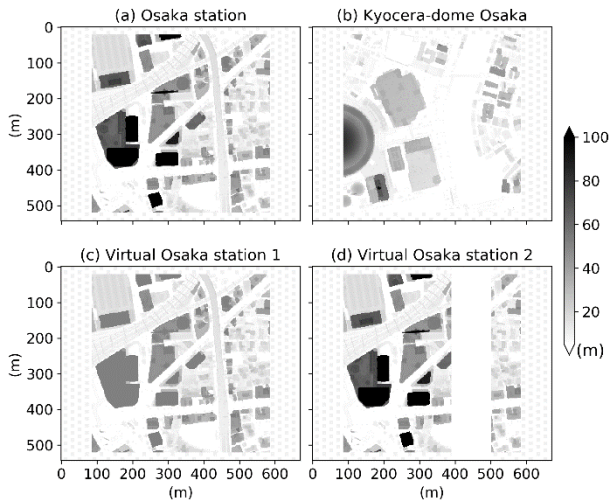


図 1 計算対象領域の建物の高さを陰影で表す。(a) 大阪駅周辺 (OS), (b) 京セラドーム大阪周辺 (KD), (c) 大阪駅周辺を改良した領域 1 (V-OS1), (d) 大阪駅周辺を改良した領域 2 (V-OS2)。

3. 結果

図 2 は、時空間平均を施した主風向の風速、運動量フラックス、熱フラックス、温位の鉛直プロファイルの結果を OS と KD の領域について示している。排熱なし実験とあり実験とを比較すると、排熱あり実験のほうが運動量フラックスの絶対値が大きく、その差は OS のほうが大きいことがわかる。風速は排熱の有無で差が小さいが、領域間で比べると、KD のほうが OS より高さ 20 m~190 m で主風向の風速が大きい。熱フラックスおよび温位については、OS のほうで両値が大きく、特により上空は OS のほうが暖められていることがわかる。図 3 は図 2 と同様のプロファイルをも、OS, V-OS1, V-OS2 領域について描画している。建物高さのばらつきが小さい V-OS1 領域で風速が強まっている様子から、KD のほうが OS より風速が強まった原因は、建物高さのばらつき小ささにあると考えられる。熱フラックスについては、V-OS1 でピークが顕著であり、このピーク高さ以上では温位が急激に小さくなっていることがわかる。一方、建物密度の小さい V-OS2 は、地表付近の温位が小さいものの高さに伴う温位の減衰は小さく、高さ 120 m 以上で OS とほぼ同じ鉛直分布となった。これは、削除した建物のほとんどは高さ 100 m 以下であったことが原因と考えられる。以上より、より上空の暖まりには、建物高さのばらつきが大きいことと、上空の建物密度が大きいことが重要であるとわかる。なぜなら、建物高さのばらつき

が大きい場合は建物が効率よく風の流れを遮り、熱の拡散を弱めるからであり、上空の建物密度が大きい場合は、上空を暖める熱源が多くなるからである。

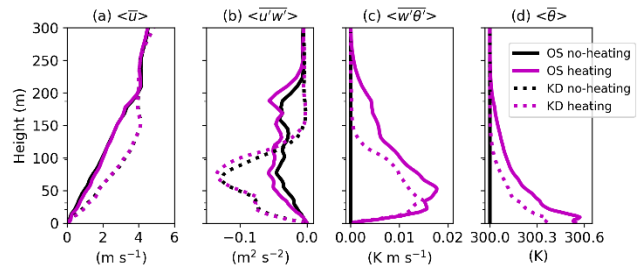


図 2 OS および KD 領域における (a) 主風向の風速、(b) 運動量フラックス、(c) 熱フラックス、(d) 温位の時空間平均の鉛直プロファイル。

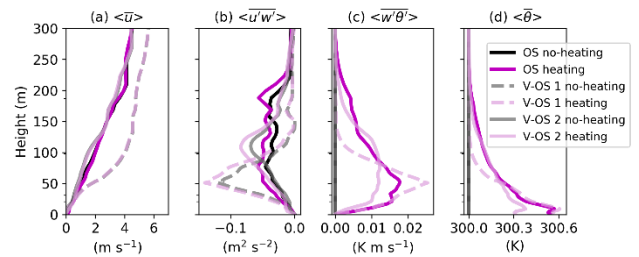


図 3 OS, V-OS1, V-OS2 領域における (a) 主風向の風速、(b) 運動量フラックス、(c) 熱フラックス、(d) 温位の時空間平均の鉛直プロファイル。

4. 参考文献

- [1] Yoshida et al., 2018, Bound.-Layer Meteor., 168(1), 127–153.
- [2] Duan, G., et al., 2023, Build. Env., 229, 109907.
- [3] Park, S., B., and Baik, J., J., 2013, J. Applied Meteor. Climat., 52, 1348–1365.
- [4] Wang, W., et al., 2021, Build. Env., 191, 107586.
- [5] Maronga, B., et al., 2020, Geosci. Model Dev., 13(3), 1335–1372.
- [6] Deardorff, J., W., 1980, Bound.-Layer Meteorol. 18, 495–527.