

持続的な安全社会の構築に資する先端的マルチスケール環境予測シミュレーション法と周辺技術の開発

課題責任者

松田 景吾 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター

著者

松田 景吾^{*1}, 杉山 徹^{*1}, 後藤 浩二^{*2}

^{*1} 海洋研究開発機構 付加価値情報創生部門 地球情報科学技術センター, ^{*2} 日本電気株式会社

キーワード: MSSG, 微気象 LES, データ同化, 暑熱環境, デジタルツイン

1. 緒言

地球温暖化に伴って猛暑や豪雨等の極端気象の激甚化が懸念されており、高解像度気象シミュレーションによる気候変動影響評価や適応策評価が重要な社会課題となっている。とりわけ猛暑に関しては、熱中症による死亡数が年間平均 1327 人 (2019~2023 年, 厚生労働省, 人口動態推計 (確定値), 令和 6 年 9 月 17 日より) に達しており、2025 年度には職場における熱中症対策が義務化されるに至った。

熱中症等の健康リスクの軽減を目指して、都市の暑熱環境の緩和策を提案できる微気象デジタルツインの開発が進められている。都市の暑熱環境の推定には、微気象ラージ・エディ・シミュレーション (large-eddy simulation, LES) を用いることができる。一方、微気象デジタルツインの構築のためには、微気象シミュレーションデータと実際の状況との乖離を低減することが重要となる。そこで、街区におかれた観測点での測定データを想定したデータ同化ツールの開発を行った [1]。

2. 微気象ラージ・エディ・シミュレーション

マルチスケール大気海洋結合モデル MSSG (Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment) [2, 3, 4] は、全球、領域、および都市街区スケールの大気海洋シミュレーションをシームレスに実行でき、多様なプラットフォーム上での実行実績を持つ、応用範囲の広いモデルある。特に、都市街区スケールでは、MSSG は建物の形状や樹冠を数 m メッシュで解像した LES モデルとして動作し、3 次元放射伝達や、建物壁面内の熱伝導、樹冠での蒸散・熱収支等の様々な物理プロセスと連成しながら微気象環境のシミュレーションを実行することができる [4]。これまでに、気候変動に対する適応策の検討に資する予測情報の創出と提供のため、都市街区の建物や樹冠を解像した微気象シミュレーションの実現と社会実装が進められてきており、MSSG を用いた街区内の夏季暑熱環境の解析や、暑熱環境改善策の評価等への活用が実現されている。

本研究では、東京駅周辺の 2km 四方を微気象 LES の対象地域とし、解像度を 5 m とした。同じ解析領域を対象とした既往研究 [5] での数値実験設定に従って土地・建物形状データ (図 1) および土地利用データを設定した。気

象庁メソ数値予報モデルデータを初期値および境界値として、解像度が 1 km, 300 m, および 100 m の 3 段ネストを設定した MSSG のメソスケール大気シミュレーションを実行することにより、解析領域周辺の 100 m 解像度の気象場を作成した。これを初期値および境界値に用いて 5 m 解像度の微気象 LES を実行した。

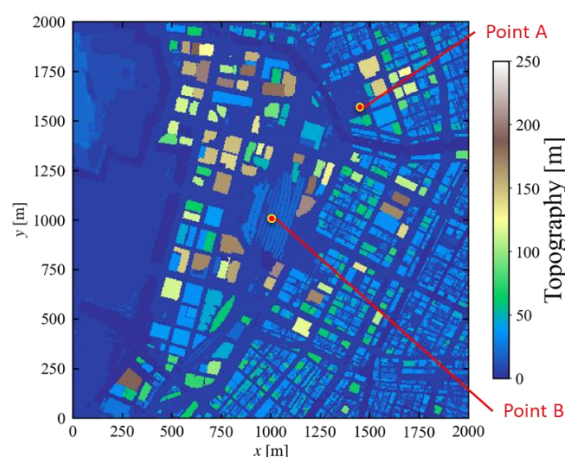


図 1 土地・建物の高さ分布と仮想観測点 (点 A および B) の配置。

3. データ同化手法

データ同化では、モデル予測値から 3 次元変分法 (3D-VAR) に基づいて解析値を得るデータ同化ツールを構築した。その際、観測データとしては、街区に置かれた観測点において、気温と相対湿度が観測されているものとした。街区での微気象の観測では、路上や建物屋上の高さ 2 m 程度の位置に温度と相対湿度のセンサーを配置する場が多いため、本研究でもそのような観測を想定する。それらの観測データを用いて、街区中の温位や比湿の平均的なギャップを修正することを目指とした。MSSG の予報変数は密度 (ρ), 運動量 (ρu , ρv , ρw), 圧力 (p), 水蒸気密度 (ρq_v), およびその他の水物質密度であるが、これらのうち、温度と相対湿度に関連する密度 (ρ), 圧力 (p), および水蒸気密度 (ρq_v) の解析インクリメントを求めるものとした。その際、路上や建物屋上などの地表面に比較的近い観測点での観測値の情報を鉛直方向に広が

りを持たせながら適切に反映するため、圧力と密度のインクリメントは静力学平衡を満たすものと仮定した。なお、温位と比湿のインクリメントに対しては、ガウス分布に従う空間的な相関があるものとした。その際、水平方向の相関スケールを L_h 、鉛直方向の相関スケールを L_r とした。なお、温位と比湿の背景誤差には相関がないものとした。

4. データ同化テスト結果

本研究ではデータ同化手法のテストとして、微気象LESの対象領域内に、図1に示した仮想的な観測点を2点（点A：地上1.5 m、点B：建物屋上より8 m）配置した。微気象LESを実行し、出力されたリスタートデータを背景場として用い、仮想観測データを用いて解析値を求めた。鉛直相関スケール $L_r = 25$ mの場合について、観測点Aにおける背景場と解析値の気温 tm の鉛直分布を図2に示す。解析インクリメントの寄与が鉛直方向に広がりを持っていることが確認できる。

このような解析値を初期値として微気象LESをリスタートした。その結果、静力学平衡を考慮しながら観測影響の鉛直分布を持たせた解析値からリスタートすることにより、解析値のインクリメントの効果の持続時間が改善されることが明らかになった。また、水平相関スケール L_h および鉛直相関スケール L_r を大きくするほど持続時間が改善された。ただし、その効果は、移流と混合（乱流拡散）により減衰するため、移流と乱流拡散の効果が強い条件に対して有効な手法の改良が今後の課題である。

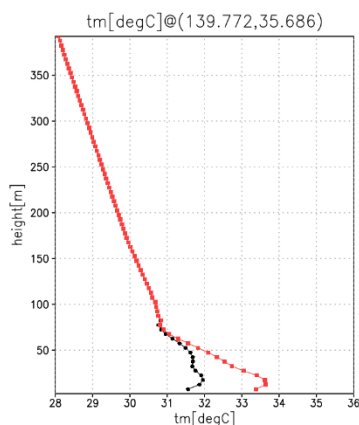


図2 観測点Aでの背景場（黒）と解析値（赤）の気温の鉛直分布（ $L_r = 25$ mの場合）。

謝辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187（研究推進法人：土木研究所）サブ課題Dの一環として実施された。

文献

- [1] K. Matsuda, T. Sugiyama, “Assimilation of street observation data using building-resolved large-eddy simulation model”, 12th Int. Conf. on Urban Climate (ICUC12), ICUC12-619, July 7-11, 2025.
- [2] K. Takahashi, R. Onishi, Y. Baba, S. Kida, K. Matsuda, K. Goto, and H. Fuchigami, “Challenge toward the prediction of typhoon behavior and down pour”, J. Physics 454, 012072 (2013).
- [3] W. Sasaki, R. Onishi, H. Fuchigami, K. Goto, S. Nishikawa, Y. Ishikawa, and K. Takahashi, “MJO simulation in a cloud-system-resolving global ocean-atmosphere coupled model”, Geophys. Res. Lett. 43, 9352–9360 (2016).
- [4] K. Matsuda, R. Onishi, and K. Takahashi, “Tree-crown-resolving large-eddy simulation coupled with three-dimensional radiative transfer model”, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 173, 53–66 (2018).
- [5] Y. Yasuda, Y., R. Onishi, K. Matsuda, “Super-resolution of three-dimensional temperature and velocity for building-resolving urban micrometeorology using physics-guided convolutional neural networks with image inpainting techniques”, Build. Environ., 243, 110613 (2023).