

豪雨制御における意思決定支援システムのためのサロゲートモデルの開発：風速場の予測 Toward surrogate modeling of heavy rain control support system for real-time decision optimization - prediction of wind flow

○李 栄茂・西嶋 一欽

○Rongmao LI, Kazuyoshi NISHIJIMA

This study aims to develop a surrogate model to accelerate Large-Eddy Simulation (LES) for predicting 3D wind velocity fields around a single building. The proposed CNN-FNO model combines Fourier Neural Operator (FNO) with Convolutional Neural Network (CNN) layers to improve the prediction accuracy of local features, such as small-scale vortices. By inputting 10-time steps of vector wind velocity and coordinates, the model predicts future wind velocity for 20-time steps. Results show that CNN-FNO achieves lower RMSE compared to FNO, providing higher resolution and accuracy in small-scale vortex predictions.

1. はじめに

線状対流系豪雨やゲリラ豪雨の制御においては、短時間で複数の選択肢から最適な意思決定を行うことが求められる。しかし、豪雨現象の時間的発展を予測する際、従来の数値解析手法では計算時間の制約が課題となり、将来の現象の進展やそれに対する制御効果の予測が遅れ、適切な制御判断に支障をきたす可能性がある。特に、都市や地形が生成する渦が積乱雲の発達に影響を及ぼすことが知られており、その精緻な渦構造を瞬時に計算することが必要不可欠である¹⁾。この点において、Large-Eddy Simulation (LES) は有効な手法と考えられる²⁾。しかし、LES には膨大な計算格子を必要とし、計算時間が長いという欠点がある。したがって、LES を高速化するためのサロゲートモデルの開発が本研究の目標となっている。

2. 問題設定・研究方法

問題設定としては、単体建物を対象とした簡易なケースを基に、その周辺における三次元風速場を予測するサロゲートモデルの試作を目指す。また、瞬間風速場の中低周波数領域に対応する大規模な渦形を高い精度で予測可能な Fourier Neural Operator (FNO)³⁾を研究手法として採用した。瞬間風速場の局所的特徴（小規模な渦形）の予測精度を向上させることを目的として、FNO の出力層に Convolutional Neural Network (CNN) 層を組み込んだ CNN-FNO を提案した。本モデルは、10 時刻ステップのベクトル風速および座標を入力とし、未来の 20 時刻ステップにおける風速を予測する。

3. 結果・まとめ

鉛直断面 ($y=0$) における未来の 20 時刻ステップのうち、4、8、12、16、20 ステップ目の三方向風速の予測結果を図 1 から図 3 に示す。予測誤差については、予測結果と LES (真値) との Root Mean Squared Error (RMSE) の統計において、CNN-FNO が FNO よりも小さい誤差を示し、小規模な渦形の予測においてより高い精度と解像度を達成している。今後は、CNN-FNO によるサロゲートモデルを用い、より多くの時刻ステップの予測を継続的に実施し、渦度の再現効果を検証するなど、最終目標の達成に向けた検討を進めていく予定である。

謝辞

本研究は、JST ムーンショット型研究開発事業 JPMJMS2283-07 の支援を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 白石栄一: 局地的な降雨観測・予測技術の動向, 科学技術動向, 文部科学省科学技術政策研究所科学技術動向研究センター, 第 95 号, pp. 34-45, 2009.
- 2) 高見 和弥, *中北 英一, 山口 弘誠, 豪雨の「種」を捉えるための都市気象 LES モデルの開発と積雲の生成に関する研究, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 2015, 28 巻, 水文・水資源学会 2015 年度研究発表会, p. 100012-.
- 3) Z. Li et al., Fourier neural operator for parametric partial differential equations, 2020, arXiv preprint arXiv:2010.08895.

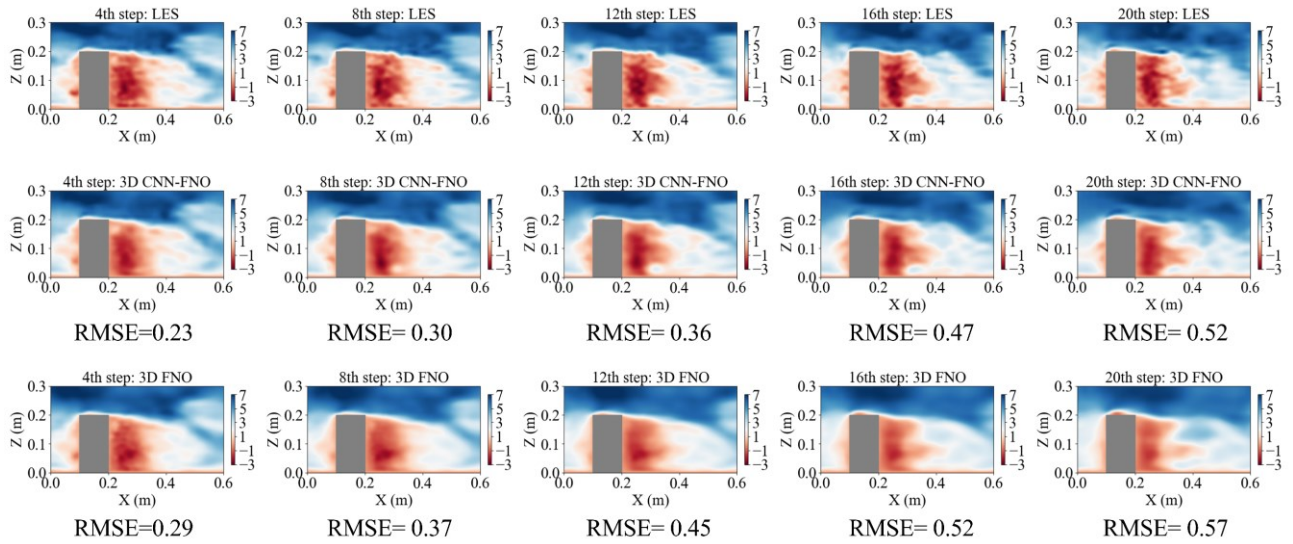


図1 未来の20時刻ステップにおけるu方向風速の予測結果および誤差(m/s)

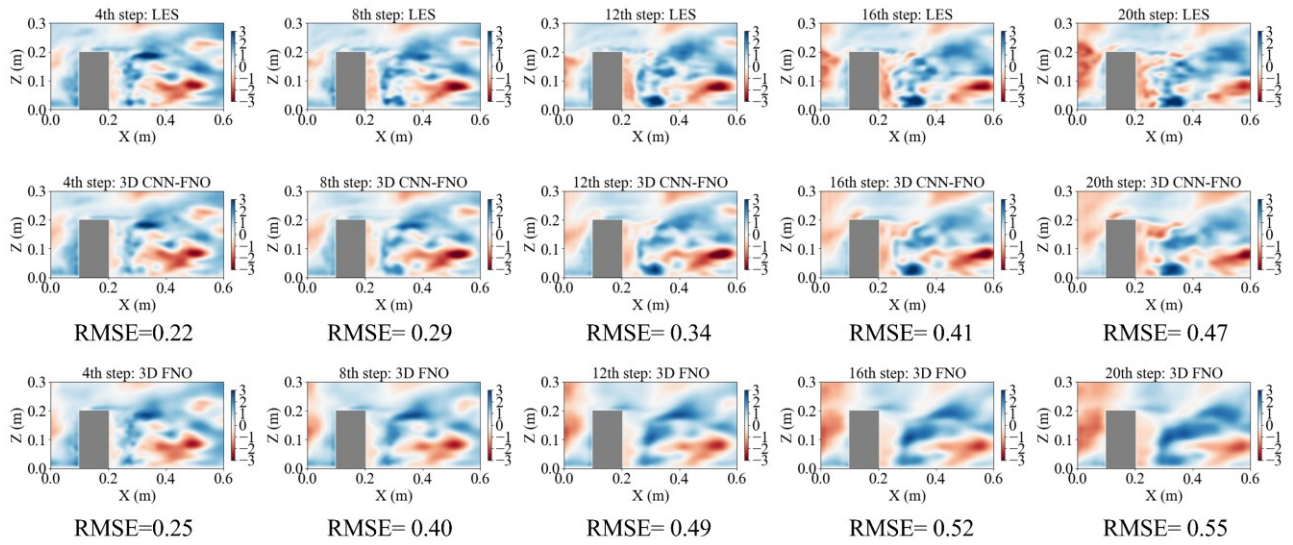


図2 未来の20時刻ステップにおけるv方向風速の予測結果および誤差(m/s)

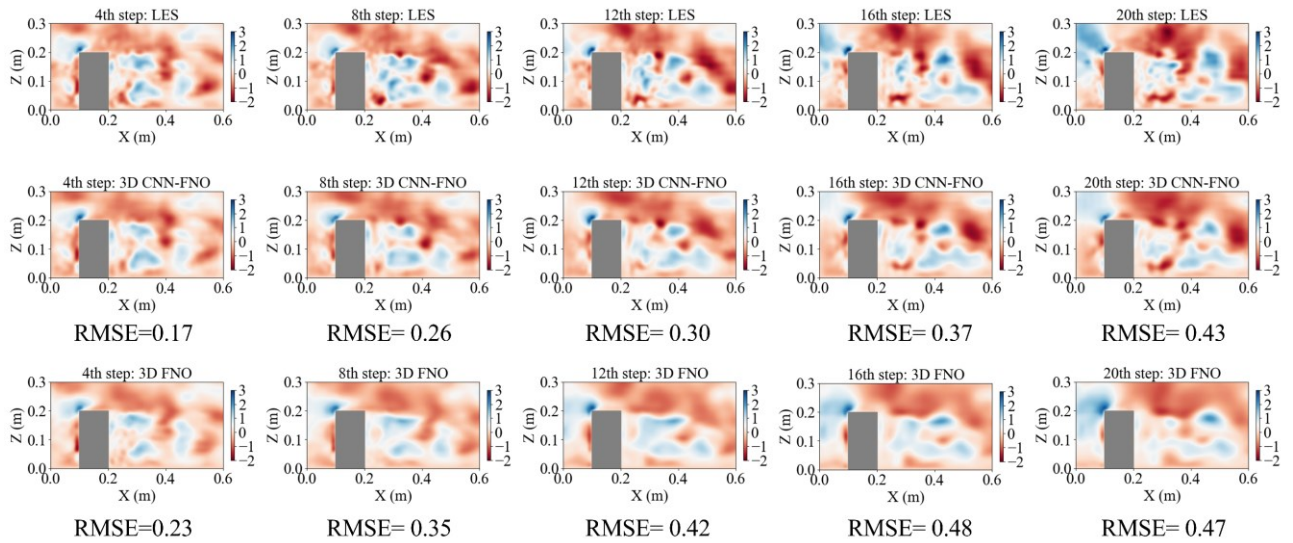


図3 未来の20時刻ステップにおけるw方向風速の予測結果および誤差(m/s)