

格子ボルツマン法に基づく乱流計算に対するアンサンブルデータ同化の実装

Implementation of Ensemble Data Assimilation for Turbulent Flow Simulation

based on Lattice Boltzmann Method

*長谷川 雄太¹, 小野寺 直幸¹, 朝比 祐一¹, 井戸村 泰宏¹

¹ 日本原子力研究開発機構

格子ボルツマン法に基づく乱流計算に対して、アンサンブルデータ同化の一手法である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) を実装した。二次元等方性乱流を対象としたデータ同化実験を行い、LETKF がより単純なデータ同化モデルであるナッジングに比べて高い精度を示すことを確認した。

キーワード：アンサンブルデータ同化, 格子ボルツマン法, 局所アンサンブル変換カルマンフィルタ

1. 緒言

筆者らは、汚染物質拡散解析の即時予測を実現するため、GPU で高速に計算できる格子ボルツマン法に基づく風況解析コード『CityLBM』の開発を進めている^[1]。観測と連携した予測精度の向上に向けて、気象分野で発展してきたアンサンブルデータ同化の導入を検討しているが、微気象的な乱流を対象としたラージエディシミュレーション (LES) に対するアンサンブルデータ同化の既往研究は少ない。そこで本稿では、乱流データ同化の基礎的な検討として、二次元等方乱流にアンサンブルデータ同化を実装し、精度検証を行った。

2. 二次元等方性乱流に対するデータ同化実験

アンサンブルデータ同化の精度検証のため、格子ボルツマン法を用いて二次元等方乱流を実装した。データ同化手法として、局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) ^[2] を実装した。計算条件として、 128×128 の計算格子に対し、 2×2 に間引いた観測点を設定した。計算結果を図 1 に示す。(b) データ同化なし、(c) ナッジングでは正解値と全く異なる結果となるのに対し、(d) LETKF は正解値に近い結果を再現し、その計算誤差は、(b) RMSE=0.328、(c) RMSE=0.231 に対して (d) RMSE=0.171 に抑制されている。

3. 結論

本稿では、二次元格子ボルツマン法に局所アンサンブル変換カルマンフィルタ (LETKF) を実装し、精度検証を行なった。LETKF は、ナッジングデータ同化よりも高い精度を示し、 128×128 格子に対して 2×2 と極めて少ない観測点しか得られない場合であっても良好なデータ同化を行うことが可能であることを示した。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費若手研究 (21K17755) および学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 (jh210003, jh210049) より支援を頂いた。記して謝意を示す。

参考文献

[1] N. Onodera, et al., *Boundary Layer Meteorology*, **179**, 187–208 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00594-x>

[2] B. R. Hunt, et al., *Physica D*, **230**, 112–126 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.physd.2006.11.008>

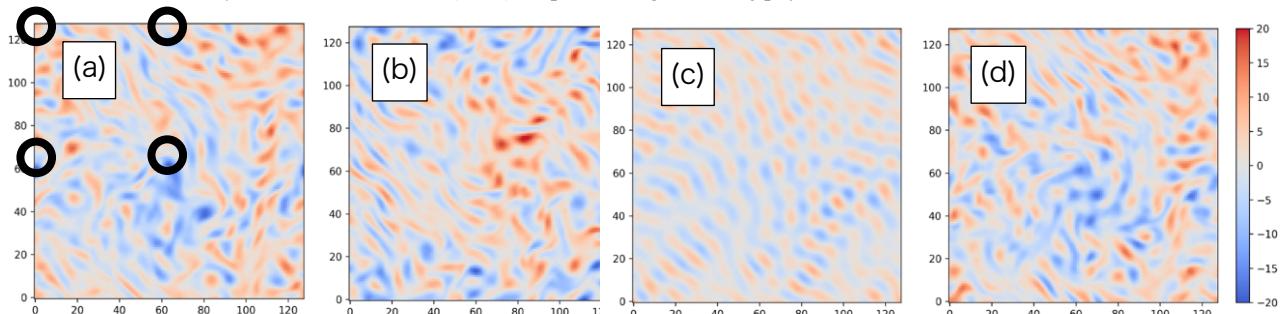


図 1 二次元等方乱流のデータ同化実験における渦度分布の瞬時値、(a) 正解値 (Nature run)、(b) データ同化なしの計算、(c) ナッジングデータ同化、(d) LETKF。ただし、(a) 中の丸印は観測点位置を表す。

*Yuta Hasegawa¹, Naoyuki Onodera¹, Yuuichi Asahi¹, and Yasuhiro Idomura¹

¹Japan Atomic Energy Agency