

データ駆動型手法による乱流の予測とモデリング

報告書番号：R24JACA39

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2024/26894/

● 責任者

犬伏正信, 東京理科大学

● 問い合わせ先

犬伏正信(inubushi@rs.tus.ac.jp)

● メンバ

後藤 晋, 犬伏 正信, 神林 楽人, 松元 智嗣, 大久保 茜, 新宅 哲也

● 事業概要

航空機周りの流れや惑星大気の流れなど, 航空宇宙分野の科学技術に現れる流れの多くは発達した乱流状態にある. そのような系の乱流現象に対してナビエ-ストークス方程式の直接数値計算を行うことは困難であり「乱流モデル」が使用されている. 近年, 機械学習を用いた乱流モデルの研究が活発に進められており, 将来的に航空宇宙分野における要素技術となることが予想される. そこで本研究では, 乱流力学に基づく演繹的な手法と, データに基づく帰納的な手法を組み合わせ, 新たな乱流予測技術・モデルを構築することを目的とする. またその基礎となる乱流の予測可能性に関する基礎的研究も行う.

参考 URL: <https://www.rs.tus.ac.jp/~inubushi/index.html>

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

本研究の対象である機械学習を用いた手法では, 教師データとなる高精度かつ長時間の乱流データが必要不可欠である. 非圧縮性ナビエ-ストークス方程式の直接数値計算によって教師データを生成するために, JAXA スーパーコンピュータの大規模な計算機環境を活用する.

● 今年度の成果

地球惑星の大気海洋運動等の研究においては, 2 次元流体運動が重要な役割を果たす. 今年度は 2 次元 Navier-Stokes 乱流の数値解析に取り組み, データ同化に関する基礎的な特性について明らかにした. その成果を英ケンブリッジ大学におけるシンポジウム The Cambridge Centre for Climate Science (CCfCS) Winter Symposium 2024 にて発表した (Inubushi and Caulfield, 2024). 昨年度の成果である Inubushi, Saiki, Kobayashi, and Goto (Phys. Rev. Lett., 2023) について, JSS3 の公式ウェブサイト上のコラム『活躍する計算技術』において記事執筆を行なった

(https://www.jss.jaxa.jp/computer_engineering/26203/) . また, ニューラルネットワークを用いた非線形動力学の予測・モデル化について研究を実施し, その数理的性質を明らかにした (Ohkubo and Inubushi, Sci. Rep., 2024) . さらに, データ駆動型乱流モデルに関する論文も出版した (Matsumoto, Inubushi, and Goto, Phys. Rev. Fluids, 2024) .

● 成果の公表

-査読付き論文

Akane Ohkubo and Masanobu Inubushi,

"Reservoir computing with generalized readout based on generalized synchronization",

Scientific Reports 14, 30918 (2024).

Satoshi Matsumoto, Masanobu Inubushi, and Susumu Goto,

"Stable reproducibility of turbulence dynamics by machine learning",

Physical Review Fluids 9, 104601 (2024).

● JSS 利用状況

● 計算情報

プロセス並列手法	MPI
スレッド並列手法	OpenMP
プロセス並列数	16 - 64
1 ケースあたりの経過時間	30 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.04

内訳

計算資源		
計算システム名	CPU 利用量(コア・時)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	365,770.90	0.02
TOKI-ST	141,048.68	0.14
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	0.00	0.00
TOKI-TST	0.00	0.00
TOKI-TGP	0.00	0.00
TOKI-TLM	0.00	0.00

ファイルシステム資源		
ファイルシステム名	ストレージ割当量(GiB)	資源の利用割合※2 (%)
/home	269.00	0.18
/data 及び/data2	66,460.00	0.32
/ssd	2,510.00	0.13

アーカイバ資源		
アーカイバシステム名	利用量(TiB)	資源の利用割合※2 (%)
J-SPACE	0.00	0.00

※1 総資源に占める利用割合：3つの資源(計算,ファイルシステム,アーカイバ)の利用割合の加重平均

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合

● ISV 利用量

ISV ソフトウェア資源		
	利用量(時)	資源の利用割合※2 (%)
ISV ソフトウェア(合計)	0.00	0.00

※2 資源の利用割合：対象資源一年間の総利用量に対する利用割合