

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：R23JACA39

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2023/24083/

● 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, 松元 智嗣, 坂田 尚樹, 杉原 朋樹, 田中 浩人

● 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

乱流の小スケール(具体的にはコルモゴロフ長の 5 倍程度以下)の運動は大スケールの運動に隷属的であることが、データ同化の研究から示唆されている。この大/小スケールのダイナミクスの関係は乱流のモデル化を研究する上で極めて重要である。本現象を安定性解析の観点から特徴付ける理論的枠組みを提案し、上記の隷属性を示す臨界長のレイノルズ数依存性について明らかにした。これらの成果をまとめて論文(Inubushi, Saiki, Kobayashi, and Goto, Phys. Rev. Lett. 131, 254001 (2023))を出版した。

● 成果の公表

-査読付き論文

Masanobu Inubushi, Yoshitaka Saiki, Miki U. Kobayashi, Susumu Goto,

"Characterizing Small-Scale Dynamics of Navier-Stokes Turbulence with Transverse Lyapunov Exponents: A Data Assimilation Approach",

Physical Review Letters 131, 254001 (2023).

Yuto Iwasaki, Takayuki Nagata, Yasuo Sasaki, Kumi Nakai, Masanobu Inubushi, and Taku Nonomura,

"Reservoir computing reduced-order model based on particle image velocimetry data of post-stall flow",
AIP Advances 13, 065312 (2023).

● 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 (%) : 0.11

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	2,983,119.15	0.13
TOKI-ST	0.00	0.00
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	0.22
/data 及び/data2	66,460.00	0.41
/ssd	2,510.00	0.24

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