

機械学習による流体運動の予測と最適化

報告書番号：R20JACA39

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14484/

● 責任者

犬伏正信, 大阪大学

● 問い合わせ先

犬伏正信(inubushi@me.es.osaka-u.ac.jp)

● メンバ

犬伏 正信, 後藤 晋, 小西 幹人, 渡邊 大記, 中谷 謙介

● 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。そのような乱流の直接数値計算は現実的には困難であり、物理的な知見に基づく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 (Duraisamy, Iaccarino, and Xiao, 2019), 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、乱流物理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。

参考 URL: <http://fm.me.es.osaka-u.ac.jp/inubushi/index-j.html>

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流運動の予測やモデル化は、航空宇宙分野の科学技術において重要である。本研究の対象である機械学習を用いた手法では、流体方程式の直接数値計算による高解像度の乱流データ(教師データ)の取得が必須である。大規模な計算機環境を利用し、教師データの計算のために JAXA のスーパーコンピュータを使用する。

● 今年度の成果

近年、機械学習技術を用いた乱流予測への期待が高まっている。ところが、工学応用上重要である高レイノルズ数における発達した乱流では、そもそも機械学習の前提となる教師データを得ることが難しい。今年度は、非線形力学系の予測に適した機械学習法であるリザーバ・コンピューティングの「転移学習法」を提案した(Inubushi and Goto, Phys. Rev. E, 2020)。低いレイノルズ数の乱流データを用いて学習を行い、高いレイノルズ数のわずかな乱流データで学習結果を補正(転移学習)することで、高レイノルズ数においても高精度の予測が可能であることを示した。また、乱流をカオス力学系とみな

したときに、その軌道不安定性は予測可能性と密接に関係する。今年度は、乱流の軌道不安定性についても調べ、その不安定性の特徴付けを行った。

● 成果の公表

-査読付き論文

Masanobu Inubushi and Susumu Goto, Transfer learning for nonlinear dynamics and its application to fluid turbulence, Physical Review E 102, 043301 (2020).

-招待講演

(1) 犬伏正信, リザーバーコンピューティングの転移学習と乱流への応用, 大阪大学 MMDS ワークショップ「工学と数学の接点を求めて」(2020-11-20, オンライン開催),

(2) 犬伏正信, リザーバーコンピューティングの数理と流体现象への応用, 大阪大学 MMDS ワークショップ「工学と数学の接点を求めて(追加講演)」(2021-2-9, オンライン開催),

-口頭発表

(1) 犬伏正信, 後藤晋, 非線形力学系のための転移学習と乱流への応用, 日本物理学会 2020 年秋季大会(2020-9-8, オンライン開催).

(2) 犬伏正信, 後藤晋, 周期箱乱流の軌道不安定性, 日本流体力学学会年会 2020(2020-9-19, オンライン開催).

(3) 小西幹人, 犬伏正信, 後藤晋, 強化学習を用いた流体混合の最適化, 日本流体力学学会 年会 2020(2020-9-18, オンライン開催).

(4) 中谷謙介, 犬伏正信, 後藤晋, 機械学習を用いた 2 次元後流乱流の状態推定, 日本流体力学学会 年会 2020(2020-9-20, オンライン開催).

● 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	64
1 ケースあたりの経過時間	24 時間

● JSS2 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	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
SORA-MA	155,705.06	0.03
SORA-PP	1,305.74	0.01
SORA-LM	0.00	0.00
SORA-TPP	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	533.10	0.49
/data	14,934.55	0.29
/ltmp	8,789.07	0.75

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

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.01

内訳

計算資源		
計算システム名	コア時間(コア・h)	資源の利用割合※2 (%)
TOKI-SORA	2,331.77	0.00
TOKI-RURI	0.00	0.00
TOKI-TRURI	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	46.73	0.03
/data	5,073.55	0.09
/ssd	238.42	0.12

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