

物体後流で発生する遷移現象のデータ駆動型低次元モデリング

報告書番号：R24JACA65

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2024/27436/

● 責任者

大西直文, 東北大学

● 問い合わせ先

中村悠斗(yuto.nakamura.t4@dc.tohoku.ac.jp)

● メンバ

中村 悠斗, 大西 直文

● 事業概要

航空機やタービンをはじめとする多くの流体機械では、その後流において渦構造が大きく変化する遷移が発生する。このような遷移では、流れの周波数や物体に働く流体力の急激な変化を伴うため、遷移現象の解明が不可欠である。本研究では遷移現象の解明と予測に向け、数値計算結果に基づくデータ駆動型の低次元モデル構築を行う。流れ場を記述する支配方程式をモデル構築に取り入れることで、低次元モデルによる高速な予測だけでなく、物理現象を理解するツールとしてのモデルの構築を目的とする。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

物体後流での遷移は流れの条件に依存した現象であるため、そのデータ駆動解析のためには、膨大な数の条件で数値計算を行う必要がある。また、高レイノルズ数の遷移は、流れの三次元性に由来して発生するため、その数値計算はもちろん、データ駆動解析のため、スーパーコンピュータの利用が不可欠である。

● 今年度の成果

今年度は、比較的低いレイノルズ数の円柱周り流れを例に、遷移が発生するレイノルズ数を低次元モデルによって特定できることを示した。多岐にわたるレイノルズ数の数値計算結果から抽出された特徴モードを利用して、低次元モデルで予測する流れ場のレイノルズ数を変え遷移の発生の有無を調査した。その結果、遷移を捉えるためには、モデルのレイノルズ数とモードが表現している流れ場のレイノルズ数が同じである必要があることが明らかとなった。また、支配方程式に基づいたモデルによって、モード同士の運動エネルギーの輸送関係を明らかとし、不安定性の発達が、後流の再循環領域のエネルギー輸送に由来することを示した。

● 成果の公表

-査読付き論文

1) Yuto Nakamura, Yuma Kuroda, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Energy transfer and budget analysis for transient process with operator-driven reduced-order model, Under review.

2) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Simulation method for finding a fixed point of Navier-Stokes equations by symmetry constraints, Under review.

-査読なし論文

1) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Investigation of three-dimensional instability behind a circular cylinder via low-dimensional space spanned by optimal proper orthogonal decomposition modes, Proceedings of International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, Birmingham, UK.

2) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Data-driven reduced-order modeling for investigating spanwise instability in the wake of an infinitely long bluff body, Proceedings of Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2024, Australia, Adelaide.

-口頭発表

1) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Investigation of three-dimensional instability behind a circular cylinder via low-dimensional space spanned by optimal proper orthogonal decomposition modes, 9th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications 11.5, 2024/7/29-8/2 (Oral presentation, Birmingham, UK).

2) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Data-driven reduced-order modeling for investigating spanwise instability in the wake of an infinitely long bluff body, Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology 2024, 2024/10/29-10/28 (Oral presentation, Adelaide, Australia).

3) Yuto Nakamura, Shintaro Sato, Naofumi Ohnishi, Analytical approach to identifying a bifurcation point in reduced-nonlinear dynamical systems formed by shift mode and oscillation modes, 77th Annual Meeting of the Division of Fluid Dynamics, X11.00011, 2024/11/24-11/26 (Oral presentation, Salt-Lake City, USA).

4) 中村悠斗, 佐藤慎太郎, 大西直文, 低レイノルズ数流れにおける不安定現象を捉える低次元モデル, 航空宇宙学会 年会 2024 1C-07, 2024/4/18-19 (口頭発表, 東京).

5) 中村悠斗, 佐藤慎太郎, 大西直文, 非定常計算から得られる定常解を利用した低次元モデルの安定化, 第 56 回流体力学講演会/第 42 回航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム, 2A02, 2024/7/3-5 (鹿児島).

6) 中村悠斗, 佐藤慎太郎, 大西直文, 固有直交分解による低次元モデルを援用した円柱後流の不安定現象の可視化, 第 52 回可視化情報シンポジウム, OS16, 2024/7/19-21 (沖縄).

7) 中村悠斗, 黒田悠馬, 岡野泰人, 佐藤慎太郎, 大西直文, 全体安定性解析と固有直交分解を用いた円柱周り流れにおける Hopf 分岐の低次元モデリング, 流体力学学会 年会 2024, 3M101-04-02, 2024/9/25-27 (宮城).

8) 中村悠斗, 佐藤慎太郎, 大西直文, データ駆動科学と境界条件の制約による円柱後流 A モードの時空間特性遷移過程の解明, 第 38 回数値流体力学シンポジウム, OS1-1-2-03, 2024/12/11-13 (東京).

● 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	1 - 1296
1 ケースあたりの経過時間	48 時間

● JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.56

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	53,126.34	0.00
TOKI-ST	4,871,527.51	5.00
TOKI-GP	0.00	0.00
TOKI-XM	0.00	0.00
TOKI-LM	24,653.68	1.78
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	0.00	0.00
/data 及び/data2	30,620.00	0.15
/ssd	5,020.00	0.27

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