

発達した乱流の大規模数値シミュレーション研究

報告書番号：R20JACA05

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2020/14458/

● 責任者

後藤 晋, 大阪大学基礎工学研究科

● 問い合わせ先

後藤 晋(goto@me.es.osaka-u.ac.jp)

● メンバ

後藤 晋, 岡 温, 本告 遊太郎, 荒木 亮, 阿部 篤司, 西川 碧, 小井手 祐介, 藤木 優太朗, 藤野 潤

● 事業概要

高レイノルズ数の発達した乱流は航空宇宙工学が関わる種々の流れで本質的な役割を演じるので、その予測や制御は様々なプロジェクトにおいて重要である。また、高レイノルズ数の乱流を数値的にシミュレートするためには、乱流中の小スケールの運動をモデル化することが必須である。このような乱流モデルは乱流の小スケールの統計の普遍性に基づく。本研究課題の主たる目的は、乱流の普遍性の起源を明らかにすることである。とくに、複数の異なる境界条件下における発達した乱流の大規模な数値シミュレーションを実行することにより、乱流の小スケールの運動の詳細(渦の階層とその生成維持機構)を明らかにすることを具体的な目標とする。

● JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

乱流は航空宇宙工学の分野の重要な研究課題である。また、乱流の直接数値シミュレーションは大規模な計算機環境を必要とする。これらが、本研究課題で JAXA スーパーコンピュータを利用する理由である。

● 今年度の成果

今年度は、平行平板間流や円柱後流などに対して、高いレイノルズ数の非一様乱流に関する新たな知見が得られた。前者に関しては、スケール間のエネルギー伝達を調べ、壁から離れた領域では、確かに渦伸長過程により大スケールから小スケールへとエネルギーが伝達することを示した。これはコルモゴロフの古典的な現象論と整合的である。一方、後者に関する結果の一例を図 1 に示す。この図は、ガウスフィルタを用いてスケール分解した乱流中の渦を示す。図中の左下の円柱から、灰色の横渦が生成され、その周囲に青色のリブ渦が渦伸長により生成され、さらにその周囲に黄色の渦が生成される様子が明確に捉えられている。これらの小スケールの渦生成機構は、周期境界条件下の乱流で観察されたものと定性的に同じである。

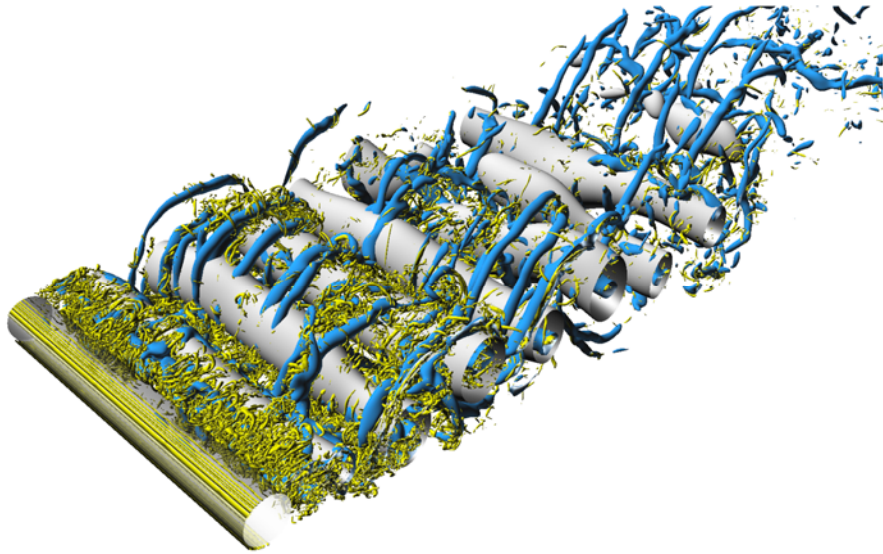


図 1: 一様流が円柱に当たったときにその背後にできる乱流. レイノルズ数は 3900 である. 異なる色は異なるスケールで粗視化した速度勾配テンソルの第二不変量の等値面. 渦の階層が可視化されている.

● 成果の公表

-査読付き論文

1. Y. Horimoto, A. Katayama, and S. Goto, Conical shear-driven parametric instability of steady flow in precessing spheroids, *Phys. Rev. Fluids* 5 (2020) 063901.
2. Y. Motoori and S. Goto, Hairpin vortices in the largest scale of turbulent boundary layers, *Int. J. Heat Fluid Flow* 86 (2020) 108658.
3. M. Inubushi and S. Goto, Transfer learning for nonlinear dynamics and its application to fluid turbulence, *Phys. Rev. E* 102 (2020) 043301.
4. Y. Motoori and S. Goto, Hierarchy of coherent structures and real-space energy transfer in turbulent channel flow, *J. Fluid Mech.* 911 (2021) A27.
5. S. Oka, D. Watanabe, and S. Goto, Large-scale clustering of light small particles in developed turbulence, *Phys. Fluids*, 33 (2021) 031707.
6. S. Oka and S. Goto, Generalized sweep-stick mechanism of inertial-particle clustering in turbulence, *Phys. Rev. Fluids* (in press).

-口頭発表

1. 後藤晋, 本告遊太郎, 壁面近傍の乱流輸送現象に関する大規模数値シミュレーション, プラズマシミュレータシンポジウム 2020
2. Susumu Goto, Fluid turbulence and hierarchy of vortices, Joint Seminar between Shanghai Jiao Tong University and Osaka University

3. 本告遊太郎, 後藤晋, 平行平板間乱流中の渦の階層から探る慣性粒子の輸送現象, 混相流シンポジウム 2020
4. 岡温, 渡邊大記, 後藤晋, 高レイノルズ数の乱流中における微小固体粒子群の空間分布に付加質量が及ぼす影響, 混相流シンポジウム 2020
5. 本告遊太郎, 後藤晋, 乱流境界層中の最大スケールのヘアピン渦, 日本機械学会 2020 年度年次大会
6. 岡温, 後藤晋, エネルギーカスケードに着目した固体粒子添加による乱流変調の機構, 日本機械学会 2020 年度年次大会
7. 荒木亮, 後藤晋, von Karman 乱流中の渦構造とエネルギーカスケード機構, 日本機械学会 2020 年度年次大会
8. 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, 日本流体力学会 年会 2020
9. 阿部篤司, 後藤晋, 周期箱乱流中のスケール間エネルギー伝達の評価, 日本流体力学会 年会 2020
10. 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, 日本流体力学会 年会 2020
11. 本告遊太郎, 後藤晋, 渦の階層の客観的な同定による壁乱流のエネルギーカスケードの解明, 日本流体力学会 年会 2020
12. 渡邊大記, 後藤晋, 気液界面を有する回転球体内乱流の直接数値計算, 34 回数値流体力学シンポジウム
13. 西川碧, 大山春華, 後藤晋, 格子ボルツマン法による二相流の数値シミュレーション, 日本機械学会 関西支部第 96 期定時総会講演会
14. 本告遊太郎, 後藤晋, 壁乱流中の秩序構造の階層が慣性粒子の輸送に果たす役割, 日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)
15. 荒木亮, 後藤晋, 粘性駆動される von Karman 乱流の準周期変動, 日本物理学会 第 76 回年次大会(2021 年)

● 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 - 128
1 ケースあたりの経過時間	60 時間

● JSS2 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%) : 0.47

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	2,384,284.42	0.45
SORA-PP	7,043.67	0.06
SORA-LM	4,958.59	2.91
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	1,501.08	1.38
/data	117,282.92	2.26
/tmp	15,625.01	1.33

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 (%)： 0.07

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	0.00	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	1,014.71	0.70
/data	88,081.40	1.48
/ssd	572.20	0.30

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