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：R23JACA05
利用分野：JSS 大学共同利用
URL：https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2023/24075/

責任者

後藤晋，大阪大学

問い合せ先

後藤晋(s.goto.es@osaka-u.ac.jp)

メンバ

荒木 亮，安房井 英人，後藤 晋，林 健太，岩下 航，小井手 祐介，久木元 翔太，Napat Lilittrakul，本告 遊太郎，村端 秀基，松元 智嗣，増田 颯人，中野 元大，織田 晃登，鈴木 雅大，関川 知生，佐伯 宏大，谷岡 寛也，渡邊 大記，吉井 究

事業概要

我々の身のまわりの流れのほとんどは乱流であり，その予測や制御はさまざまな分野で重要である．幸い，スーパーコンピュータの能力の向上に伴い，数値シミュレーションが可能な乱流のレイノルズ数は年々高くなってきたが，航空宇宙工学で扱うような極めて高いレイノルズ数の乱流をモデル化なしにシミュレートすることは未だできない．そこで，乱流の小スケールの統計や動力学の普遍性に基づいた「乱流モデル」の構築を目指した研究が古くから行われてきた．本研究では，種々の境界条件下の乱流の数値シミュレーションを通じて乱流の普遍性の起源を明らかにするとともに，情報科学の手法も援用することで新規の乱流モデルを構築する．

JAXA スーパーコンピュータを使用する理由と利点

航空宇宙工学に現れる流れの多くは，高いレイノルズ数の発達した乱流であり，その動力学や統計の理解は，宇宙科学研究所のさまざまなプロジェクトと直接に関わる．とくに，本研究が目指す「新しい乱流モデルの構築」が成功すれば，多くのプロジェクトの数値シミュレーション研究の基盤を支えるはずである．

今年度の成果

今年度も，さまざまな境界条件下での高いレイノルズ数の乱流の統計や動力学の解明を目指した研究を進めた．とくに，これまでの単相乱流に関する知見の蓄積に加えて，混相乱流の維持機構の理解を進展させることができた．具体的には，固体粒子，弾性体粒子あるいは，液滴と流れとの相互作用や，気液界面を伴う乱流に関する数値シミュレーション研究を進めた．中でも，昨年度の成果からの特筆

すべき発展として，固体粒子の添加によって乱流がどのように変調するのかに関する研究を進めた．その結果，我々がこれまでに明らかにしてきた乱流中のエネルギーカスケード描像に基づき，流体に添加した球形あるいは非球形粒子による乱流低減の物理機構の理解を深めた．

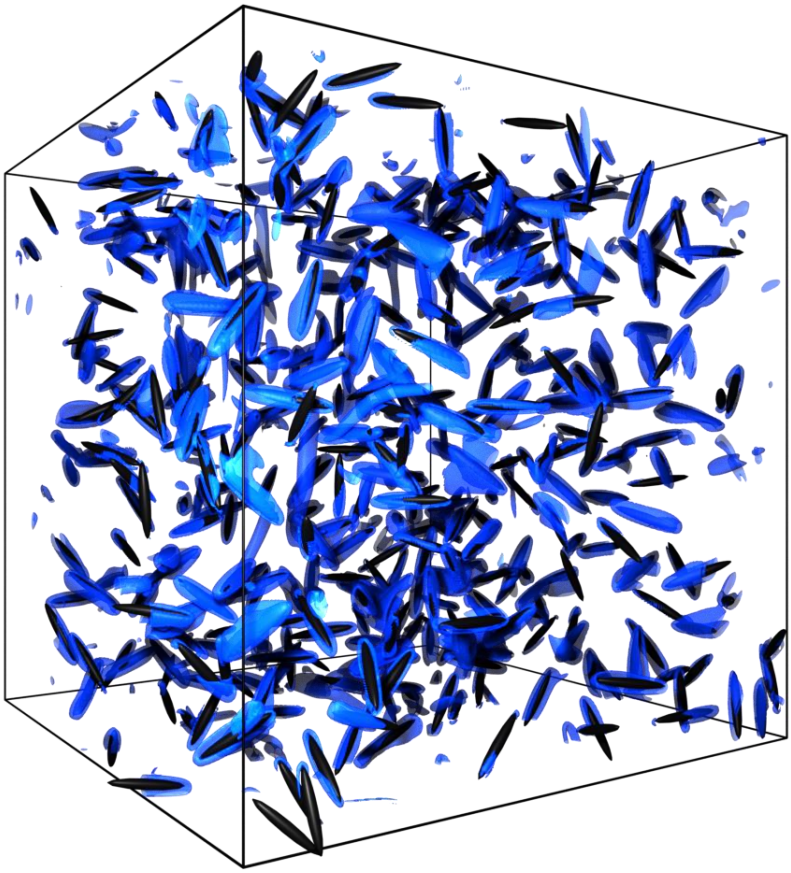

図 1: 楕円体状の剛体粒子を添加した周期境界条件下の乱流．粒子の速度緩和時間が渦の旋回時間とくらべて十分に長い場合(ストークス数が十分に大きい場合)，粒子(黒色の物体)の周囲に，楕円体の短軸半径程度の大きな渦(青色の領域)が生成され，これらの渦によるエネルギー散逸率が乱流低減を説明することを示した．

成果の公表

-査読付き論文

1) Yutaro Fujiki, Hideto Awai, Yutano Motoori, Susumu Goto, Attraction of neutrally buoyant deformable particles towards a vortex, Physical Review Fluids 9 (2024) 014301.

2) Jun Fujino, Yutano Motoori, Susumu Goto, Hierarchy of coherent vortices in turbulence behind a cylinder, J. Fluid Mech. 975 (2023) A13.

3) Ryo Araki, Wouter J. T. Bos, Susumu Goto, Minimal modelling of turbulence driven by steady forcing, Fluid Dynamics Research 55 (2023) 035507.

4) Yutaro Motoori, Susumu Goto, Multiscale clustering of heavy and light small particles in turbulent channel flow at high Reynolds numbers, International Journal of Heat and Fluid Flow 102 (2023) 109166.

5) Yusuke Koide, Susumu Goto, Effect of scission on alignment of wormlike micelles under shear flow, Soft Matter 19 (2023) 4323-4332.

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	30 時間

- JSS3 利用量

総資源に占める利用割合※1 (%)： 0.20

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	5,373,191.67	0.24
TOKI-ST	53,483.02	0.06
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	5,664.00	4.70
/data 及び/data2	444,240.00	2.74
/ssd	42,670.00	4.03

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