

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：R21JACA05

利用分野：JSS 大学共同利用

URL：<https://www.jss.jaxa.jp/ar/j2021/18405/>

● 責任者

後藤 晋, 大阪大学

● 問い合わせ先

後藤 晋(s.goto.es@osaka-u.ac.jp)

● メンバ

荒木 亮, 江口 健斗, 藤木 優太郎, 藤野 潤, 後藤 晋, 小井手 祐介, 松元 智嗣, 渡邊 大記

● 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。さらに、高レイノルズ数の乱流を効率よく数値的にシミュレートするためには、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

我々は、周期境界条件下の乱流、乱流境界層、平行平板間乱流、円柱の背後に維持される乱流などにおいて、その乱流中の秩序渦の階層構造の詳細とその維持機構を明らかにしてきた。とくに、これらの乱流がいずれも秩序だった渦管の集合からなることと、より小さな渦は、より大きな渦の周囲の引き伸ばし場で生成されることを明らかにした。今年度はとくに、この渦伸長過程が、いわゆるエネルギーカスケードに対応することを示すために、周期境界条件下の十分に発達した乱流における秩序渦の詳細(図 1)と、エネルギー伝達過程をより詳細に検討した。その結果、確かに渦伸長過程によりエネ

ルギーはスケール局所に伝達されていることが分かった。とくに、粘性や外力の影響を受けない慣性領域のスケールでは、およそ 1.7 倍のスケールからエネルギーを受取り、およそ $1/1.7(=0.59)$ 倍のスケールの渦にエネルギーを伝達することが分かった。

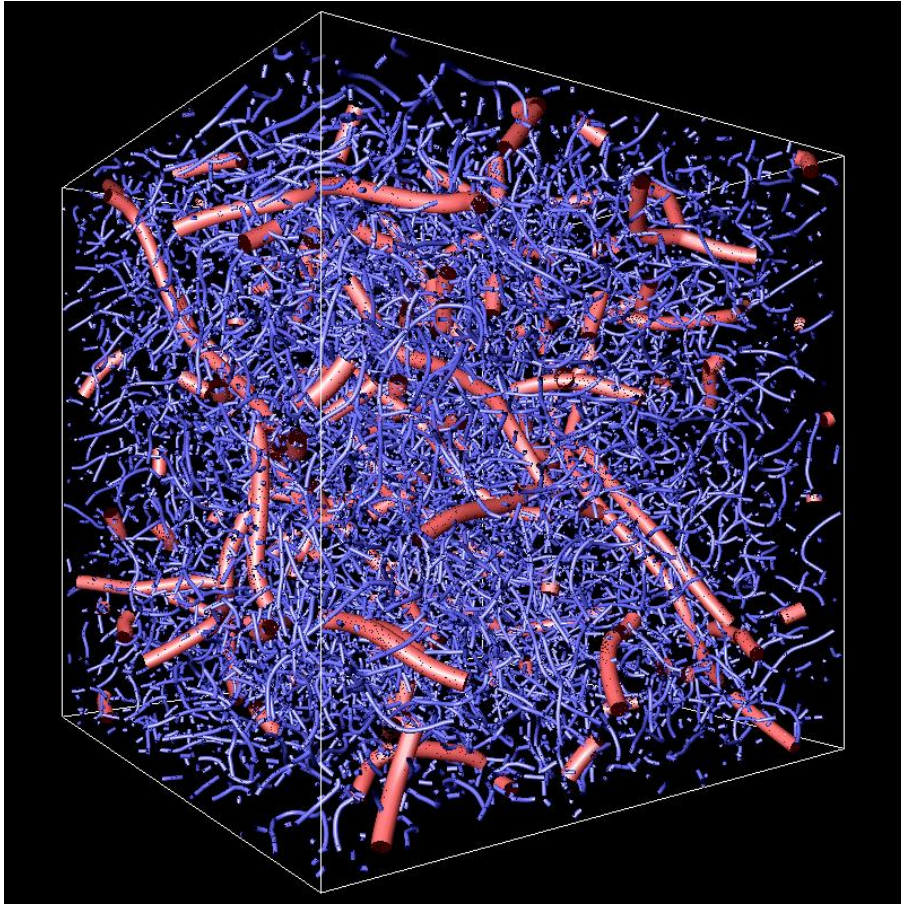


図 1: 発達した乱流における渦管の階層。赤色が $5L/8$ 、青色が $5L/32$ のスケールの渦管の旋回中心軸を表す。ただし、 L は外力を与えたスケールである。

● 成果の公表

-査読付き論文

1. Sunao Oka, Susumu Goto, Generalized sweep-stick mechanism of inertial-particle clustering in turbulence, Phys. Rev. Fluids 6 (2021) 044605.
2. Takeshi Matsumoto, Michio Otsuki, Takeshi Ooshida, Susumu Goto, Correlation function and linear response function of homogeneous isotropic turbulence in the Eulerian and Lagrangian coordinates, J. Fluid Mech. 919 (2021) A9.
3. Ryo Araki, Susumu Goto, Quasi-periodic fluctuations of von Karman turbulence driven by viscous stirring, Phys. Rev. Fluids 6 (2021) 084603.
4. Tsuyoshi Yoneda, Susumu Goto, Tomonori Tsuruhashi, Mathematical reformulation of the Kolmogorov-Richardson energy cascade in terms of vortex stretching, Nonlinearity, 35 (2022) 1380-1401.

5. Tomonori Tsuruhashi, Susumu Goto, Sunao Oka, Tsuyoshi Yoneda, Self-similar hierarchy of coherent tubular vortices in turbulence, Phil. Trans. Roy. Soc. A, (in press).

● 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} (%) : 0.04

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	1,029,648.49	0.05
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	2,054.00	2.04
/data 及び/data2	164,040.00	1.75
/ssd	15,760.00	4.07

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