jh200021-NAH

石原　卓（岡山大学大学院環境生命科学研究科）

高レイノルズ数乱流のデータ科学プラットフォームの構築

Supported by

- 研究の目的：「京」を用いて構築した貴重な非圧縮性乱流のビッグデータを活用し、多様な解析や可視化を 用いた新しいデータサイエンスを試みるとともに、新たに圧縮性乱流の基礎データベースも構築し、それらを広く 解析・活用できるように整備することで、日本が世界を先導する、高レイノルズ数乱流のデータサイエンスの研究のためのプラットフォームを構築する

京コンピュータを使用した世界最大規模乱流直接数値シミュレーション

一般課題「カノニカル乱流の大規模直接数値シミュレーション」
2012.9.28~2019.8.16

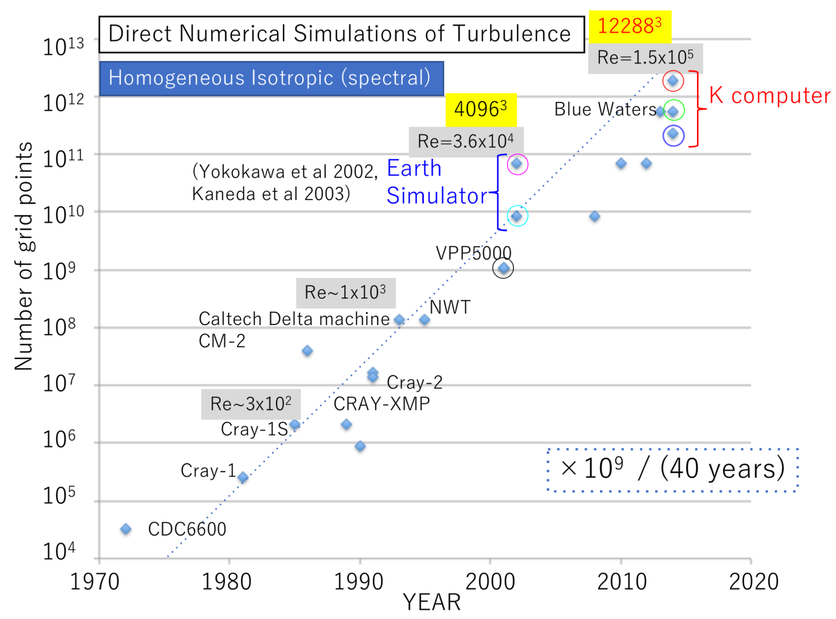
フーリエ・スペクトル法に基づくナヴィエ・ストークス方程式の直接数値計算 京用のコード開発

Table 1. Sustained performance of the base code on the K computer.

N^3	Number of compute nodes	Performance (Tflop/s)	Efficiency (%)
4096^3	2,048 (64 × 32)	10.80	4.12
	4,096 (64 × 64)	12.48	2.38
6144^3	6,144 (96 × 64)	30.16	3.84
	12,288 (96 × 128)	44.03	2.80
8192^3	8,192 (128 × 64)	32.76	3.14
	16,384 (128 × 128)	42.01	2.00
12288^3	24,576 (192 × 128)	70.52	2.24
	49,152 (384 × 128)	128.45	2.04

From Yokokawa et al (2019)

大規模乱流DNSによる史上最大Reの乱流DNSデータの構築



➡ 富岳での大規模乱流DNSの初期値として使用可能

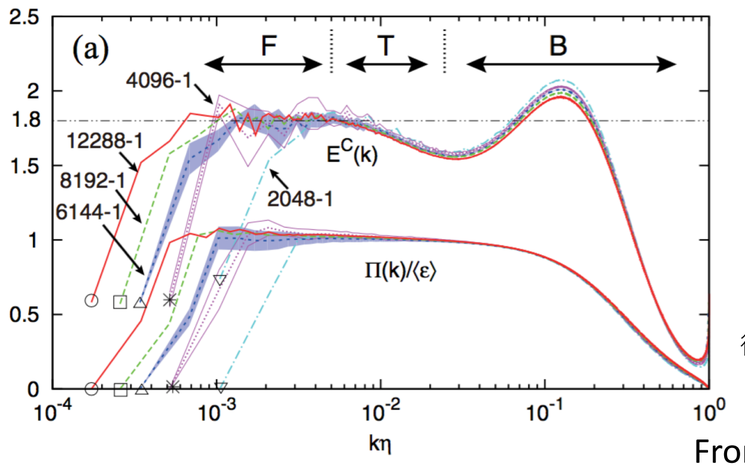
更なる高Re乱流現象の解明、高Re乱流の更なる散逸微細構造の解明

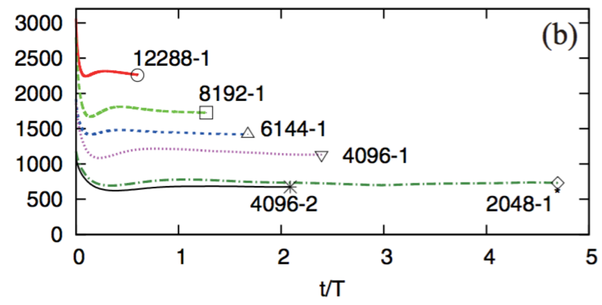
乱流DNSデータベース

TABLE I. DNS conditions and turbulence characteristics at the final time step $t = t_F$.

Run	Initial field	Re/10^4	R_λ	k_{max}	$k_{max}\eta$	$10^4\Delta t$	$10^5\nu$	$10^2\langle\epsilon\rangle$	L	$10^2\lambda$	$10^4\eta$	T	$10^2\tau_\eta$	t_F
2048-1*	1024-1*	1.61	732	965	1.0	4.0	4.40	7.07	1.23	5.58	10.5	2.13	2.5	10(4.7T)
4096-2*	2048-2*	1.37	675	1930	1.9	2.5	4.40	8.31	1.05	5.15	10.1	1.82	2.3	3.80(2.1T)
4096-1*	2048-1*	3.65	1131	1930	1.0	2.5	1.73	7.52	1.09	3.39	5.12	1.89	1.52	4.525(2.4T)
6144-1	4096-1*	6.35	1423	2896	1.0	1.66	1.02	8.06	1.12	2.51	3.39	1.94	1.17	3.25(1.7T)
8192-1	4096-1*	8.97	1747	3862	1.0	1.25	0.70	7.97	1.10	2.10	2.56	1.91	0.94	2.375(1.2T)
12288-1	8192-1†	15.4	2297	5793	1.0	0.833	0.41	7.92	1.10	1.62	1.72	1.90	0.72	1.14(0.6T)

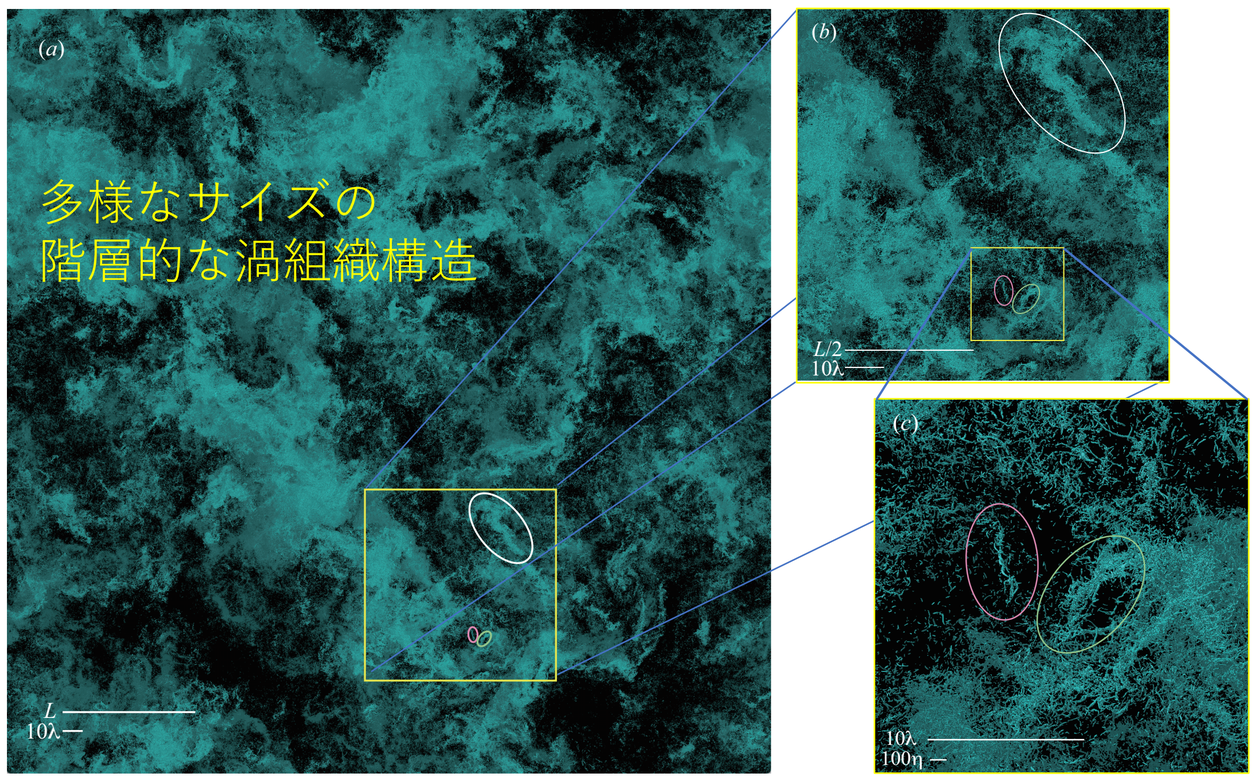
"the world's best simulations" **Eberhard Bodenschatz (Max Planck Institute)**
"the nicest numerics" **Detlef Lohse (University of Twente)**





従来の教科書にあるベキ則の理解を一新する結果
（間欠性の理論モデル←もっと高Reで検証すべき）

From Ishihara et al. Phys. Rev. Fluids 1 (2016)



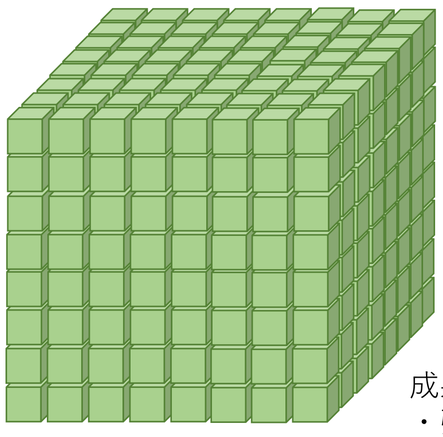
データの充実：解像度依存性についても解析可能

Run	N_{grid}	Re_λ	$k_{max}\eta$	$10^4\nu$	$\langle\varepsilon\rangle$	L	λ_T	$10^3\eta$	T	t_F/T (t_E/T)
8192-2	8192	1101	2	0.173	0.0794	1.10	0.0330	0.505	1.91	6.3 (1.0)
2048-4	2048	272	4	2.8	0.0804	1.11	0.132	4.06	1.92	5.7 (0.5)
8192-4	8192	739	4	0.44	0.0693	1.23	0.0564	1.05	2.13	5.3 (0.6)

(2019年度構築@京)

データ科学プラットフォームの構築

- 公開用データの整備
- データ加工用プログラムの作成
  ITO, FX100, OakforestPACS, ESでの解析実績
- データの可視化
- 粗視化した乱流場のデータ構築
  高Re乱流構造**学習**用に使用予定
- 圧縮性乱流場のデータ構築
  コードの高速化とデータの大規模化

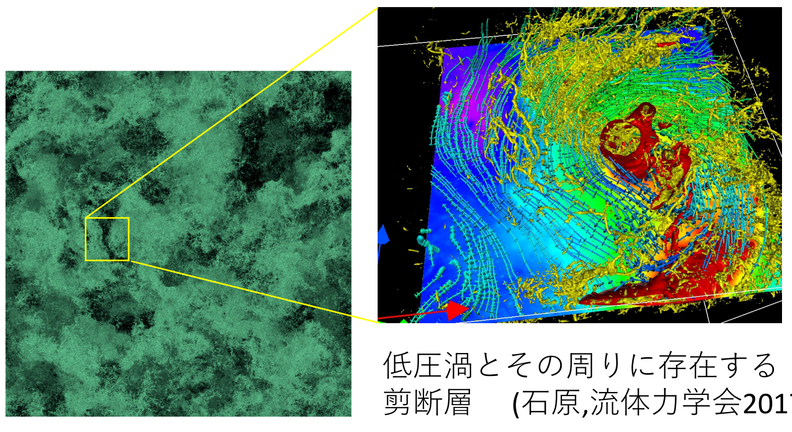


速度 (波数空間)
↓
速度、圧力（実空間）
↓
渦度、ストレイン、
圧力勾配（実空間）

→高Re乱流の流れ構造の
多様な視点からの理解

成果
・強い散逸構造
・局所レイノルズ数の解析
など

高Re乱流中の強い渦組織構造



低圧渦とその周りに存在する
剪断層　(石原,流体力学会2017)

渦組織構造周りの粒子運動のデータ解析が進行中