



超多自由度複雑流動現象解明のための計算科学

1. 乱流のカノニカルな問題の直接数値計算(DNS)コードの高効率化と応用
2. 詳細化学反応および簡略化学反応メカニズムを用いた3次元乱流燃焼DNS
3. 雨粒生成過程や乱流拡散現象等への応用を目指した、乱流中の高効率粒子追跡コードの開発

1. 乱流のカノニカルな問題(一様等方性乱流や平行平板間乱流など)のDNSコードの高効率化と応用

目的: 乱流のさらなる大規模DNS(高レイノルズ数)を目指したコード開発、乱流の大規模DNSによるデータベース構築、大規模データの可視化解析手法の開発

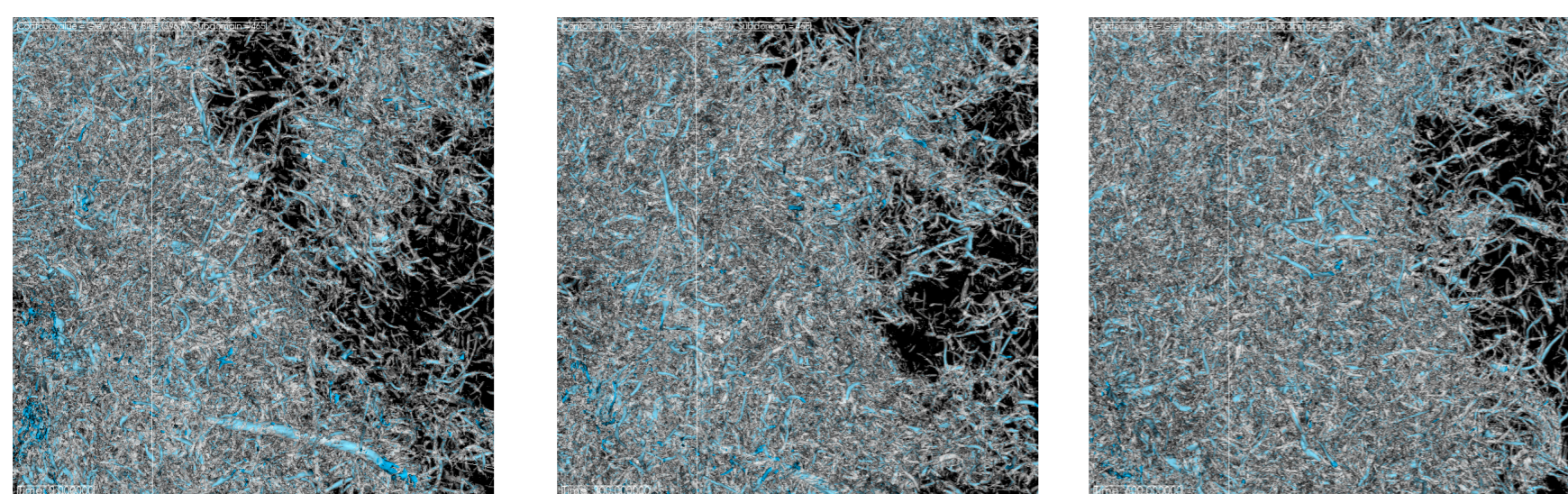
一様等方性乱流

・さらなる大規模DNS(高レイノルズ数)を目指したコード開発
→領域2次元分割のフーリエ・スペクトル法乱流DNSコードの開発

N	# of nodes	TFlops	efficiency
256	4x4	0.099	4.85%
512	8x8	0.419	5.12%
1024	16x16	1.642	5.01%
2048	32x32	5.400	4.12%
4096	64x64	12.48	2.38%
6144	96x64	19.50	2.48%
8192	128x128	39.30	1.87%
12288	384x128	103.4	1.64%

▶コードの活用、高効率化

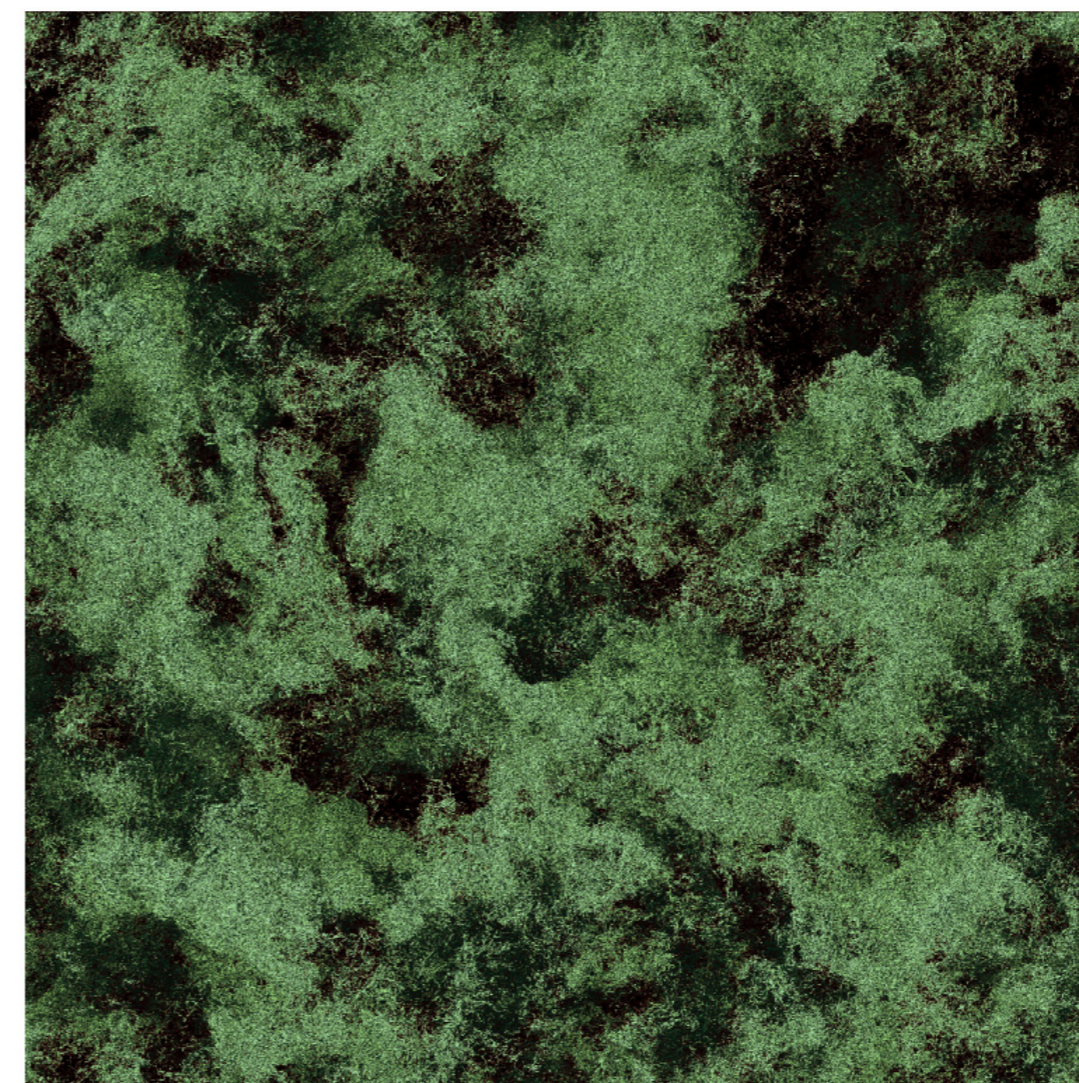
・乱流の大規模DNSによるデータベースの構築
→高レイノルズ数乱流のDNS(格子点数: 4096³)の渦度時系列データベースの構築 (t=0からt=10τ_ηまで100ステップ: 30TB)



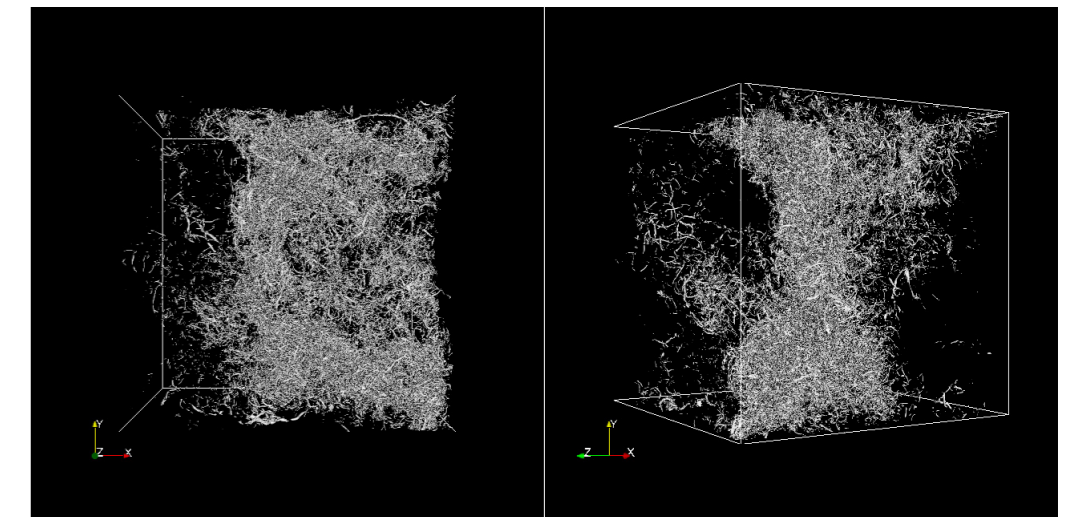
高レイノルズ数乱流(Rλ=1131)中の渦管の集中領域(剪断層)の10τ_ηでの時間変化

・大規模データの可視化解析手法の開発

→時系列データを組織的に可視化 & 解析し、高レイノルズ数乱流の時空間的間欠性の構造の解明



10¹ / 100η Annu. Rev. Fluid Mech. 2009. 41



左: 高レイノルズ数乱流(Rλ=1131)の高渦度領域の可視化、右: 時系列データ中のある部分領域の詳細な解析例; (上)ある領域を回転させて見せる動画、(下)ある断面上の渦度分布

平行平板間乱流

・大規模DNS(フーリエ・チェビシェフτ法)によるデータベースの構築

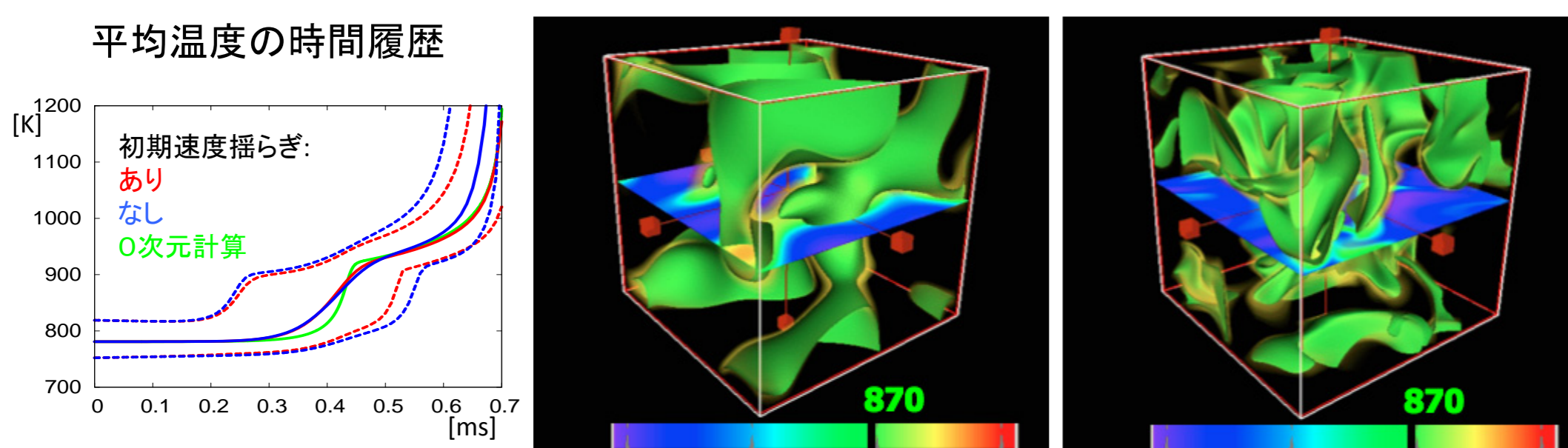
格子点数 2048x1536x2048, 最大レイノルズ数: Rτ=5120
→対数領域におけるk^{-5/3}エネルギースペクトルと非等方スペクトル

課題: 超大規模DNSによる高レイノルズ数乱流データベースの構築
挑戦: 大規模時系列データの没入・対話型可視化

2. 簡略化学反応(33化学種)を用いた3次元乱流燃焼DNS

目的: 乱流燃焼の大規模DNSを実現し、**nヘプタン自己着火過程における乱流の役割**を理解する

空間微分: 8次精度中心差分法、8次精度ローパスフィルタ
時間発展: 4次精度Runge-Kutta法(or 3次精度ESDIRK法)



nヘプタンの簡略化学反応メカニズムを用いた自己着火過程の3次元DNS. 初期速度揺らぎがない場合(左)とある場合(右)の比較. 発熱反応の盛んな膜状領域が870Kの等温面と一致

課題/挑戦: さらなる大規模DNSの実現

3. 雨粒生成過程や乱流拡散現象等への応用を目指した、乱流中の高効率粒子追跡コードの開発

目的: 高レイノルズ数乱流場中の粒子の運動解析

空間微分: フーリエ・スペクトル法
時間発展: 4次精度RungeKutta法
粒子追跡: 3次スプライン補間+4次精度RungeKutta法

St ≠ 0 のとき

粒子の運動方程式

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{V}$$

$$\frac{d\mathbf{V}}{dt} = \frac{1}{St}(\mathbf{V}_T + \mathbf{u} - \mathbf{V})$$

St = 0 のとき

$$\mathbf{V}_T + \mathbf{u} - \mathbf{V} = 0$$

粒子の運動方程式は下の式になる

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{V}_T + \mathbf{u}$$

課題: 粒子追跡部分の2次元分割DNSコードへの実装