



超多自由度複雑流動現象解明のための計算科学的研究拠点の構築

1. 乱流のカノニカルな問題(周期境界条件下の Box 乱流、平行平板間乱流)の大規模DNS
2. 雲物理への応用を考慮した、乱流中の高効率粒子追跡コードの開発
3. 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用コードの開発

1. 乱流のカノニカルな問題(周期境界条件下の Box 乱流、平行平板間乱流)の大規模DNS

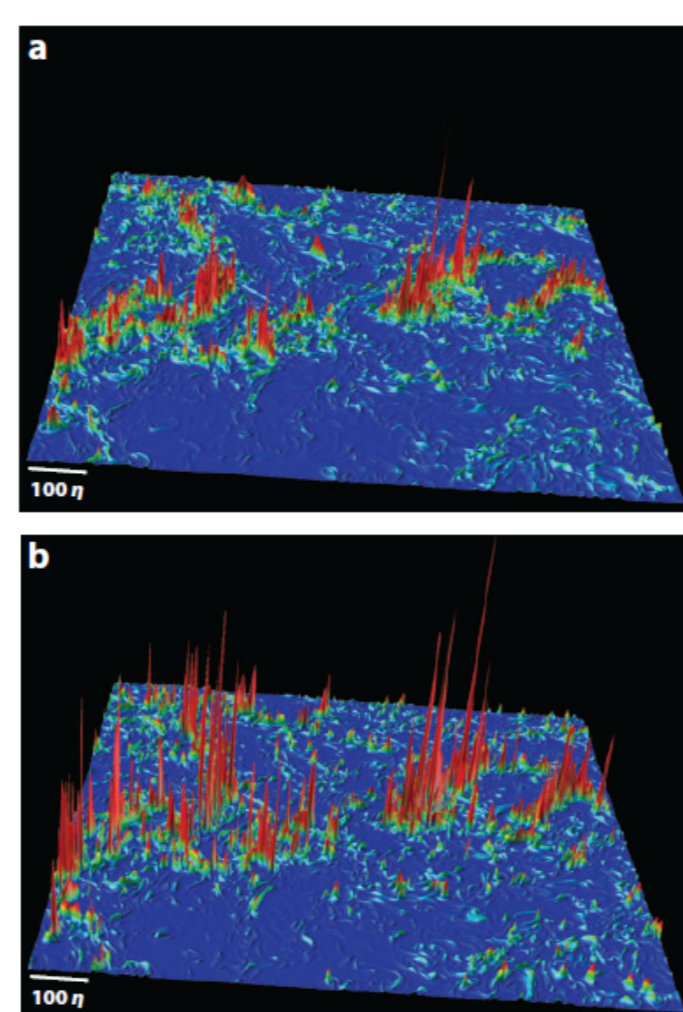
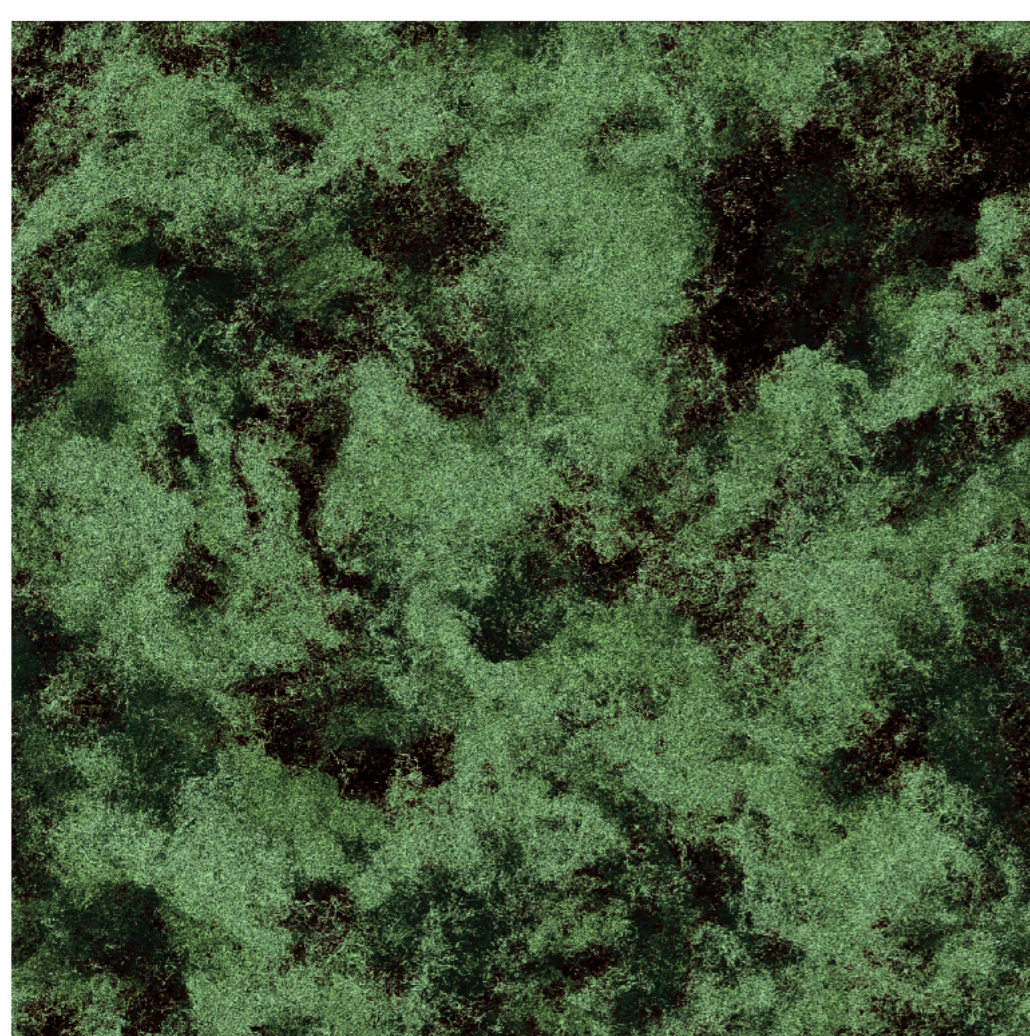
目的: 高レイノルズ数乱流の普遍的統計法則の追求と高レイノルズ数乱流特有の渦構造の解明、およびそのためのデータベースの構築

Box乱流(現状)

空間微分: フーリエ・スペクトル法

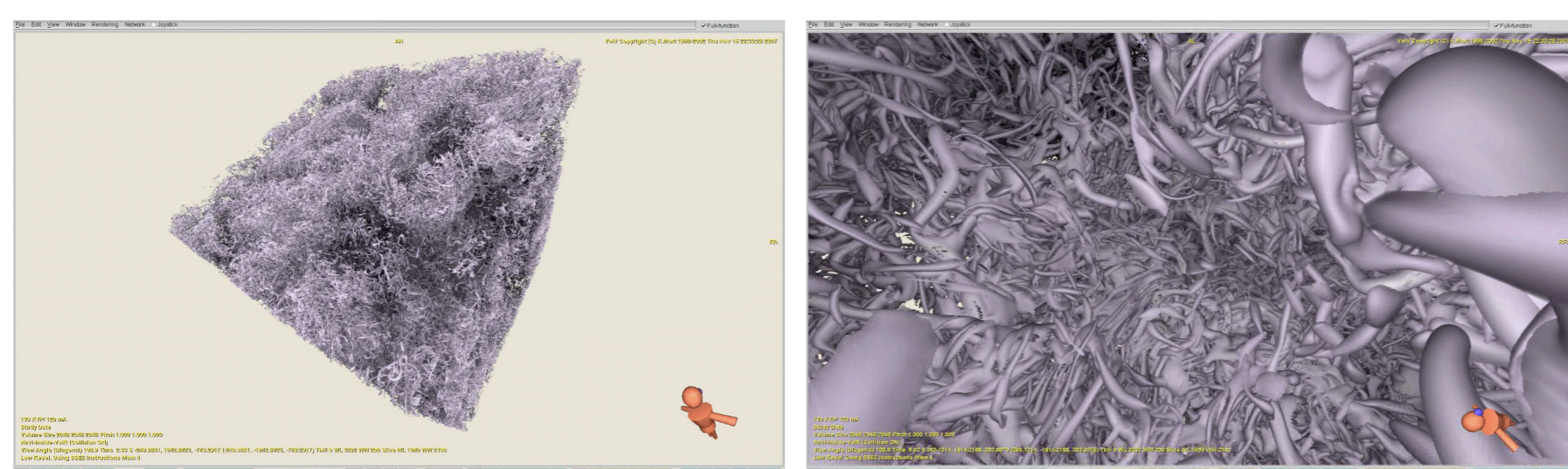
時間発展: 4次精度RungeKutta法

最大格子点数(現状): 4096<sup>3</sup>、最大レイノルズ数:  $R\lambda=1131$



Annu. Rev. Fluid Mech. 2009. 41

高レイノルズ数一様等方性乱流場( $R\lambda=1131$ )の強渦度領域(左)  
乱流( $R\lambda=675$ )中のある断面上のエネルギー散逸とエンストロフィーの強度分布(右)



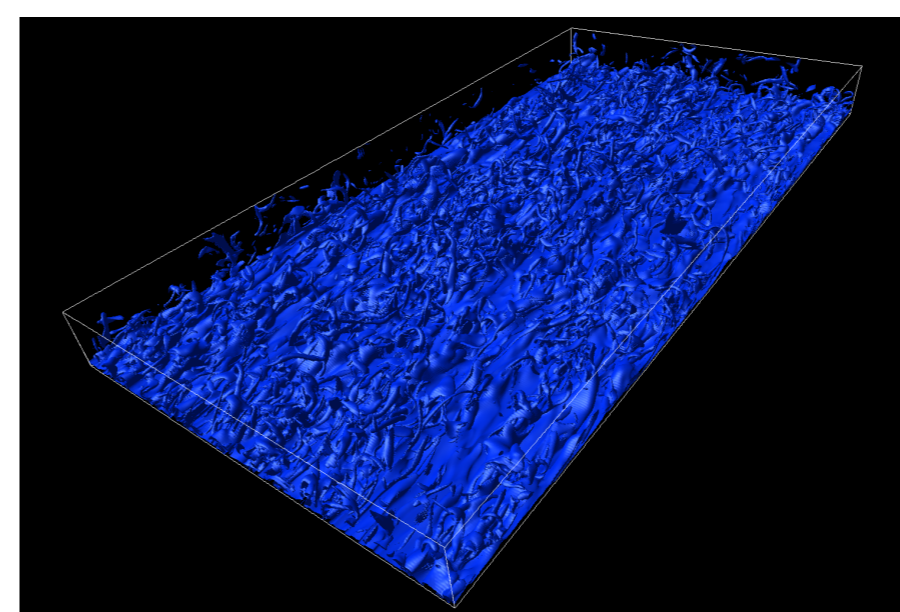
高速ボリュームレンダリング(森)を用いた格子点数2048の3乗の乱流場の対話的可視化

平行平板間乱流(現状)

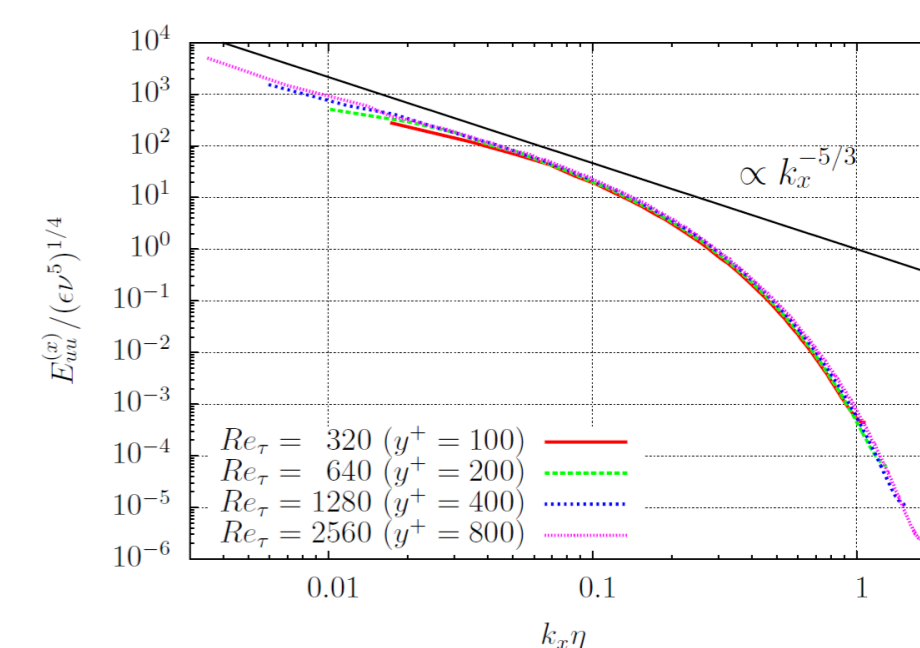
空間微分: フーリエ・チェビシェフタウ法

時間発展: 3段RungeKutta法(非線形項)1次精度陰的Euler法(粘性項)

格子点数(現状) 1024x1536x1024、最大レイノルズ数:  $R\tau=2560$



平行平板間乱流( $R\tau=2560$ )の壁近傍の強渦度領域



平行平板間乱流の対数領域において得られた1Dエネルギースペクトル

特徴

Box乱流

- ・高レイノルズ数ほど強い間欠性
- ・管状渦の集合体が形成するシャープな境界をもつ層状シア領域

平行平板間乱流

- ・対数領域における $k^{-5/3}$ エネルギースペクトル

課題

- \* より大規模なDNSを実現するためのコードの開発
- \* 時系列を含めた乱流データベースの構築
- \* 時系列を含めた大規模データの詳細な可視化解析をシームレスに実施するための環境の整備

2. 雲物理への応用を考慮した、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

$St \neq 0$  のとき

粒子の運動方程式

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= V \\ \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{St}(V_T + u - V) \end{aligned}$$

$St = 0$  のとき

$$V_T + u - V = 0$$

粒子の運動方程式は下の式になる

$$\frac{dX}{dt} = u + V_T$$

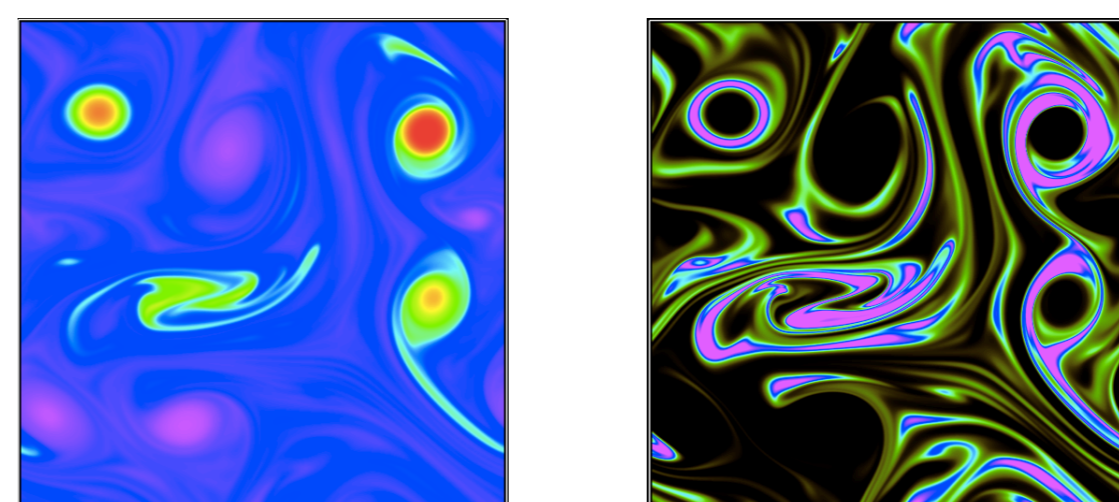
課題 \* 粒子追跡の並列計算の高効率化

3. 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用コードの開発

目的: 乱流燃焼の大規模DNSを実現し、燃焼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RungeKutta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2次元DNS(2048x2048)によって得られた低温酸化反応開始時刻における温度場とOHラジカルの濃度場

課題 \* 2次元乱流燃焼DNSコードの3次元化、高効率化