



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大規模直接数値計算(DNS)コードの開発と高効率化, データベースの活用
2. 高レイノルズ数乱流中の高効率粒子追跡
3. 簡略化学反応メカニズムを用いた3次元乱流燃焼DNS

1. 乱流のカノニカルな問題の大規模直接数値計算(DNS)コードの開発と高効率化, データベースの活用

目的: 高レイノルズ数の乱流の性質の理解・解明、そのためのコード開発、大規模DNSの実現、データベース構築、可視化・解析手法の開発

世界最大規模乱流DNSデータの解析・可視化手法の開発

非圧縮性乱流

・高レイノルズ数乱流中の渦組織構造のダイナミクスの理解

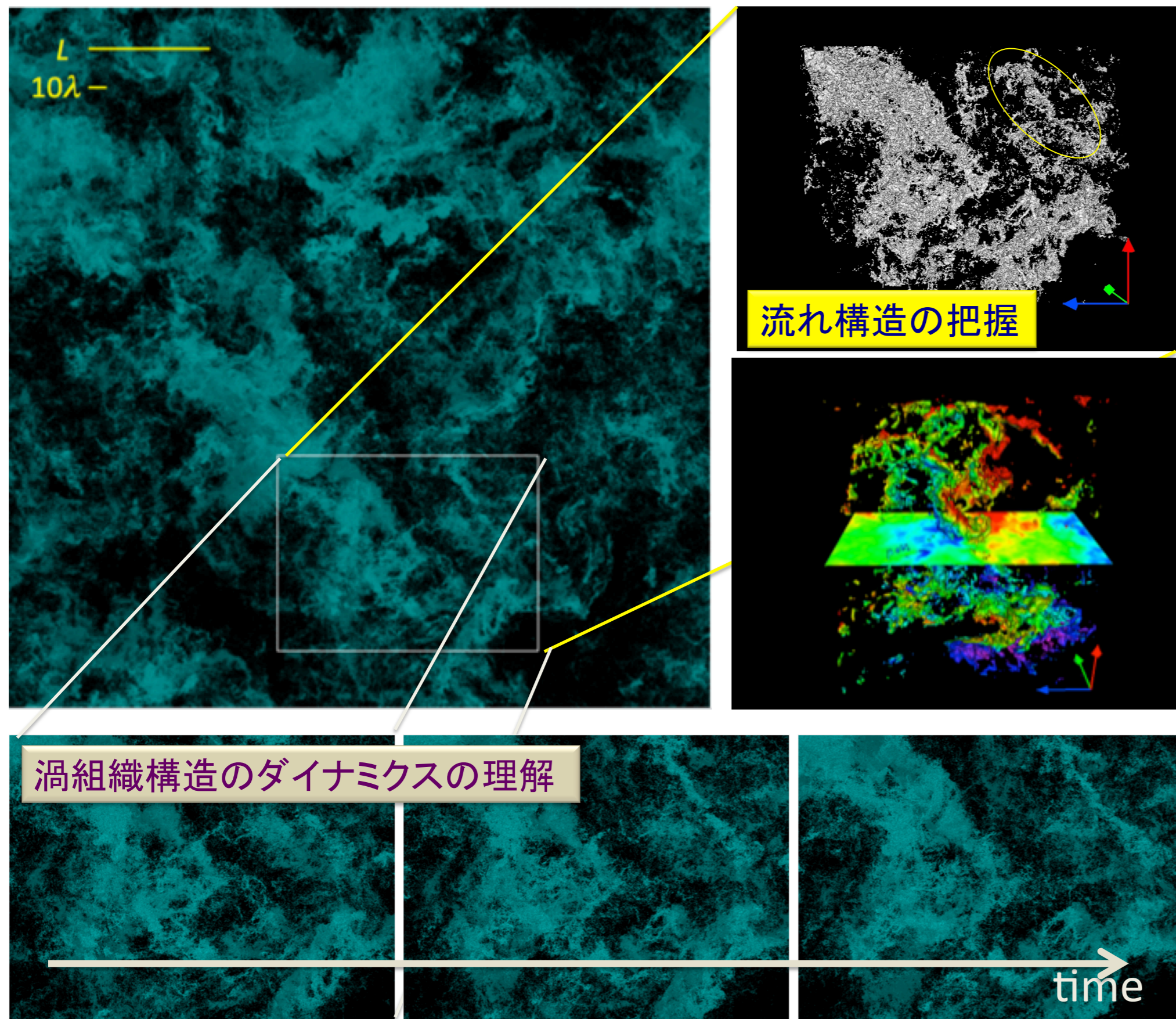


図: 世界最大規模の乱流DNS(格子点数12288³)で得られたエンストロフィの可視化

多様な高レイノルズ数乱流現象の理解にむけて

圧縮性乱流

・高レイノルズ数圧縮性乱流の大規模DNS実現に向けたコード開発

M<0.5

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)

課題 ローパスフィルタ(過剰な散逸)の再検討
M>0.5での発散

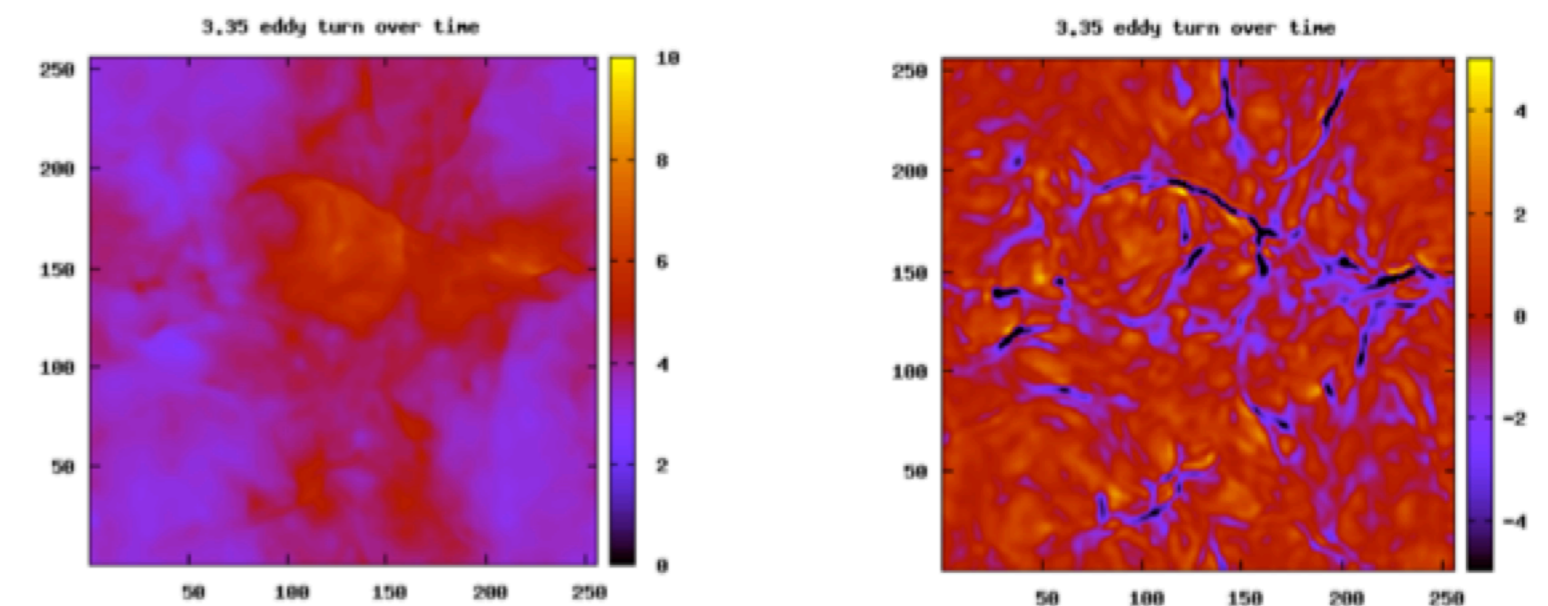


図: M~0.5の圧縮性乱流のDNSによって得られた圧力場とdiv uの場。弱い衝撃波が観察できる

M>0.5

空間微分: 8次精度コンパクト差分法+WENO(+超粘性)

課題 ・衝撃波捕獲法を用いた高精度乱流DNSコードの開発
・高レイノルズ数乱流実現に向けての高効率化・大規模化

2. 高レイノルズ数乱流中の高効率粒子追跡

目的: 原始惑星系円盤中の微惑星形成過程の解明

非圧縮性乱流における粒子追跡

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

これまで: 格子点数2048³の乱流DNS中で512³ × 8個の粒子の追跡

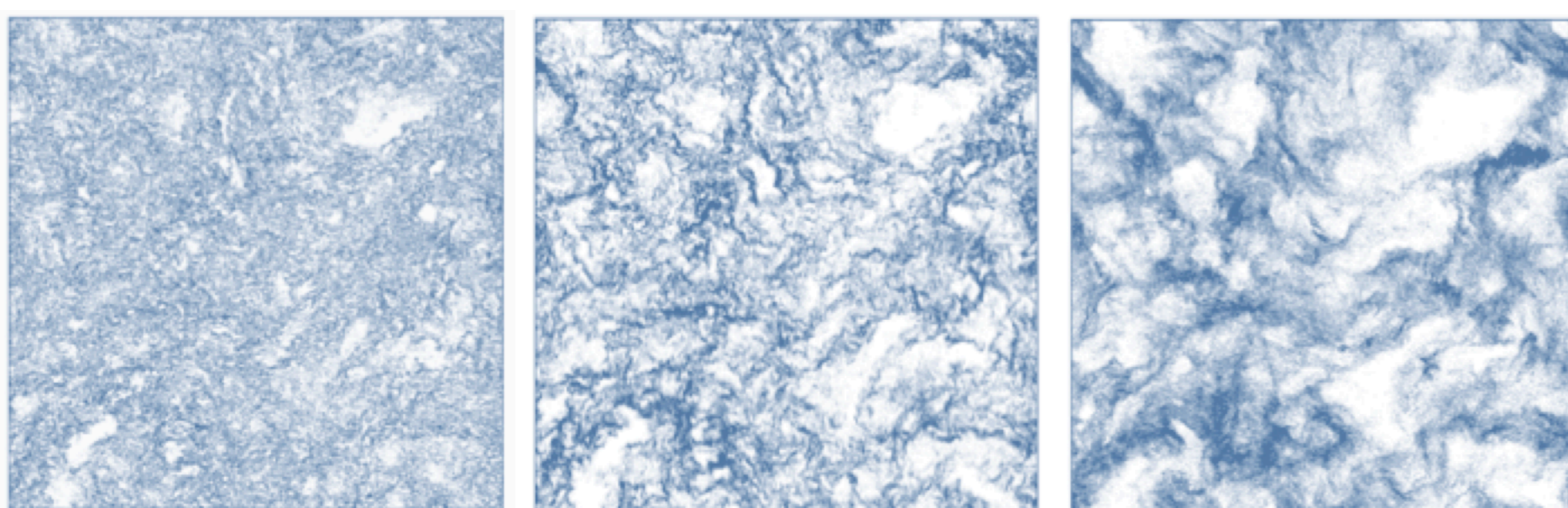


図: Re=O(10⁴)の乱流場中の慣性の異なる粒子の空間分布. St=1, 5, 20.

課題 ・高レイノルズ数乱流中の粒子追跡の実現
・圧縮性乱流中の粒子追跡
・ダストの衝突付着成長シミュレーション

3. 簡略化学反応メカニズムを用いた3D乱流燃焼DNS

目的: 燃焼現象の解明と制御

ノルマルヘプタンの自己着火過程

・等温壁を導入した3次元DNSコードの開発

課題 ・壁近傍の急激な温度変化の解像
・本着火時における発散の克服
・本着火時の壁による熱損失の評価
・壁近傍の低温領域の急激な温度勾配を発生する領域における燃焼現象の理解

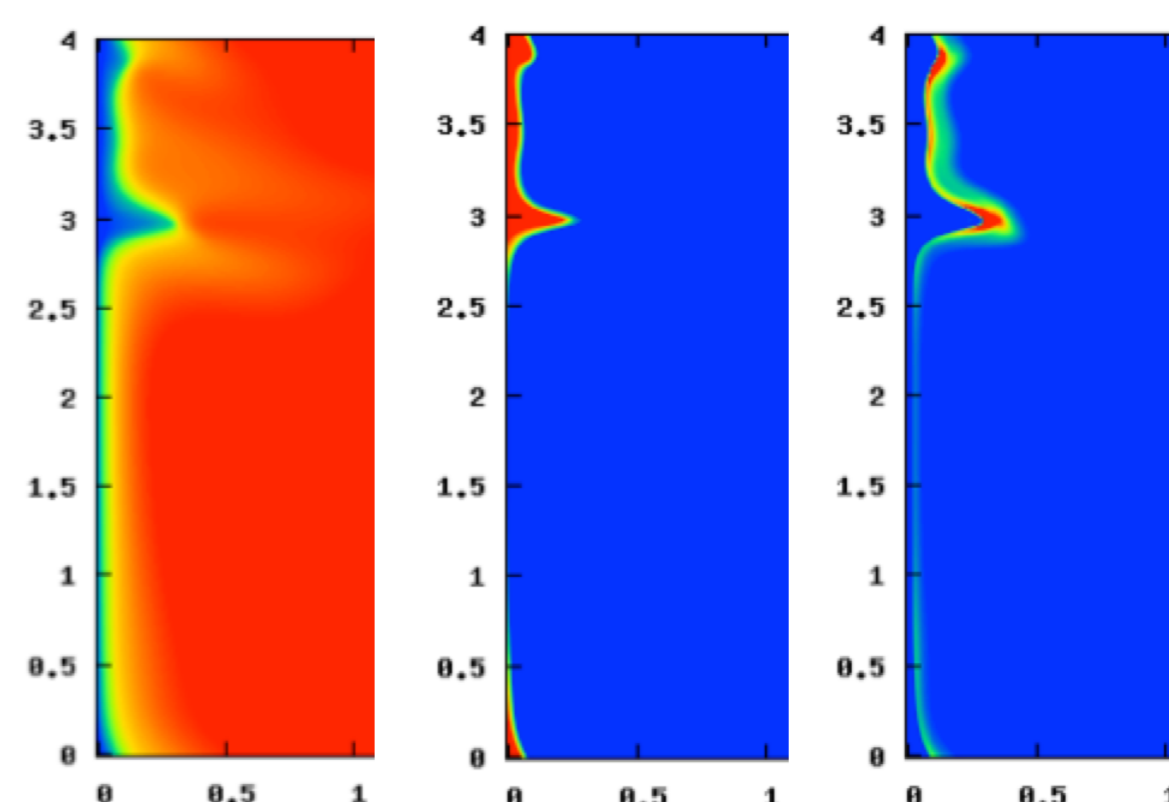


図: ノルマルヘプタンの自己着火過程の2次元DNSによる壁近傍(左側)の温度と燃料濃度と熱発生とのカウンター図。流れにより壁から内部領域に侵入した低温部では急激な温度勾配と熱発生が生じている