

乱流の計算科学

石原 卓

名古屋大学大学院工学研究科
附属計算科学連携教育研究センター

はじめに

- 乱流

- 物理学における未解決な問題
- 環境問題, 航空機の設計など実応用に直結する challengingな課題

- NS方程式
- 非線形性が強い
- 高Reで自由度数が巨大

$$\frac{\text{最も大きいスケール}}{\text{最も小さいスケール}} = O\left(\text{Re}^{3/4}\right)$$

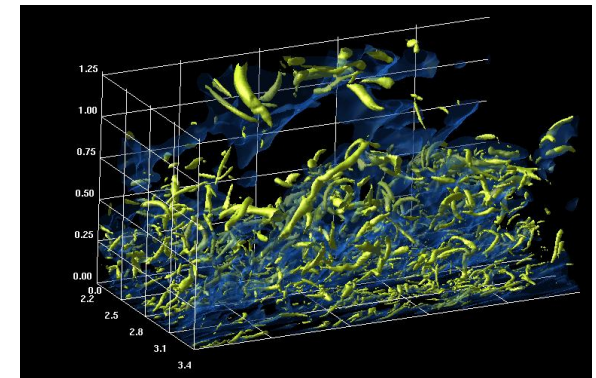
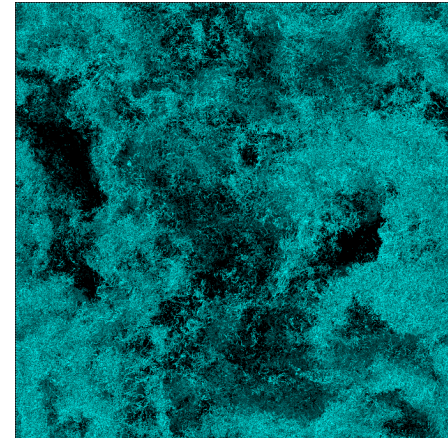
$$\text{必要な格子点数} = \text{自由度} = O\left(\text{Re}^{9/4}\right)$$

近年, **高Re乱流特有の性質**が注目されている



乱流の計算科学

- 規範的(カノニカル)な乱流場の大規模直接数値計算(DNS)
 - スーパーコンピュータの著しい発達
 - 高Re乱流場のDNSの実現
 - 一様等方性乱流
 - » 4096³(ES)
 - » 8192³, 12288³ (USA:計画中)
 - » 2048³(ES, Nagoya Univ., NIFS, Pittsburgh,...)
 - 平行平板間乱流
 - » 2304x1025x2048 (ES), 1024x1536x1024 (ES2)
 - » 6144x633x4608(Barcelona)
 - » 1024x512x1024(Nagoya Univ.)
 - 乱流混合層
 - » 648x973x432(TIT)
 - 乱流境界層
 - » 4608x512x768 (ES2)
 - Etc.



➡ データ共有の必要性 ➡ 乱流の計算科学VOの構築

21年度の目標

- 名古屋大学大学院工学研究科附属**計算科学連携教育研究センター**を中心に情報基盤センター等と連携して、**NAREGI ver1.1.3**を用いて、大規模乱流データ(格子点数:**4096³**)を共有・有効利用するためのデータグリッドを構成し、大規模乱流データに関連した**研究コミュニティ形成を推進**する。
 - 乱流データ構築・管理レベル
 - **データグリッドを補強構成**, 乱流データ管理システムを構築
 - 乱流データ解析・可視化レベル
 - **HX600を活用**したデータグリッド上の大規模データ解析
 - 乱流データ解析結果共有レベル
 - **大規模データグリッドの活用**と研究コミュニティ形成の推進

NAREGIミドルウェア環境

nagoya-vo3

名古屋大学情報基盤センター
'09.10

gvms-hx.cc.nagoya-u.ac.jp
202.241.97.136

計算科学センター
GridVM
データグリッド
(CentOS)

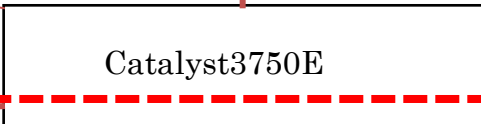
補強

CSI-GRID

SINET3
DWDM



202.241.97.129



133.6.90.28

202.241.97.158

(Red Hat Enterprise Linux4)
スーパーコンピュータ
HX600
16ノード



<voms>

VOMS

(S Linux)

202.241.97.135

HUB

<iscdas>
IS-CDAS
Node
202.241.97.130

<isnas>
IS-NAS
Node
202.241.97.131

GridVM Node & 計算Node
(CentOS)
202.241.97.134

<ss>

SS Node

(CentOS)

202.241.97.132

<grid-portal>

Potal Node

133.6.90.83

計算Node

<gvmc1-1> ~ <gvmc1-5>

gvms1.cc.nagoya-u.ac.jp

情報基盤センター



キャンパスLAN (NICE)



(CentOS)

太陽研
GridVM

計算ノード × 4

データグリッド
(Gfarm-fs)

grid-nas

データグリッド <gfarm-fs>
<dguft> 202.241.97.149
<gfsrm-vo> 202.241.97.142
202.241.97.141 300GB

乱流データ構築・管理レベル

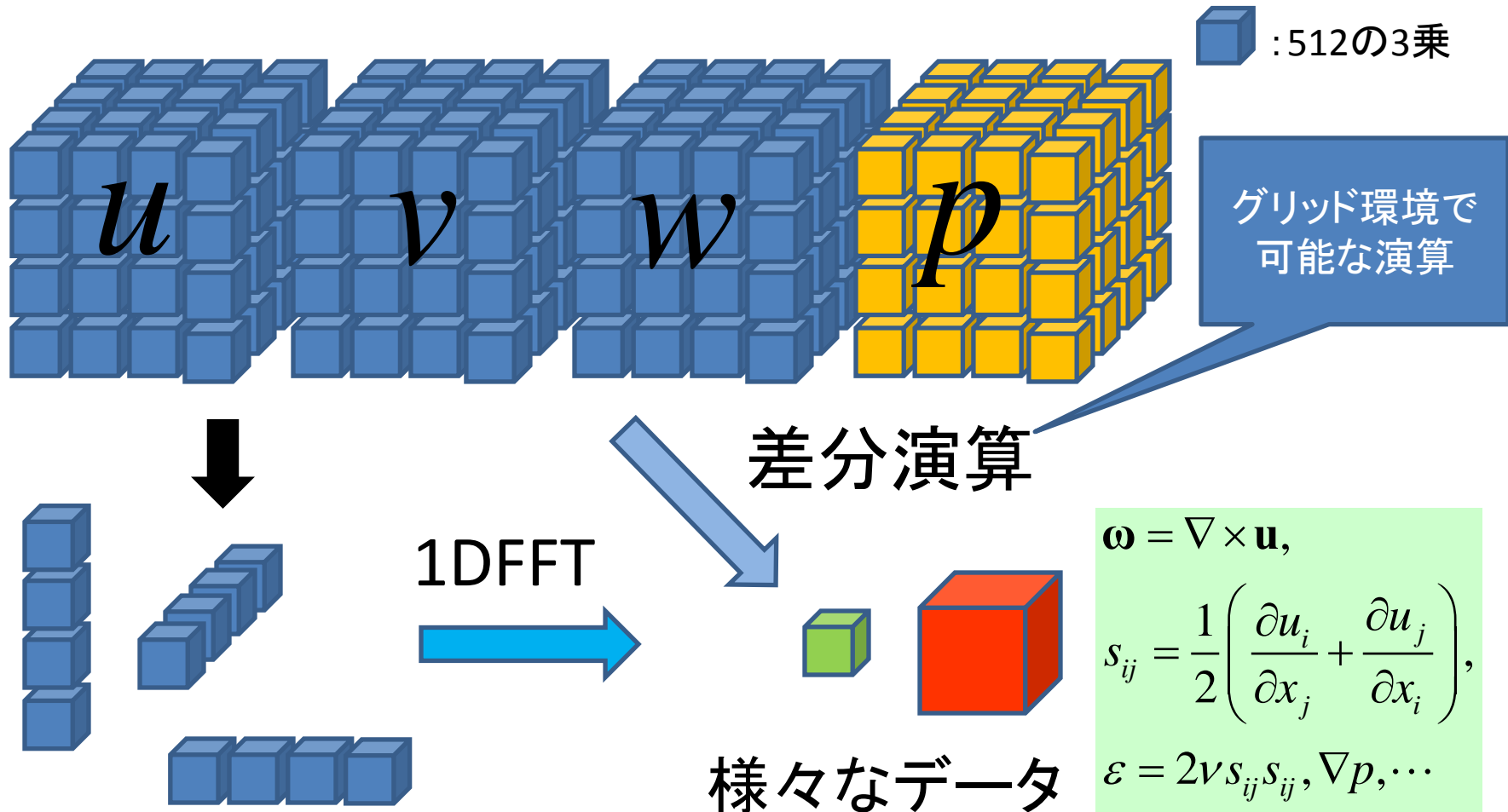
- 計算科学連携教育研究センターにおいて、データグリッド(DISK容量3TB)の補強
 - 一様等方性乱流の格子点数: 4096の3乗の世界最大規模直接数値計算(DNS)データをデータグリッド上に配置
- 地球シミュレータを用いた新しいデータベースの構築
 - 平行平板間乱流: 世界最大レイノルズ数の実現
 - 乱流境界層: スペクトル法による世界最大規模DNSの実現



これらの大規模データの共有は今後の課題

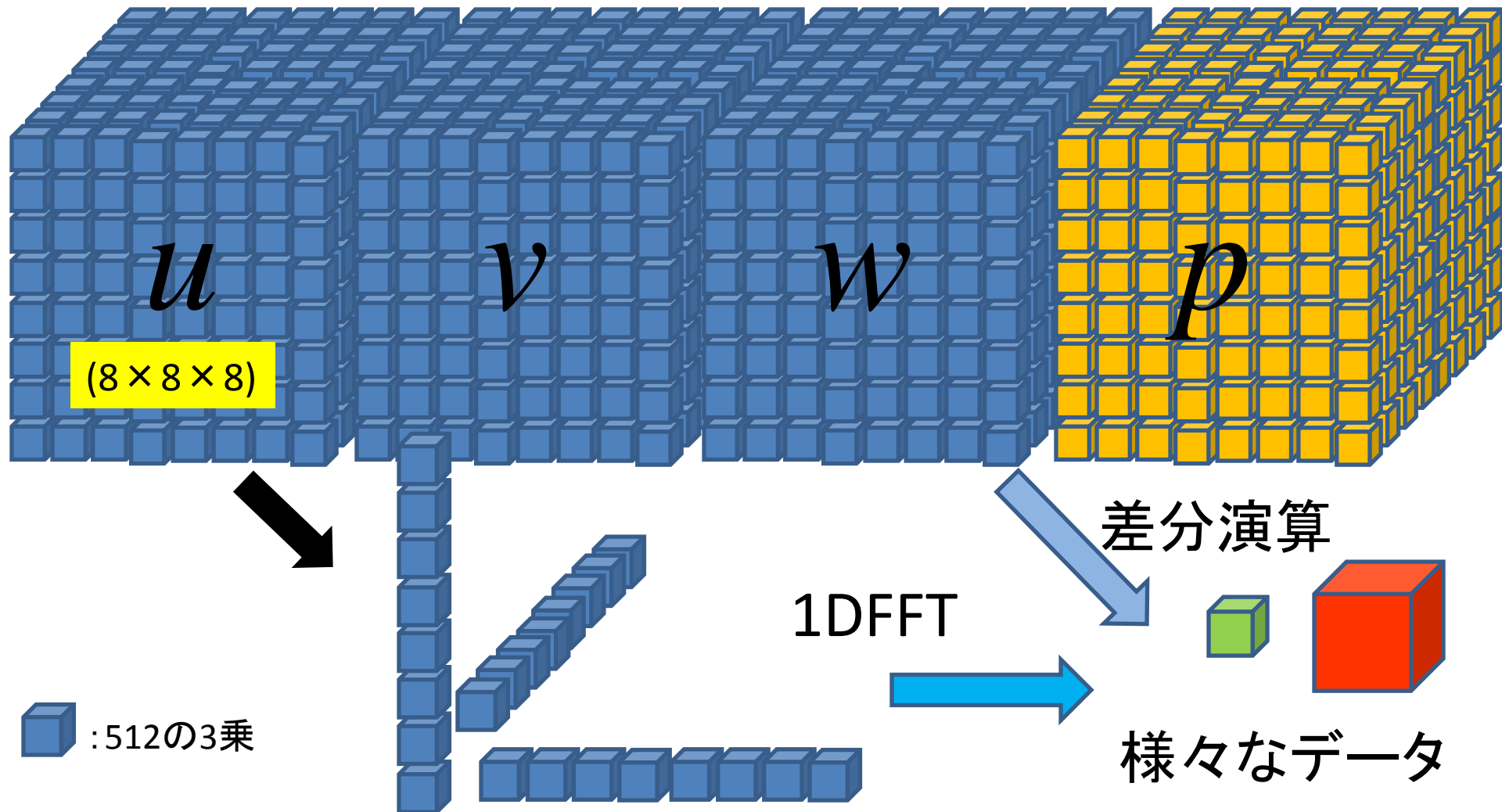
共有用乱流データ(2048³) 昨年度

- 速度3成分と圧力の実空間データ(～128GB)



共有用乱流データ(4096³)今年度

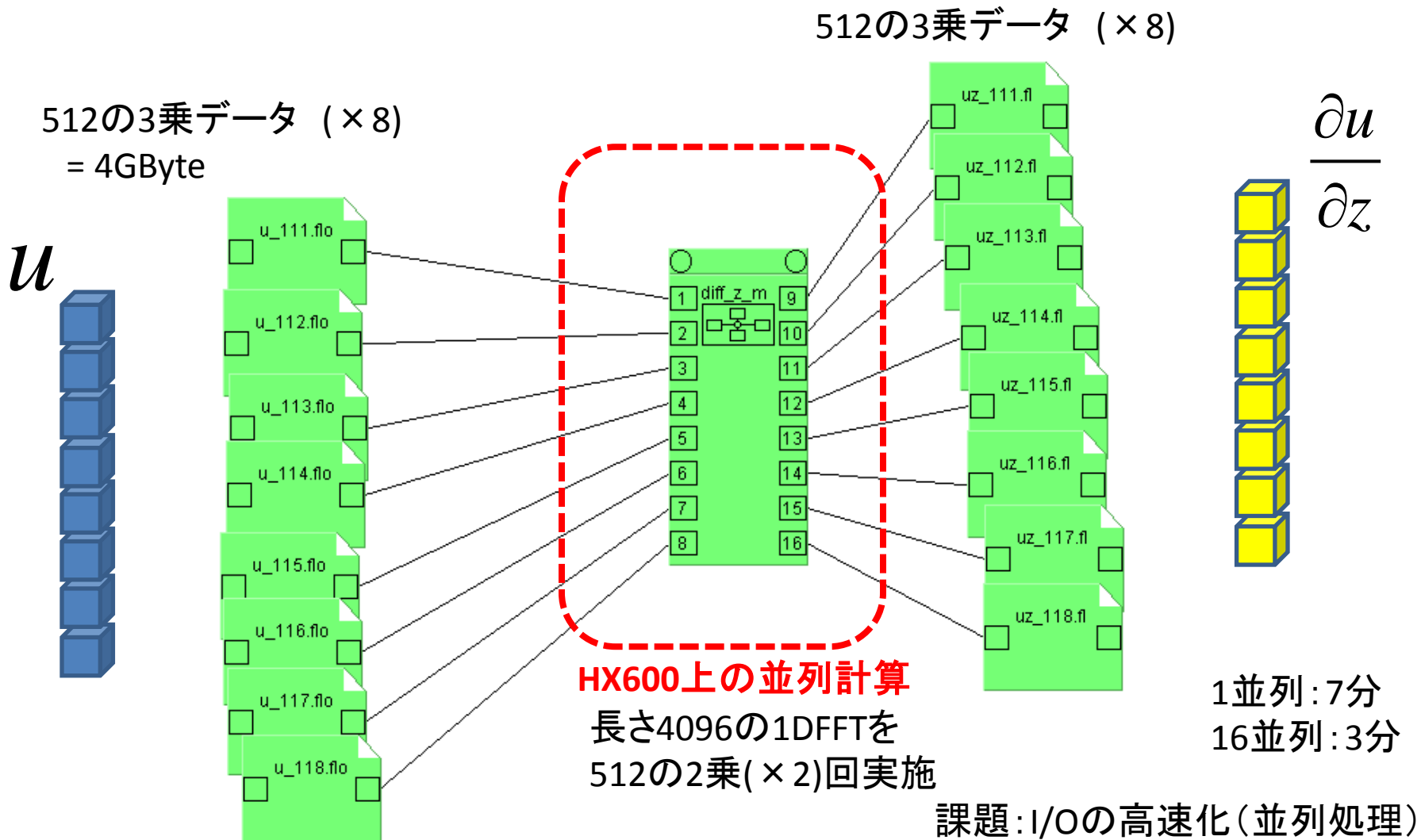
- 速度3成分と圧力の実空間データ(～1TB)



乱流データ解析・可視化レベル

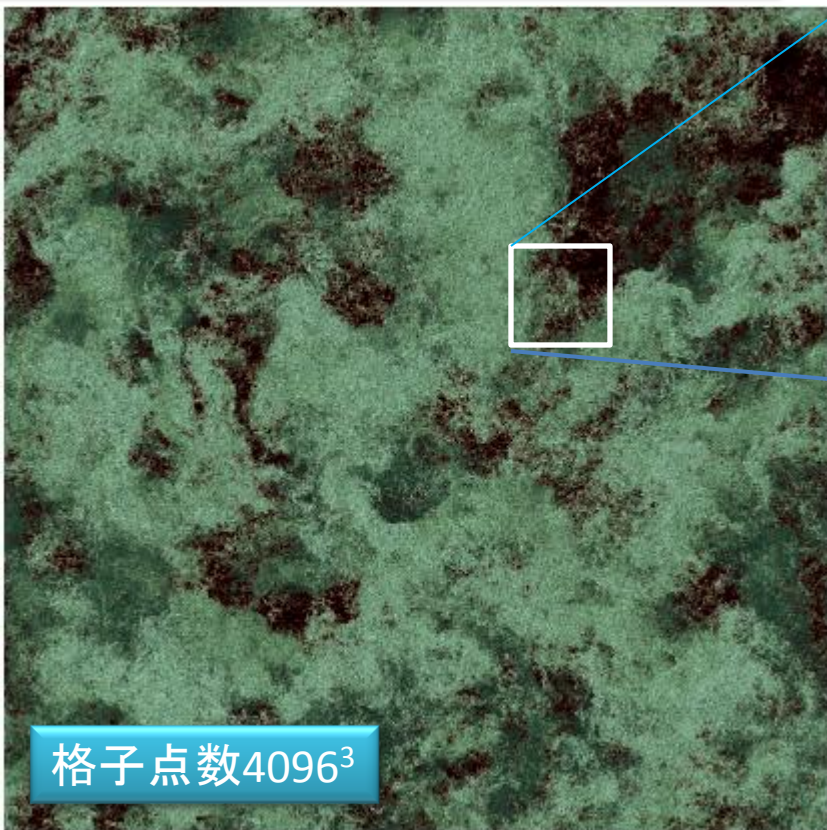
- 名古屋大学情報基盤センターの
HX600(16ノード, メモリ容量64GB/ノード)を
GridVMとして活用
 - 4096の3乗のデータの加工が効率的に実現可能
 - ユーザーは512の3乗のサイズの様々なデータを
WFTを用いて生成可能
 - 高速ボリュームレンダリングソフトを用いた大域的な場の把握
 - Vapor, AVS等を用いた詳細な(対話的)可視化解析

HX600を用いたWFTによる 4096³データの加工の例

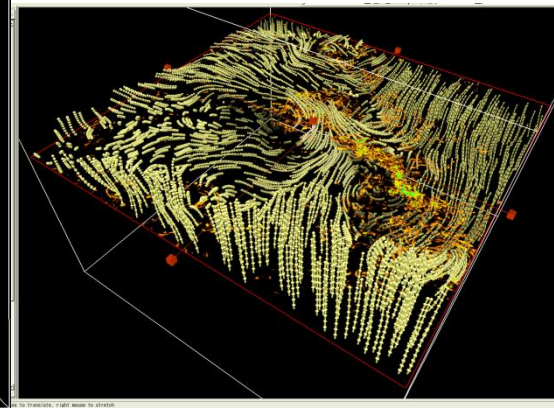
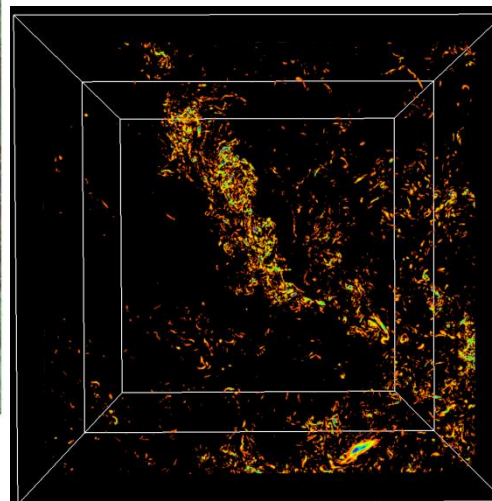
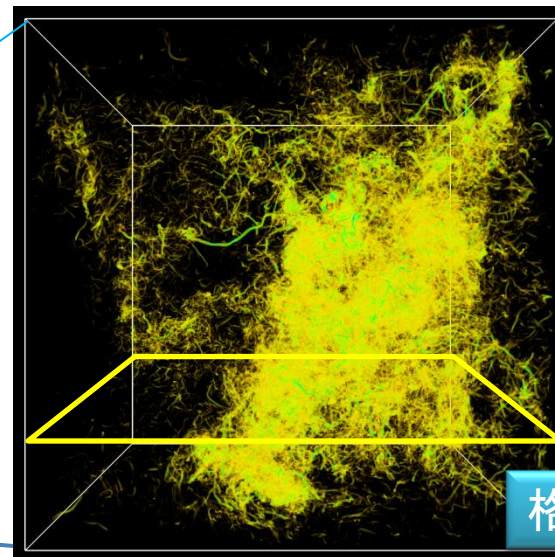


乱流データ詳細可視化解析の例

高Re乱流における乱流・弱乱流境界



Annu. Rev. Fluid Mech. 2009. 41:165-80



高Re特有の乱流・弱乱流のシャープな境界近傍の詳細な(対話的)解析が可能に!

国際共同研究の推進に貢献

乱流データ解析結果共有レベル

- 筑波大学大学院数理物質科学研究科物理学専攻のグループとデータグリッド上の乱流データ共有テストを実施
 - 乱流の大規模データを用いた共同研究が筑波大学と名古屋大学間で進行中

まとめ

- 名古屋大学大学院工学研究科附属計算科学連携教育研究センターを中心に情報基盤センター等と連携して、NAREGI ver1.1.3を用いて、世界大規模乱流データを共有・有効利用するためのデータグリッドを構成し、大規模乱流データに関連した研究コミュニティ形成を推進した
 - 乱流データ構築・管理レベル
 - データグリッドを計算科学センターに追加補強し、乱流の世界大規模DNSで得られたデータ（格子点数:4096の3乗）を「乱流の計算科学VO」内で共有可能にした
 - 乱流データ解析・可視化レベル
 - 情報基盤センターのHX600(16ノード, 1ノードにつき64GB)をGridVMとして使用することにより、乱流の世界最大規模データがWFTを用いて、効率的に加工/解析できることを確認
 - 結果として、世界最大規模データの詳細な可視化解析が可能となり、現在、国際共同研究の推進に貢献
 - 乱流データ解析結果共有レベル
 - 筑波大学のグループと連携して、データ共有テストを実施
 - 大規模データを用いた共同研究を実施中