



課題参加者：陰山聡<sup>1</sup> (副代表), 片桐孝洋<sup>2</sup>, 高橋大介<sup>3</sup>, 中島研吾<sup>4</sup>, 半場藤弘<sup>4</sup>, 宇佐見俊介<sup>5</sup>, 大谷寛明<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>神戸大, <sup>2</sup>名大, <sup>3</sup>筑波大, <sup>4</sup>東大, <sup>5</sup>核融合研

◆ 研究の目的

大レイノルズ数(無衝突に近い)プラズマの乱流を解くための新しいシミュレーション手法の開発

(1): シミュレーションの大規模化 物理的知識の更新  
⇒マシン性能に依存しない普遍的な性質の抽出

(2): プラズマ乱流の階層性

マクロ (MHDモデル) vs ミクロ (Hall項, 運動論効果)

⇒応用に必要なのはマクロ、ミクロはモデル化

◆ GS方程式とSGSモデル

流体モデル ... 非圧縮性、圧縮性で性質が異なる  
非圧縮性Hall MHD GS eq:

∂u\_i/∂t = -∂/∂x\_j [(u\_i u\_j - B\_i B\_j) + (p̄ + 1/2 B\_k B\_k δ\_ij)] + ν ∂^2 S\_ij - ∂τ\_ij/∂x\_j  
τ\_ij = [(u\_i u\_j - B\_i B\_j) + 1/2 B\_k B\_k δ\_ij] - [(u\_i u\_j - B\_i B\_j) + 1/2 B\_k B\_k δ\_ij]  
S\_ij = ∂u\_i/∂x\_j + ∂u\_j/∂x\_i, ∂u\_k/∂x\_k = 0  
∂B\_i/∂t = -ε\_ijk ∂E\_k/∂x\_j, ∂B\_k/∂x\_k = 0  
E\_i = -ε\_ijk (u\_j - ε\_H J\_j) B\_k + η J\_i - E\_i^M - E\_i^H  
E\_i^M = -ε\_ijk (u\_j B\_k - u\_j B\_k)  
E\_i^H = -ε\_ijk (-J\_j B\_k + J\_j B\_k)

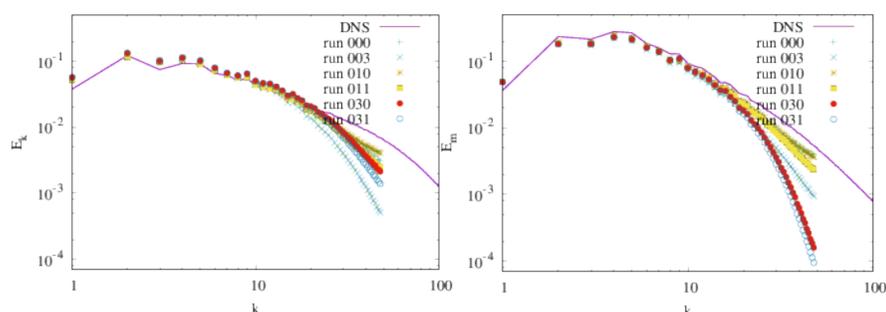
Miura et al. (2016)

τ\_ij = -ν\_SGS S\_ij  
E\_i^M + E\_i^H = -η\_SGS J\_i  
ν\_SGS = C\_ν Δ^2 (1/2 C\_ν S\_ij^2 + C\_η J\_i^2)^{1/2}  
η\_SGS = C\_η Δ^2 (1/2 C\_ν S\_ij^2 + C\_η J\_i^2)^{1/2}

Miura & Hamba (2017 ETC)

E\_i^M = -η\_SGS J\_i  
E\_i^H = ε\_H ∂/∂x\_j (ν\_SGS σ\_{H,1} S\_ij) - ε\_H^2 ∂/∂x\_j [ν\_SGS σ\_{H,2} (∂J\_j/∂x\_i + ∂J\_i/∂x\_j)]  
Non-trivial, dependent of flow shear  
Hyper diffusivity for the magnetic field eqs

◆ モデルの検証



古典的Smagorinsky型モデル+TS-DIA ← Hamba & Tsuchiya (2010)  
パラメータサーベイ: run000, ... . パラメータ群から100個以上の組み合わせで最適なパラメータセットを選定

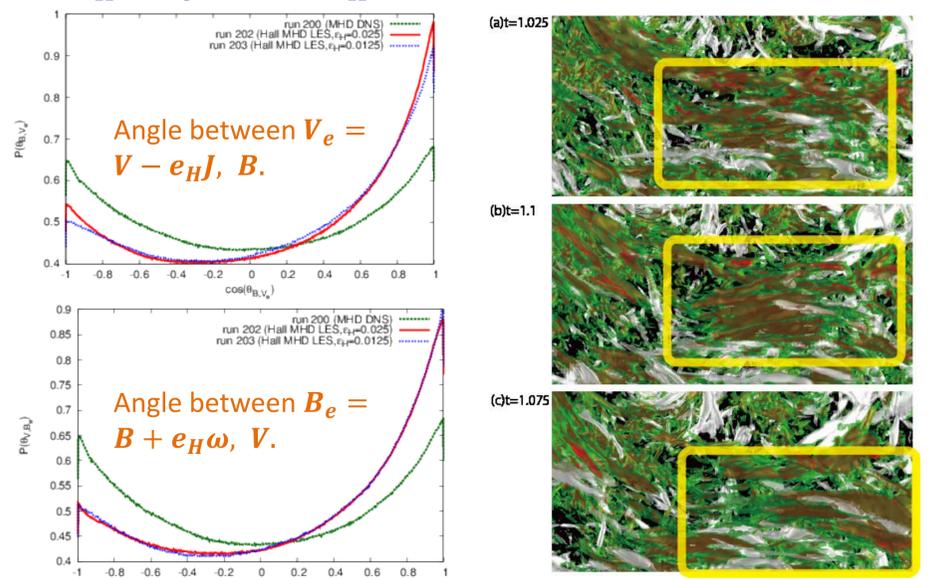
- 要件: (1) DNS のスペクトル (上図 実線) の再現性  
(2) 空間構造の再現性  
(3) 確率密度分布など統計的性質の再現性

今後の発展: 磁場による異方性、逆カスケード的な性質の反映(2018FY)

◆ 大規模シミュレーション擬スペクトルコード開発

3次元FFT ... p3dfft (https://github.com/sdsc/p3dfft)  
Oakforest-PACS上でのスケールアップの確認(~1024ノード)  
↓ 最適化 (OFP flat mode)  
MHDスケールへのHall効果の影響 (submitted)

シミュレーション事例: ベルトラミベクトル V\_e = V - ε\_H J, B\_e = B + e\_H ω のダイナミックアライメント

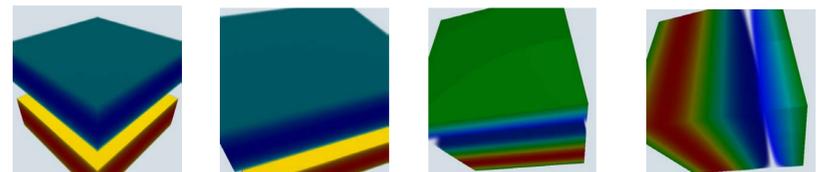
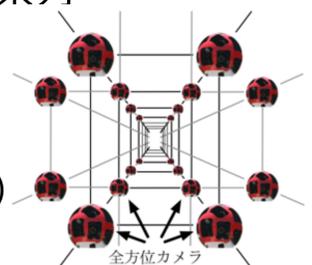


◆ 4次元ストリートビューによる可視化

全方位カメラによるin-situ 可視化+時系列可視化動画の解析

1. 要素技術の構築

- 全方位可視化技術⇒完成
- スーパーコンピュータ上で (GPUなし) 可視化する技術 ⇒ KVS
- 計算と同時に (in-situ) 可視化する技術 ⇒ Oakforest-PACS上で実装・コンパイル・テスト  
64 ノード (simulation)  
6 (=3+3) nodes (data server)  
32 nodes (32 cameras, KVS vis.)



2. Hall MHD LESコードへの実装へ (2018FY)

乱流の微細構造の形成、磁気リコネクションによる構造変化 etc. の素過程解析へ

Summary

- Hall MHD乱流のSGS モデルおよび大規模並列シミュレーションコードを開発.
- Hall MHD LESによるMHDスケールに対するHall効果の研究が進展
- 4次元ストリートビュー in-situ 可視化との組み合わせによる、乱流の構造形成の素過程探求へ (eg 磁気リコネクション)