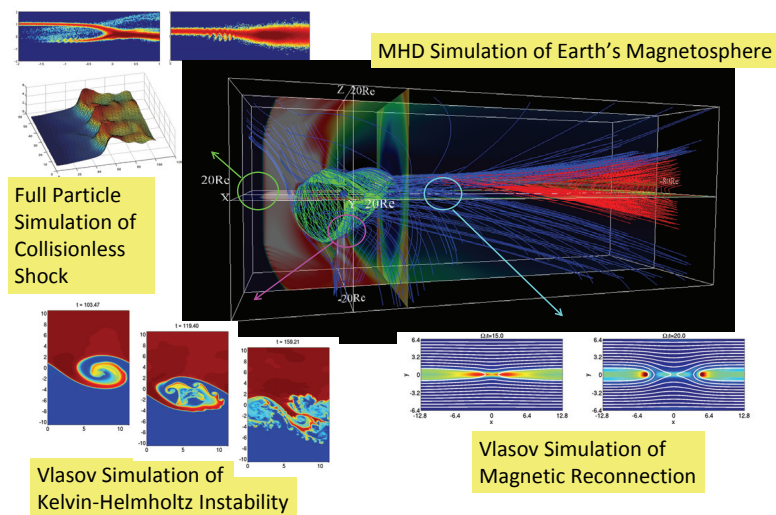




ジオスペースのグローバル構造は「磁気流体力学 (MHD)方程式」で記述できる。

しかし、グローバル構造の中に中間スケールの境界層と特徴的な現象 (不連続面: 衝撃波、速度シア層: K-H不安定性、電流層: 磁気リコネクション、など)が存在する。

中間スケールの境界層において、無衝突プラズマ粒子の運動論的振る舞いが散逸を担う。

・ミクロ (粒子) スケール: 1m ~ 10km

・メソ (中間) スケール: 100km ~ 10,000km

・グローバルスケール: 100,000km ~ 無限大

⇒異スケールが互いに結合

目的

① グローバル磁気圏構造にメソスケール過程が与える影響を調べる。

→ グローバルMHDシミュレーションをより高解像度に (マクロメソ)

② メソスケール境界層に無衝突プラズマ粒子の運動論過程が与える影響を調べる。

→ 第一原理運動論シミュレーションをより大規模に (マイクロメソ)

MHD方程式
(3次元 × 8変数)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v}\rho)$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \mathbf{J} \times \mathbf{B}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -(\mathbf{v} \cdot \nabla) p - \rho \nabla \cdot \mathbf{v}$$

モーメント計算

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$$\mu_0 \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{B}$$

Maxwell方程式

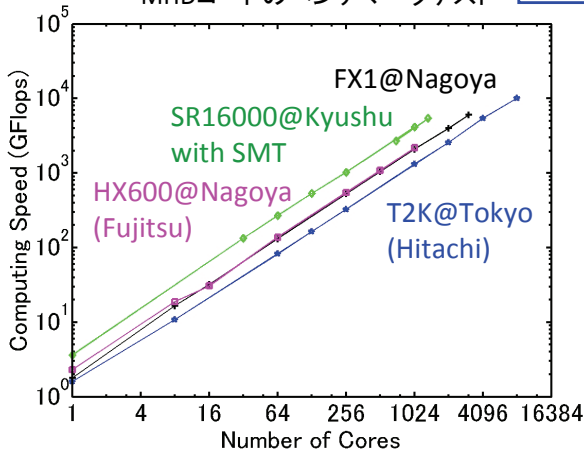
第一原理
Vlasov方程式
(6次元)

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} + \frac{q}{m} (\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E}$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \nabla \times \mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{J}$$

MHDコードのベンチマークテスト



並列コードのベンチマークテスト

◎弱いスケーリング。

MHD: 256MB/core

Vlasov: 1GB/core

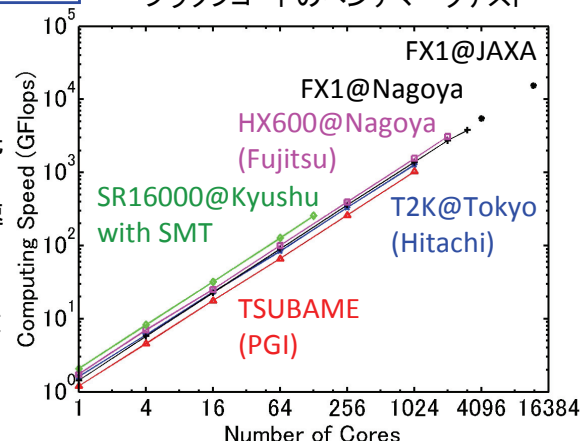
◎MHDコードは領域分割の次元を変えて計測。

・x86系は3次元分割(A)が最速 (実効性能: 15~20%)

⇒SSEが有効

・SR16000とFX1は8つのMHD変数のメモリアクセスが連続的になるようにデータを並び替えた3次元分割(B)が最速 (実効性能: ~20%)

ブラソフコードのベンチマークテスト



まとめと今後の方針

・どのシステムにおいてもほぼ線形なスケーラビリティ
・どのシステムにおいても、実効効率は10 - 20%以上

・今後は、128 - 1024 コアの並列計算により、スケール間結合の研究を進める。

☆高解像度磁気圏グローバルMHDシミュレーション

☆中間スケール規模の第一原理ブラソフシミュレーション

— Type A: $f(i, j, k, m)$

— Type B: $f(m, i, j, k)$

i, j, k が空間番号、 m が変数番号

⇒同じ位置 (i, j, k) で8つのMHD変数に連続アクセスするようにする

※HPC2500では有効だった

SR16000はSMT必須