

太陽活動によってダイナミックに変化する「ジオスペース」(太陽から地球までの空間)を理解し、「宇宙天気予報」を実現する。
⇒ジオスペースを満たす宇宙プラズマの振る舞いを理解するためにはHPCは不可欠

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。

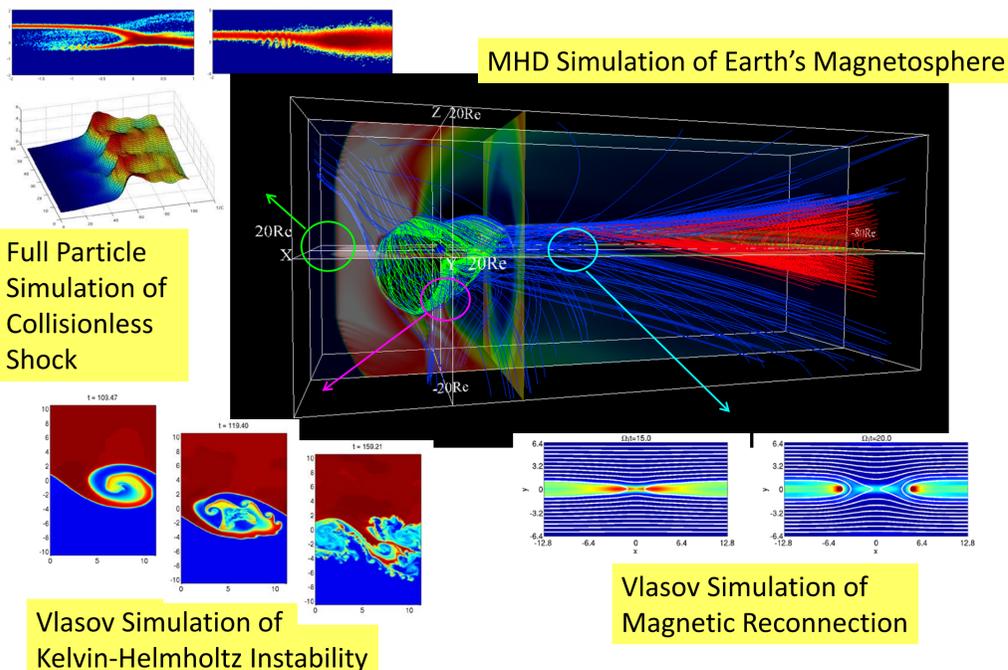
しかし、グローバル構造の中に中間スケールの境界層と特徴的な現象(不連続面:衝撃波、速度シア層:K-H不安定性、電流層:磁気リコネクション、など)が存在。

中間スケールの境界層において、プラズマ粒子の運動論的振る舞いが散逸を担う。

- ・マイクロ(粒子)スケール: 数km ~ 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)



Full Particle Simulation of Collisionless Shock

MHD Simulation of Earth's Magnetosphere

Vlasov Simulation of Magnetic Reconnection

Vlasov Simulation of Kelvin-Helmholtz Instability

MHD方程式 (3次元 × 8変数)

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

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

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

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

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

第一原理 Vlasov方程式 (6次元)

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

モーメント計算

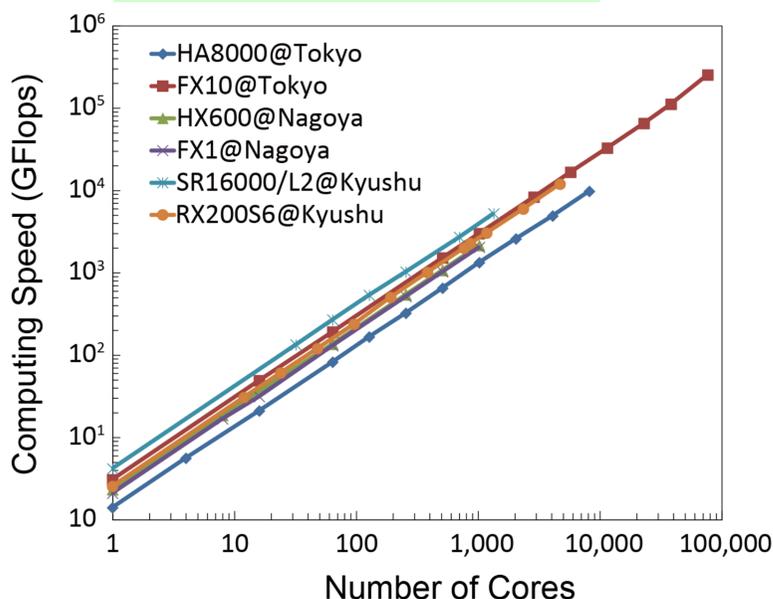
Maxwell方程式

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

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

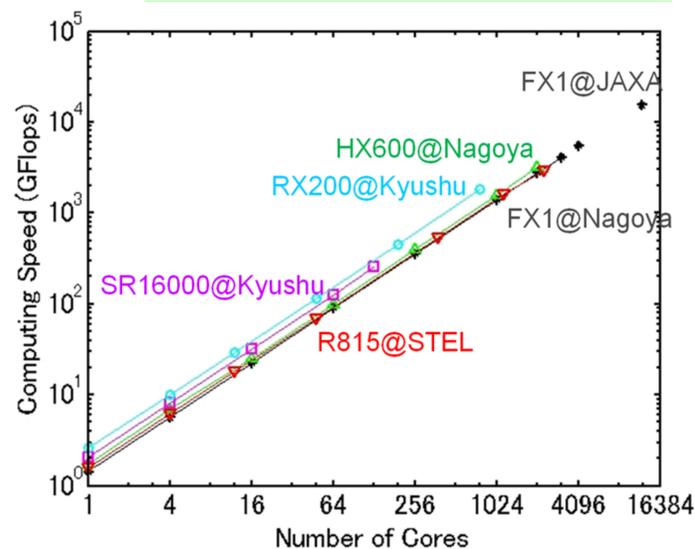
並列コードのベンチマークテスト

MHDコードのベンチマークテスト



- ◎弱いスケーリング。
MHD: 245MB/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2or3次元分割が最速(実効性能: 15~30%)
⇒SSEが有効
- ・SR16000、FX1とFX10は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



- ・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

まとめと今後の方針

- ・新たに稼働するシステムにおいてベンチマークテストを実施し、チューニングを行う。
- ☆観測データをインプットにした土星磁気圏グローバルMHDシミュレーションを行う。
- ☆大規模粒子シミュレーションにより、無衝突衝撃波のパラメータサーベイを行う。
- ☆世界初となる、第一原理磁気圏グローバルブラソフシミュレーションを実施する。

- 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
⇒同じ空間で変数に連続アクセス
HPC2500では有効だった