

11- MD01

荻野 竜樹 (名古屋大学 太陽地球環境研究所)

次世代ジオスペースシミュレーション拠点の構築



背景

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。

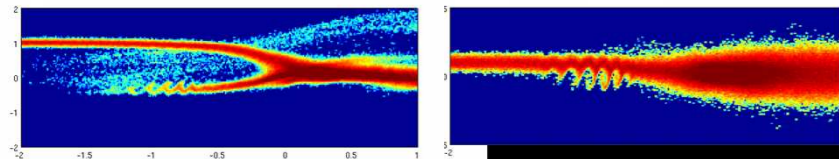
しかし、グローバル構造の中に中間スケールの境界層と特徴的な現象(不連続面:衝撃波、速度シア層:K-H不安定性、電流層:磁気リコネクション、など)が存在。

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。

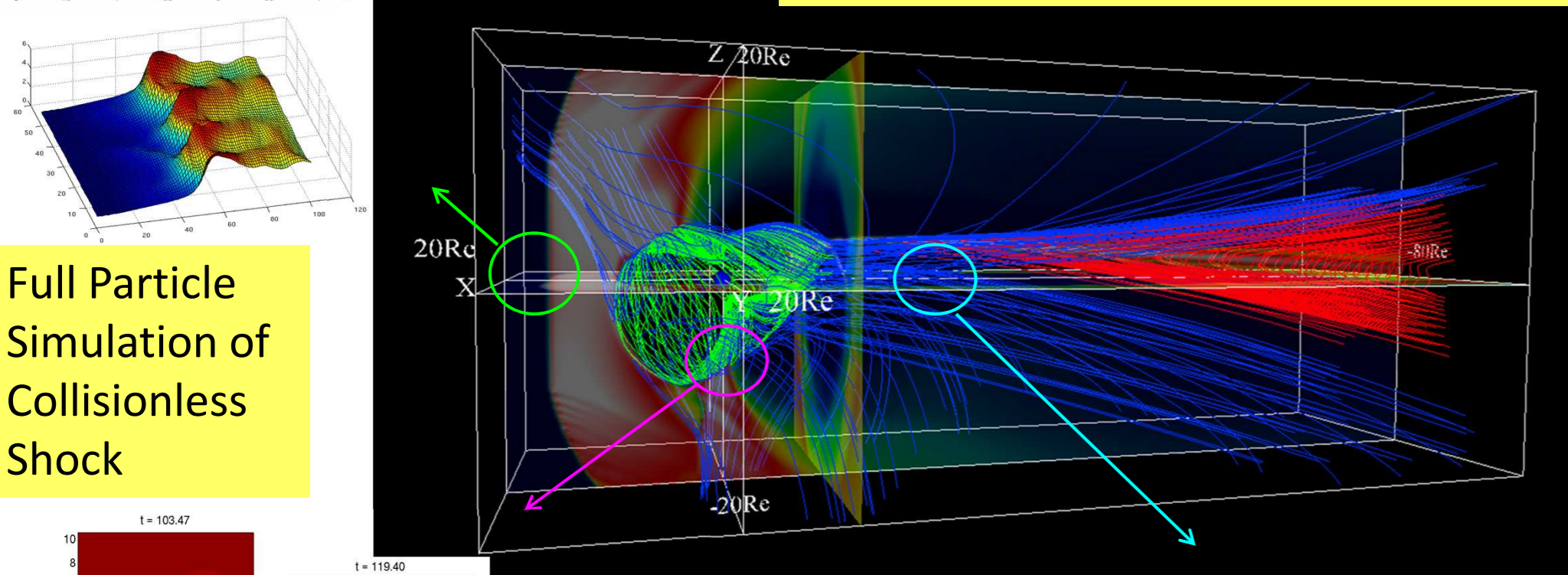
- ・マイクロ(粒子)スケール: 数km ~ 10m
 - ・メソ(中間)スケール: 100km ~ 10,000km
 - ・グローバルスケール: 100,000km ~ 無限大
- ⇒異スケールが互いに結合

目的

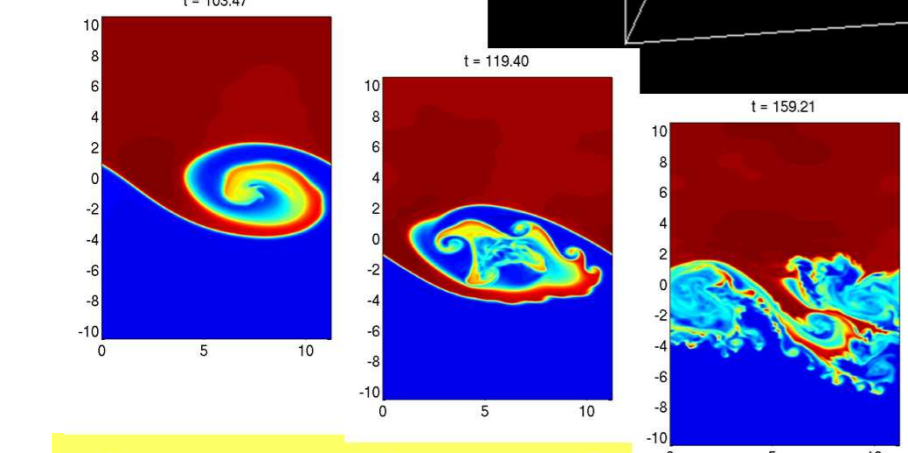
- ① グローバル磁気圏構造にメソスケール過程が与える影響を調べる。
- グローバルMHDシミュレーションをより高解像度に(マクロメソ)
- ② メソスケール境界層に運動論過程が与える影響を調べる。
- 第一原理運動論シミュレーションをより大規模に(マイクロメソ)



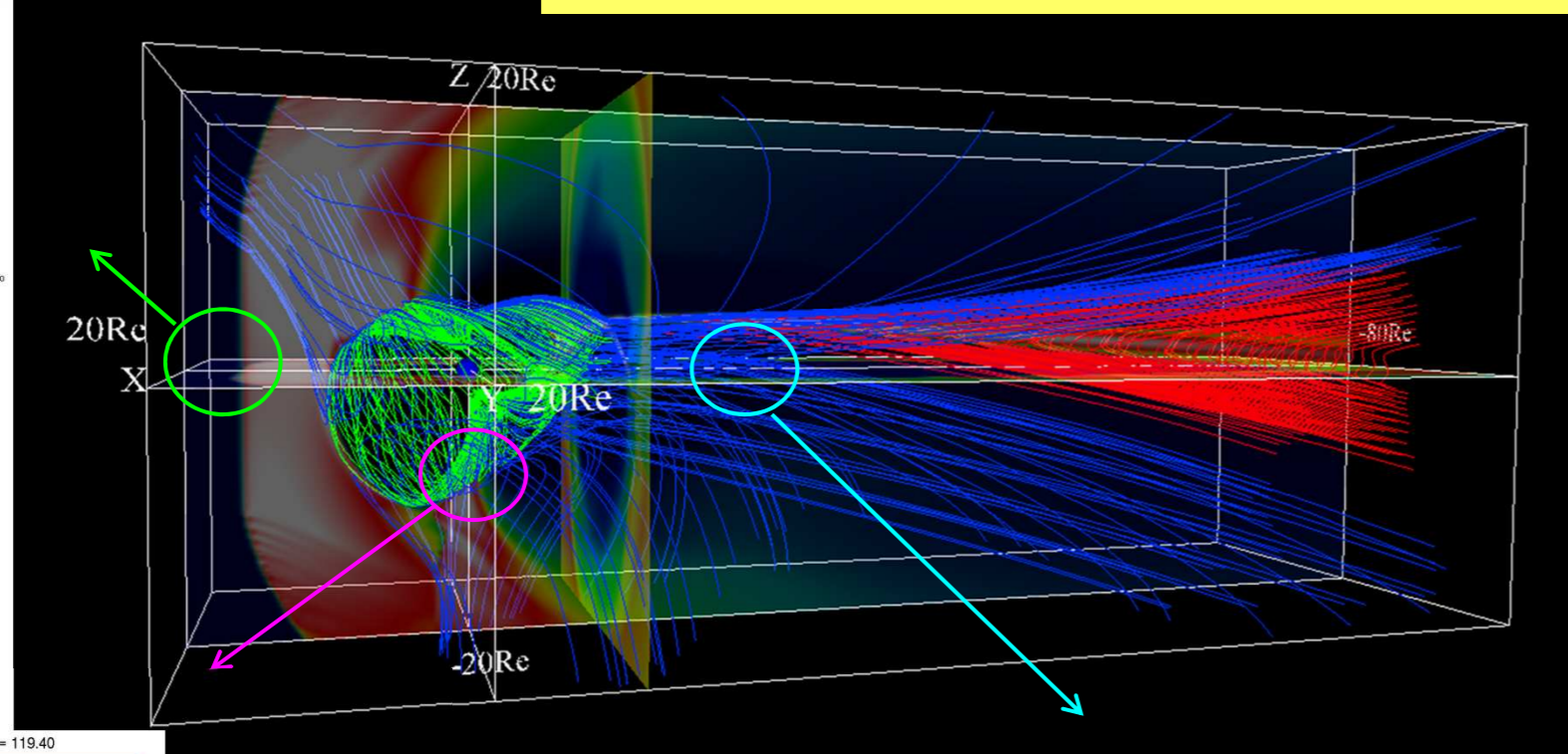
MHD Simulation of Earth's Magnetosphere



Full Particle Simulation of Collisionless Shock



Vlasov Simulation of Kelvin-Helmholtz Instability



Vlasov Simulation of Magnetic Reconnection

MHD方程式 (3次元 × 8変数)

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

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

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

モーメント計算

第一原理 Vlasov方程式 (6次元)

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

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

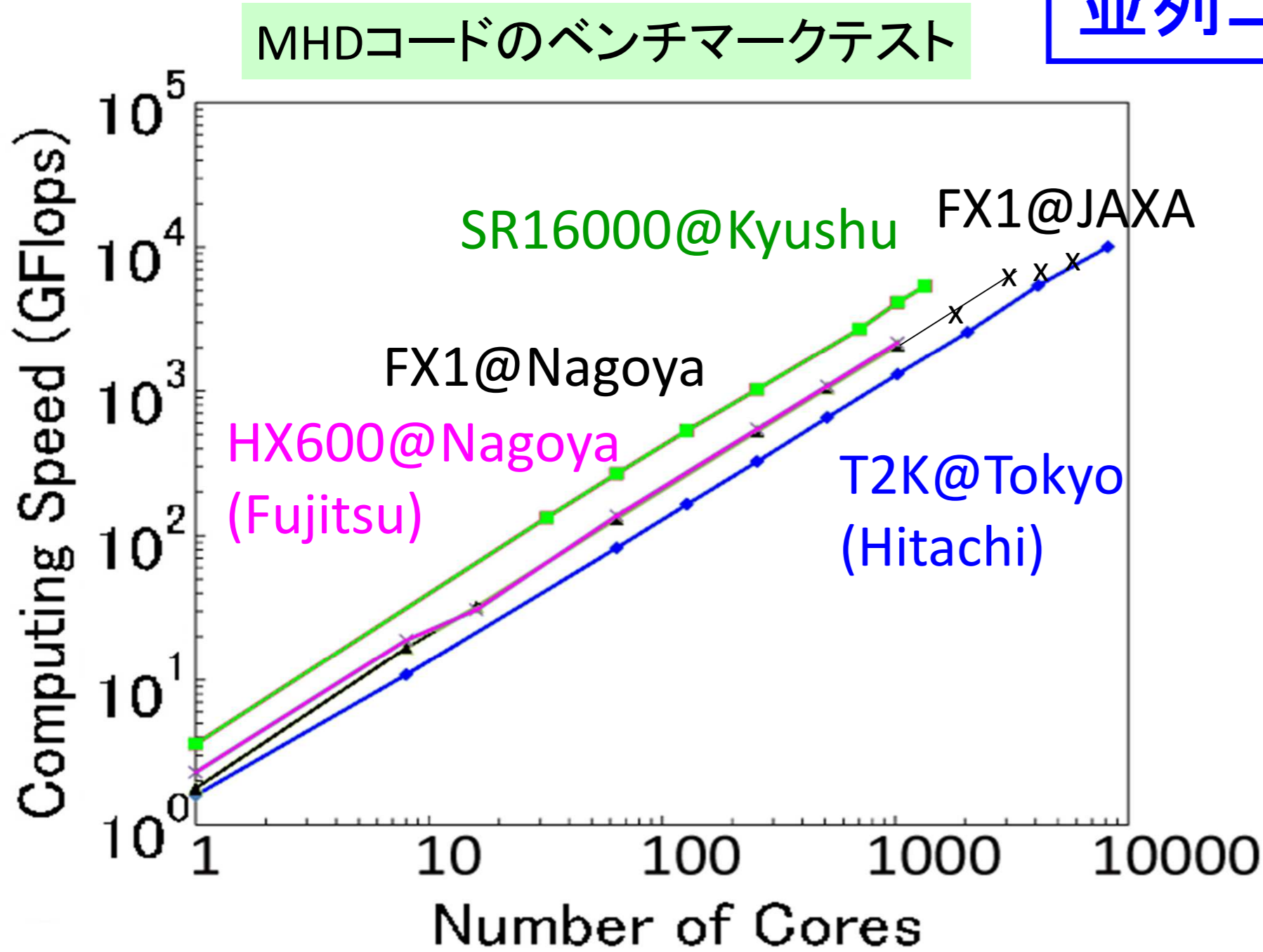
$$\mu_0 \mathbf{J} = \nabla \times \mathbf{B}$$

Maxwell方程式

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

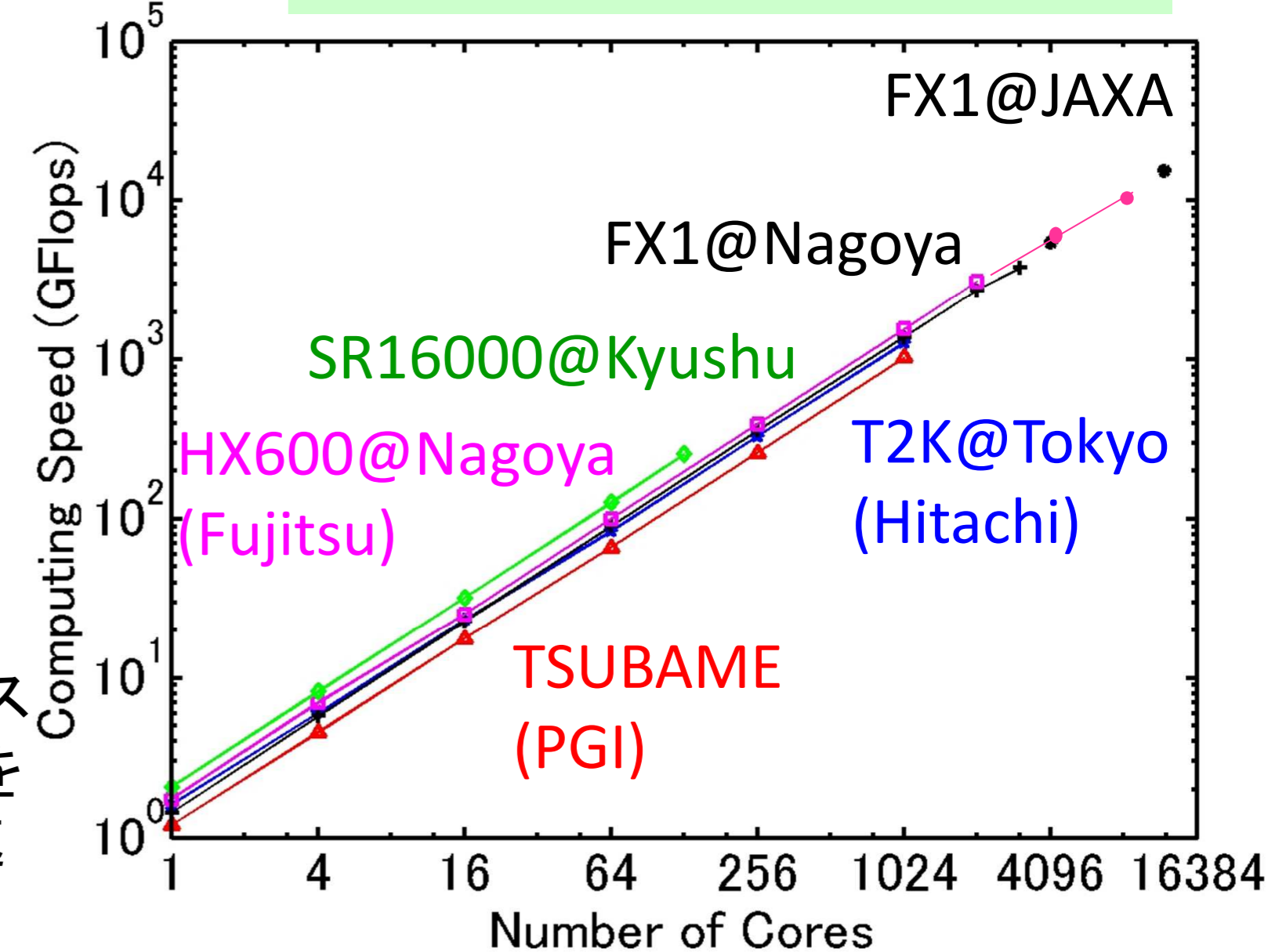
$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \nabla \times \mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{J}$$

並列コードのベンチマークテスト



- ◎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2次元分割が最速 (実効性能: 15~20%)
⇒SSEが有効
- ・SR16000とFX1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



まとめと今後の方針

- 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

- ・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、実効効率率は10 - 20%以上
- ・今後は、更にコア数増のテストと128 - 1024 コアの並列計算によるスケール間結合の研究を推進
- ☆高解像度磁気圏グローバルMHDシミュレーション(磁気圏境界層乱流)
- ☆大規模粒子シミュレーション(電子スケールとイオンスケール間の結合)
- ☆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(境界層乱流と小惑星相互作用)