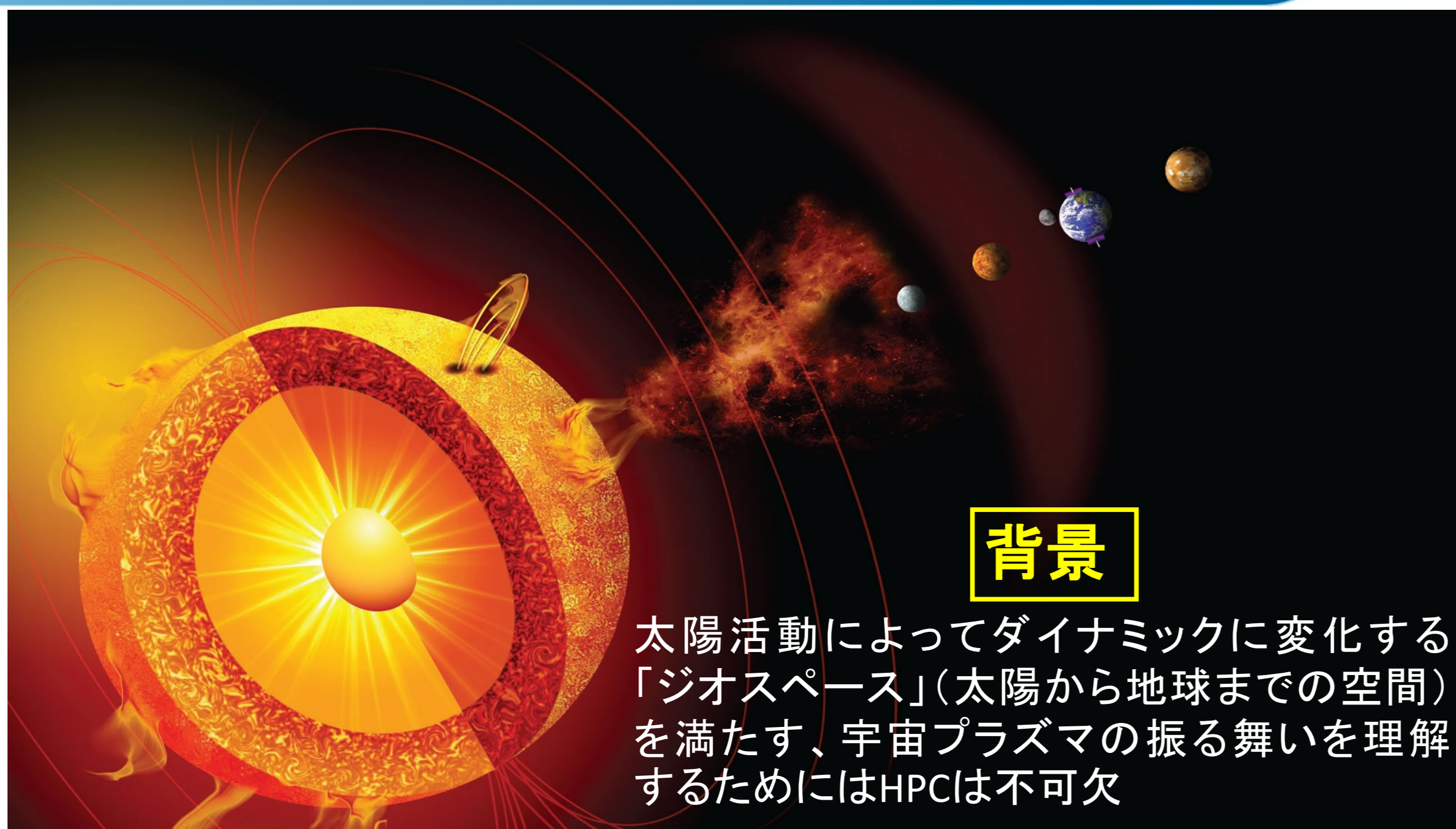




第一原理プラズマ運動論シミュレーションによるスケール間結合の研究



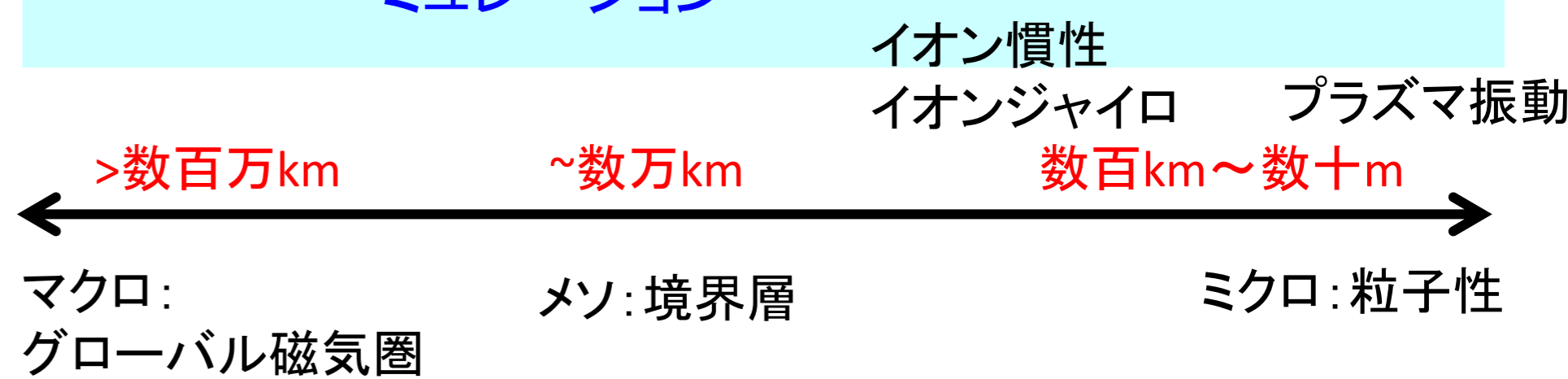
背景

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

グローバル磁気圏構造(マクロ)ー境界層における流体的不安定性現象(メソ)ー運動論的波動粒子相互作用による粒子加速・加熱(マイクロ)のスケール間結合過程を、大規模な第一原理プラズマ運動論シミュレーションにより理解する。

目的

- ①境界層(シア層・電流層・不連続面)のローカルプラソフシミュレーション
- ②イオンジャイロ半径スケールの半径と磁気圏を持つ小天体のグローバルプラソフシミュレーション



基礎方程式と手法

[e.g., Umeda et al. CPC 2009]

演算子分離

第一原理 Vlasov方程式 (6次元)

$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + \underbrace{\mathbf{v} \cdot \frac{\partial f_s}{\partial \mathbf{r}}}_{\text{Advection}} + \frac{q_s}{m_s} \left[\mathbf{E} + \underbrace{\mathbf{v} \times \mathbf{B}}_{\text{Rotation}} \right] \cdot \frac{\partial f_s}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

Maxwell方程式

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E} \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \nabla \times \mathbf{B} - \mu_0 \mathbf{J} \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

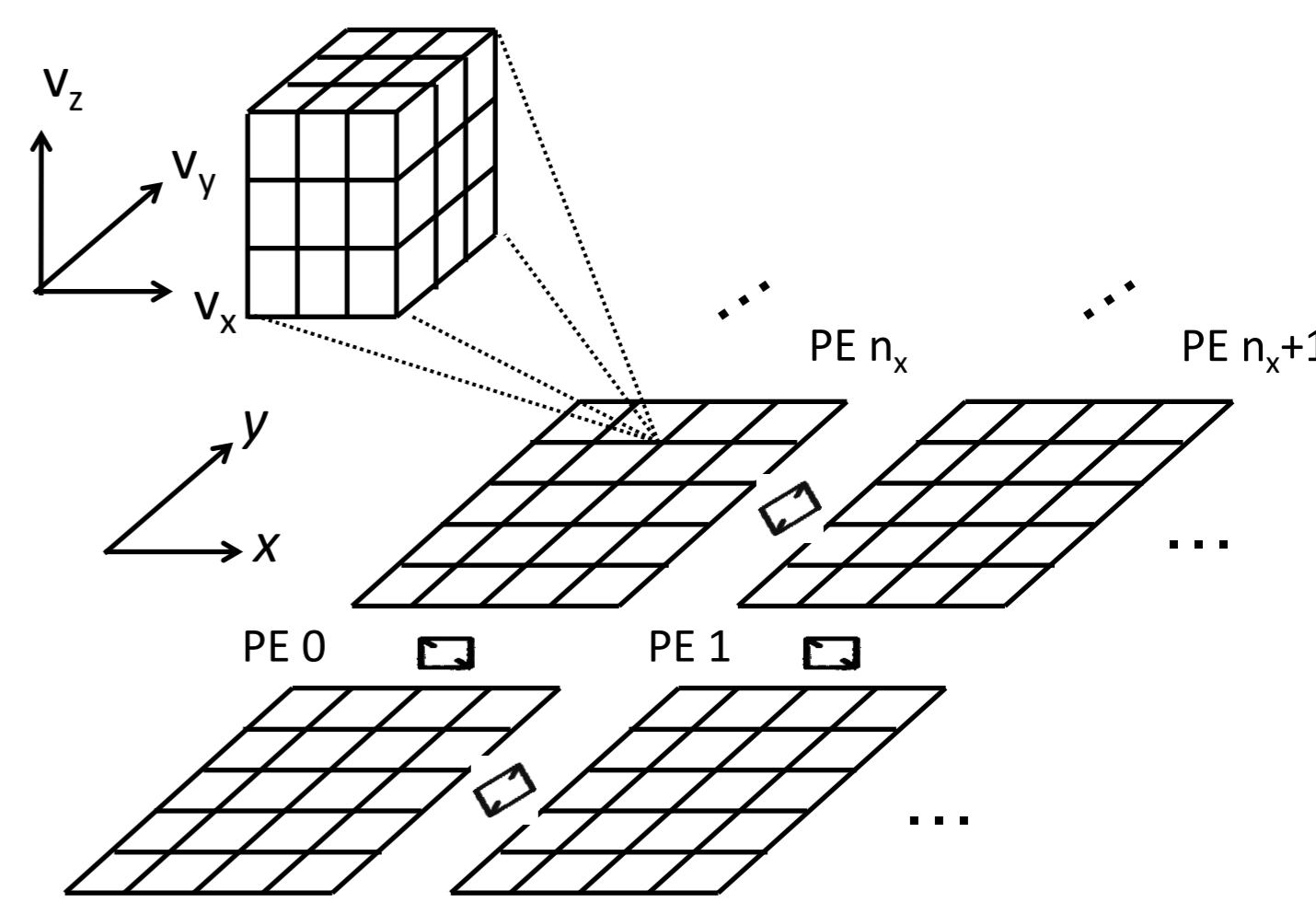
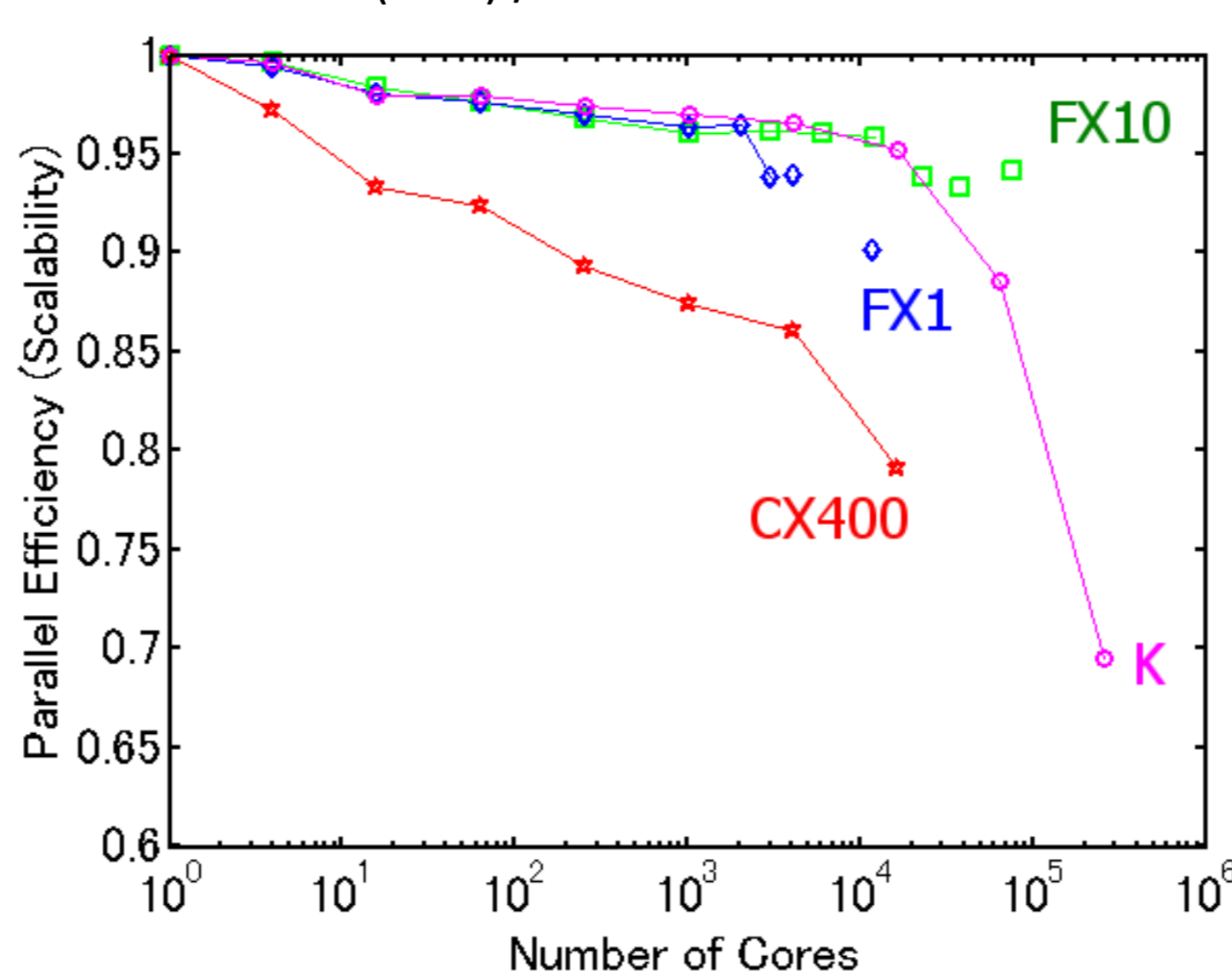
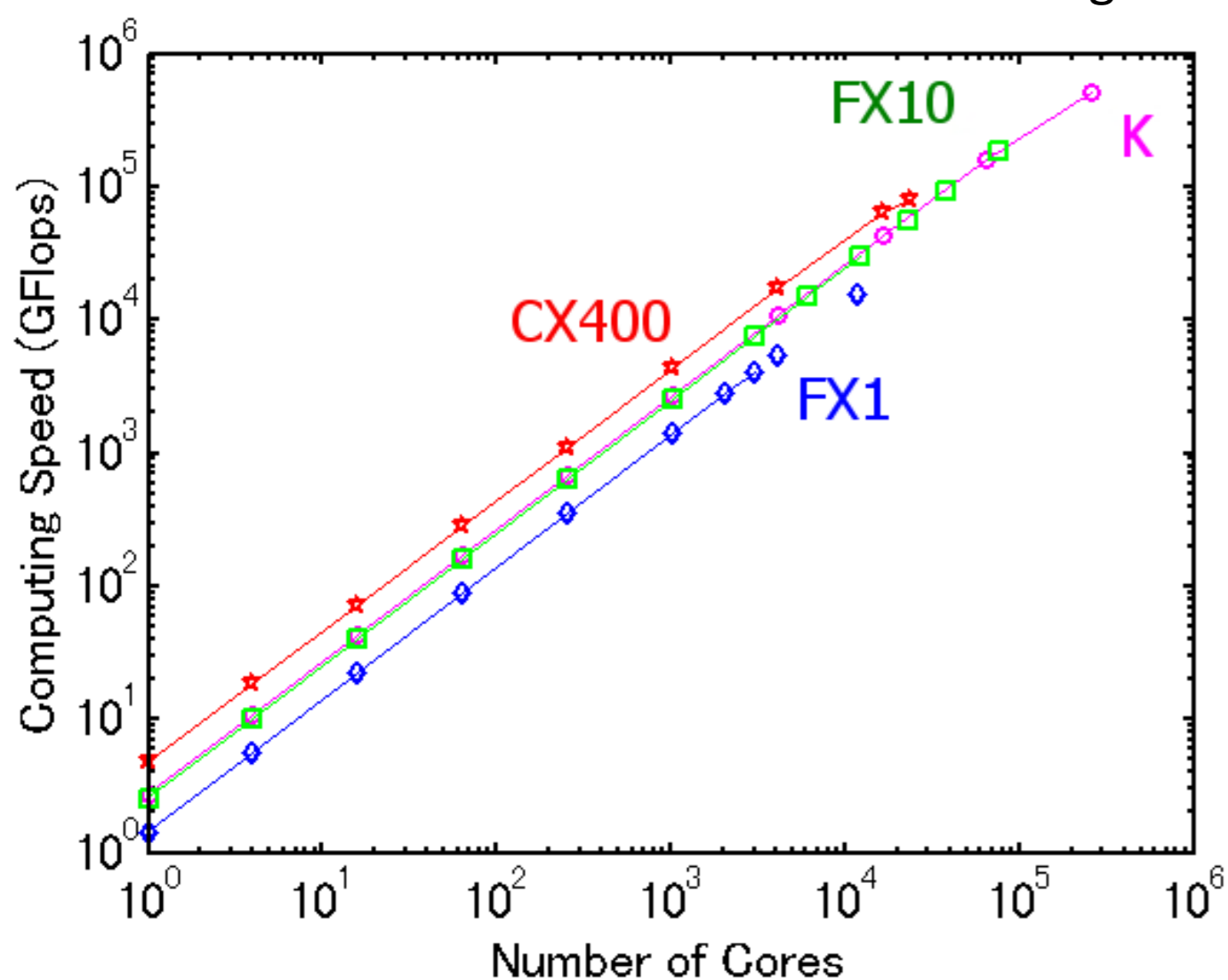
$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f_s}{\partial \mathbf{r}} = 0$$

$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + \frac{q_s}{m_s} \mathbf{E} \cdot \frac{\partial f_s}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

$$\frac{\partial f_s}{\partial t} + \frac{q_s}{m_s} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \frac{\partial f_s}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

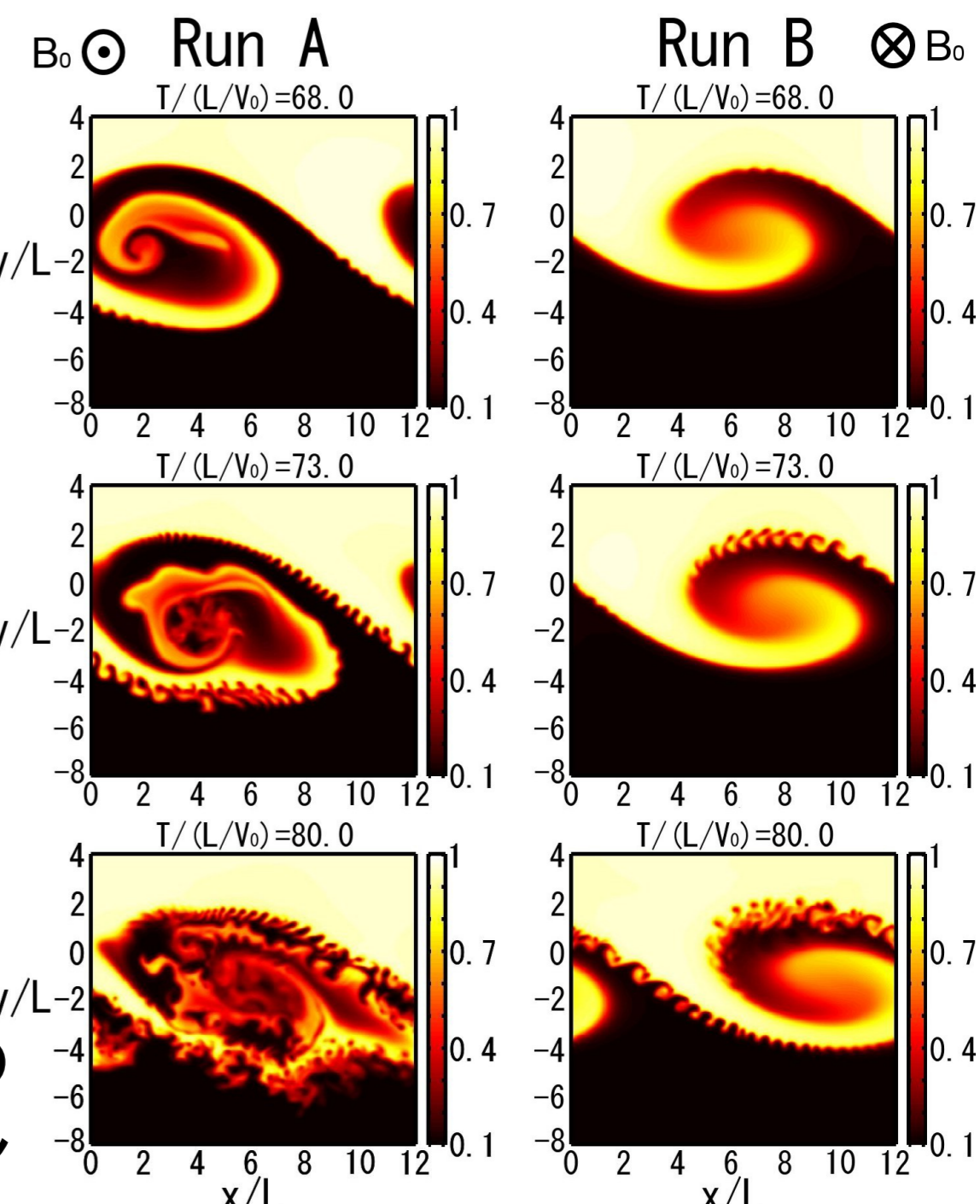
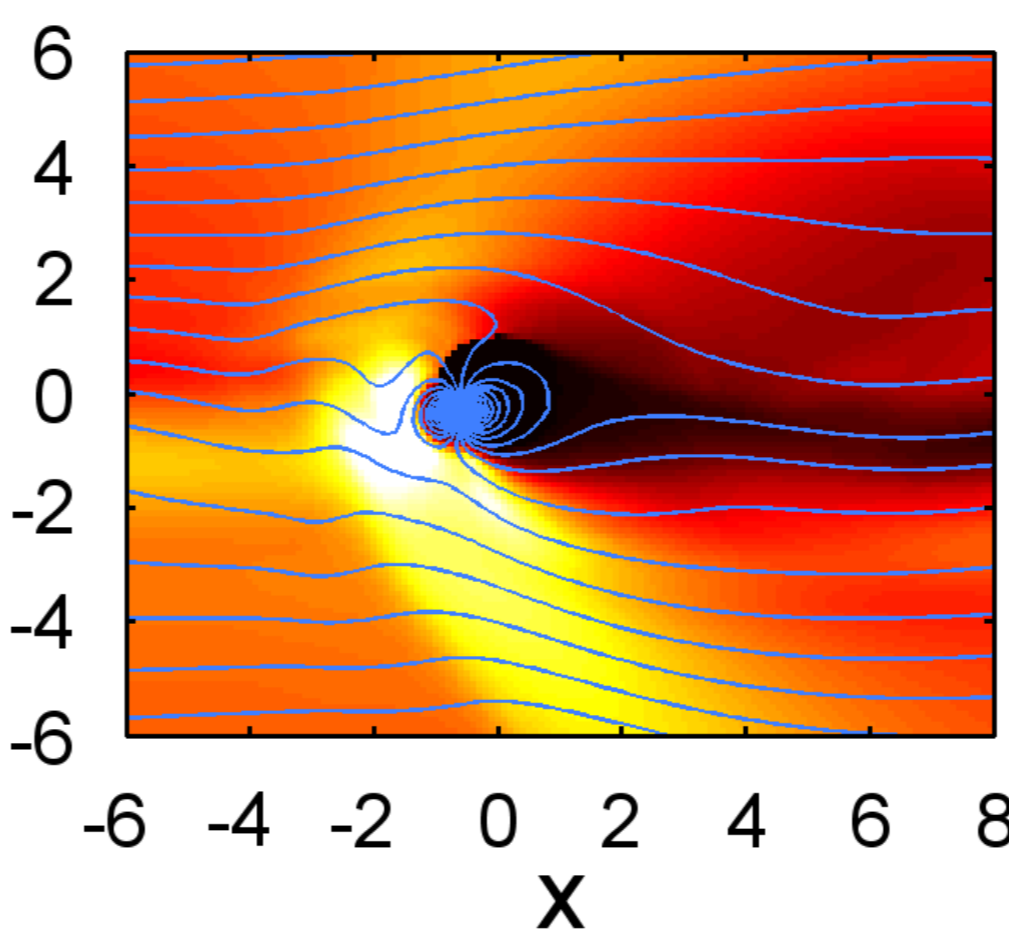
並列コードのベンチマークテスト

Weak scaling with 26x46x36x36x36 (1GB) / core



計算例

小天体のグローバルプラソフシミュレーション



KH不安定性のプラソフシミュレーション

- FX10: 12288コア以上は東大大規模HPCチャレンジの結果
- 京はHPCI「京」若手人材育成利用 (hp120092)の結果
- FX1: 3072コア以上はJAXAの結果

- FX10 (& K): 実効効率~17%
2 or 4スレッドのハイブリッド並列が速い
- FX1: 実効効率~15%
Flat MPIが若干ハイブリッド並列よりも速い
FX1でのチューニングはFX10/京では裏目に出ることが多い
- CX400: 実効効率~20%
Flat MPI+インテルコンパイラが速い
- 速度比:
FX1: FX10: CX400+ifort = 0.5 : 1 : 2

- FX10/京/FX1 は基本的には95%以上の実効並列効率
- CX400 (FDR Infiniband) は基本的には85%以上の実効並列効率