

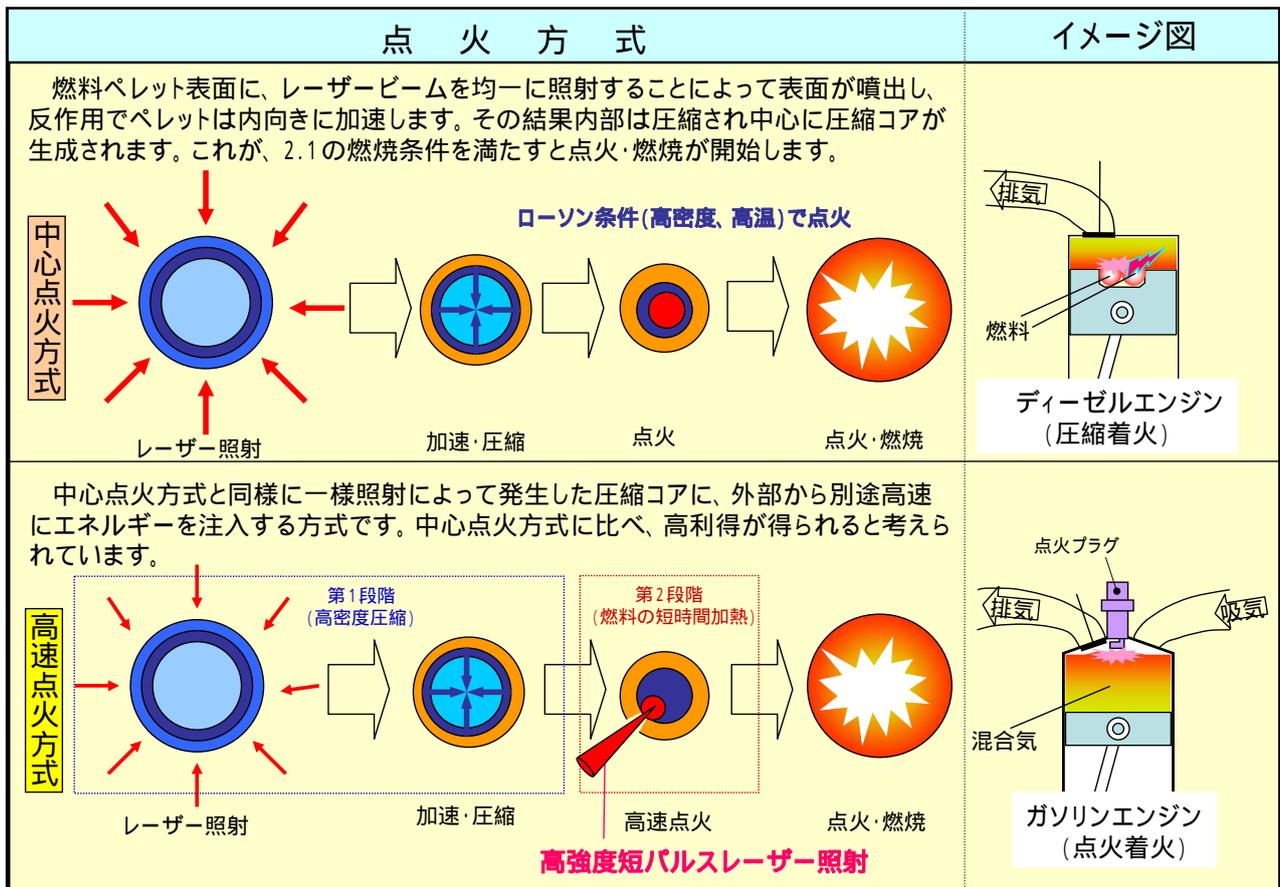
# 天体プラズマの磁気乱流シミュレーション

～長時間シミュレーションの必要性と自動並列～

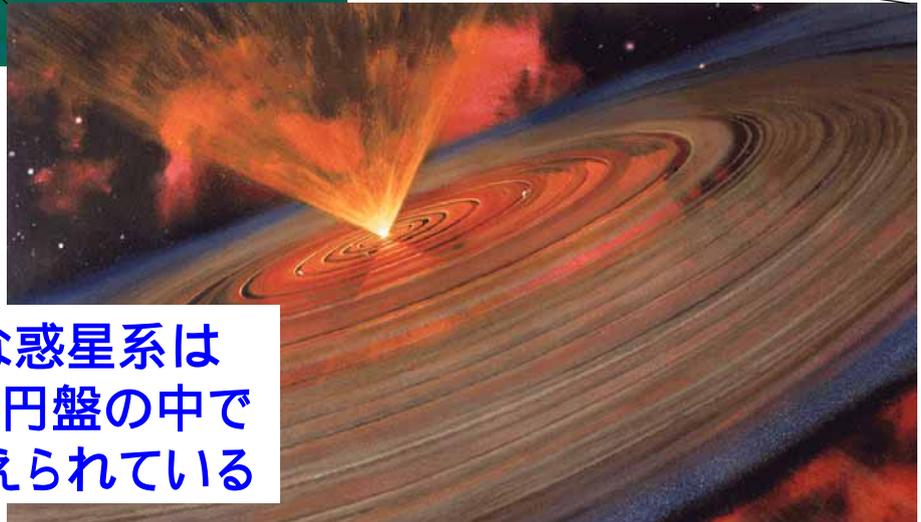
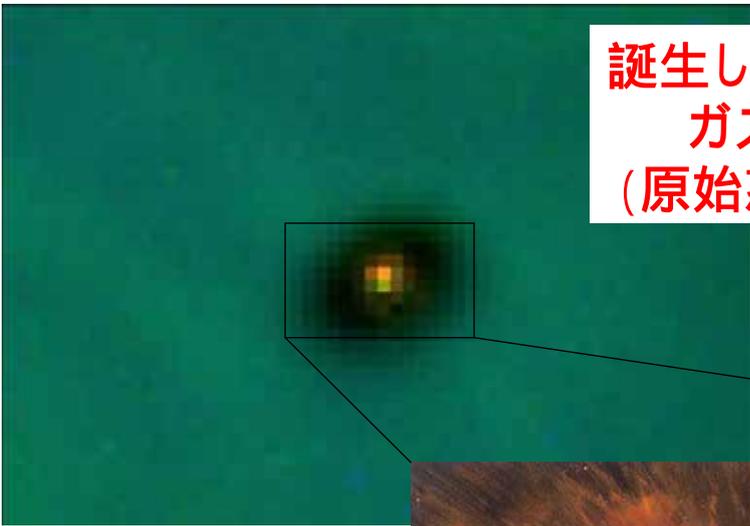


大阪大学  
レーザーエネルギー学研究中心  
佐野 孝好、長友 英夫

## レーザー核融合の点火方式



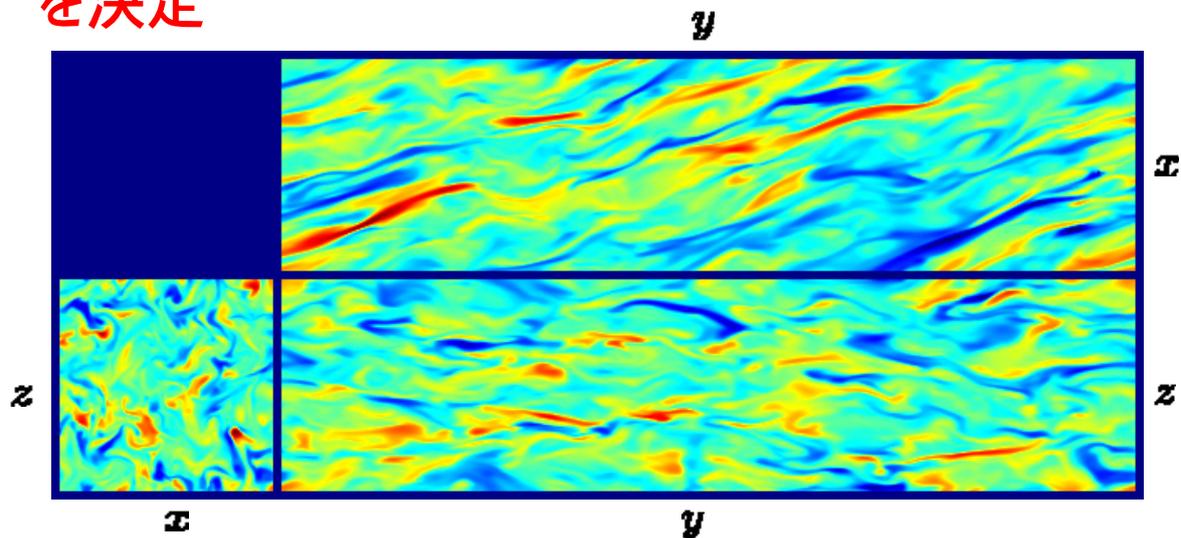
誕生したばかりの星の周りには  
ガスとダストの回転円盤  
(原始惑星系円盤)が存在する



太陽系のような惑星系は  
この原始惑星系円盤の中で  
形成されたと考えられている

## 非線形シミュレーションの必要性

- 原始惑星系円盤は磁気乱流状態
- 乱流の性質が円盤の進化(惑星の形成過程)を決定



乱流状態での磁場の分布(円盤の一部を切り出した局所的シミュレーション)

# 基礎方程式 (散逸入りMHD)

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

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{\mathbf{J} \times \mathbf{B}}{c\rho} - 2\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v} + 2q\Omega^2 x \hat{x}$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \epsilon = -\frac{P \nabla \cdot \mathbf{v}}{\rho} + \frac{4\pi\eta \mathbf{J}^2}{c^2 \rho}$$

コリオリ力と  
有効ポテンシャル  
(重力 + 遠心力)

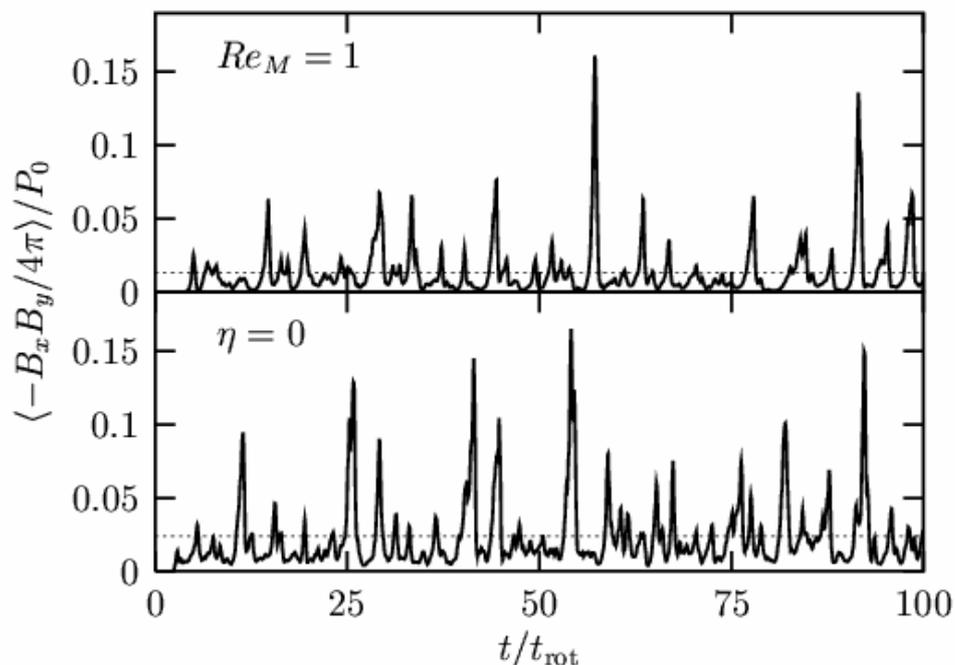
$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \nabla \times \left( \mathbf{v} \times \mathbf{B} - \frac{4\pi\eta \mathbf{J}}{c} \right)$$

オーム散逸

$$\mathbf{J} = \frac{c}{4\pi} (\nabla \times \mathbf{B})$$

## 非線形乱流状態での激しい時間変動

- 磁場の進化はカオス的 長時間計算が不可欠  
(典型的には力学的時間の200から300倍)



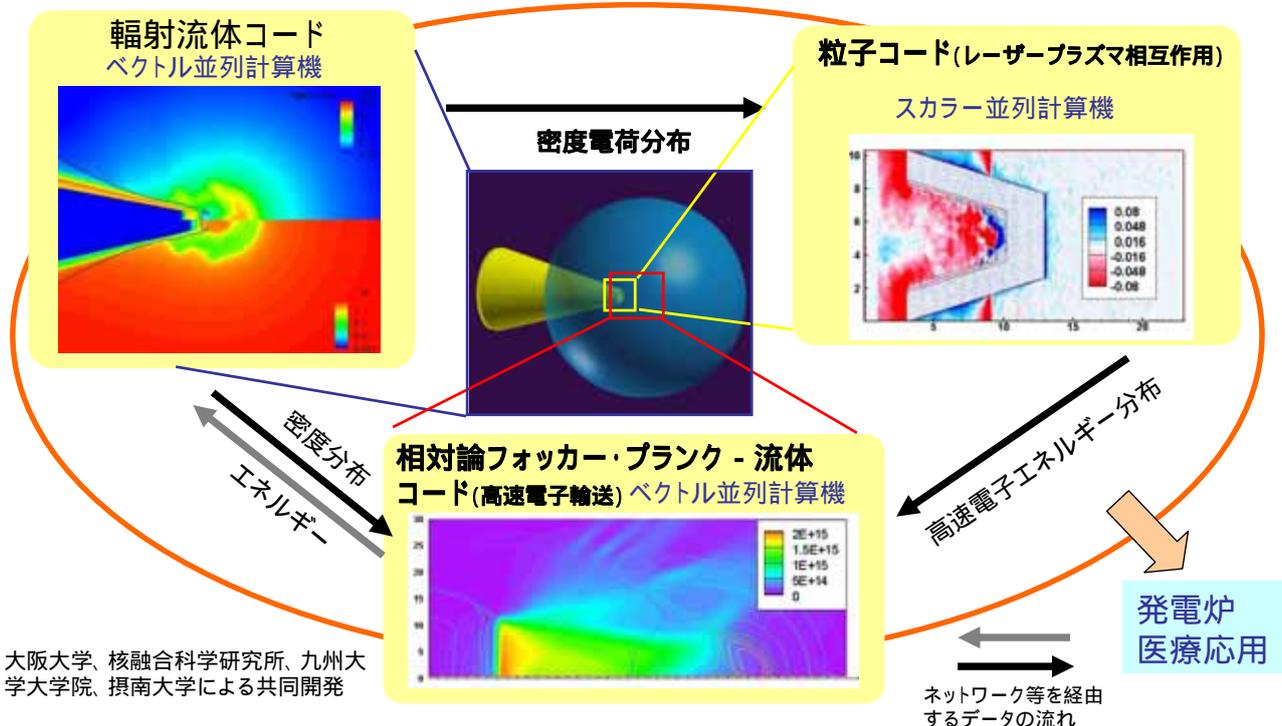
# 天体磁気乱流シミュレーション

- **グリッドベースコード**
  - ベクトル化率: 99.9%
  - 1ノード内の計算、自動並列化
- **グリッド数: 256 × 256 × 256 (Lp8@ile)**
- **CPU time: 10000 ~ 20000時間**

- **グリッド数 512 × 512 × 512 (VPP5000@NAOJ)**
  - VPP Fortran で並列化 (32PE)
  - 計算データをCMCに転送して、解析
  - 継続計算のためのデータダンプ: 9GB
- **CPU time: 30000時間以上**

## ペタワットレーザープラズマ統合シミュレーションシステム FI<sup>3</sup>

ミクロの粒子コード、メソスコピックの相対論フォッカー・プランク - 流体コード、およびマクロの輻射流体コードを矛盾なく結合する。各シミュレーションコードは大きな計算機資源を必要とし、また、コードの特性も異なるため異機種計算機を用いる。このため、遠隔地にあるシミュレーションコードを実行している複数の大型計算機システムとデータ交換を行うプロトコル(DCCP)も新たに開発し、複数大規模ジョブの協調実行を可能にした。これを用いたペタワットレーザープラズマ統合シミュレーションシステムが完成し、実験を再現するシミュレーションが実行された。



# まとめ

- レーザー核融合、宇宙物理、産業用露光光源開発など様々な高エネルギー密度のプラズマ、レーザー開発などのシミュレーションが行われている。
- 流体、粒子、原子過程、放射、拡散、電磁場など様々な支配方程式を解いている。
- 大規模計算、多階層など複雑な計算を伴うことが多い。CMC、レーザー研高性能計算機室のサポート、計算機環境を工夫することによって対応している。
- CMCのSX-8、クラスターマシンがメインマシン
- 核融合研 SX-7、国立天文台、(原研関西研ITBL)などを適時活用している。

## 阪大レーザー研の計算機環境

