

回転球殻熱対流系 における帯状流の形成

陰山 聡

神戸大学 システム情報学研究科

共同研究者：宮腰 剛広（海洋研究開発機構）

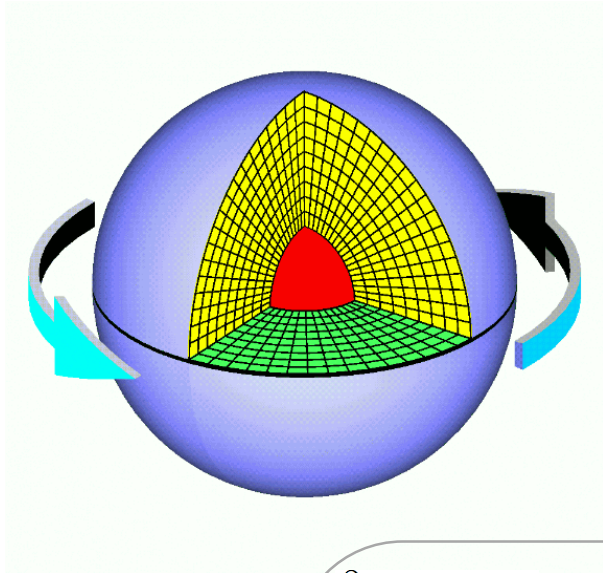
大野 暢亮（海洋研究開発機構）

回転球殻MHD熱対流系



- MHD (Magnetohydrodynamics) 流体
 - 対流運動
 - 球殻ジオメトリ
 - 自転
- MHD dynamo

シミュレーションモデル



MHD fluid

- spherical shell
- rotation
- gravity
- thermal convection ==> dynamo

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{f},$$

$$\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial t} = -\nabla \cdot (\mathbf{v}\mathbf{f}) - \nabla p + \mathbf{j} \times \mathbf{B} + \rho \mathbf{g} + 2\rho \mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega} + \mu(\nabla^2 \mathbf{v} + \frac{1}{3}\nabla(\nabla \cdot \mathbf{v})),$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla p - \gamma p \nabla \cdot \mathbf{v} + (\gamma - 1)K\nabla^2 T + (\gamma - 1)\eta \mathbf{j}^2 + (\gamma - 1)\Phi,$$

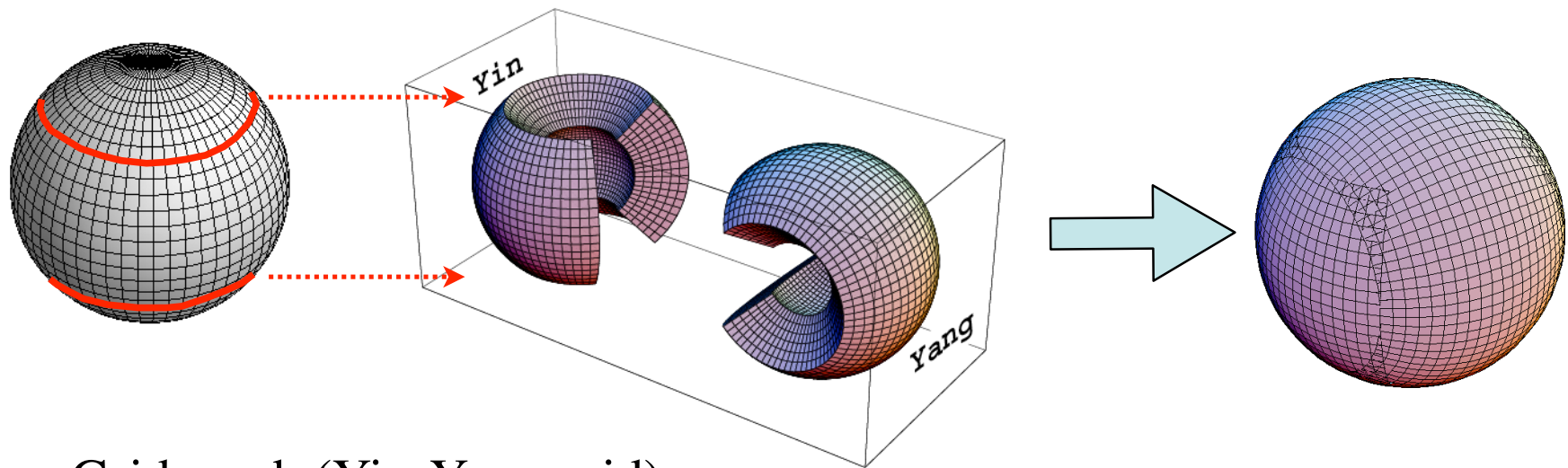
$$\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} = -\mathbf{E},$$

wit

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}, \mathbf{j} = \nabla \times \mathbf{B}, \mathbf{E} = -\mathbf{v} \times \mathbf{B} + \eta \mathbf{j},$$

$$p = \rho T, \mathbf{g} = -g_0/r^2 \hat{\mathbf{r}}, \Phi = 2\mu(\epsilon \cdot \epsilon - (\nabla \cdot \mathbf{v})^2 / 3).$$

Yin-Yang Grid (インヤン格子)



- Grid mesh (Yin-Yang grid)

$$N_r \times N_\theta \times N_\phi \times 2 = 511 \times 514 \times 1538 \times 2$$

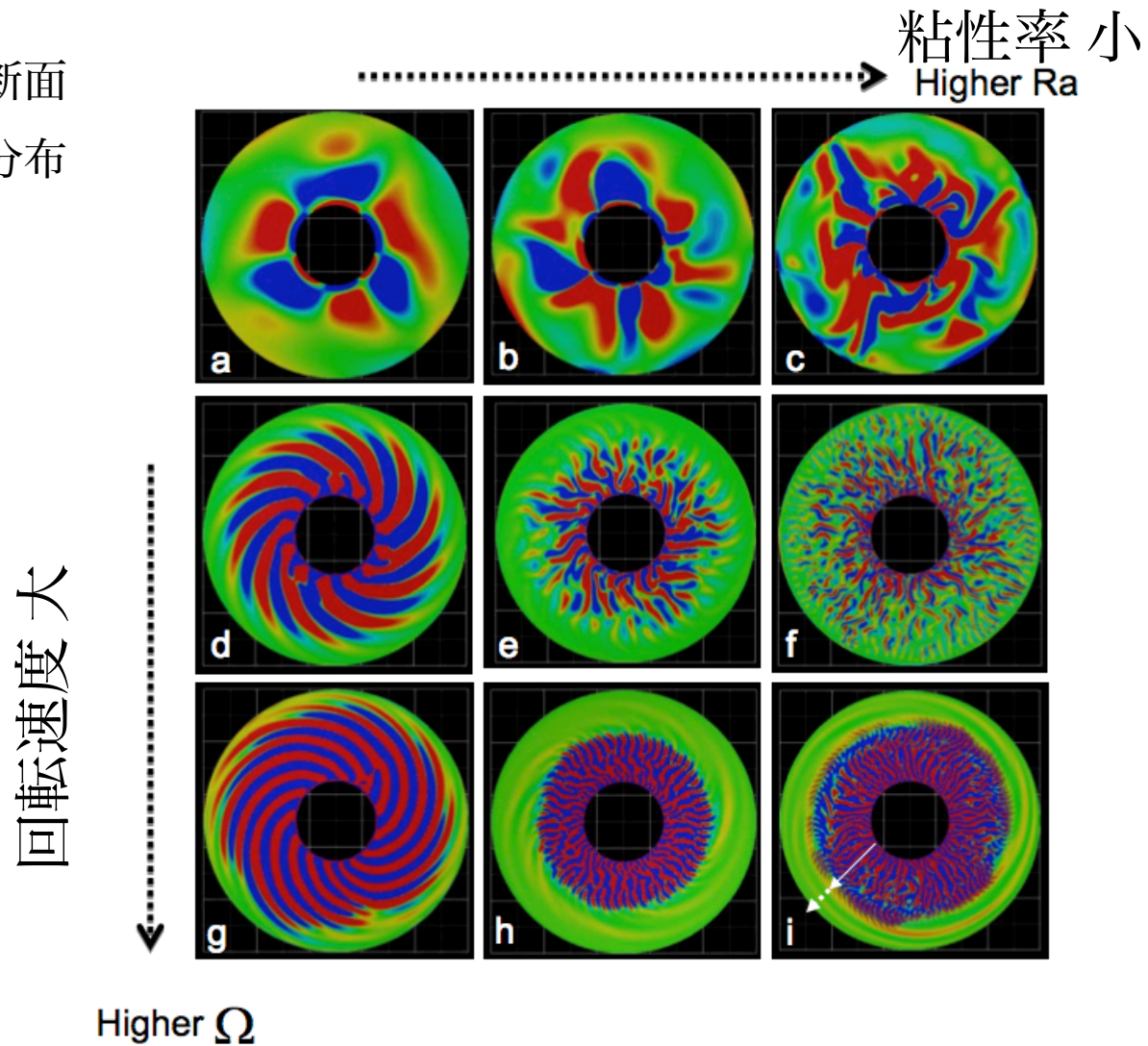
For 360 degree equator ==> 2045 grid points

これまでの我々の研究

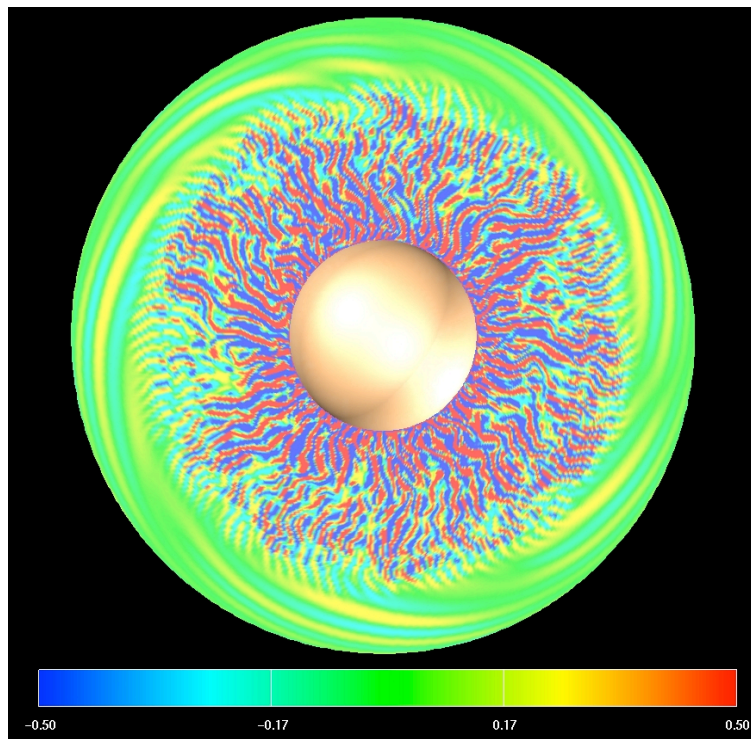
- | | | |
|------|---------------------------------|------------------|
| 1995 | 初めての本格的3次元球殻MHD ダイナモシミュレーション | Phys. Fluids B |
| 1997 | 双極子磁場の生成とメカニズム | Phys. Rev. E |
| 2000 | 双極子磁場の逆転 | Phys. Rev. Lett. |
| 2002 | 磁場逆転と対流状態の関係 | Science |
| 2008 | シート状ブルーム対流構造の発見 | Nature |
| 2010 | 帯状流形成の発見 | Nature |

パラメータ依存性

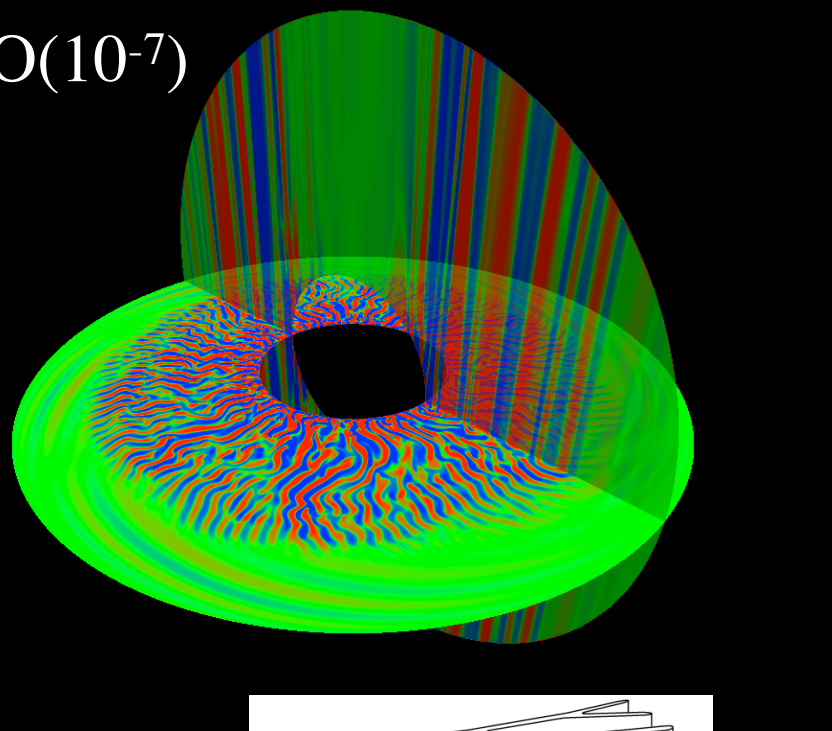
赤道断面
渦度分布



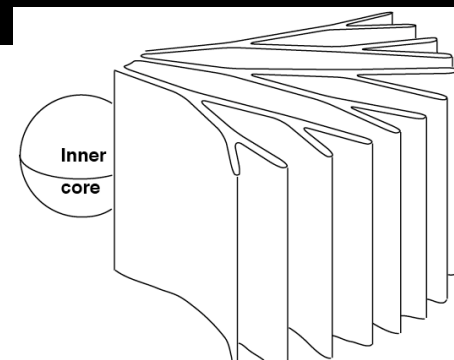
シート状ブルーム対流構造



$Ek=O(10^{-7})$

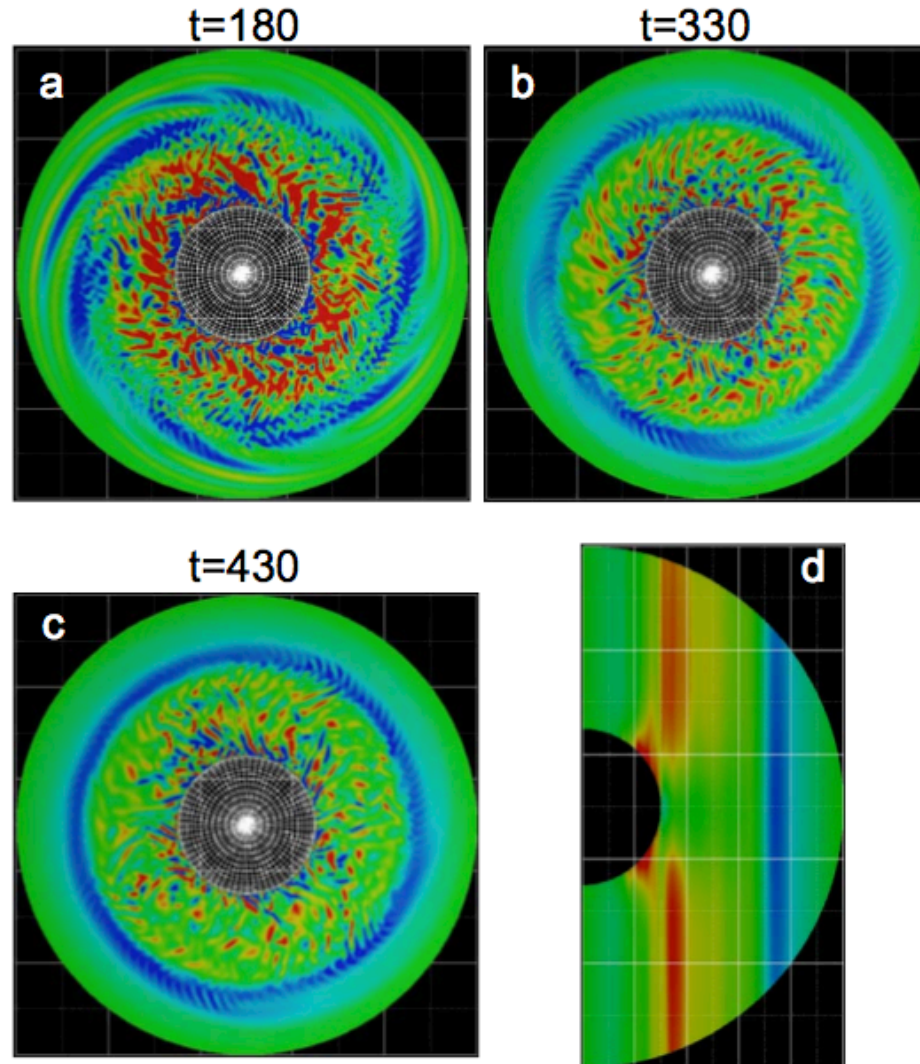


- プルーム状の対流
- 自転軸方向に一様 (シート状)
- 枝分かれする

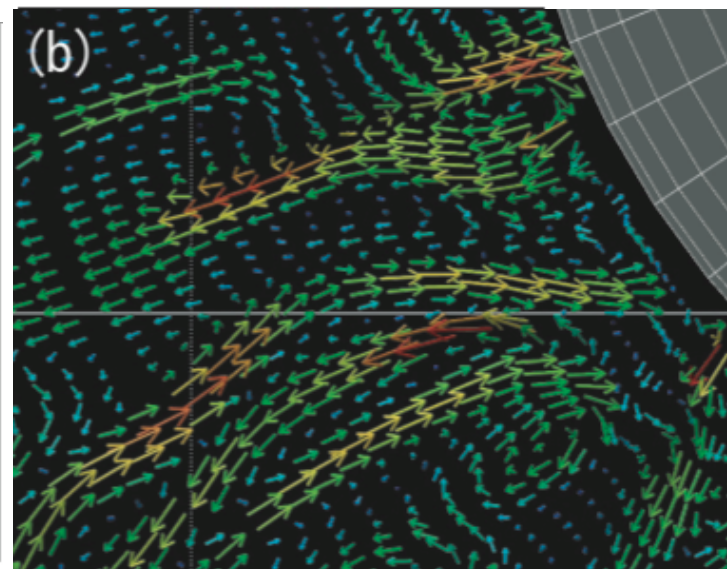
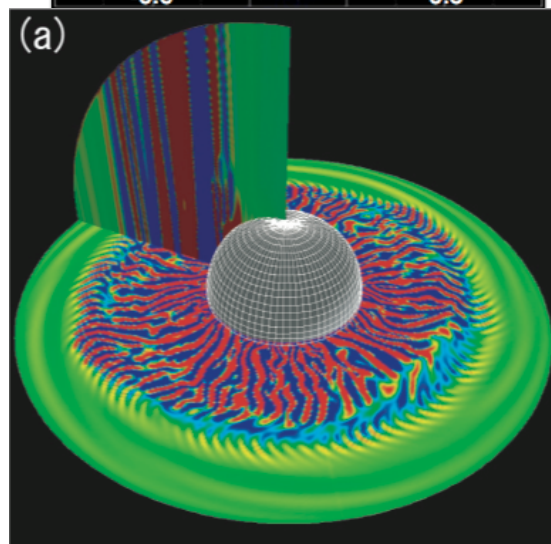
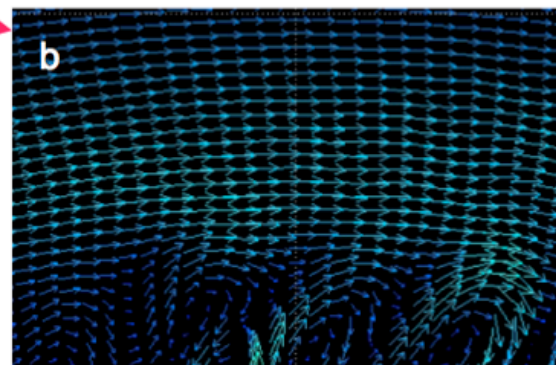
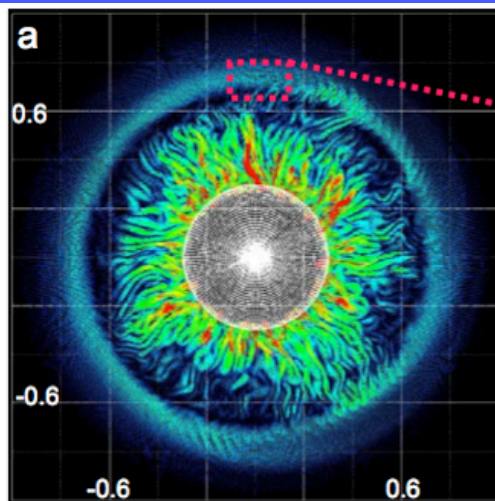


帯状流の形成

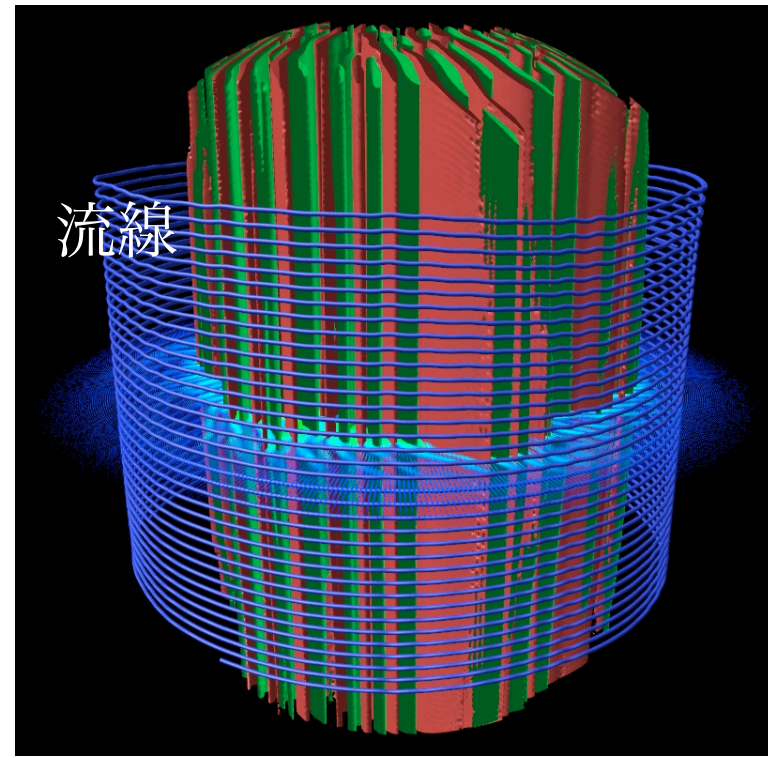
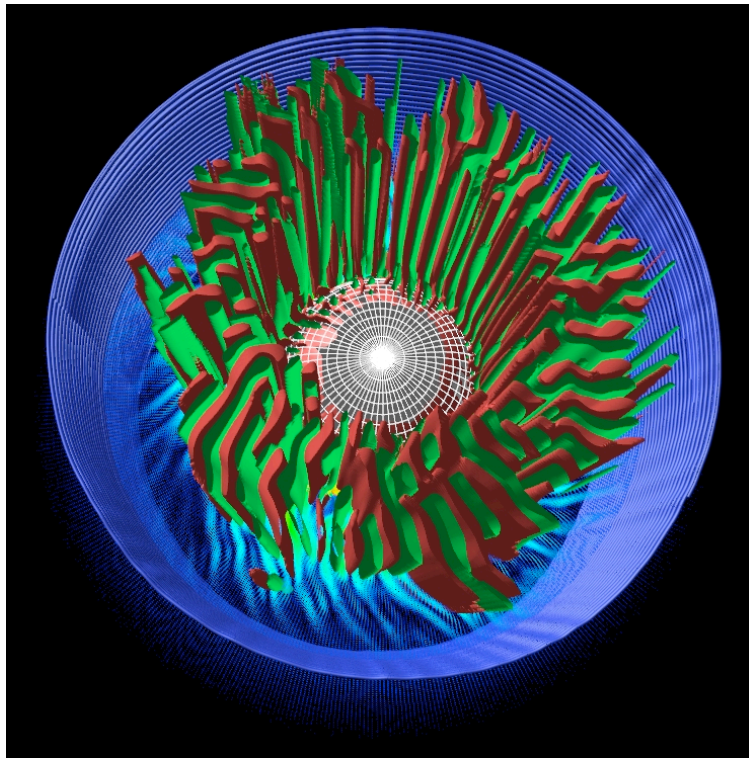
赤道断面
流れ東西成分



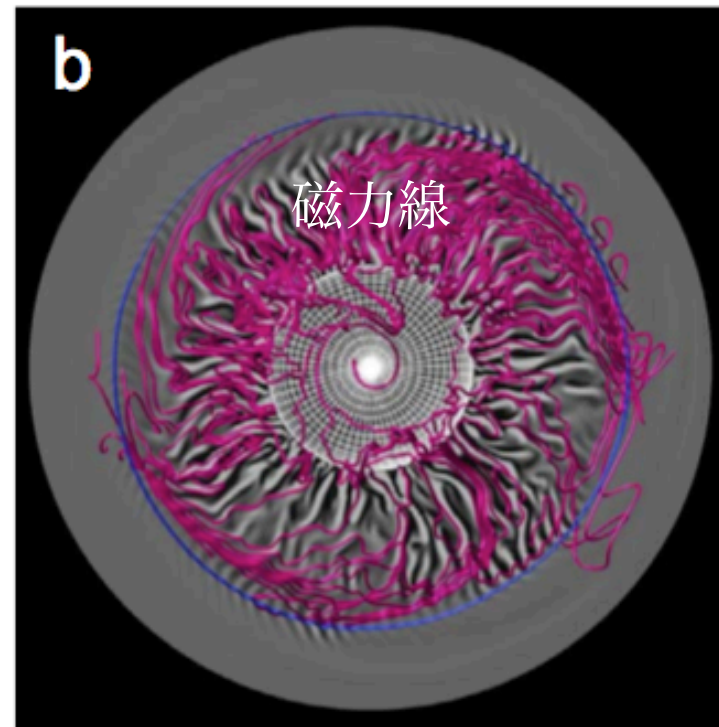
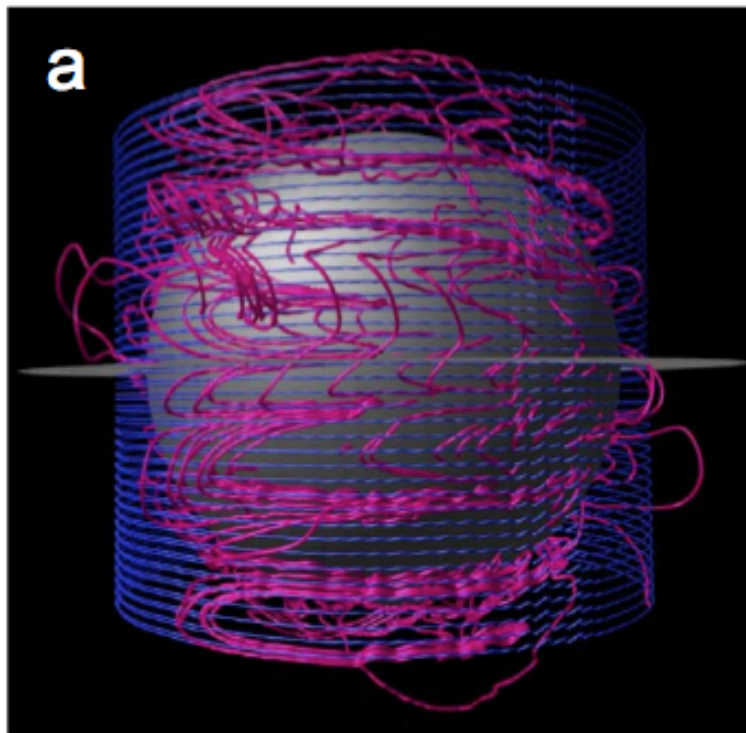
带状流の形成



带状流の流線構造



带状流＝磁場バリア



まとめ

- 粘性率が低く、回転速度の高い系
- 二重対流構造
 - 内側：シート状のブルーム対流
 - 磁場はここで生成される
 - 外側：帯状流
 - 磁場の東西成分と大規模構造を生む