地球ダイナモの新しいシミュレーション
コード開発とその応用

陰山　聡 (神戸大学)
宮腰剛広 (海洋研究開発機構)

目次

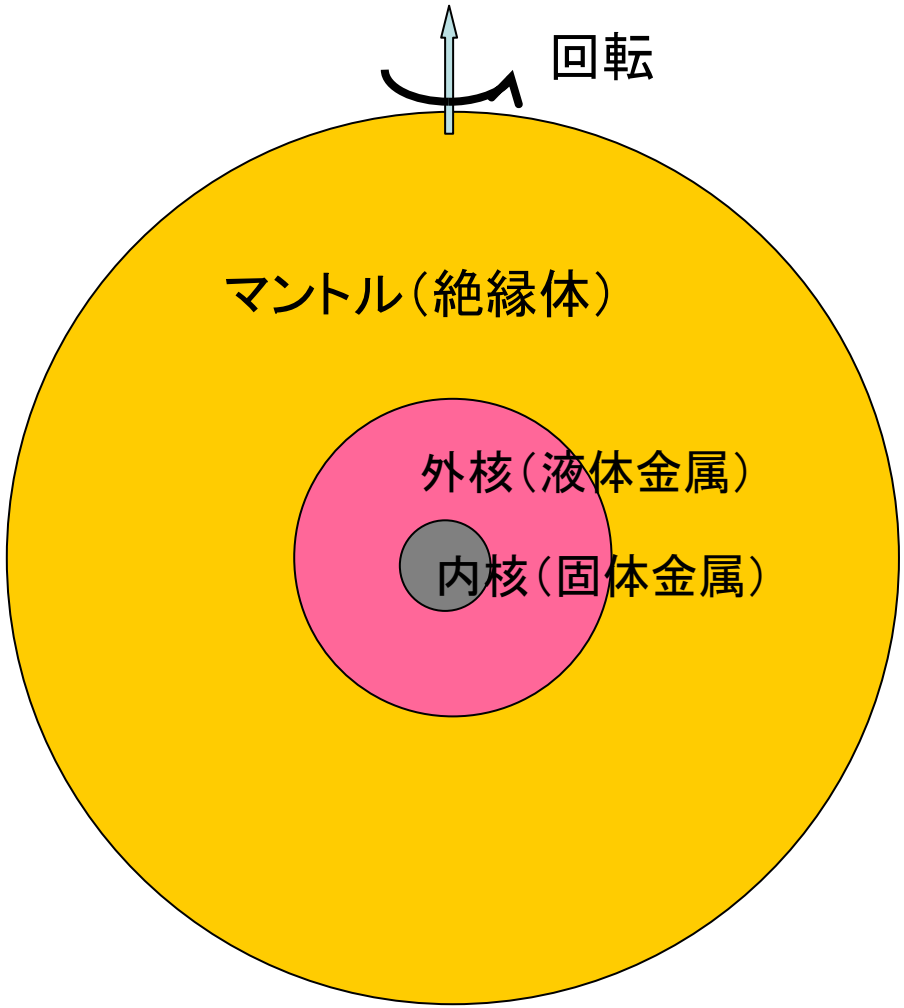
世界最高解像度での地球ダイナモシミュレーションを行った。その結果、世界で最も低エクマン数（低粘性）のシミュレーションを行う事が出来、地球外核内の対流およびダイナモについて新しい発見を得た。

・イントロダクション
・シミュレーション結果

- シート状対流
- 2重対流構造
- ヘリカルコイル電流および磁束管の形成

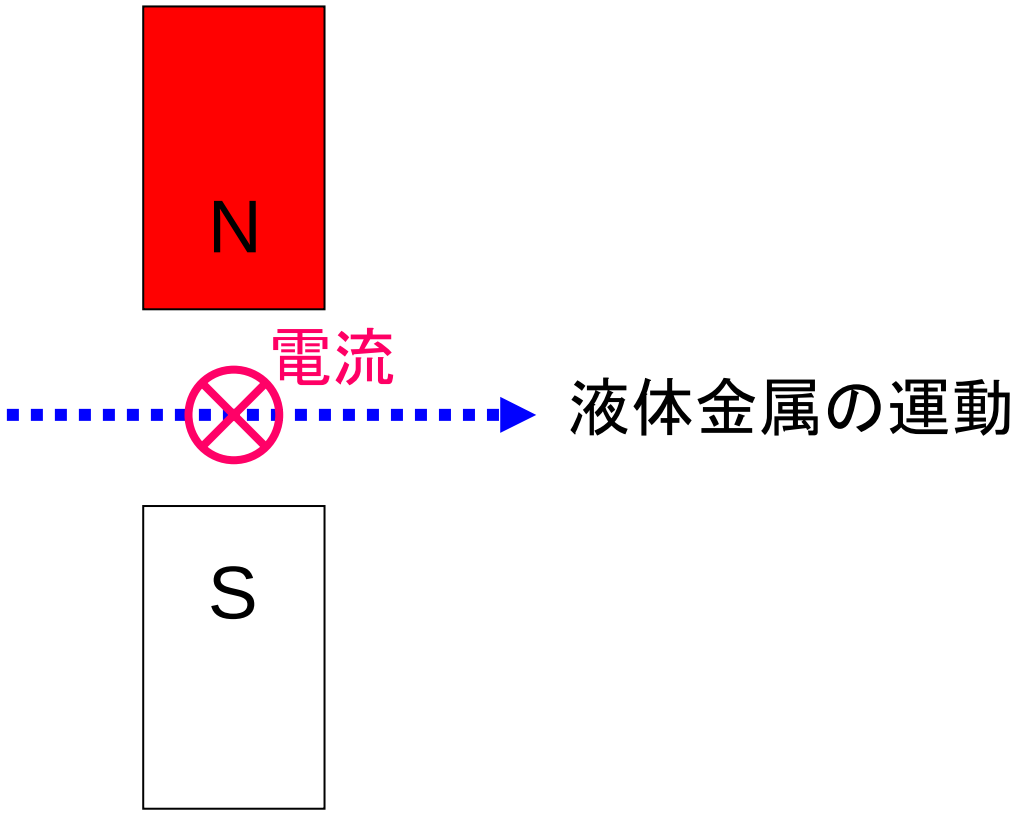
・まとめ

地球内部の構造



外核は対流運動をしている

ダイナモの原理



磁場中を、導電性の物質が動くと、電流が流れる

—しかし、この過程が地球内部で本当に効果的に働くのか？
は明らかになっていない

具体的にどのような過程で磁場が生み出されているのか？

複雑な対流運動、回転系での磁場と対流の相互作用

外核は極端な物理状態に置かれており、それが数値シミュレーションを難しくしている

Parameters in the outer core

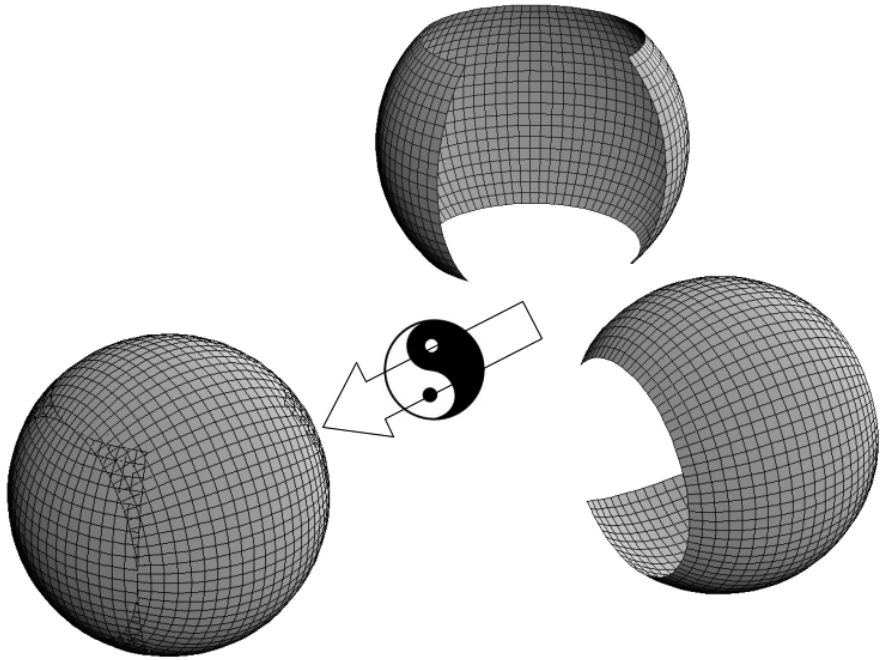
Outer core radius	$R_o = 3.5 \times 10^6 m$	Rayleigh number	$Ra \sim 10^{30}$
Thermal diffusivity	$\kappa \sim 5 \times 10^{-6} m^2/sec$	Reynolds number	$Re = VR_o/\nu \sim O(10^9)$
Viscosity	$\nu \sim 1 \times 10^{-7} m^2/sec$	Magnetic Reynolds	$Rm = VR_o/\eta \sim O(10^3)$
Electrical resistivity	$\eta \sim 2\, m^2/sec$	Magnetic Prandtl	$Pm = 5 \times 10^{-6}$
Mass density	$\rho \sim 1 \times 10^4 kg/m^3$	Prandtl number	$Pr = 0.2$
Poloidal magnetic field	$B = O(10^{-4})\, T$	Ekman number	$Ek = \nu/2\Omega R_o^2 = 10^{-15}$
Flow velocity	$V \sim O(10^{-4})\, m/sec$	Elsasser number	$\Lambda = B^2/2\Omega\mu_0\rho\eta \sim O(10)$
Sound velocity	$V_s \sim O(10^4)\, m/sec$	Magnetic energy density / Flow energy density	$= \left(\frac{B^2}{2\mu_0}\right) / \left(\frac{\rho V^2}{2}\right) = (V_A/V)^2 \sim O(10^2)$
Alfvén velocity	$V_A \sim O(10^{-3})\, m/sec$		

normalized value

Ekman数＝回転時間/粘性散逸時間～ 10^{-15}

インヤン格子による新しいダイナモシミュレーション

- MHD磁気対流計算
- 座標系：インヤン格子
- 座標特異点なし
- 高い並列化率



Kageyama, A., & Sato, T. 2004

インヤン格子による新しいダイナモシミュレーション

- 格子点数: $511 \times 514 \times 1538 \times 2$ （経度方向に約2000グリッド）
- パラメータ:

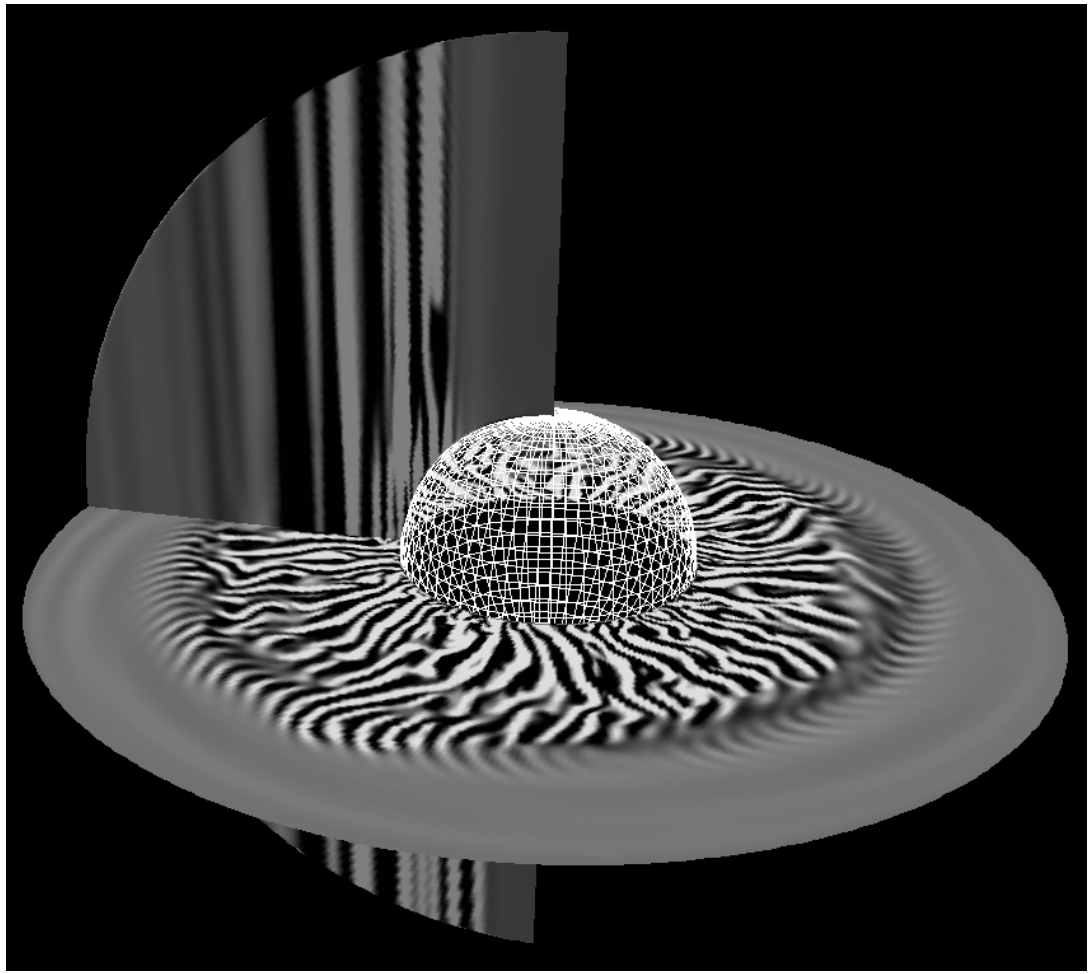
$$E_k = 2.3 \times 10^{-7}$$

$$Ra = 1.5 \times 10^{10}$$

$$Pm = 1$$

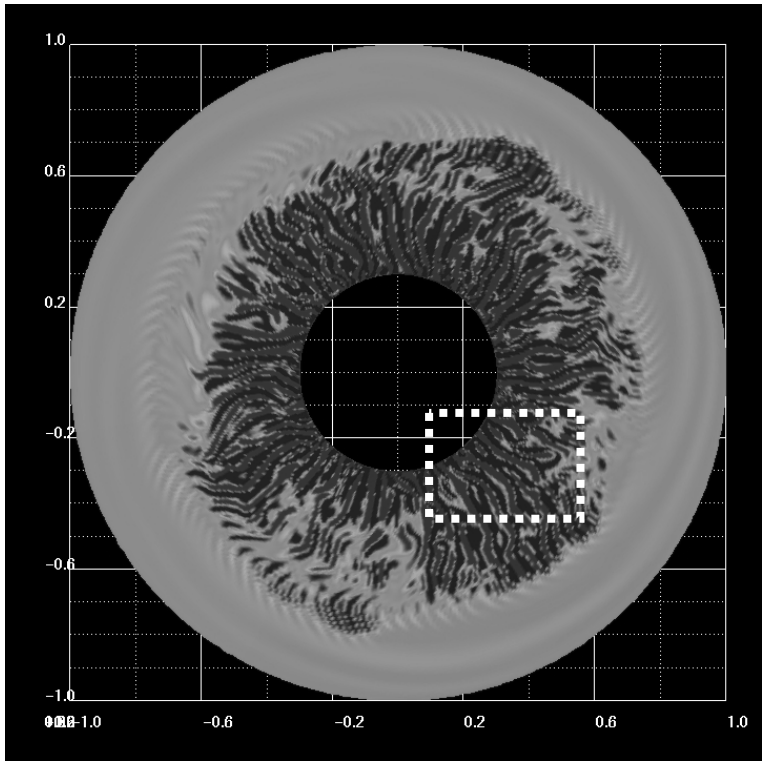
$$\mathrm{Pr} = 1$$

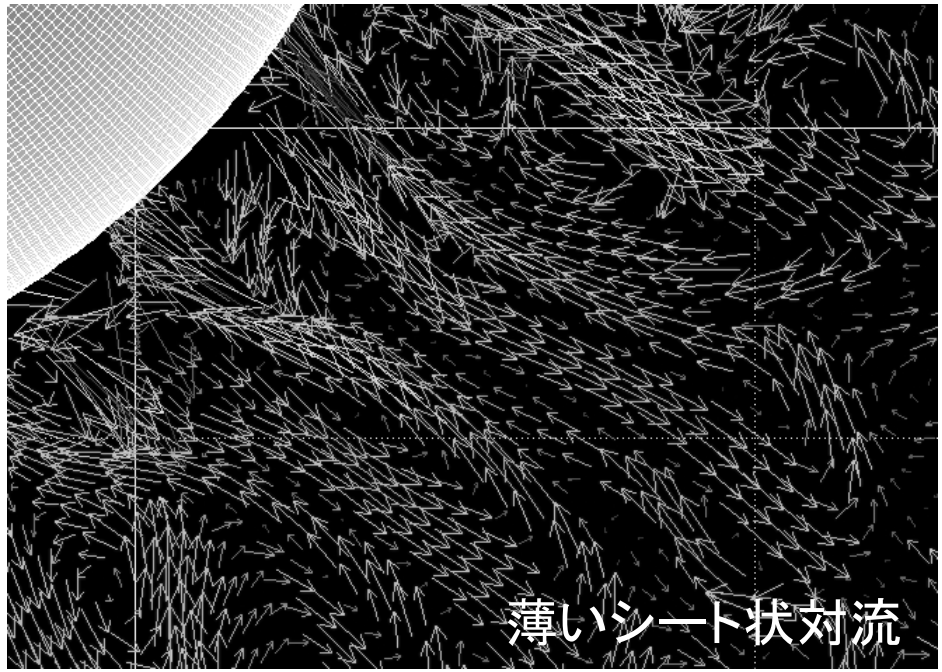
対流構造



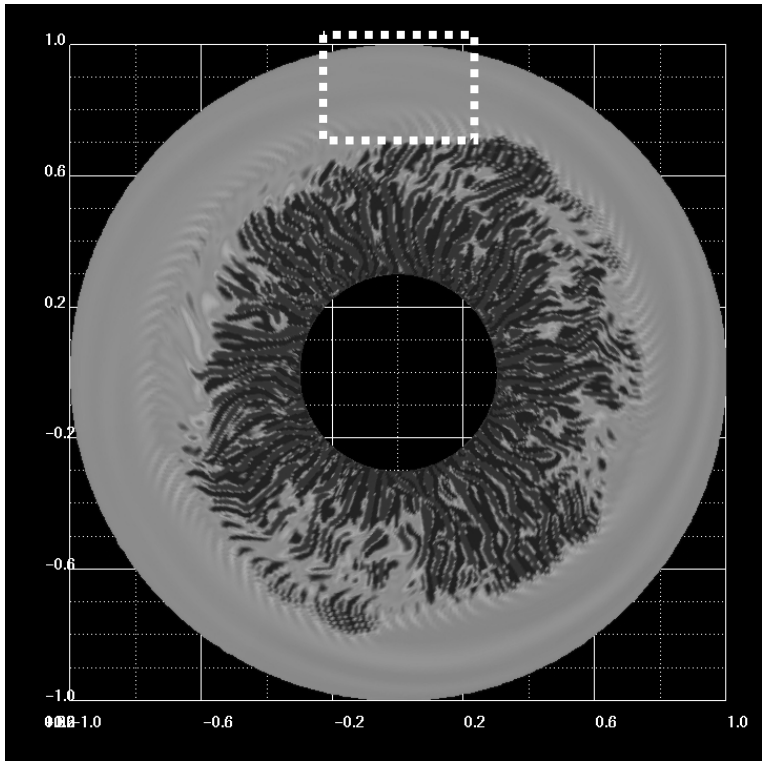
（渦度の回転軸方向成分）

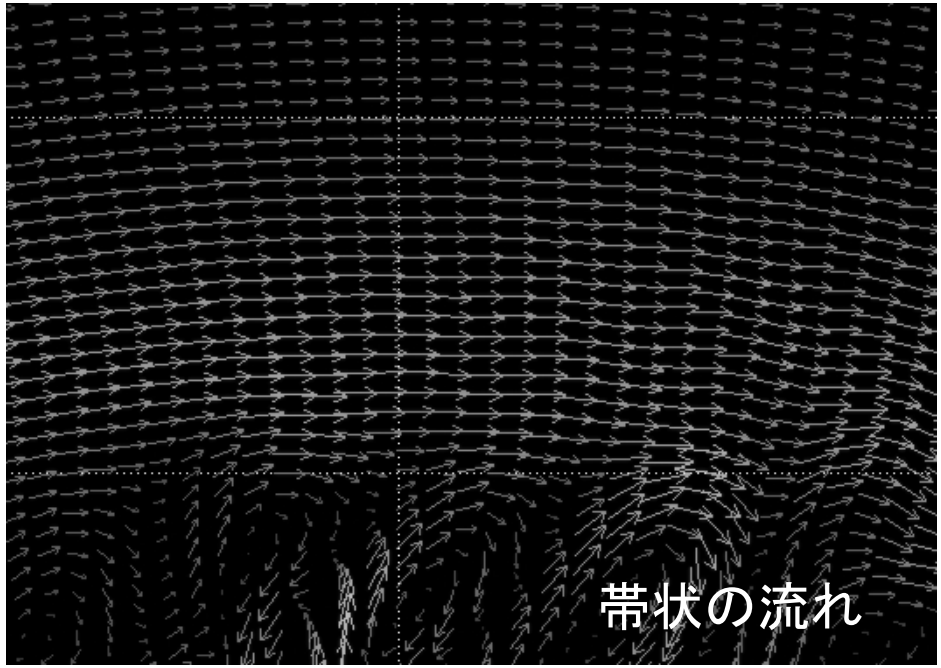
流れ場の構造





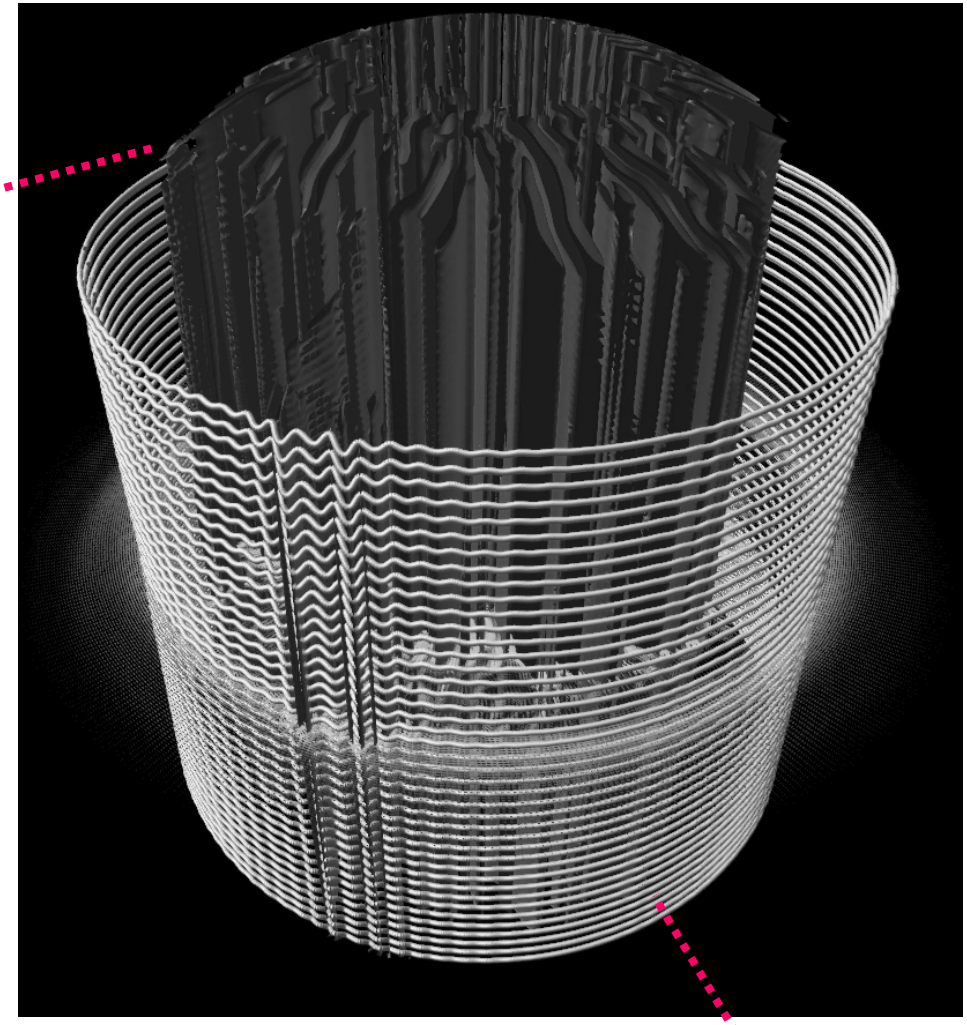
流れ場の構造





3次元の対流構造

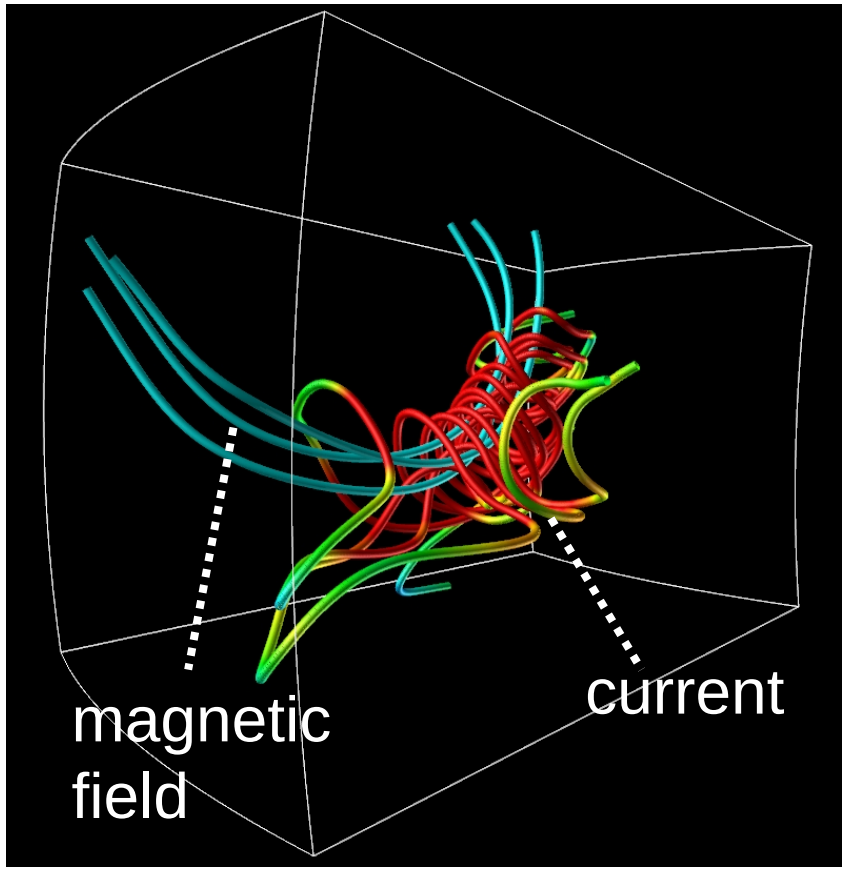
Isosurface of ωz:
Sheet convection



Streamlines of velocity: Zonal flow

(赤道方向　斜め上方からの図)

Magnetic flux tube formation

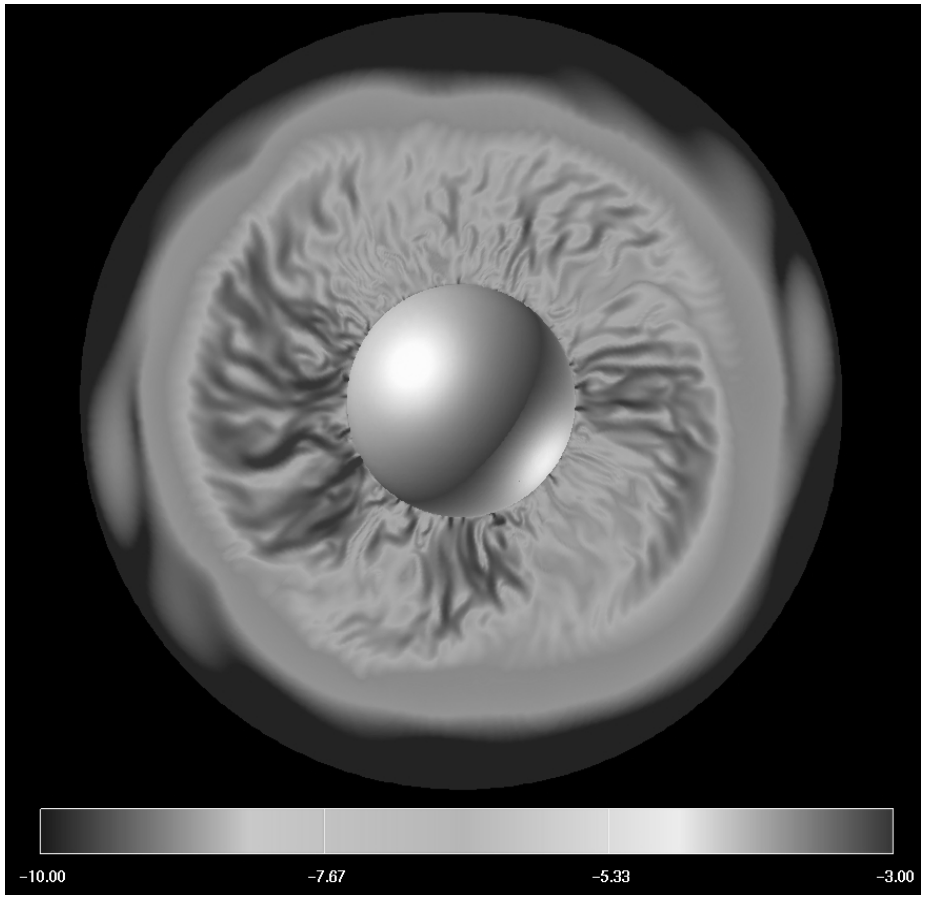


形成されたヘリカルコイル電流の1つを拡大したもの
ヘリカルコイル電流の内側に磁束管が形成されている

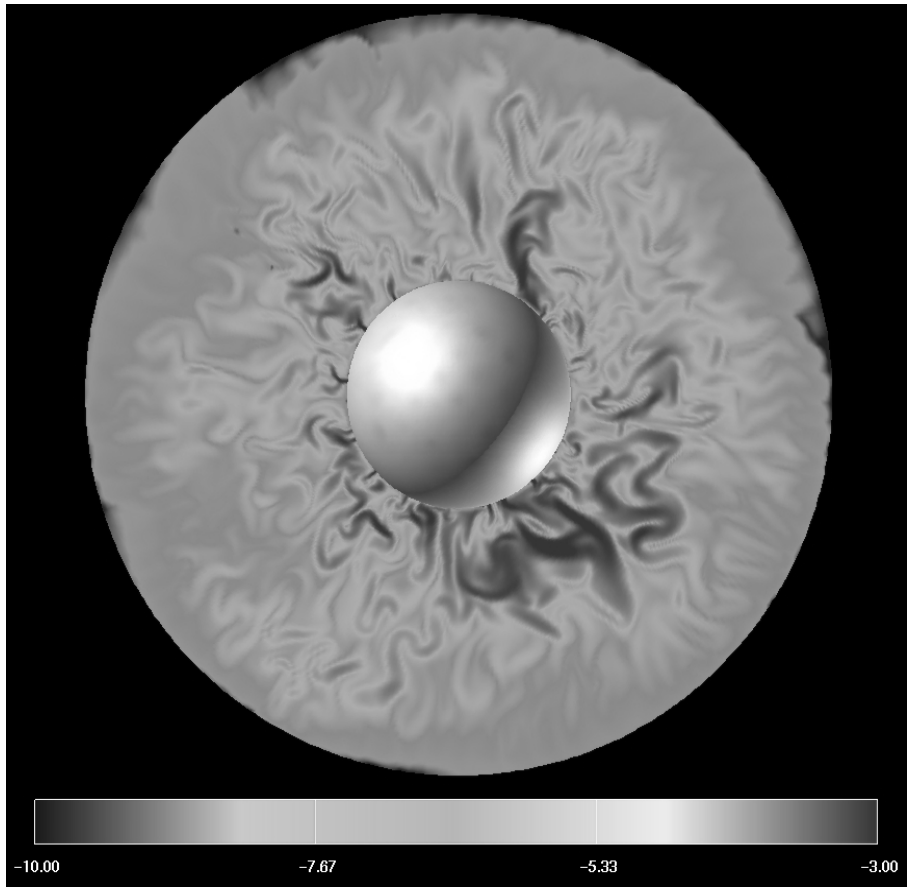
シート状対流の引き伸ばしにより、磁束管が形成される

磁気エネルギー密度

$E_k = 2.3\times10^{-7}$



$E_k = 2.6\times10^{-6}$



“magnetic barrier”

まとめ

・シート状対流と、それによる強いダイナモの発見

・シート流とそれを取り囲むように存在する帯状流による
２重対流構造の形成

・ヘリカルコイル電流構造、磁束管の形成