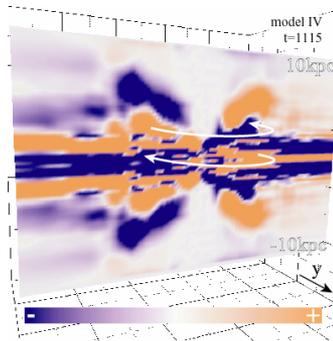
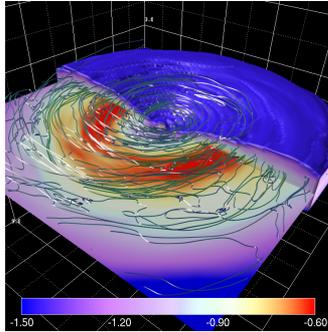
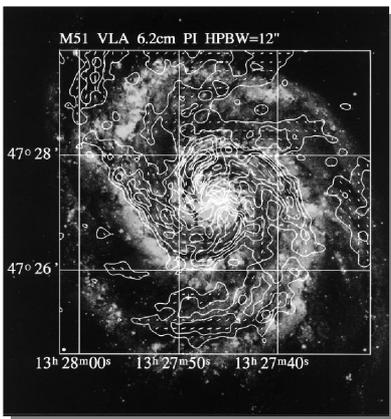


銀河ガス円盤の大局的3次元 磁気流体数値実験

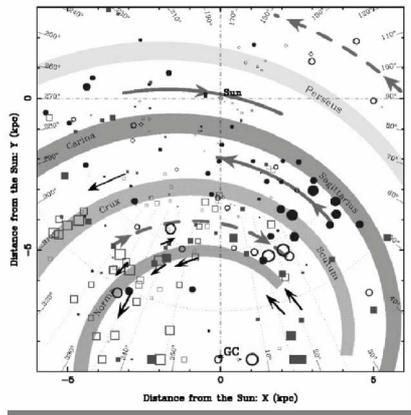


松元亮治、錦織弘充(千葉大)、町田真美(国立天文台)

渦状銀河の平均磁場: 起源はダイナモ?

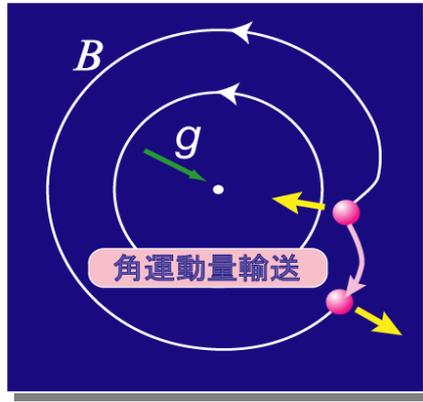


M51 (Neinger & Horellou, 1996)



Our Galaxy (Han et al., 2002)

磁気回転不安定性 (Balbus and Hawley 1991)



差動回転円盤において回転のタイムスケールで成長

3

動力学方程式

$$\frac{\rho}{t} + (\rho \mathbf{v}) = 0$$

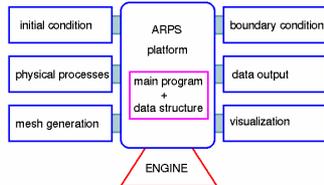
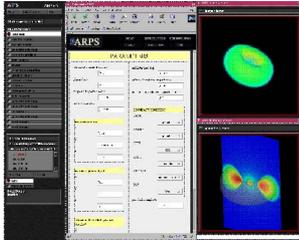
$$\rho \frac{\mathbf{v}}{t} + \rho (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = - \nabla P + \frac{(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B}}{4\pi} + \rho \mathbf{g}$$

$$\frac{\mathbf{B}}{t} = \nabla \times (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \eta \nabla^2 \mathbf{B}$$

$$\frac{\rho \varepsilon}{t} + (\rho \varepsilon \mathbf{v}) + \nabla P \cdot \mathbf{v} = Q_J + Q_{vis} - Q_{rad}$$

4

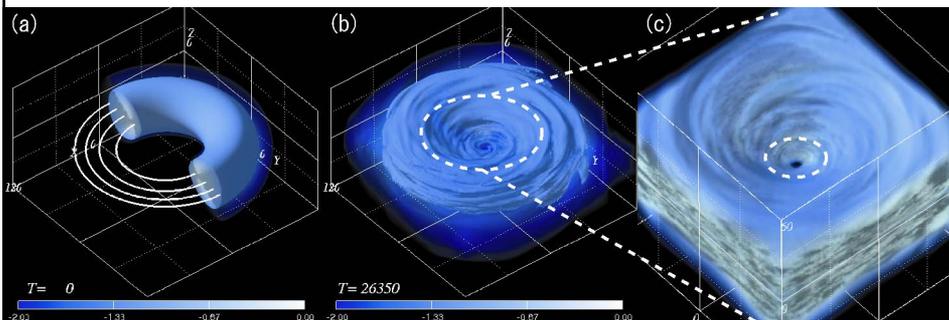
回転プラズマのグローバルシミュレータ



ARPS (Astrophysical Rotating Plasma Simulator, Matsumoto et al. 1999)

Coordinated Astronomical Numerical Software(CANS): product of ACT-JST project (2000-2002)

Formation of an Accretion Disk (Machida and Matsumoto 2003)



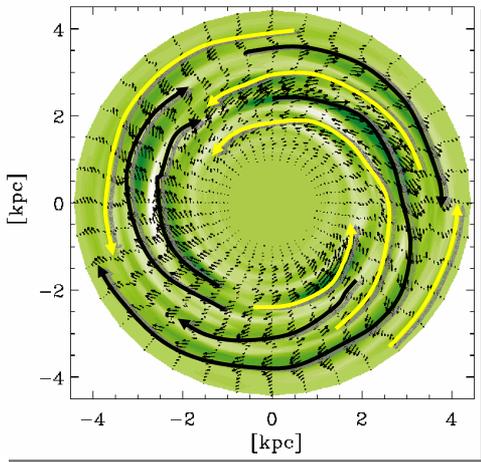
Initial state

$t=26350$

unit time $t_0=rg/c$



銀河円盤のグローバルシミュレーション (Dziourkevitch et al. 2004)



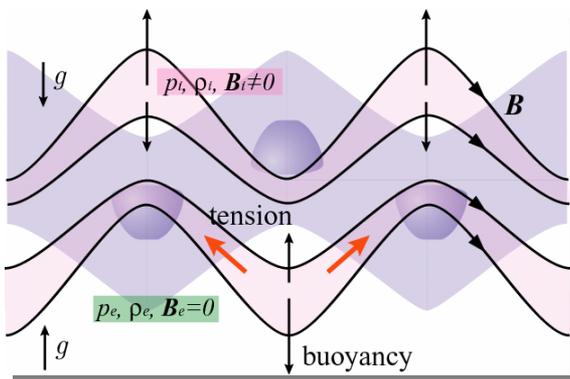
計算領域

$$1\text{kpc} < r < 5\text{kpc}$$

$$-1\text{kpc} < z < 1\text{kpc}$$

銀画面内で方位角
磁場の方向が頻繁
に反転

パーカー不安定性による磁束流出

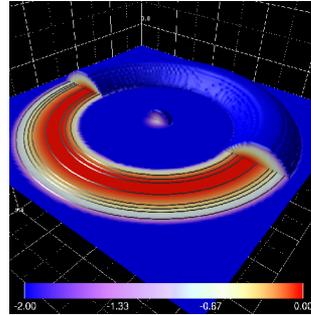


鉛直方向に広いシミュレーション領域が必要

Parker (1966), Matsumoto et al. (1988)

広い計算領域を用いたシミュレーション (Nishikori et al. 2006, ApJ in press)

- 重力ポテンシャル
 - ダークマターを含む軸対称ポテンシャル (Miyamoto 1980)
- 初期条件
 - 10kpcで密度最大になる角運動量一定のトーラス
 - 方位角方向の弱い磁場 ($\beta = 100, 1000, 10000$)
 - $T = 10^5 K$
- $r = 0.8 kpc$ に吸収境界
- 赤道面对称性を仮定



250*64*319 mesh

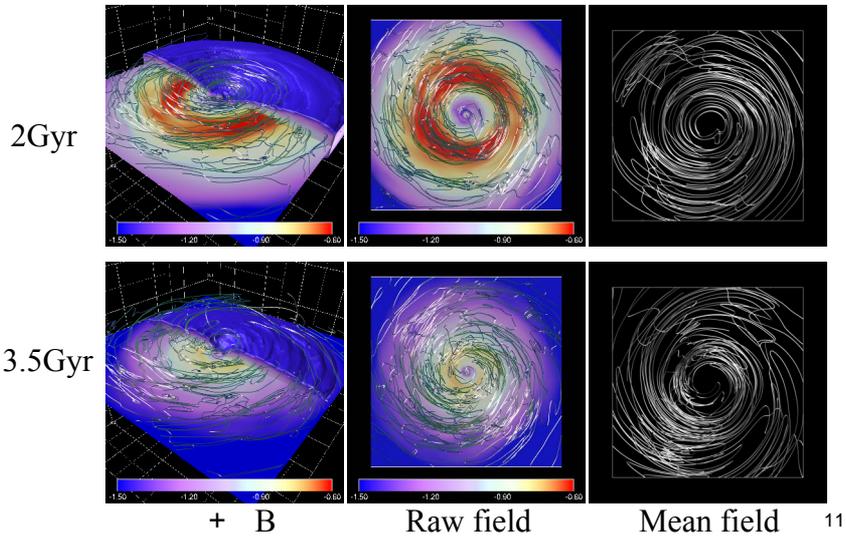
9

モデルパラメータ

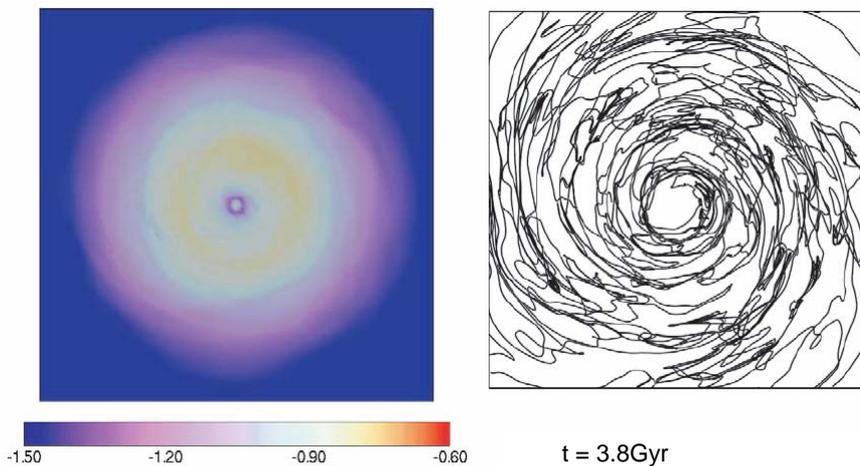
models	β_0	計算領域	$\Delta\varphi$	$\rho_{\text{halo}0}$	DM	境界
model I	100	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-3}	×	吸収
model II	100	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-3}	×	非吸収
model IIIa (b)	100	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-3}		吸収
model IIIb	1000	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-3}		吸収
model IIIc	10000	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-3}		吸収
model VI	100	$0 < \varphi < 2.0\pi$	$\pi/32$	10^{-2}		吸収
model Va	100	$0 < \varphi < 0.5\pi$	$\pi/128$	10^{-3}		吸収
model Vb	100	$0 < \varphi < 0.5\pi$	$\pi/64$	10^{-3}		吸収
model Vc	100	$0 < \varphi < 0.5\pi$	$\pi/32$	10^{-3}		吸収

10

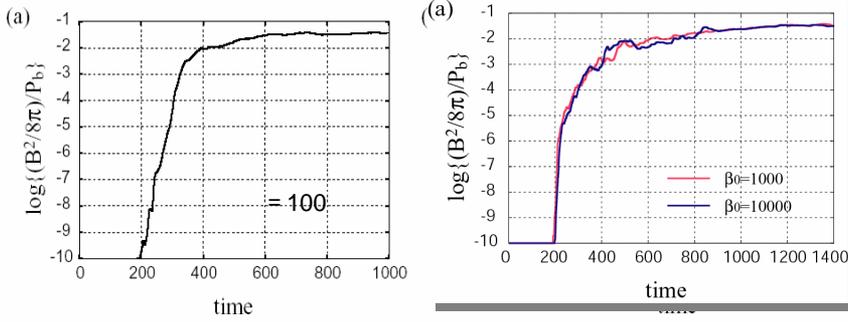
Numerical Results ($n=100$)



密度分布と磁力線形状



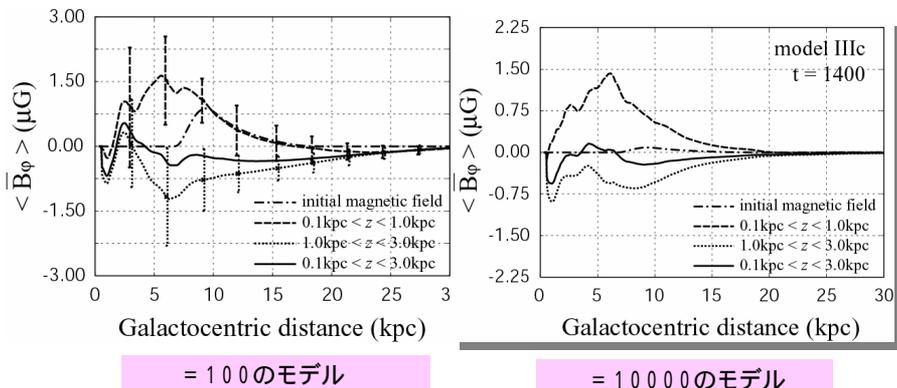
磁気エネルギーの増幅と飽和



Average in $2\text{kpc} < r < 5\text{kpc}$ and $0 < z < 1\text{kpc}$

13

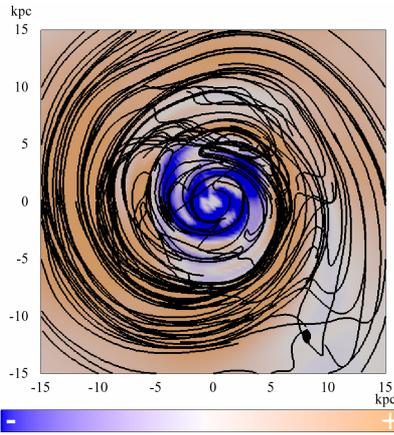
方位角成分の平均磁場分布



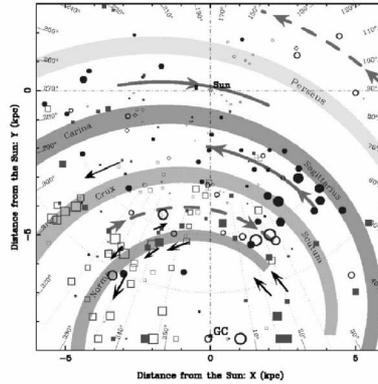
方位角方向の磁束は保存。赤道面の平均磁場は強められる。

14

方位角磁場の動径方向の反転



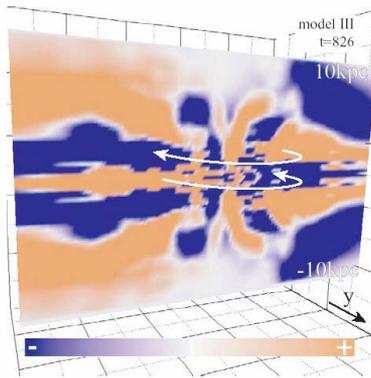
Azimuthal field at $t=3.8\text{Gyr}$ at $z=0.25\text{Kpc}$



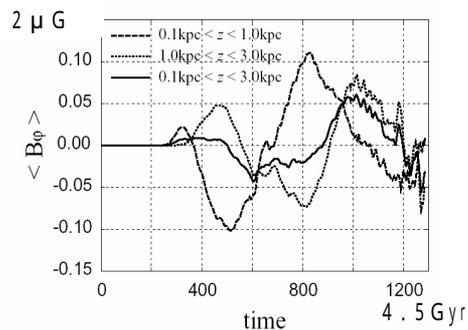
Galactic magnetic field obtained by Rotation Measure (Han et al. 2001)

15

Spacial and Temporal Reversal of Azimuthal Magnetic Fields



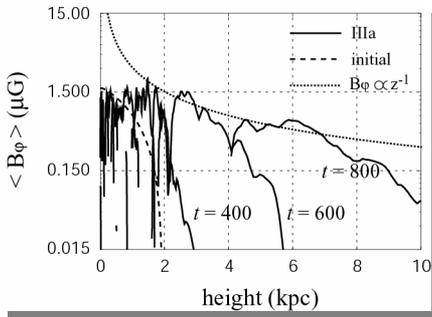
Azimuthal Magnetic Field at $t=3.1\text{Gyr}$



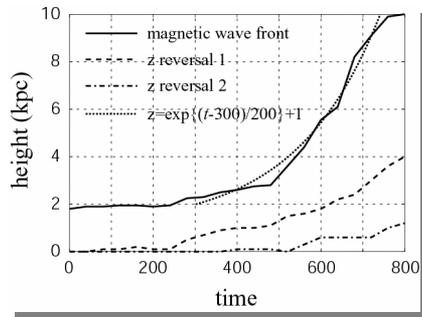
Time variation of mean azimuthal field at $5\text{kpc} < r < 6\text{kpc}$ and $0 < z < 1\text{kpc}$

16

磁束のコロナへの流出 —ストライプ状のコロナ磁場の形成—



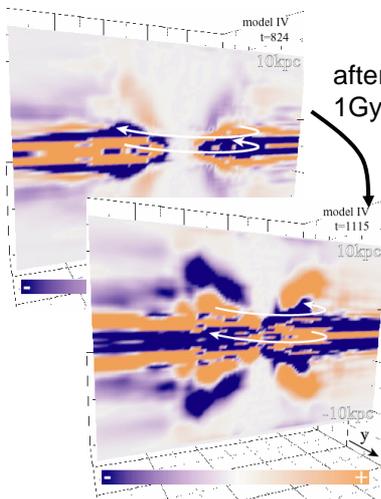
磁場強度 = 一定の
面の高さ



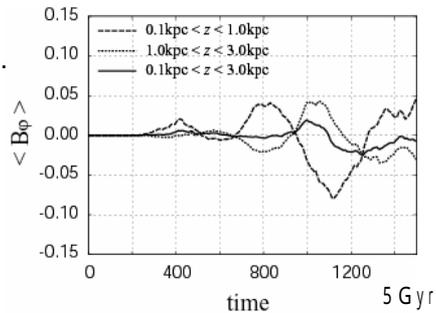
方位角磁場が反転する高さ
の変化

17

初期磁場が弱い場合の結果 ($\tau = 1000$)



after
1Gyr...

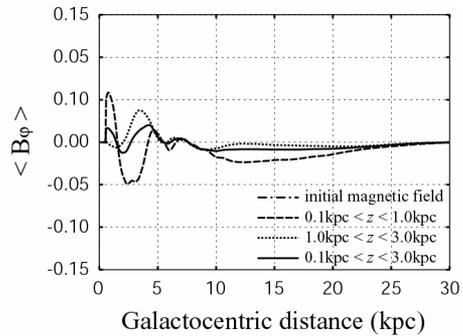
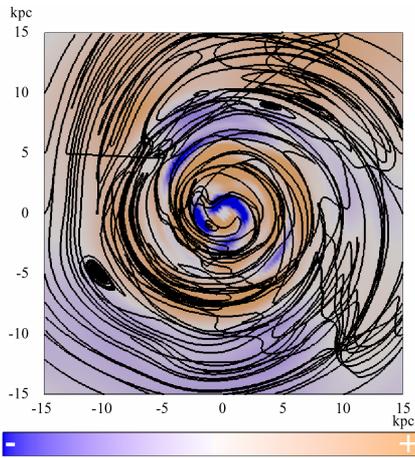


Time variation of mean
azimuthal magnetic field

At $5\text{kpc} < r < 6\text{kpc}$

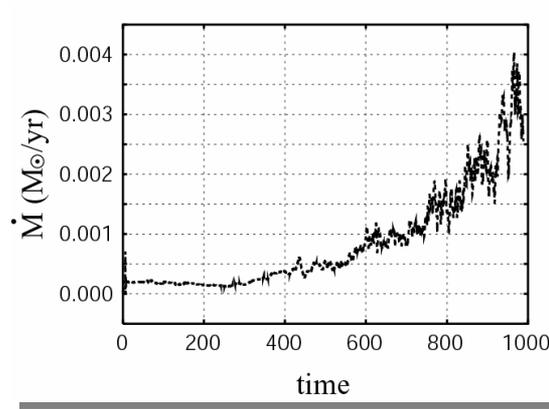
18

コロナ圧力を高めたモデル



磁束流出が抑えられると
方位角磁場は動径方向
に頻繁に反転する。

銀河中心への降着率



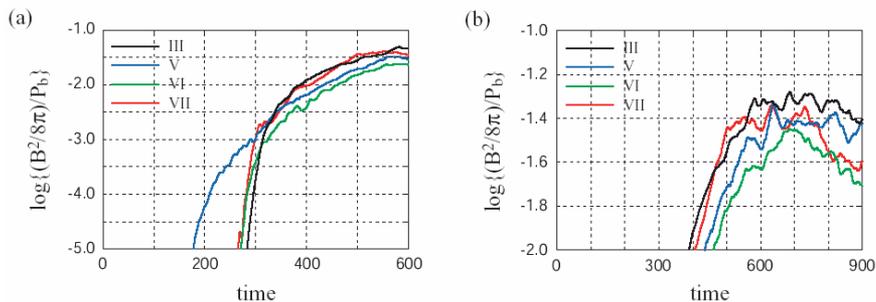
角運動量を失った星間ガスが落下

まとめ

- 軸対称重力ポテンシャルを仮定して、銀河ガス円盤における磁場増幅過程の大局的な3次元MHDシミュレーションを行った。その結果、銀河磁場は μG 程度まで強められ、維持されることがわかった。
- 平均磁場と乱流磁場の大きさは同程度になる。
- 方位角磁場は空間的にも時間的にも反転する。反転の周期は1 Gyr程度
- 円盤から流出した磁束がストライプ状のコロナ磁場をつくる。
- 非軸対称ポテンシャルの効果、赤道面对称性の効果、ガス温度依存性などを調べるのが今後の課題。

21

Dependence on Azimuthal Resolution and Simulation Region



Model III: Full Circle Simulation with $\Delta\phi = 2^\circ / 64$

Model V-VII: $\frac{1}{4}$ Circle Simulation ($0 < \phi < \pi/2$) with

V: $\Delta\phi = 2^\circ / 128$ VI: $\Delta\phi = 2^\circ / 64$ VII: $\Delta\phi = 2^\circ / 32$

22

Motion of the Wavefront of Rising Magnetic Flux

