

国立天文台 天文学データ解析計算センター  
成果報告書 (平成 17 年度)

応募カテゴリ     B  
システム         VPP

プロジェクト ID: whn25b

研究代表者 (現在のユーザ ID : nishirhr )

氏名	錦織 弘充	
所属機関名	千葉大学大学院自然科学研究科 数理物性科学専攻	
連絡先住所	〒 263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学理学部物理学科宇宙物理学研究室	
電話番号	043(290)3720	
E-mail	nisikori@astro.s.chiba-u.ac.jp	
職または学年	博士後期課程 3 年	
研究代表者が学生の場合には指導教官の氏名	松元 亮治	

研究課題名

(和文)	銀河ガス円盤の大局的 3 次元磁気流体数値実験
(英文)	Global Three-dimensional MHD Simulations of Galactic Gaseous Disks

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト (同様の過去のプロジェクトも含む) での成果

- 学術論文 -

“Global Three-Dimensional MHD Simulations of Galactic Gaseous Disks.

I. Amplification of Mean Magnetic Fields in Axisymmetric Gravitational Potential”

Hiromitsu Nishikori, Mami Machida, Ryoji Matsumoto

*The Astrophysical Journal* vol. 641, 2 issue, 20th April 2006 出版予定

- 学会発表 -

“銀河ダイナモの大局的 3 次元磁気流体数値実験”

錦織 弘充、町田 真美、松元 亮治 @ 日本天文学会 2006 年春季年会 (発表予定)

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

## 成果の概要

本プロジェクトでは、銀河円盤における磁場の増幅・維持機構を調べる目的で、銀河円盤全体を計算領域に含む大局的3次元磁気流体シミュレーションを行ってきた。

初期モデルとして、弱い方位角方向磁場に貫かれた力学平衡にあるガストーラスを用いた。重力ポテンシャルとして Miyamoto et al. (1980) による銀河系の軸対称モデルを採用し、銀河ガス円盤を、このポテンシャル中を運動する円盤と考えた。

数値計算の結果、初期トーラスは、磁気ストレスによる角運動量輸送によってディスク状に変形した。この銀河円盤中では磁気回転不安定性によって磁場が約  $1.5 \mu\text{G}$  まで増幅され、数十億年にわたって維持されていた。初期磁場の強度を変えた場合も、その飽和値はほぼ同じであった。

また、銀河面領域、ハロー領域で、方位角方向磁場の平均を調べた。図1は、 $t = 1000t_0$  (3.8 Gyr) での銀河面付近での平均磁場の形状(曲線)と方位角方向成分の向き(カラー)を示

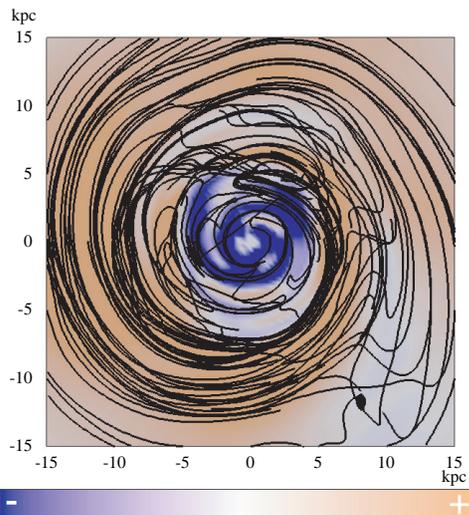


図1:  $z = 0.25 \text{ kpc}$  での平均磁場の磁力線(実線)と方位角方向磁場の向き(カラー)。橙と青は、それぞれ反時計回り方向および時計回り方向磁場を示す。

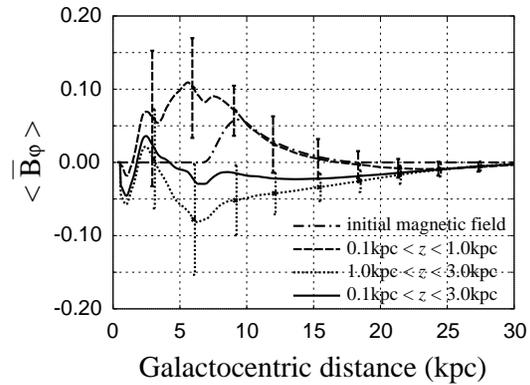


図2:  $t = 826t_0$  (3.1 Gyr) での平均磁場および標準偏差。平均化は  $0 < \varphi < 2\pi$ 、 $0.1 \text{ kpc} < z < 1 \text{ kpc}$  (dashed curve)、 $1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$  (dotted curve)、 $0.1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$  (solid curve)。

している。初期磁場はトーラス内に正方向(橙)のみであったが、物質の降着に伴う磁気回転不安定性の成長によって負方向成分(青)が生じていた。その方向は、同一  $z$  面内でも半径によって異なっていることも分かった。

図2は  $t = 826t_0$  での方位角方向磁場の平均  $\langle B_\phi \rangle$ 、および標準偏差  $\sqrt{\langle (B_\phi - \bar{B}_\phi)^2 \rangle}$  を示している。それぞれの曲線は、銀河面領域 ( $0.1 \text{ kpc} < z < 1 \text{ kpc}$ )、ハロー領域 ( $1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$ )、銀河面 + ハロー領域 ( $0.1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$ ) および、初期磁場の平均である。銀河面付近の方位角方向磁場の強度は、初期磁場強度  $0.3 \mu\text{G}$  の約2倍の  $1.5 \mu\text{G}$  程度になっていた。また、銀河面領域とハロー領域では方位角方向磁場は逆向きであり、 $r$ - $z$  面について総磁気フラックスは、ほぼ保存していた(銀河面 + ハロー領域)。

図3は  $t = 590t_0$  (2.2 Gyr)、 $826t_0$  (3.1 Gyr) での方位角方向磁場の分布を示している。橙、青は  $y = 0$  における磁場方向の正負を、矢印は方向を示している。磁場の方向は、 $t = 590t_0$  では銀河面領域で正方向、ハロー領域では負方向を示していた。しかし、 $t = 826t_0$  ではそれぞれの領域で逆の向きに変わっていた。

図4は平均磁場の方位角方向成分の時間変化を示す。曲線はそれぞれ、図2と同様、銀河

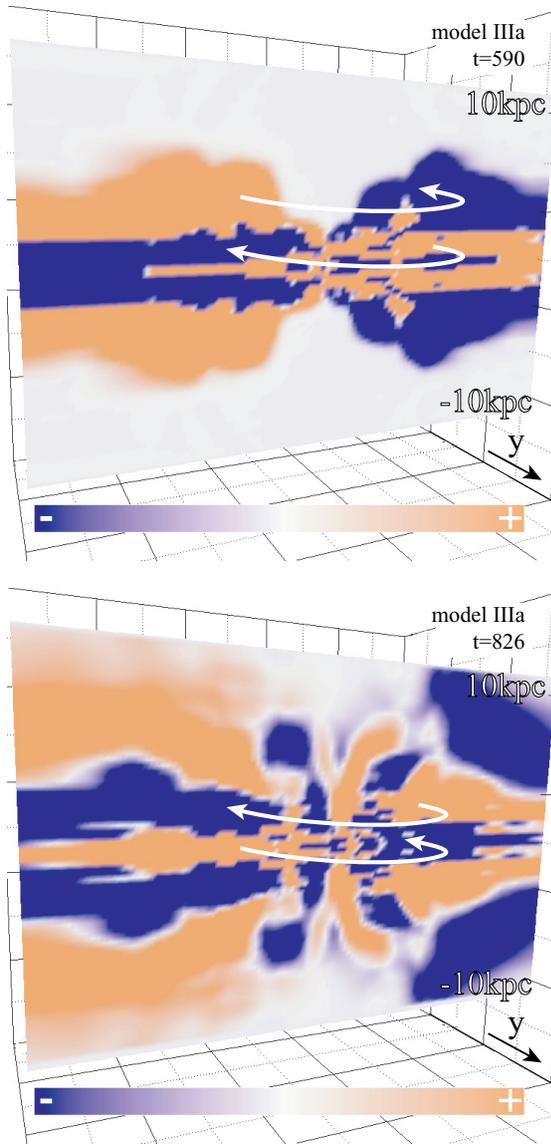


図 3:  $t = 590t_0$  (2.2 Gyr)、 $826t_0$  (3.1 Gyr) での平均磁場の  $y = 0$  面での方位角成分の分布。

面領域、ハロー領域及銀河面 + コロナ領域での平均を示している。銀河面領域、ハロー領域とも、時間経過と共にその方向が変わっていることが分かった。その反転周期は約 1 Gyr で、これは図 3 で示した銀河面からハローへの磁場の上昇のタイムスケールである。また、その振幅は銀河面領域で約  $1.5 \mu\text{G}$  であった。系全体のフラックスは保存しているので、銀河円盤内での方位角方向の平均磁場の増幅は、それと反対方向の磁束が銀河ハローへと流出することに

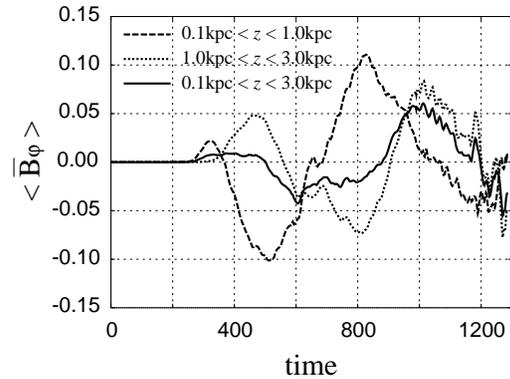


図 4: 平均磁場の方位角方向成分の時間変化。平均化は  $5 \text{ kpc} < \varphi < 6 \text{ kpc}$ 、 $0 < \varphi < 2\pi$  および  $0.1 \text{ kpc} < z < 1 \text{ kpc}$  (dashed curve)、 $1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$  (dotted curve)、 $0.1 \text{ kpc} < z < 3 \text{ kpc}$  (solid curve) について行った。

よって可能になる。この磁束流出はパーカー不安定性によって起きている。

我々は、渦巻銀河で磁気回転不安定性が成長することで、磁場が増幅・維持されることを示してきた。今回我々は、太陽や地球の磁場の維持機構として知られているダイナモ過程が、銀河スケールで起きる様子を示した。銀河面付近の磁場が時間と共に反転する様子、また磁場の上昇によってハロー領域に現れる方位角方向磁場のストライプ状分布は、渦巻銀河内で磁場構造が刻々と変化している可能性を示唆している。ハロー領域の磁場は過去に銀河面領域に存在した、言わば化石磁場と考えることができる。今後、銀河系について詳しく行われている磁場の観測が、高銀緯についても行われ、その立体的な構造が得られれば、本結果と比較することが出来ると期待される。

## プロジェクトの成果

- H. Nishikori, M. Machida & R. Matsumoto, 2006 *ApJ*, *v641* 2 (20 April, 2006) (astro-ph/0601358)
- 博士学位論文