

Global Three-Dimensional MHD Simulations of Galactic Gaseous Disks

銀河ガス円盤の大局的3次元磁気流体数値実験

○錦織 弘充、田中 実 (千葉大自然)、桑原 匠史 (NCU)、福田 尚也 (千葉大理)
e-mail : nisikori@astro.s.chiba-u.ac.jp *URL* : <http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp>

Abstract

銀河ガス円盤は差動回転しているため、磁気回転不安定性により磁気乱流状態にあると考えられる。そこでは、乱流中での磁場増幅と維持、磁気浮力による磁束流出と構造形成、磁気リコネクションによる星間ガスの加熱等の過程が重要な役割を担っていると推察される。銀河磁場については、その増幅・維持モデルとして銀河ダイナモ機構が考えられている (Parker 1970, 1971)。しかしながら、従来のダイナモ理論はガスの運動を仮定した運動論的理論であり磁気回転不安定性の効果が取り入れられていなかった。そこで我々は、直接3次元MHDシミュレーションにより銀河磁場の時間発展を調べた。

重力場として、宮本・永井(1975)による銀河系の星のつくる重力ポテンシャルを採用し、弱い方位角方向磁場を持つ角運動量一定の平衡トーラスを中心から10kpc付近に置き、そこから物質を降着させて銀河ガス円盤を形成するシミュレーションを行った。なお、中心から0.6kpcで吸い込み境界をおいた。計算の結果、磁気エネルギーは指数関数的に増加し、 $\beta \equiv P_{\text{gas}}/P_{\text{mag}} \sim 10\text{-}20$ 程度で飽和することが示された。さらにシミュレーション結果からダイナモ α を見積もった。その結果、 α の値は空間的にきわめて非一様な分布をすることが分かった。

Simulation Model

- ・力学的平衡状態にある回転トーラスのモデル

$\varpi=10\text{kpc}$ で密度最大

重力ポテンシャル : Miyamoto & Nagai (1975)による銀河系のモデルを軸対称外場として与える

$$\psi(\varpi, z) = \sum_{i=1}^2 \frac{GM_i}{\{\varpi^2 + [a_i + (z^2 + b_i^2)^{0.5}]^2\}^{0.5}}$$

$$\begin{cases} a_1 = 0.0 \text{ kpc}, & b_1 = 0.495 \text{ kpc}, & M_1 = 2.05 \times 10^{10} M_{\odot} \\ a_2 = 7.258 \text{ kpc}, & b_2 = 0.520 \text{ kpc}, & M_2 = 25.47 \times 10^{10} M_{\odot} \end{cases}$$

- ・計算領域 : 円筒座標系 $(\varpi, \phi, z) = (250, 64, 319)$
 $0 \text{ kpc} < \varpi < 56 \text{ kpc}, 0 < \phi < 2\pi, 0 < z < 10 \text{ kpc}$,
 中心から0.6kpcで吸い込み
 赤道面で対称境界条件

- ・磁場分布
 $\beta = P_{\text{gas}}/P_{\text{mag}} = 100$ 程度の
 弱い方位角方向磁場

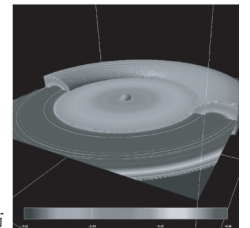
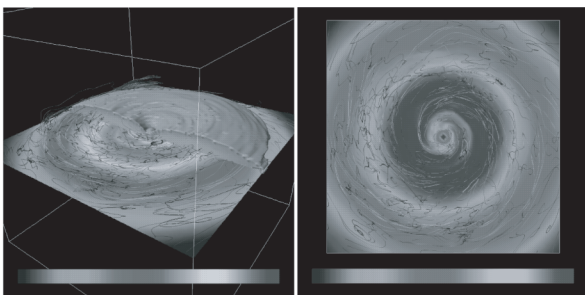


図1 : 初期条件の密度分布

24kpc × 24kpc × 24kpc

Result



24kpc × 24kpc × 24kpc

24kpc × 24kpc

図2 : 中心から10kpcで約23回転した後の密度、磁気線の分布

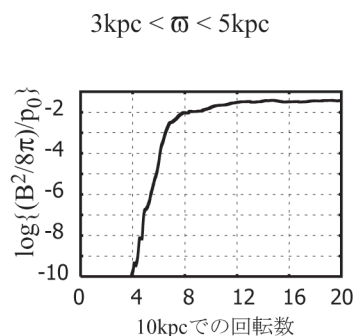


図3 : 磁気エネルギーの時間変化

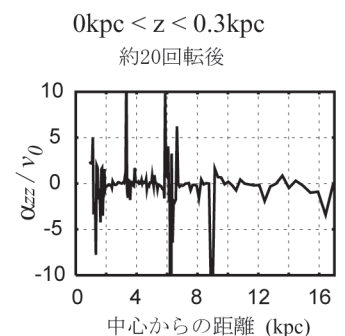


図4 : dynamo α の空間平均

時間が経つにつれ、初期のトーラスから物質が降着し、ガスディスクを形成した(図2)。磁気エネルギーは指数関数的に増幅された後、 $\beta = 10\text{-}20$ 程度で飽和し、銀河年齢にわたって維持されていた(図3)。また、下の式より求められる、dynamo α の空間平均値は10km/sのオーダーであり、空間的にきわめて非一様であった(図4)。

$$\alpha_{zz} = \frac{\langle \mathbf{v} \times \mathbf{b} \rangle_z}{\langle B \rangle_z} \quad (\mathbf{v}, \mathbf{b} : \text{乱流成分}, B : \text{大局磁場})$$

Conclusion & Discussion

銀河円盤が約23回転するまでのシミュレーションを行った。その結果、磁力線は大局的には渦状構造をとるが、局所的には、各所に乱流構造が生成することが分かった。磁場強度は、増幅された後、銀河年齢にわたって維持されており、プラズマ β はディスク内部で平均すると $\beta = P_{\text{gas}}/P_{\text{mag}} \sim 10\text{-}20$ 程度であった。また、シミュレーション結果の乱流成分からdynamo α の値を計算した所、 $\alpha_{zz} = \langle \mathbf{v} \times \mathbf{b} \rangle_z / B_z$ の値は10km/sのオーダーであり、その値は空間的にきわめて非一様であった。