

# 非熱的粒子を考慮した銀河ダイナモ

千葉大学理学研究科 修士2年  
工藤 祐己

## 1, Introduction

銀河円盤における磁場の増幅・維持機構(円盤ダイナモ)を解明することは重要課題である。銀河円盤に存在する磁場は、分子雲や星間乱流生成、円盤ガスの分布、高温ハロー・円盤風の形成に寄与していると考えられているため、銀河スケールから分子雲スケールまでの物理を結びつける役割を持つといえる。近年、天の川銀河の観測から銀河磁場の構造が明らかになってきている。例えば、図1のような電波連続光の全天観測から広がった電波源がある事が知られている。これは主に相対論的に運動する荷電粒子(非熱的粒子)が磁場中を伝播する際に放射されるシンクロトロン放射が支配的である事が分かっている。これより銀緯の広い領域まで磁場が存在する。

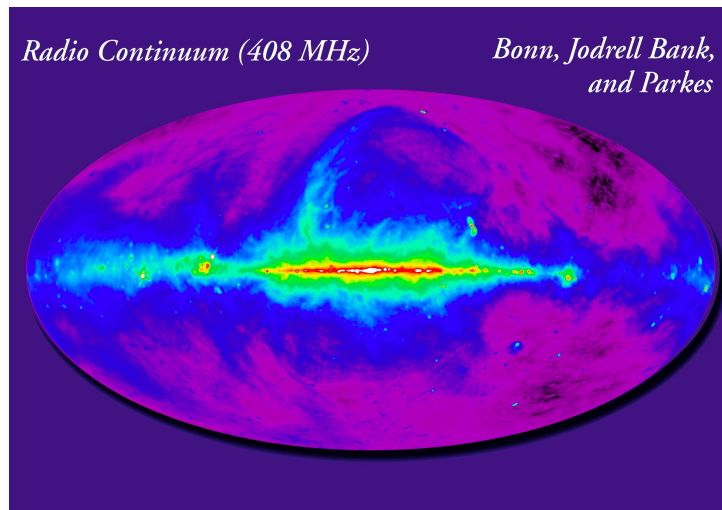


図1: 408MHzの電波連続光で観測した全天マップ。広がった輻射源についてのモデルは未だよく分かっていない。

差動回転する天体のダイナモにおいて、磁場の増幅機構についてはこれまで主に $\alpha\Omega$ ダイナモと呼ばれている機構(図2)を用いてきたが、 $\alpha$ 効果については電離ガスの運動をパラメータ $\alpha$ によって予め仮定した上で磁場の誘導方程式を解く必要があった(\*)。しかし、Bulbus & Hawley (1991)は磁気回転不安定性と呼ばれる不安定性によって、差動円盤において磁場が電離ガスに及ぼす影響を考慮する必要性を指摘した。

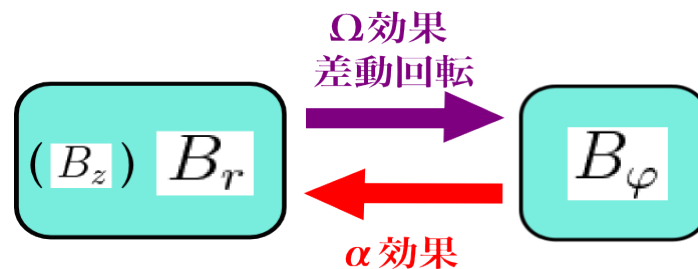


図2:  $\alpha\Omega$ ダイナモの概念図。 $\Omega$ 効果について、差動回転していると動径磁場から方位角磁場ができる事は容易であろう。しかし、 $\alpha$ 効果については方位角磁場から動径磁場を作り出すためのメカニズムがよく分かっていなかった。以上簡単のために円筒座標で考えた。

(\*) 運動を仮定するのではなく、乱流によって $\alpha$ 効果を説明しているモデルも存在する。

銀河円盤について、Nishikori et al. (2006) は磁気回転不安定性とパーカー不安定性の相乗効果(図3)により、円盤内部において方位角方向の平均磁場が準周期的に反転して全磁場強度がある値に落ち着く事により円盤ダイナモが駆動することを示した。



図3: Nishikori et al. (2006) による円盤ダイナモの模式図。(a) 簡単な初期状態として方位角方向にのみ磁場が存在、(b) 磁気回転不安定性により方位角方向の磁場が増幅、(c) パーカー不安定性による方位角磁場の浮上と磁気ループの形成。(c) の円盤内部に残された逆向きの磁場が (b) によって増幅される事で (c) が起こり…と、(b) と (c) を準周期的に繰り返す。

## 2. 非熱的粒子を考慮したパーカー不安定性

今回の夏の学校では Kuwabara et al. (2004) による方法に従い、宇宙線がパーカー不安定性に及ぼす影響についての結果を報告した(図4)。計算は3次元カーテシアン座標を用い、重力加速度は円盤赤道面に対して反対称で一定とした。また、初期にガス圧と磁気圧、宇宙線圧それぞれの比を1にとった。宇宙線は流体近似により圧力として記述し、移流-拡散方程式に従う。宇宙線による圧力の増加に伴ってパーカー不安定性の成長率が増大し、非線形段階において磁気ループが浮上する高さも高くなった。

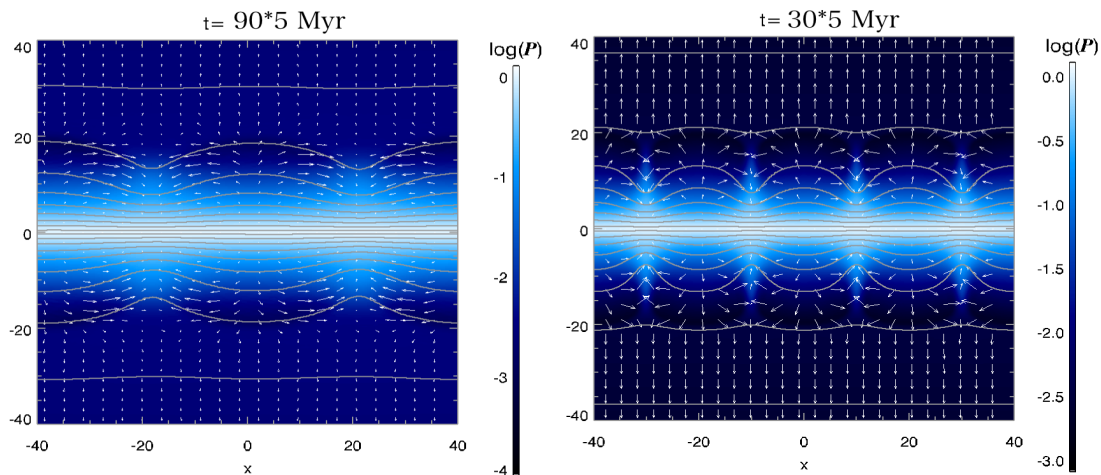


図4: 初期に赤道面に対称な摂動を加えた場合の宇宙線を含むパーカー不安定性の3次元シミュレーション結果。左: 宇宙線ない場合のガス圧, 右: 宇宙線ある場合のガス圧, 曲線は磁力線、矢印は速度ベクトルを示す。

### 3, 今後の展望について

現在、シアリングボックス近似を用いて円盤の一部を切り取った局所3次元計算を行っている(図5)。これまでシアリングボックス近似による磁気回転不安定性の非線形時間発展の計算は数多くなされており、特に Shi et al. (2009) ではバタフライダイアグラムによって方位角磁場が準周期的に変化する、円盤ダイナモを明瞭に示した(図6)。しかし、これまでの計算では非熱的粒子を考慮していなかったため円盤ダイナモやバタフライダイアグラムにどのような変化を与えるのか、今後調べていく必要がある。

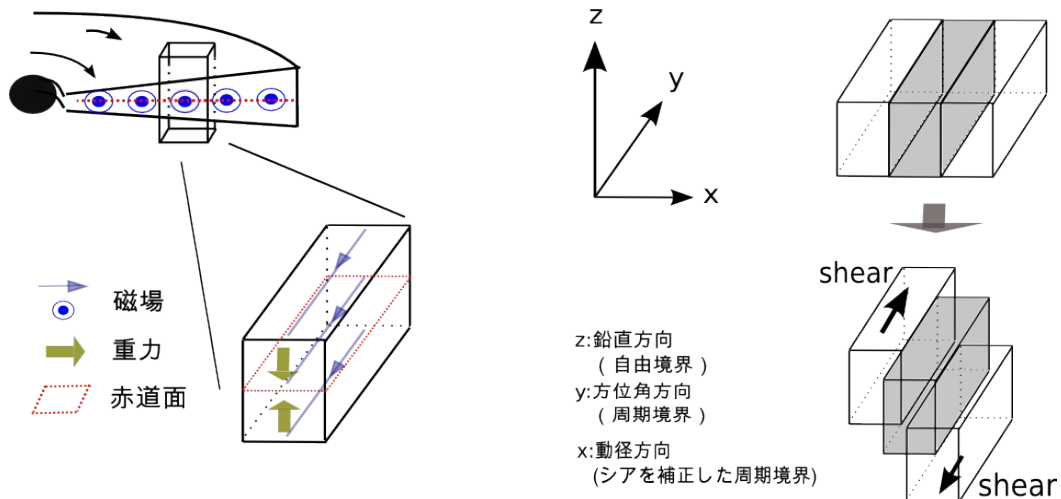


図5 : 局所3次元計算(左)とシアリングボックス近似(右)の概念図

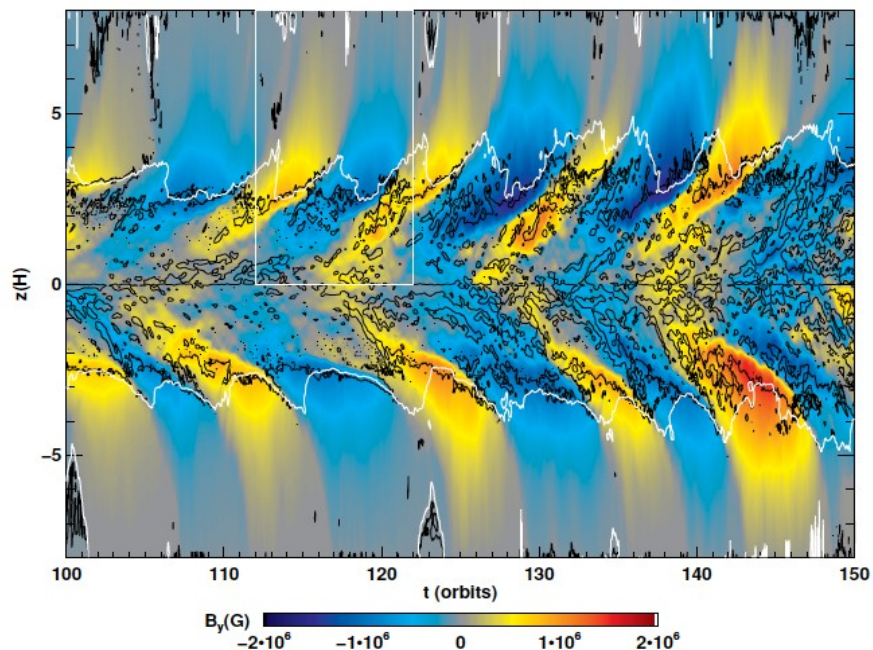
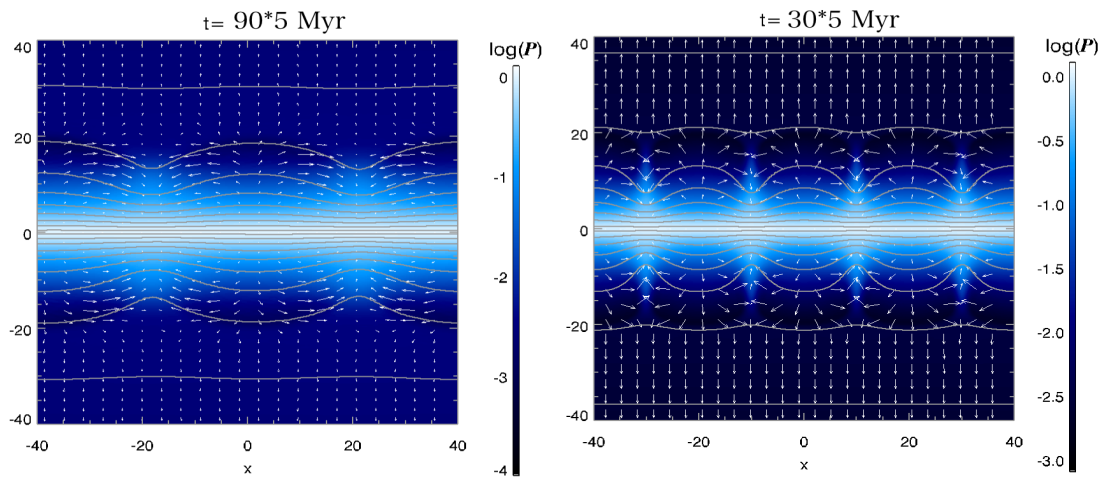


図6 : 局所三次元磁気流体計算に基づくバタフライダイアグラム。横軸が時間、縦軸が赤道面からの高さ、青領域・黄領域で方位角磁場の符号が異なる。

### 4, 参考文献

- Balbus, S. A., and Hawley, J. F. 1991, ApJ, 376,214
- Nishikori, H., Machida, M., Matsumoto, R. 2006 ApJ,641,862
- Kuwabara T, Nakamura K, Ko C.M. 2004, ApJ. 607:828–839
- Shi, J., Krolik, J. H., & Hirose, S. 2010, ApJ, 708, 1716



工藤様

千葉大学修士2年の工藤です。

宇宙線の方程式を加えたパーカー不安定性について

工藤さんとのシミュレーション結果と比較を行いたいので、

よろしければ、工藤さんが計算で設定している

以下の量、又は参考とした論文を教えてくださいませんか？

ガス、磁場、宇宙線の圧力比

ガス、宇宙線の比熱比

重力加速度の関数形

コロナを置いているか否か

→おいている場合は温度の空間分布

拡散係数