

大局円盤での磁気乱流と円盤風

鈴木 建 (すずき たける)

名大 理 物理

2011 年 1 月 12 日

私 (我々) が取り組んできた研究:

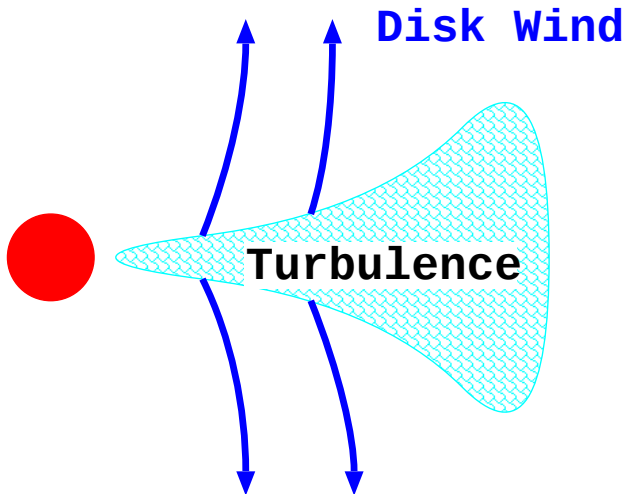
天体からの風に関する研究

- 磁気流体波動・乱流による太陽風・恒星風
駆動
- 磁気流体乱流による円盤風駆動:本日の話題

本日の発表

- 局所数値実験 + 大局モデル (昨年度の研究)
- 大局数値実験 (今年度の研究)

乱流駆動型円盤風

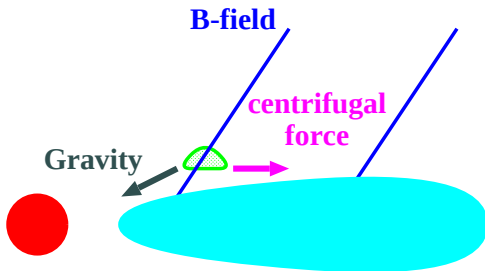


- 磁気乱流により駆動される円盤風

大局磁場による円盤風

- 磁気遠心力風

Blandford & Payne 1982 ; Kudoh & Shibata 1998; Ferreira et al.2006

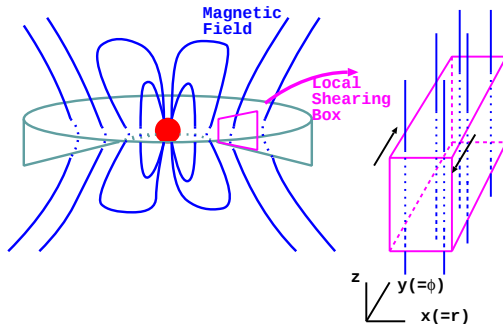


- X-winds

Shu et al.1994; Cai et al.2008

局所計算と大局計算

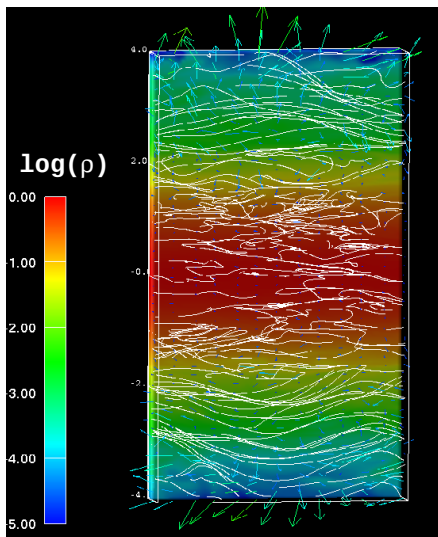
Hawley et al.1995; Matsumoto & Tajima 1995; Sano et al.2004; Hirose et al.2009 ...



局所計算

- 動径 (x) 方向に局所ずれ境界
- 上下 (z) 方向に流れ出し境界

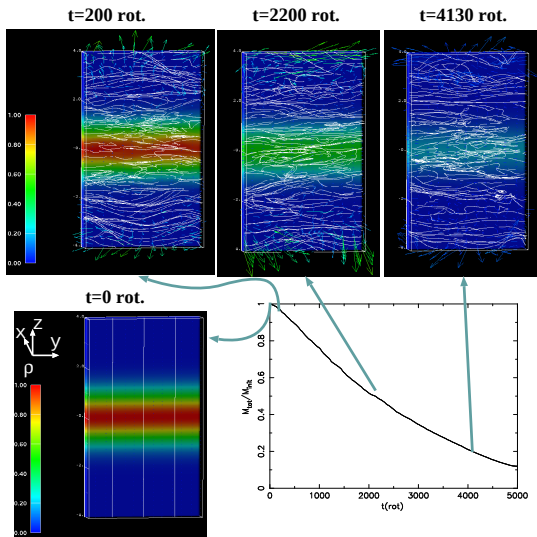
局所計算 (200 回転後のスナップショット)



- lines: B-field
- Arrows: v-field
- Colors: ρ

長時間計算

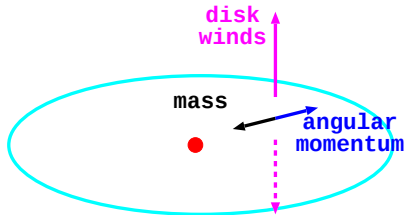
Suzuki, Muto & Inutsuka 2010



面密度の進化

$$\frac{\partial \Sigma}{\partial t} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{2}{r \Omega} \frac{\partial}{\partial r} (\Sigma r^2 \alpha c_s^2) \right] + (\rho v_z)_w = 0$$

$\Sigma (= \int \rho dz)$: 面密度; Ω : ケプラー回転周波数

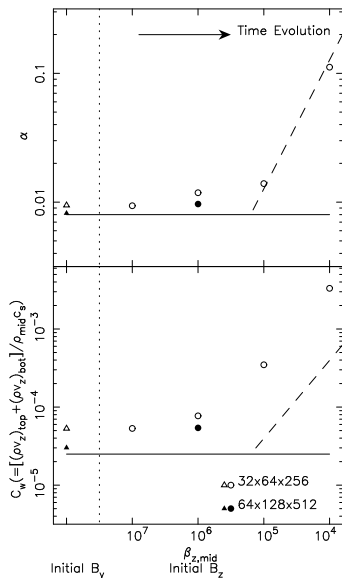


- α & $(\rho v_z)_w \leftarrow$ 局所計算
 - 乱流粘性: $\alpha = (v_r \delta v_\phi - B_r B_\phi / 4\pi\rho) / c_s^2$
 - 上下面からの質量流束: $(\rho v_z)_w$
- 初期条件: 最小質量円盤 (Hayashi 1981)

$$\Sigma = \Sigma_0 \left(\frac{r}{1 \text{ AU}} \right)^{-3/2} \exp(-r/r_{\text{cut}})$$

$(\Sigma_0 = 2400 \text{ g cm}^{-3}; r_{\text{cut}} = 50 \text{ AU})$

B_z への依存 (ideal MHD)



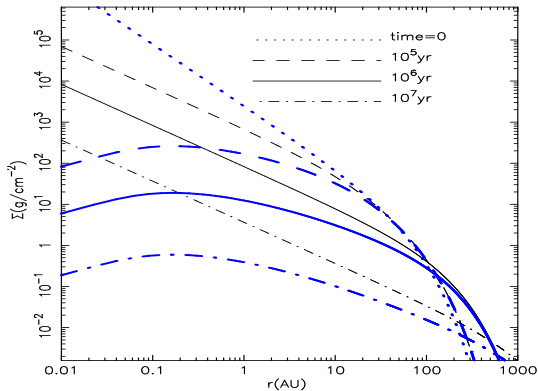
$$(\beta_{z,\text{mid}} \equiv 8\pi\rho c_s^2 / B_z^2)$$

$\alpha, (\rho v_z)_w$ 共に

- 弱い B_z ($\beta_{z,\text{mid}} \gtrsim 10^6$) ではほぼ一定 .
- B_z の増加と共に増加

Suzuki, Muto & Inutsuka 2010

面密度の進化



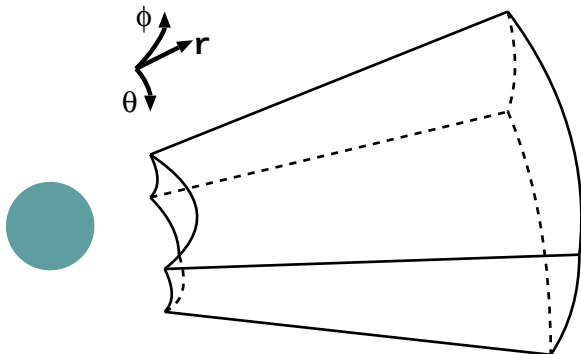
Suzuki, Muto, & Inutsuka 2010

- 青: 円盤風あり
- 黒: 円盤風なし

大局円盤の計算

(これまでも多くの研究 . Machida et al.2000; Kato et al.2004;
Nishikori et al.2006; Fromang & Nelson 2006;...)

- 極座標 (r, θ, ϕ) による大局数値実験
- 特に乱流による円盤風駆動に焦点を当てる .



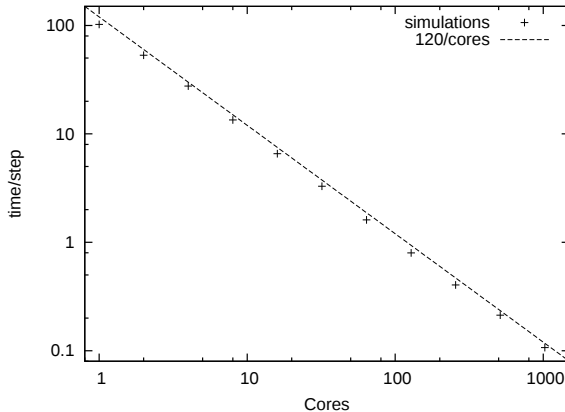
Simulation の詳細

- スキーム: 2nd-Godunov-CMoCCT
- 領域: $r = 1 - 20$; $\theta = \pm 40^\circ$ 程度; ϕ は 1 周
- 解像度: $(r, \theta, \phi) = (192, 64, 128), (384, 128, 256), (768, 256, 512)$ までやる予定 (但し dr は r と共に大きくする.)
- 境界条件
 - ϕ 方向に周期境界
 - θ 方向に流れ出し境界
 - r 方向に降着境界: $v_r = -\frac{3\alpha c_s^2}{2\Omega}$
- 温度分布: $T = \text{const.}$ or $T \propto r^{-1}$ (各点で等温)
- 密度分布: $\rho \propto r^{-3}$ or r^{-2}
 - $\Rightarrow$ 圧力勾配があるため, 平衡状態では Sub-Kepler 回転

Scalability Test

メッシュ数 $(r, \theta, \phi) = (384, 128, 256)$

並列化は (r, ϕ) 方向のみ



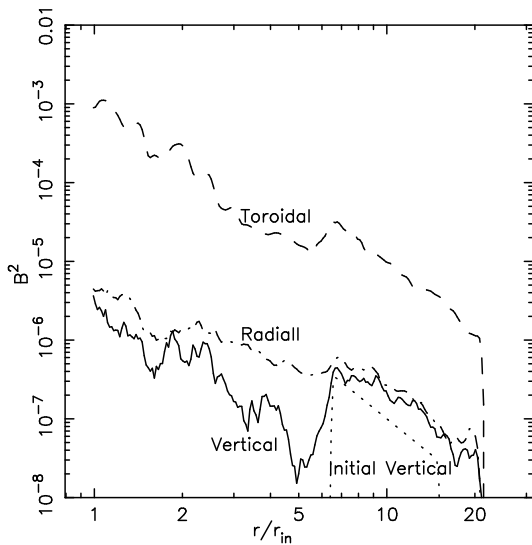
1024 並列にすると 950-960 倍速くなる .

現状

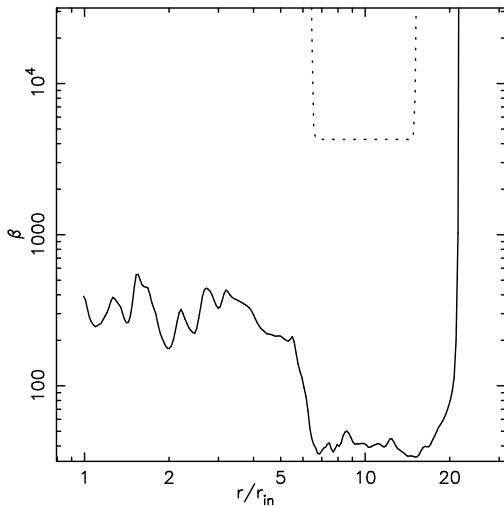
- 計算は安定に走る (内縁部は 500 周以上)
 - 低解像度計算 ($r, \theta, \phi = (192, 64, 128)$) 192 並列で約 1 晩の計算
- 高解像度計算でのデータ out の部分で試行錯誤中
 - 3 次元データの書き出し頻度 (時間間引き) と空間の間引き率
 - 2 次元データ (ϕ 平均化) の書き出し頻度と見るべき変数 (α 値や円盤風流束...)

次ページ以降で低解像度計算の中間報告を行う。

磁場 (内縁部 500 周後)

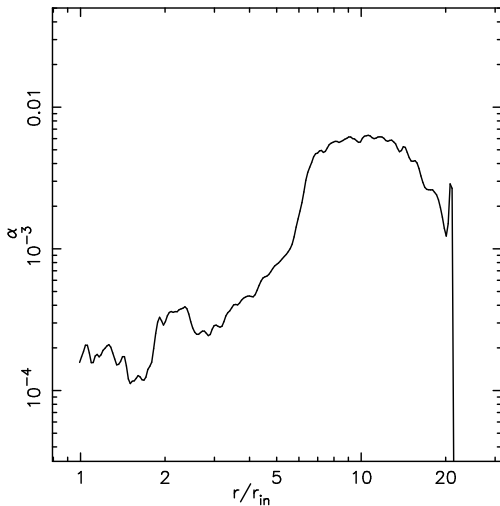


β (= ガス圧/磁気圧)



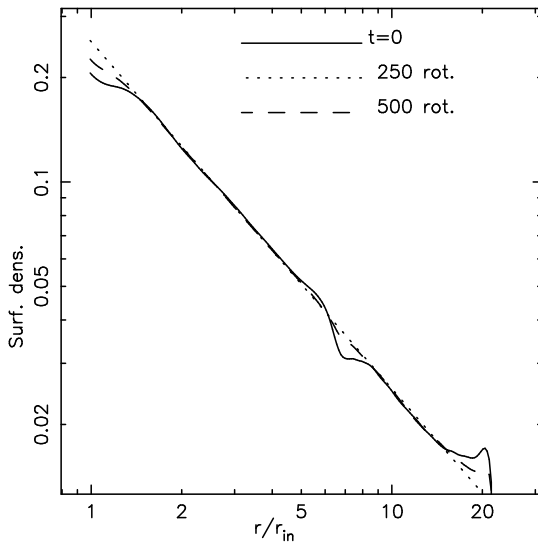
- $\beta \sim 100$ 前後に落ち着く .
- Net な縦磁場強度にも依存

$$\alpha (= (\rho \delta v_\phi v_r - B_\phi B_r) / p)$$



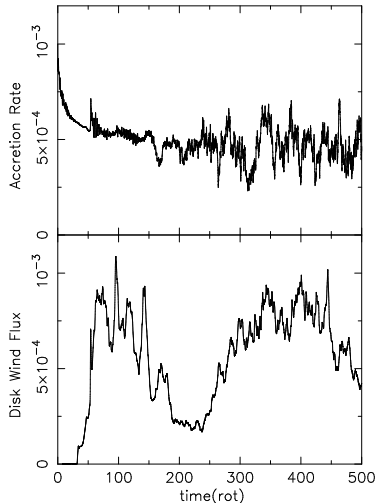
- $\beta \sim 0.01$ 前後に落ち着く .
- Net な縦磁場強度にも依存

面密度の時間進化



Preliminary !

降着率と円盤風質量流束



内側への降着と，円盤風による質量損失は同程度．
局所数値実験 + 大局モデルの結果を支持

まとめ

磁気乱流駆動による円盤風機構を調べた．

- 局所数値計算 + 大局モデル → 円盤風で結構質量損失

本当か？ → 大局数値計算 (極座標) を現在進行中
おおむね局所計算+大局モデルの結果を支持

- $\beta \sim 100$; $\alpha \sim 0.01$
- 降着率と円盤風質量損失は同程度