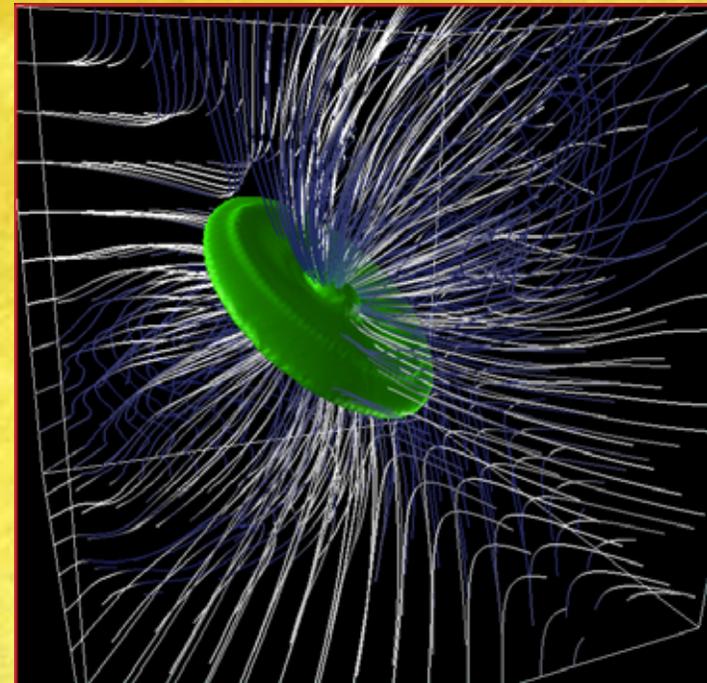


双極分子流と 分子雲コアスケールの磁場の関係

松本倫明（法政大人間環境・国立天文台）

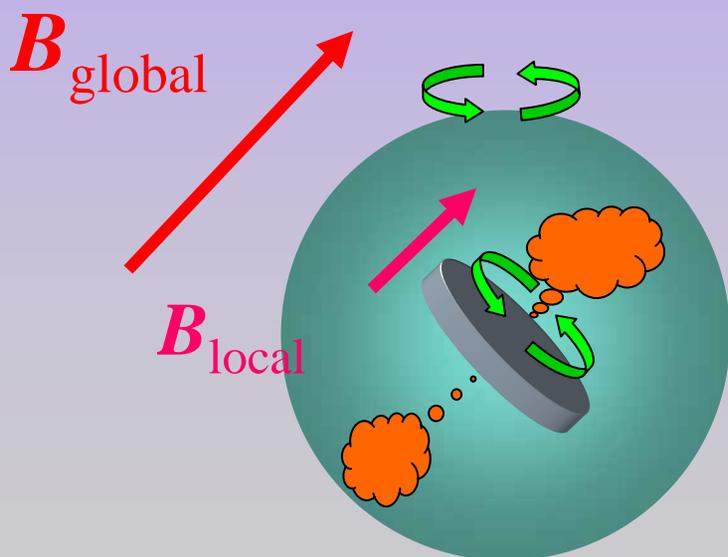
富阪幸治（国立天文台）

- 分子雲コアの重力収縮からアウトフローの形成まで、数値シミュレーションで再現。
- 磁場と回転の方向の効果を研究。
- ガス円盤、星の自転、アウトフローの向きは、どのように決まるか？

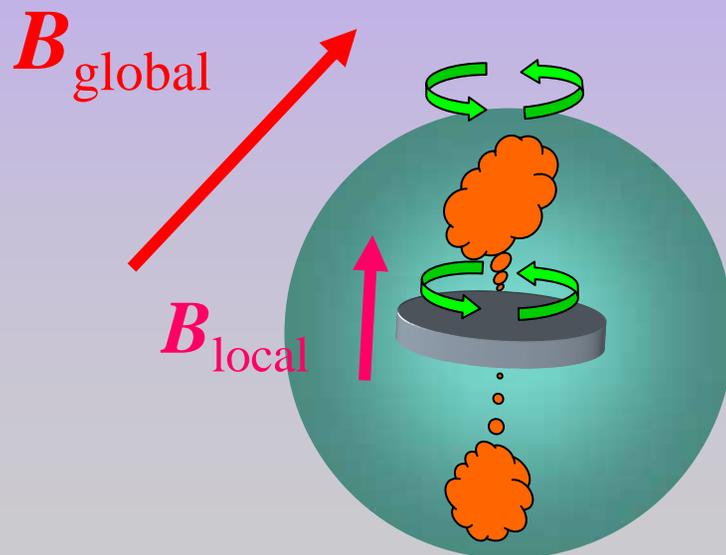


研究の概要と目的

- 分子雲コアの動的収縮から原始星・アウトフローの形成まで計算。
- 磁場と回転がアウトフローと星周円盤形成に重要であることが知られている。
- アウトフローと星周円盤の向きは何で決まるのか？
- 大局的な磁場とYSO近傍の磁場の関係は？



大局的磁場に従うのか？

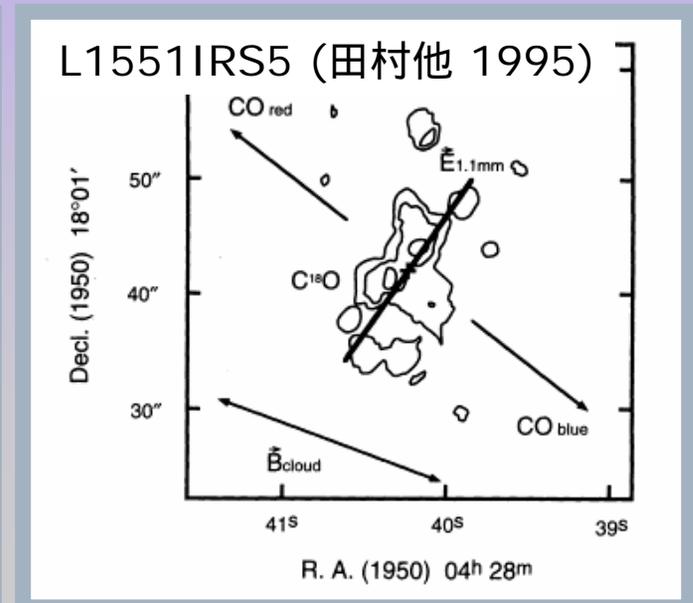
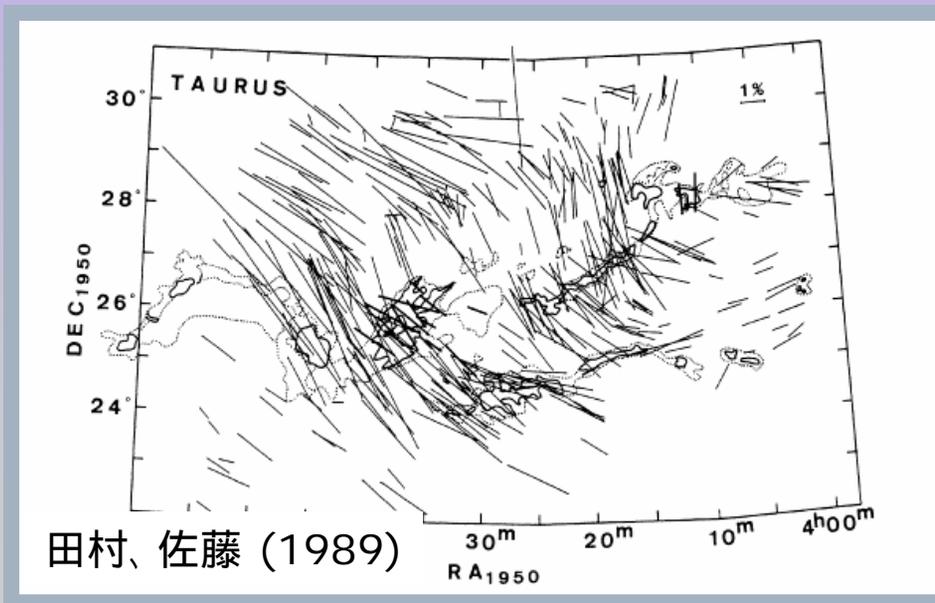


大局的回転に従うのか？

イントロダクション —観測— 磁場、星周円盤、アウトフロー

□ 観測的示唆

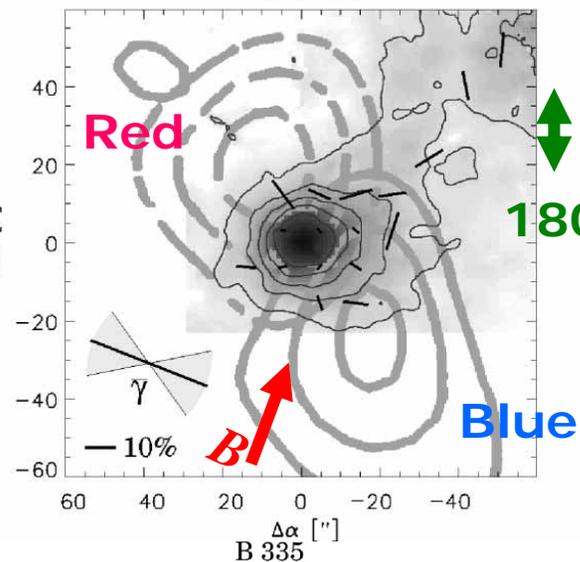
- アウトフローは大局的磁場に平行(田村他 1995)
- 磁場に沿った構造のアウトフロー(前の講演:百瀬他2001)
- 局所的磁場に平行または垂直なアウトフロー(Wolf他 2003)
- 大局的磁場と垂直なClass I, IIのダスト円盤はジェットを持つが、他はジェットを持たない(Menard他 2003)
- 円盤・アウトフローの向きは何で決まるのだろうか？



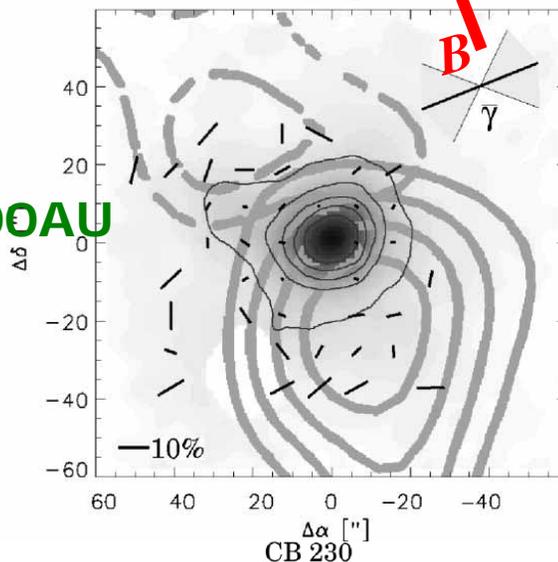
イントロダクション - 観測 -

局所的磁場とアウトフローが平行・垂直な天体

CB 244



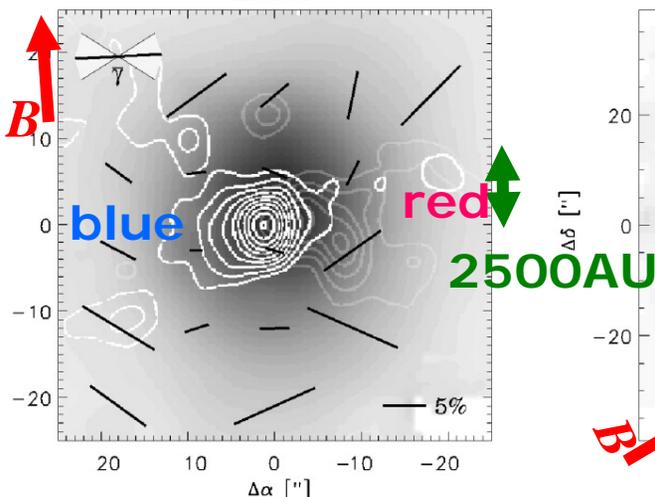
CB 54



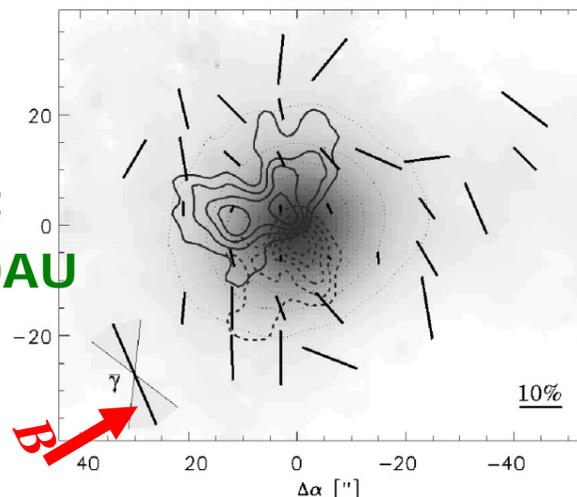
サブミリ波連続波の偏光
@SCUBA Wolf et al. (2003)

磁場とアウトフローが平行

B 335



CB 230

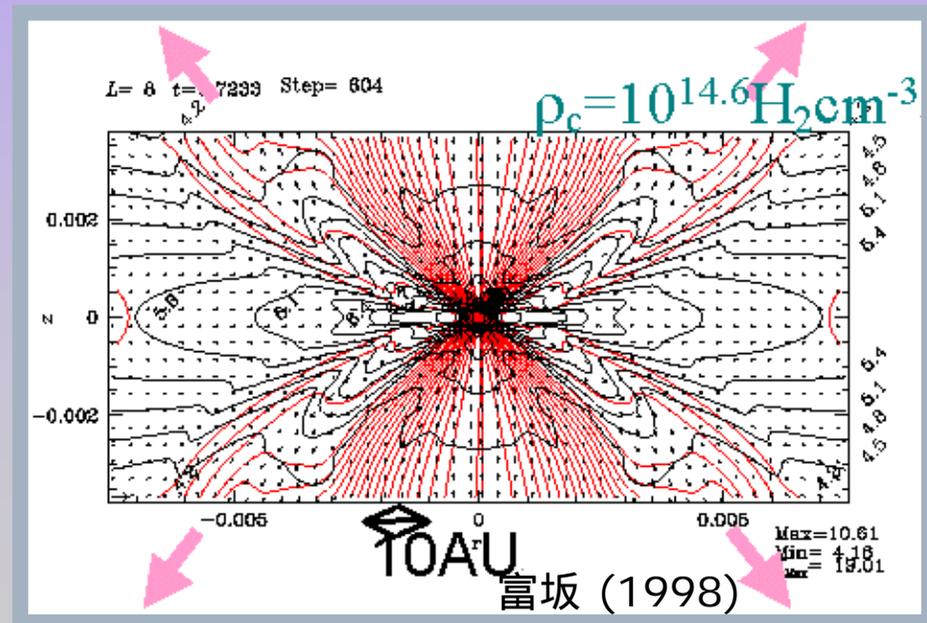


磁場とアウトフローが垂直

イントロダクション - 理論 -

磁場と回転の向きに関する研究は皆無

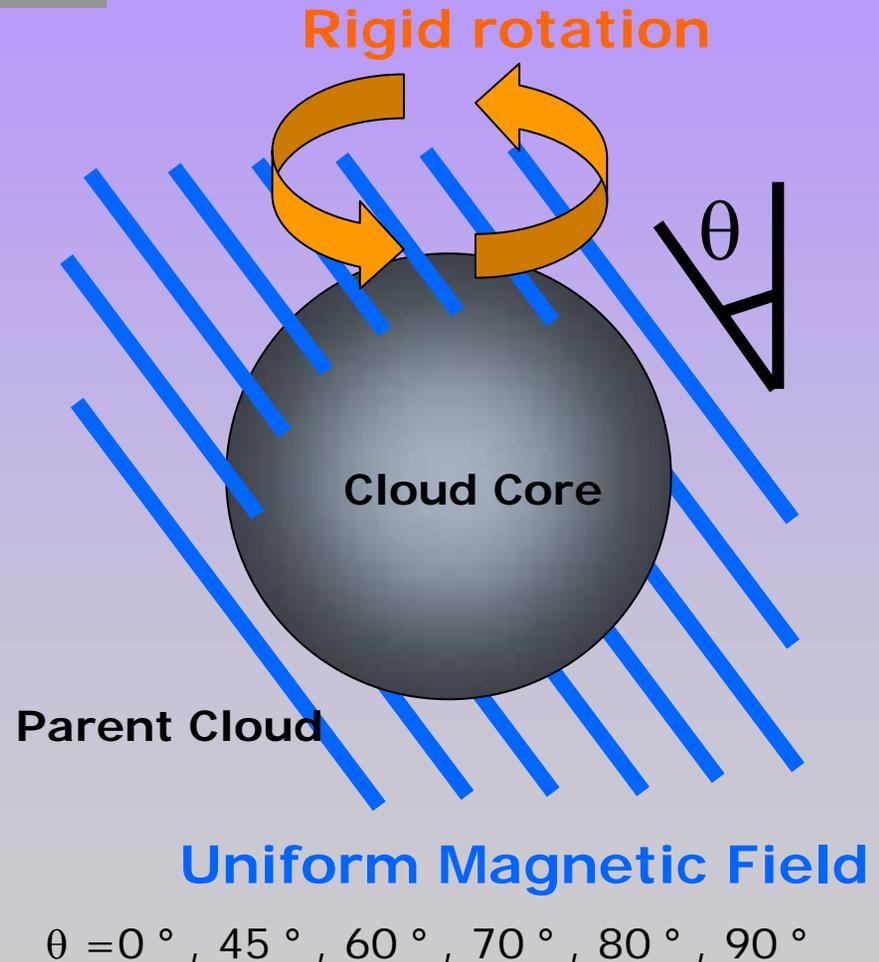
- 磁気雲の自己重力収縮のシミュレーション的研究
 - 従来の研究は、回転軸と磁場は平行(富坂1998他、下図)
 - 磁場が斜めの場合、円盤はどちら向きになるのか？



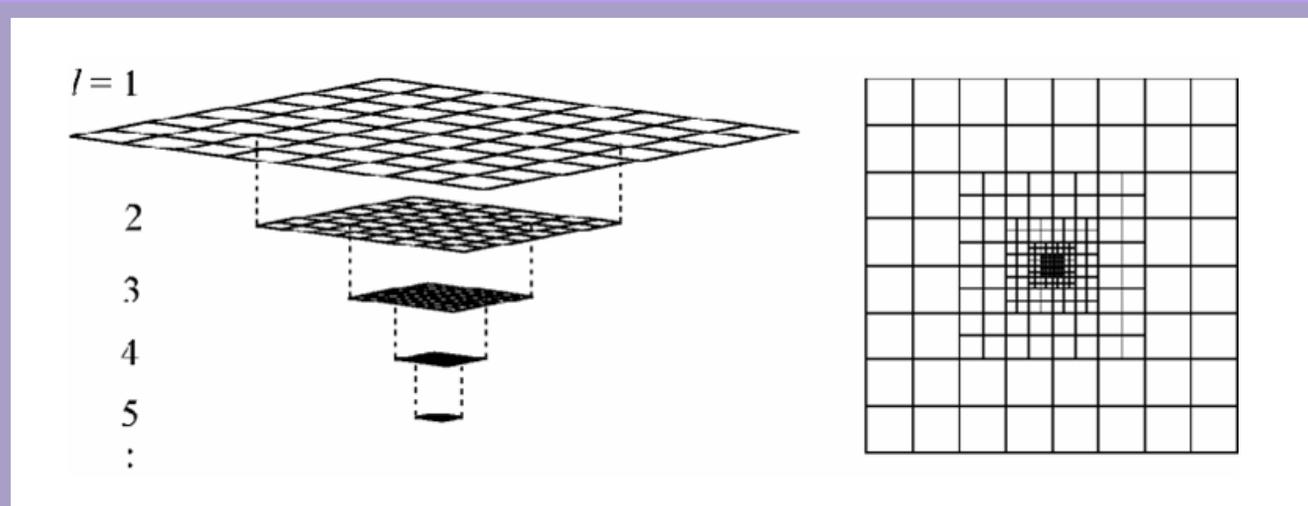
モデルと初期条件

自己重力磁気ガス雲

- 初期条件
 - 球対称ガス雲
 - 中心密度 $\rho = 1 \times 10^{-19} \text{ g cm}^{-3}$
 $n = 2 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$
 - 半径 0.18 pc
 - 質量 $M = 6.1 M$
 - 系全体を貫く一様磁場
 - $B = 19 \mu\text{G} (= 1/4 B_{\text{cr}})$,
plasma $\beta = 2.6$,
 $\Sigma = 4 \Sigma_{\text{cr}}$
 - 系全体が剛体回転
 - $\beta = 0.02$, $\Omega_c = 7 \times 10^{-7} \text{ yr}^{-1}$
- 本講演では理想MHD, 自己重力



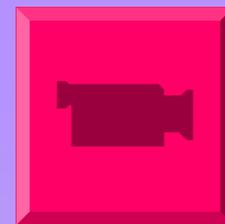
数値シミュレーション方法 3次元MHD Nested Grid 法



- 分子雲コア全体を解きつつ、原始星・アウトフローの進化も追跡
- 実績と信頼のある数値シミュレーションコード
 - Matsumoto & Hanawa (2003a) ApJ, 595, 913
 - Matsumoto & Hanawa (2003b) ApJ, 583, 296
 - Machida, Tomisaka, & Matsumoto (2004) MNRAS 348, 1
 - Saigo, Tomisaka, & Matsumoto (2003) in preparation
 - Sato, Hanawa, & Matsumoto (2003) in preparation

結果:アウトフロー

$\theta = 90^\circ$

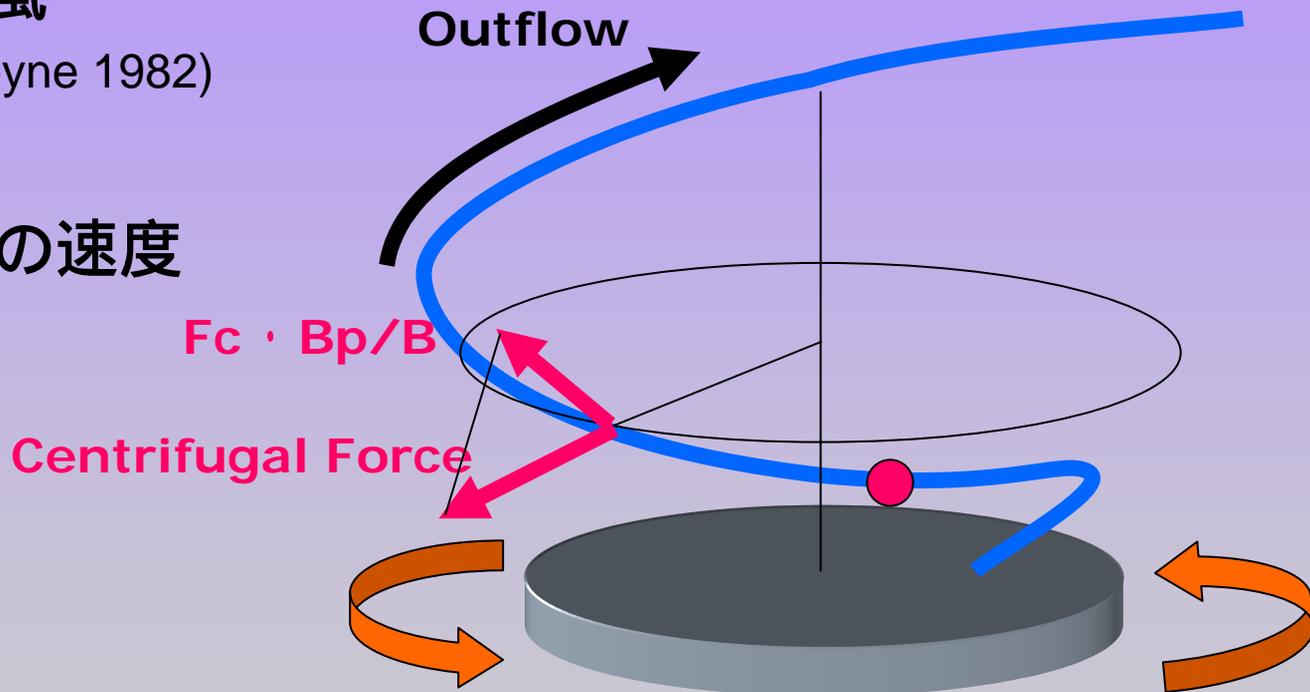


□ 磁気遠心力風

(Blandford & Payne 1982)

□ アウトフローの速度

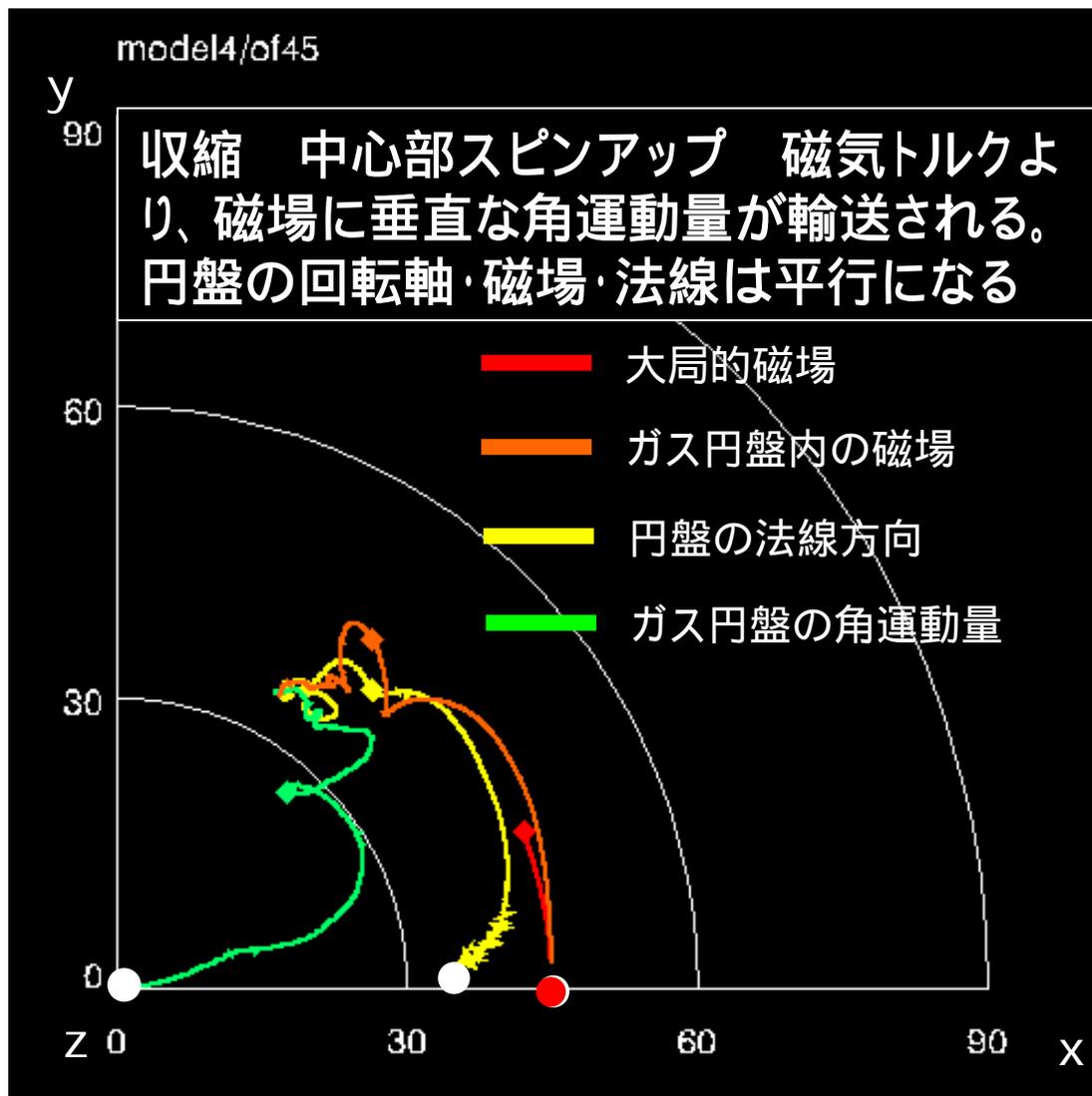
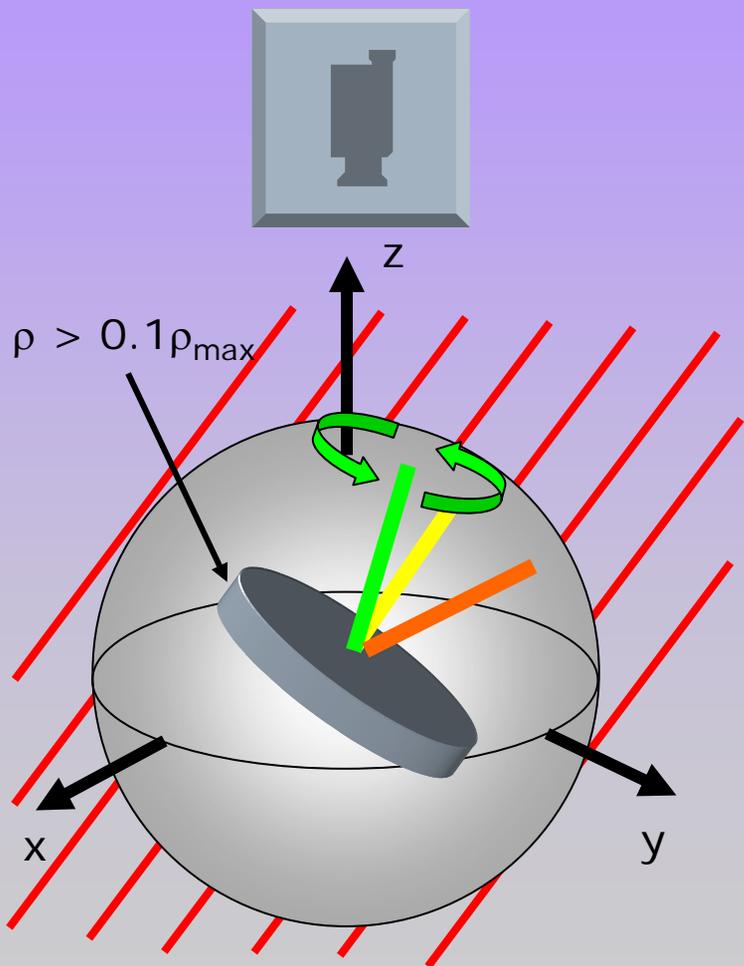
$M=10$



- ◆ ガス円盤は周囲よりも速く回転
- ◆ 磁場がねじれる
- ◆ 遠心力がガスを打ち上げる

結果

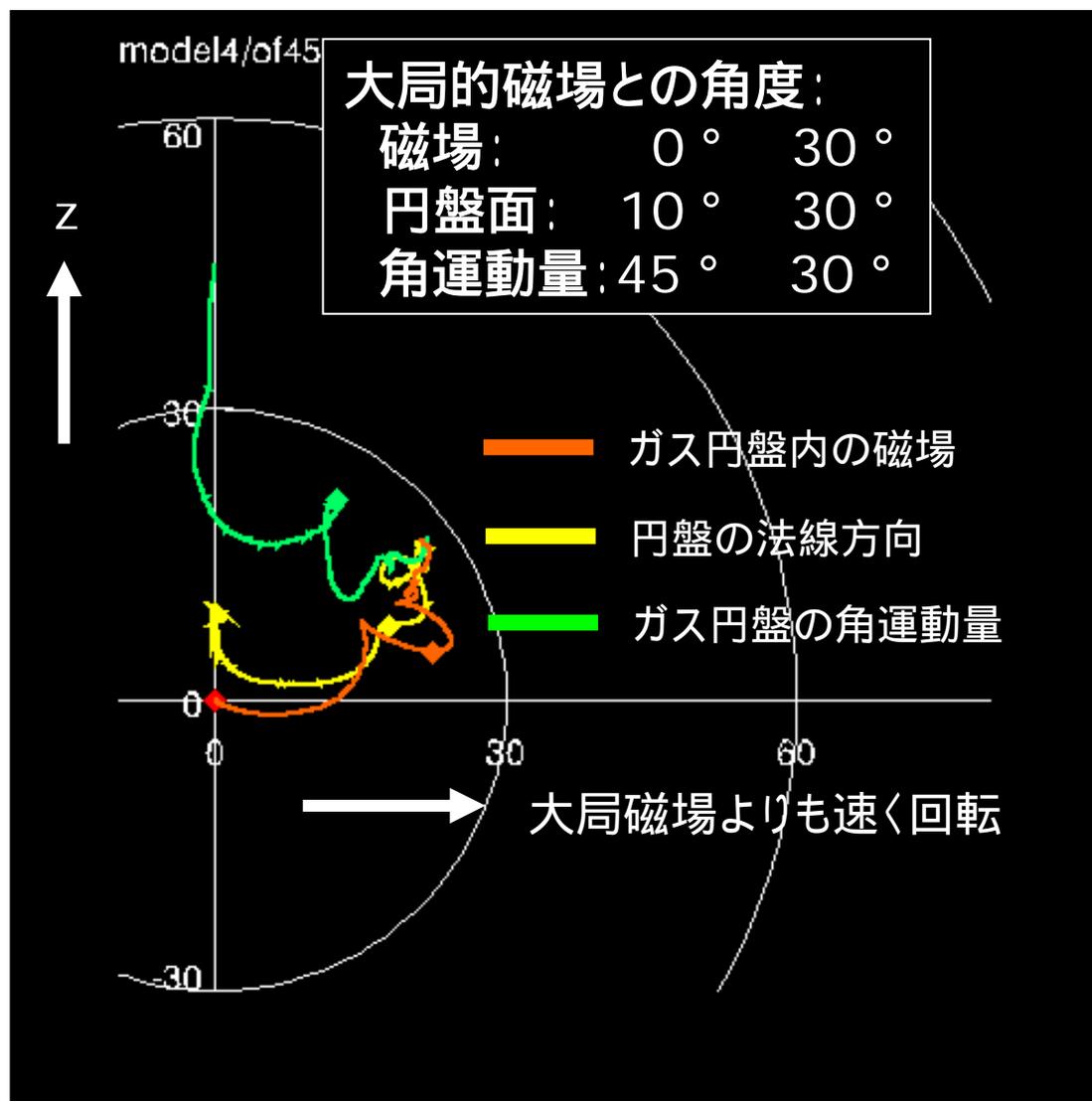
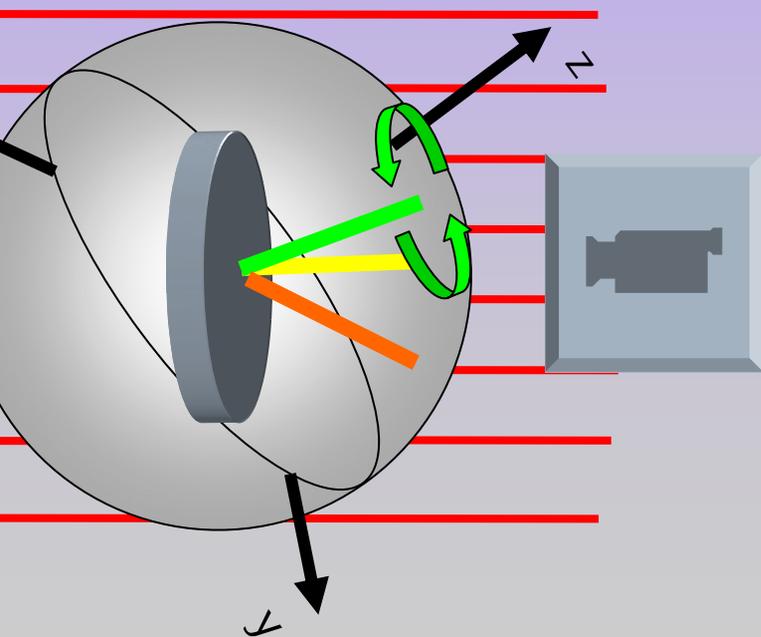
$\theta = 45^\circ$ 磁場・回転・円盤の向き (1)



結果

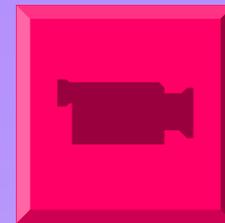
$\theta = 45^\circ$ 磁場・回転・円盤の向き (2)

大局的磁場の方向から観測する

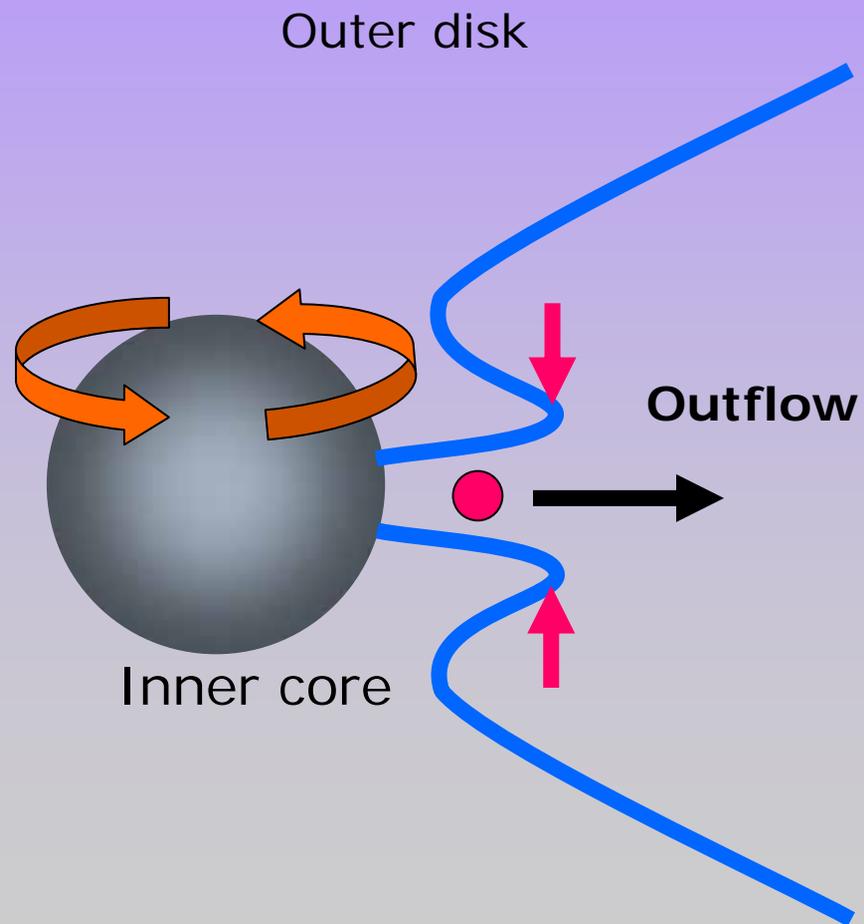
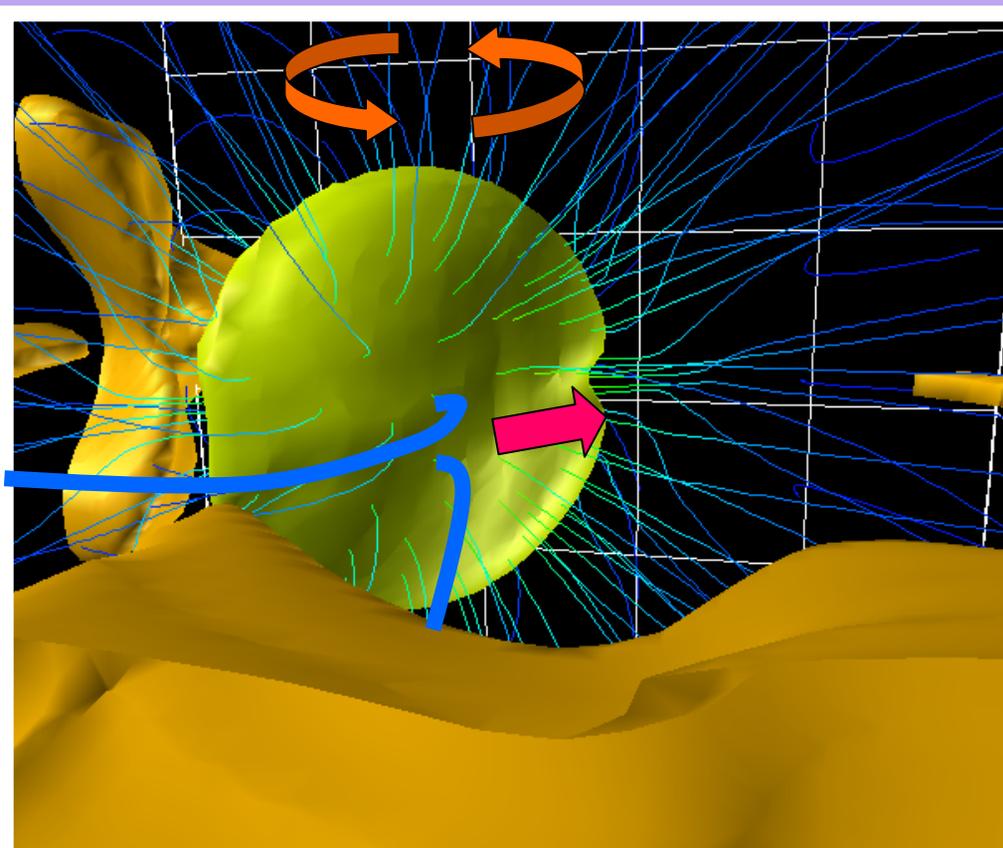


結果:アウトフロー(2)

$\theta \sim 90^\circ$

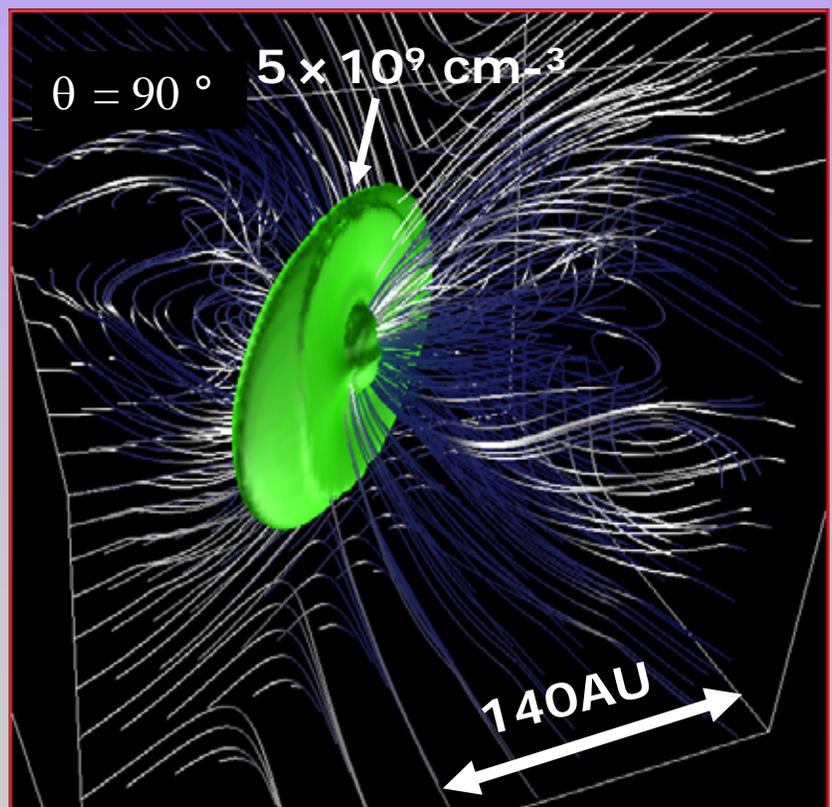
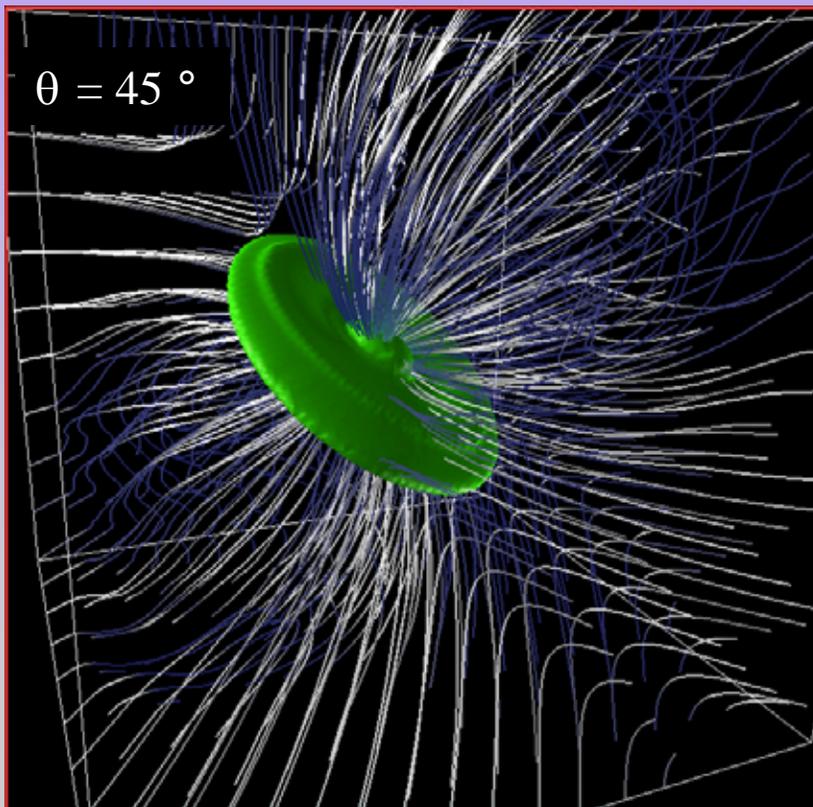


- 新しいメカニズム
- 磁場が回転で引きづられ、ガスを押し出す。



円盤と磁場の構造

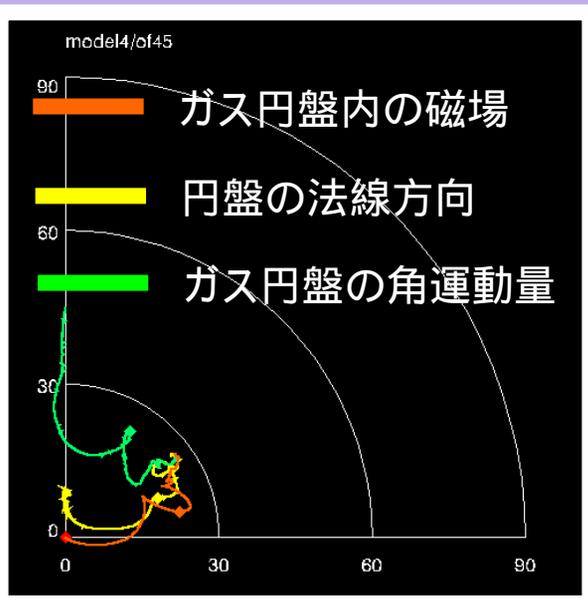
- シミュレーションで得られた磁場形状は複雑(下図)。
- ALMAでアウトフローの加速領域($\sim 10\text{AU}$)を分解可能。



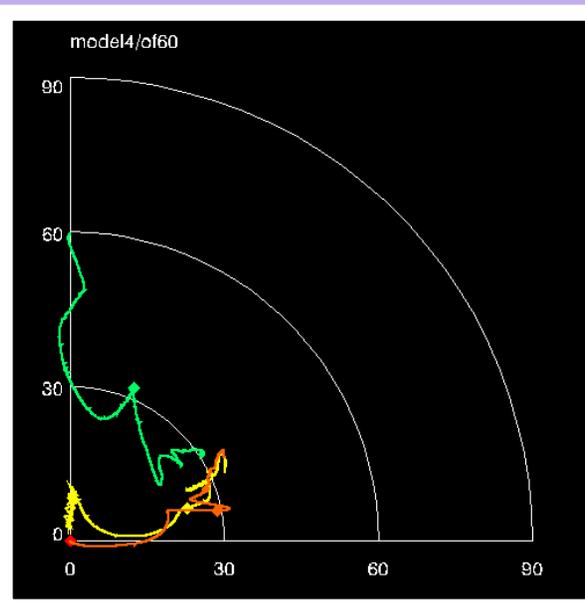
大局的磁場からのずれ 初期の回転軸と磁場の角度依存性

19 μG では、 $\theta = 90^\circ$ のとき大局的磁場と30°程度にそろう

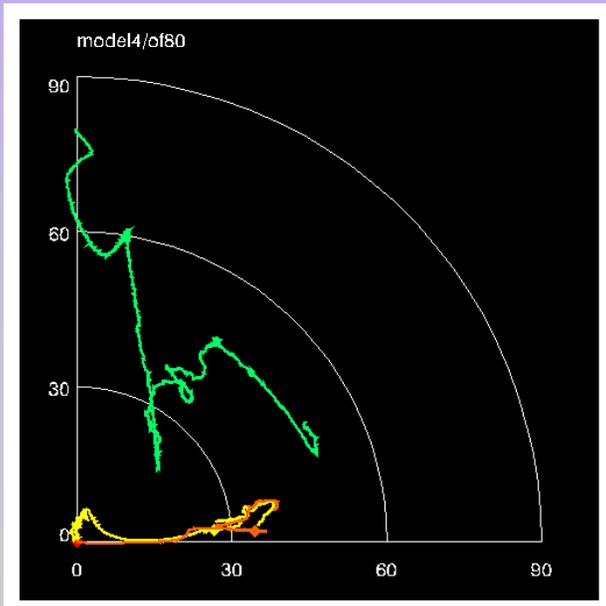
$\theta = 45^\circ$



$\theta = 60^\circ$

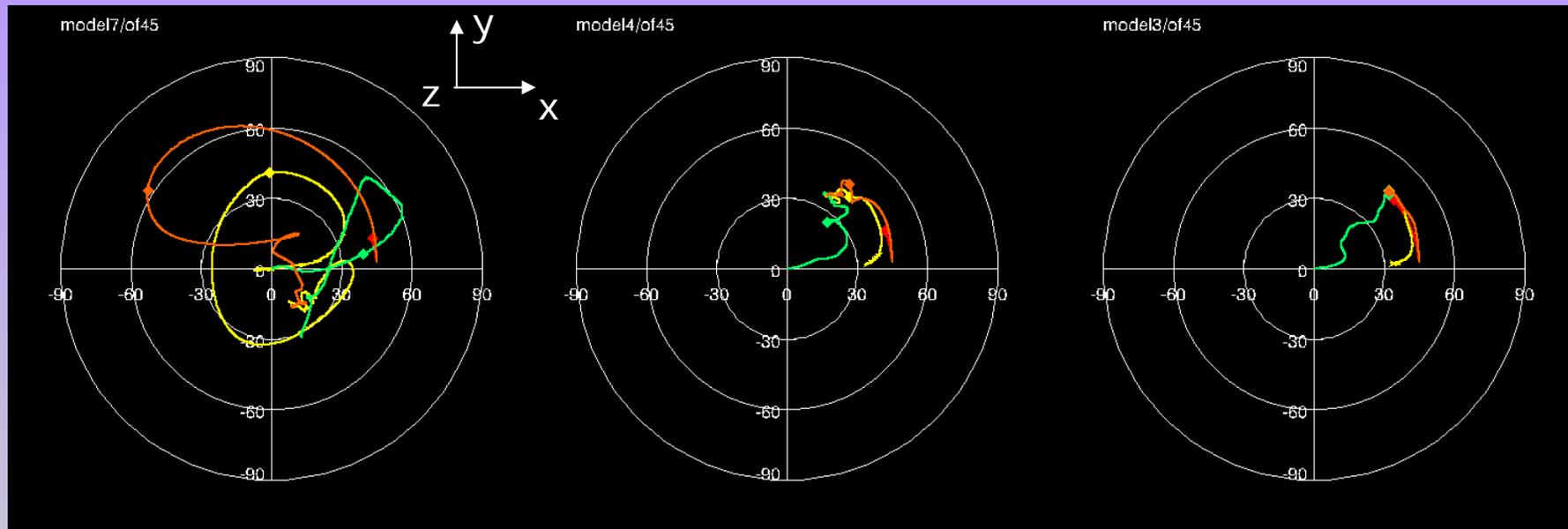


$\theta = 80^\circ$



磁場強度依存性

磁場が弱いと大局磁場にそろわない。
磁場によらず、局所的な方向はそろおう。



$$B_0 = 7\mu\text{G}$$

$$\Sigma = 10 \Sigma_{\text{cr}}$$

大局磁場と無関係にそろおう

$$B_0 = 19\mu\text{G}$$

$$\Sigma = 4 \Sigma_{\text{cr}}$$

大局磁場と30°程度にそろおう

$$B_0 = 37\mu\text{G}$$

$$\Sigma = 2 \Sigma_{\text{cr}}$$

大局磁場にそろおう

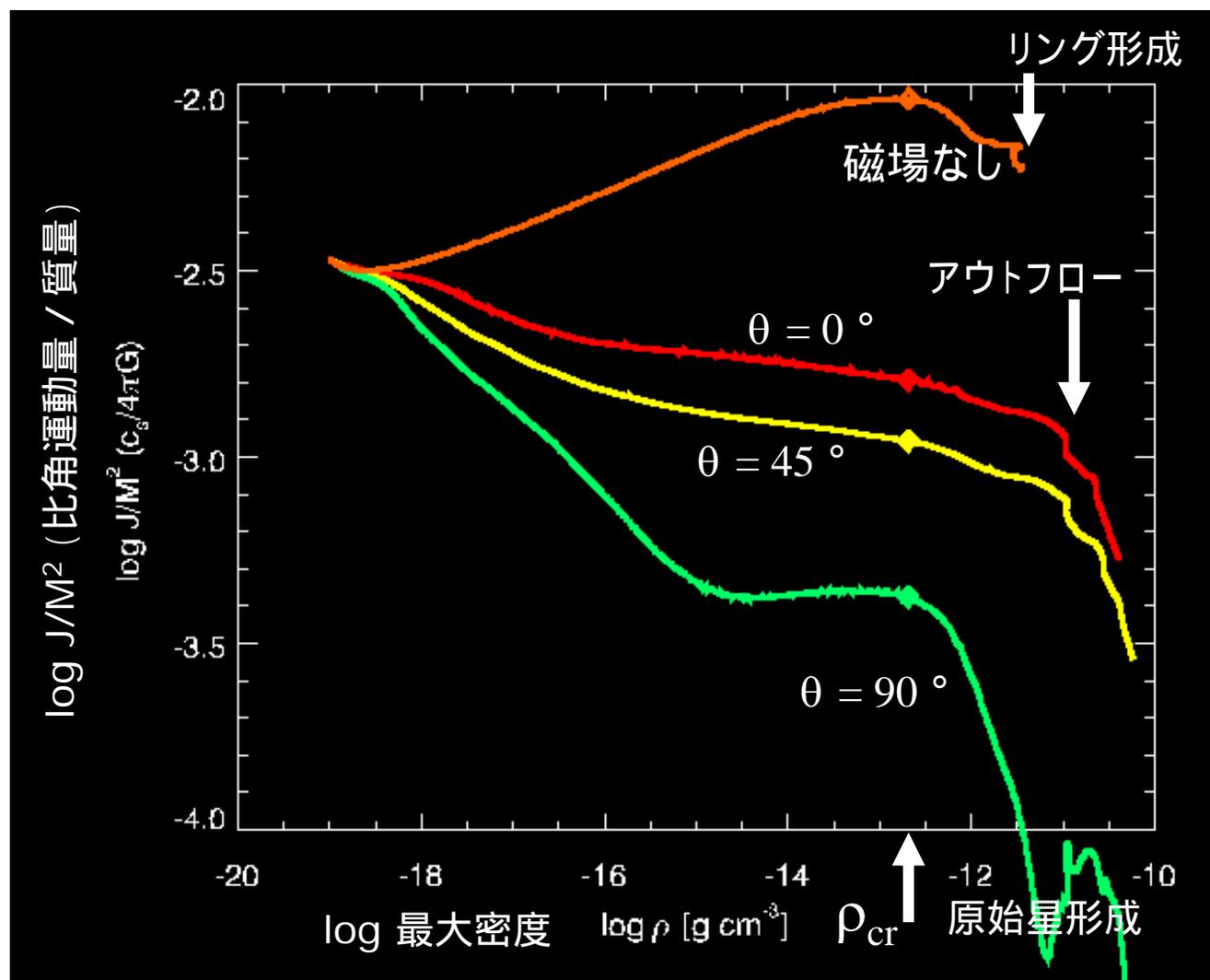
磁場強度 小

磁場強度 大

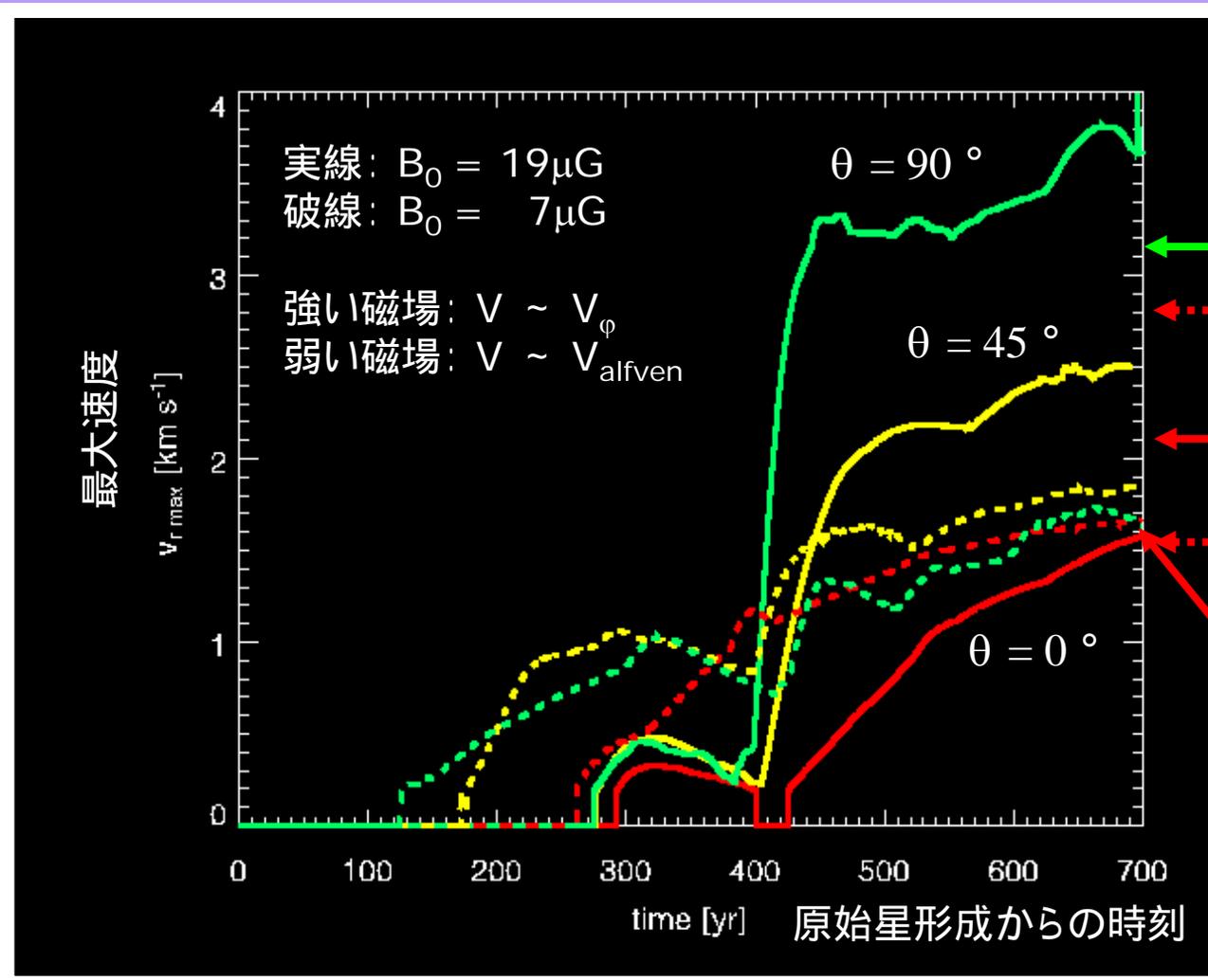
角運動量輸送

高密度部 ($\rho > 0.1\rho_{\max}$) の角運動量

- $\theta = 0^\circ$ の場合、磁力線に沿って、角運動量が小さなガスが落下。
- $\theta = 90^\circ$ の場合、急激な角運動量輸送。
- アウトフローによって、角運動量輸送。

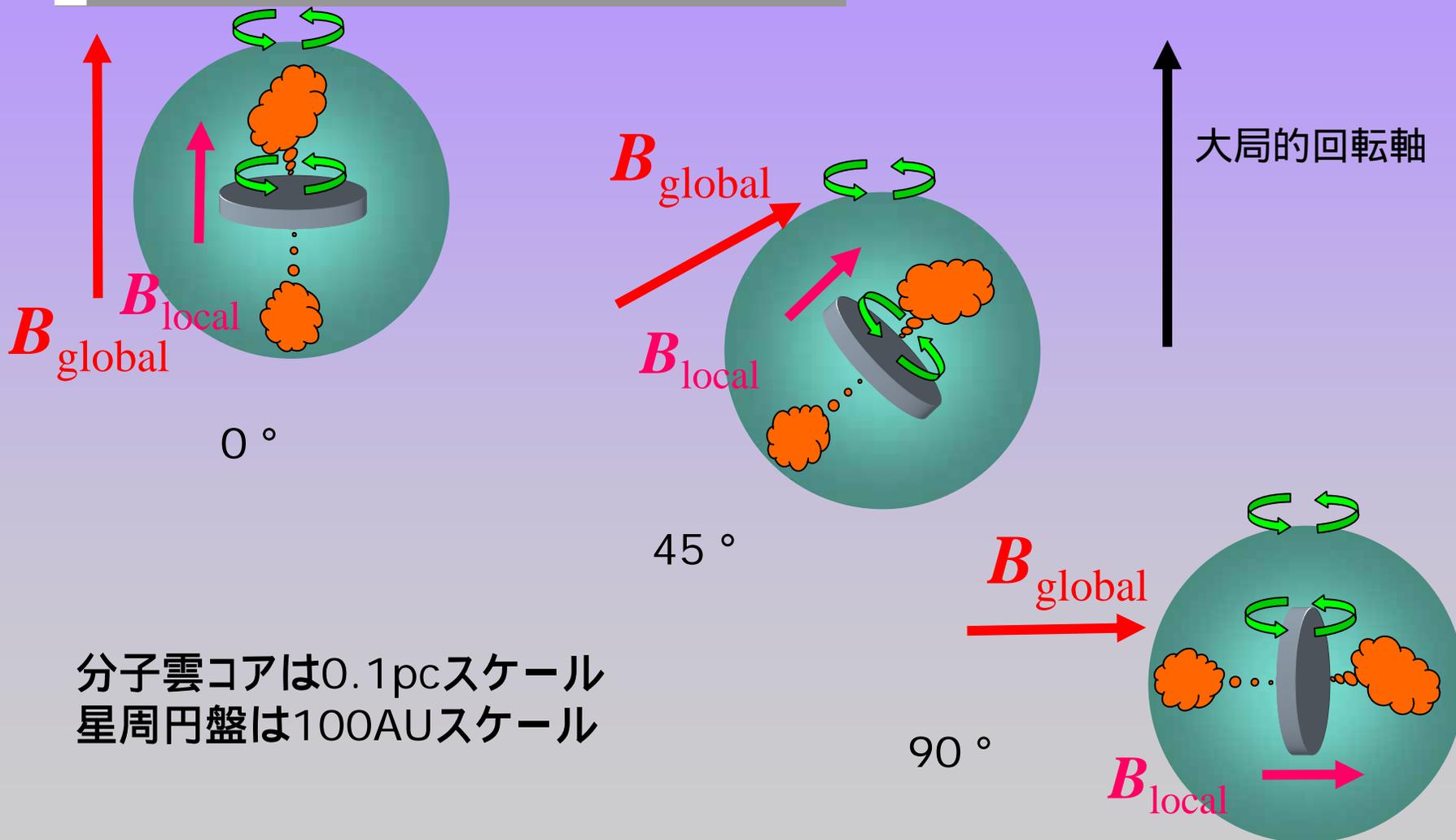


アウトフローのパワー(速度の最大値) 角度が大きいのほど速い



まとめ

大局的・局所的な磁場・回転の関係

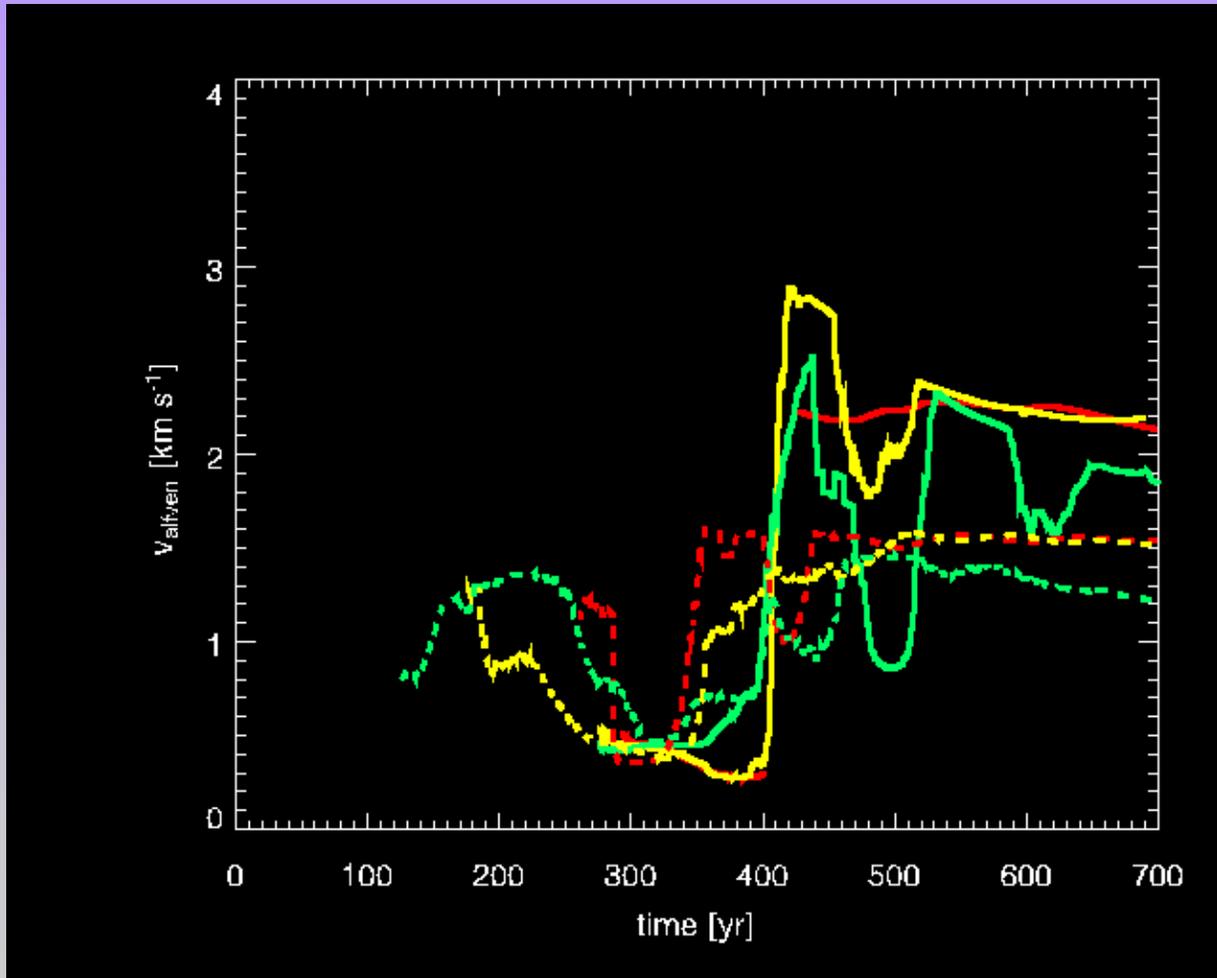


分子雲コアは0.1pcスケール
星周円盤は100AUスケール

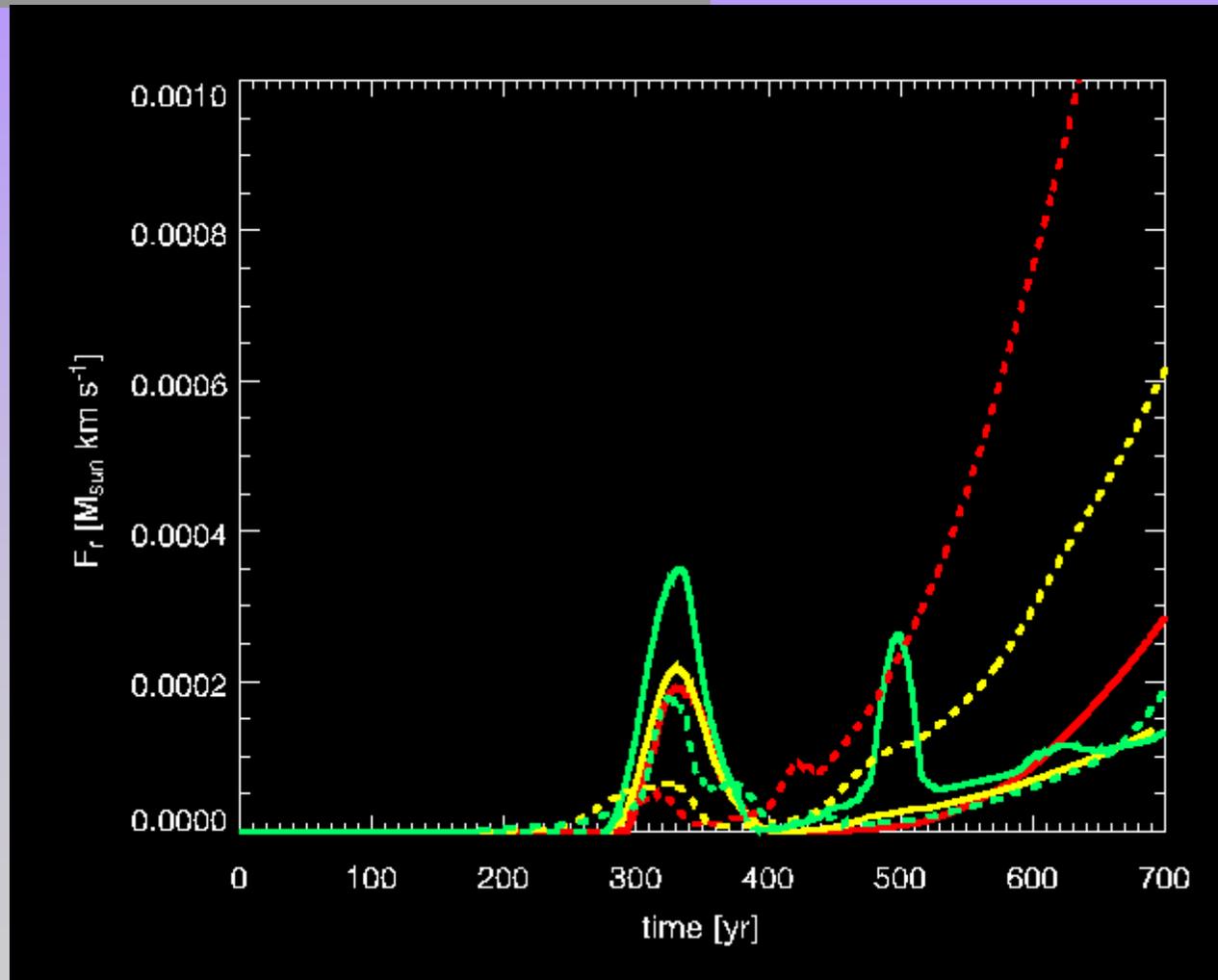
まとめと議論

- 磁場と回転軸の角度を変え、円盤とアウトフローの関係を調べた。
- YSO近傍では、磁場・回転・円盤形状がそろおう。
=90°は例外的
- 局所的磁場 円盤
- 局所的磁場//アウトフロー
 - ◎ 局所的磁場が円盤とアウトフローを制御する。
 - ◎ 回転は向きに寄与しない。
- 典型的な場合、大局的磁場とは最大30°程度のずれ。
- 磁場と回転軸がずれているほうが、速いアウトフロー

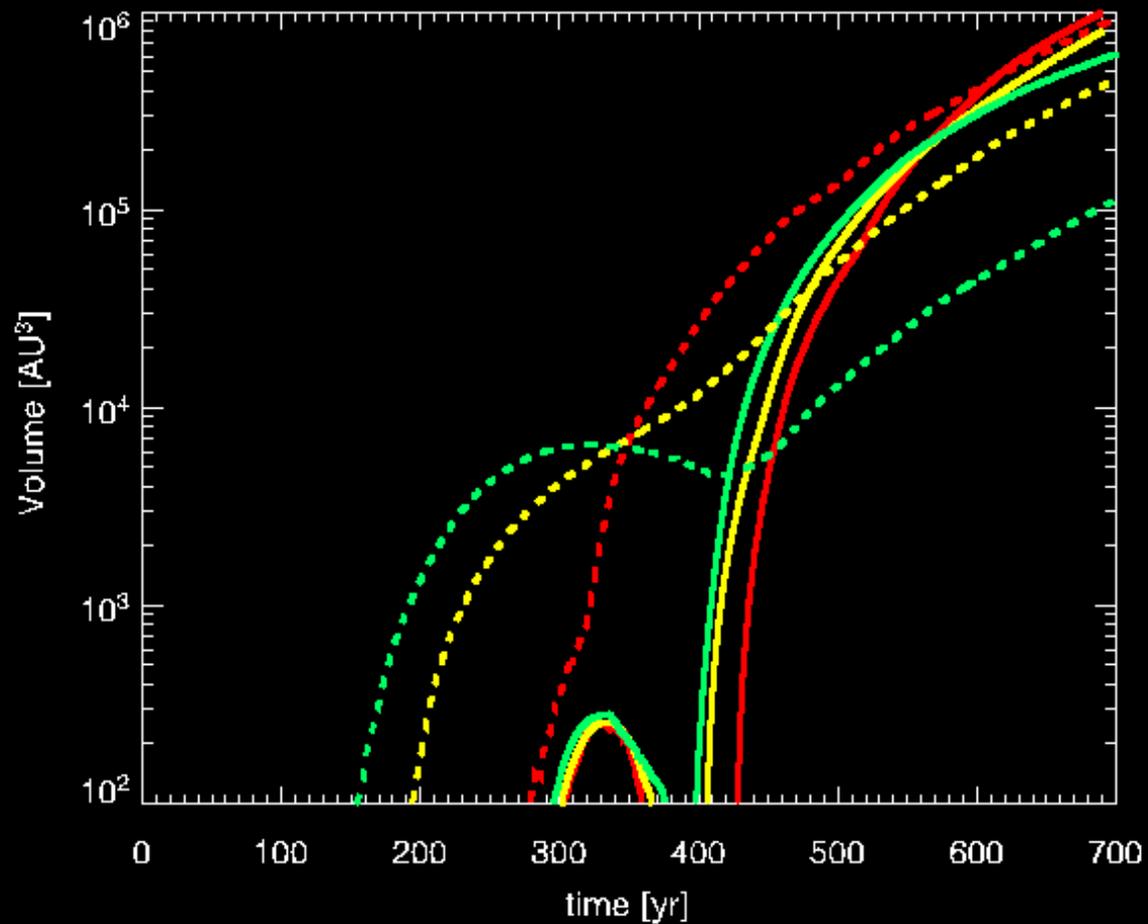
平均Alfven速度



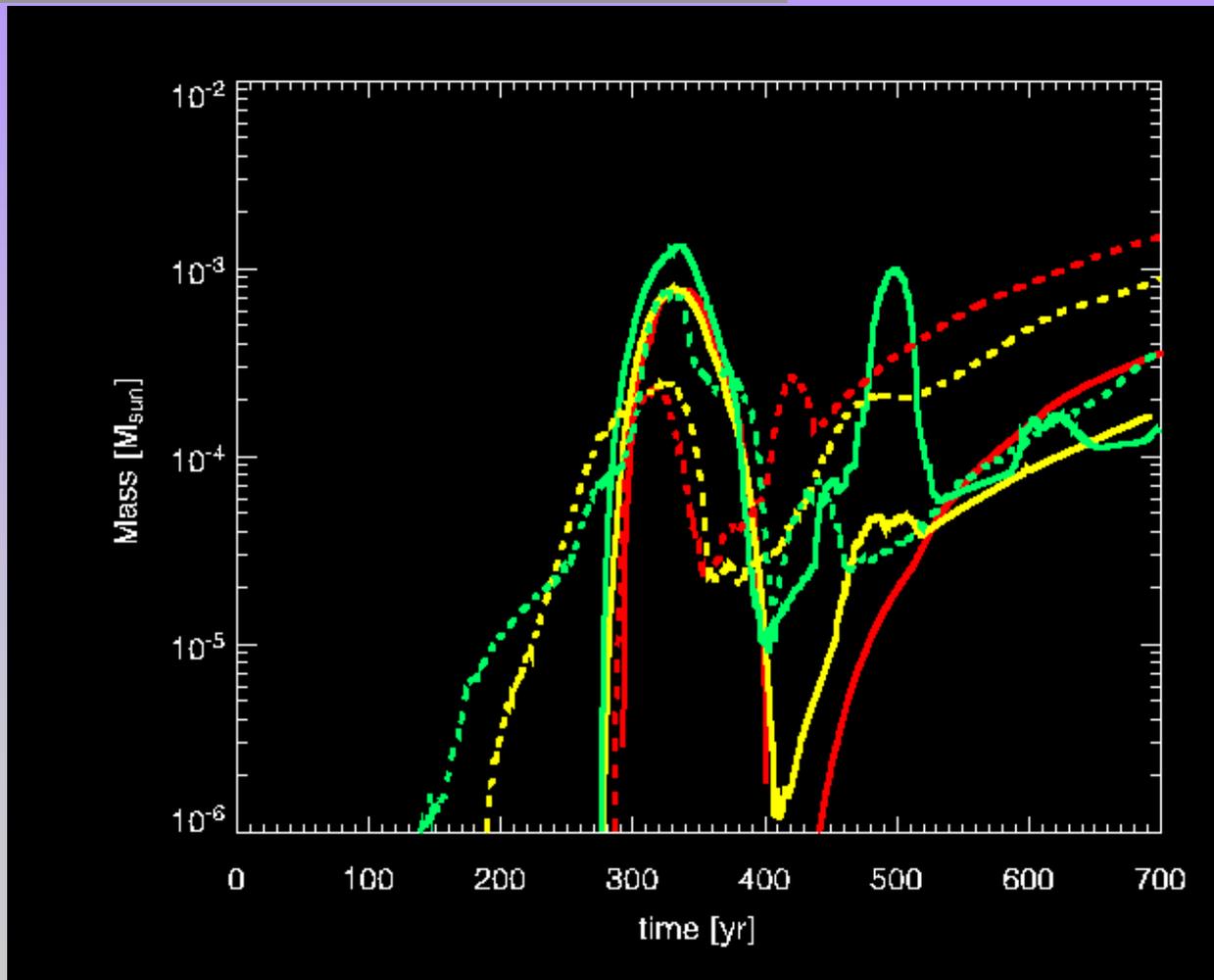
アウトフローのパワー (運動量 $M \times V$)



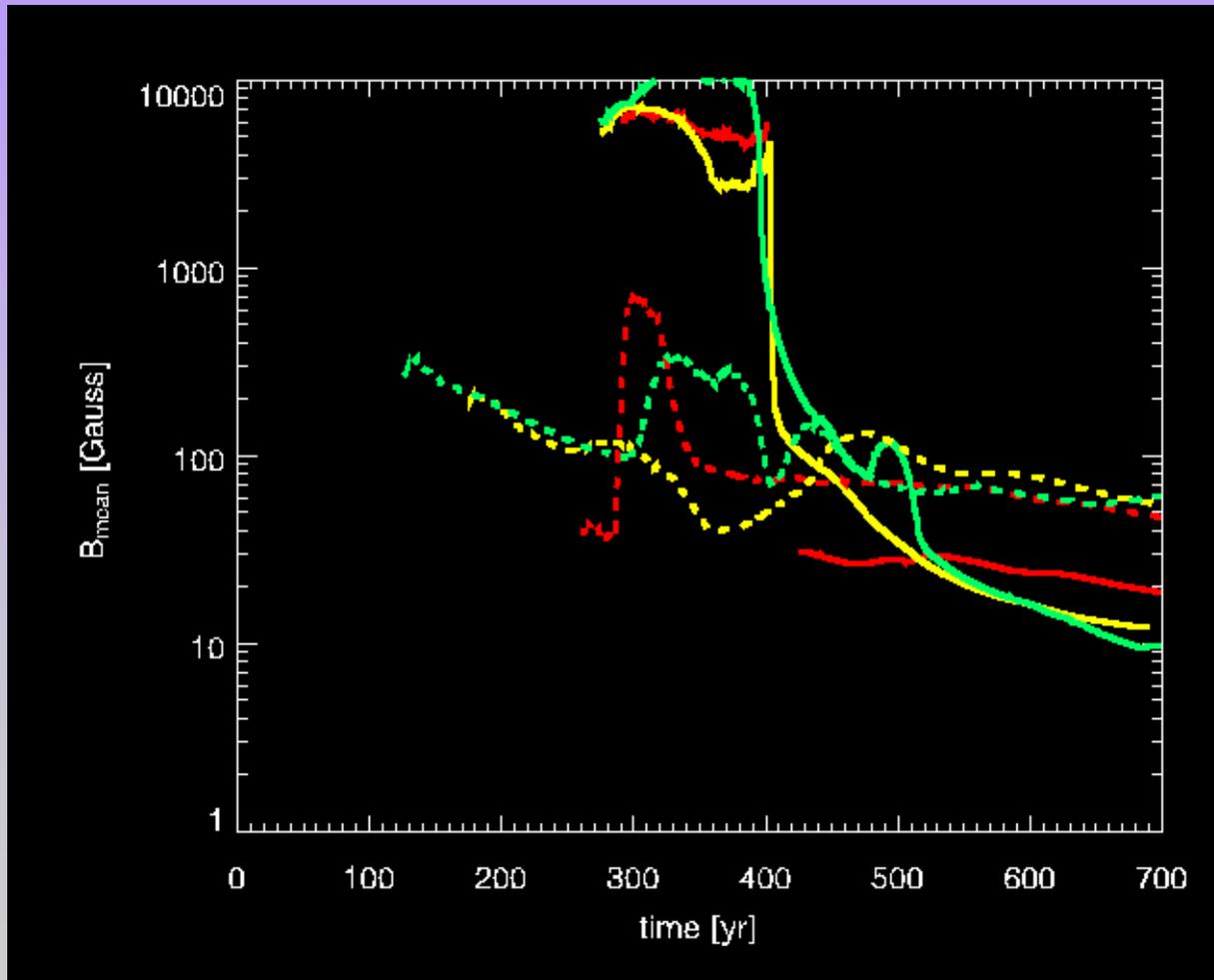
体積



質量



平均磁場強度



円盤の扁平率

$$h_{\text{long}}/h_{\text{short}}$$

