

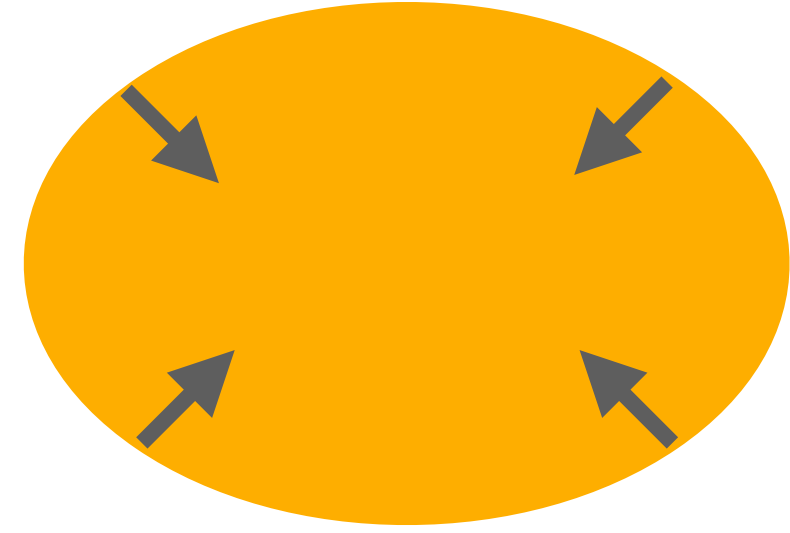
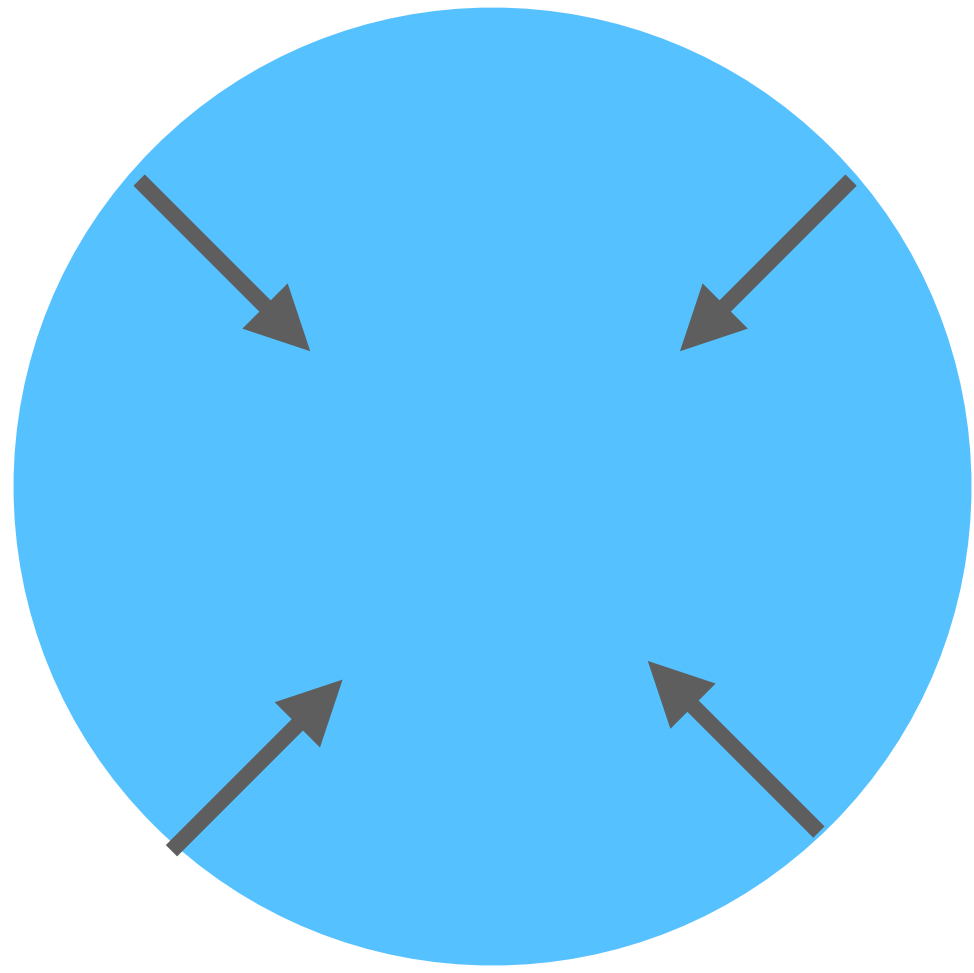
EX22706:
磁気流体シミュレーションによる
原始星への質量・磁場降着過程の研究

高棹真介（大阪大学）

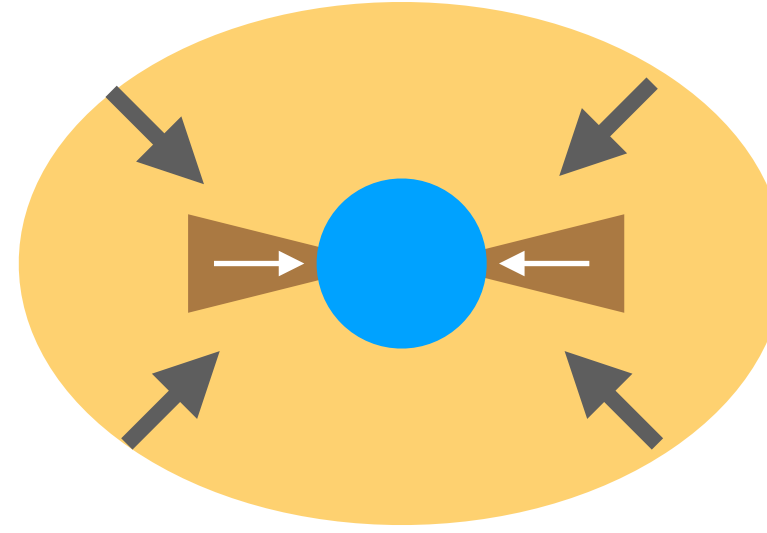
共同研究者：細川隆史（京都大学）、富田賢吾（東北大学）

主質量降着期

分子雲コア



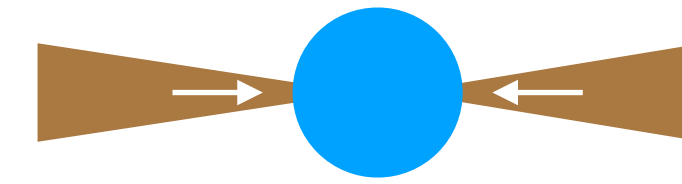
主質量降着期



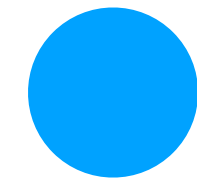
原始星

~ $0.01M_{\odot}$ から成長

前主系列期



主系列段階



原始星の誕生時はまだ星形成の始まりであり、

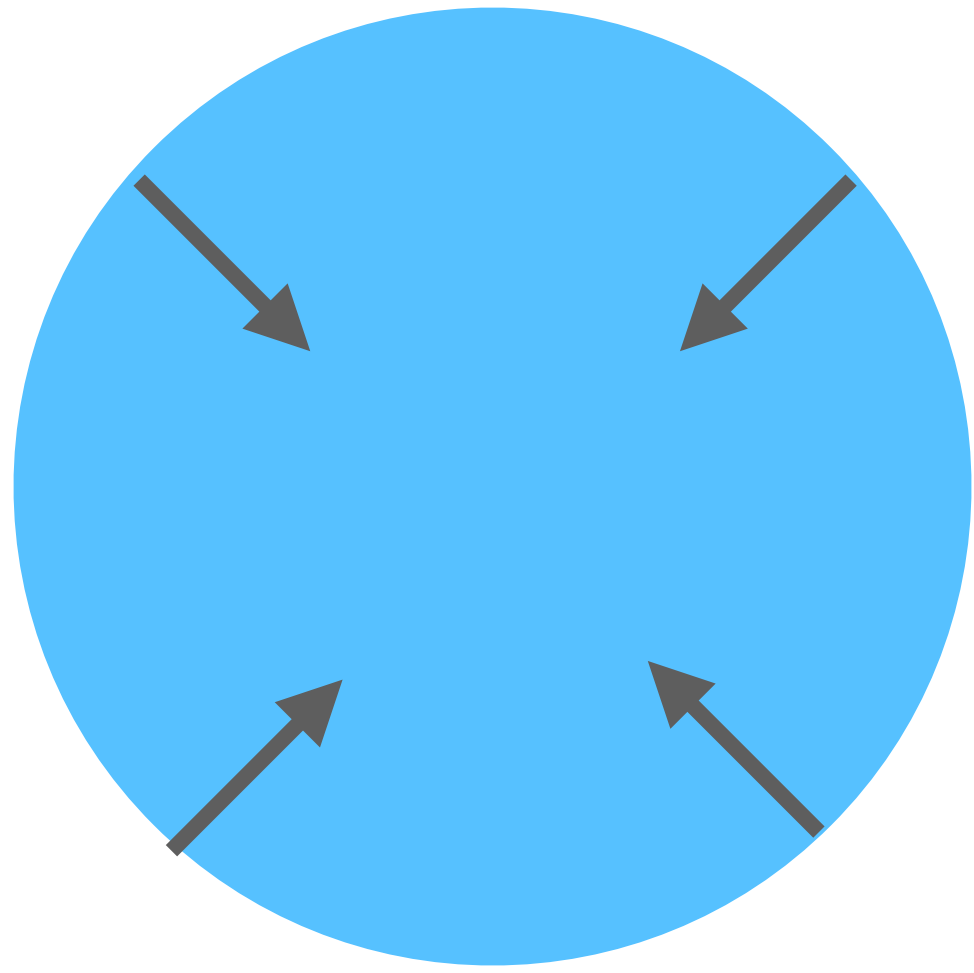
主質量降着期の過程が

- 原始星の進化トラック
- 誕生する星の性質（質量やスピン） を決定

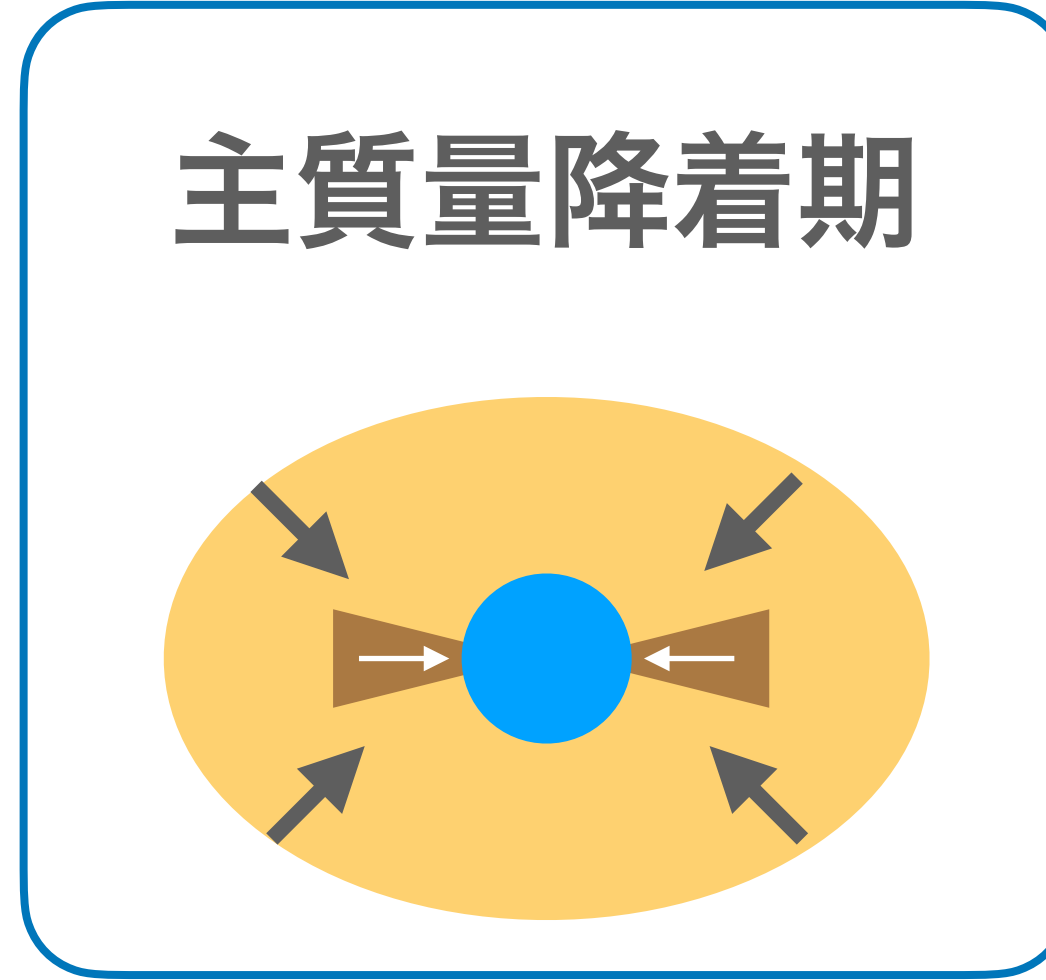
(e.g. Baraffe et al. 09, Hosokawa et al. 11, Kunitomo et al. 17, Takahashi & Omukai 17)

主質量降着期

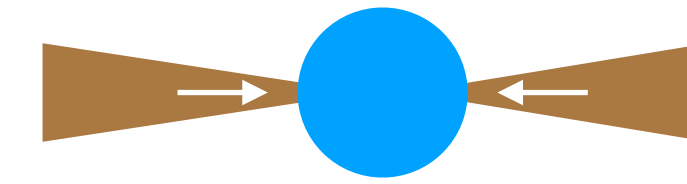
分子雲コア



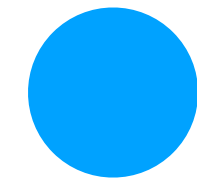
主質量降着期



前主系列期



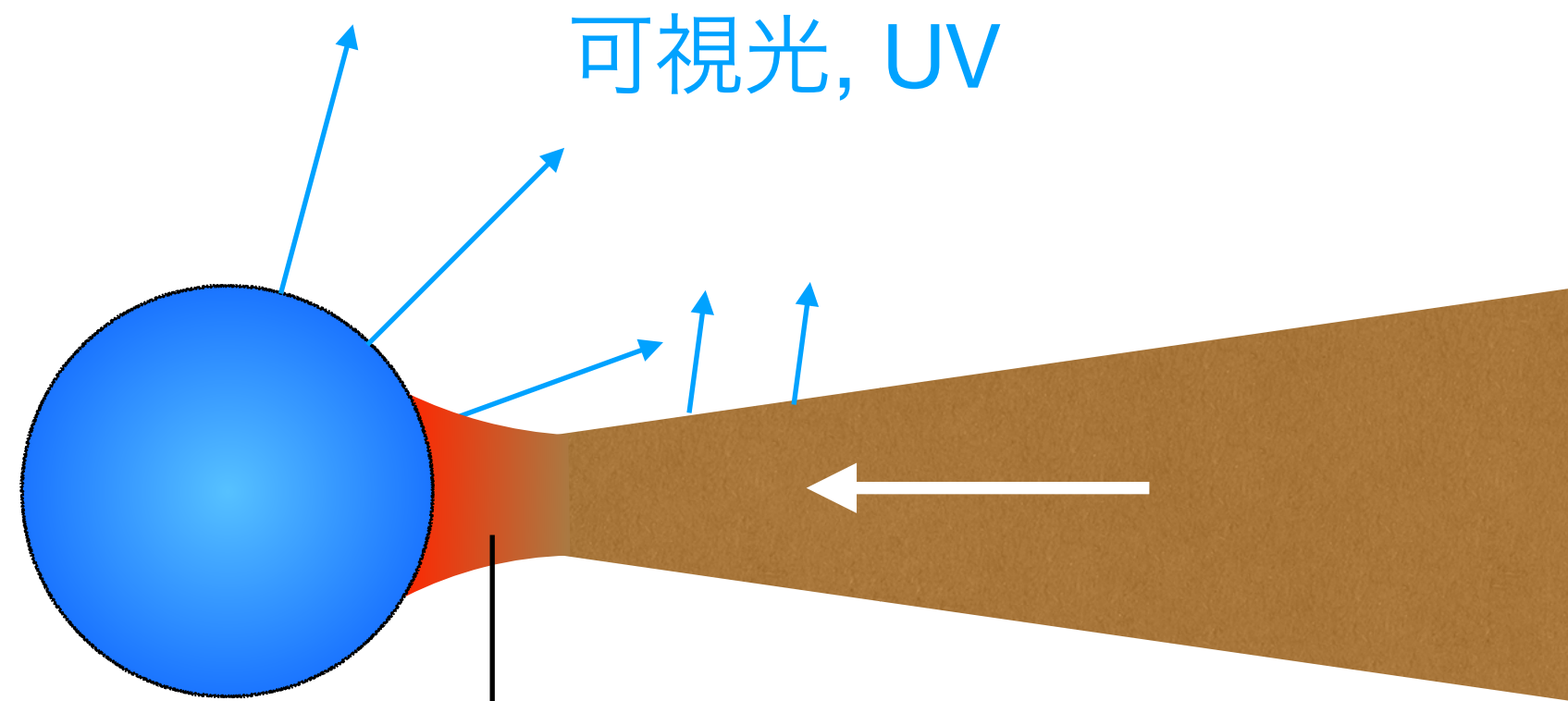
主系列段階



~ 0.01 au



可視光, UV



境界層 (Boundary Layer)

境界層

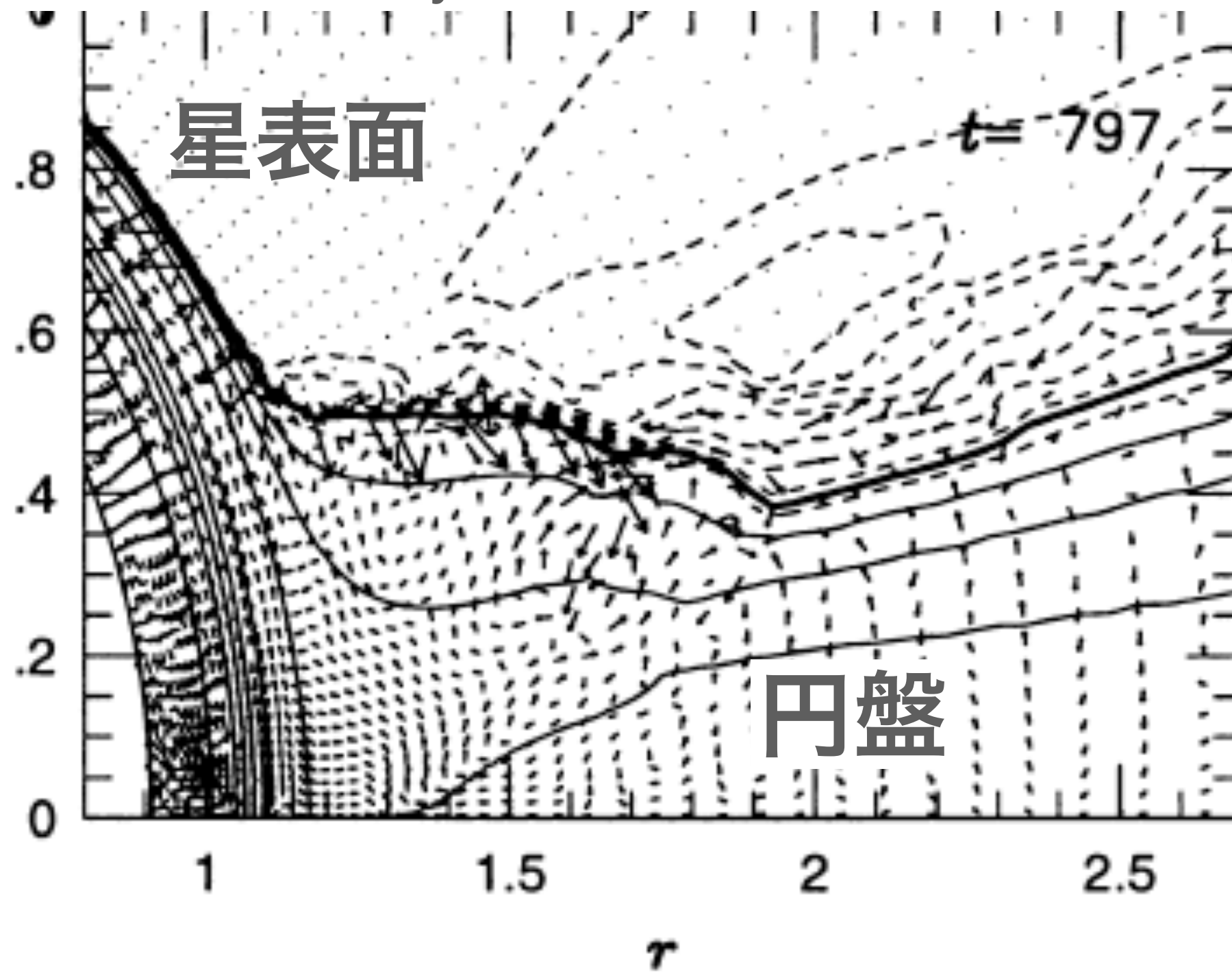
- 遅く回転する星とケプラー円盤の接続部分
 - 降着ガスの最終状態、
つまり原始星の進化を決定付ける領域
- 星の自転が遅い場合、
最大で全降着光度の50%の放射を出す

(Lynden-Bell & Pringle 1974)

境界層降着に関する過去の研究

2次元軸対称 輻射流体モデル

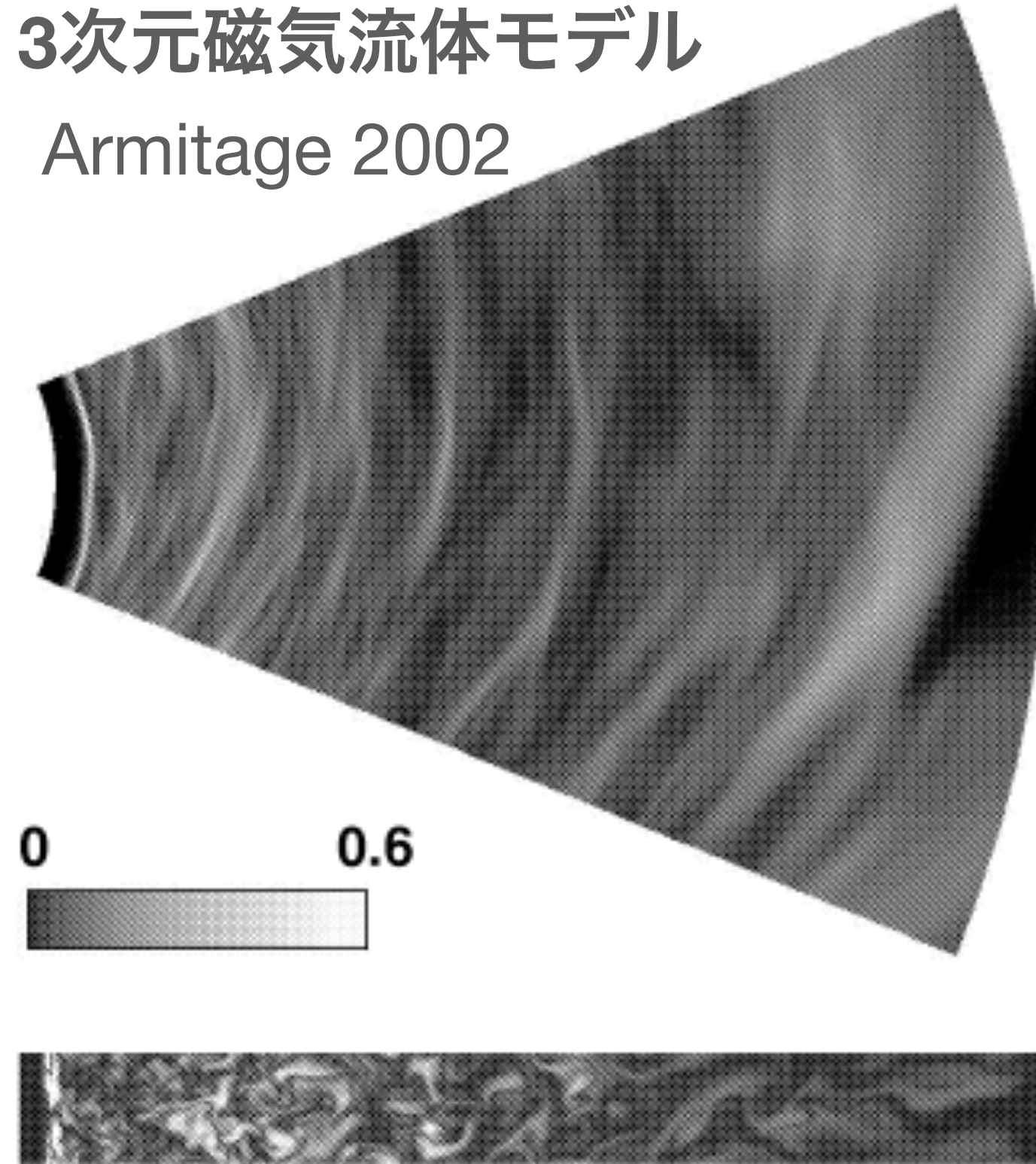
Kley & Lin 1996, 1999



磁場の影響は??

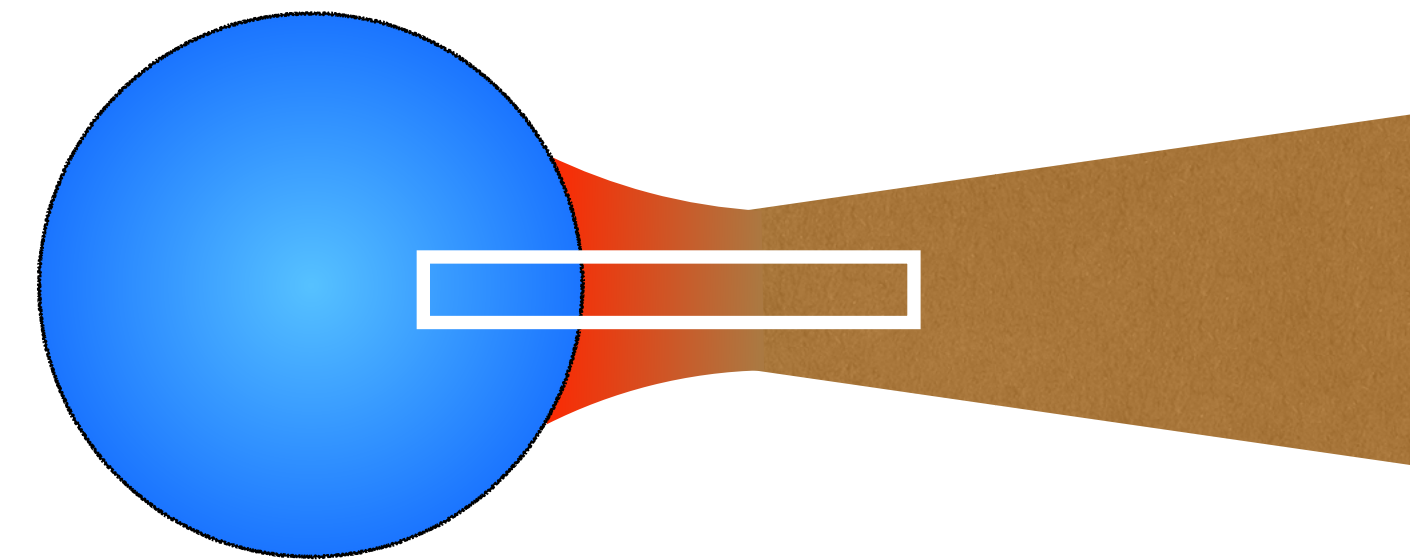
3次元磁気流体モデル

Armitage 2002



色：面密度

赤道面付近だけ扱う
ローカルモデル！



極方向への質量・角運動量輸送
の影響は??

グローバルな3次元磁気流体モデルは過去に皆無

その他：

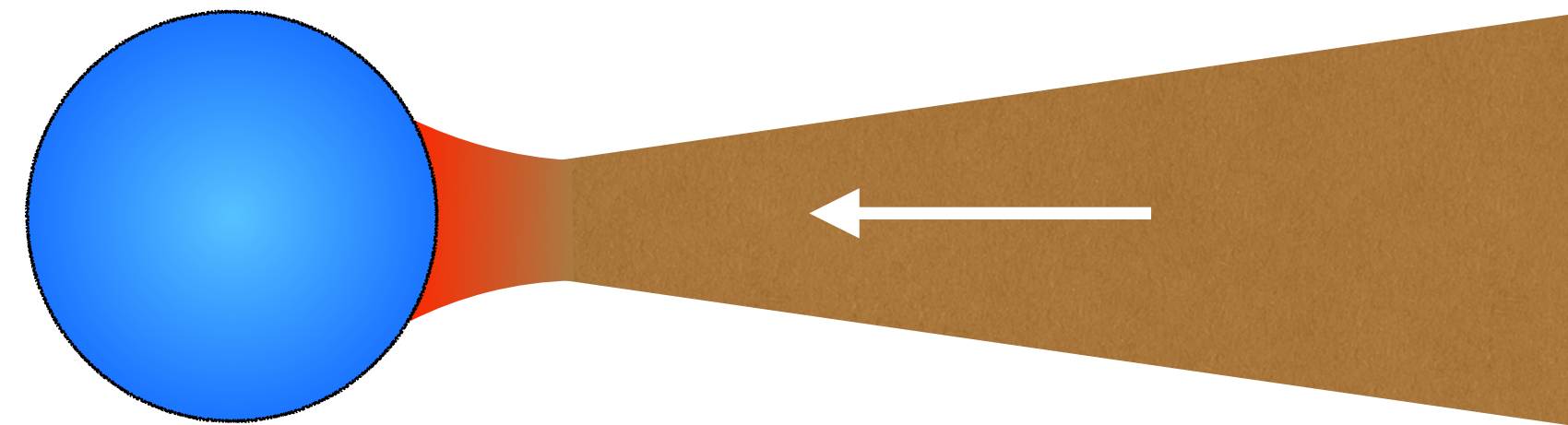
Popham et al. 93 (1D)

Belyaev et al. 12 (2D)

Takahashi & Omukai 17 (1D)

本研究の目的

より仮定の少ない現実的な原始星進化モデル構築に向けて
境界層降着に関するグローバルな3次元磁気流体シミュレーションを実施し、
原始星周りの降着構造を調査。今回はその現状報告。

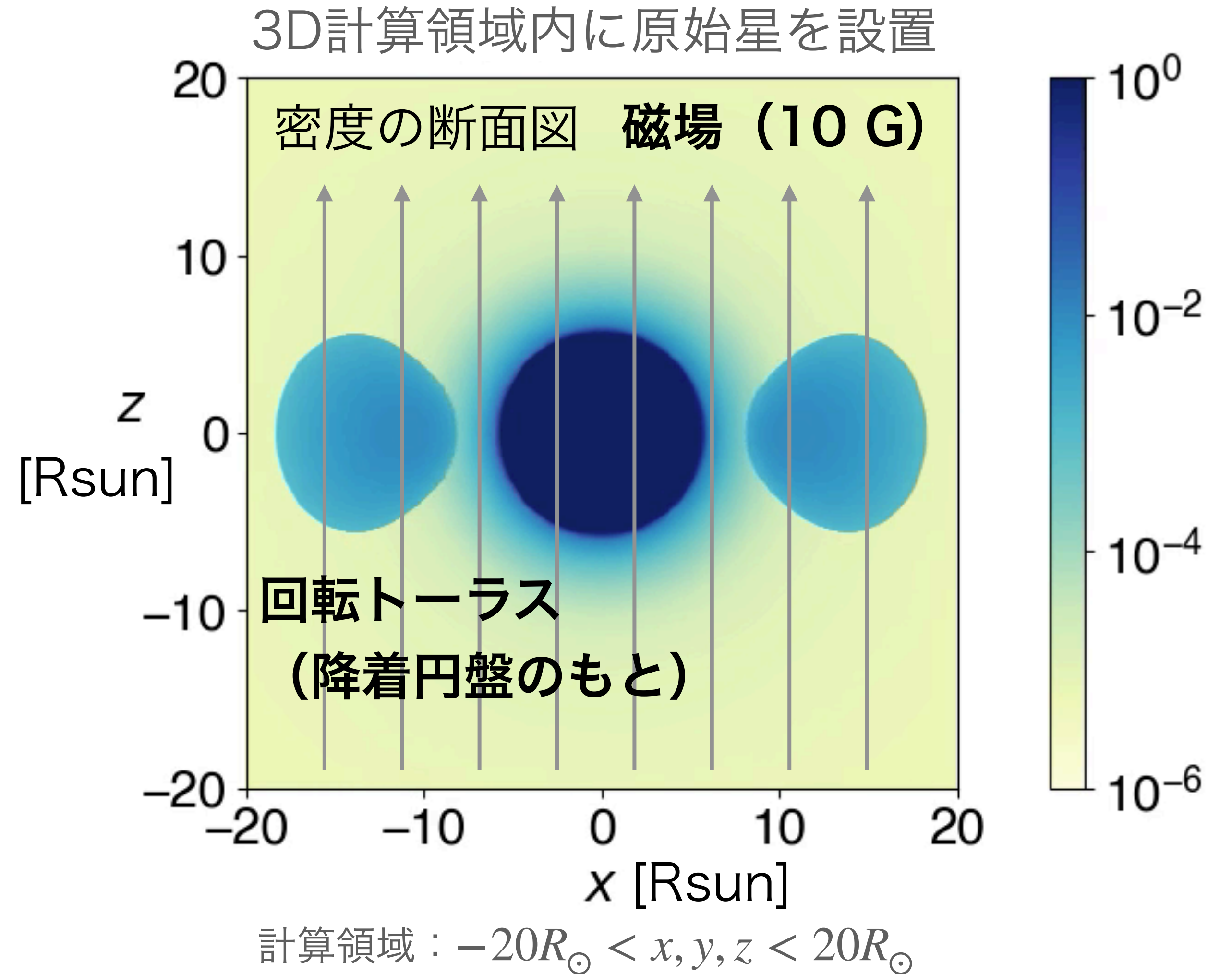


モデル設定

細川・大向氏らの原始星進化計算コードをもとに
原始星の半径1次元構造を取得

(星質量と半径: $M_* = 0.5M_\odot$, $R_* \approx 5.5R_\odot$)

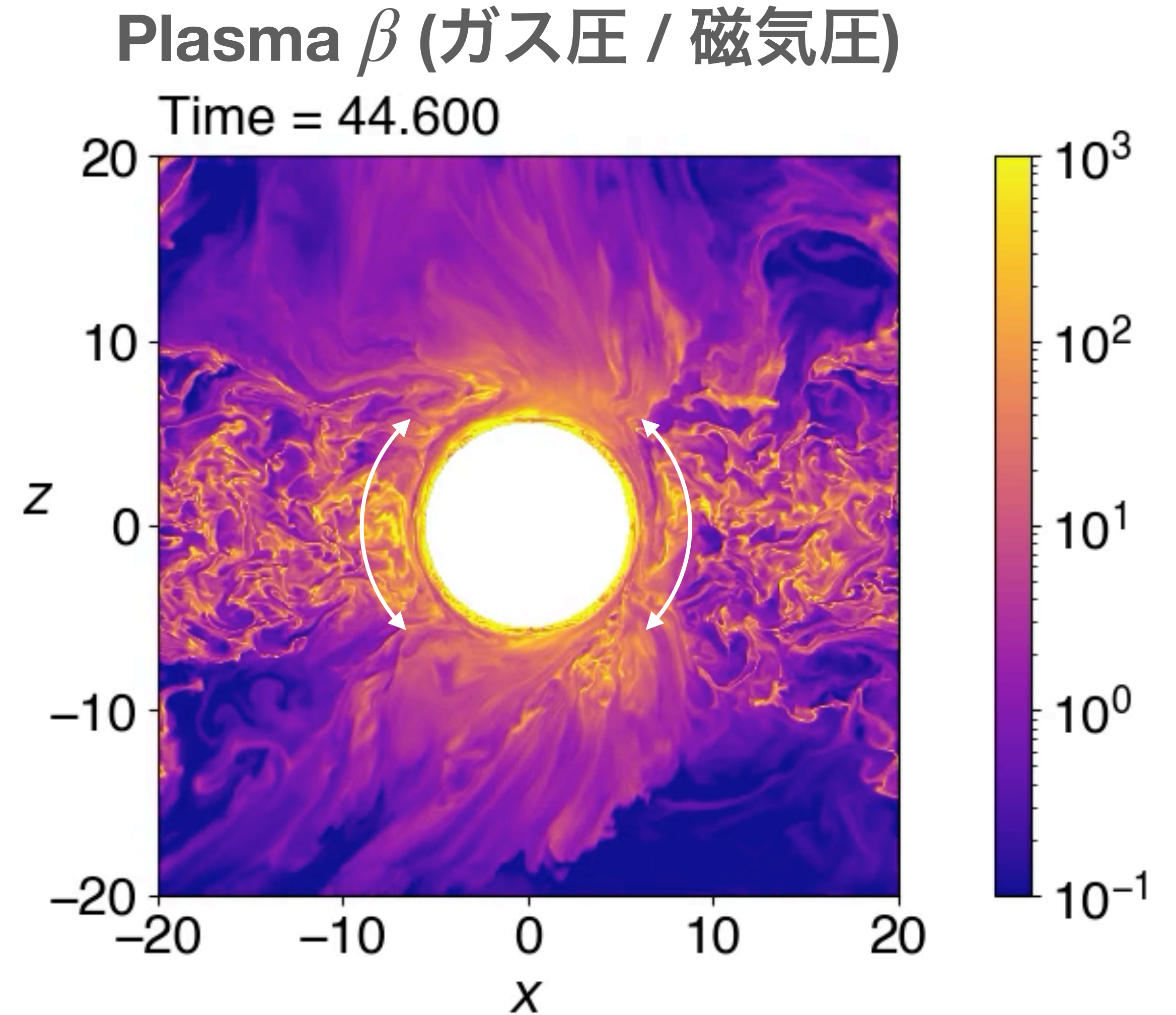
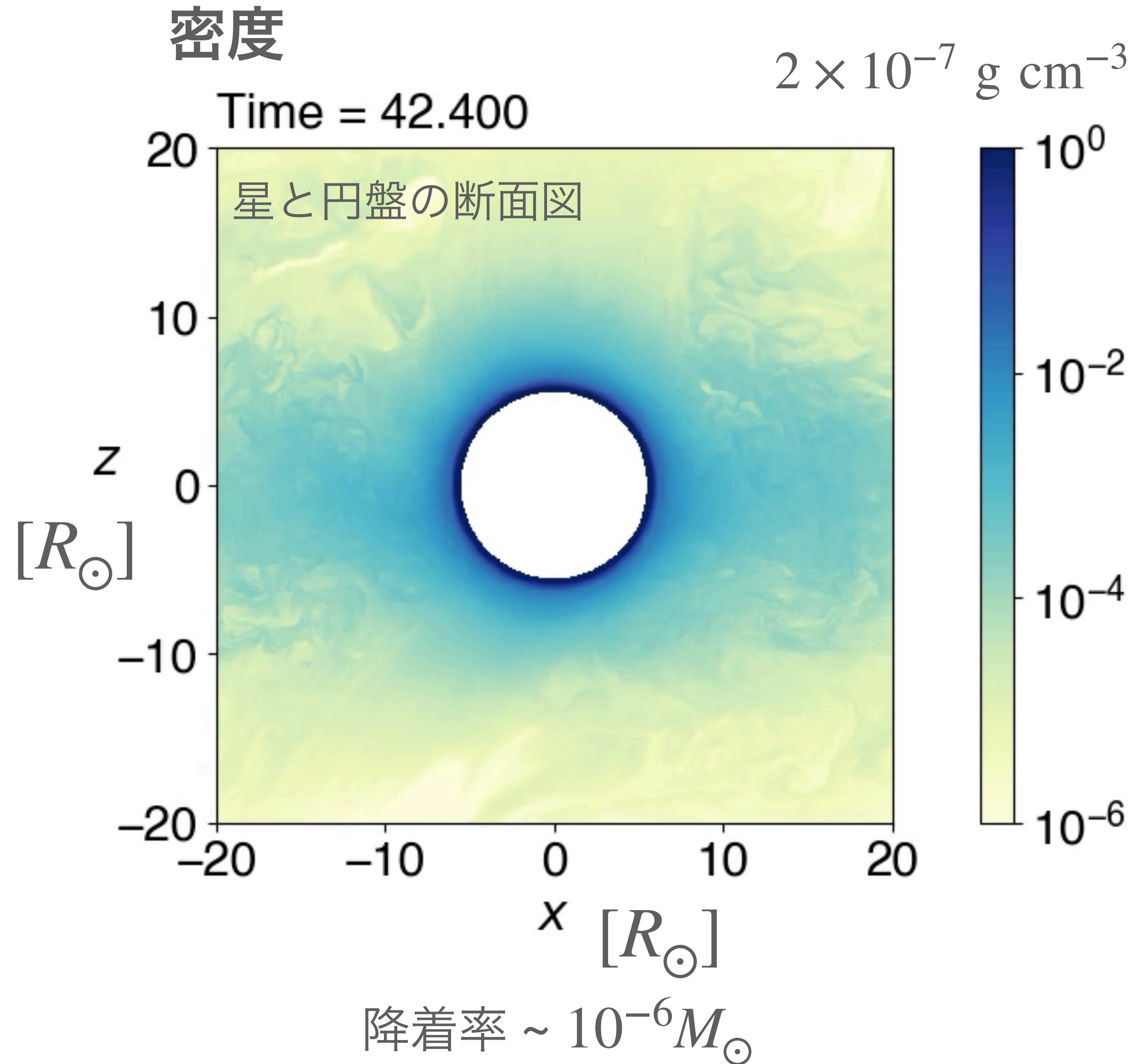
3次元計算領域に
原始星を設置



カーテシアン座標で星の中も含めて全部解くことで、内側境界を除去

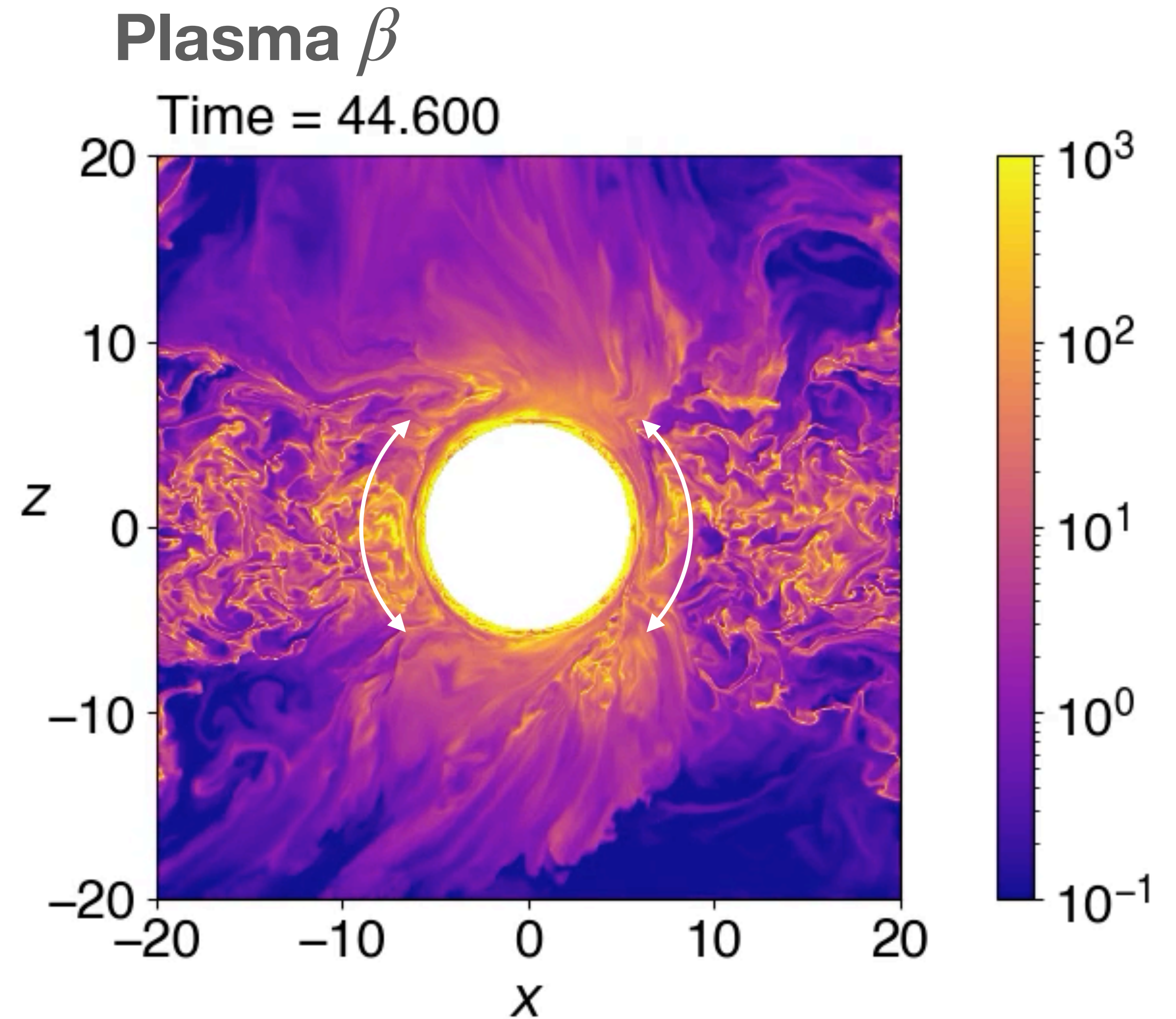
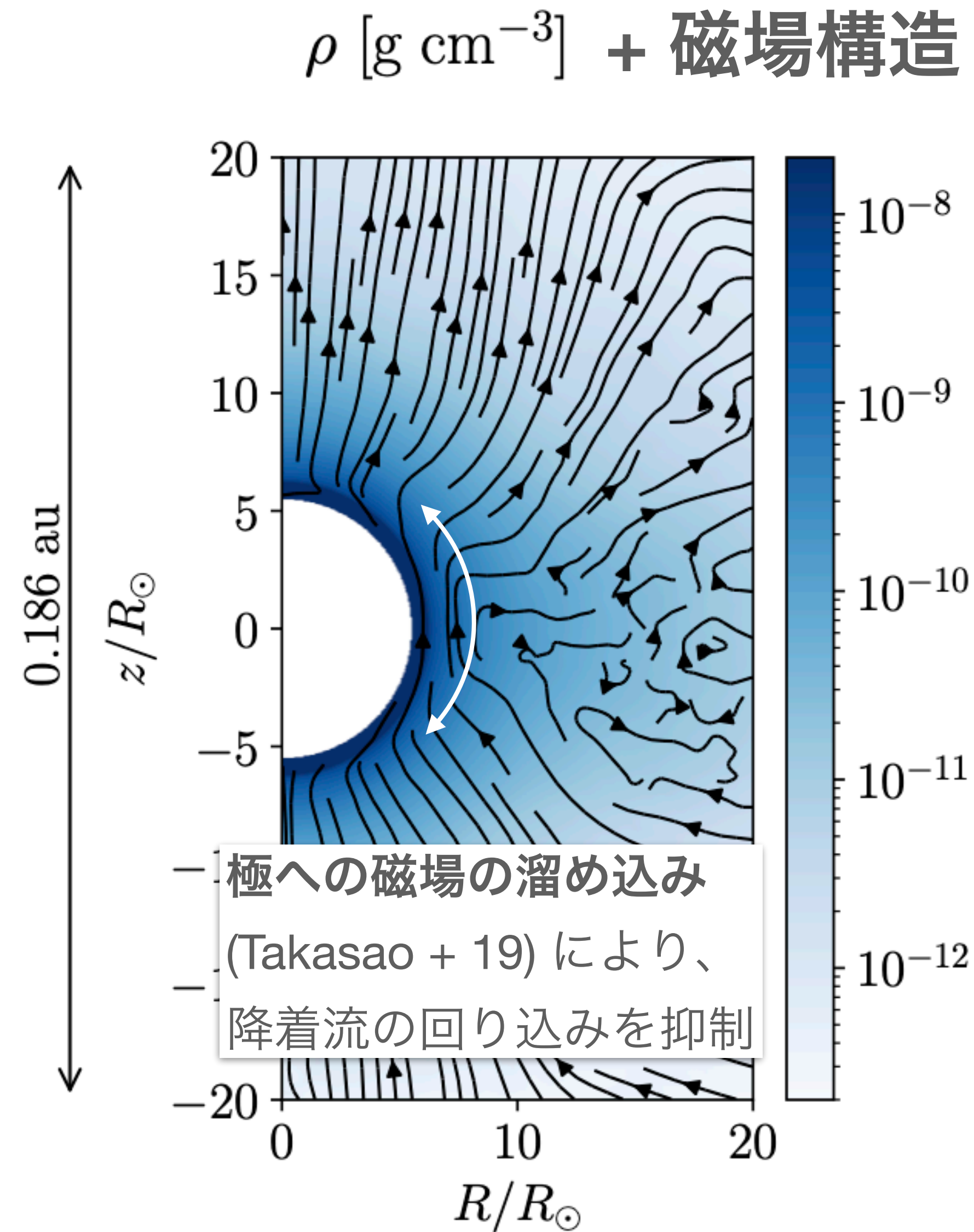
コード: Athena++ (Stone et al. 20), realistic EoS (Tomida et al. 13), 輻射輸送はこの計算ではまだ

磁場で乱流化した円盤からの降着



極域に向かう非定常な流れ。
極域に溜め込まれた磁場で動きが制限。

磁場で乱流化した円盤からの降着

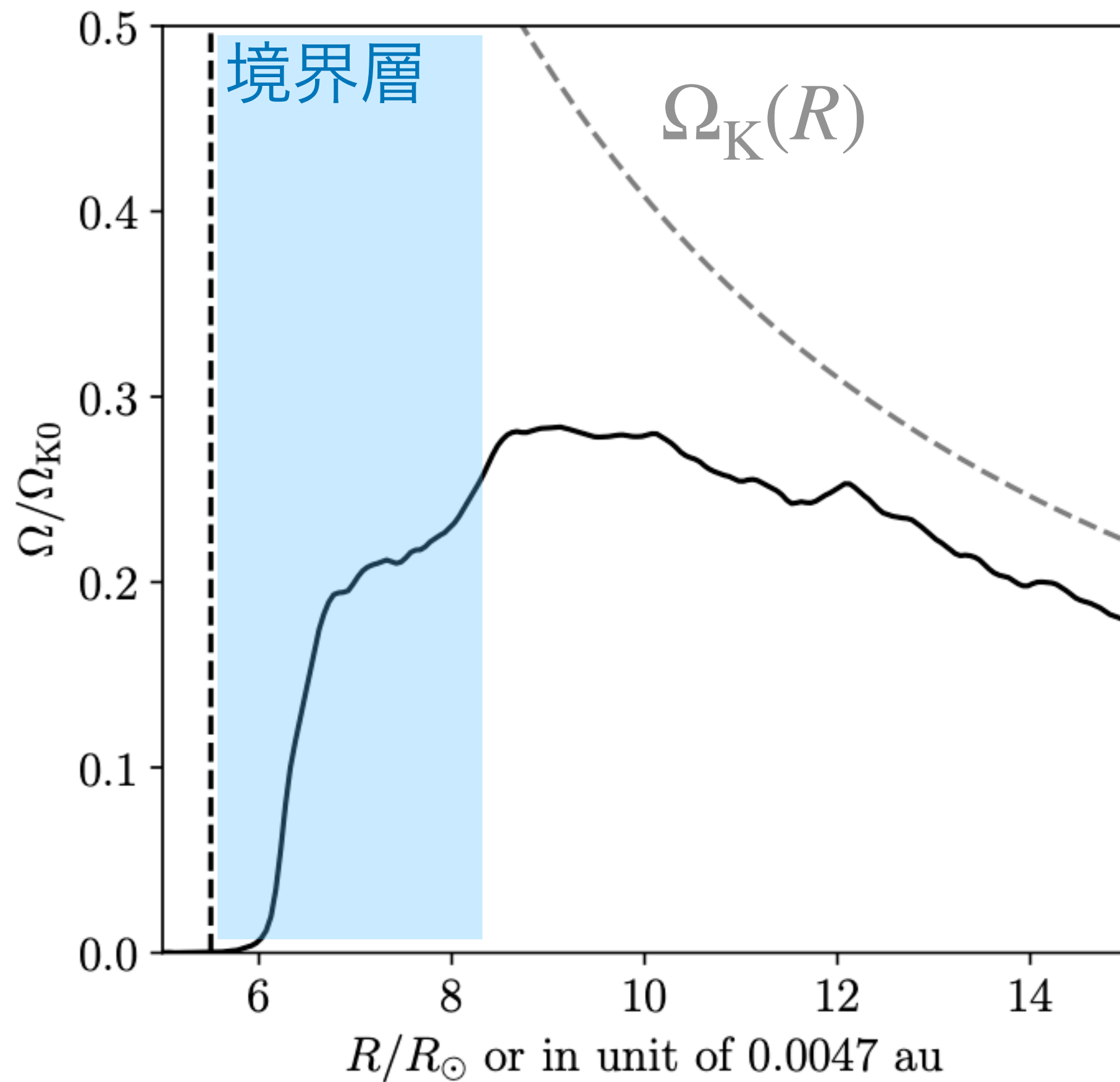


極域に向かう非定常な流れ。

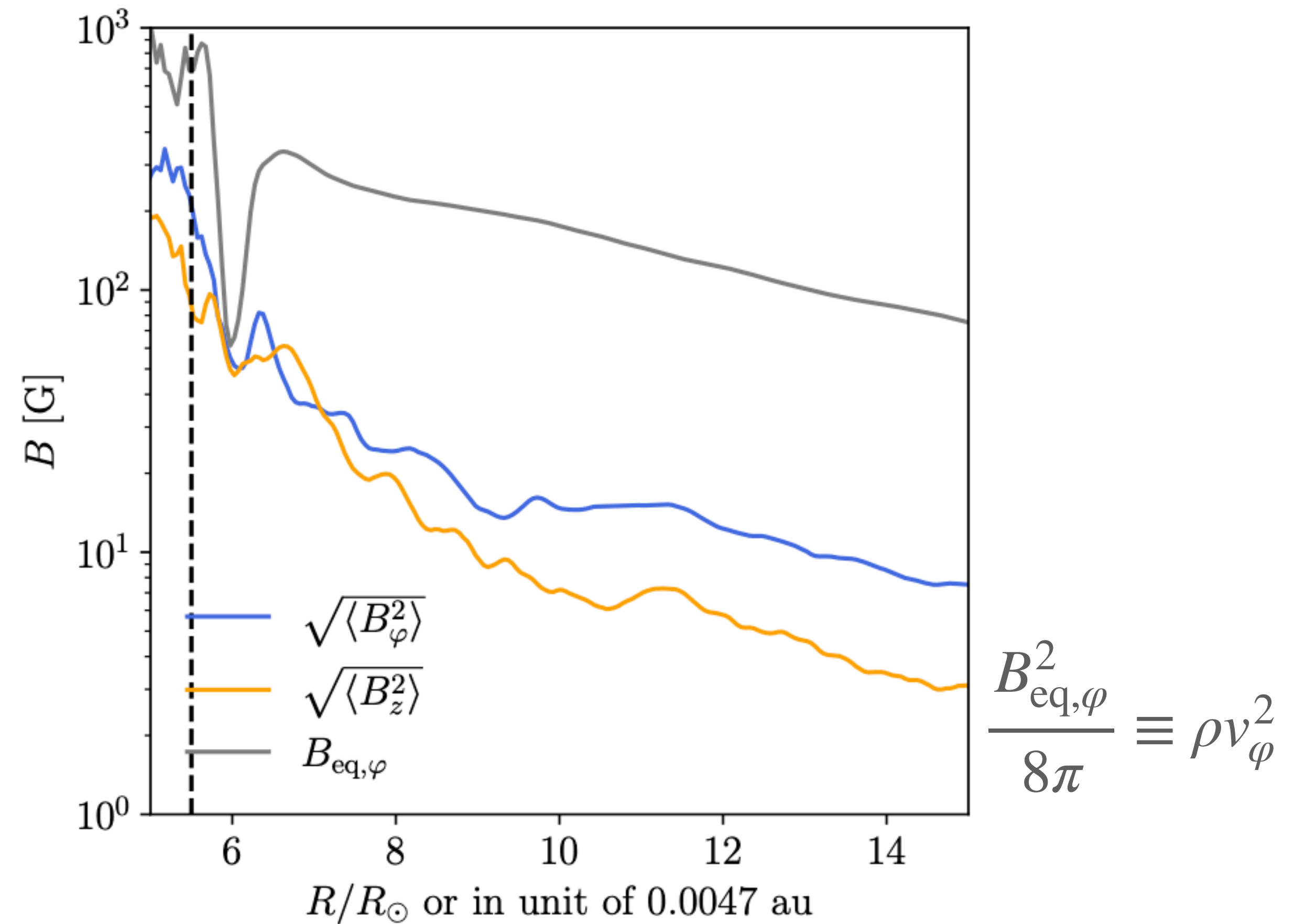
極域に溜め込まれた磁場で動きが制限。

磁場増幅

角速度



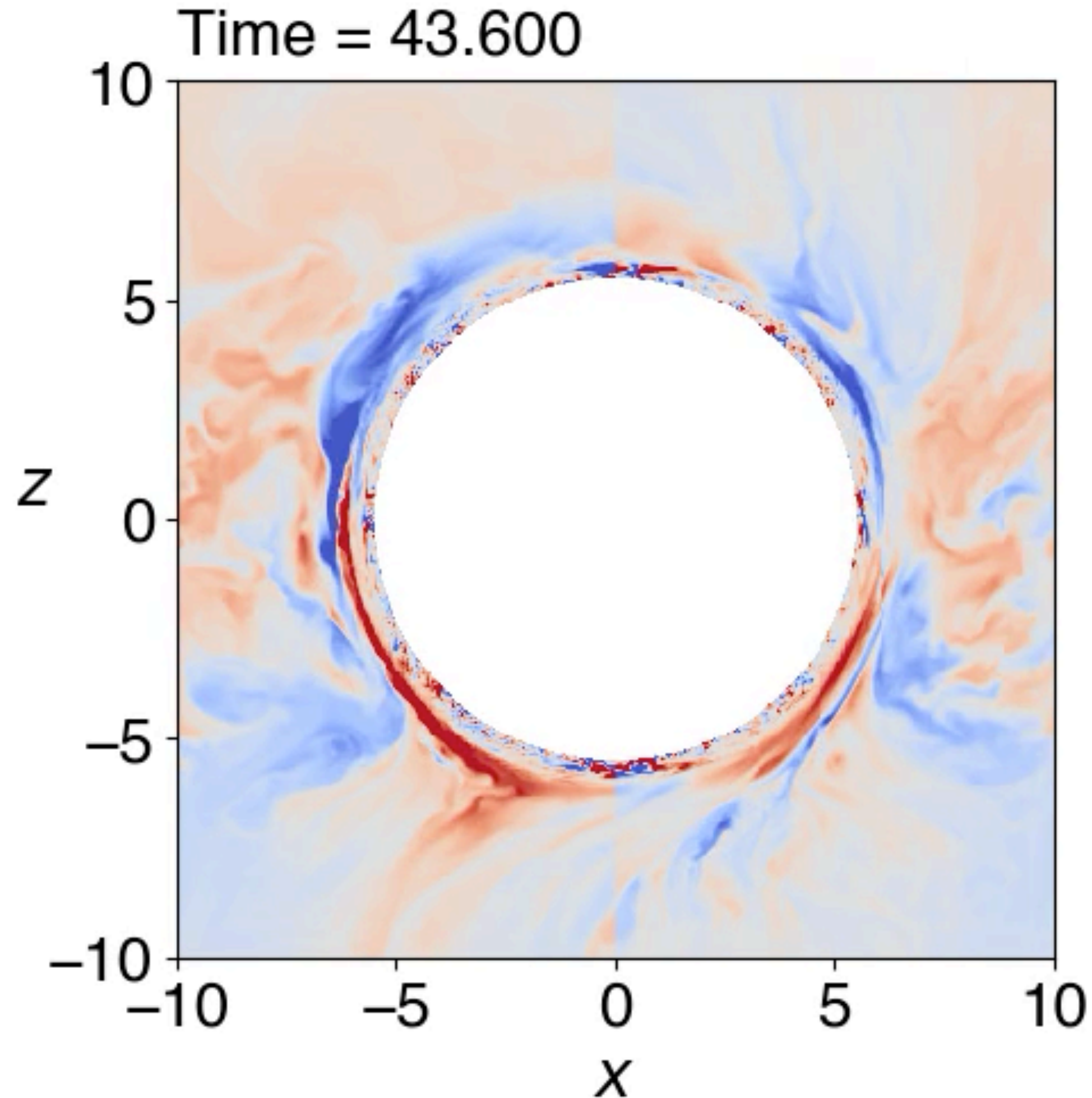
磁場強度



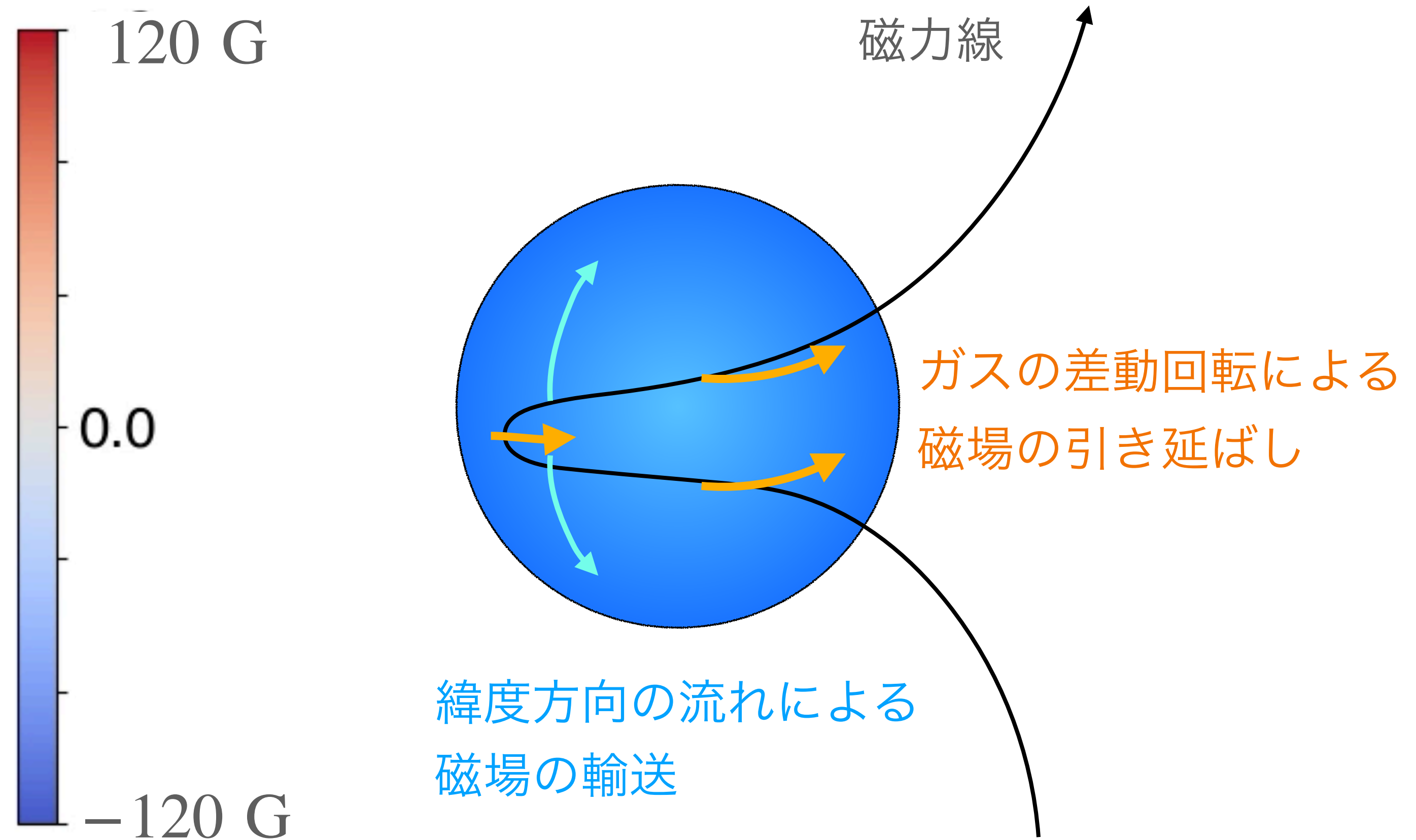
回転ガスによる磁場の引き伸ばしにより、星表面付近における磁場は
運動エネルギーに対する equipartition field 程度まで増幅

原始星まわりの磁場

B_ϕ (回転角方向の磁場)



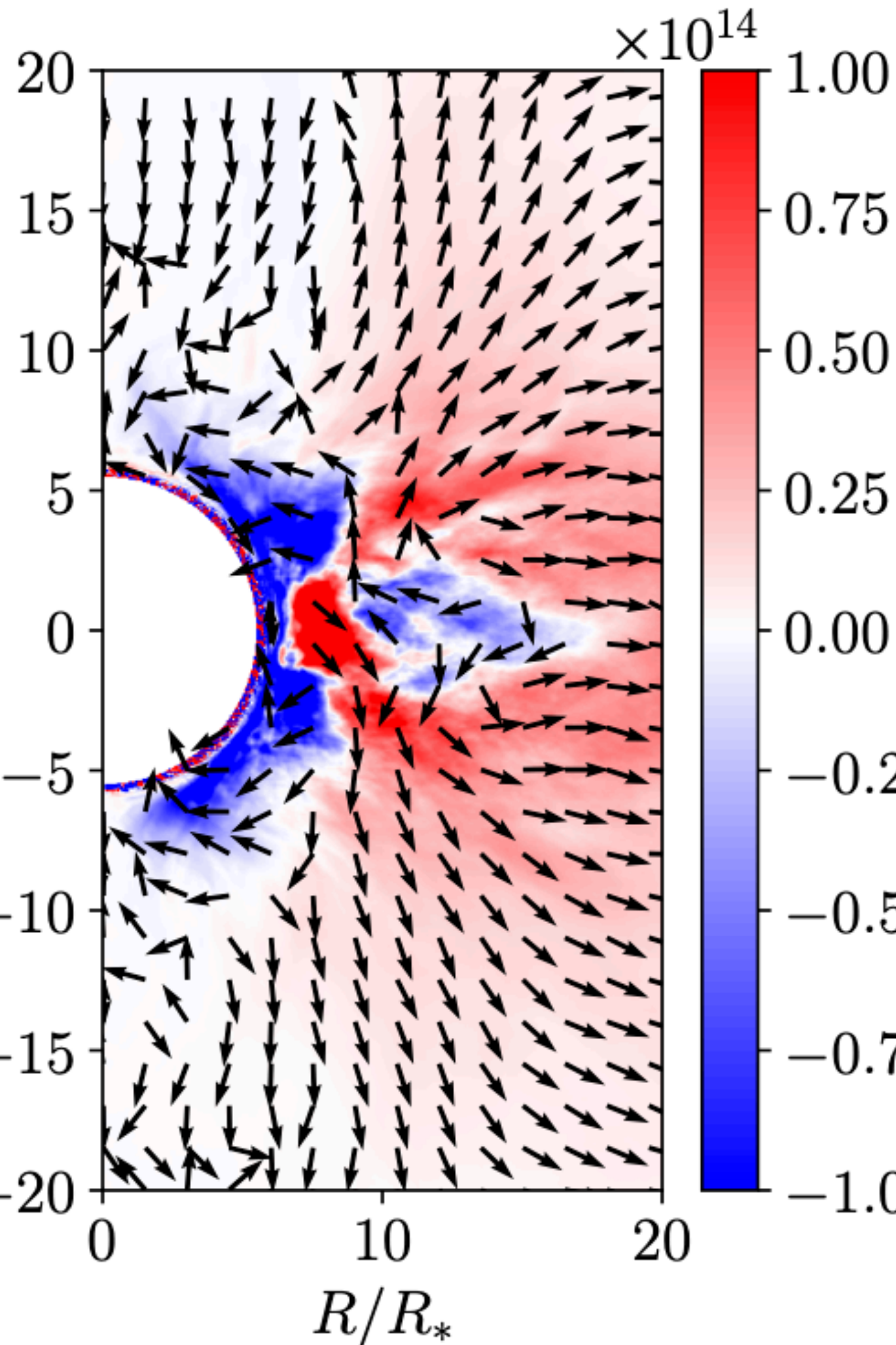
原始星が ~100 G 程度の磁場に
広範囲に巻かれた構造



角運動量フラックス

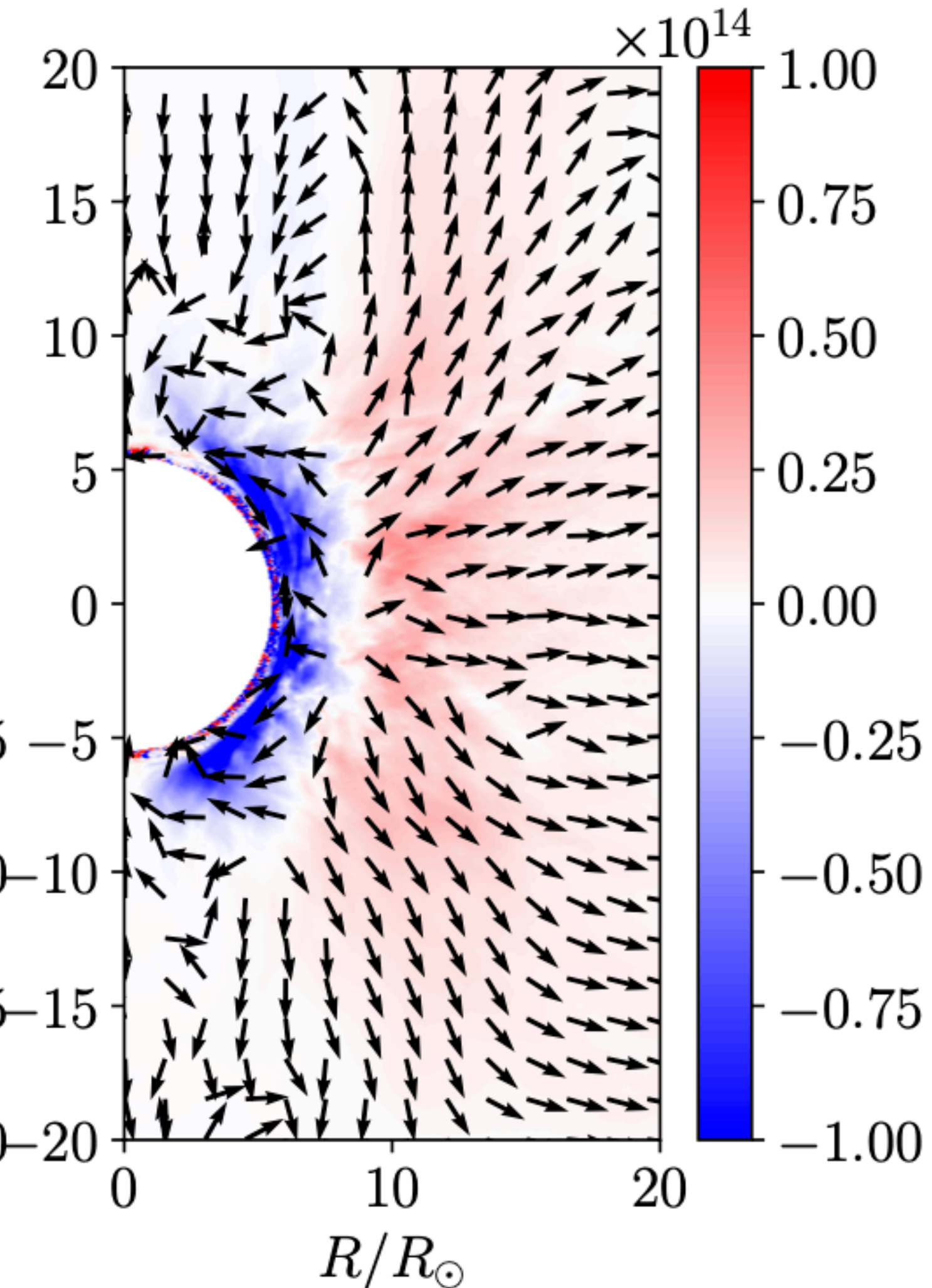
全角運動量フラックス

$$f_{\text{ang},r} [\text{erg cm}^{-2}]$$



磁場による角運動量フラックス

$$f_{\text{ang},m,r} [\text{erg cm}^{-2}]$$



矢印：フラックスの向き

- 鉛直方向の角運動量の流れが重要である
示唆が得られた
(過去の流体計算や 1D モデルでは
十分考慮できていなかった)
- この計算では、原始星を取り巻く磁場は
原始星に角運動量を与える役割
- 角運動量輸送の詳細はまだ調査中

まとめ

- ▶ 原始星への最終降着過程の理解を目指し、
境界層降着のグローバル3次元磁気流体シミュレーションを開始。
- ▶ 過去のモデルで考慮されていなかった**鉛直方向の角運動量輸送**も重要という示唆。
- ▶ **極に向かう流れによる磁場の輸送**のため、
原始星は広範囲に強い磁場に巻かれた構造 → 今後、角運動量進化への影響を調査

