

原始星形成過程から迫る原始惑星系円盤形成過程

高橋実道（京都大学）、犬塚修一郎（名古屋大学）、町田正博（九州大学）

惑星系は、原始星と同時に作られるガス・ダストの円盤である原始惑星系円盤内で形成されると考えられている。そのため惑星系形成過程は原始惑星系円盤の性質に依存する。しかし、現在では原始惑星系円盤を直接観測することは難しく (ALMAによる進展が期待されている)、理論的に原始惑星系円盤の性質を推定する必要がある。

そのためには原始星形成過程で円盤が形成され、進化していく過程を正確に記述しなければならない。その重要な過程の一つが、ガスが円盤に降着する過程である。この過程では、ガスの軌道を重力ポテンシャル中の粒子の運動で近似するモデルが考えられていて、その軌道はガスの持つ角運動量で決められる。

本研究では、解析的なモデルから円盤に降着するガスの角運動量を評価し、それを3次元流体シミュレーションの結果と比較することで円盤形成期のガスの軌道について調べた。その結果、円盤に降着するガスの軌道を解析モデルで表す近似が十分良いことが分かった。また、円盤で腕が立つことで非軸対称性が生じ、ガスの比角運動量分布が解析解からずれていることも示された。

1. 惑星系形成と原始惑星系円盤

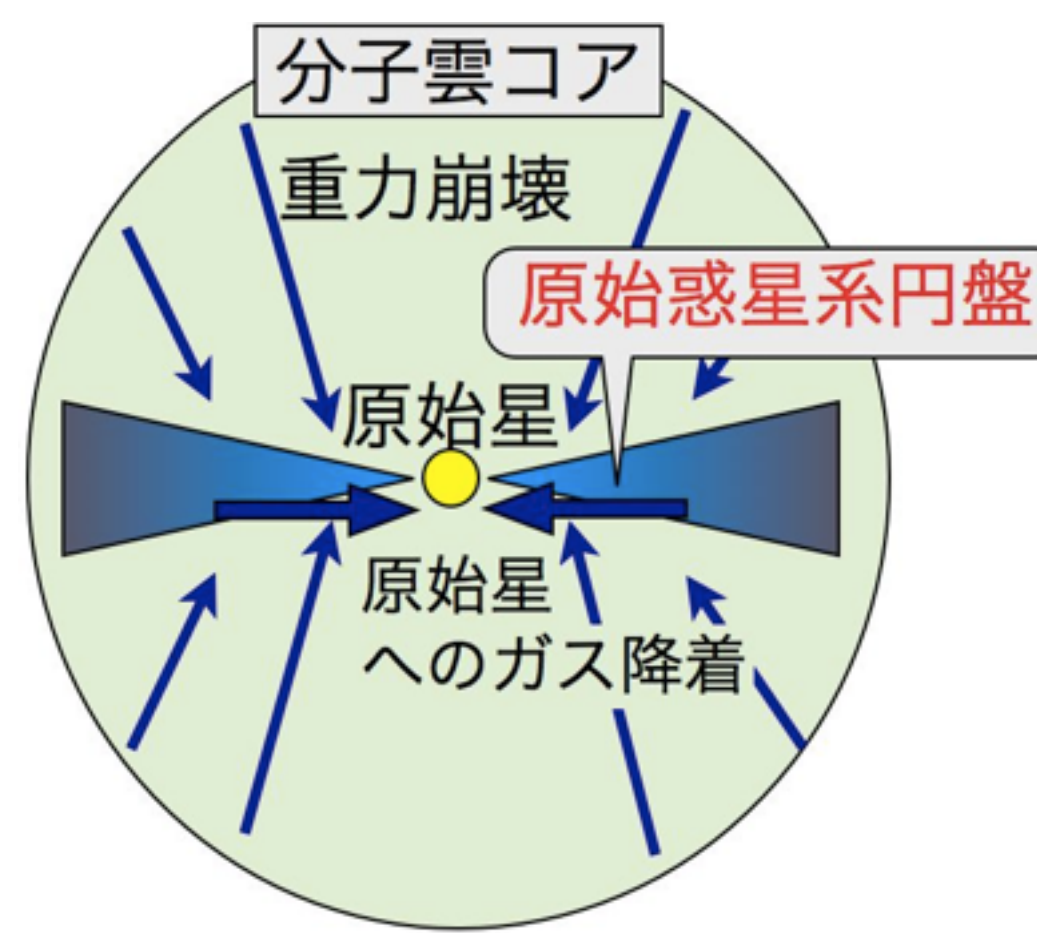
目標：惑星系形成シナリオの解明

↑ 原始惑星系円盤内で形成

原始惑星系円盤の研究が惑星系形成の研究には不可欠！

原始惑星系円盤：原始星と同時にできるガス、ダストの円盤

- 原始星←分子雲コア（星間物質の高密度領域）の重力崩壊により形成。
 - 分子雲コアが角運動量を持っていると、ガスは直接中心星に落ちず、**円盤を形成。**
- **原始惑星系円盤**



円盤の詳細は観測でも不明。

→理論から**円盤の形成過程**を正確に記述することが必要。

円盤形成の解析モデルとシミュレーションを比較し、円盤に降着するガスの軌道を決定する。

2. 解析モデル 弾道近似

ガスの軌道は**重力ポテンシャル中の粒子の運動で近似**できる。

(Cassen and Moosman 1981)

分子雲コアから降着してくるガス粒子

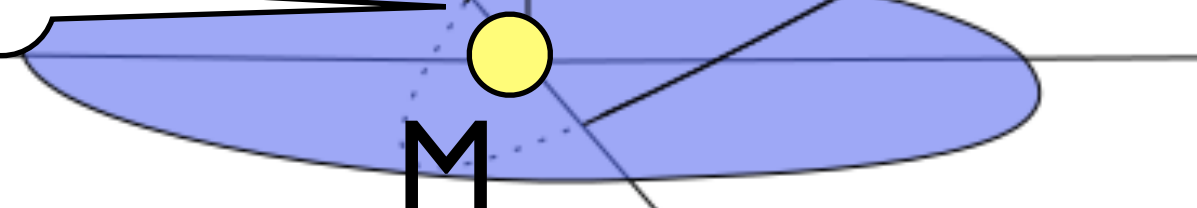
ガスの軌道～放物軌道

Ω

ガスの速度 > 音速

→ 圧力無視

赤道面で円盤に降着



初期に中心星からの距離 R_{ini} 、角速度 Ω だったガスの軌跡を円柱座標 (l, φ, z) で表す。

$$\frac{\Omega R_{ini}^2}{GM} \Gamma = \sqrt{z^2 + l^2} - z \left(1 - \frac{\Gamma}{\Omega R_{ini}^2} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Γ : ガスの比角運動量
 M : 重力源の質量

ガスの比角運動量 ↔ **ガスの軌道**
対応

3. 3次元流体シミュレーション

初期条件：中心密度 $1.104 \times 10^{-18} \text{ g/cm}^3$ のcritical BE 球

→ 密度1.2倍で重力不安定化

温度 10k

角速度 $\Omega = 8.78306 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$ の剛体回転

→ 原始星、原始惑星系円盤形成・進化の

長時間3次元流体シミュレーション

4. 解析モデルとシミュレーションの比較

シミュレーション

原始星形成後 10^3 yr

中心星質量 $\sim 0.0135 M_{\text{sun}}$

円盤質量 $\sim 0.191 M_{\text{sun}}$

解析モデル

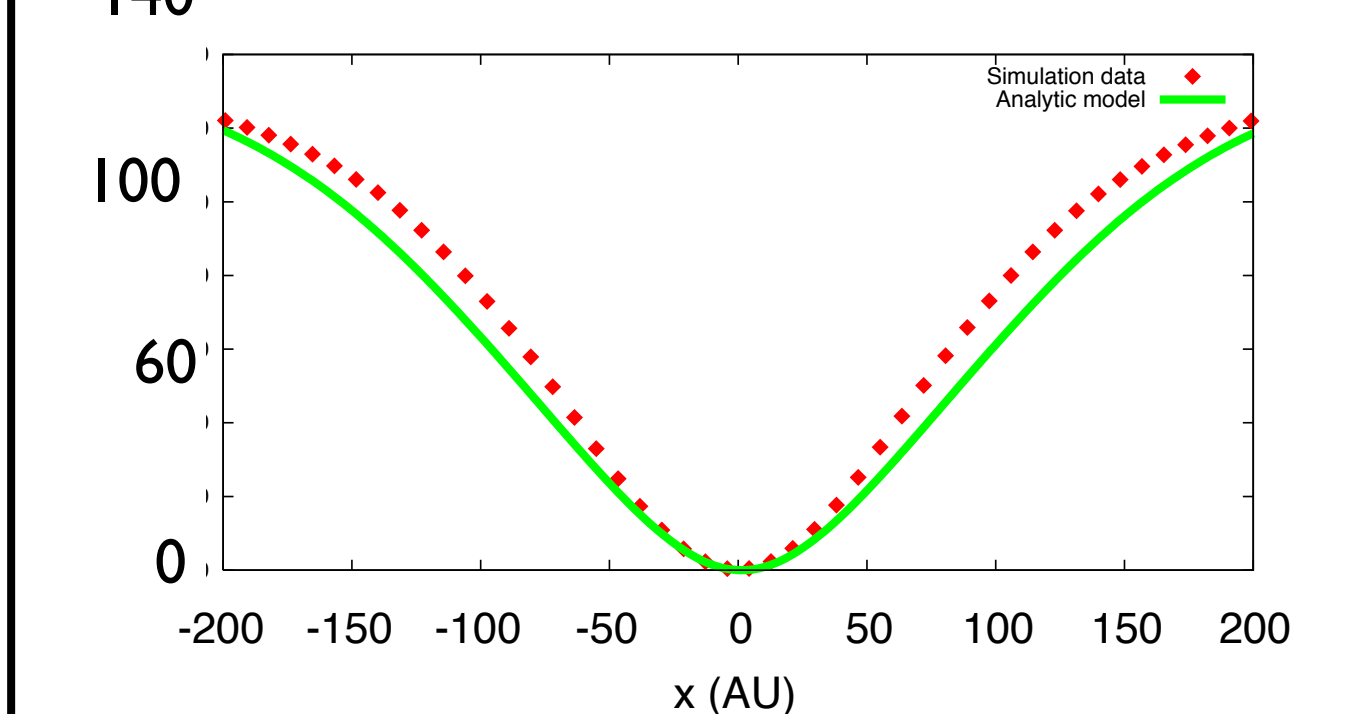
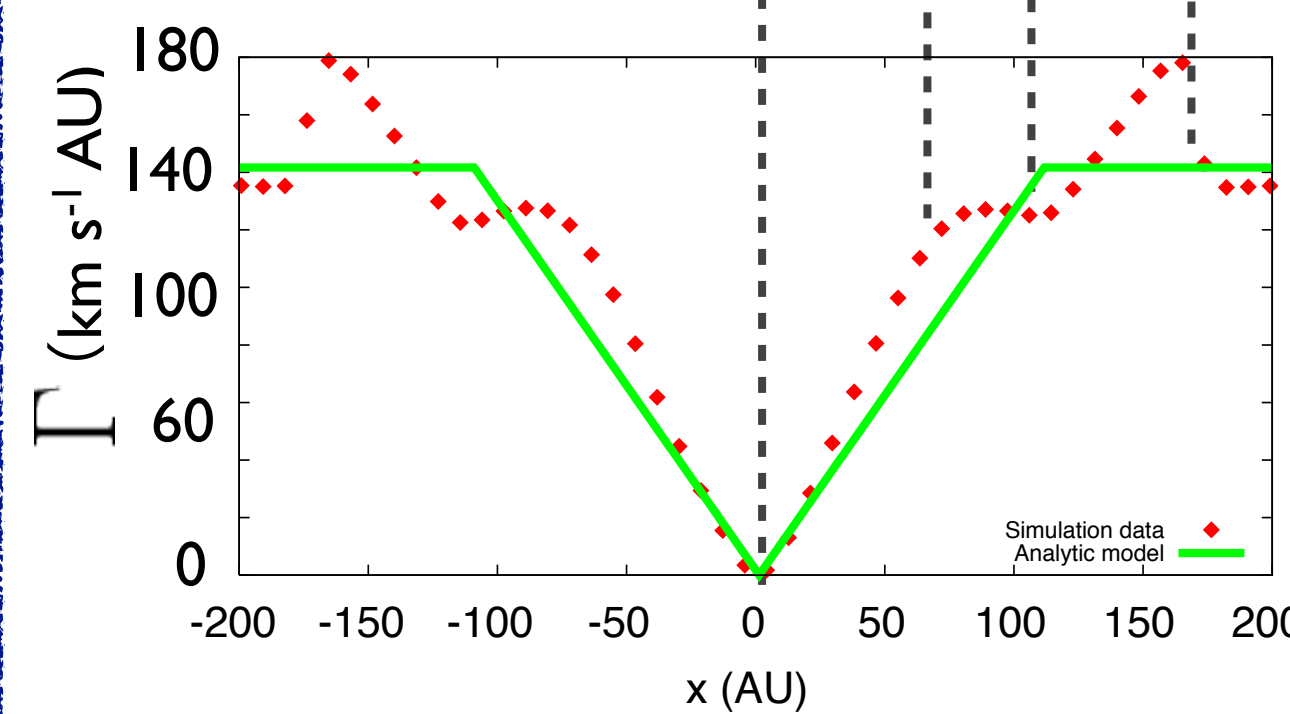
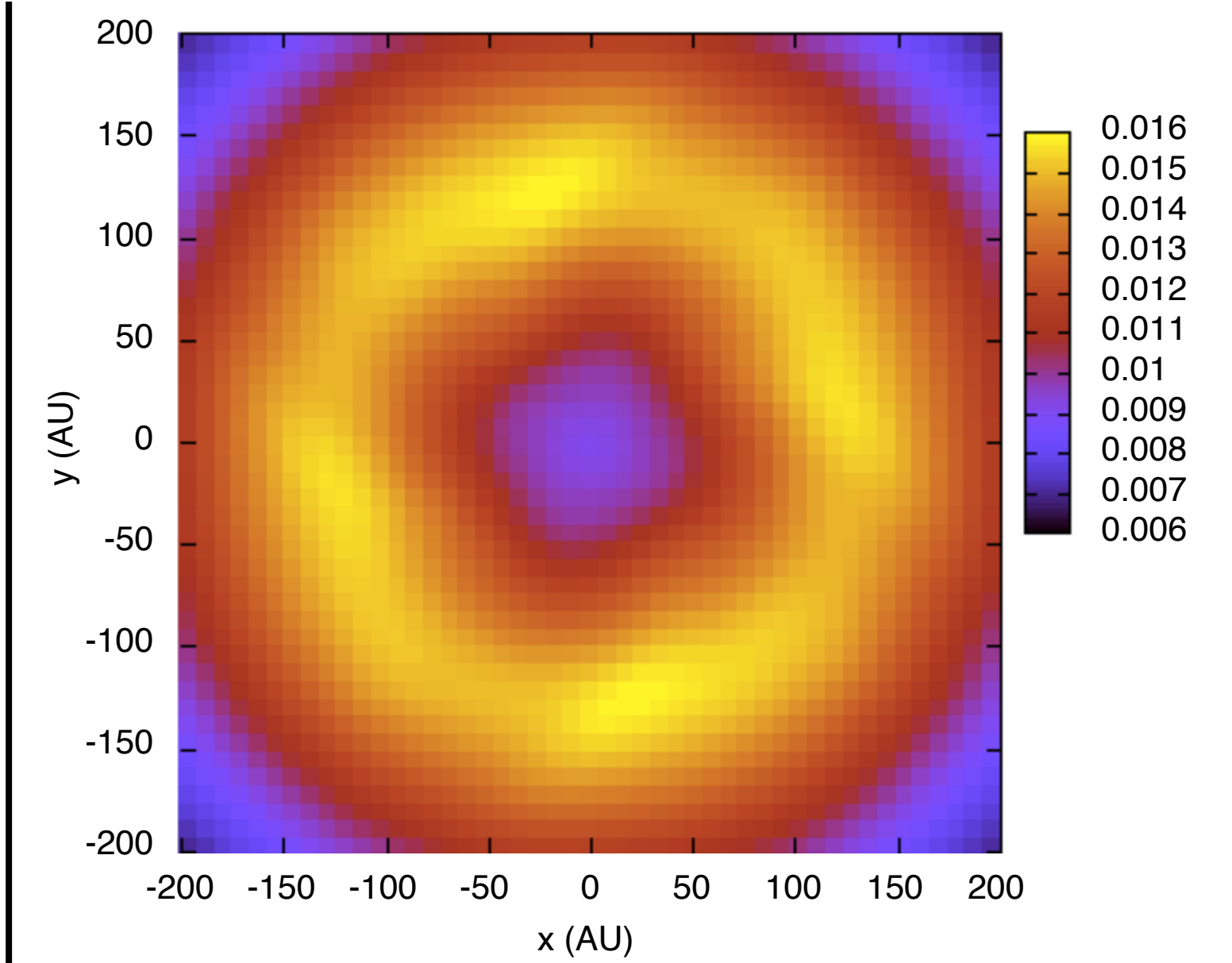
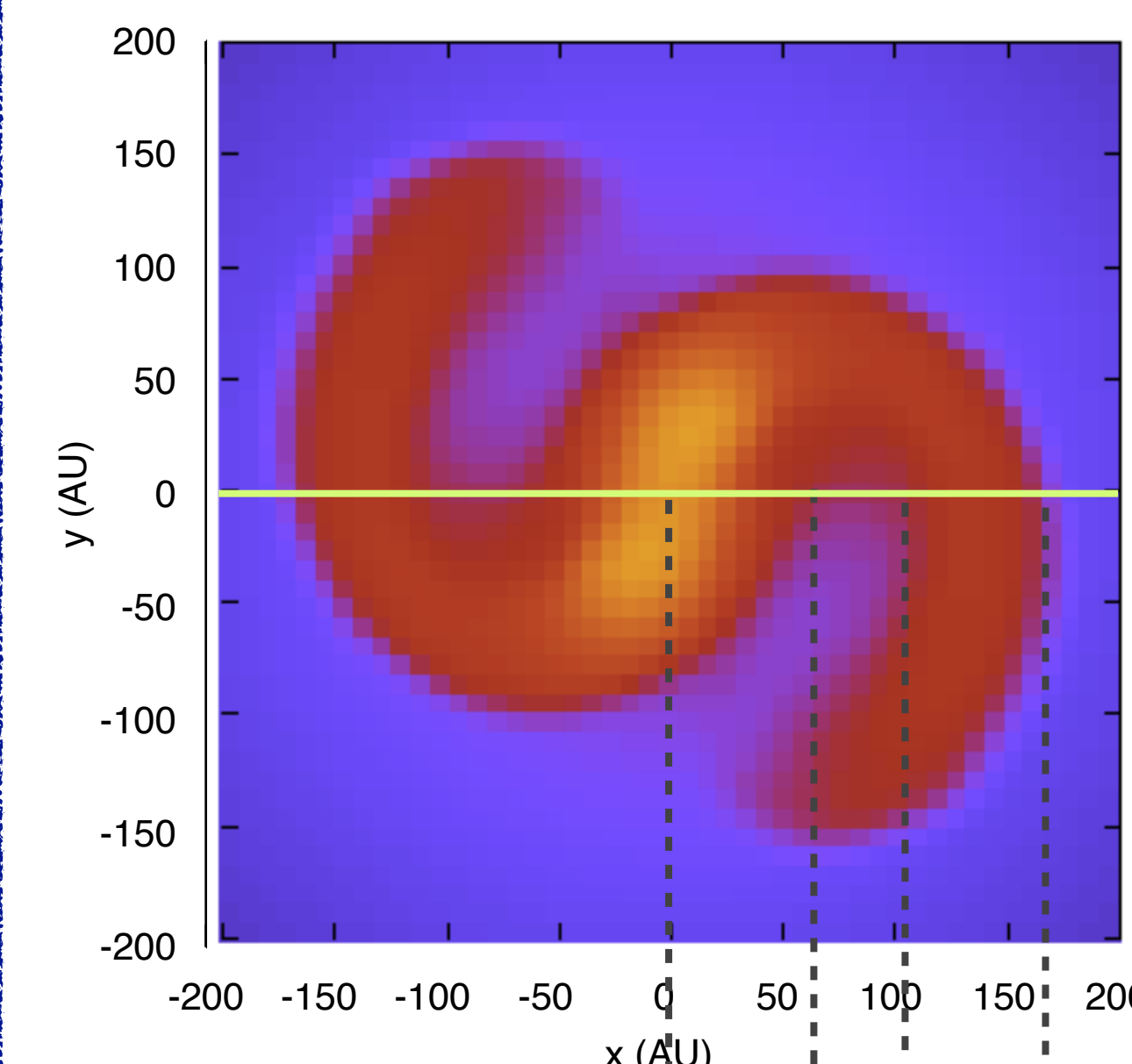
M : 中心星と円盤の質量の和。

R_{ini} : 初期の密度分布で、 R_{ini} の内側の質量が M になるように決定。

a. 赤道面上 ($z=0$)

b. 円盤上空 ($z \sim 47 \text{ AU}$)

ガスの密度 (10^{-14} g/cm^3)



ガスの比角運動量 (x軸上) Simulation data Analytic model

シミュレーションの角運動量分布: 円盤の腕の形状と対応。
解析モデルからのずれは、**腕が立つことによる非軸対称性が原因**と考えられる

腕ができず**軸対称**。
シミュレーション結果が**解析モデルと良く一致**。

5. まとめ 原始惑星系円盤に降着するガスの軌道

降着前: 弾道近似。ガスは角運動量を保存し放物軌道で降着。

降着後: 腕が立つことにより**非軸対称**。

→ 角運動量分布が解析モデルからずれる。

Future Work

○ 円盤上空でのガスの比角運動量のシミュレーションと解析モデルの不一致の原因の特定。

○ 磁場の寄与を考慮したときのガスの軌道の変化 (磁場による角運動量の引き抜きの評価)