

# 原始惑星系円盤の進化

北海道大学理学院宇宙物理学専攻惑星宇宙グループM1

有馬 銀河

現在の銀河系の観測結果から、太陽や惑星系は分子雲の中で形成されたと考えられている

形成は次の3つの段階があった

① Infall

② 内部進化

③ Clearing

# 1. INFALL STAGE



分子雲のコアが高密になる



崩壊が始まる

材料物質がなくなるか恒星風の流れることができるまでの間、内側に向かって進行

このタイムスケールは $\sim 10^5$ - $10^6$ 年（コアのフリーフォールタイムに匹敵）

$$t_{ff} = \left( \frac{3\pi}{32G\rho} \right)^{1/2}$$

- ①角運動量の低いガスや塵が中心に向かって落下  
⇒原始星が形成
- ②角運動量の高い物質が原始星に向かって落下  
⇒遠心力のために原始星に到達できない
- ③系の赤道面に落ちてきたガスと塵の混合物が反対側から  
落ちてきた物質と出会う  
⇒面に対して垂直方向の運動が打ち消される



円盤形成

# 円盤形成

円盤内でガスと塵の混合物の力学的エネルギーが熱として失われる

⇒特に内側の部分でかなりの熱が放出される

面に対して垂直方向の運動が打ち消される

⇒最初に崩壊する分子雲コアの回転軸に垂直になるように円盤の赤道面ができる

# 円盤形成

- コアの角運動量の方角：円盤の平面を決める
- コアの角運動量の大きさ：物質の分配を決める

無限遠から円軌道に向かって $r_{\odot}$ で落下するガスの塊を考える

- 単位質量あたりの重力エネルギーの半分は軌道運動エネルギーに変換

$$\frac{GM_{\text{protostar}}}{2r_{\odot}} = \frac{v_c^2}{2} \quad (13.9)$$

- 残りの半分は熱に利用



- 残りの半分は熱に利用

1AU,  $M_{protostar}=1M_{\odot}$ を仮定すると, 円周速度は  $v_c=30\text{km/s}$

もしエネルギーが逃げなければ, 水素ガスの温度は $\sim 7.0 \times 10^4\text{K}$



放射冷却のタイムスケール  $\ll$  加熱時間

⇒実際にはこれほど高い温度に達することはない

ガスが星雲のコアに落下するとき, 降着する際に急激に減速

⇒星雲内の最高温度は物質が星雲内を通過する際のものに依存

原始惑星形成のモデルでは円盤内でガスが通過した直後

- 1AU  $\Rightarrow$  1500K
- 10AU  $\Rightarrow$  100K

中心方向への重力 = 外側に向かう遠心力  
星雲の赤道面への重力 = 圧力勾配



ガス密度と圧力の鉛直方向の変化は

$$\rho_{gz} = \rho_{gz_0} e^{-z^2/H_z^2} \quad (13.10a)$$

$$P_z = P_{z_0} e^{-z^2/H_z^2} \quad (13.10b)$$

ここで,  $H_z$  は

$$H_z = \sqrt{\frac{2kTr_{\odot}^3}{\mu_a m_{amu} G_{\odot} M}}$$