

# 原始惑星系円盤の構造とSED

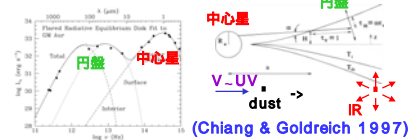
## : ダスト形状の影響

野村 英子、浅田 章大、浦川 聖太郎、岡田 靖彦、  
中村 吉宏、向井 正 (神戸大自然科学)

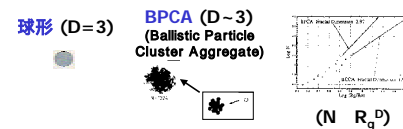
**概要** 原始惑星系円盤の温度構造は、円盤内ダストによる中心星からの放射の吸収、再放射により決定される。従って、円盤構造ひいては惑星形成は、円盤内ダストの性質に依存する。一方で円盤内で合体成長したダストは、球形ではなく不規則形状となることが示唆されている。本研究では、円盤内ダストの形状が円盤の温度構造、SEDに及ぼす影響を調べた。具体的には、Mie理論、MG-Mie理論により球形及びBPCAのダスト光学特性をそれぞれ求め、さらに二次輻射輸送計算により円盤の密度・温度構造、SEDを計算した。その結果、主にダスト質量吸収係数の波長依存性、絶対値の違いにより、温度分布、SEDに違いが現れた。また、ダストサイズによる違いも比較し、ダストサイズ成長とSEDの関係に及ぼす影響を議論した。

### INTRODUCTION

#### 原始惑星系円盤のスペクトル分布(SED)



#### ダストの形状

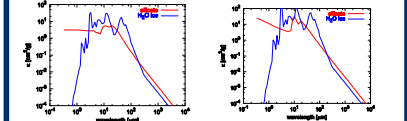


中心星からの照射加熱 & 円盤内ダストの性質  
円盤の構造、SEDに影響

2次元輻射輸送計算  
原始惑星系円盤の温度・密度分布  
ダスト形状が円盤構造・SEDに及ぼす影響

### ダストの光学特性

吸収効率  $Q_{abs}(a, \lambda)$  の計算  
球形: Mie 理論  
BPCA: Maxwell-Garnet 則 + Mie 理論 (P202 岡田他のポスター参照)  
質量吸収係数  
 $\kappa_{abs,s}(a, \lambda) = (C_{abs,s}(a, \lambda)/m_s) \rho_s$ ,  $C_{abs,s} = \pi a^2 Q_{abs,s}(a, \lambda)$   
 $m_s = (4/3)\pi \rho_s a^3$  (球形),  $(4/3)\pi \rho_s a_0^3 N$  (BPCA)  
ダスト半径:  $a = 0.1\mu\text{m}, 3\mu\text{m}, 100\mu\text{m}$   
構成成分: Astronomical Silicate, H<sub>2</sub>O Ice  
以下、 $\kappa_v = \kappa_{abs,s}(a, \lambda) + \kappa_{abs,ice}(a, \lambda)$   
球形,  $a=3\mu\text{m}$       BPCA,  $a=3\mu\text{m}$



**円盤モデル**

z方向の静水圧平衡

$$c_s^2 \frac{dp}{dz} = -\rho g_z = -\frac{\rho GM_* z}{(x^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$c_s^2 = 2kT/\mu m_p, M_* = 0.5 M_\odot$$

エネルギー・バランス (円盤面密度:  $\Sigma$ )

$$\frac{9}{4} \Sigma c_s^2 \Omega = \frac{3GM_* \dot{M}}{8\pi x^3} \left[ 1 - \left( \frac{R_*}{x} \right)^2 \right]$$

$$M_{acc} = 10^{-8} M_\odot/\text{yr} (\text{r} = \text{const.}), \alpha = 0.01$$

局所輻射平衡 (吸収=再放射)

$$\int_0^\infty dv \kappa_v \int_0^\infty I_\nu d\Omega = 4\pi \int_0^\infty dv \kappa_v B_\nu(T_{gr})$$

加熱源 (P223 浅田他のポスター参照)

(A) 赤道面における粘性加熱 (粘性)

$$Q_{vis} = (9/4) \Sigma \alpha c_s \nu \Omega^2$$

(B) 中心星からの照射加熱

$$Q_{star} = \sigma T_*^4, T_* = 4000\text{K}$$

輻射輸送方程式(軸対称 2次元)

$$\frac{dI}{dr} = \rho \kappa_v (B_\nu - I_\nu)$$

$$I_\nu(r, \theta; \mu, \phi) = \int_0^\infty \kappa_\nu \rho(r', \theta') B_\nu(T(r', \theta')) e^{-\tau} d\tau$$

球座標 Short characteristic 法 (Dullemond & Turloula 2000)

**円盤の温度構造とSED: 球形 vs. BPCA**

ダスト温度分布      SED      吸収係数 (Si)      フラックス計算

結果

短波長での吸収係数の傾き  
星からの光をよく吸収  
 $x=1\text{AU}$  で  
 $a=0.1\mu\text{m}$  では、球形  
 $a=3\mu\text{m}$  では、BPCA  
の方がダスト温度  
 $a=100\mu\text{m}$  では、同程度

長波長側に対する  
短波長側の吸収係数の比  
円盤内縁部から円盤外縁部へ熱を効率よく輸送  
 $x=10\text{AU}$  で  
 $a=3\mu\text{m}, 100\mu\text{m}$  では、  
BPCAの方がダスト温度  
 $a=0.1\mu\text{m}$  では、同程度

球形に比べBPCAの方が  
質量吸収係数 (fluffy)  
全体的に放射フラックス

**ダストサイズ成長とSED**

SED      吸収係数 (Si)

10 $\mu\text{m}$  シリケート: (P323 中村他のポスター参照)  
 $a=3\mu\text{m}$  で球形: emission なし、BPCA: あり  
電波波長領域の冪指数:  
球形:  $a \sim \lambda$  で吸収係数に超過 サイズ成長で冪指数 /  
BPCA: 超過なし サイズ成長しても冪指数変わらず

**放射フラックス分布**

半径分布

$$dS_\nu/dx = (2\pi x/4\pi d^2) \int_0^\infty \kappa_\nu \rho B_\nu(T_{dust}) e^{-\tau} dz$$

$a=3\mu\text{m}$

Z分布

$$E_{rad} = \kappa_\nu \rho B_\nu(T_{dust}) e^{-\tau}$$

$a=3\mu\text{m}$

半径分布: 各波長における主な放射領域  
 $\lambda=1\mu\text{m}$ : 星近傍、 $\lambda=10\mu\text{m}$ :  $R < 0.1\text{AU}$ 、  
 $\lambda=100\mu\text{m}$ : 円盤全体  
Z分布: 赤道面付近は光学的に厚く、放射は観測できない。

**まとめ**

2次元輻射輸送計算  
原始惑星系円盤の温度・密度分布  
ダスト形状の円盤構造、SEDへの影響  
球形(Mie理論) vs. BPCA(MG-Mie理論)

ダスト質量吸収係数の  
{ 波長依存性の違い 温度分布に影響  
{ 絶対値の違い 放射フラックスに影響

ダストサイズ成長とSEDへの影響  
BPCAの場合、ダストが成長しても  
シリケートは emission として表れる  
電波波長領域の冪指数は変化しない  
ことを確認した