

系外惑星系の不規則形状ダストの温度・放射特性

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

宇宙空間に漂う不規則形状ダストの形状による温度・放射特性を知る上でダスト自身の光学特性を知る必要がある。本研究においてはDDA手法およびMG-Mie法を用いて光学特性を求め、不規則形状および球形でのダストの温度・放射特性を調べた。

ダストの形状

下記二種類の形状に対して同体積のダストの温度・放射特性を考察する。

球形粒子



BPCA粒子*)



*) Ballistic Particle-Cluster Aggregate

不規則形状ダストの光学特性の計算手法

温度・放射特性を知る上で下記の二種類の光学特性が必要となる。

吸収断面積: $C_{abs}(a, \lambda, m)$ 放射圧断面積: $C_{pr}(a, \lambda, m)$
ここで、 a :ダスト半径、 λ :波長、 m :複素屈折率

DDA(Discrete Dipole Approximation)

Draine (1988, Astrophys. J., 333, 848)

-不規則形状を微小粒子の集合に置き換えることにより光学特性の計算を行う。
-大粒子については構成粒子数の増大のために計算時間、メモリ使用量、誤差の増大により計算が不可能となる。

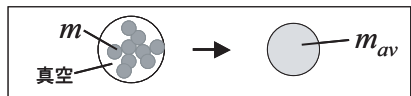
Maxwell-Garnett混合則+Mie理論 (MG-Mie法)

Mukai et al. (1992, Astron. and Astrophys. 263, 315-320)

-真空(球形)にダストが混ざったものとして有効複素屈折率 m_{av} を求める。
- m_{av} を用いることにより球形としてMie理論を適用し光学特性を求める。

$$m_{av}^2 = 1 + 3f \frac{m^2 - 1}{(m^2 + 2) - f(m^2 - 1)} \quad f = (V_{in} / V)$$

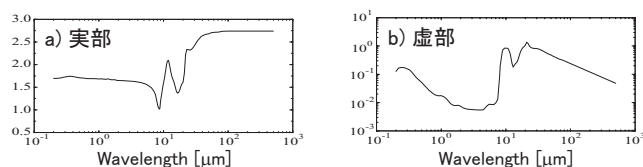
m :ダストの複素屈折率、 V :球形粒子の体積、 V_{in} :ダストの体積



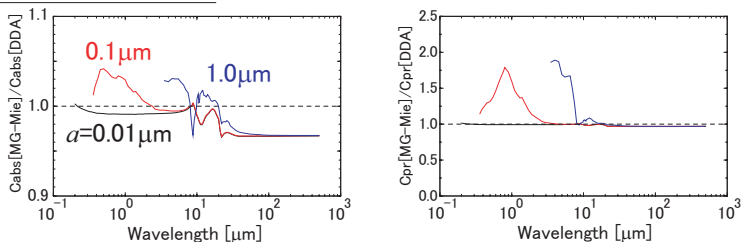
ダストの光学定数

pyroxene: $Mg_x Fe_{1-x} SiO_3$ ($x=0.4$)

Dorschner et al. (1995, Astron. and Astrophys., 300, 503-519)

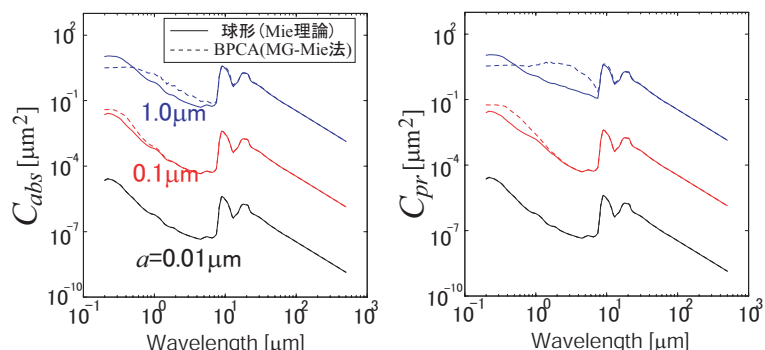


誤差 (MG-Mie/DDA)



C_{abs} はMG-Mie法とDDA法においてよい一致(誤差10%以内)を示した。
一方で C_{pr} は短波長側においてMG-Mie法の値がDDAの2倍に達した。

同体積の球とBPCAとの C_{abs} , C_{pr} の違い



ダスト半径 a が大きくなるにつれて短波長側での形状による光学特性の違いが大きくなった。

ダストの温度特性

ダストの昇華が起こらない環境において、吸収および放射のバランスよりダスト温度 T_g が決定される。

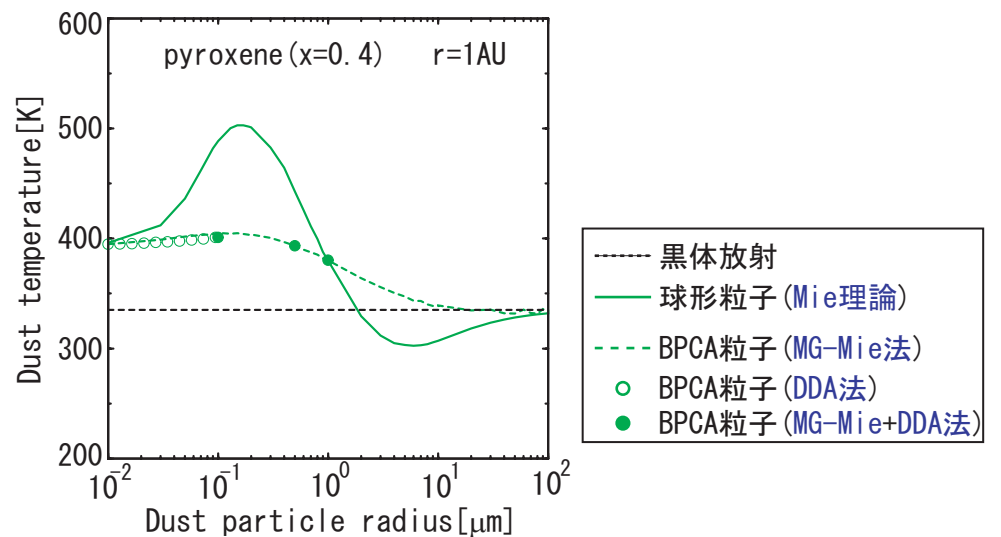
$$\text{吸収: } E_a = \pi \left(\frac{R_S}{r} \right)^2 \int_0^\infty C_{abs}(a, \lambda, m) B_\lambda(T_S) d\lambda$$

$$\text{放射: } E_r = 4\pi \int_0^\infty C_{abs}(a, \lambda, m) B_\lambda(T_g) d\lambda$$

r :ダスト-恒星間距離 R_S :恒星半径 T_S :恒星表面温度
 C_{abs} :ダストの吸収断面積 a :ダスト半径 λ :波長
 m :ダストの複素屈折率 $B_\lambda(T)$:温度Tのプランク関数 T_g :ダスト温度

中心星の例としてHD88133を用いる

スペクトル型 G5IV型 半径 $R=1.93 \pm 0.06 R_\odot$ 質量 $M=1.2 \pm 0.2 M_\odot$
("The Extrasolar Planetary Encyclopaedia", <http://www.obspm.fr/encycl.html>より)



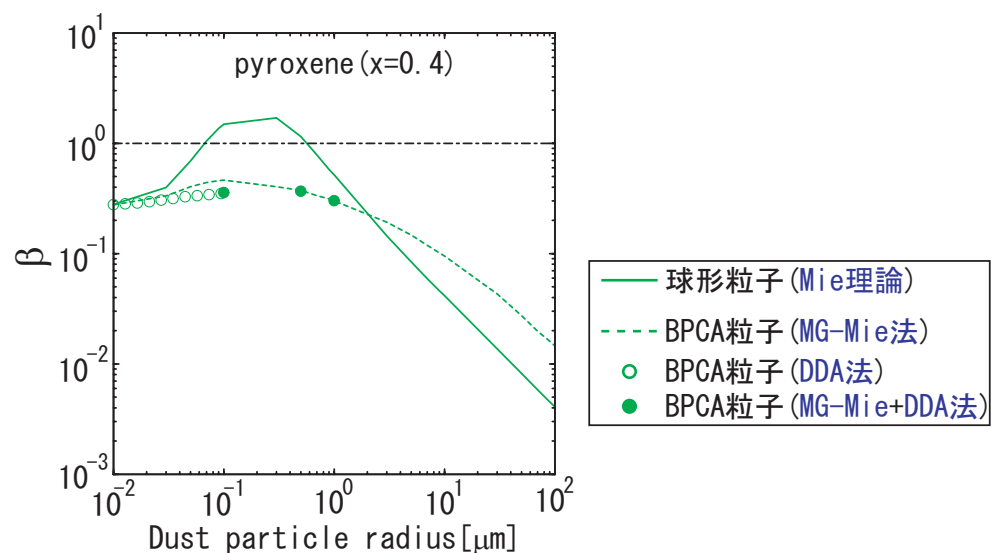
温度特性に関しては小さなダストは球形のものが温度が高く、一方で大きなBPCA粒子は球形よりも高い温度を示した。

ダストに働く放射圧/重力(β)

β は下記で定義される。

$$\beta = \frac{\pi R_S^2}{GM_S m c} \int_0^\infty B_\lambda(T_S) C_{pr} d\lambda$$

R_S :恒星(HD88133)の半径 M_S :恒星質量 T_S :恒星表面温度
 C_{pr} :ダストの放射圧断面積 m :ダストの質量 λ :波長
 G :万有引力定数 $B_\lambda(T)$:温度Tのプランク関数 c :光速



球形粒子では β のダスト半径依存性が大きく、一方でBPCA粒子ではサイズ依存性が小さい。また、MG-Mie法によるDDA法との光学特性導出誤差(~2倍)は β 値において30%程度となることがわかった。

DDA法およびMG-Mie法を用いて不規則形状粒子の温度・放射特性を調べた。

温度特性に関してはMG-Mie手法はDDA法と良い一致を示した。

光学特性において2倍程度の誤差が生じたが、放射特性 β 値においては30%程度の誤差となった。