

5. 星間塵 interstellar dust

5-1. composition, physical properties 星間塵の組成・物理量

星間物質の 1~2% が ^{solid state grains} 固体微粒子
(塵, dust)

ガス(分子/原子)に比べて
光との相互作用が非常に強い
→ 銀河の SED に 大きな影響

composition 1) 組成

^{silicate}
シリケート: 珪酸塩 ~~Mg_2SiO_4, Fe_2SiO_4~~
Olivine かんらん石 $(Mg, Fe)_2SiO_4$
Pyroxene 輝石 $(Mg, Fe)SiO_3$

結晶質 / 非晶質
crystalline amorphous

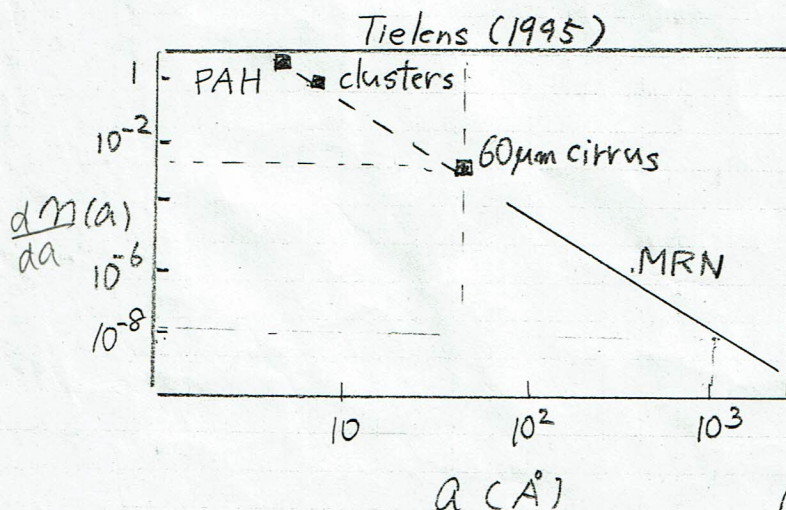
^{graphite}
グラファイト: 炭素 (crystalline / amorphous)

^{ice}
アイス: $H_2O, CO_2, NH_3 \dots$

有機物: ^{Hydrocarbons}

PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)
炭素原子数 20~1000 の高分子

Size distrib. 2) サイズ分布



MRN モデル

$$dM(a) \propto a^{-3.5} da$$

(5-1)

a : 塵の半径 $10^4 A = 1 \mu m$

$$a_{min} = 0.005$$

$$a_{max}$$

Mathis, Rumpel, & Nordsieck
(1977)

3) 星間塵の生成と消滅 formation/destruction process

生成: 晩期型星からの質量放出

mass loss from late-type stars
超新星残骸, 新星

消滅: 星形成 (高温のため昇華)
宇宙線による破壊

5-2. 星間吸収 Interstellar Attenuation

1) 減光係数 $Q_{\text{ext}}(\lambda)$
Extinction coeff.

$$\tau_{\lambda}^d = \pi a^2 Q_{\text{ext}}(\lambda) N_d \quad (5-2)$$

πa^2 : 幾何学的断面積

$N_d = \int n_d ds$ 塵の柱密度
column density of dust grains

$$Q_{\text{ext}}(\lambda) = Q_{\text{abs}}(\lambda) + Q_{\text{sca}}(\lambda) \quad (5-3)$$

吸収 散乱

$$\lambda/a \ll 1 \quad Q_{\text{abs}} = Q_{\text{sca}} = 1$$

$$\lambda/a \gg 1 \quad Q_{\text{abs}} \gg Q_{\text{sca}} \quad Q_{\text{abs}} \propto \lambda^{-1}$$

(レイリー散乱) $Q_{\text{sca}} \propto \lambda^{-4}$

赤外・サブミリ $\lambda \gg a \sim 0.1 \mu\text{m}$

$$Q_{\text{abs}}(\lambda) = 0.3 \left(\frac{\lambda}{0.55 \mu\text{m}} \right)^{-\beta} \quad (5-4)$$

$\beta = 1-2$

2) 減光曲線

<等級の定義>

$$m - m_0 = -2.5 \log_{10} \frac{f}{f_0} \quad (5-5)$$

減光等級 Extinction Magnitude

$$f_{\lambda} = f_{\lambda(0)} e^{-\tau_{\lambda}^d}$$

$$A_{\lambda} = -2.5 \log_{10} e^{-\tau_{\lambda}^d} = 1.086 \tau_{\lambda}^d \quad (5-6)$$

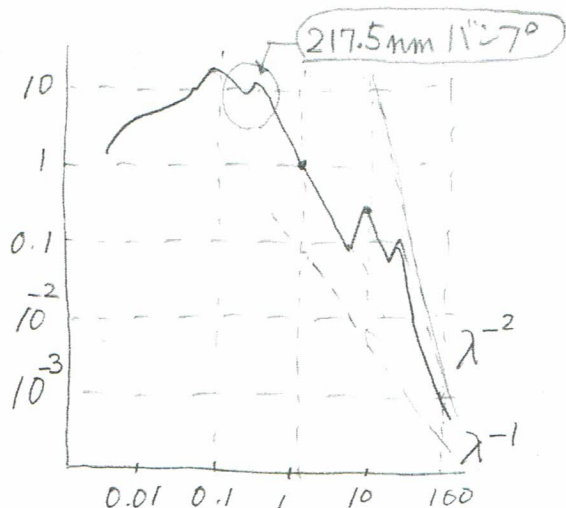
色超過 color excess : 波長による減光量の差

$$E_{\lambda_1 - \lambda_2} = A_{\lambda_1} - A_{\lambda_2} \quad (\lambda_1 > \lambda_2) \quad (9.7)$$

$$m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = m_{\lambda_1}^0 - m_{\lambda_2}^0 + E_{\lambda_1 - \lambda_2}$$

みかけの色
(観測量)

もとの色
星のスペクトル型
がわかればわかる。



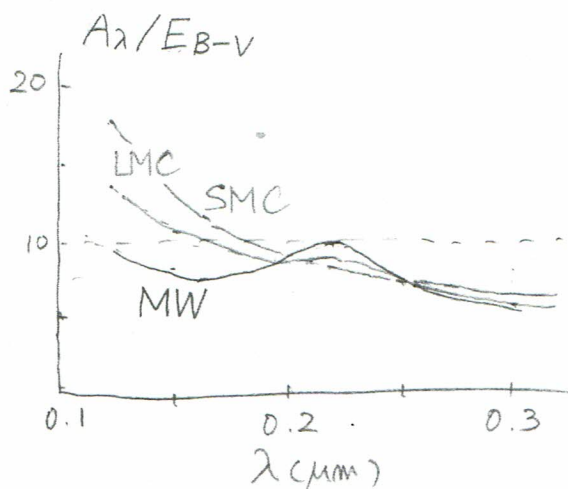
銀河系の平均減光曲線

$$\left(\lambda = 1.25 \mu\text{m} \text{ で } G(A_\lambda) \right. \\ \left. \text{を規格化} \right)$$

$$A_V = 3.1 E_{B-V} \quad (9.8)$$

B: 0.44 μm

V: 0.55 μm



減光曲線は「銀河の金属度」
でわかる!

金属度: H, He 以外の元素
(重元素)の割合

HIガスと星間塵

柱密度がよく相関

$$\text{MW (銀河系)} \quad \frac{N_H}{E_{B-V}} = 5.8 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} / \text{mag}$$

$$\text{LMC} \quad 2.0 \times 10^{22}$$

$$\text{SMC} \quad 4.6 \times 10^{22}$$

$$(9.8) \text{より} \quad \text{MW での } N_H / A_V = 1.9 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} / \text{mag}$$

(9.9)
(9.9)
5

5 Radiation from dust

5-3 星間塵からの放射

Dust in thermal equiv.

- 熱平衡ダスト

$$\int \pi B_{\lambda}(T) 4\pi a^2 Q_{abs} d\lambda = \int \pi J_{\lambda} 4\pi a^2 Q_{abs}(\lambda) d\lambda$$

$$\int \pi B_{\lambda}(T) Q_{abs}(\lambda) d\lambda = \int \pi J_{\lambda} Q_{abs}(\lambda) d\lambda \quad (5.10)$$

πJ_{λ} : 星間放射場 (interstellar radiation field)

ISRF $\int \pi J_{\lambda} d\lambda = 1.6 \times 10^{-3}$

詳細より
(~~Kirchhoff's law~~ $Q_{abs}(\lambda) = Q_{em}(\lambda)$)

Solar neighborhood

太陽近傍の ISRF: $\int \pi J_{\lambda} d\lambda \approx 1.6 \times 10^{-3} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (5.11)$

UV ~ NIR (Habing 1968)

(5.10) より 太陽近傍では $T \approx 20 \text{ K}$

ダストの柱密度 N_D の一様な星間雲の面輝度は

$$I_D(\lambda) = B_{\lambda}(T) (1 - e^{-\tau_{\lambda}}) \quad (5.12)$$

$$= \tau_{\lambda} B_{\lambda}(T) \quad \tau_{\lambda} \ll 1$$

$$\tau_{\lambda} = \pi a^2 Q_{abs}(\lambda) N_D$$

ISRF: 星の光: UV ~ NIR $\rightarrow Q_{abs}(\lambda) \sim \text{一定}$

ダストからの熱放射は遠赤外 ~ サブミリ波

$$\rightarrow Q_{abs}(\lambda) \sim \lambda^{-n}$$

このとき (5.10) から

$$T \sim (ISRF)^{1/(4+n)} \quad (5.13)$$

$$I_D(\lambda) = B_{\lambda}(T) (1 - e^{-\tau_{\lambda}}) \quad (2.11)$$

$$\tau_{\lambda} = \pi a^2 Q_{abs}(\lambda) N_D$$

Trajectory heated dust.

- 過渡的¹⁵加熱されたダスト

ダスト粒子が非常に小さい ($a < 5 \text{ nm}$) と

Heat Capacity 熱容量が小さいので ISRF 光子の吸収により
温度が著しく上昇 (すぐ自身の放射で冷却).

ダストは 温度分布をもつ: $\frac{dP}{dT}$
temperature distrib.

この時の面輝度

$$I_D^{(2)}(\lambda) = \pi a^2 Q_{\text{abs}}(\lambda) N_D \int_0^{T_{\text{sub}}} B_{\lambda}(T) \frac{dP}{dT} dT \quad (5.14)$$

T_{sub} : 昇華温度 ($\sim 1000 \text{ K}$)

$\lambda = 10 \sim 60 \mu\text{m}$ に $T = 20 \text{ K}$ をはるかに超える「高温」放射

- 赤外未同定バンド

Unidentified Infrared Band (UIBs)

Lorentz 関数型のバンド輝線

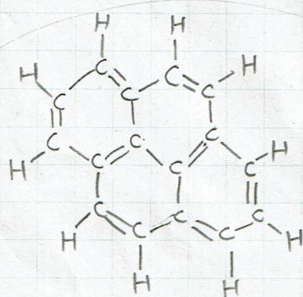
$$F(\nu) = \frac{A}{\pi I} \left[1 + \left(\frac{\nu - \nu_0}{I} \right)^2 \right]^{-1} \quad (5.15)$$

R2-p7~9

IRTSの
成果の
代表の絵

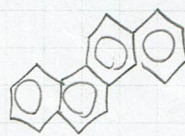
$\lambda (\mu\text{m})$	$\nu_0 (\text{cm}^{-1})$	$I (\text{cm}^{-1})$	(Takagi et al. 2003)
3.3	3030	23.5	
6.2	1610	36.5	
7.7	1300	59.0	
8.6	1160	34.5	
11.3	885	17.0	
12.7	787	32.5	

PAHの絵!!

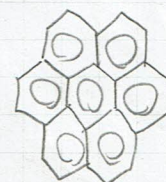


Pyrene $\text{C}_{16}\text{H}_{10}$

起源はおそらく PAH



Chrysene



Coronene