

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 701:2019-2032, 2009 AUGUST 20

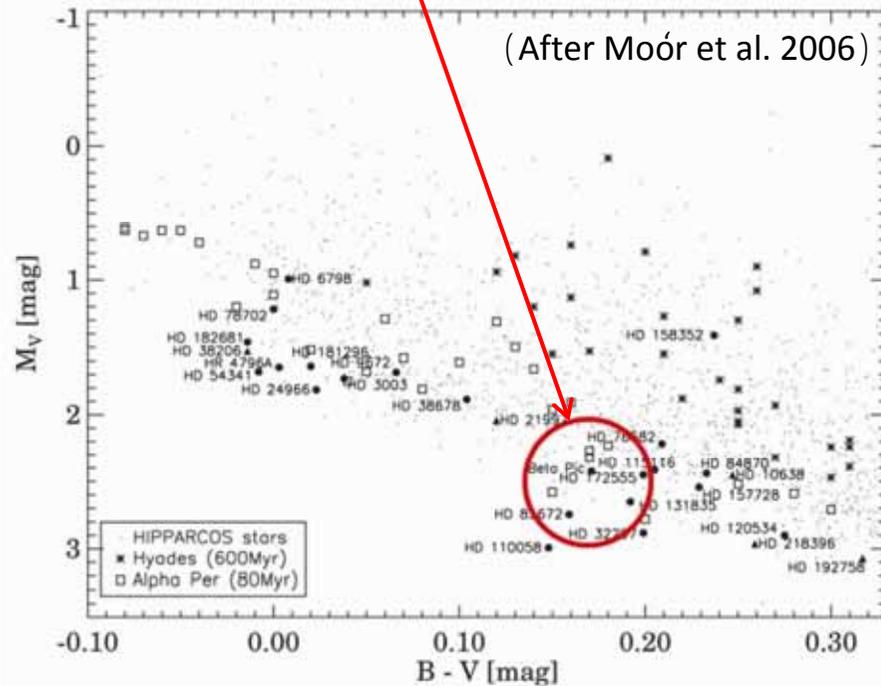
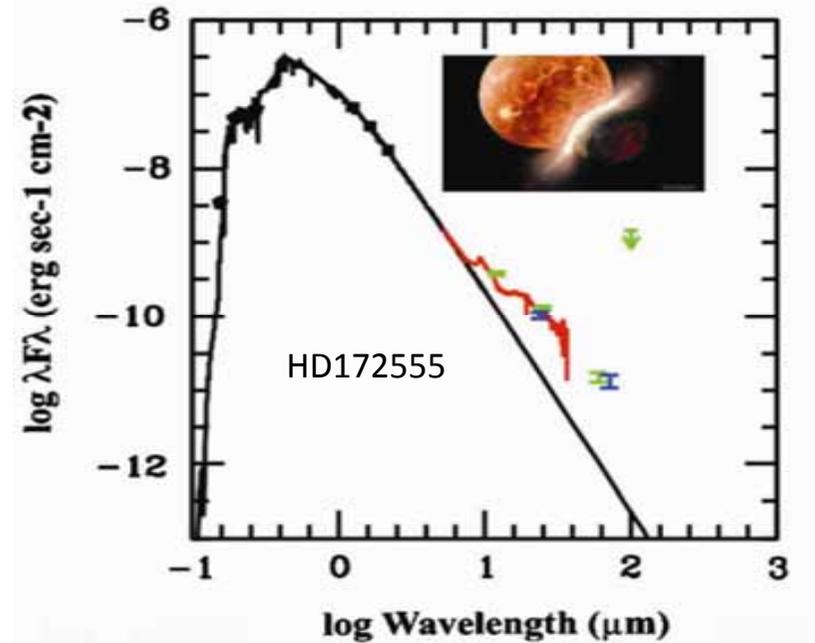
**ABUNDANT CIRCUMSTELLAR SILICA DUST
AND SiO GAS CREATED BY
A GIANT HYPERVELOCITY COLLISION
IN THE ~ 12 MYR HD172555 SYSTEM**

C. M. LISSE, C. H. CHEN, M. C. WYATT, A. MORLOK,
I. SONG, G. BRYDEN, AND P. SHEEHAN

神戸大 M1 高沢 晋

1. Introduction

< HD172555 (A5V star) >
地球からの距離は29.2pc
年齢は ~ 1200万年
中間赤外域に高い放射を持つ
が 座 星のグループ



が 座 星はダストからなる
広がった星周円盤を持っている

HD172555も大きな星周円盤
を持っている？

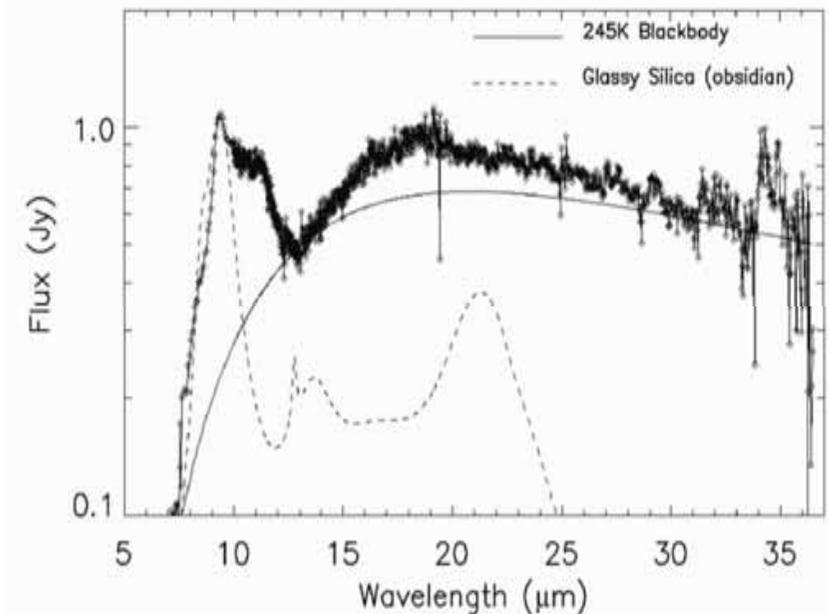
ハッブル宇宙望遠鏡にコロナグラフを付けてHD172555の散乱光を観測 (D. Ardilla et al. 2009)

半径15AUより外側には星周円盤は見られない

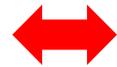
→ 多くの星周物質は15AUよりも内側にある

HD172555のスペクトル分布は
~ 245Kの黒体放射に最も合う

ダストの温度は比較的高く、
中心星から3 ~ 4AUに位置する
(HSTの結果と調和的)



HD172555の年齢は
1000 ~ 1200万年



地球型惑星の形成時期
に近い

(Wetherill 1990; Yin et al. 2002)

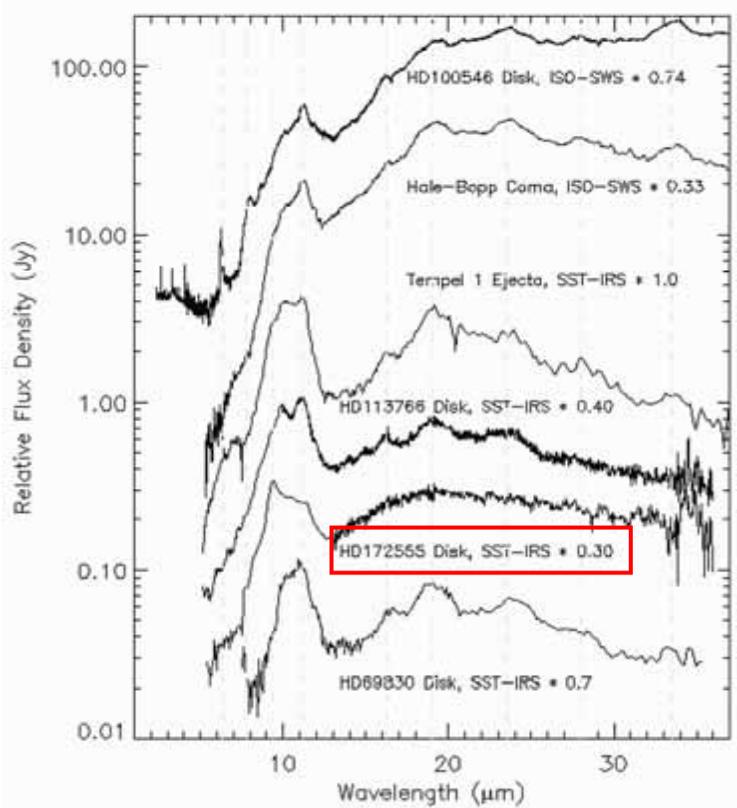
地球型惑星の形成過程を知るためにも、HD172555を
調べることは重要である

< 本論文の目的 >

HD172555のスペクトル分布の特徴(中間赤外域における
強い放射)を用いてダストの主成分を分析し、ダストの量・
位置する場所・温度などを調べる

2.1. Observations

観測天体: HD172555 (2004年3月)
望遠鏡: スピッツァー赤外線望遠鏡
観測波長: 5.2-14.0 μm (/ ~ 90)
9.9-19.6 μm (/ ~ 600)
18.7-37.2 μm (/ ~ 600)



HD172555のスペクトル分布を 他の天体のスペクトル分布と比較

HD100546: A0 star

有機物に富む若い星

Hale-Bopp Coma

Tempel 1 Ejecta

HD113766: F5 star

岩石質惑星を形成している若い星

HD69830: 濃い惑星間塵を持つ主系列星

2.2.1. Deep Impact

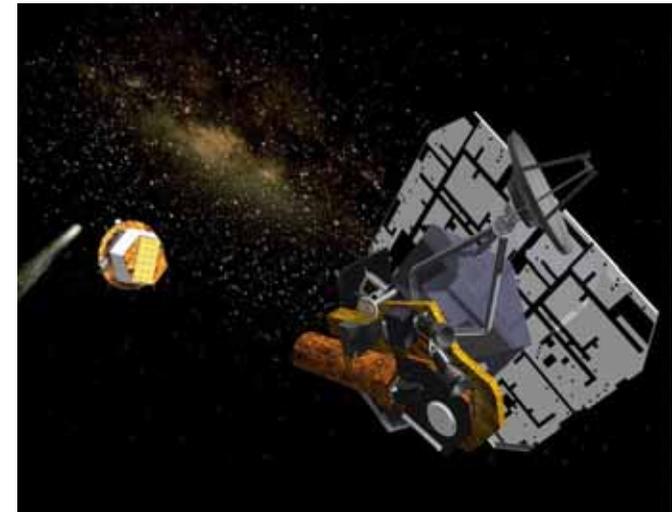
HD172555のスペクトル分布の特徴を理解するために、
ディープ・インパクトとそのスピッツァーによる赤外線観測
結果を用いたTempel 1 ダストモデルを使う

< ディープ・インパクト (2005年7月4日) >

太陽から1.51AUに位置する
彗星「Tempel 1」に、質量370kgの
インパクターを速度10.2km/sで
衝突させた



彗星からのエジェクタをスピッツァー
望遠鏡により赤外線観測



Computer rendering of the Deep Impact space probe after separation of the impactor (credit NASA/JPL)

2.2.2. Thermal Emission

ダスト雲の放射フラックスは次のように計算される

$$F_{\lambda, \text{mod}} = \frac{1}{\Delta^2} \sum_i \int_0^\infty B_\lambda(T_i(a, r_*)) Q_{\text{abs},i}(a, \lambda) \pi a^2 \frac{dn_i(r_*)}{da} da,$$

T : 粒子温度 a : 粒子半径 l : 組成 r_* : 中心星からの距離
: 望遠鏡からの距離 B : 波長 の黒体放射

Q_{abs} : 組成 i 波長 のときの放射効率

dn/da : 半径 a の粒子の数

ダストの組成



Emissionの位置

ダストのサイズ



Emissionと連続波の強度比

ダストの温度



短波長成分と長波長成分の相対強度

これら3つの効果について考える

2.2.3. Composition

Tempel 1 エジェクタの組成を決定するため、Tempel 1 エジェクタのスペクトルと実験室で得られたさまざまな物質のスペクトルとを比較

惑星間ダストや隕石、彗星、YSOs、デブリ円盤に存在が報告されている物質などを比較に用いた

結果、主に以下の物質がTempel 1 エジェクタを作っていることがわかった (Lisse et al. 2006)

Ca/Fe/Mg-rich silicate, Carbonates, Phyllosilicates, Water-ice, Amorphous carbon, Ionized PAHs, Fe/Mg sulfides

これらの物質で他の彗星ダストやYSOs、デブリ円盤のスペクトルを説明できた (Lisse et al. 2006, 2007a, 2007b, 2008)

2.2.4. Particle Size Effects

粒子サイズを 0.1-1000 μm の範囲にとる

放射率の粒子サイズ効果は次式のように仮定する

$$1 - \text{Emissivity}(a, \lambda) = [1 - \text{Emissivity}(1 \mu\text{m}, \lambda)]^{(a/1 \mu\text{m})}.$$

サイズの小さい粒子は鋭いピークのあるスペクトルを持つ
サイズの大きい粒子には鋭いピークは見られない

Tempel 1 のエジェクタもHD172555もスペクトルに鋭いピーク

➔ 小さい粒子 ($\sim \mu\text{m}$) が多く存在

Tempel 1 のエジェクタは0.5-2.0 μm のものがほとんど
(Lisse et al. 2006)

➔ HD172555のダストも小さい粒子が支配的
(傾きの急)なサイズ分布をしていると考えられる

2.2.5. Particle Temperature

ダストの温度はその組成とサイズによって変わる

最も小さいダストの温度 T_{dust} は、データに合うように決定

得られた T_{dust} を下式に入れてHD172555とダスト間の距離 r_* を求める

$$T_{dust} = T_{T1ejecta} (L_*/L_{solar})^{1/4} (1.51 \text{ AU}/r_*)^{1/2},$$

T_{dust} : HD172555の星周ダストの温度

$T_{T1ejecta} \sim 340\text{K}$ (Lisse et al. 2006)

L_* : HD172555の放射光度

L_{solar} : 太陽の放射光度

r_* : ダストとHD172555との距離

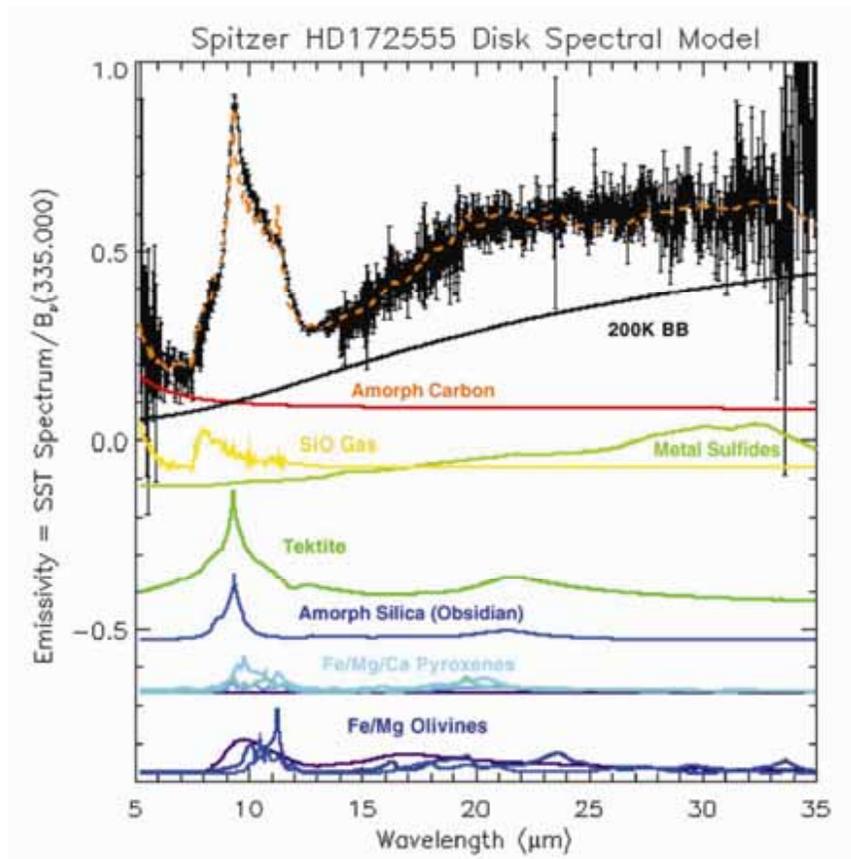
最も大きいダストの温度は熱平衡温度 (LTE) を使う

その間のサイズのダストの温度は内挿

3.1. Dust Composition

Tempel 1 エジェクタの組成モデルではHD172555の星周ダストのスペクトルを説明できない

HD172555の7-13 μm のスペクトルの特徴とよく合うのは黒曜石やテクタイト(アモルファスシリカ)



温かく小さいダスト
($\sim \mu\text{m}$)の集まり

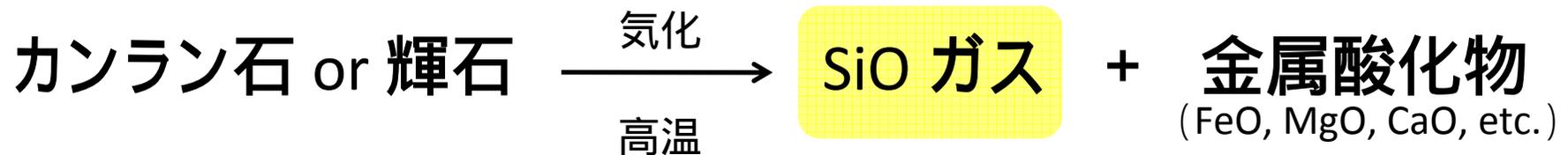
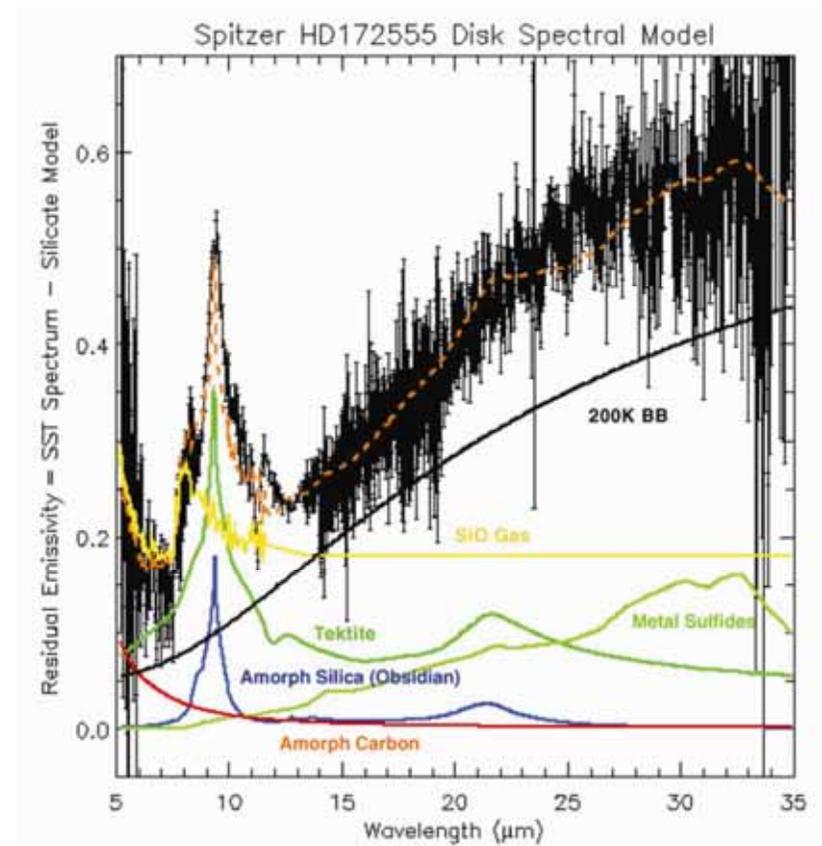
黒曜石やテクタイトは地球上の溶岩や衝突クレーターに見られる(岩石の急熱急冷によってできる)

→ HD172555の星周ダストの起源は天体衝突？

よくあるシリケートのスペクトルを
取り除くと・・・

7.5-10 μm に鋭いピークが2つ
5-6 μm にノイズのあるピーク

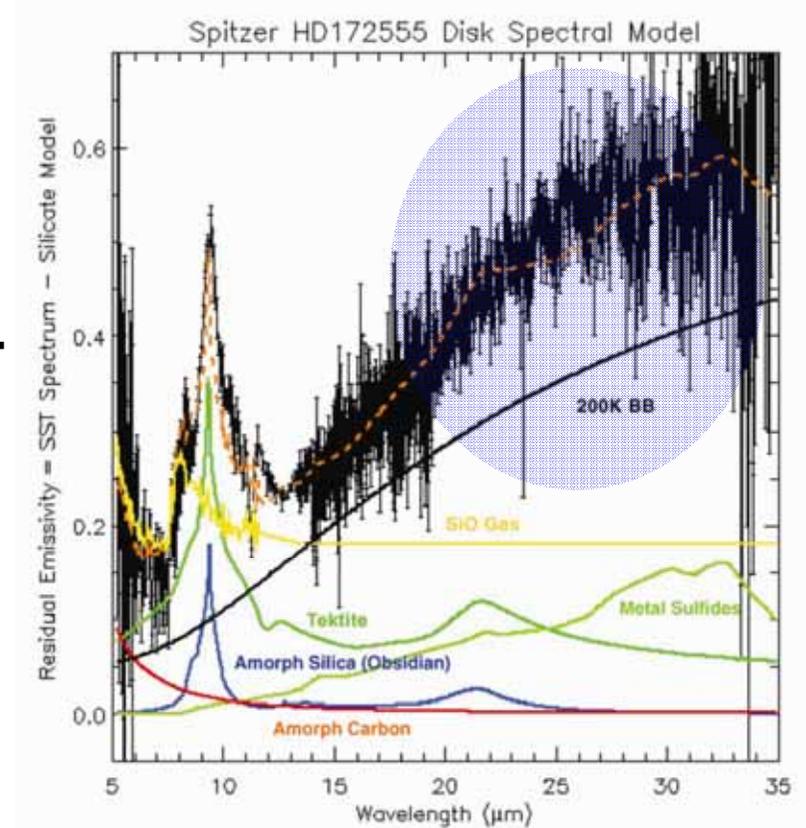
このようなスペクトルを持つ
固体物質は見当たらないが・・・
SiO ガスのスペクトルを入れると
ピークが説明ができる



ピークはそれで説明できたが・・・
長波長側の山を作っているものは何か？

大きなダスト ($> 100 \mu\text{m}$) の集まり
があって、それが200Kの黒体放射
をしていると考えれば説明できる

冷たく大きいダスト
($> 100 \mu\text{m}$) の集まり



サイズの大きな粒子は特徴的なスペクトルを持たないので、その組成はわからない

温かく小さいダストの全表面積の約80%の表面積をもつ

3.2. Dust Mass

サイズの小さい粒子ほど鋭いピークのあるスペクトルを持つ

シリカの鋭いピークができるように温かく小さいダストのサイズ分布を決めると、 $dn / da = a^{-3.95 \pm 0.10}$ (0.1 ~ 1000 μm)

- ➡ 衝突平衡状態のサイズ分布 $dn / da = a^{-3.50}$ よりも ~ μm のダストが多い
- ➡ ダストを供給するイベントがあった (0.1 Myr 以内)

サイズ分布から見積もられたダスト質量の下限値は、

$$4 \times 10^{19} \text{ kg}$$

(これは半径150kmの天体の質量に相当)

サイズの大きな粒子には特徴的なスペクトルが見られない

→ 冷たく ($\sim 200\text{K}$) 大きなダスト ($>100\ \mu\text{m}$) の集まりの組成がわからないため質量も不明

しかし、下限値を見積もることはできる

ダストは全て $100\ \mu\text{m}$ だと仮定し、その全表面積は温かく小さいダストの全表面積の約80%であるとする、その質量の下限値は、

$$10^{21} - 10^{22}\ \text{kg}$$

(これはCeresの質量に相当)

SiOガスの質量はCrovisier (2002)の式を用いて見積もる

SiO分子 $N_{\text{mol SiO}}$ 個が出す光のエネルギー (1 AU) は

$$N_{\text{mol SiO}} \times g \times h \quad g: \text{SiO分子が励起される確率}$$

これが地上に届く時には薄められ、それを観察する

$$F \quad d \quad (\text{観測エネルギー}) = N_{\text{mol SiO}} \times g \times h \quad / (r_h^4 \quad ^2)$$

r_h : HD172555 - SiOガス間の距離 : HD172555 - スピツツァ - 間の距離

これを变形すると

$$\begin{aligned} N_{\text{mol SiO}} &= 4\pi \Delta^2 r_h^2 \times F_\nu d \lambda / (g \times h \lambda) \\ &= 1.4 \pm 0.7 \times 10^{47} \text{ molecules} \end{aligned}$$

ここからSiOガスの質量を求めると、

$$1.1 \pm 0.6 \times 10^{22} \text{ kg}$$

3.3. Dust Temperature and Location

小さいダストの温度は、5-35 μm のスペクトルデータにもっともよく合う 305K とする

これを次式に入れる

$$T_{\text{dust}} = T_{T1\text{ejecta}}(L_*/L_{\text{solar}})^{1/4}(1.51 \text{ AU}/r_*)^{1/2},$$

$$T_{T1\text{ejecta}} \sim 340\text{K} \text{ (Lisse et al. 2006)} \quad L_* : \sim 9.5L_{\text{solar}} \text{ (Wyatt et al. 2007b)}$$

r_* (ダストとHD17255との距離) = $5.8 \pm 0.6 \text{ AU}$ を得る

熱平衡を考えると100 μm よりも大きいダストはこの距離だと $\sim 206\text{K}$ (調和的)

$5.8 \pm 0.6 \text{ AU}$ は、太陽系でいうとメインベルトの内側に相当

4.2. Formation Processes in HD172555

HD172555の星周ダストは、微惑星どうしの衝突
($V_{\text{impact}} > 10\text{km/s}$) でできたと考えたと説明がつく

衝突点の岩石が高温となり
気化



SiOガス

そのまわりから放出した破片
は溶融 急冷し、テクタイト
のようなアモルファスシリカを
作る



温かく小さいダスト
($\sim \mu\text{m}$)の集まり

深いところからサイズの
大きな破片が放出



冷たく大きいダスト
($>100 \mu\text{m}$)の集まり

5. CONCLUSIONS

- ・ HD172555は中間赤外域に特徴的なスペクトルを持つ
- ・ HD172555の星周ダストは大きく分けて以下の3種類

温かく小さい
ダストの集まり



~ μm のアモルファスシリカが支配的

冷たく大きい
ダストの集まり



>100 μm のダストの集まりで、固体ダストの質量の大部分を占めるが、その組成は不明

SiOガス



星周ダスト質量の主な成分の一つ
岩石微惑星どうしの衝突の証拠

- ・ HD172555の星周ダストは岩石微惑星どうしの衝突によってできたと考えられる