

【論文紹介】

Mid-infrared spectral variability for compositionally similar asteroids: Implications for asteroid particle size distributions

P. Vernazza a, et al., 2010, Icarus



鈴木絢子 (CPS)

まとめ



- 可視・近赤外域でほとんど同じ組成を持つ (ol/[ol+px]) 8つのS型小惑星の中間赤外域のスペクトルを比較したらバリエーションが見られた
- 実は本当に組成が異なるのではなく、表面の粒子サイズが異なるからだろうと解釈 (<5 μ m?)
- 実験的に、粒子サイズが変わると中間赤外域のスペクトルが変化することがわかっている [Ramsey and Christensen, 1998]
- 中間赤外スペクトルからだけで組成を推定するのは危険だが、組成が同じ (VNIR, アルベド) 小惑星同士の表面状態の比較には使えるかもしれない
- 粒径を制御したり、宇宙風化の影響を考慮した、良いスペクトルライブラリが必要

1. イントロ：小惑星の可視・近赤外分光



●小惑星の可視・近赤外域でのスペクトルは，表面組成を知るのに強力なツール

- 可視・近赤外域にケイ酸塩（かんらん石と輝石）の特徴があり
- 隕石グループとその母天体の関係を見つけることができる

●0.4-2.5 μm （可視・近赤外）：ケイ酸塩

●2.9-4.0 μm ：水，氷，炭酸塩

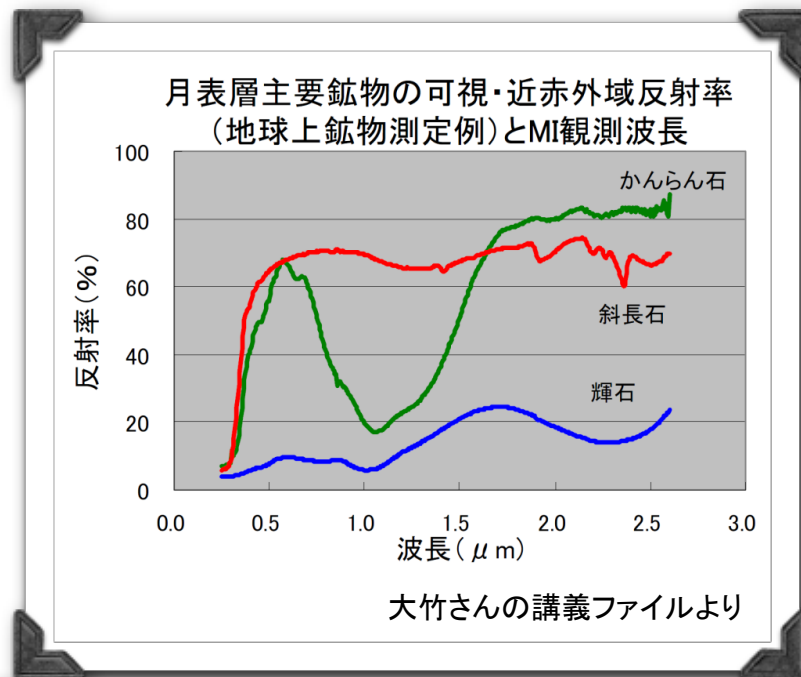
- 小惑星の主成分ではない（<10%）

●8-13 μm （中間赤外）：どうか？

1. イントロ：中間赤外での観測



- ◎火星：中間赤外のスペクトルを用いて、長石の量を同定した [Milam, et al., 2004]
 - 可視・近赤外域では、長石の同定は難しい。
- ◎同様なことを、小惑星にも応用してみる



本田親寿さんの CPS セミナー資料より

2. 観測方法とデータの取扱い



◎IRTFで観測

- NASA の地上赤外望遠鏡@マウナケア
- 0.4-2.5 μm で7つの小惑星を観測
- 8-14 μm で3つの小惑星を観測 (パリからリモートで)

◎Spitzerのデータも使用

- 赤外線宇宙望遠鏡 (2003年~)
- 液体ヘリウムで冷却して長波長まで観測できる
- 2009年に液体ヘリウムがなくなったが現在も観測中

3. 結果 > 3.1. 可視光域

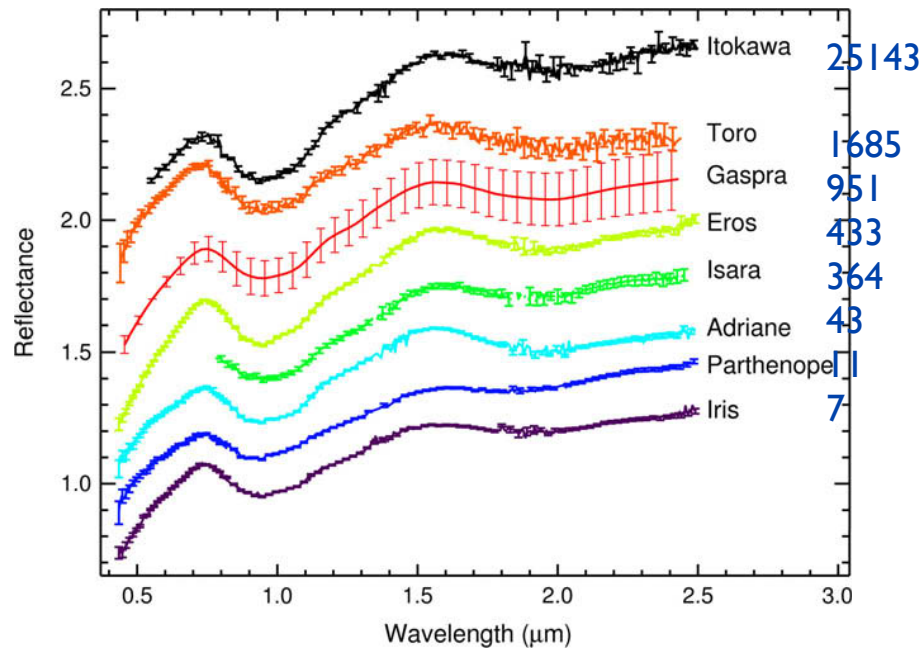


図1: 観測したS型小惑星のスペクトル

◎S型に含まれるスペクトルの特徴

- $<0.7\mu\text{m}$ に, 緩やか~急な赤化の傾き
- $1\mu\text{m}$ と $2\mu\text{m}$ に特徴的な吸収. かんらん石と斜方輝石のもの
- $1\mu\text{m}$ を横切って中立~急な continuum の傾きが存在

◎普通コンドライトのスペクトルと類似

3. 結果 > 3.1. 可視光域 (つづき)

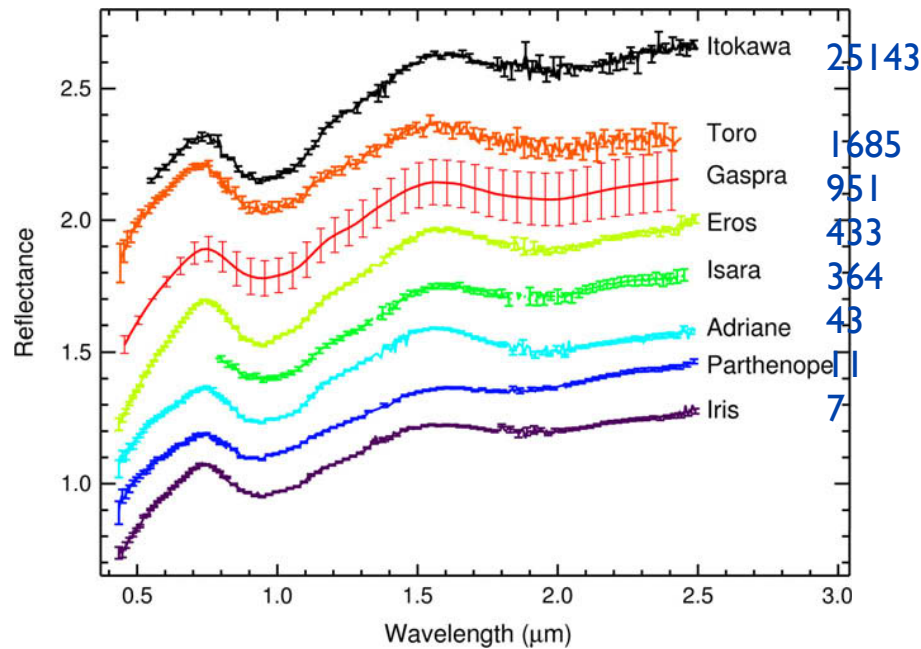


図 1

◎散乱モデル [Hapke, 1993; Shkuratov et al., 1999] を用いて、かんらん石と斜方輝石の相対量を同定(ol/[ol+px])

◎どれも 75-80%

Table 4

Comparison between the compositions of our S-type sample derived from the VNIR and mid-IR range.

Asteroid	Data reference ^a		[ol/(ol + opx)] % VNIR	[ol/(ol + opx)] % Mid-IR (case b)	[ol/(ol + opx)] % Mid-IR (case c)
	V	NIR			
7 Iris	S	20 February 2004	76.5	48 ^b 46 ^c	66 ^b 100 ^c
11 Parthenope	S	13 November 2005	79.5	36 ^c	43 ^c
43 Adriane	S	22 November 2005	76	65 ^c	87 ^c
364 Isara	S	03 October 2007	77	61 ^b 47 ^b (1)	55 ^b 41 ^b (1)
433 Eros	S	17 August 2002	79	37 ^b	58 ^b
951 Gaspra	S		79	49 ^b	41 ^b
1685 Toro	S	09 March 2005	77.5	26 ^b	37 ^b
25,143 Itokawa	S	28 March 2001	75	38 ^b	43 ^b

3. 結果 > 3.2. 中間赤外域 > 3.2.1. 実験室での測定



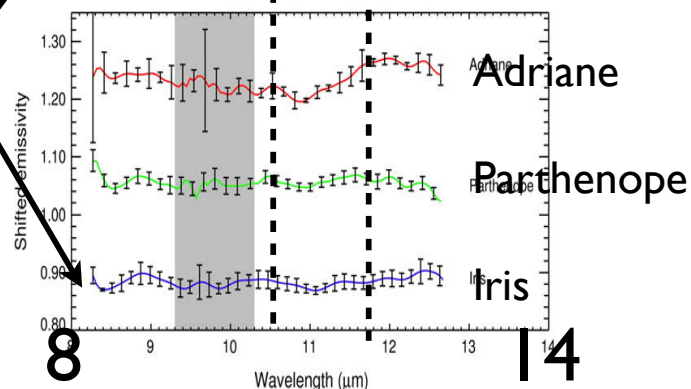
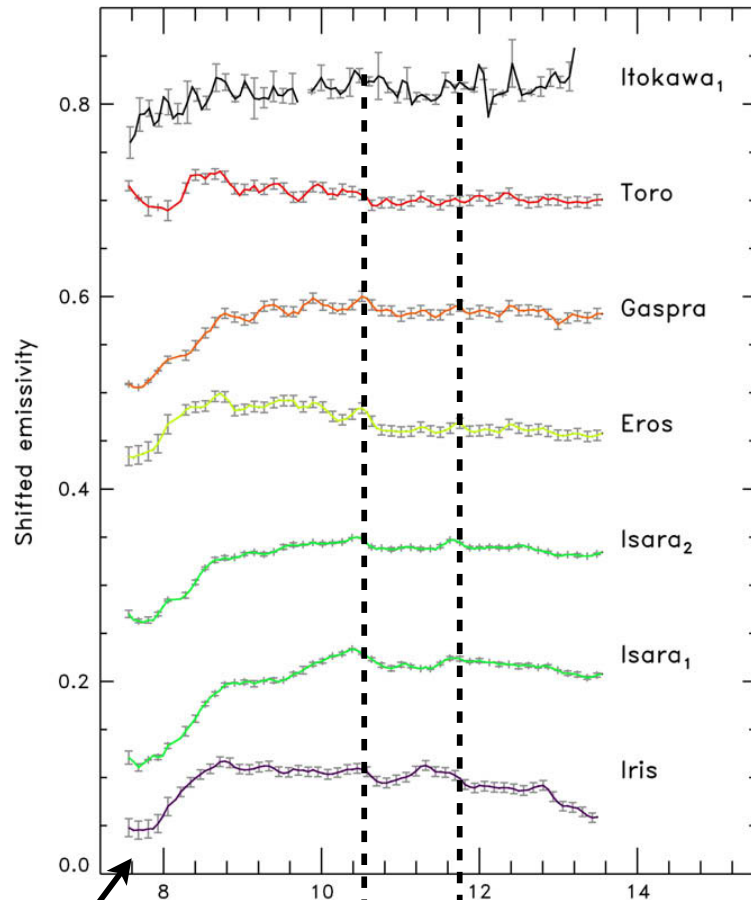
- 粉末にした隕石や鉱物の中間赤外域のスペクトルを用いて，組成同定が可能
- 粉体の粒子サイズも，スペクトルの形状に影響がある [e.g., Hunt and Vincent, 1968; Hunt and Logan, 1972; Moersch and Christensen, 1995; Mustard and Hays, 1997]
 - 粒子サイズが小さくなると，スペクトルの特徴が消える [Mustard and Heys, 1997]
 - 小惑星の表面粒子サイズは細かい (<50 μ m) [Dollfus et al., 1977] ので，小惑星の放射スペクトルは featureless だと想像される。



◎しかし，結果は粒子サイズに依存 [Ramsey and Christensen, 1998]

- $>60\mu\text{m}$ のとき，各鉱物のスペクトルの線形な重ね合わせで記述できる.
- $10\text{-}20\mu\text{m} \leq d \leq 60\mu\text{m}$ のとき，サイズ分布を正しく入れた適切な鉱物のスペクトルを使えば，線形重ね合わせ可能.
- $<10\mu\text{m}$ の場合，非線形性が増加．予測不可能.

3. 結果 > 3.2. 中間赤外域 > 3.2.3. 組成解析



◎わずかに違いがある

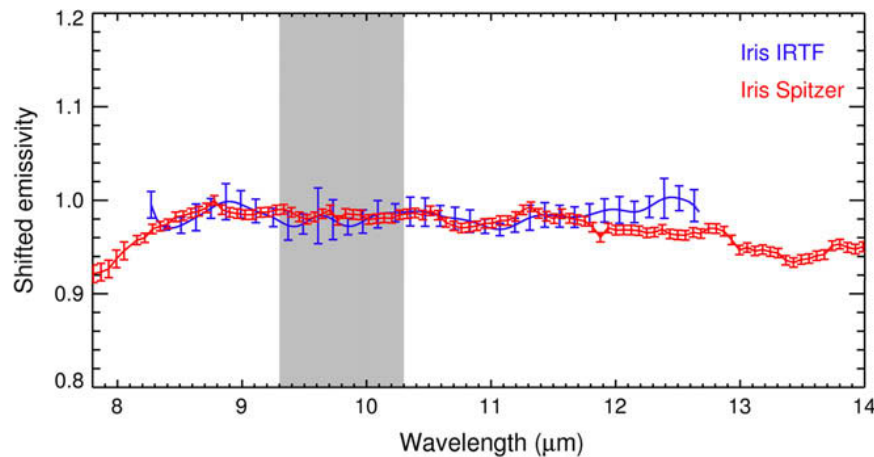
- Spitzer データ :

- Itokawa, Toro: ずっと平ら
- Iris, Isara, Eros, Gaspra:
 - <8.7 μm で赤化
 - >8.7 μm では continuum は平らで ~10.5 μm , ~11.7 μm に輝線

- IRTF データ :

- Iris, Parthenope: ずっと平ら = Toro, Itokawa と類似
- Adriane: 11-13 μm に広い盛り上がり

3. 結果 > 3.2. 中間赤外域 > 3.2.3. 組成解析 (つづき)



◎ IRTF と Spitzer での観測の比較

◎ 8-13μm でほぼ良い一致

◎ 地上観測でも，宇宙からの観測と同じようなスペクトルが得られることを示した

◎ Spitzer は寒剤がなくなったので，今後の地上観測に朗報

>3.2.3. 組成解析 (つづき)



◎ 中間赤外域 (8-13 μ m) で同様な結果が出るか調べる

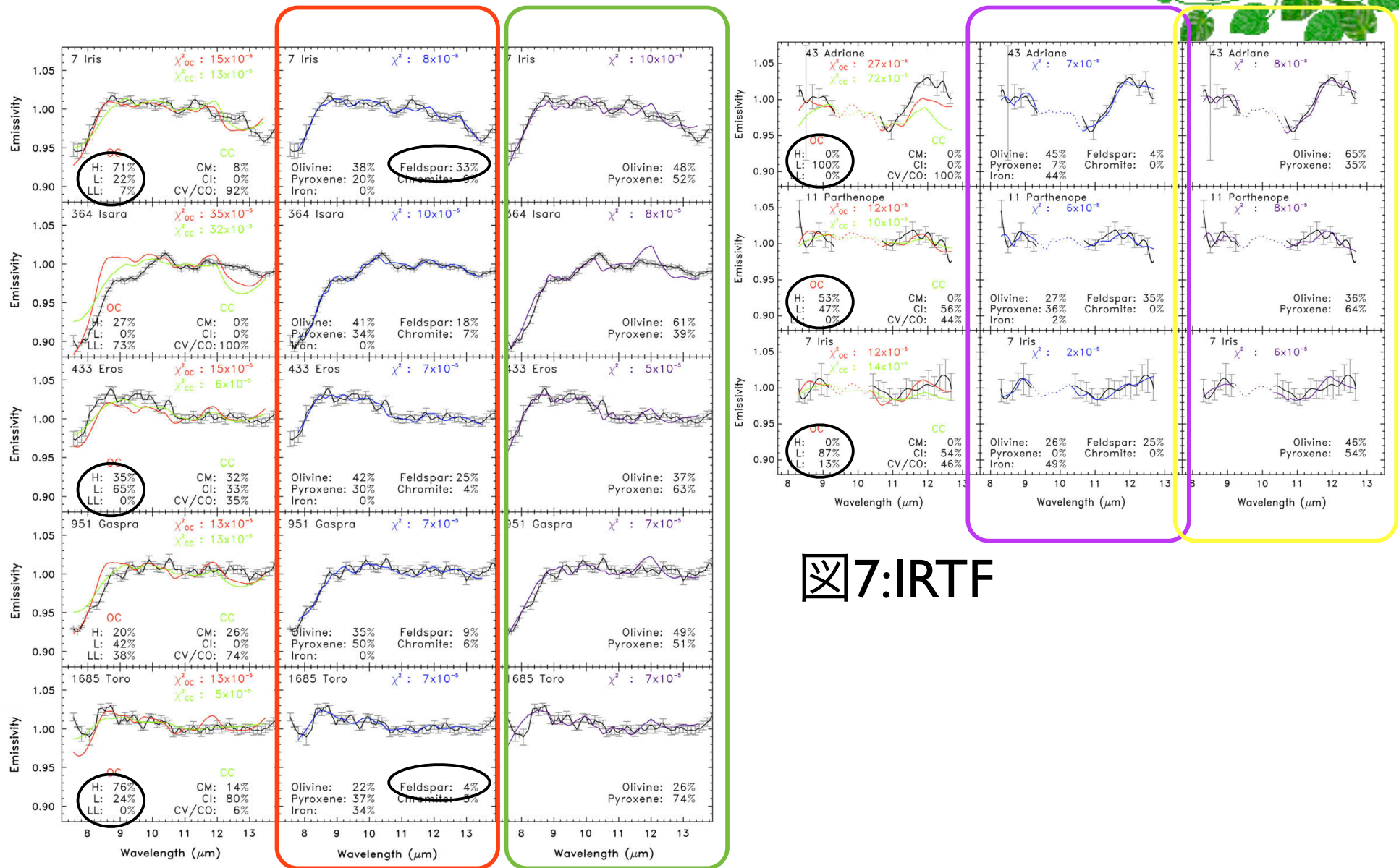
- Linear retrieval algorithm [Sprague et al., 2009]
- 各鉱物の量のみがフリーパラメータ
- 下記3つの組み合わせを用意した
 - (a) ASTER スペクトルライブラリにある, 全ての隕石の反射スペクトル(普通コンドライト, 炭素質コンドライト, HED隕石, エコンドライトの4 case)
 - (b) かんらん石と低Ca輝石の ASTER の反射スペクトル / BED ライブラリの放射スペクトル
 - (c) 普通コンドライトの全ての構成鉱物 (かんらん石, 低Ca輝石, feldspar) の反射スペクトル (ASTER) / 上記の放射スペクトル (BED ライブラリ), 鉄のスペクトル (RELAB データベース), クロム鉄鉱のスペクトル (ASTER)



● 可視・近赤外域 (0.4-2.4 μ m) の結果を思い出しておくと

- 8つの小惑星全てで ol/[ol+opx] が75-80%
- スペクトルが似ているのは LL コンドライト

3. 結果 > 3.2. 中間赤外域 > 3.2.3. 組成解析 (つづき)



☒ 7:IRTF

☒ 6:Spitzer

>3.2.3. 組成解析 (つづき)



- 図6(b), 図6(c), 図7(b), 図7(c) それぞれで, $ol/[ol+px]$ が合うべきだが, 全然合わない.
- 図6(b), 図7(b) で, ol , px 以外の要素も合わない. 例えば Feldspar (Gaspraで 4%, Irisで 33%)
- 図6(a), 図7(a) では, LL コンドライトに近くないという結果.
- この結果だけの結論: SN比が良くても中間赤外域のスペクトルを使って組成を同定することはできない

4. 議論



◎ 中間赤外域での組成のバリエーション

- 実際にバリエーションがあるのではなくて、組成同定が困難になる要因 (ex. 粒子サイズ, 宇宙風化) があるからだろう [Hunt and Logan, 1972; Mustard and Hays, 1997; Ramsey and Christensen, 1998]

◎ 粒径が小さくなると、スペクトルの様々な特徴が消えたり中心波長が短波長側に移動したりすることが知られている

◎ ASTER と BEDのライブラリにあるスペクトルは、粒径を粉で測るべき

◎ 中間赤外域での宇宙風化作用の影響はあまり研究されていない [cf. Brucato et al., 2004]