

SPICA による中間赤外線分光観測で迫る太陽系内惑星間塵の性質

高橋葵(ABC), 小林仁美(LLP 京都虹光房), 癸生川陽子(横浜国立大), 大坪貴文, 石原大助(JAXA/ISAS), 茅原弘毅(大阪産業大), 左近樹(東大), SPICA 太陽系・系外惑星サイエンス検討班

概要

太陽系内の惑星間塵は小惑星の衝突や彗星の昇華により供給されたものであり、それら小天体内部を構成する始原的な塵の性質を保持している可能性が高い。惑星間塵の組成や結晶粒子形状は、原始太陽系円盤内の環境に関する情報を得る手がかりとなる。このような惑星間塵の性質は、視線方向に含まれる惑星間塵からの熱放射の足し合わせである黄道放射のスペクトルから探ることができる。SPICAでは、波長 17–56 μm の広帯域にわたる黄道放射分光観測から、惑星間塵の組成や結晶粒子形状を制約し、原始太陽系の姿に迫る。

<惑星間塵とは？>

太陽系内の惑星間空間には塵が広く分布しており、それらを惑星間塵と呼ぶ。惑星間塵は小惑星の衝突や彗星の昇華により供給されたものであるため、それら小天体の内部を構成する始原的な塵の性質を保持している可能性が高い。地球大気圏で採集された惑星間塵の顕微鏡測定などから、惑星間塵は以下の一般的な性質を持つことが知られている。

- ▶ エンスタタイト(MgSiO_3)、フォルステライト(Mg_2SiO_4)などの珪酸塩鉱物を主成分とし、その他に炭素質や金属粒子を含む。
- ▶ Sub- μm ~ 数 mm 程度の粒径を持つ。
- ▶ 彗星起源の惑星間塵は小惑星起源の惑星間塵に比べて空隙率が高いものが多い (Fig.1 上)。
- ▶ 一部、ひげ状や板状のエンスタタイト結晶粒子を含むものも存在する (Fig.1 下)。

また、小天体から放出後の力学軌道進化計算などによって、惑星間塵は供給源の種類により異なる空間分布を持つことがわかっている。木星族彗星起源の惑星間塵は黄道面を中心として全天域に広がっているのに対して、小惑星起源の惑星間塵はいくつかの特定の低い黄緯にのみ集中的に分布する。異なる方向の惑星間塵では供給源の違いにより性質も異なる可能性があるため、様々な方向の惑星間塵に対して供給源で区別して性質を調査することが重要である。

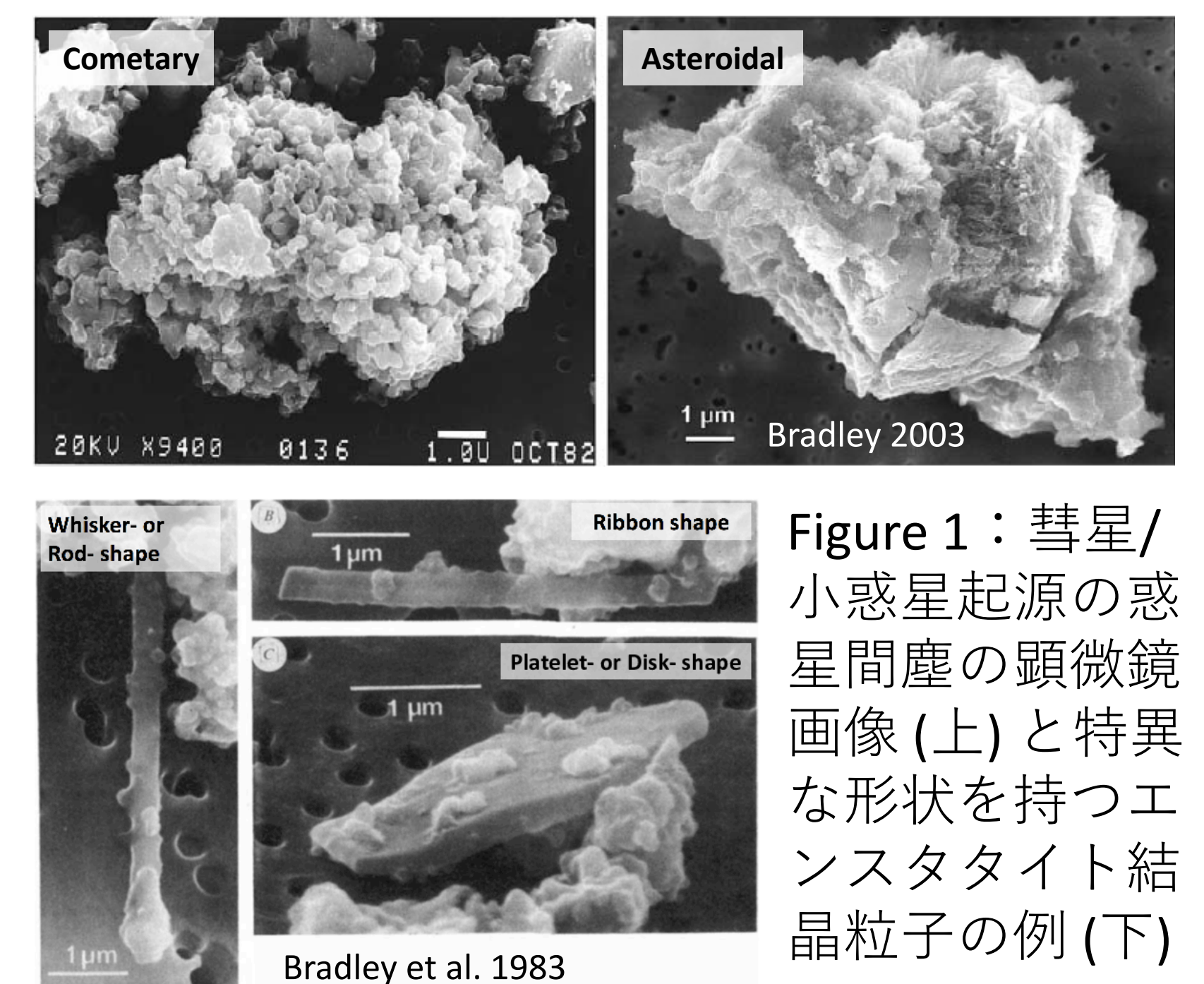


Figure 1: 彗星/小惑星起源の惑星間塵の顕微鏡画像(上)と特異な形状を持つエンスタタイト結晶粒子の例(下)

<黄道放射分光観測による性質調査>

惑星間塵は、可視・近赤外域で吸収した太陽光エネルギーを中間赤外域で熱放射として再放出する。視線方向に含まれる惑星間塵からの熱放射の足し合わせは黄道放射として観測することができる。この黄道放射のスペクトル中には様々な鉱物や有機物に由来する、連続光に対する超過フィーチャーが見られる (Fig.2)。このフィーチャー形状は、惑星間塵の組成や結晶化度、粒子形状といった性質に依存するため、視線方向に含まれる惑星間塵の性質の指標となる。

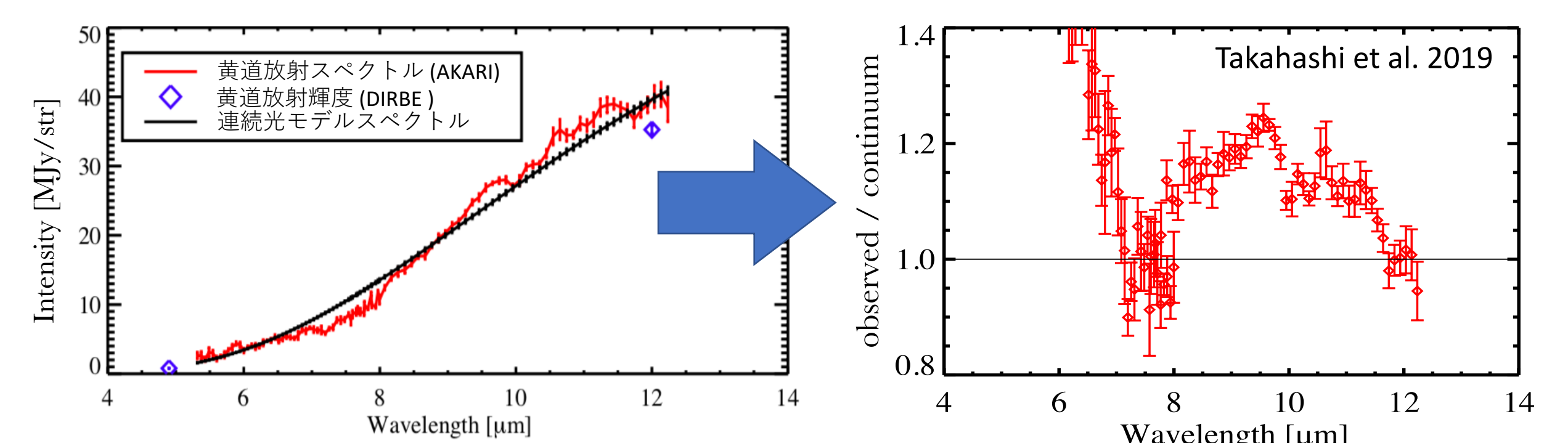


Figure 2: 赤外線天文衛星 AKARI, DIRBE で黄道面付近の黄道放射を観測した例。波長 8–12 μm で連続光に対する超過フィーチャーが見られる。

<SPICAでわかること>

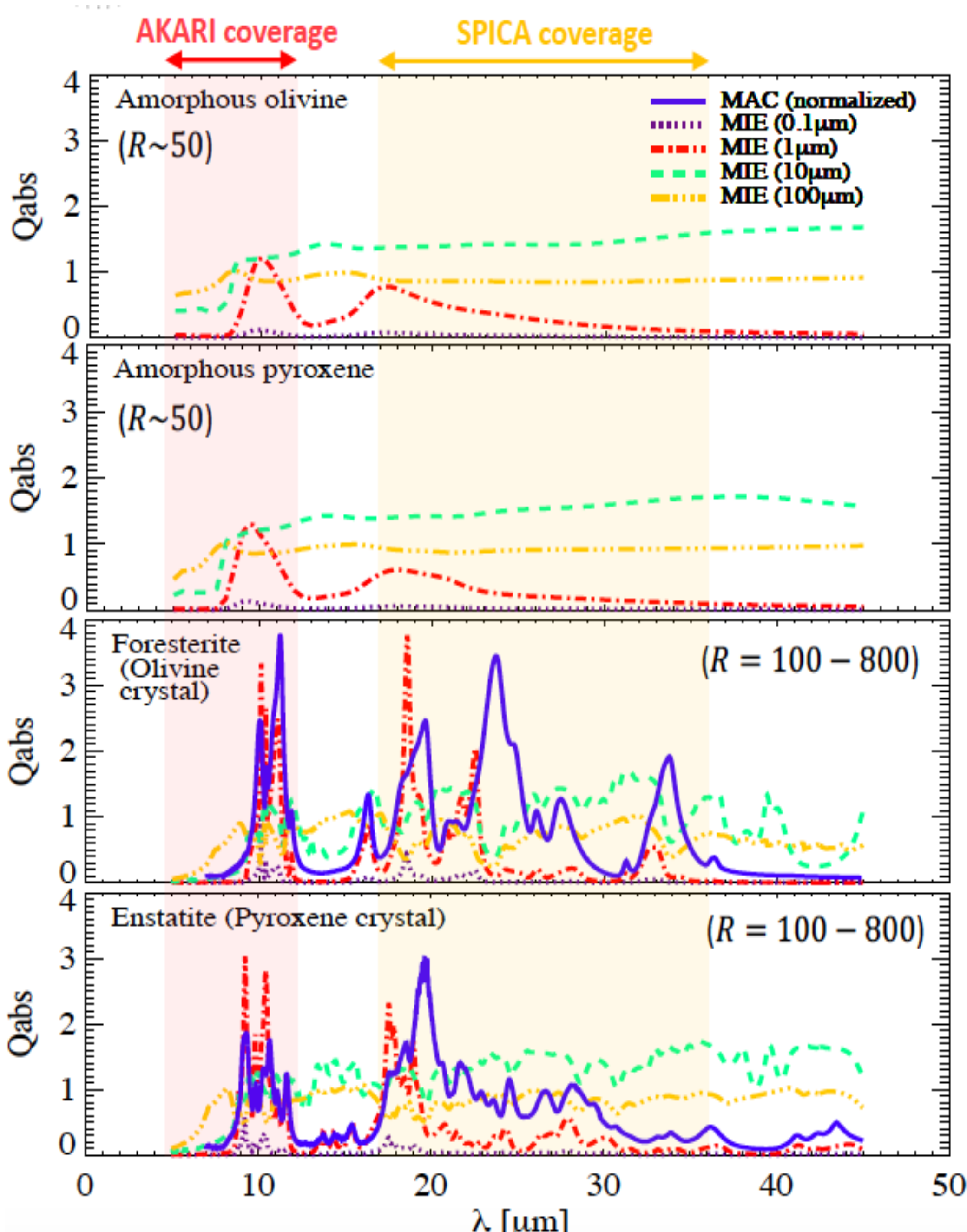
SPICA では、SMI-LR と SAFARI-SW を用いて波長 17–56 μm の広帯域での黄道放射スペクトルを取得できる。これにより、

1. 25 μm 以上の波長域では結晶粒子のみがフィーチャーを示す (Fig.3) ため、従来の 10 μm 帯の観測結果と合わせることで、**鉱物の結晶化度を同定**できる。
2. 10 μm 帯に比べてフォルステライトとエンスタタイトに由来するピークが切り分けやすく (Fig.3)、複数のフィーチャーのピーク強度比から**フォルステライト/エンスタタイト比を制限**することが可能となる。
3. 25 μm 以上の波長域に見られるピークの強度および波長は結晶粒子形状によって特に顕著に変化する (Fig.4) ため、惑星間塵中の**鉱物結晶粒子形状の調査**に対して有効である。

惑星間塵のこれらの性質がわかると、例えば以下のような原始太陽系時代の情報を得ることができる。

① 小惑星・彗星の形成領域

原始太陽系円盤内では塵が動径方向に mixing された結果、日心距離によって塵の鉱物組成や結晶化度が変化するため (Gail 2004)、近隣の塵が集積して形成された微惑星の鉱物組成もまた、日心距離に依存すると考えられる。従って、惑星間塵の鉱物組成や結晶化度を供給源ごとに切り分けて調査することで、供給源となった小天体が形成された領域を制限することができる。



② 原始太陽系円盤内での塵の凝縮・蒸発環境

ひげ状のエンスタタイト粒子は円盤ガスの急冷などによる非平衡凝縮でできたと考えられるため (Bradley et al.1983)、原始太陽系内で円盤風や磁気ジェットなどにより円盤ガスが急速に外側へ運ばれる中で凝縮した可能性を示唆する。また、フォルステライトは結晶軸によって蒸発速度が異なるため、原始太陽系円盤内で星間塵が結晶化してできたフォルステライトの一部が蒸発する際に、周囲のガス圧に応じた異方性が生じる (Takigawa et al. 2009)。フォルステライト粒子の形状から、星間塵の蒸発が生じる内側領域でのガス圧を制限できる。

◀ Figure 3: 様々な鉱物の吸収係数スペクトル。青線は実験室測定データ、その他の線は粒径 0.1–100 μm の球状粒子を仮定した理論値を示す。

▶ Figure 4: エンスタタイトおよびフォルステライトについての、吸収係数スペクトルの粒子形状依存性。結晶 b 軸および c 軸方向の長さを 1 μm に固定し、結晶 a 軸方向の長さのみ変化させた場合の例。

