

SPICAを用いた解体惑星の 分光観測から 系外惑星組成に迫る

奥谷彩香, 大野和正, 平野照幸, 奥住聡
(東京工業大学)

Credit: Maciej Szyszko

2020年3月19日@日本天文学会春季年会

観測による系外惑星組成の推定

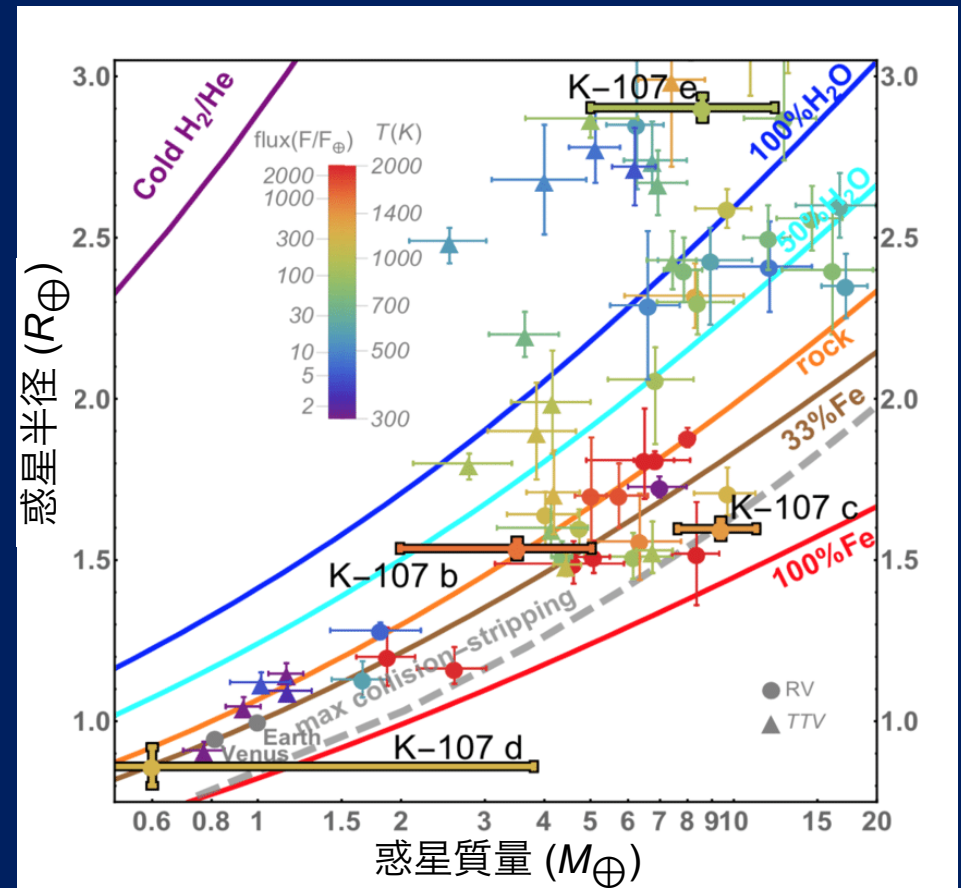
◆ 系外岩石惑星の内部組成：

- 惑星の内部組成は惑星の形成環境・進化史を反映
→ 惑星形成論の検証
- 地球に似た惑星か？
→ ハビタビリティへの示唆

◆ 内部組成の推定に関する観測：

現段階で直接的な制約は困難

- 半径・質量から密度を求める：
↔ 観測精度の不足
↔ 異なる組成間で縮退あり
(e.g., Seager et al. 2007)
- 惑星大気の透過分光：
↔ 小さな岩石惑星への適用は困難



(Bonomo et al., 2019)

解体惑星の分光観測

解体惑星 (Disintegrating exoplanets)

: 超短周期の系外蒸発惑星

e.g., K2-22b:
(Sanchis-Ojeda et al. 2015)

$P = 9.15 \text{ hr,}$

$a = 0.009 \text{ au } (\sim 3.3 R_*)$

$\sim 1700 \text{ K}$

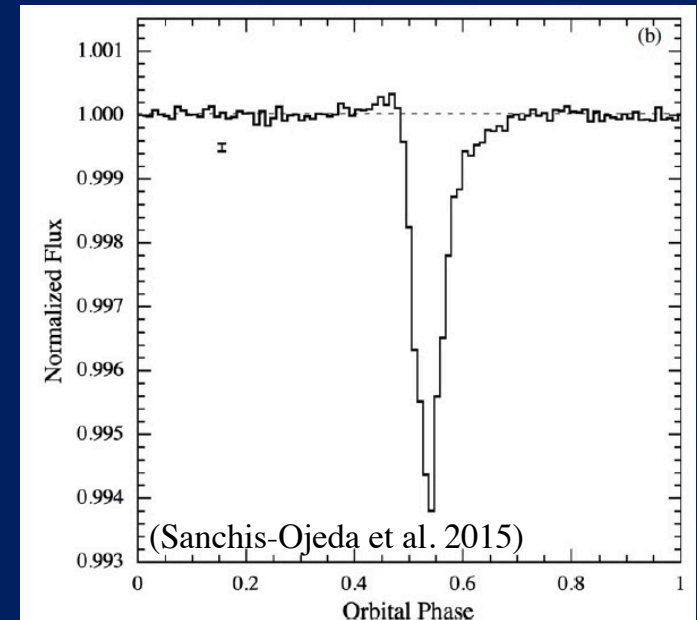
岩石コアが蒸発中
月-水星サイズ

岩石蒸気はダストとして再凝縮
彗星状のテイルを形成

不規則な形の光度曲線

: 主にテイルによるトランジット

(e.g., Rappaport et al. 2012)



Credit: NASA/JPL

分光観測からダストテイルの組成を推定できれば、
惑星の岩石コアの組成に直接迫ることができる可能性がある

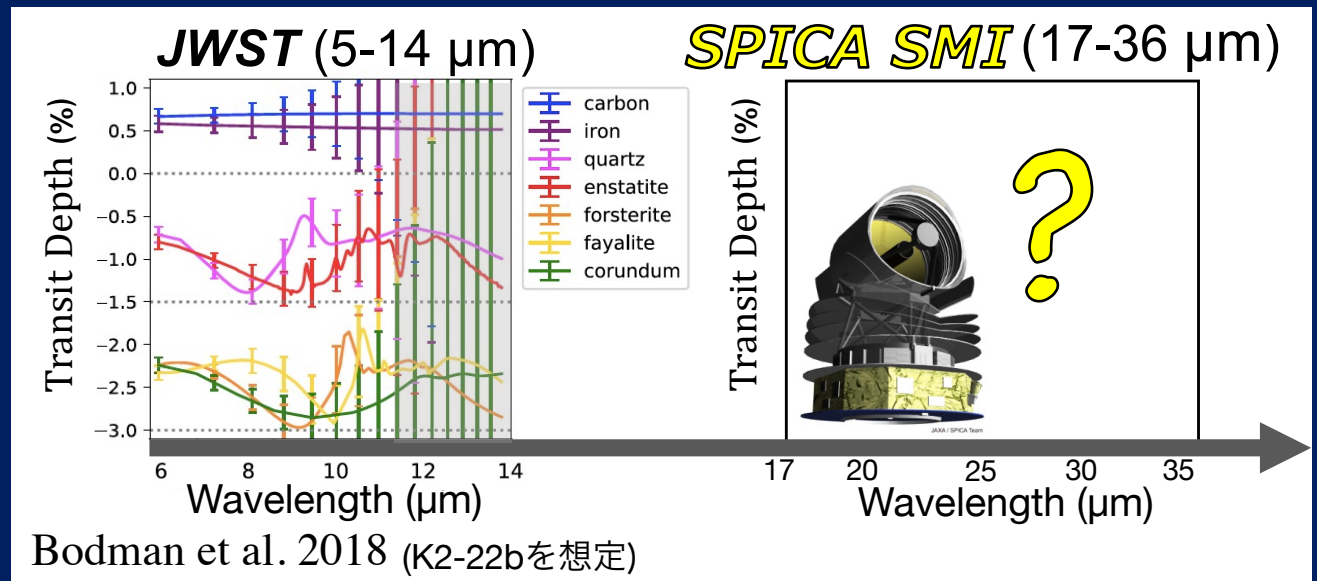
(Bodman et al., 2018)

本研究の目的

JWST/SPICA を用いた将来の赤外線透過分光観測によって、
解体惑星のダストテイル組成をどの程度推定できるか？

ダストテイルの透過分光

本講演



ダストテイルの組成

透過光スペクトルの鉱物依存性
観測的な検出可能性

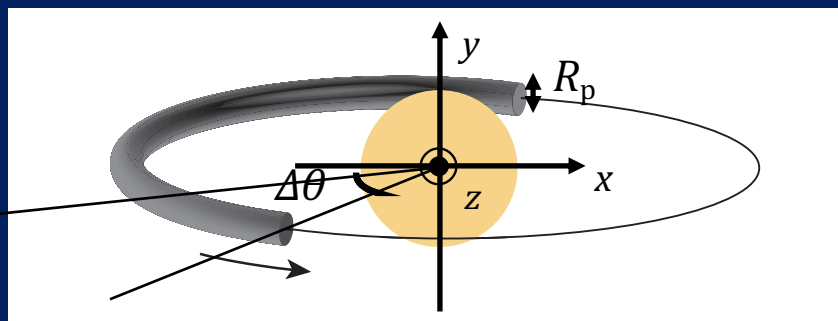
惑星の内部組成を制約
…惑星の起源・進化へ示唆

計算手法

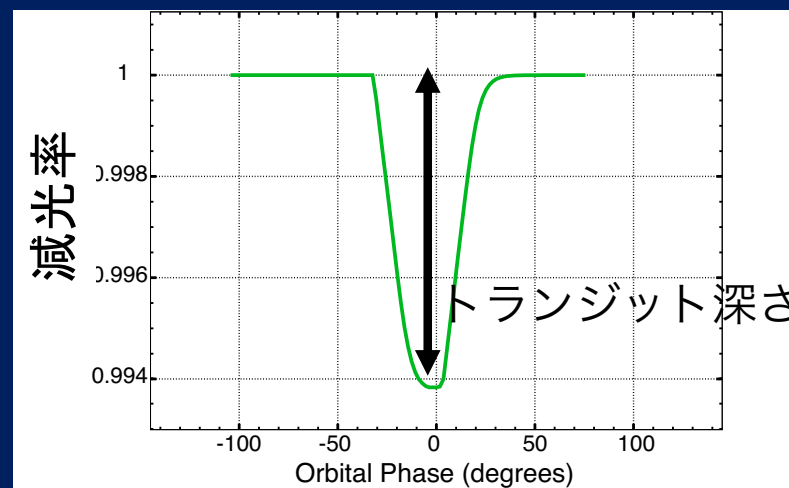
1. 理論透過光スペクトルの計算

- Mie理論に基づいてダストの減光断面積を計算 (粒子サイズ: $0.1\text{--}1\ \mu\text{m}$)
- テイルの空間構造をモデル化
- 各波長における光度曲線より、トランジット深さを算出

Sanchis-Ojeda et al. 2015



- 円柱形のダストテイルが円軌道を公転
- ダストの数密度: $n = n_0 \exp(-\alpha\Delta\theta)$



2. 観測誤差の推定

- 低分散分光装置による観測を想定
JWST MIRI ($5\text{--}12\ \mu\text{m}$, $R=100$) ・ SPICA SMI ($17\text{--}36\ \mu\text{m}$, $R=50\text{--}150$)

1 + 2 により、ダストテイルの組成を制約できるか調べた

ダストテイルのとりうる組成

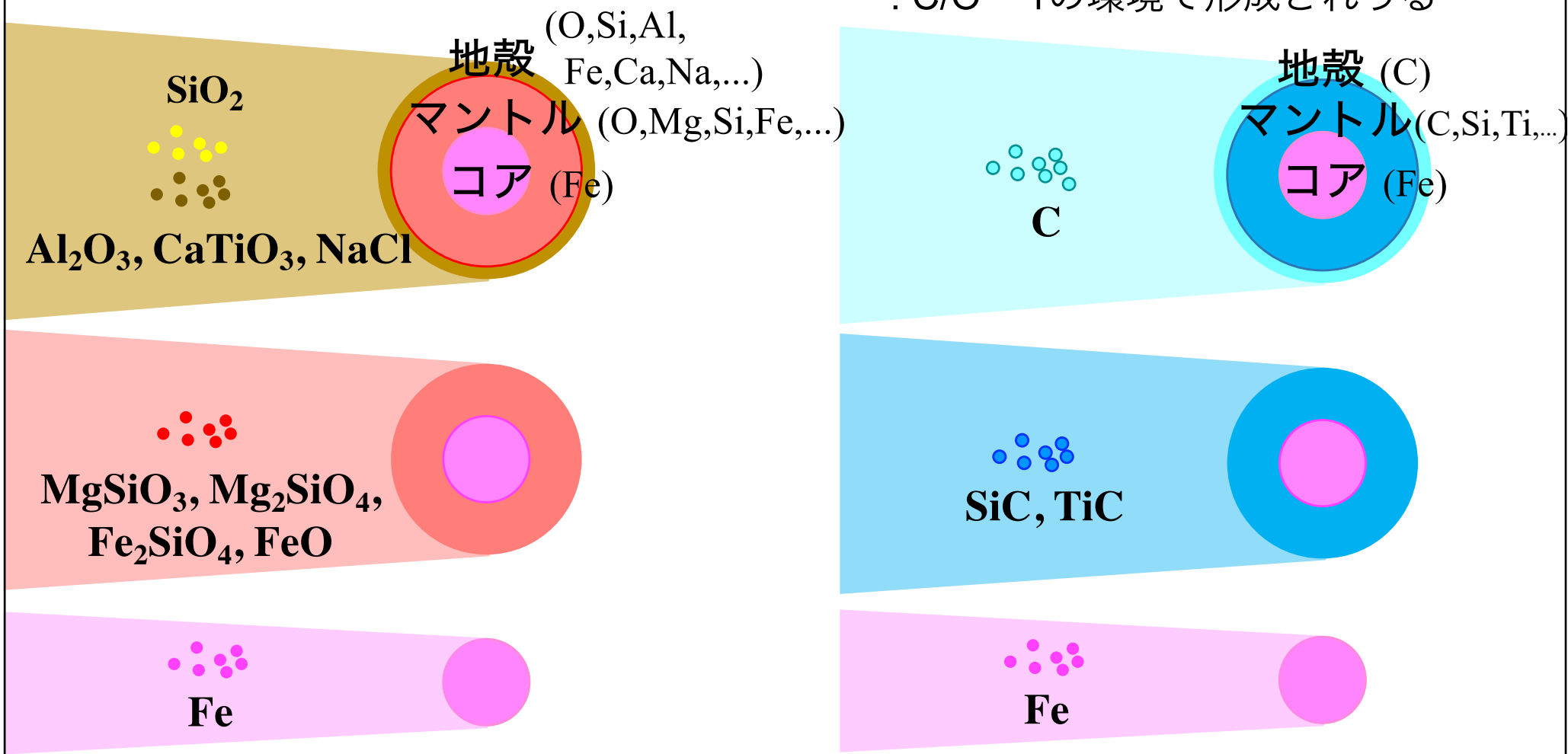
凝縮する鉱物は岩石蒸気中の元素比に依存

→ 蒸発している惑星またはその部位の元素比を反映している可能性

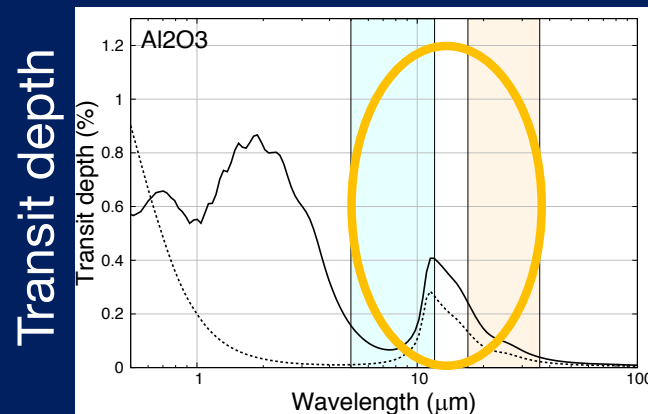
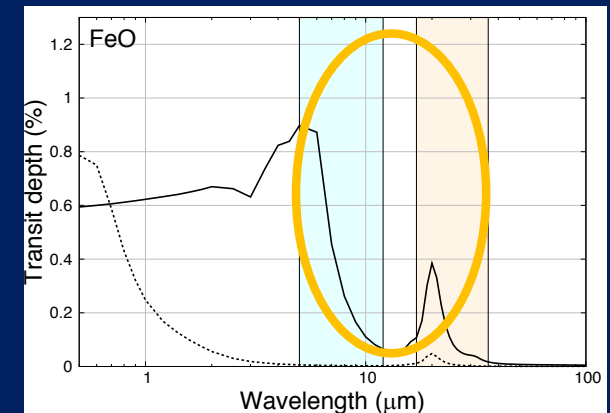
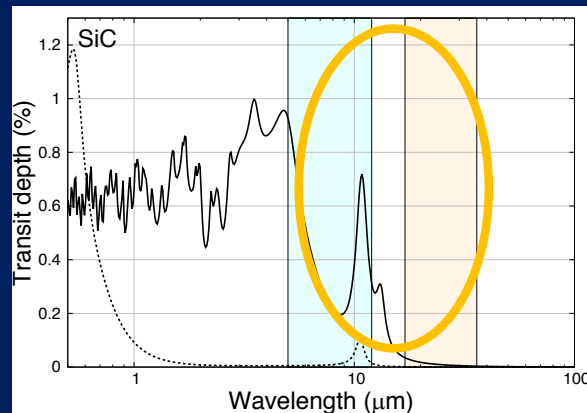
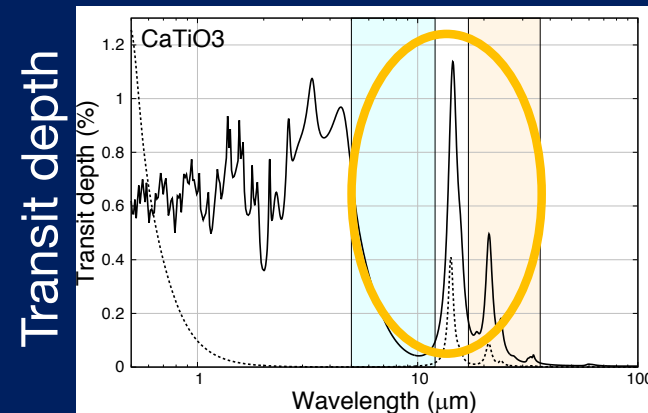
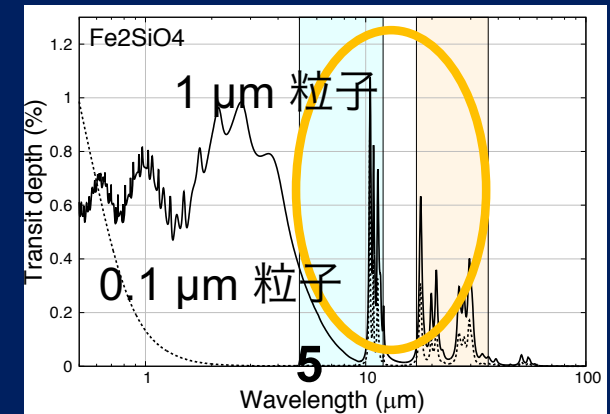
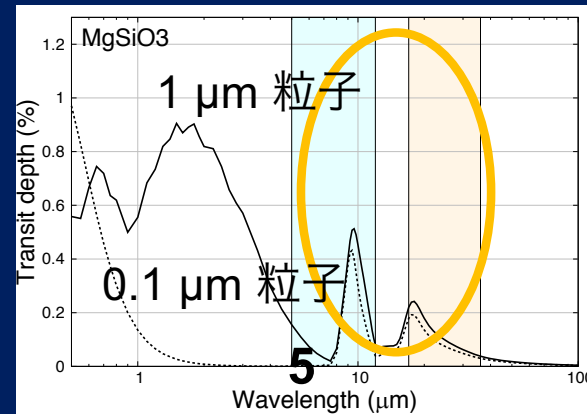
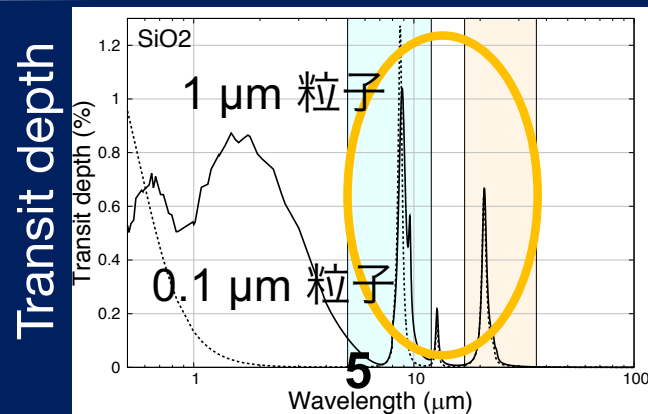
地球型惑星 (e.g., Mahapatra et al., 2017)

炭素惑星 (Kuchner & Seager 2005, Bond et al., 2010)

: C/O ~ 1の環境で形成されうる



理論透過光スペクトルの波長依存性



~ 5 μmより短波長：粒子サイズに依存

~ 5 μmより長波長：ダストの組成に依存

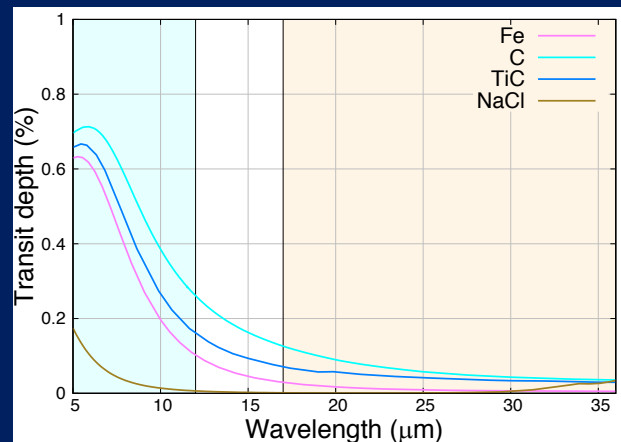
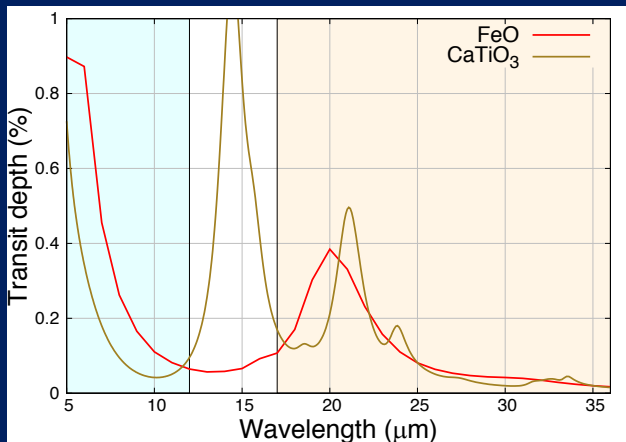
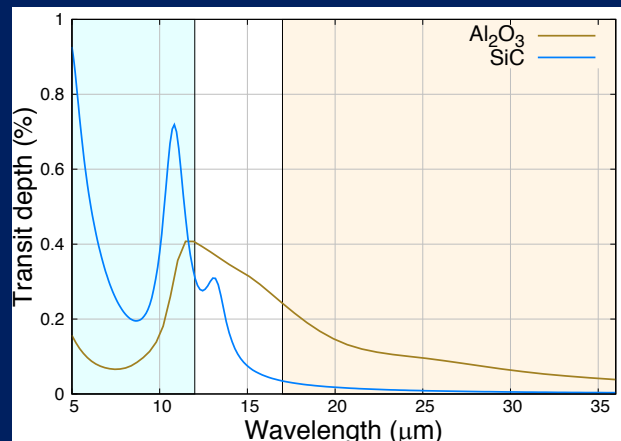
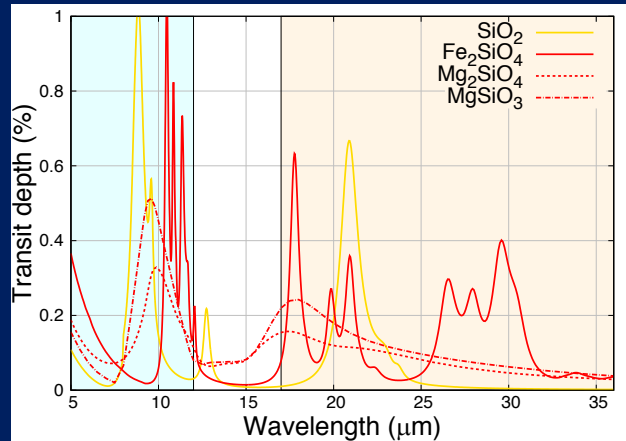
JWSTとSPICAを用いた組成の識別

JWST/MIRI

SPICA/SMI

JWST/MIRI

SPICA/SMI



JWST	SPICA	ダスト組成
ピーク 有	ピーク 有	SiO ₂ Fe ₂ SiO ₄ Mg ₂ SiO ₄ MgSiO ₃
ピーク 有	ピーク 無	Al ₂ O ₃ SiC
ピーク 無	ピーク 有	FeO CaTiO ₃
ピーク 無	ピーク 無	Fe NaCl C TiC

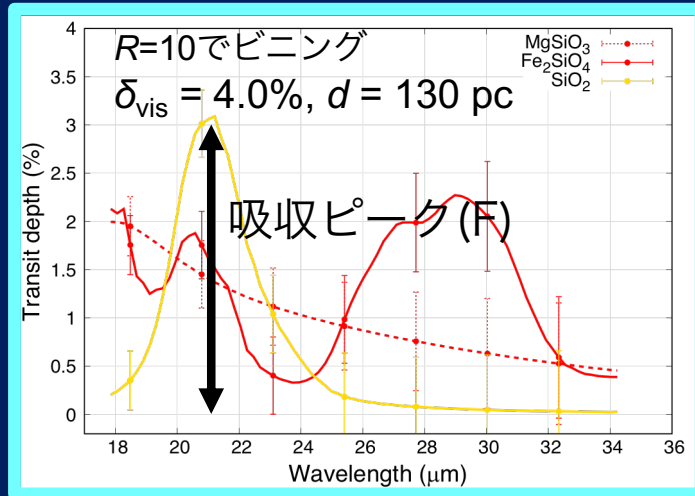
Okuya et al., in prep.

- 鉱物の吸収特徴はJWST/SPICA/両波長域に多数存在
- JWSTとSPICAの将来観測を組み合わせることで、より多くの鉱物の識別が可能

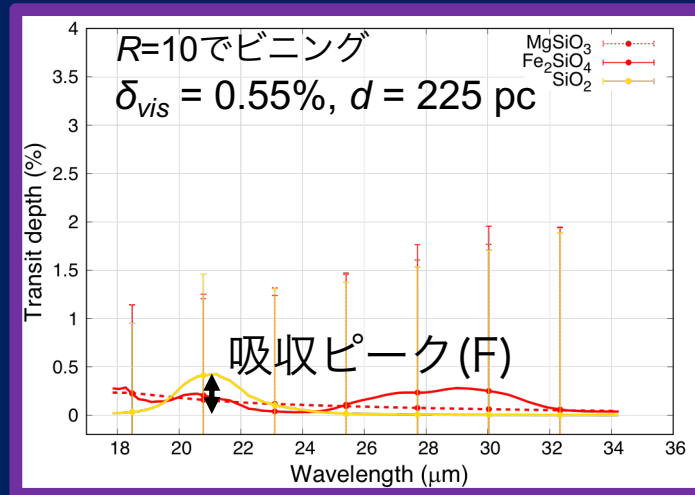
吸収ピークの検出可能性

➤ 鉱物による吸収ピーク (F) / 観測ノイズ (N) > ~3 のとき検出可能と仮定

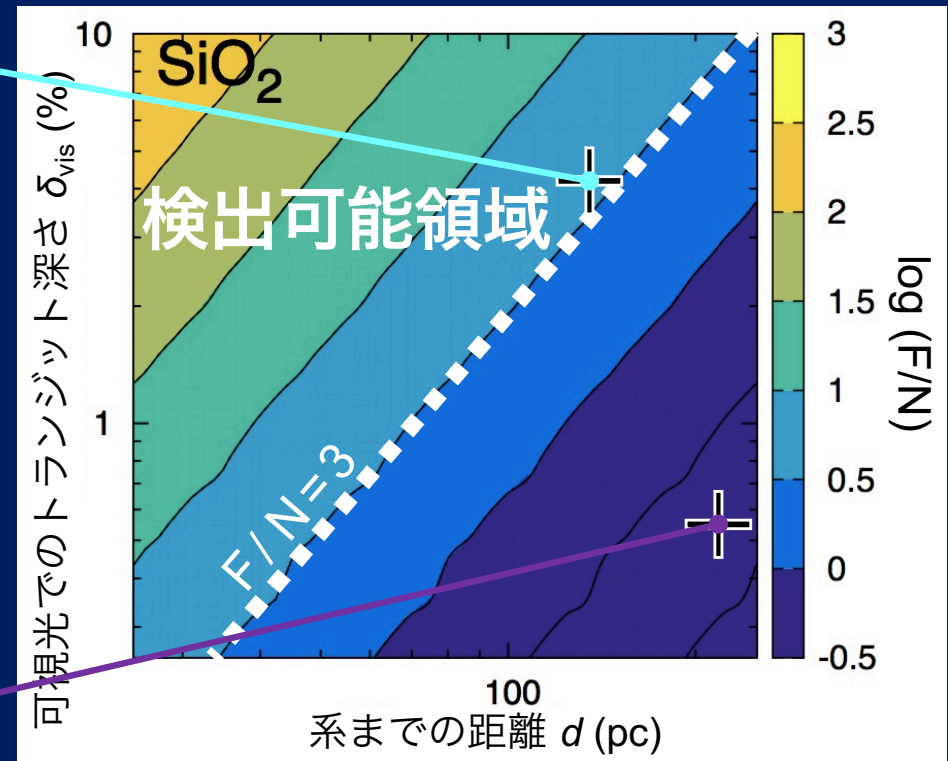
F/N > 3



F/N < 3



SPICA/SMILR を用いた場合の
検出可能条件 (1回のトランジット観測を仮定)



Okuya et al., in prep.

100 pcに位置するトランジット深さ1-2%以上の解体惑星でピーク検出が有望
→ ダスト組成を制約できる可能性

まとめ

JWST/SPICAを用いた将来の透過分光観測による
ダストテイル組成の推定可能性を明らかにした

[手法] ダストテイルの透過光スペクトルを計算し、観測条件を評価

- [結果]**
- JWSTとSPICA波長域の透過光スペクトルを組み合わせることで、多様なダストテイル組成の識別が可能
 - 100 pcに位置するトランジット深さ1-2%以上の解体惑星は、SPICAを用いた鉱物の吸収特徴の検出が可能

JWST	SPICA	ダストテイル組成	SPICAによる検出条件
ピーク有	ピーク有	SiO₂ / Mg₂SiO₄ & MgSiO₃ Fe₂SiO₄	> ~1-2 % at 100 pc > ~2-5 % at 100 pc
ピーク有	ピーク無	SiC / Al₂O₃	
ピーク無	ピーク有	FeO / CaTiO₃	> ~1-2% at 100 pc / //
ピーク無	ピーク無	Fe & NaCl & C & TiC	

[今後の展望] ダストテイルの組成と解体惑星の内部組成の結びつけ