

Direct Imaging Observations of Extra-Solar Planets with SCI

Yoichi Itoh, Kobe Univ.

Taro Matsuo, NAOJ

1. 10年後の世界

- 10年前の世界

- 31 extra-solar planets

- 太陽系外惑星はまだまだ貴重な存在。

- transit detection (HD209458)

- 多様な姿をしていることがわかってきた。

- 現在

- hundreds planets

- 「発見だけではおもしろくない」と理論家に言われる。

- various detection methods

- direct imaging

- detection of atmosphere

1. 10年後の世界

- 10年後の世界

- thousands planets

- dozens direct imagings

「直接検出だけではおもしろくない」と理論家に言われる。

- 惑星大気のスเปクトルも数十個
大気構造の多様性が明らかに。

- 10年後のSCIの役割

- JWSTが動き出している

日本の宇宙望遠鏡も存在感を。

- TMTも初期運用期

SPICAで見つけた新しい天体をTMTで観測。

2. Advantages of SPICA/SCI

- 中間赤外の長波長域($>20\mu\text{m}$)も観測できる
300K($10\mu\text{m}$)以下の天体を狙う。
- R=200程度のまともな分光ができる
本当に必要か。観測可能な天体はあるのか。
- 一枚鏡
Keckに対するすばるのアドバンテージは本当にあるのか。

3. Direct Detection of Planets

既に直接検出されている惑星を観測する。

- どれも十分に明るい(mJyレベル。検出限界は μ Jyレベル)。
- コントラストと離角が問題。

コントラスト/ 離角 (λ/D)	3.5 μ m	4.7 μ m	10 μ m	15 μ m
HR 8799b	6e-6 / 7.4	9e-6 / 5.2	1e-4 / 2.6	2e-4 / 1.7
HR 8799c	1e-5 / 4.1	1e-5 / 2.9	2e-4 / 1.5	3e-4 / 1.0
HR 8799d	1e-5 / 2.6	1e-5 / 1.8	2e-4 / 0.9	3e-4 / 0.6
Formalhaut b	? / 64	? / 45	? / 22	? / 15
Beta Pic b	1e-4 / 2.7	1e-4 / 1.9	1e-2 / 0.9	5e-3 / 0.6
2M J044144 b	3e-2 / 0.5	2e-2 / 0.3	2e-2 / 0.2	1e-2 / 0.1
2M 1207 b	2e-3 / 3.8	2e-3 / 2.6	2e-2 / 1.3	2e-2 / 0.9
AB Pic b	? / 26	? / 18	? / 9.1	? / 6.0
UScoCTIO 108 b	? / 20	? / 14	? / 6.9	? / 4.6

「コントラスト $>1e-4$ 」かつ「離角 $>3 \lambda/D$ 」ならば検出できる。

検出できる天体は多くない。SPICA/SCIの特性を生かせない。

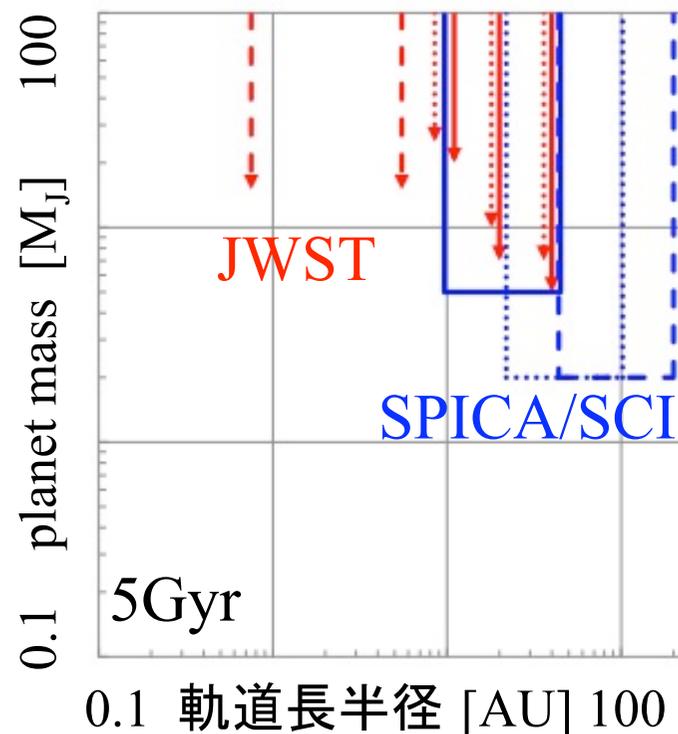
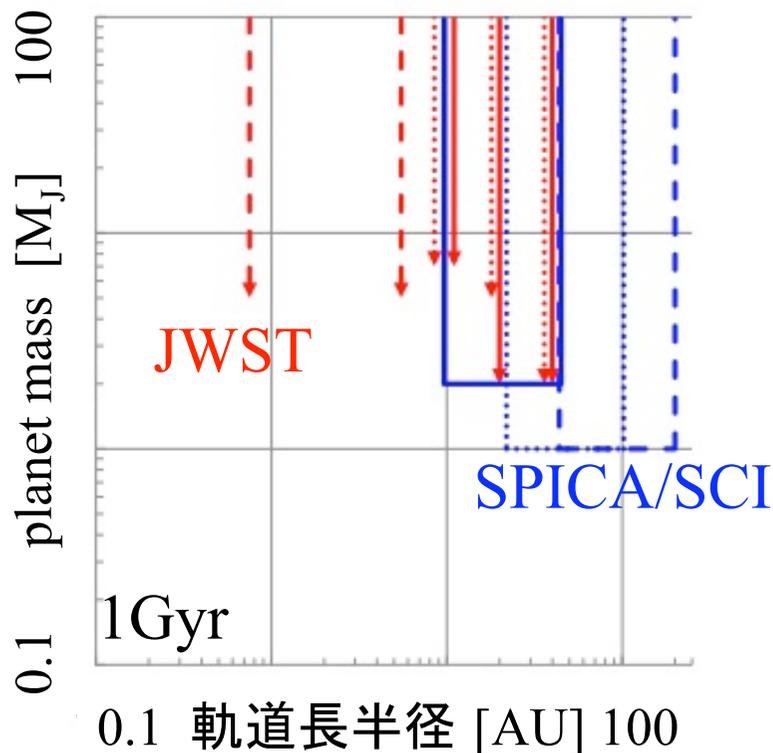
3. Direct Detection of Planets

- 若めの主系列星を狙う

1Gyr程度たてば、惑星の有効温度は300K程度になる。

- 軌道長半径の大きな惑星を狙う

IWA(どこまで内側が見えるか)はJWSTのほうが小さい。

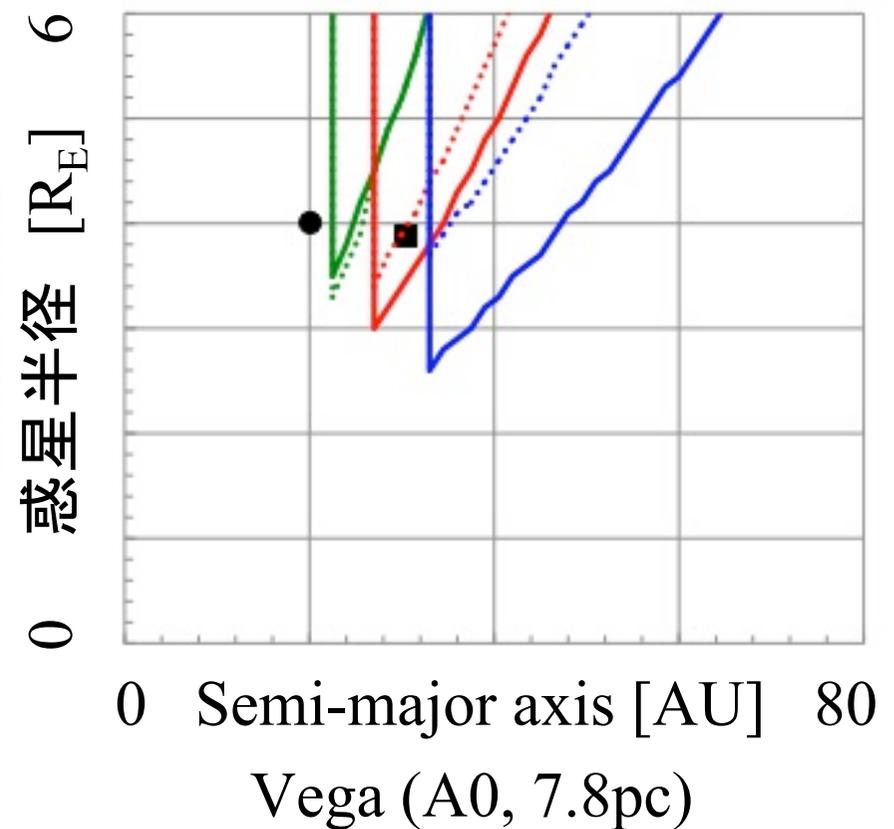
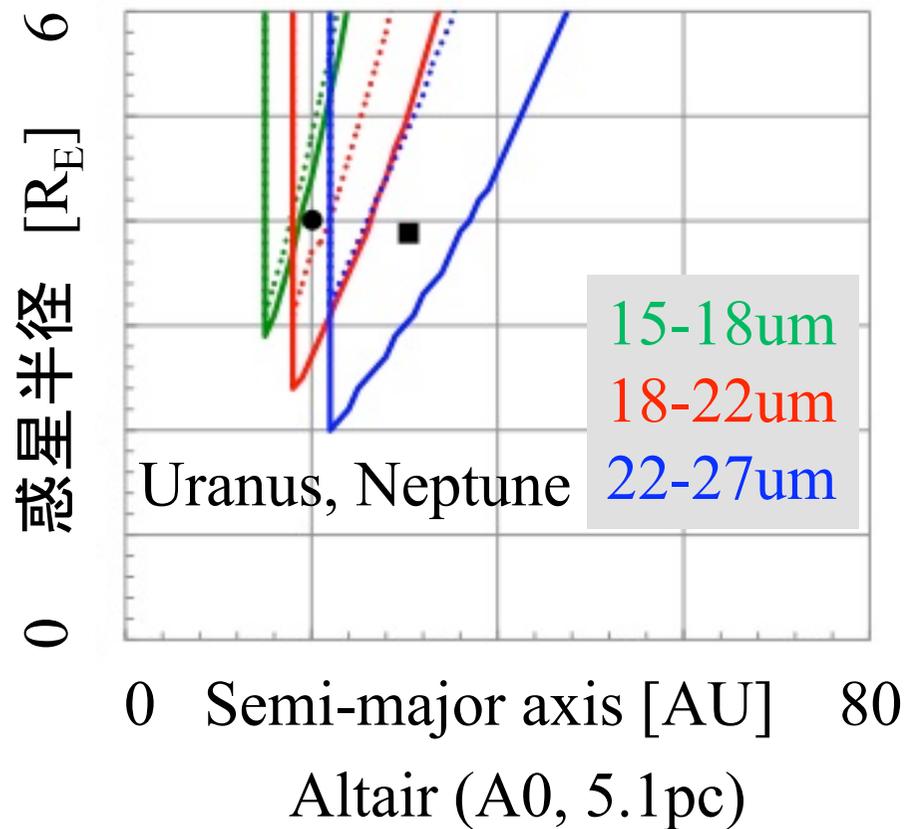


Matsuo et al. (2010)

SPICA/SCIは軌道長半径の大きい惑星が得意

3. Direct Detection of Planets

大質量主系列星のまわりの惑星を探索する
中心星にあぶられて、惑星は温かくなっている。
氷型惑星も検出できるかも。



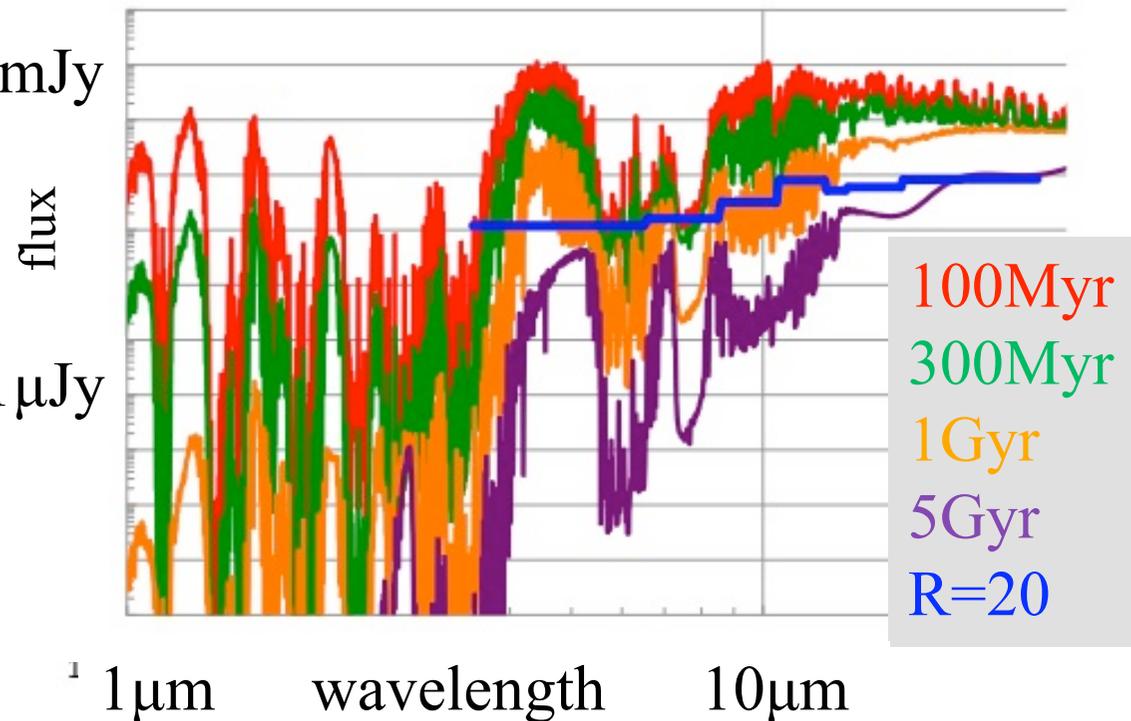
4. Spectroscopy of Planets

余裕で検出できる惑星は分光を行う。

300K程度(以下)の惑星のスペクトルは?

特に $10\mu\text{m}$ を超えた領域は未知の領域。

- methane: $2.2\mu\text{m}$ 1mJy
 $3.3\mu\text{m}$
- ammonia: $7.8\mu\text{m}$ $1\mu\text{Jy}$
 $2.95\mu\text{m}$
 $10.5\mu\text{m}$
- water: $2.5\mu\text{m}$
 $6\mu\text{m}$



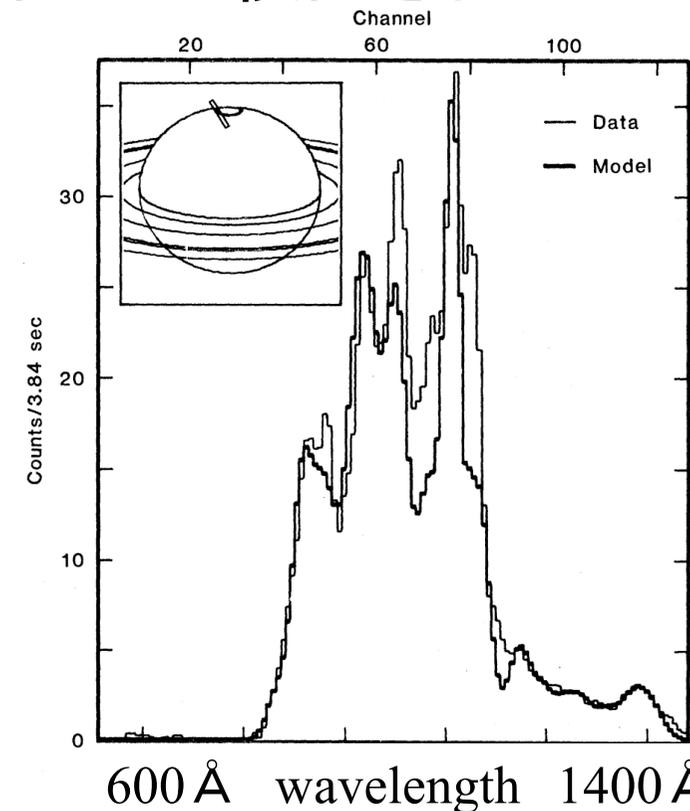
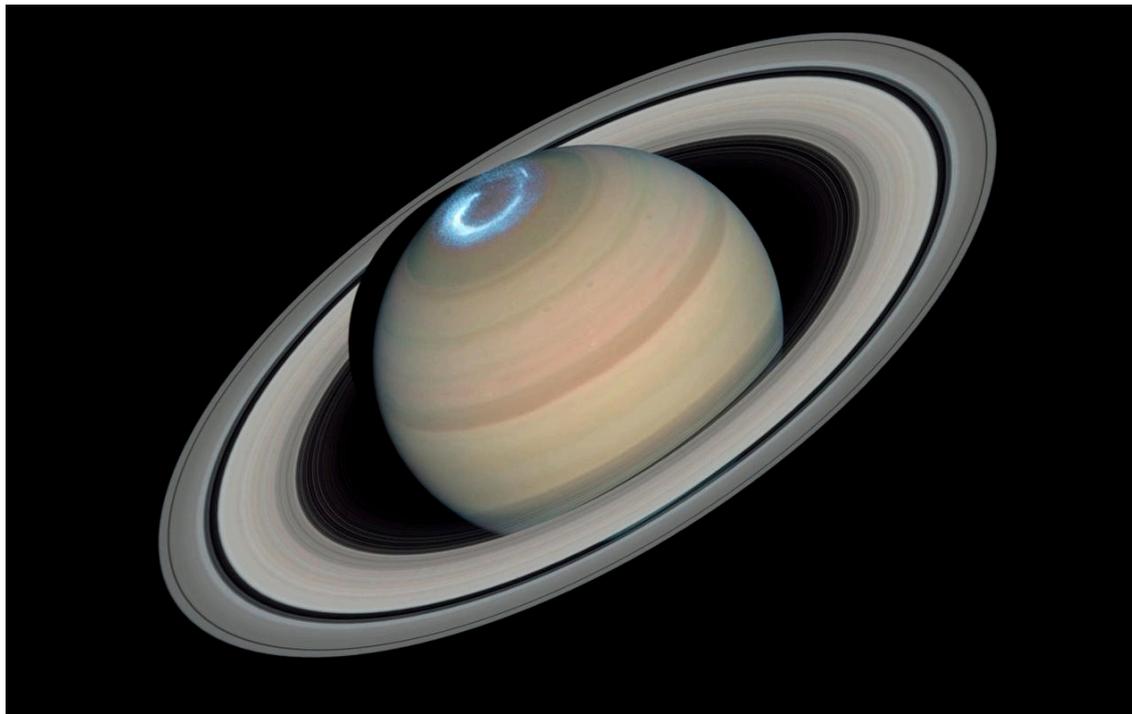
Spectra of 2 Jupiter-mass planet@10pc

Matsuo et al. (2010)

4. Spectroscopy of Planets

- 大質量星の惑星では紫外線による励起でPAHが見える？
- もしかしたらオーロラによってもPAHが見えるかも。

セーガンは「木星で見えるはず」と提唱したが検出されていない。



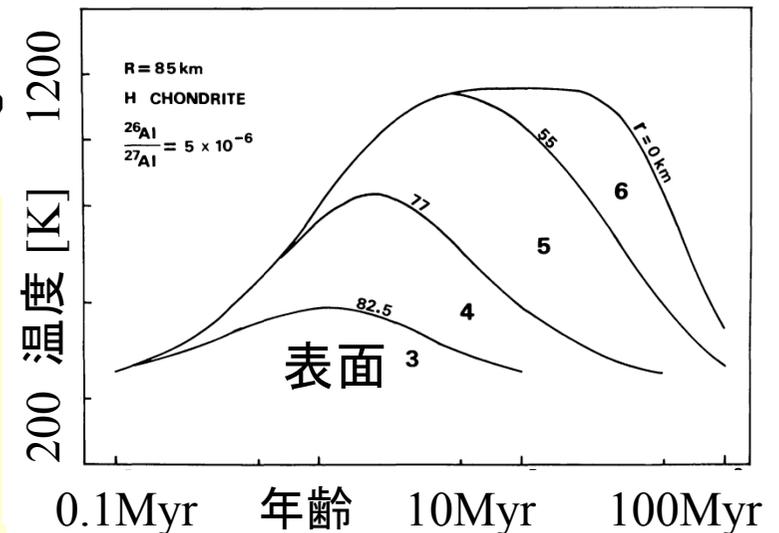
土星のオーロラのスペクトル
Sandel et al. (1982)

5. Debris Disks & Super-Earths

- 放射性同位体の崩壊熱で、小惑星は温かかった。
 - 大きい天体ほど高温になり、持続時間も長い。
 - 小惑星 Vesta (半径265km、3番目に大きい)は、100Myr にわたり、表面温度が500K以上だった可能性も。
- Vestaが10個あれば、SCIの検出限界と同じくらいの明るさ。
- 半径200km以上のカイパーベルト天体は、数百個見つかっていて、総数は10000個程度。
- 20 μ mでデブリ円盤はかなり明るい？

• 100Myrの地球型惑星は
中間赤外域でとても明るい？

- 100Myr, $3R_E$, 500K = $3\mu\text{Jy}@5\mu\text{m}$
- 100Myr, $3R_E$, 300K = $0.4\mu\text{Jy}$
- SCIの検出限界: $0.1\mu\text{Jy}$



小惑星の温度変化
Miyamoto et al. (1982)