

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。

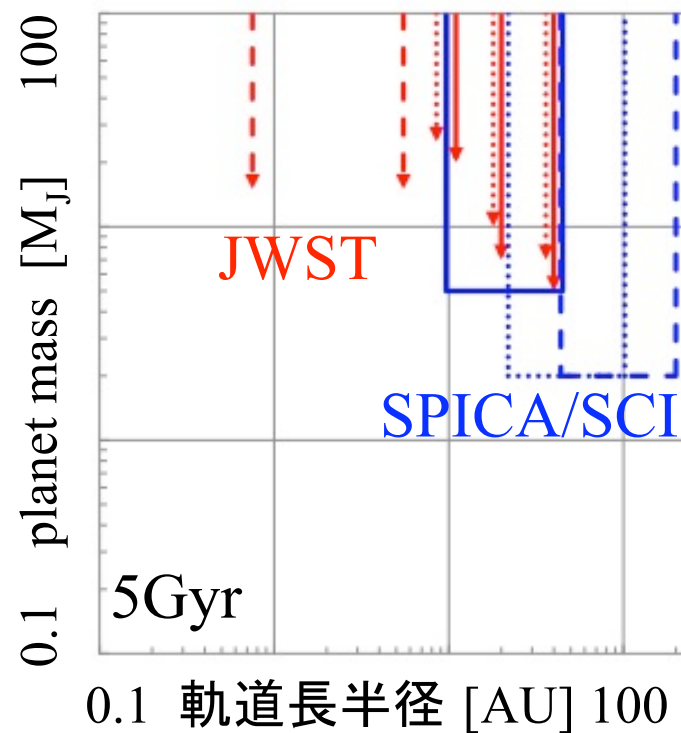
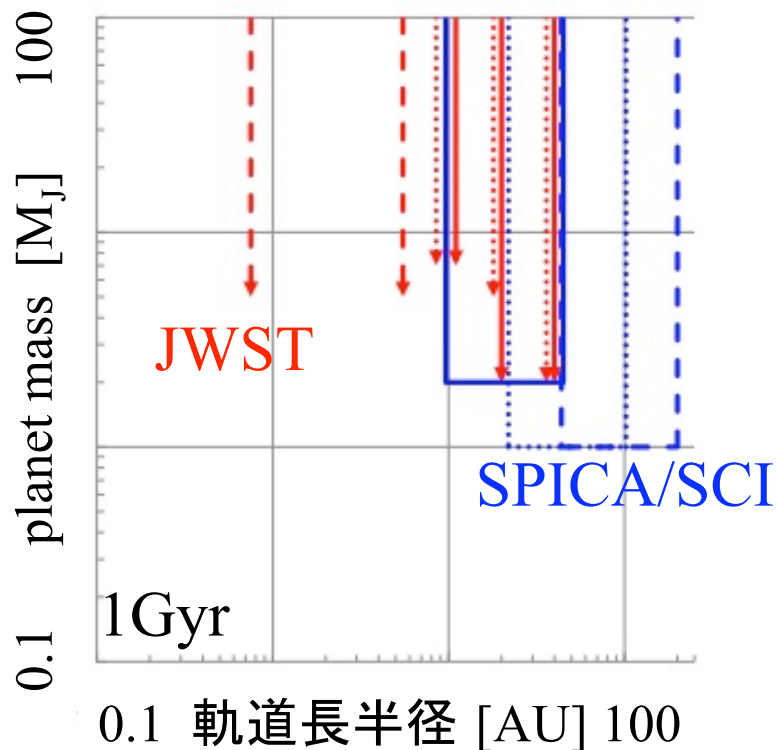
3. Direct Detection of Planets

- 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。

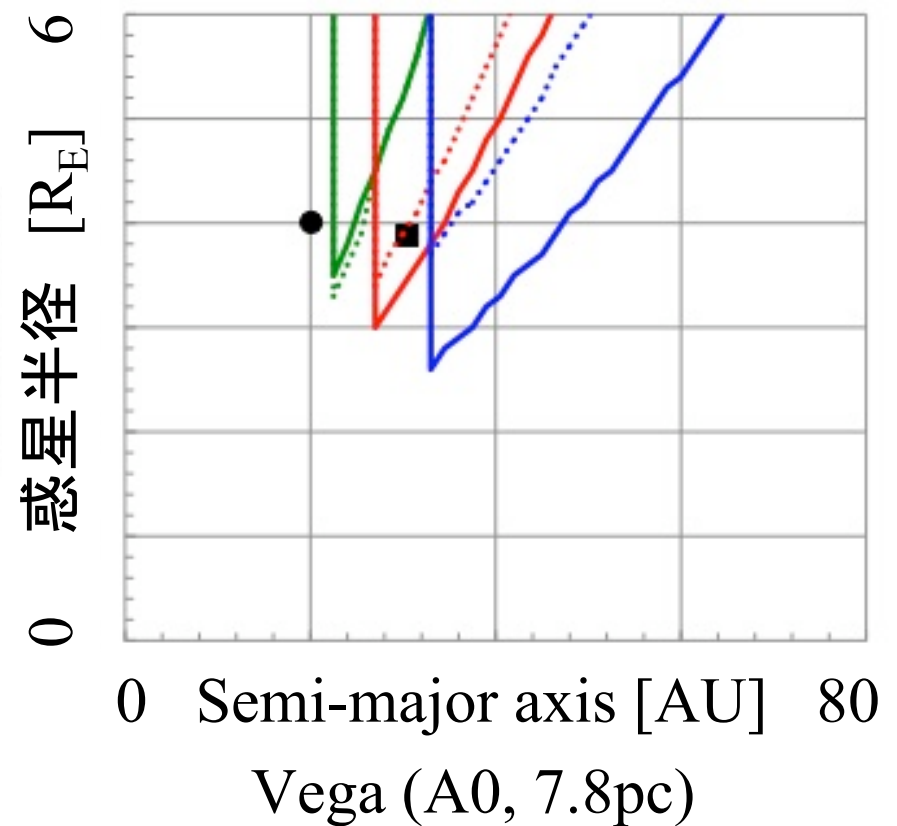
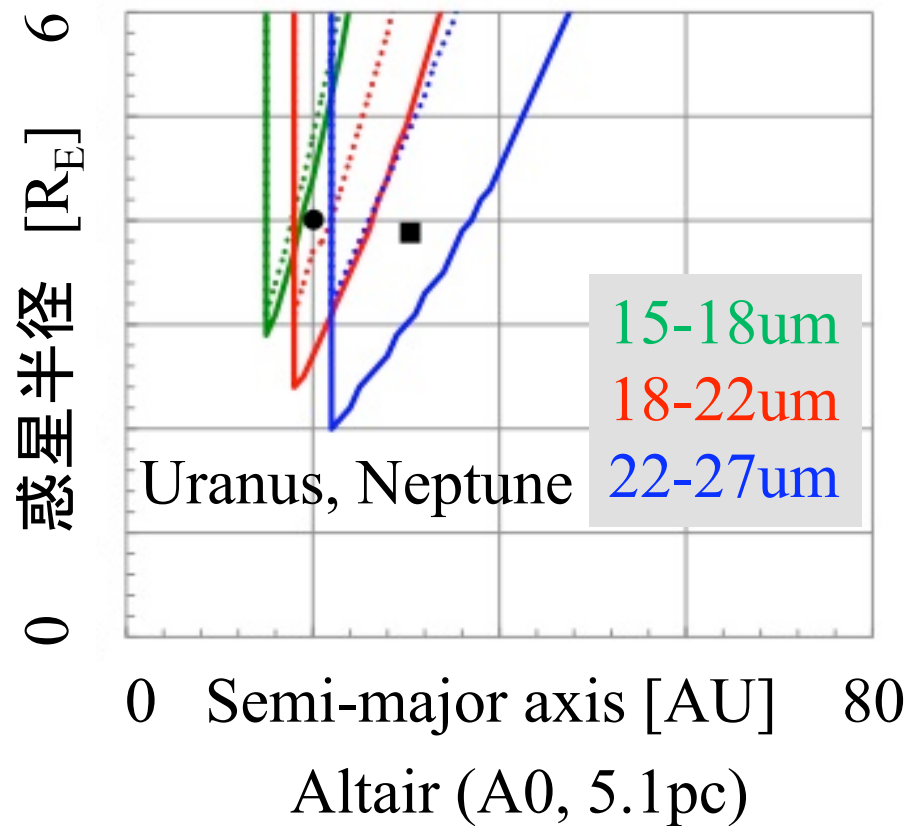


Matsuo et al. (2010)

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查する
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。



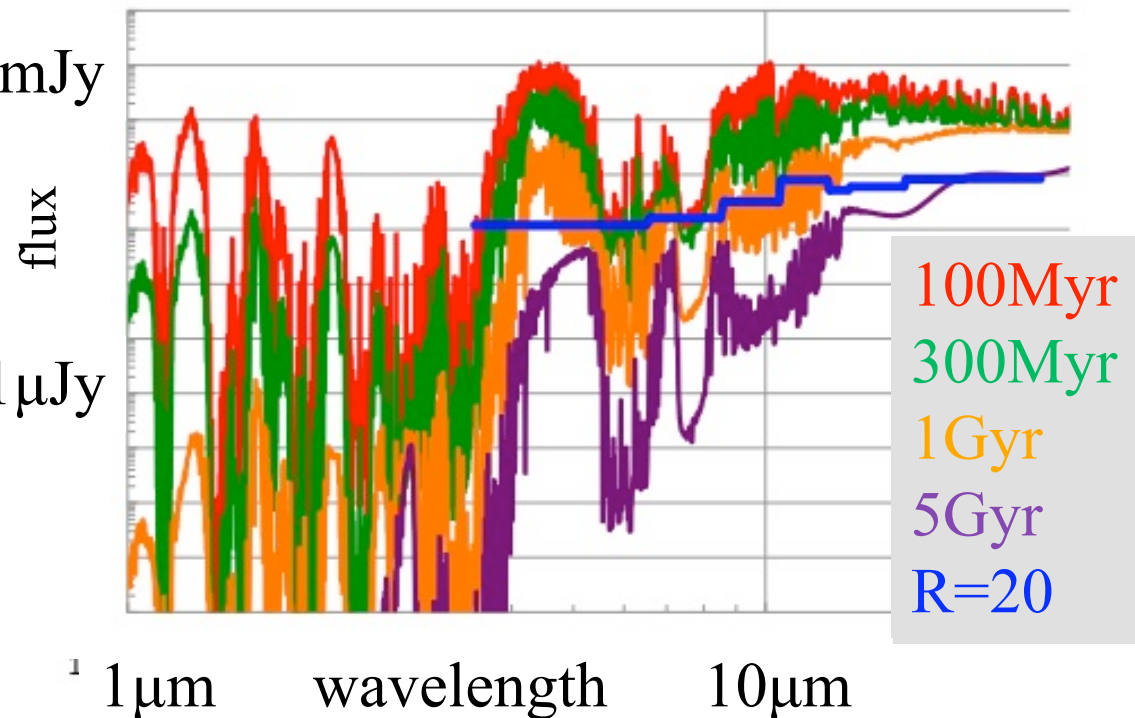
4. Spectroscopy of Planets

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



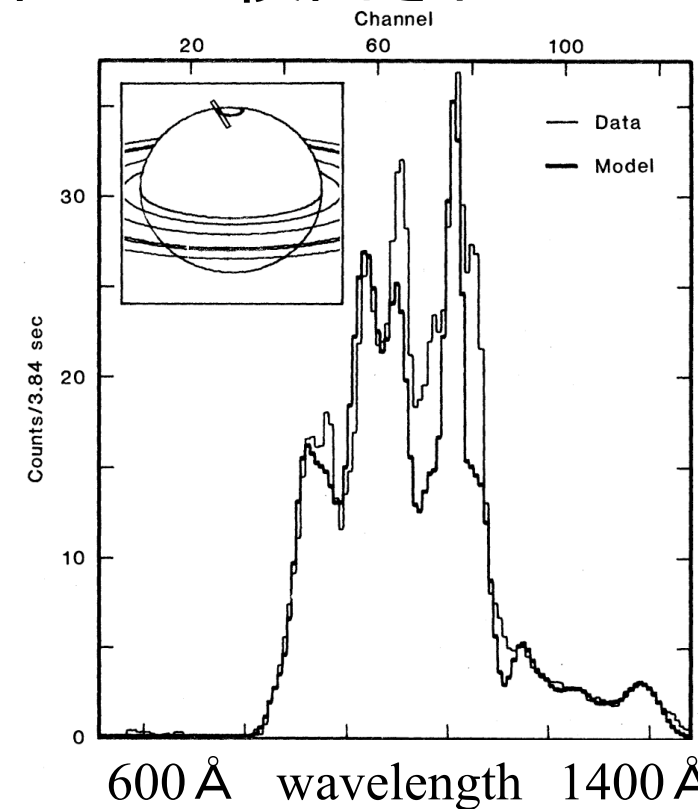
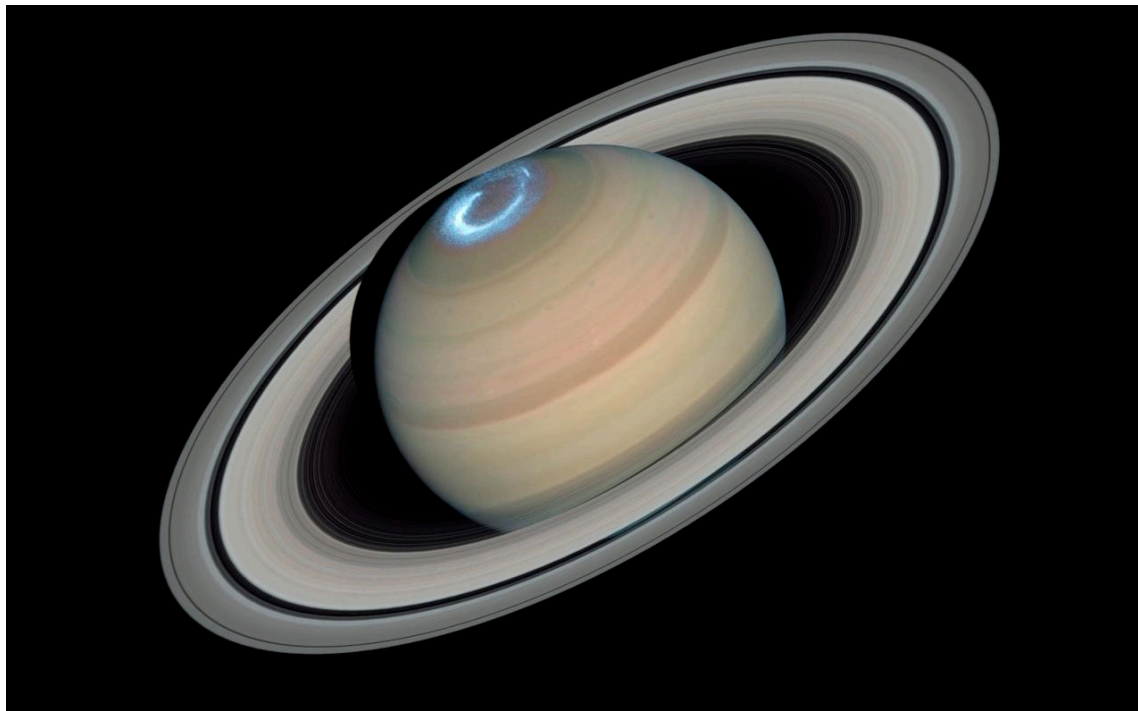
Spectra of 2 Jupiter-mass planet@10pc

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。



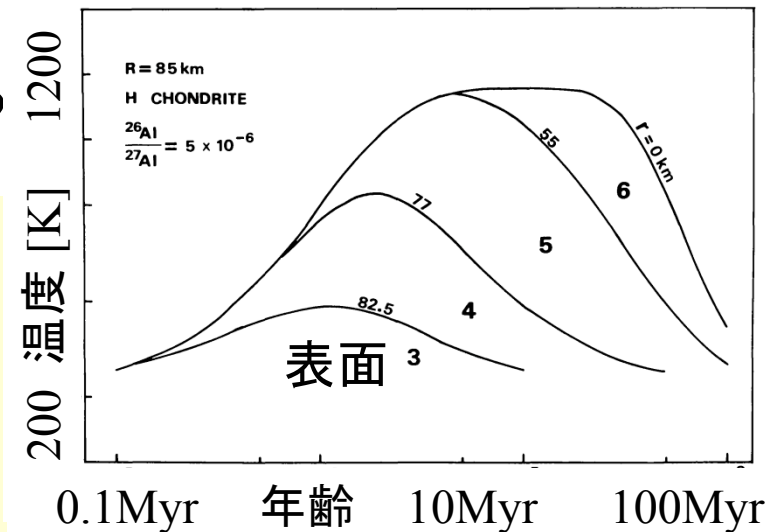
土星のオーロラのスペクトル
Sandel et al. (1982)

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)