



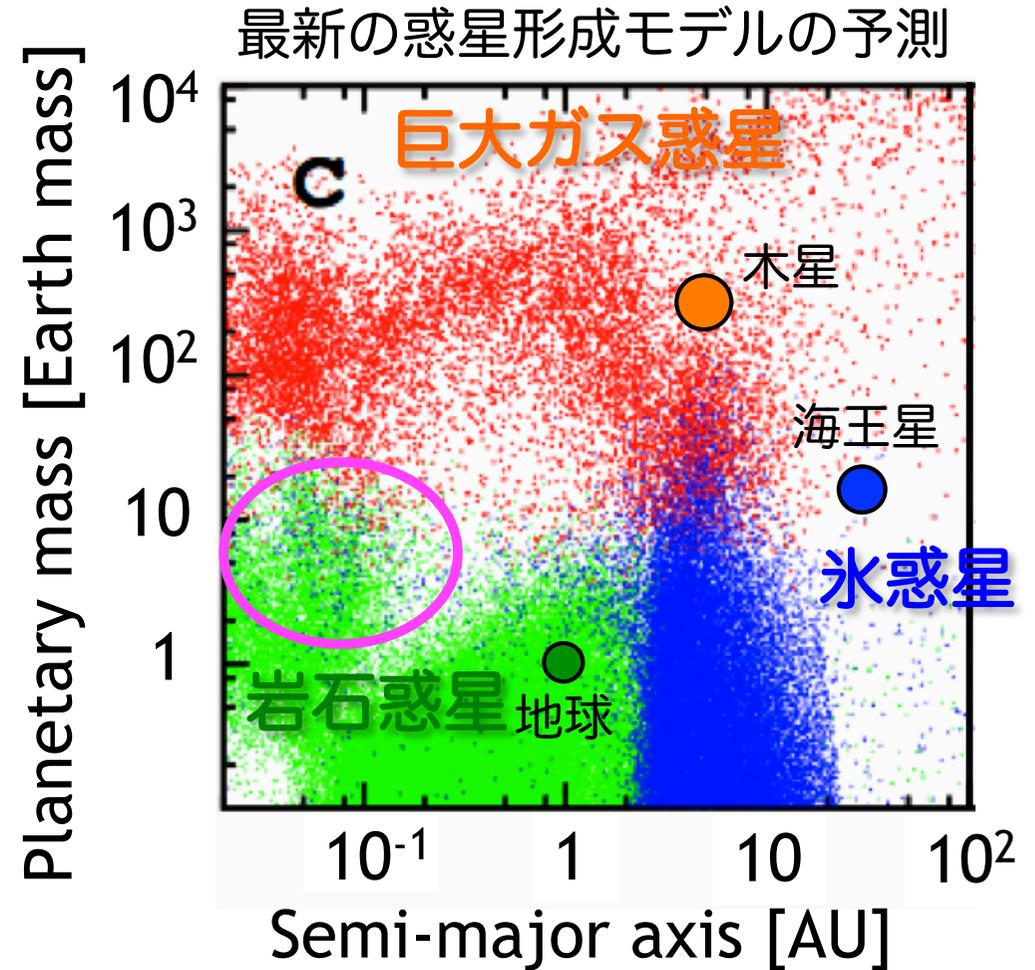
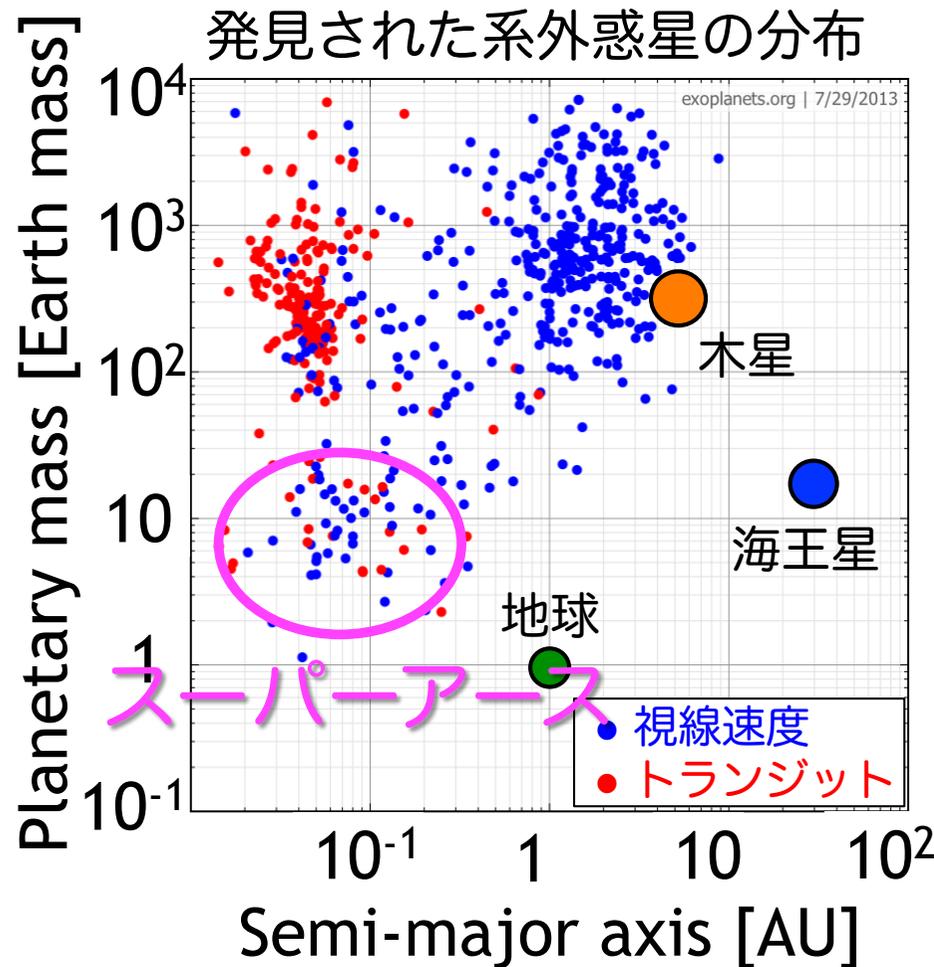
可視-近赤外同時観測による  
トランジット・スーパーアースGJ3470b  
の大気調査

福井 暁彦  
国立天文台岡山天体物理観測所

イラスト：  
プレスリリース  
「晴天のスーパーアース？」  
(2013年6月12日) より

2013年8月2日  
2013年度岡山ユーザーズミーティング

# 太陽系外惑星分布とスーパーアース



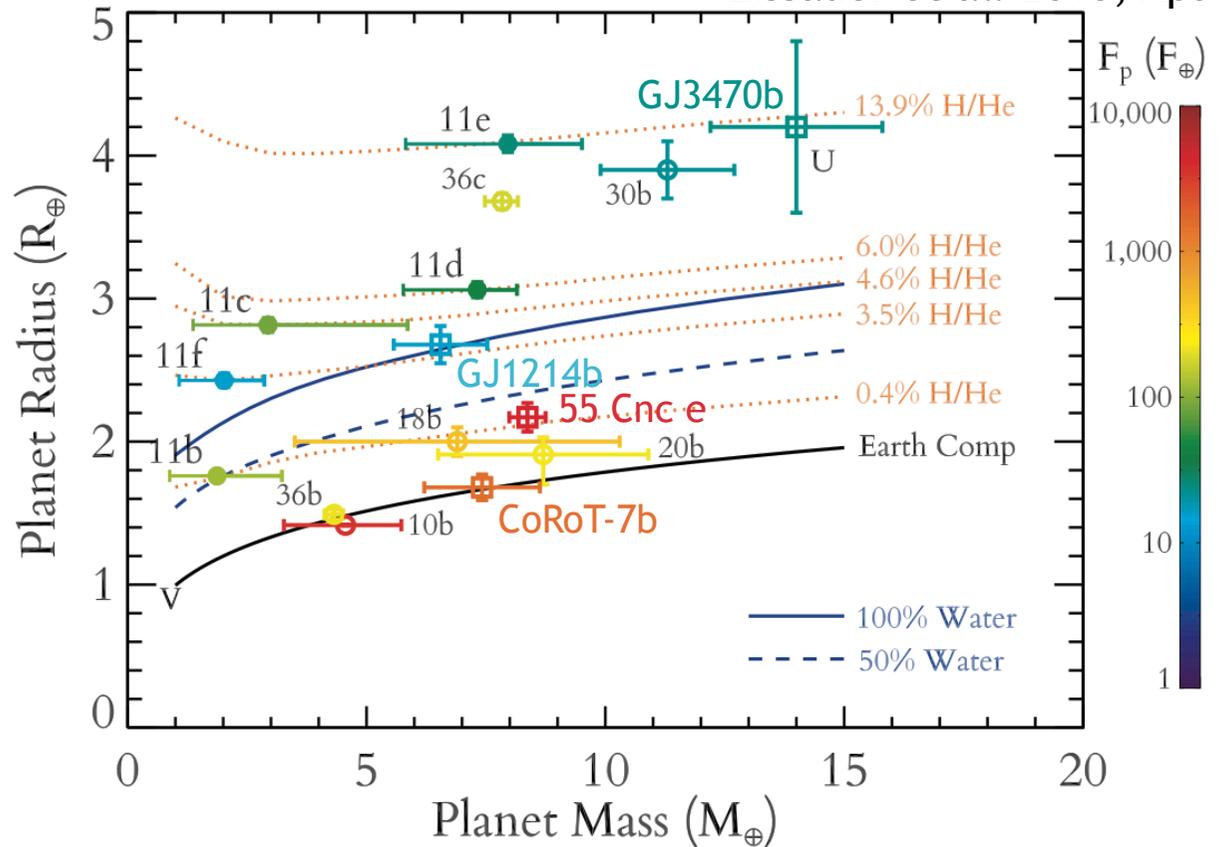
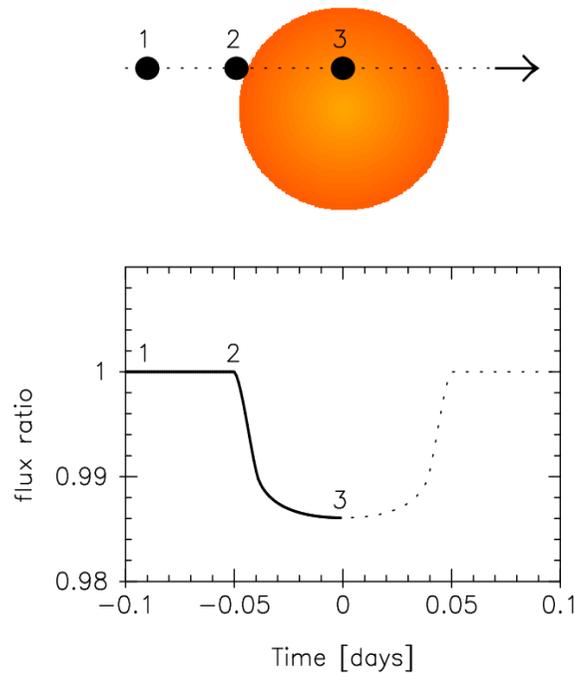
Ida et al. 2013

- 近年、スーパーアース（数～15倍地球質量）が多数発見
- スーパーアースの形成機構の解明には「内部組成」の調査が必須

# トランジット・スーパーアースの質量-半径分布

Lissauer et al. 2013, ApJ

## トランジット惑星



- 減光率 → 惑星の半径
- 視線速度 → 惑星の質量



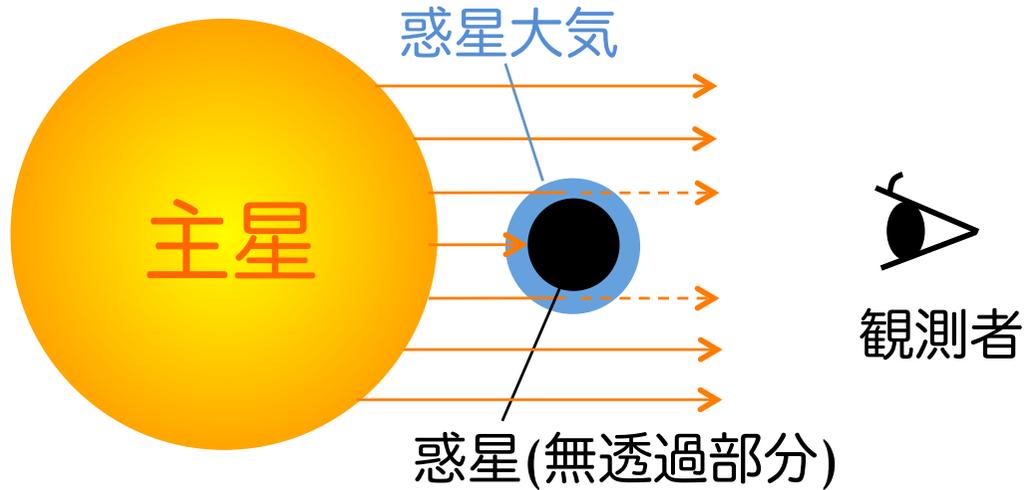
内部組成の推定が可能

- 半径と質量だけでは、内部組成を一意に決められない。

- 主成分: 岩石、水、ガス(H/He)

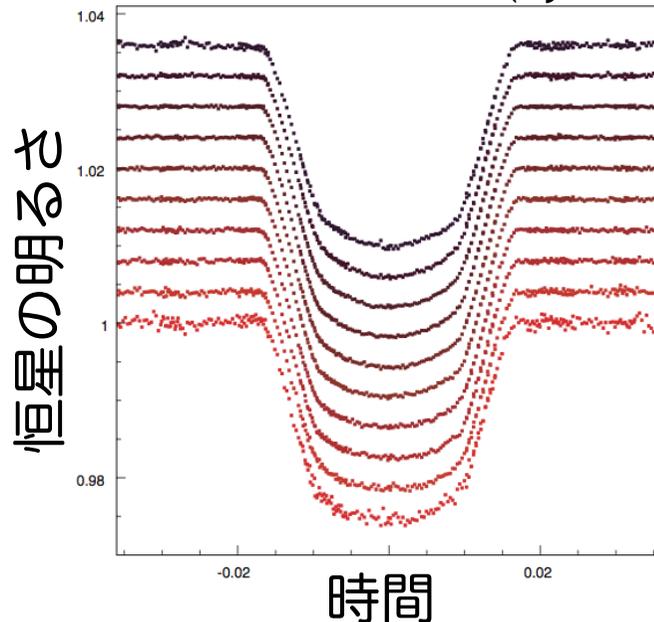
惑星の大気組成の調査が重要

# トランジット・スペクトルを通じた惑星大気の観測

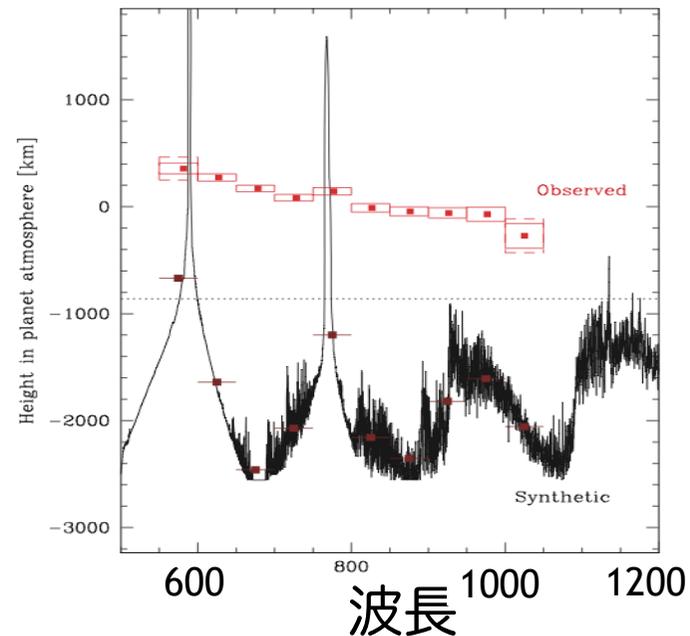


- 主星の減光率（つまり惑星の見かけの半径）の波長依存性から、惑星の大気組成の調査が可能
- 高いS/Nの観測が必要。これまで主にホットジュピターで観測。

HD189733b (ホットジュピター)の波長ごとの光度曲線 (by HST)



トランジット・スペクトル



## 近傍のM型星まわりのトランジット・スーパーアース

---

- 通常、スーパーアースの大気観測は非常に困難

- 主星が太陽型星の場合、減光率は微小（0.1%以下）

- 主星が「太陽系近傍のM型星」であれば可能

- 近傍 ⇒ 主星が明るい ⇒ 高精度観測

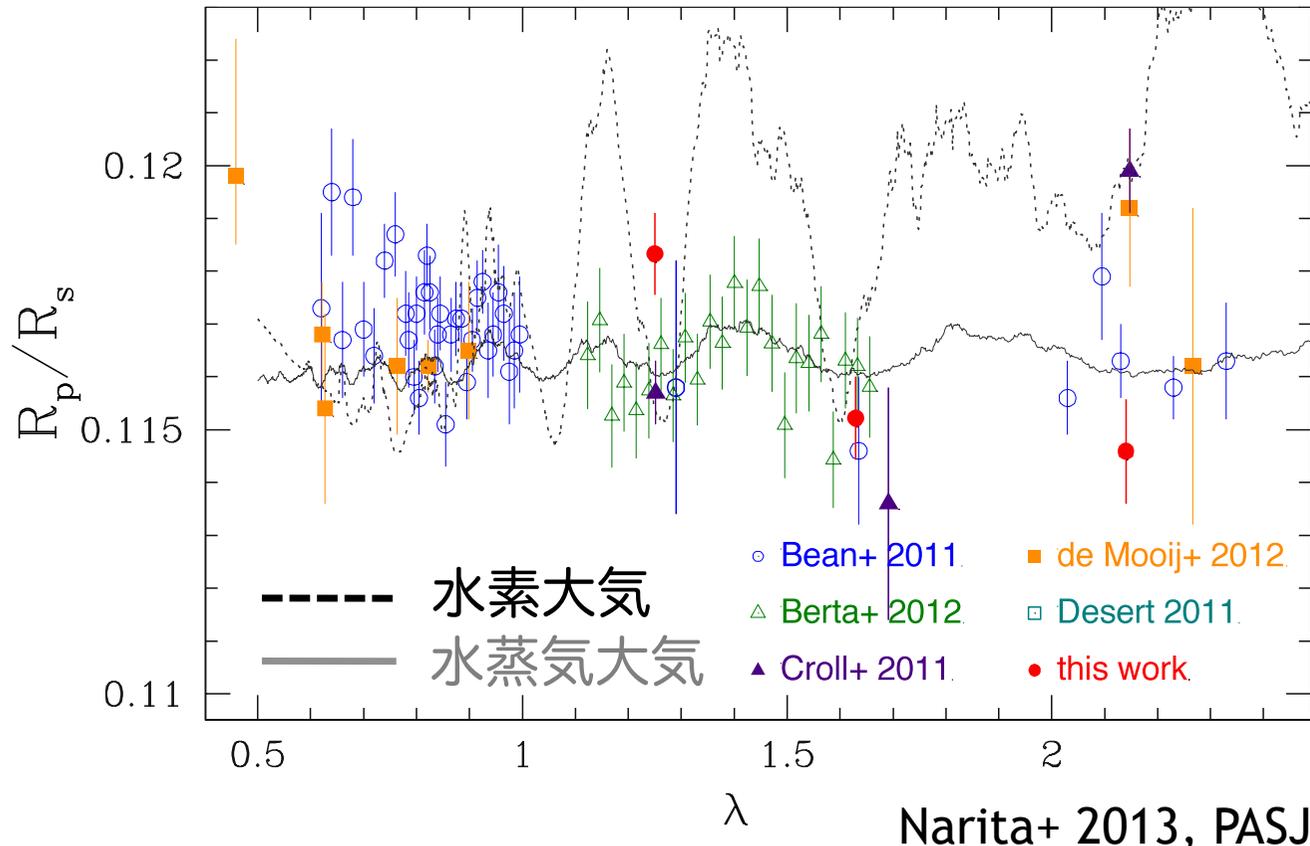
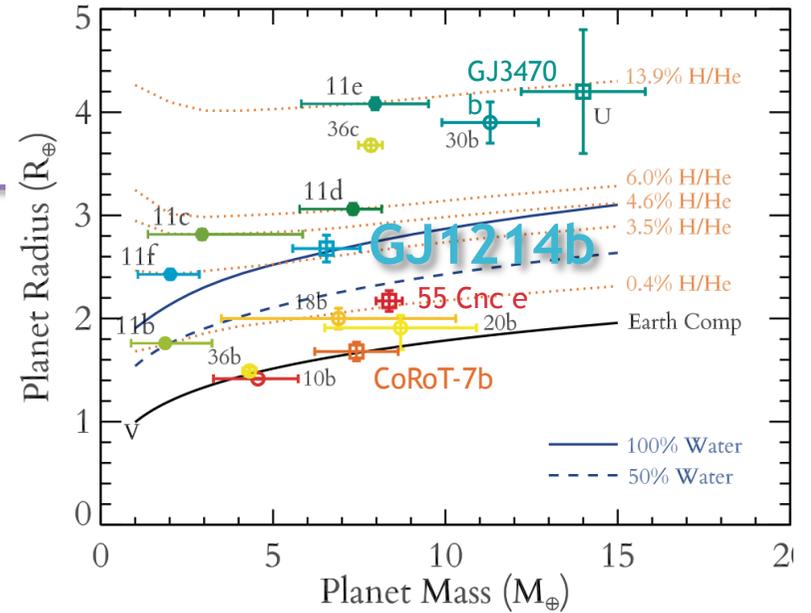
- M型星 ⇒ 主星が小さい ⇒ 減光率大

- 太陽系近傍(<30pc)のM型星周りのトランジット・スーパーアース(<15 $M_{\text{Earth}}$ )の発見数はまだ**2**個

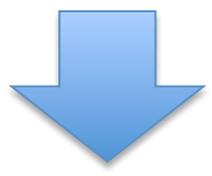
- **GJ1214b, GJ3470b**

# GJ1214b

- 2009年に発見 (Charbonneau+ 2009, Nature)
  - 主星: 距離13pc、半径  $0.21R_{\text{sun}}$
  - 惑星: 質量  $6.6 M_E$ 、半径  $2.7R_E$
  - トランジット減光率: 1.3%



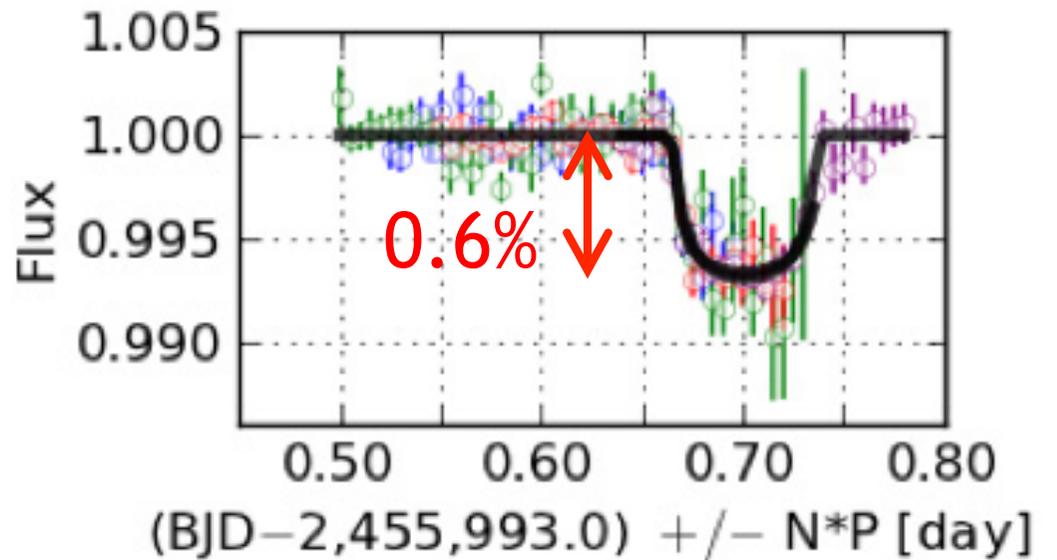
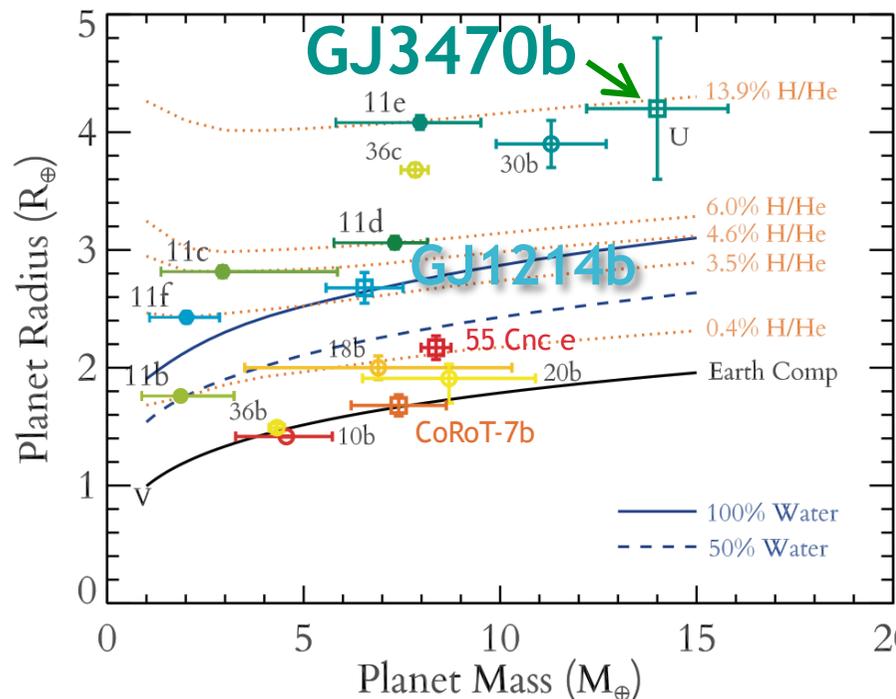
可視から赤外にかけて平坦なスペクトル



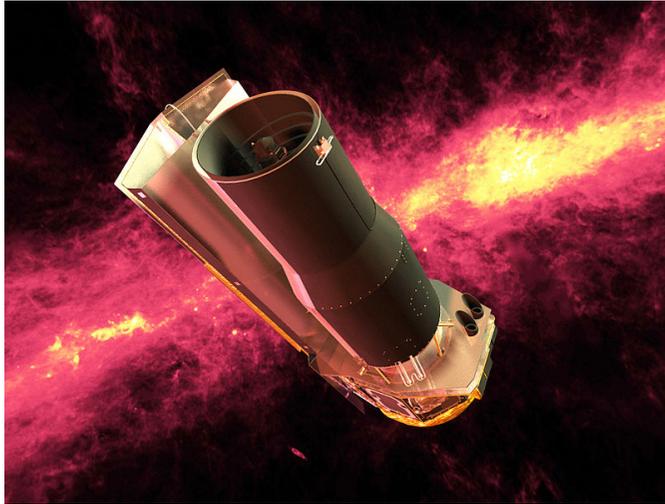
- 大気成分検出されず
- 水蒸気過多の大気?
  - 水素主体+雲の大気?

# GJ3470b

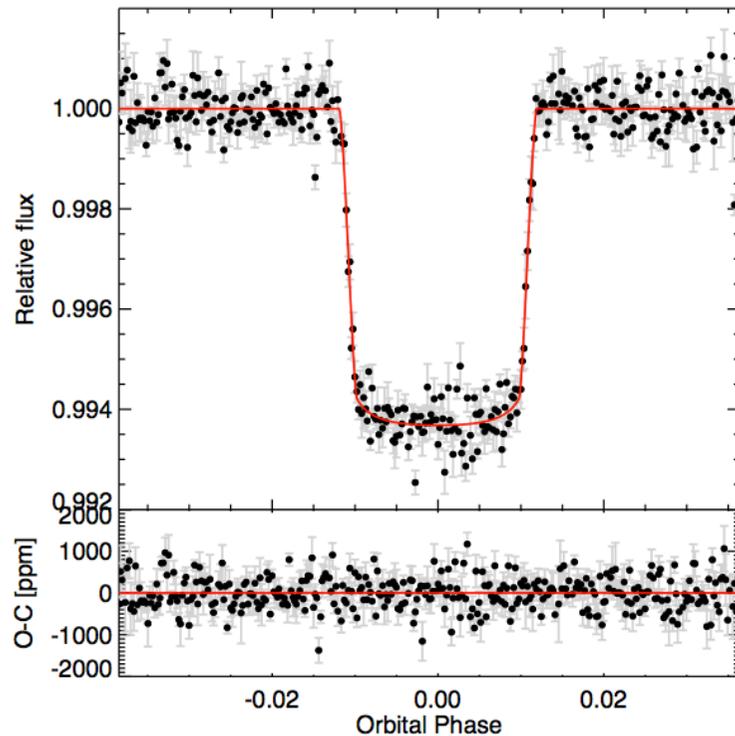
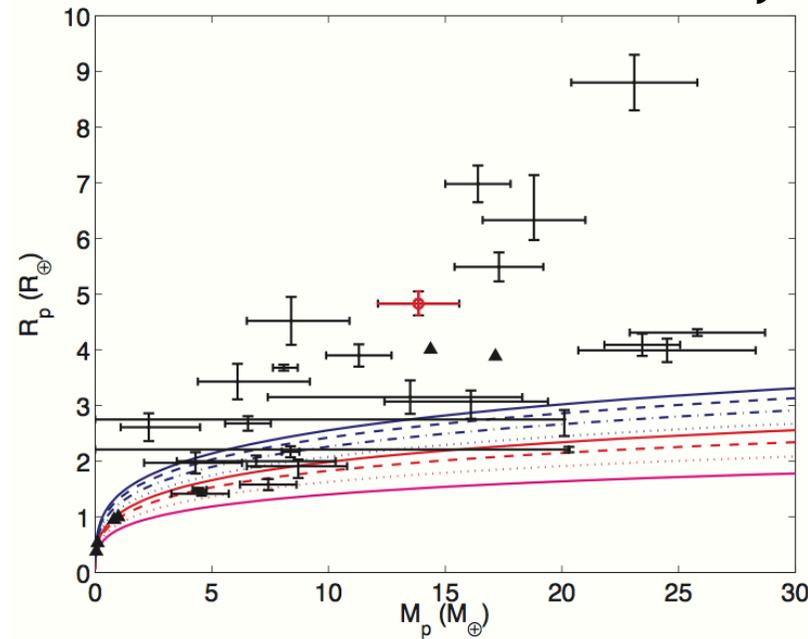
- 近傍 (<35pc) のM型星をまわるトランジット・スーパーアースとして2例目 (質量 $\sim 14M_{\text{Earth}}$ )
  - 2012年6月に発見が報告 (Bonfils+ 2012)
  - HARPS視線速度サーベイで発見 $\Rightarrow$ トランジットが確認
  - 詳細調査が可能な低質量惑星として注目



# Spitzerによる4.5μmバンド測光観測



Demory+ 2013, ApJ



$$M_p = 13.9^{+1.5}_{-1.4} M_E$$

$$R_p = 4.83^{+0.22}_{-0.21} R_E$$

$$\rho_p = 0.72^{+0.13}_{-0.12} \text{ g cm}^{-3}$$

- 低密度な低質量惑星
- 5-23%の水素大気をもつ

# OAOの2台の望遠鏡を用いた可視-近赤外同時観測

- 188cm望遠鏡/ISLE
  - 近赤外線撮像分光装置
  - 高精度( $\sim 0.1\%$ )測光観測が可能
    - ノイズが小さく、欠損画素が少ない
    - 精密ガイドが可能
- 50cm MITSuME望遠鏡
  - 可視光3色( $g'$ ,  $R_c$ ,  $I_c$ )同時撮像可
  - もともとGRB残光即時観測用
- 可視3色+近赤外1色( $J$ )の計4色同時トランジット観測に成功
  - 2012/11/15



岡山188cm望遠鏡/ISLE

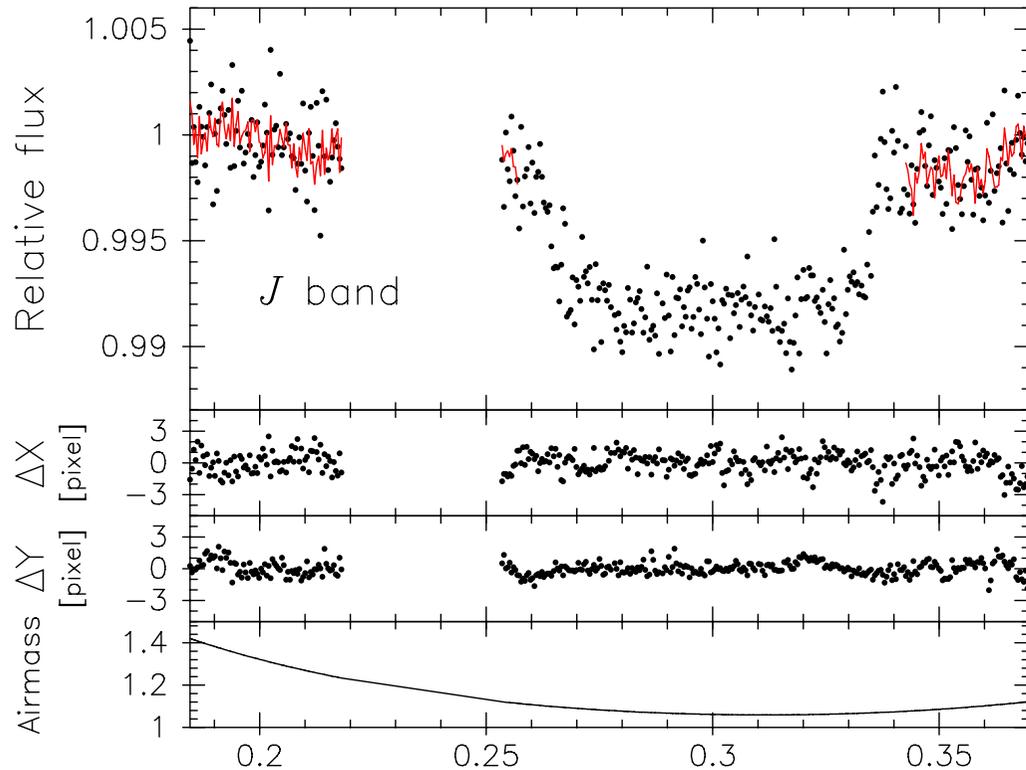


50cm MITSuME望遠鏡

# 星像変位に伴う測光誤差の高精度補正

補正前

測光精度: **0.15%**/30秒積分

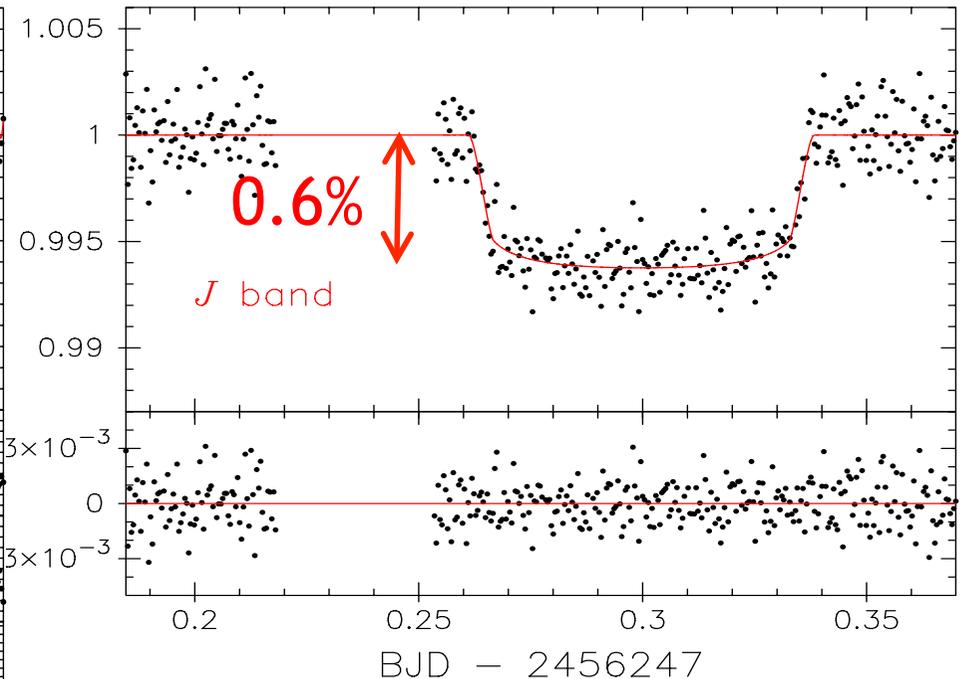


BJD - 2454267



補正後

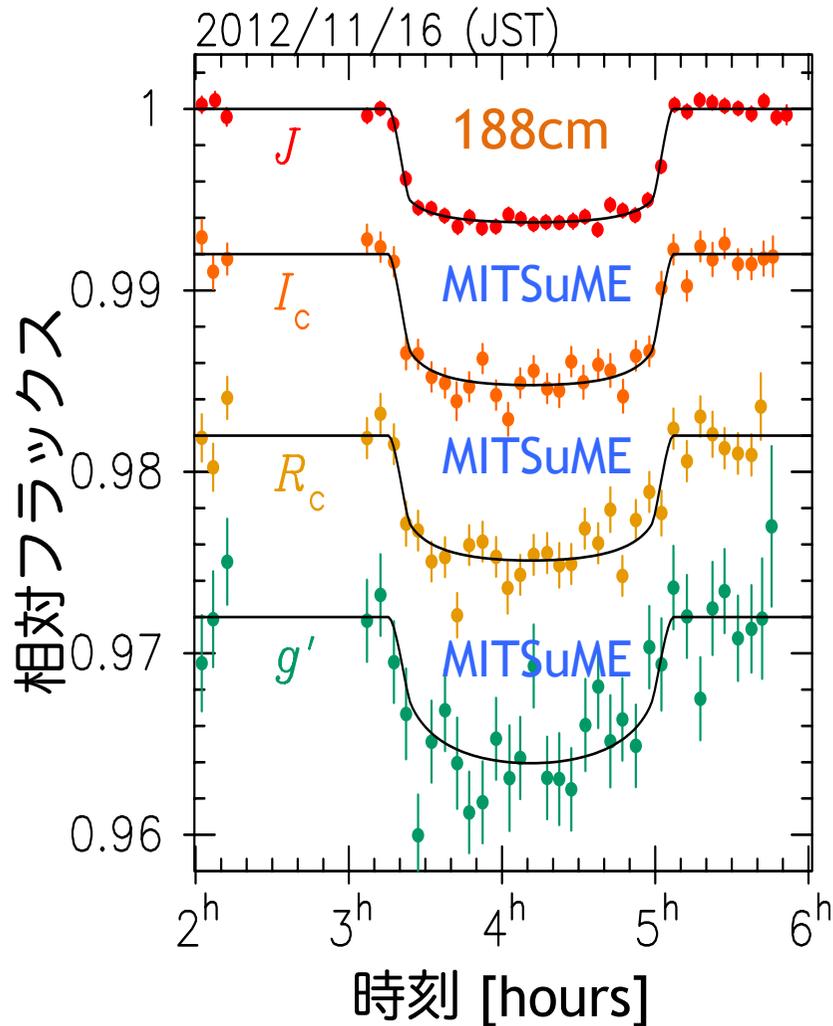
**0.12%**/30秒積分



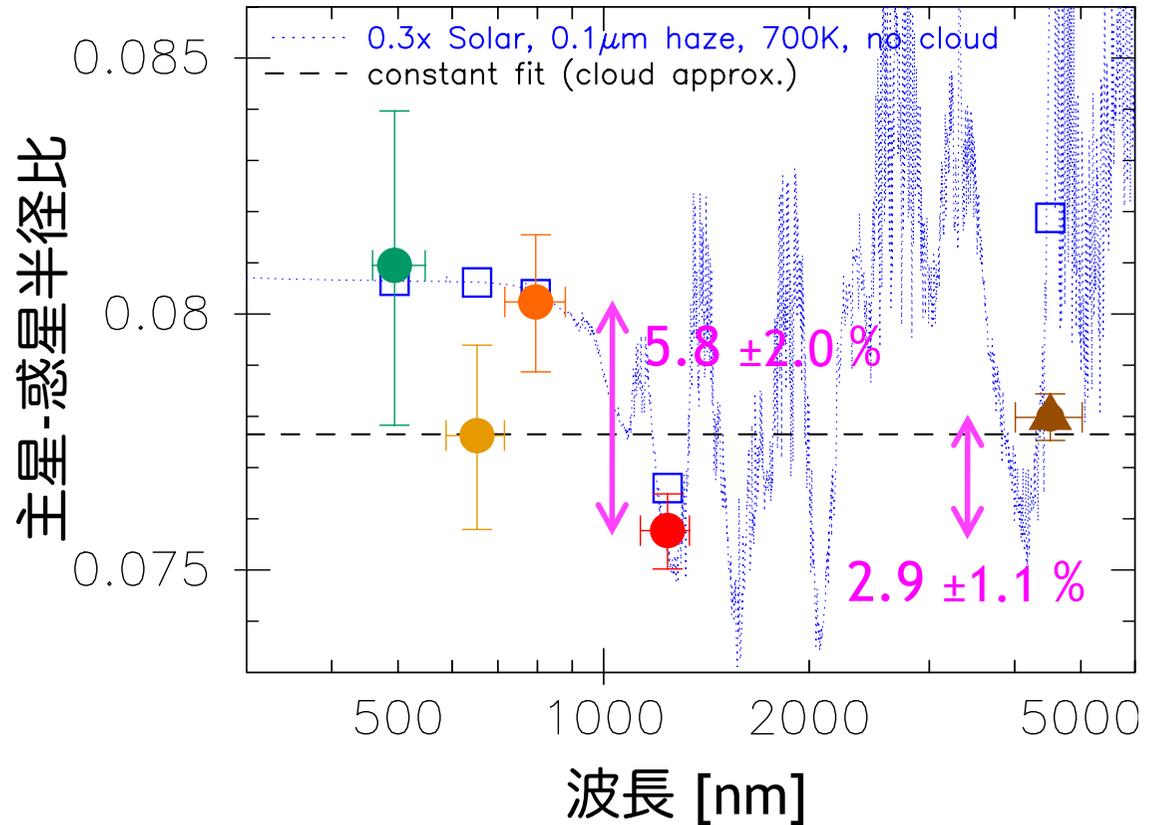
BJD - 2456247

- ハイブリットガイド (従来のオフセットガイド + ISLE画像上の星像変位をモニター、柳澤氏ポスターP02参照) ⇒ サブピクセル(<0.245")ガイドを達成
- $dX$ ,  $dY$ とフラックスとの相関が陽に現れ、**系統誤差の補正が可能に。**

# 観測結果



## GJ3470bのトランジット・スペクトル



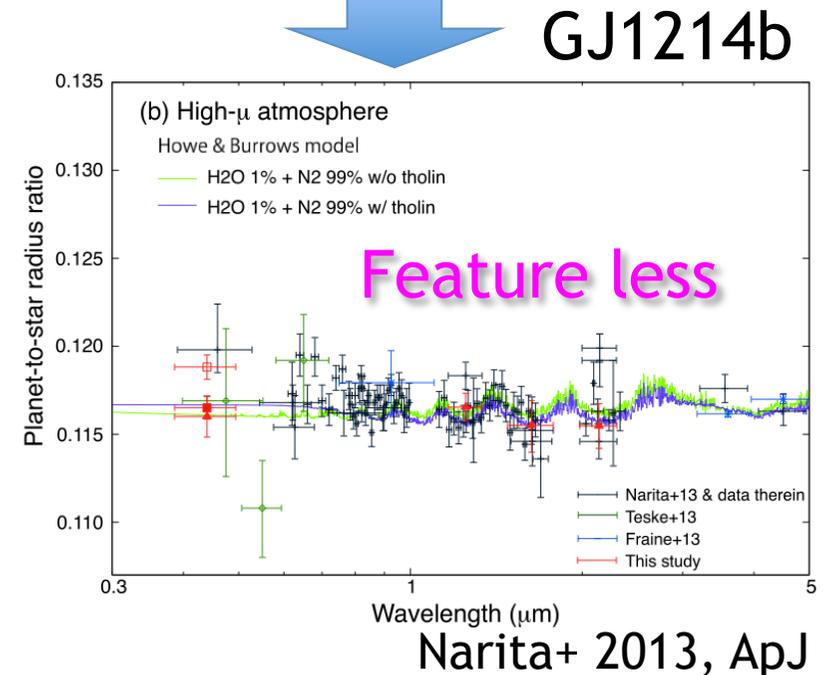
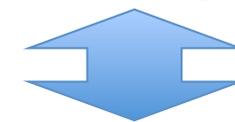
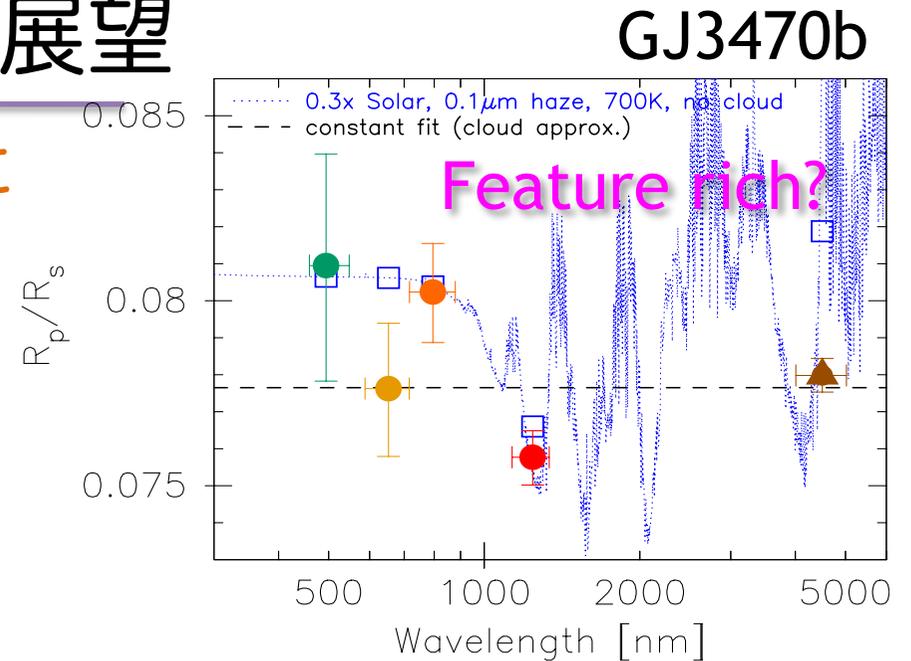
Fukui+ 2013, ApJ, 770, 95

GJ3470bの半径の波長依存性を初めて観測

⇒ おそらく水素主体の惑星大気の組成を反映

# 観測結果の示唆と今後の展望

- GJ3470bは、少なくとも厚い雲に覆われていない
  - スペクトルがfeature richな可能性  
⇔ GJ1214b (厚い雲 or 水蒸気大気)
  - 初の晴れたスーパーアース?
  - 雲に邪魔されず、詳細観測が可能
- 今後の詳細観測に大きな期待
  - ISLEで追観測し、今回の結果を検証
    - 雲の有無、水素大気モデルの検証
  - すばる望遠鏡/多天体分光観測
    - 特定分子の検出。特にH<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>など、低温度下で凝固する成分の有無の調
  - スーパーアース形成モデルの検証



# まとめ

---

- 近年、主星近傍をまわるスーパーアースの発見数が増加。形成機構の解明が課題。
  - トランジット・スーパーアースの大気組成調査が鍵。
- 岡山観測所の2台の望遠鏡を使用して、スーパーアースGJ3470bのトランジットを可視-近赤外4色同時観測
  - 惑星半径の波長依存性を初検出
  - 厚い雲に覆われておらず、「晴れた惑星」の可能性
  - 今後の詳細観測から、具体的な大気成分の検出、さらにはスーパーアースの形成起源の解明に期待