



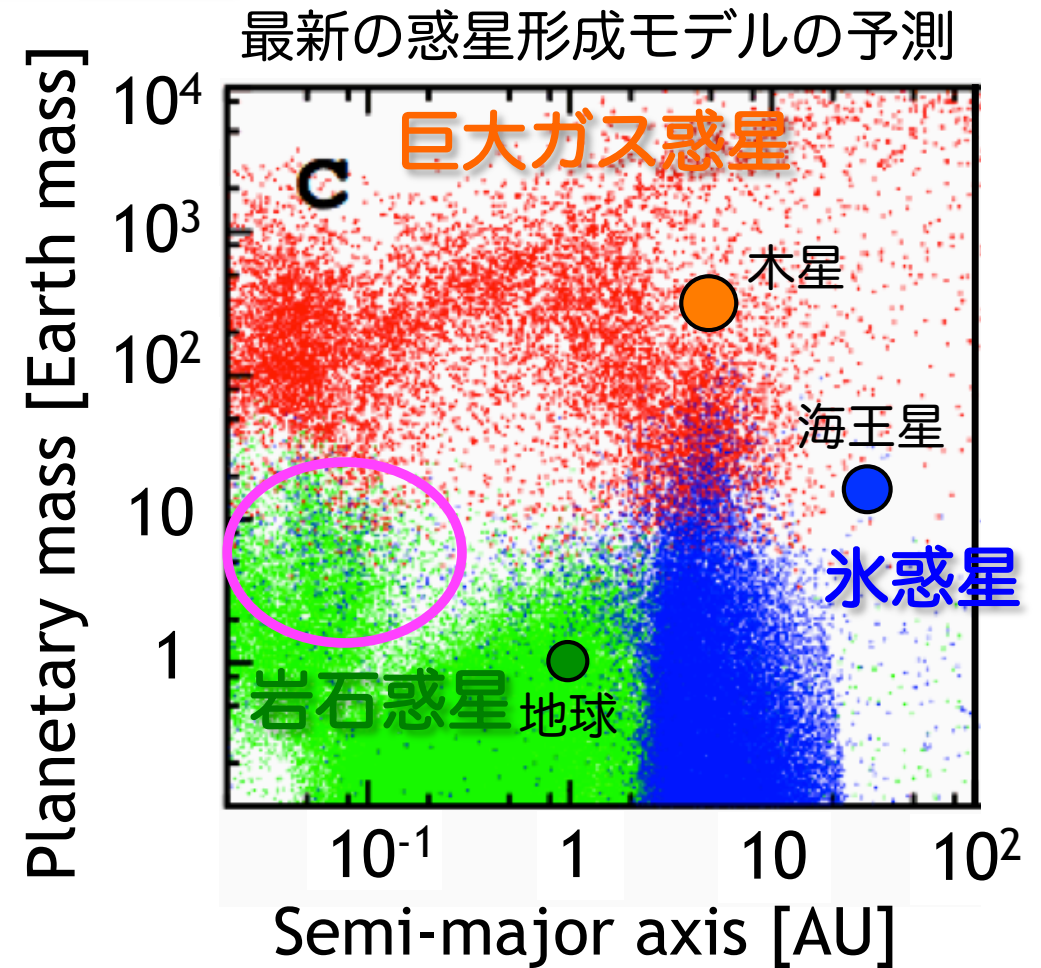
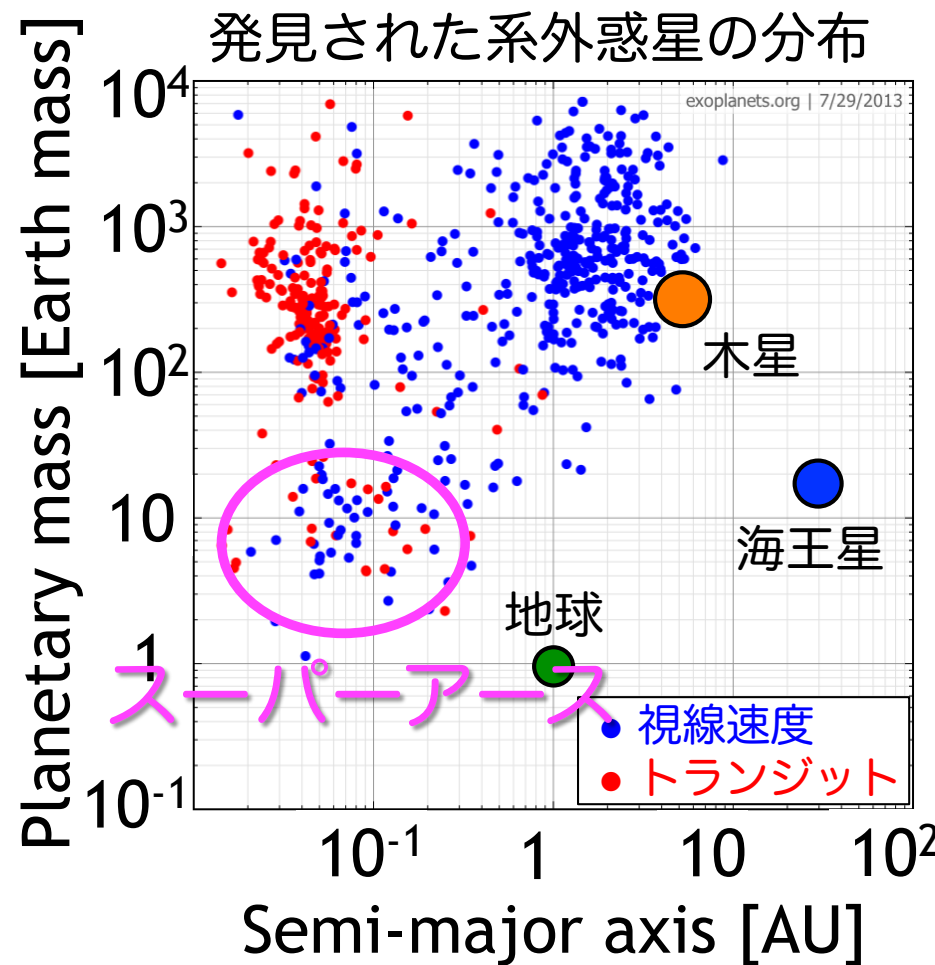
可視-近赤外同時観測による トランジット・スーパー アースGJ3470b の大気調査

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



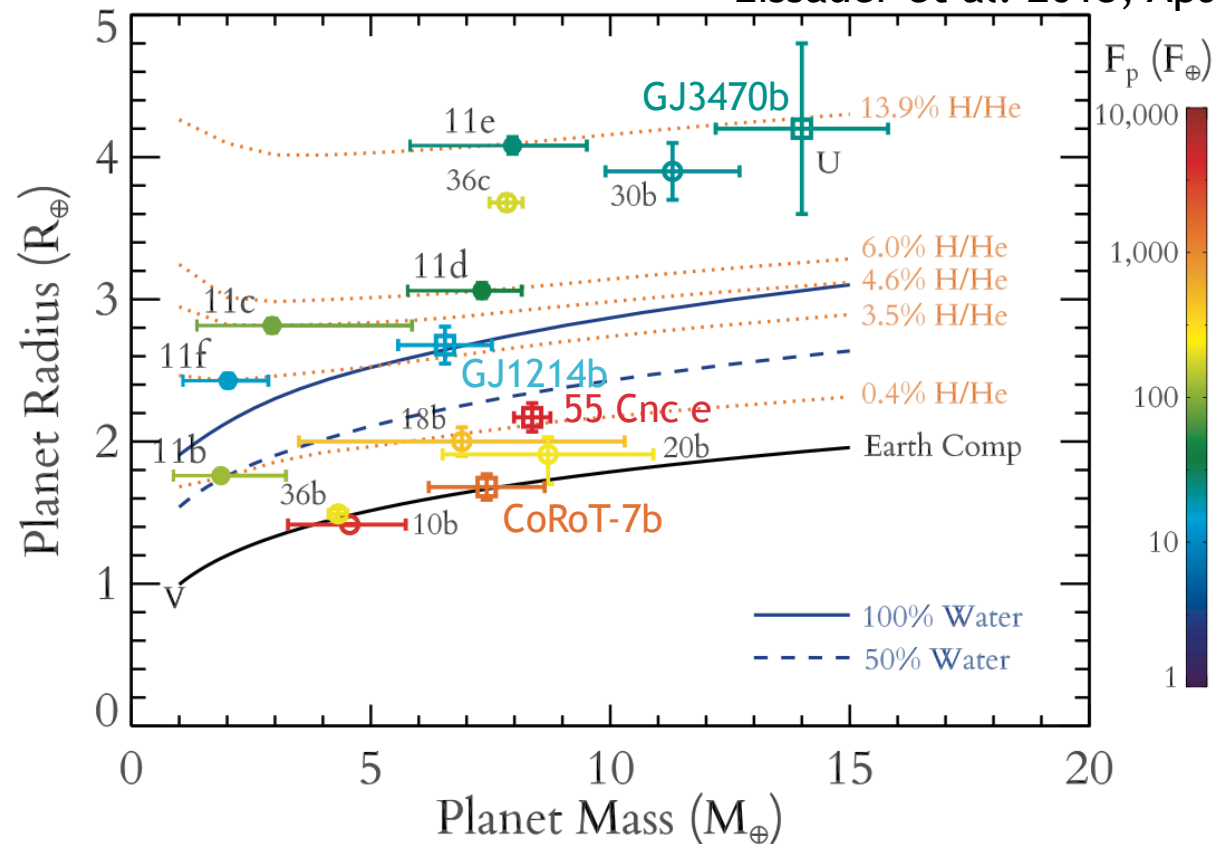
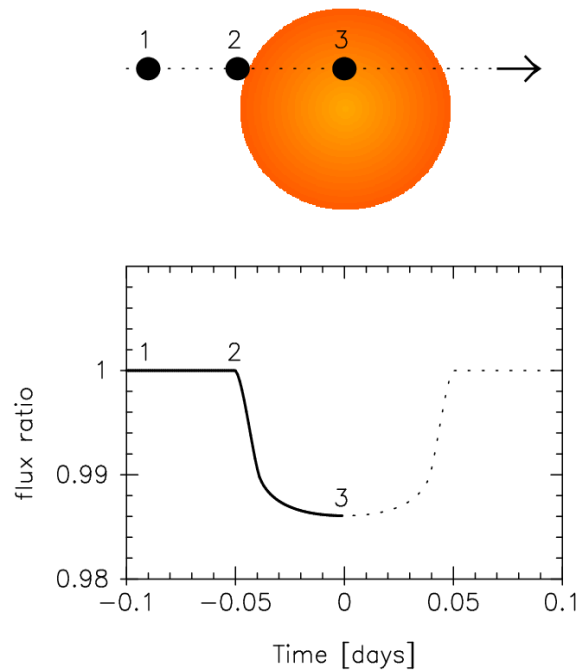
Ida et al. 2013

- 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



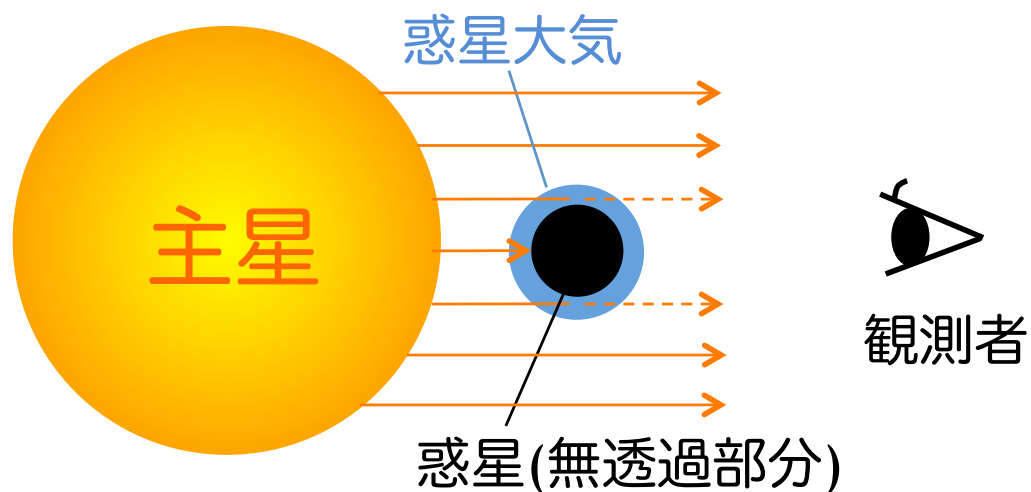
内部組成の推定が可能

- 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)

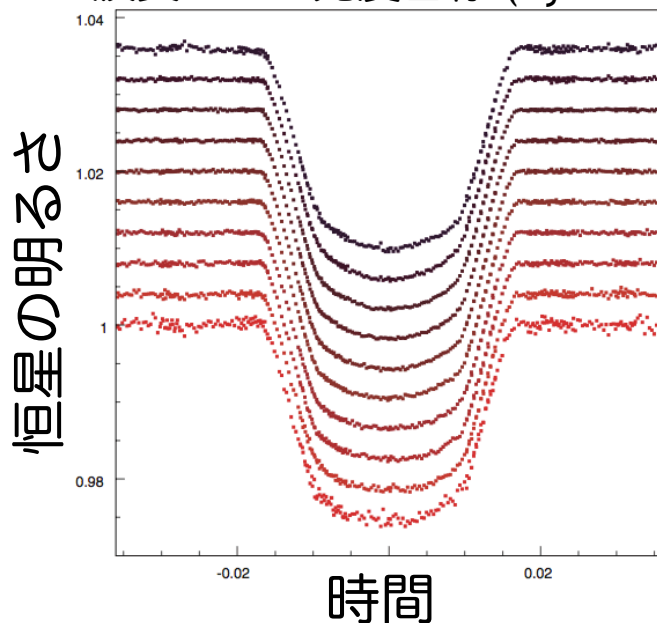
惑星の大気組成の調査が重要

トランジット・スペクトルを通した惑星大気の観測

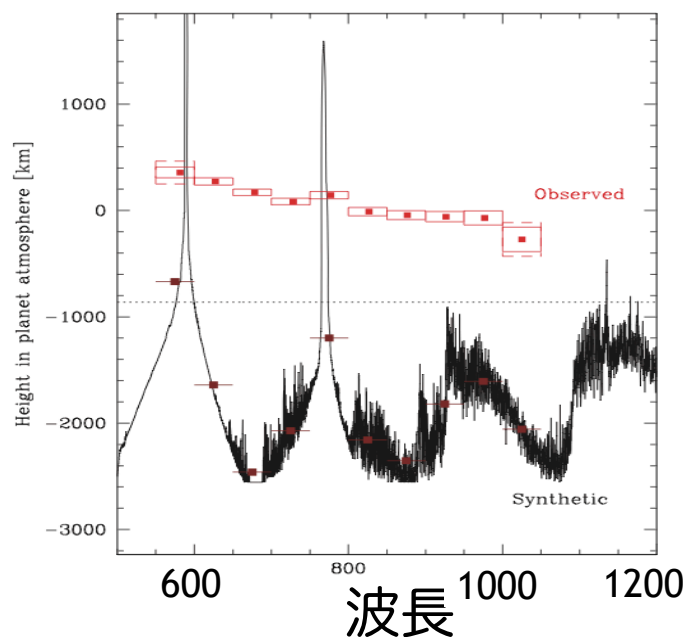


- 主星の減光率（つまり惑星の見かけの半径）の波長依存性から、惑星の大気組成の調査が可能
- 高いS/Nの観測が必要。これまで主にホットジュピターで観測。

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

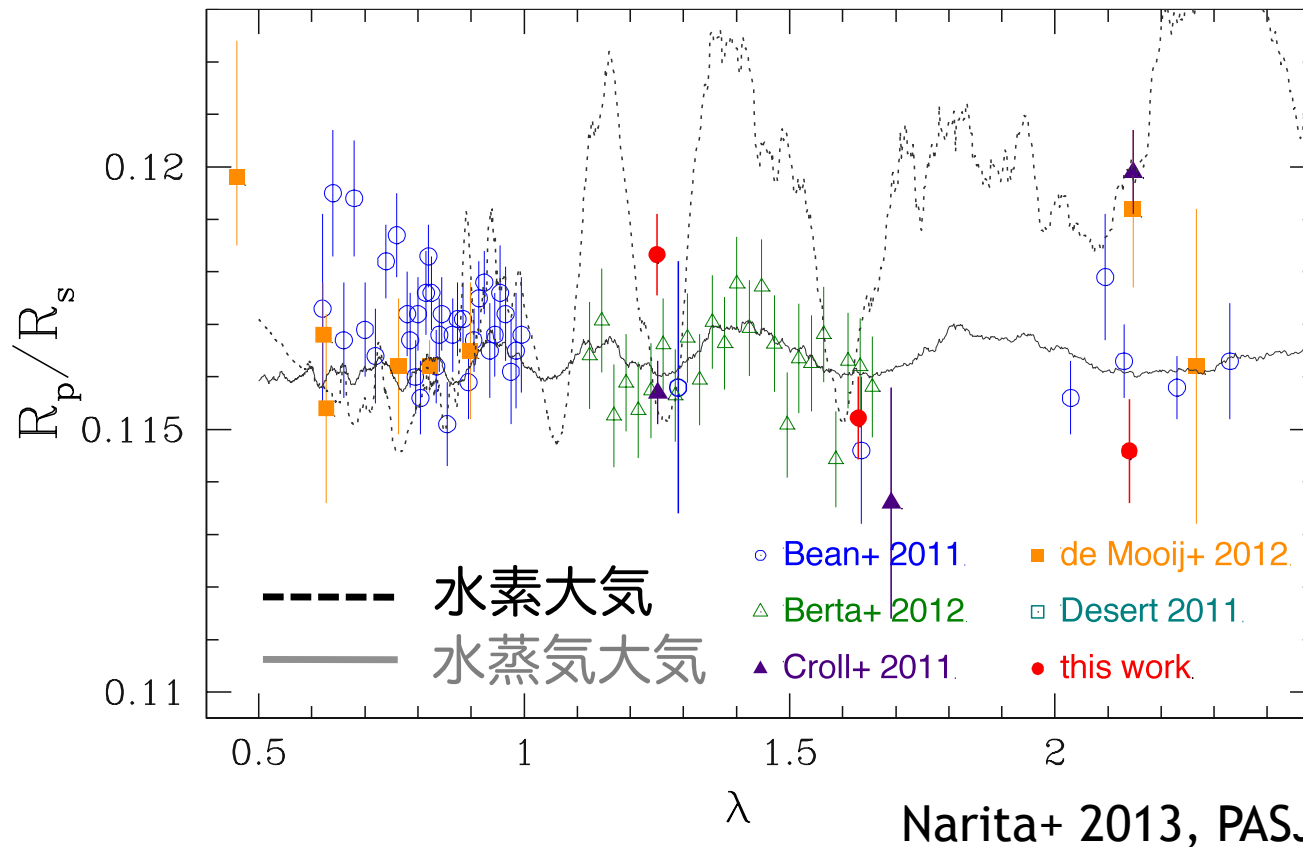
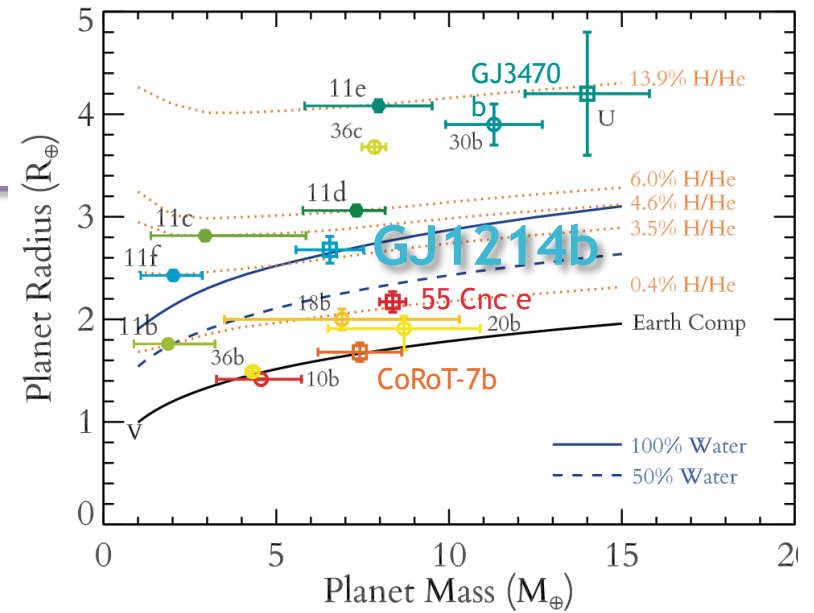


近傍のM型星まわりのトランジット・スーパーアース

- 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 $\Rightarrow$ 主星が明るい $\Rightarrow$ 高精度観測
 - M型星 $\Rightarrow$ 主星が小さい $\Rightarrow$ 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_{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

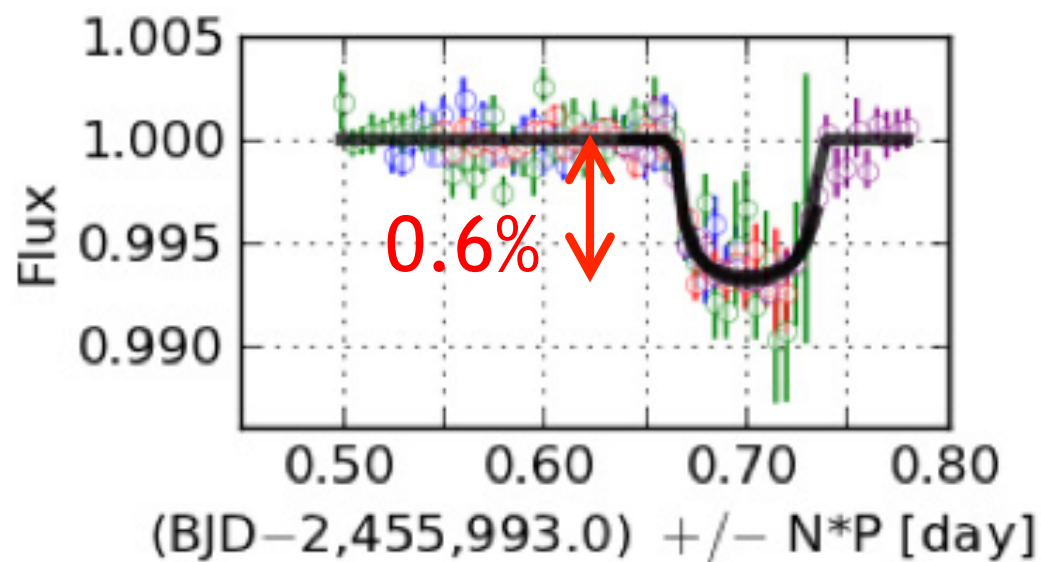
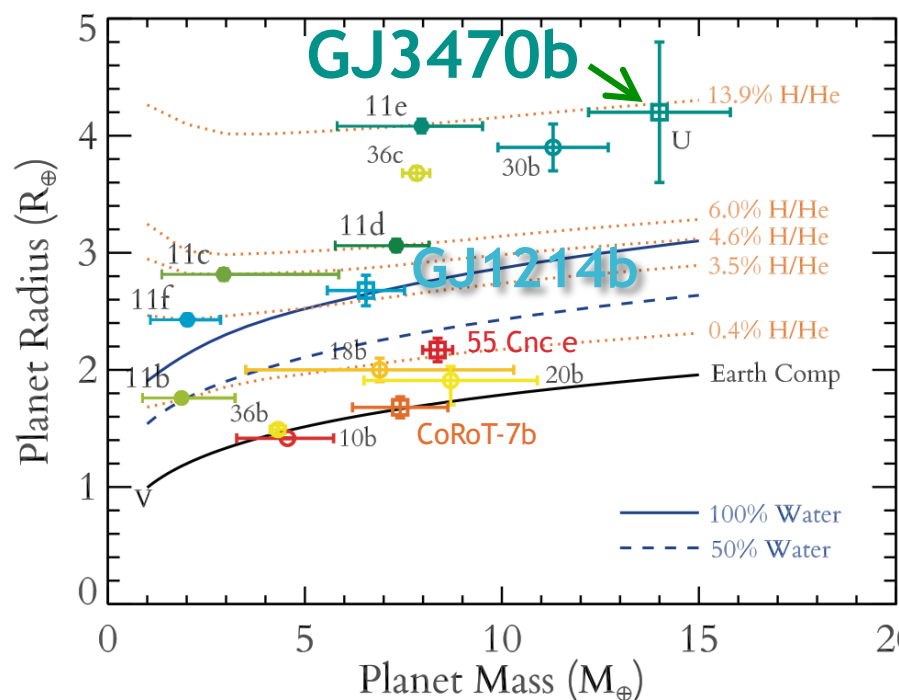


大気成分検出されず

- 水蒸気過多の大気?
- 水素主体+雲の大気?

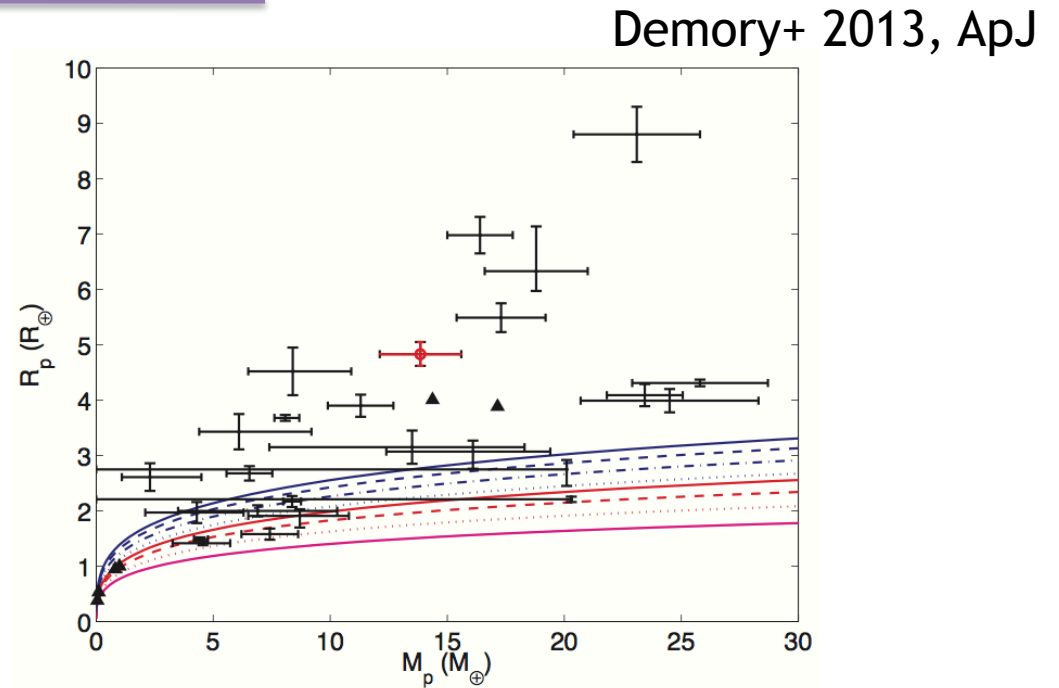
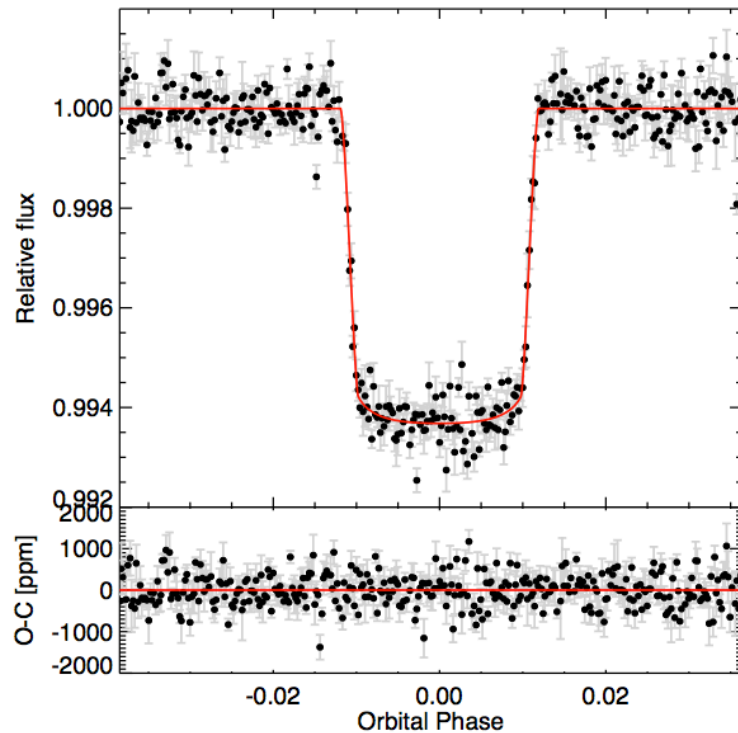
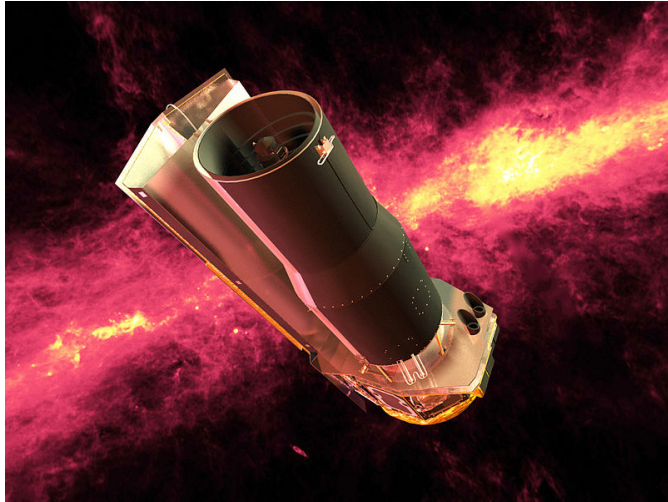
GJ3470b

- 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



Bonfils+ 2012, A&A

Spitzerによる4.5 μ mバンド測光観測



$$\begin{aligned} M_p &= 13.9^{+1.5}_{-1.4} M_E \\ R_p &= 4.83^{+0.22}_{-0.21} R_E \\ \rho_p &= 0.72^{+0.13}_{-0.12} \text{ g cm}^{-3} \end{aligned}$$

- 低密度な低質量惑星
- 5-23%の水素大気をもつ

OA0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

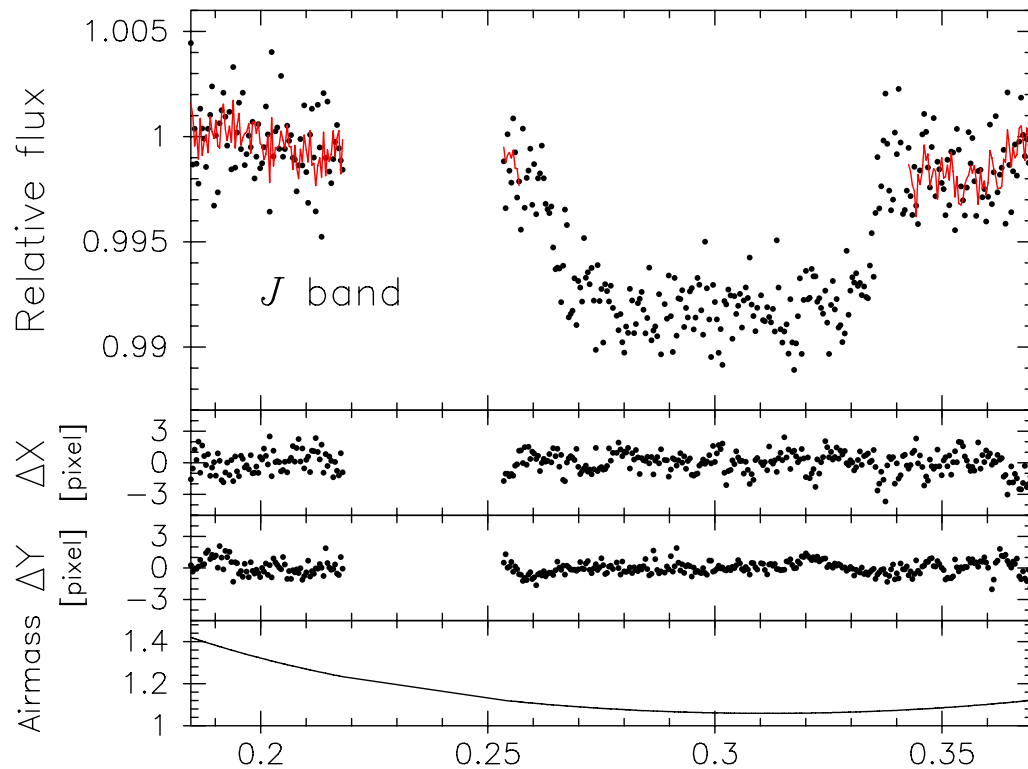


50cm MITSuME望遠鏡

星像変位に伴う測光誤差の高精度補正

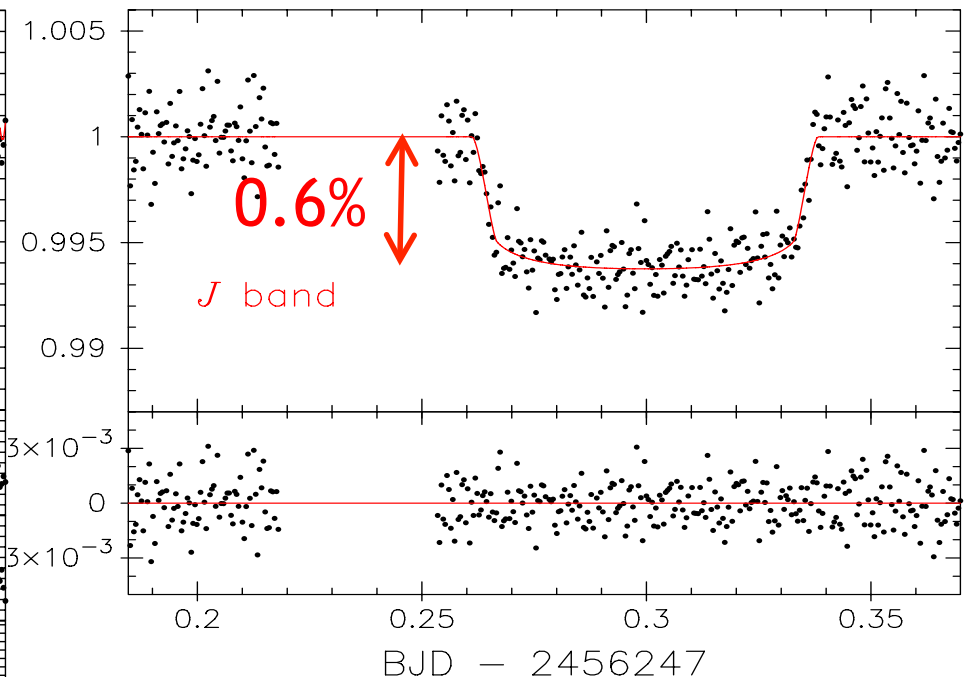
補正前

測光精度: **0.15%**/30秒積分



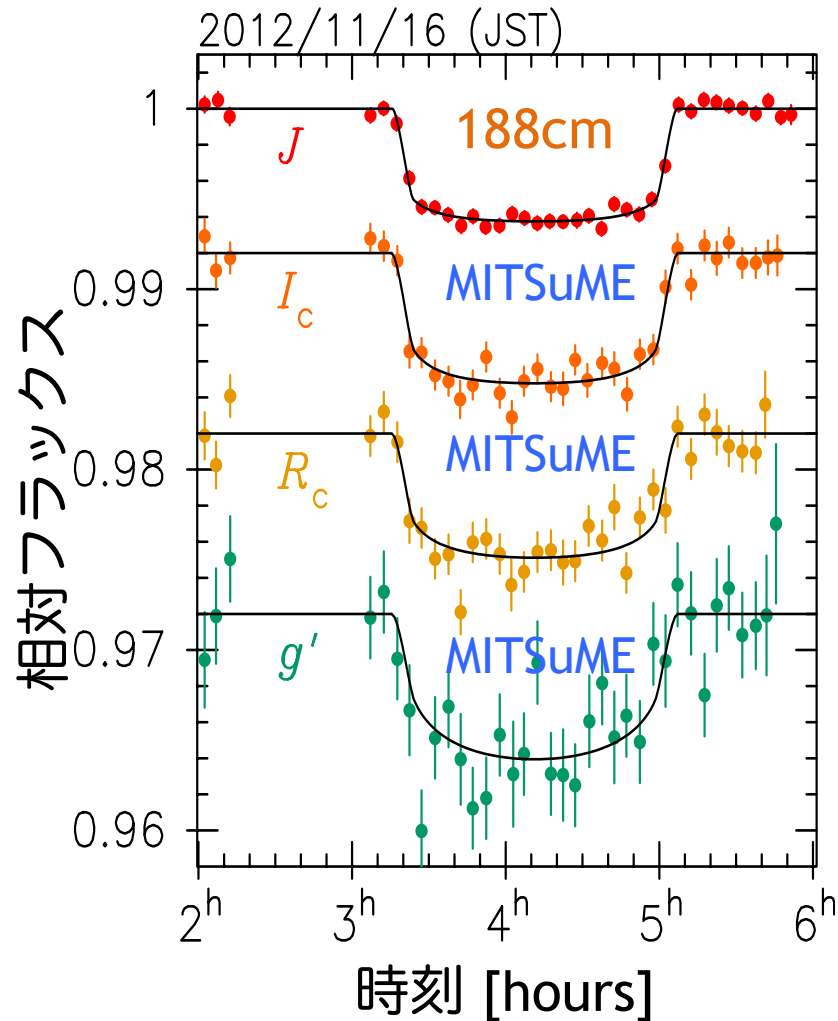
補正後

0.12%/30秒積分

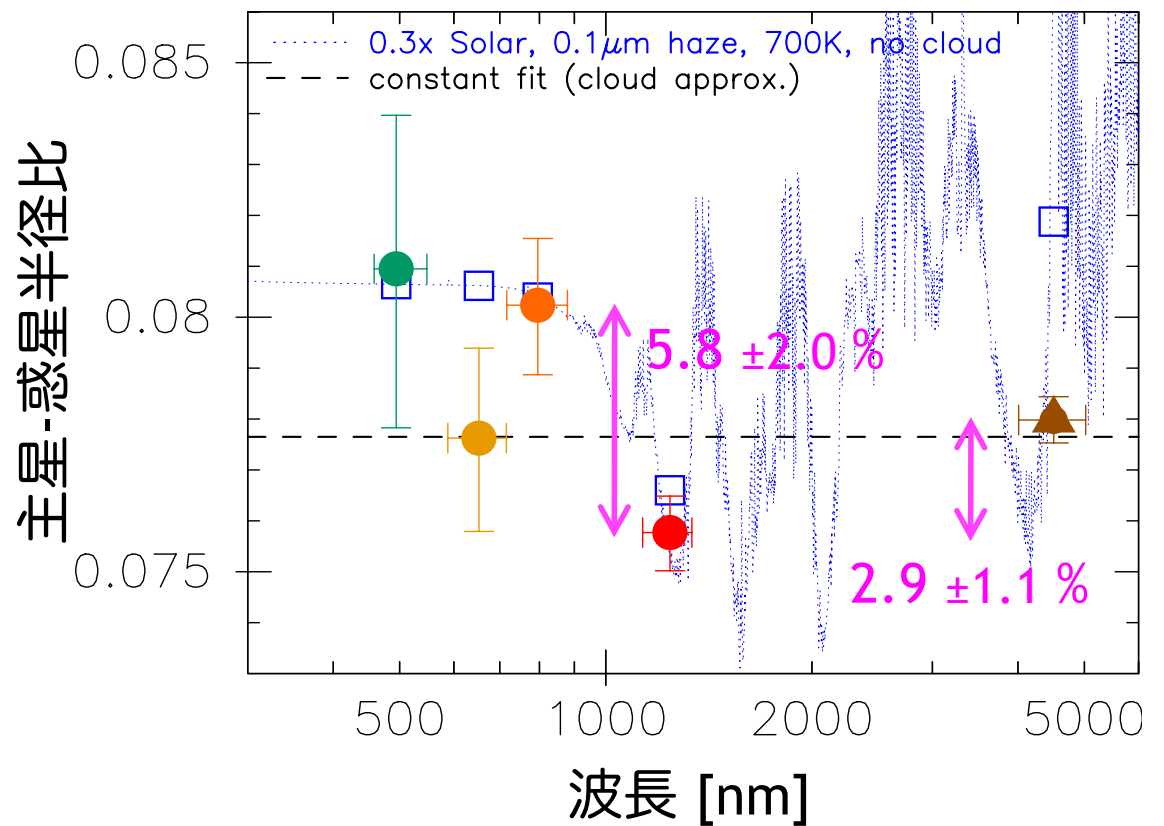


- ハイブリットガイド (従来のオフセットガイド + ISLE画像上の星像変位をモニター、柳澤氏ポスターP02参照) $\Rightarrow$ サブピクセル($<0.245''$)ガイドを達成
- dX , dY とフラックスとの相関が陽に現れ、**系統誤差の補正が可能に。**

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

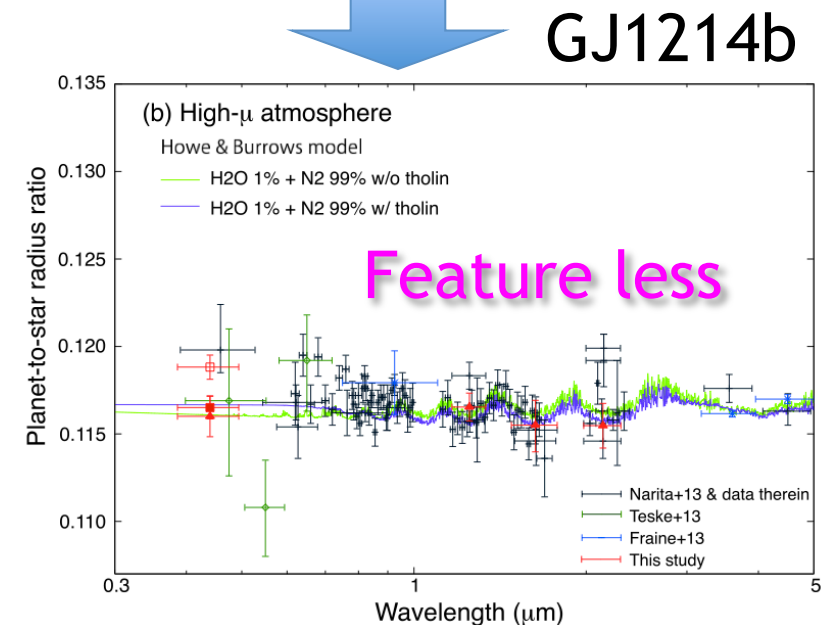
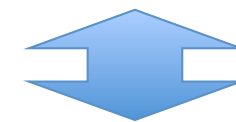
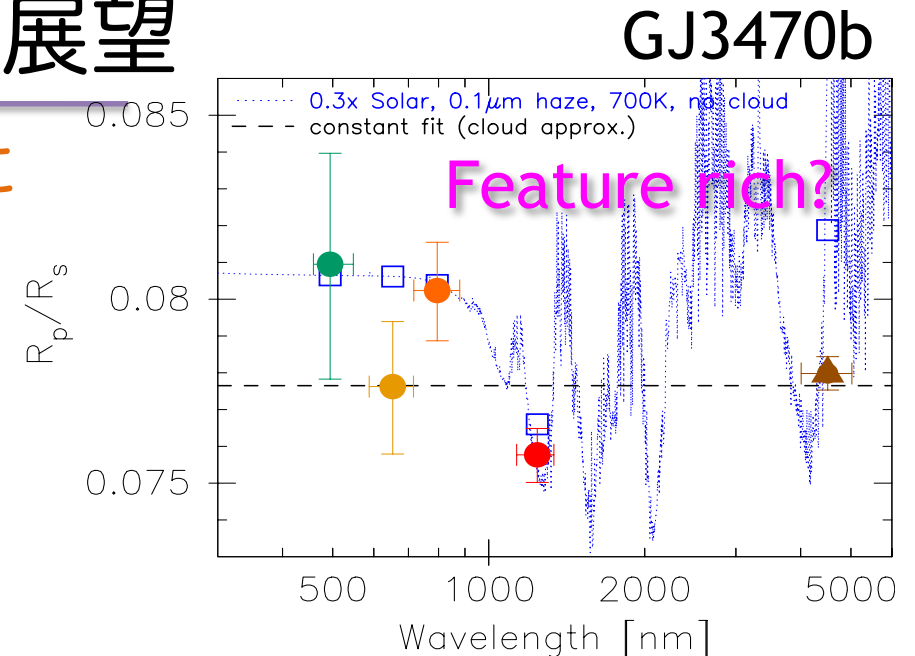
観測結果の示唆と今後の展望

- 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H₂O, CH₄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



Narita+ 2013, ApJ

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