

多色トランジット観測による ウォームジュピターWASP-80bの 大気調査

福井暁彦

国立天文台・岡山天体物理観測所

共同研究者

(PEaCH・観測) 成田憲保、平野照幸、鬼塚昌宏、川内紀代恵、
馬場はるか、笠嗣瑠

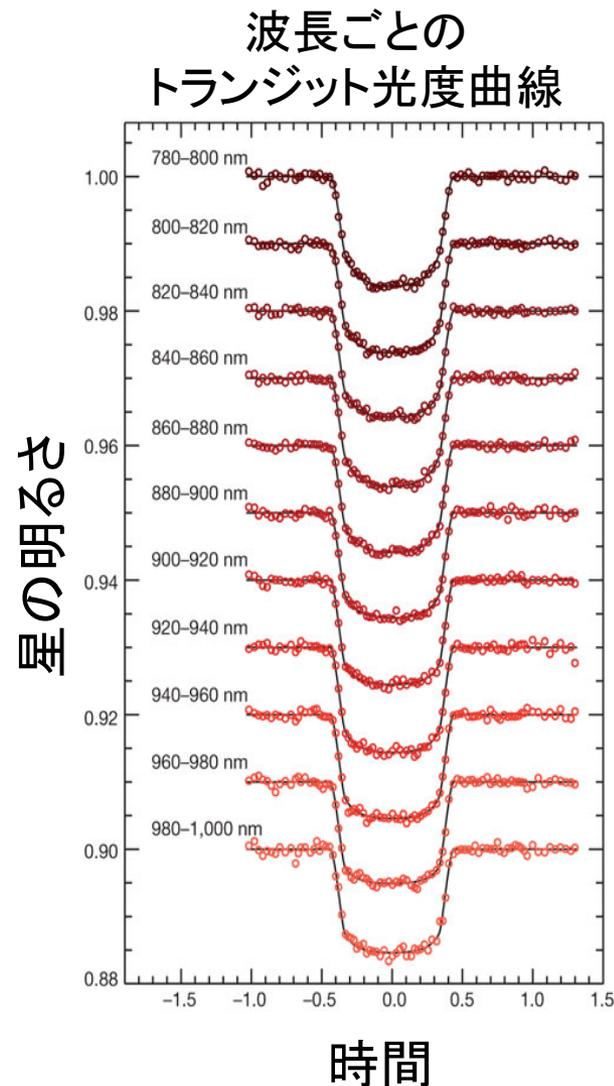
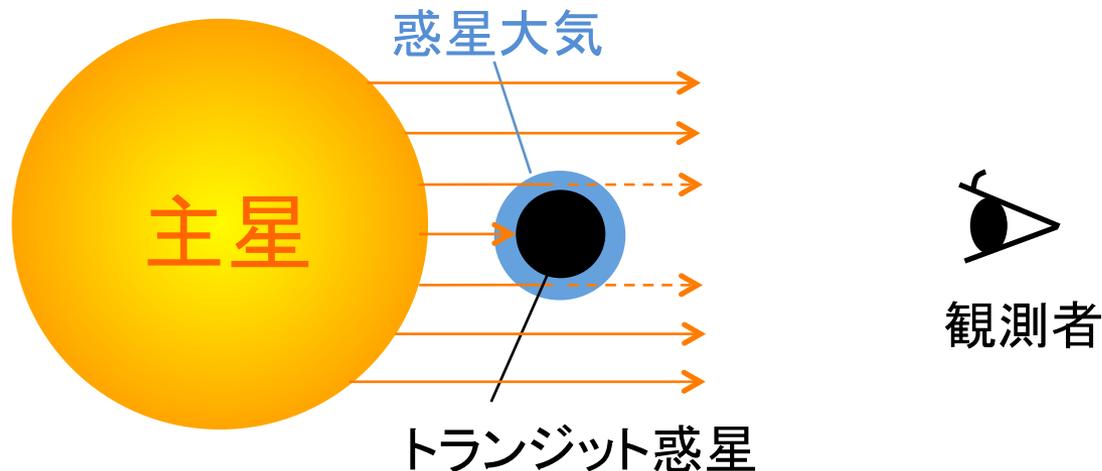
(PEaCH・理論) 川島由依、生駒大洋、堀安範、黒崎健二
(論文共著者) 板由房、小野里宏樹、西山正吾、永山貴宏、
田村元秀、河合誠之、黒田大介、長山省吾、
太田耕司、清水康弘、柳澤顕史、吉田道利、泉浦秀行

2014年8月11日

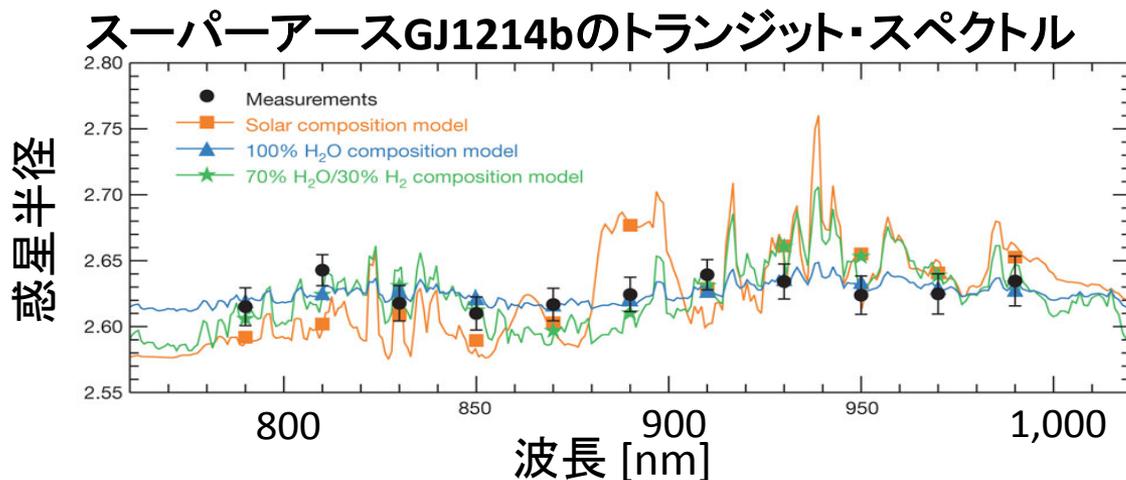
2014年度岡山(光赤外)ユーザーズミーティング



トランジット惑星の大気観測



Bean et al. 2010, Nature



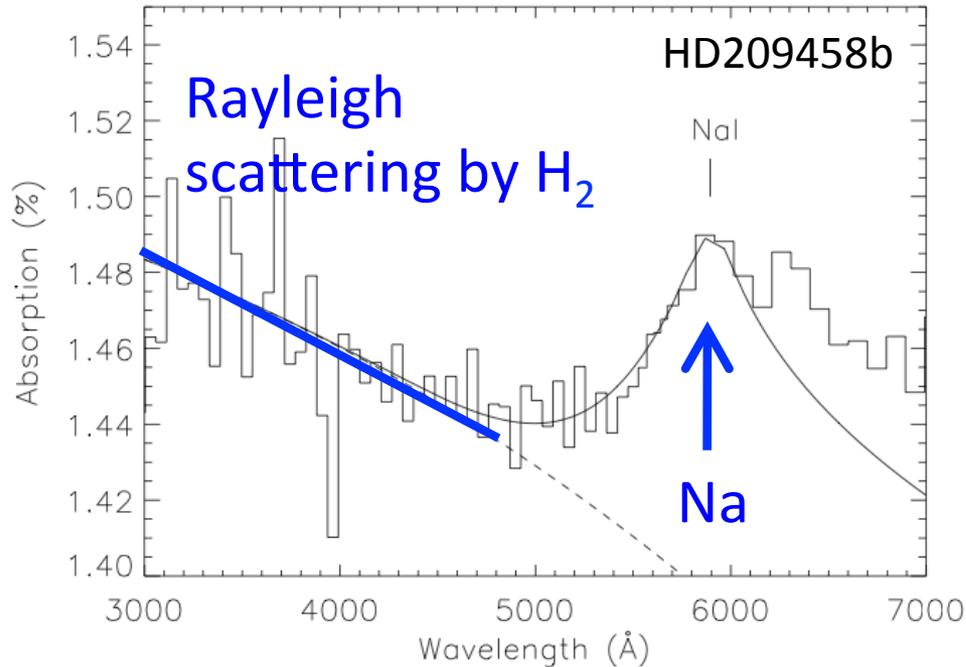
トランジット・スペクトルから大気組成を制限可能

⇒ 系外惑星の大気環境、惑星形成論、ハビタビリティ

ホットジュピターの大気成分の検出例

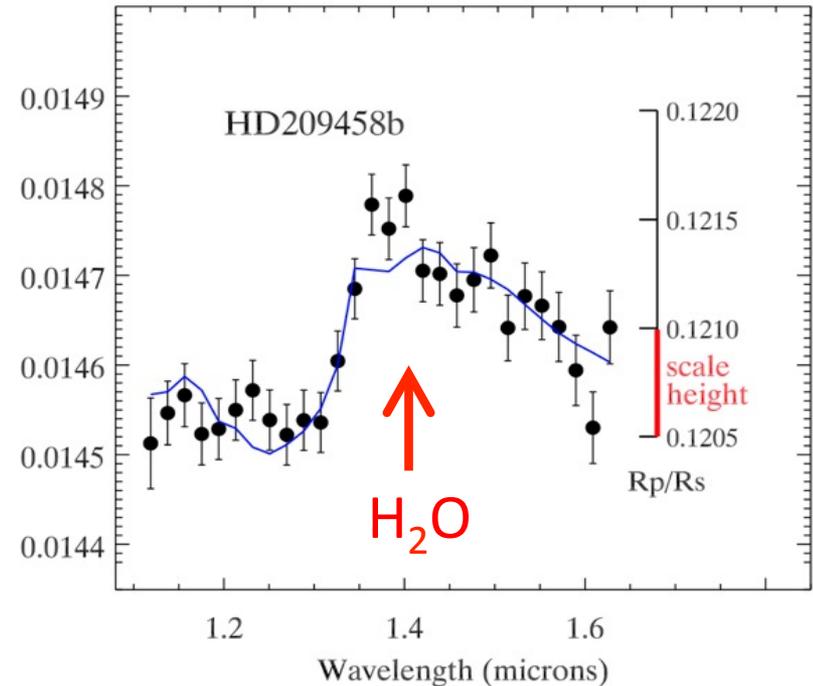
- 可視域: アルカリ金属 (Na, K)、水素分子によるレイリー散乱
- 近赤外域: 水やメタン、COなどの分子

可視域



Lecavelier des Etangs+ 2008

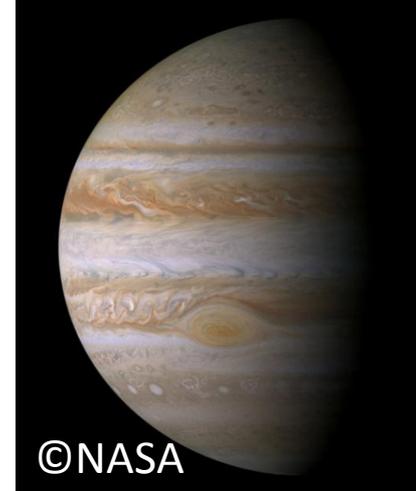
近赤外域



Deming+ 2013

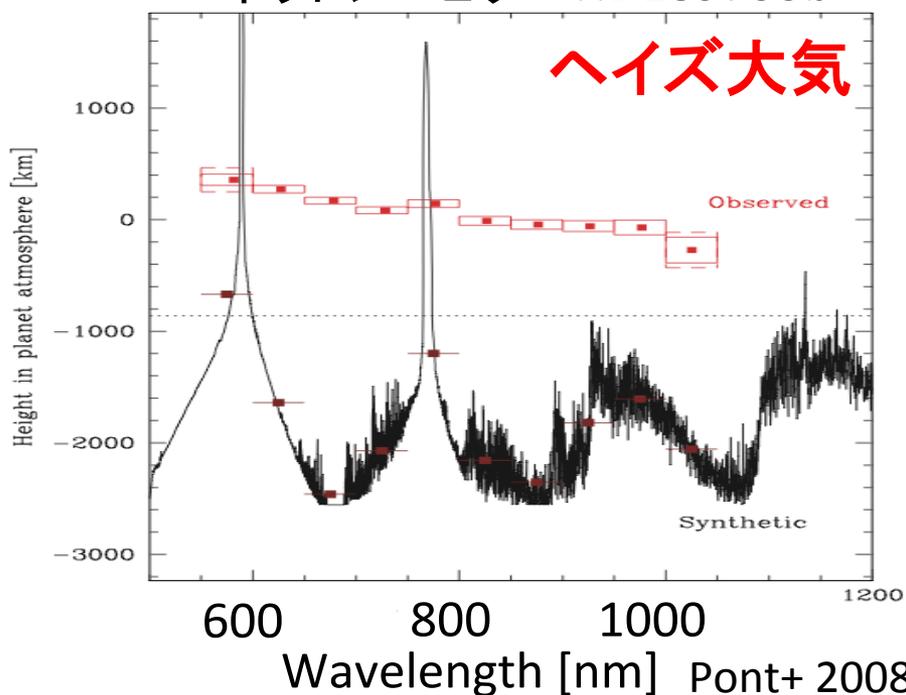
雲/ヘイズ

- 惑星大気に雲(凝縮粒子)やヘイズ(霞)が存在すると、トランジット・スペクトルの特徴がなまる
- 実際に、なまった(あるいはフラットな)スペクトルをもつトランジット惑星が幾つも見

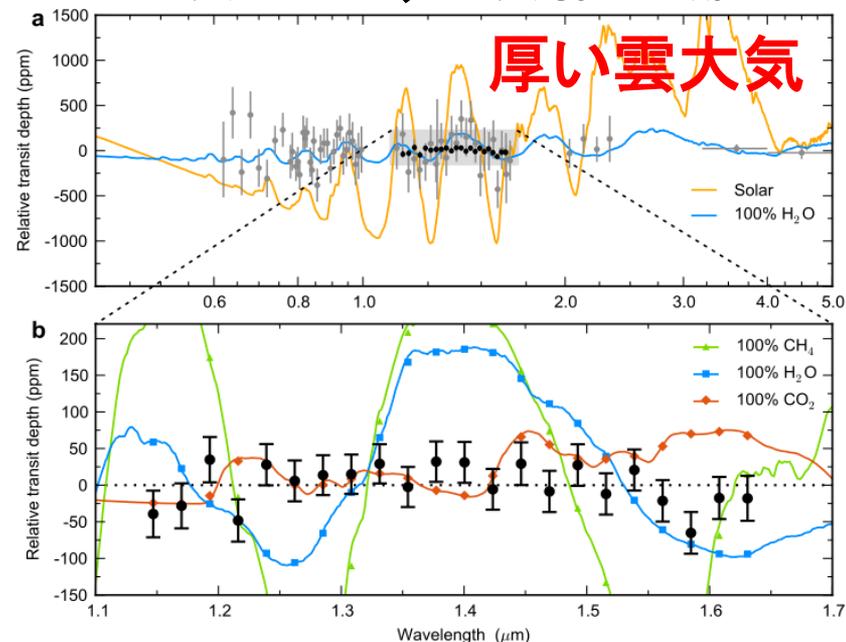


⇒ 大気組成を調べる上で、雲/ヘイズの理解は必須

ホットジュピターHD189733b

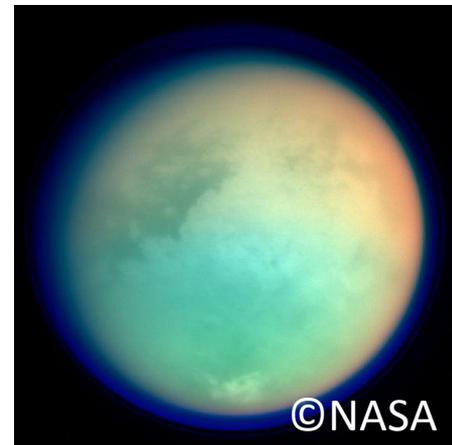


スーパーアースGJ1214b

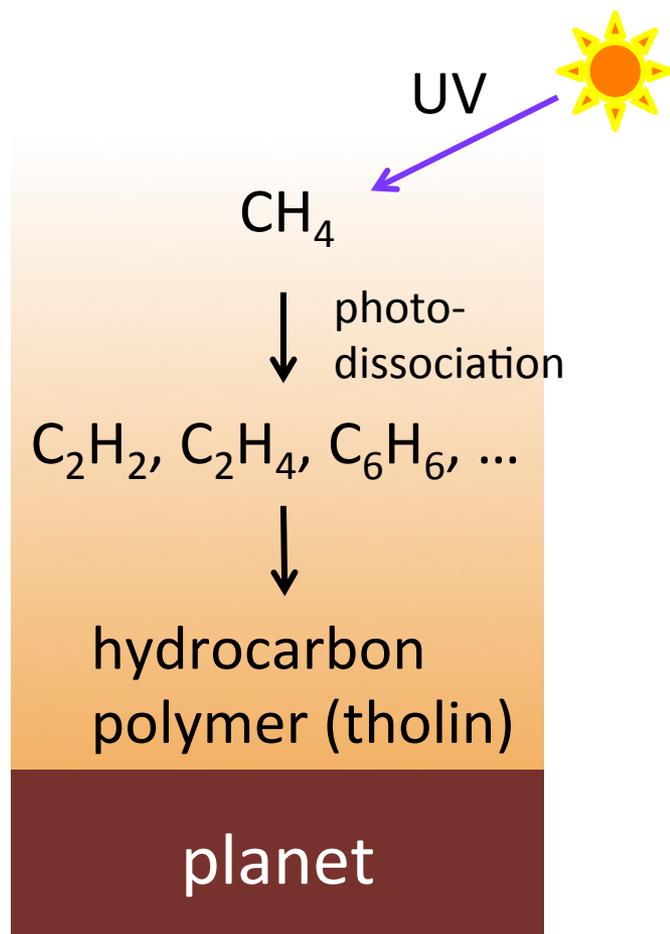
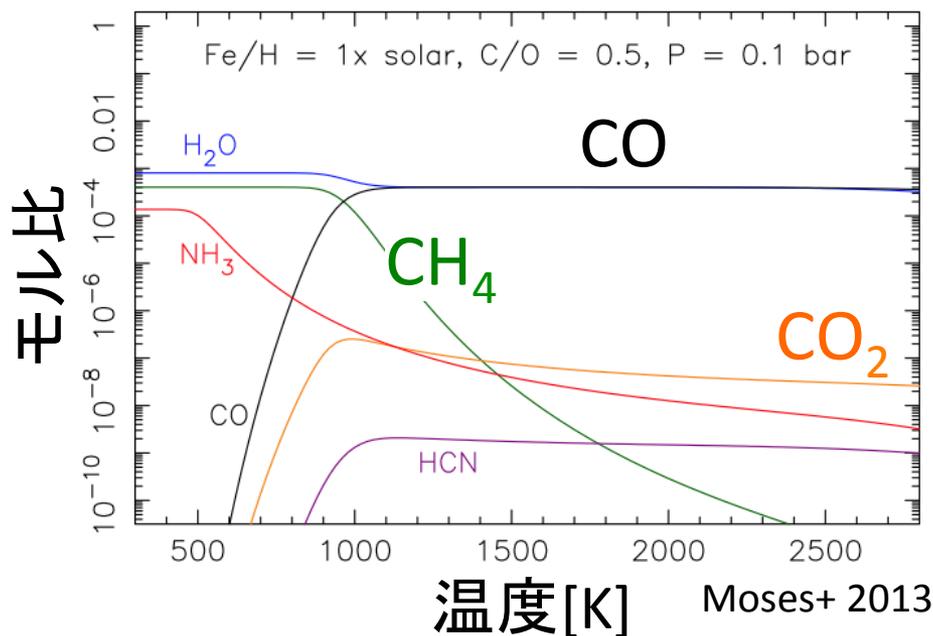


Kreidberg+ 2014

ソリンヘイズ



- 低温の大気では、ソリンヘイズ(炭化水素高分子)が生成する可能性
 - タイタンや天王星などに存在
 - メタンの光化学反応を介して生成
 - メタンは1,000K以下で安定に存在



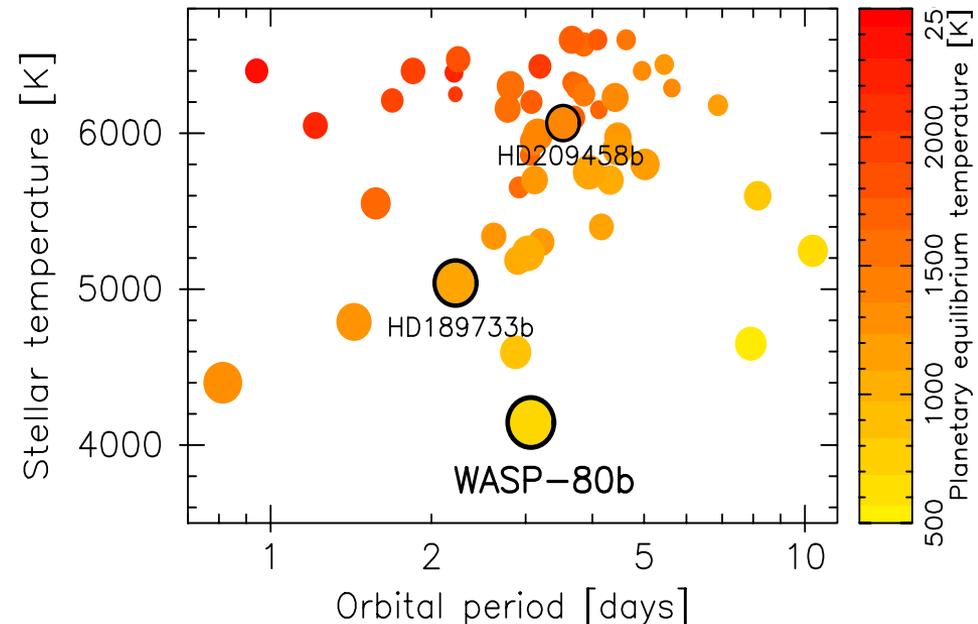
これまでに大気が調査されたトランジット惑星の多くは、1,000K以上の灼熱惑星

WASP-80b

質量 [木星質量]	0.55
半径 [木星半径]	0.95
公転周期 [日]	3.1

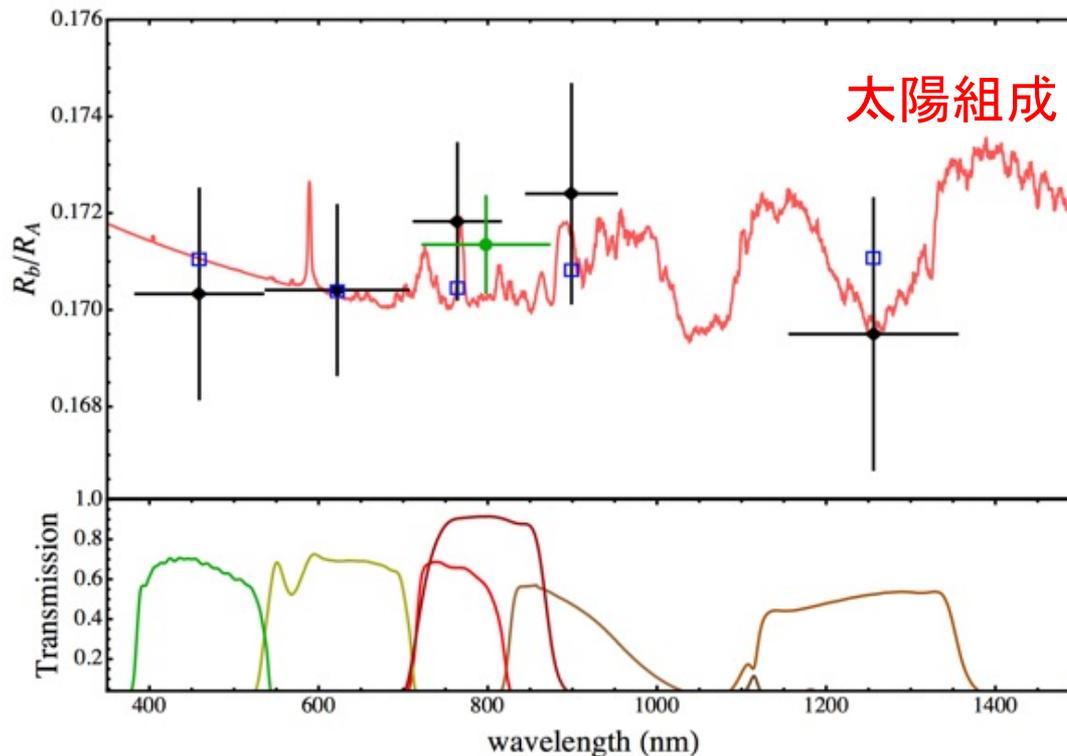
- 明るいK/M型星を周るトランジット巨大惑星
 - 2013年に発見 (Triaud+ 2013)
- 平衡温度が**800K以下**の「ウォームジュピター」
 - これまで大気調査されたトランジット巨大惑星の中で**最も低温**
- トランジット減光率が**大きい**
 - ~2.9%、史上2番目
- 主星の活動性が**高い**

ソリンヘイズの存在条件
を調べる上で恰好の
ターゲット



先行研究

- チリの2台の望遠鏡 (ESO2.2m/GROND、1.54m Danish) を用いて、可視+近赤外で8色同時にトランジットを観測 (Mancini+ 2014)
- 観測されたスペクトルはフラットライン(雲モデル)とも太陽組成大気とも一致 ⇒ **何の制限も得られていない**
- 高精度な近赤外観測が欠如



岡山およびIRSFにおける観測



1.4m IRSF @SAAO



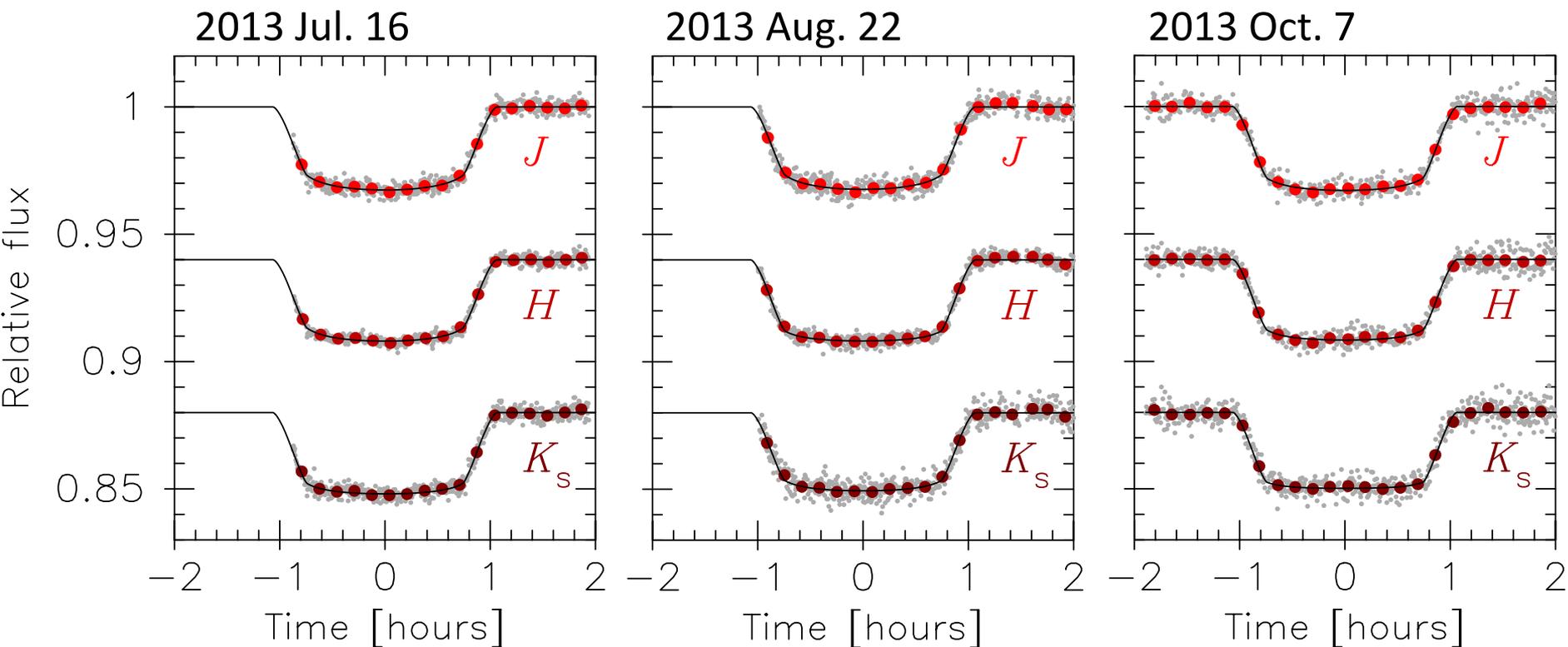
188cm & 50cm @OAO



- 1.4m IRSF/SIRIUS @SAAO
 - 近赤外3バンド (J, H, Ks) 同時撮像
 - 3回のトランジットを観測

- 188cm/ISLE @OAO
 - 近赤外1バンド (J, H, or Ks)
 - 2回のトランジットを観測 (Jバンド)
- 50cm MITSuME @OAO
 - 可視3バンド (g', Rc, Ic) 同時撮像
 - 188cm/ISLEと同時に使用して、2回のトランジットを観測

IRSFで得られたトランジット光度曲線

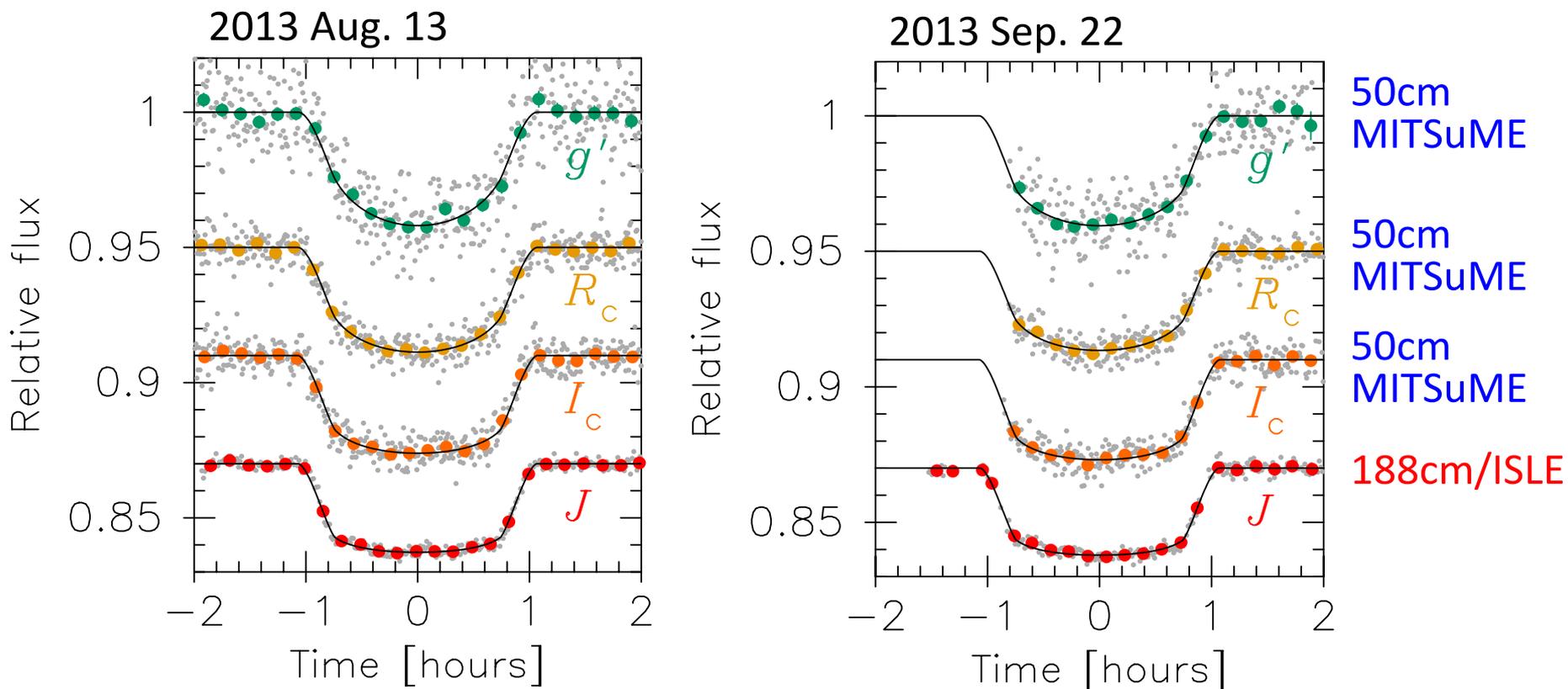


- 積分時間: 10秒 (7/16, 10/7) or 15秒 (8/22)
- デフォーカス、星像位置固定ソフトを使用して観測
- 測光精度: 0.15% (H)、0.20% (J, K_s)

観測して頂いた方々:

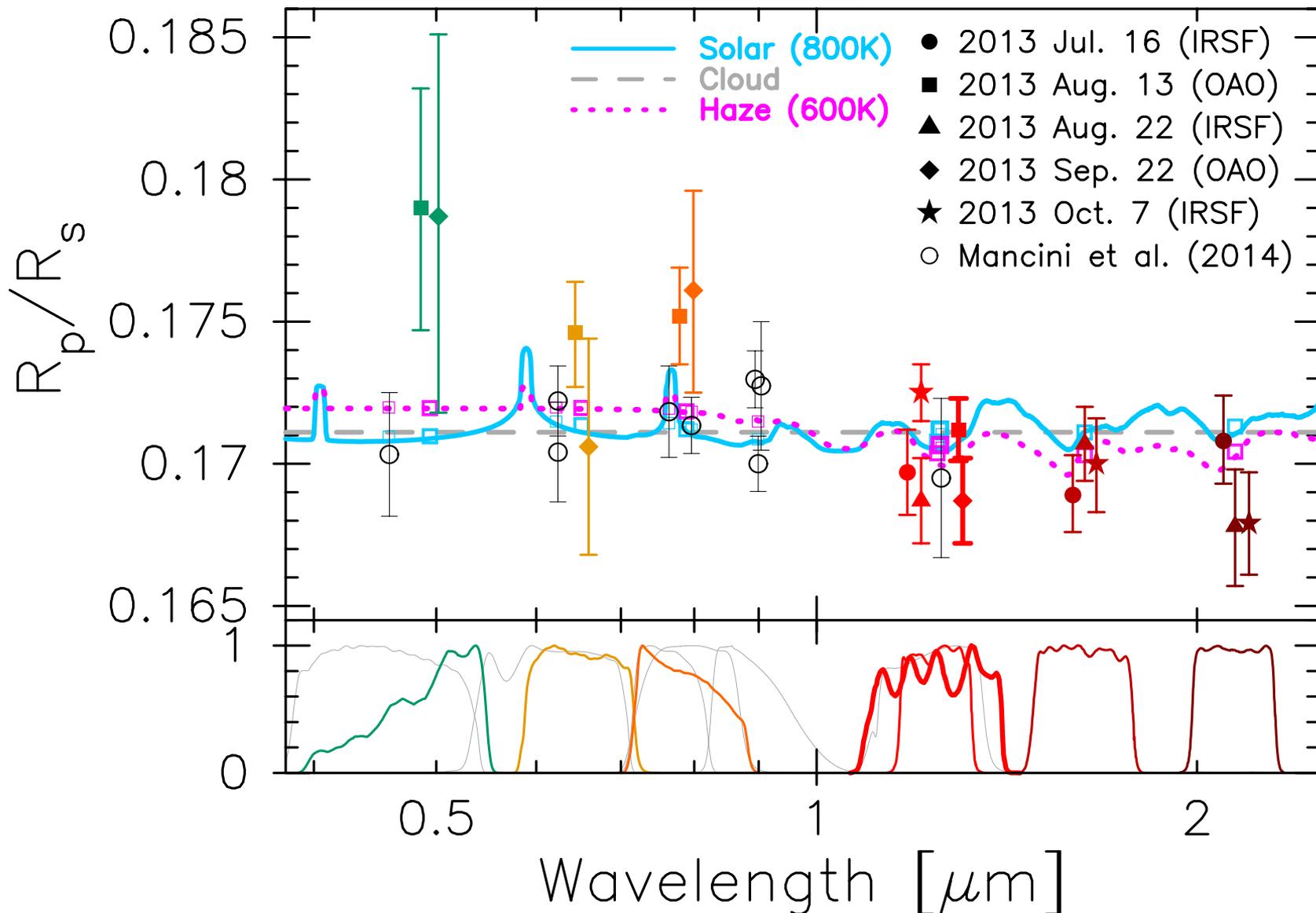
鬼塚昌宏さん (7/16)、西山正吾さん (8/22)、板由房さん・小野里宏樹さん (10/7)

岡山観測所で得られたトランジット光度曲線



- 露光時間: 45秒 (ISLE) or 30秒 (MITSuME)
- デフォーカス、オートガイド (ISLE) もしくは星像位置固定ソフト (MITSuME) を使用して観測
- 測光精度: 0.86% (g')、0.42% (R_c)、0.40% (I_c)、0.16% (J)

WASP-80bのトランジット・スペクトル

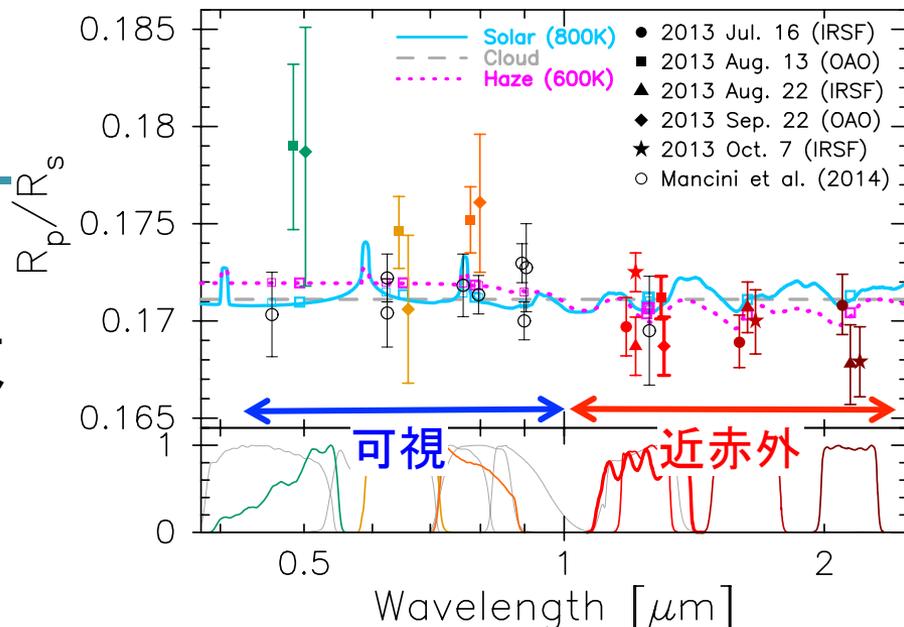


結果

- 晴れた太陽組成モデル、厚い雲モデルとも、 1.7σ で一致
⇒ 棄却できず

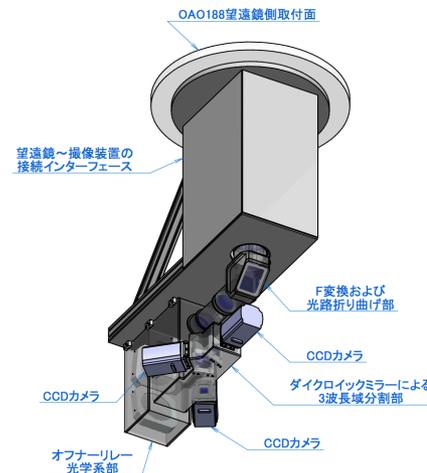
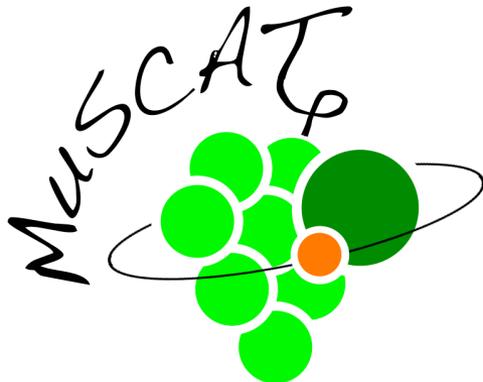
一方、

- 可視域 ($\lambda < 1\mu\text{m}$) の惑星半径が近赤外域に比べて平均的に約1%大きい (2.9σ)
 - 可視域で大気が不透明 ⇒ **ヘイズが存在している可能性**
- ヘイズモデル**と良い一致 (1.0σ)
 - ヘイズ (タイタンに存在するソリンの粒子サイズや吸収係数を仮定) を太陽組成大気に加味した理論モデルを作成
- もしソリンであれば、理論的な予測と一致
 - 今後、すばる望遠鏡などを用いた詳細観測が必要



MuSCAT

- 50cm MITSuME望遠鏡の3色カメラでは感度が不十分
 - 188cm望遠鏡に多色カメラを搭載する必要がある
- 可視3色同時撮像カメラ“MuSCAT”を開発中 (PI: 成田憲保氏)
 - g, r, zバンドを同時撮像
 - 2014年末～2015年初頭にファーストライト予定
 - 近赤外チャンネルのアップグレードも計画中
- 系外惑星大気観測への大きな貢献が期待



まとめ

- 系外惑星の大気を調べる上で雲/ヘイズの理解が重要。特に低温度では、ソリンヘイズが存在する可能性。
- ウォーム・ジュピターWASP-80bは、ソリンヘイズの存在条件を調べる上で恰好のターゲット
- 岡山観測所の2台の望遠鏡とIRSFを用いて、WASP-80bのトランジットを合計6色で観測
 - 観測スペクトルは太陽組成モデル、厚い雲モデルとおよそ一致
 - 可視域に比べて近赤外域でスペクトルがやや下がる兆候
⇒ **ヘイズの存在を示唆**
- MuSCATは系外惑星大気の研究へ大きな貢献が期待。