

SWIMSを用いた トランジット系外惑星の大気観測

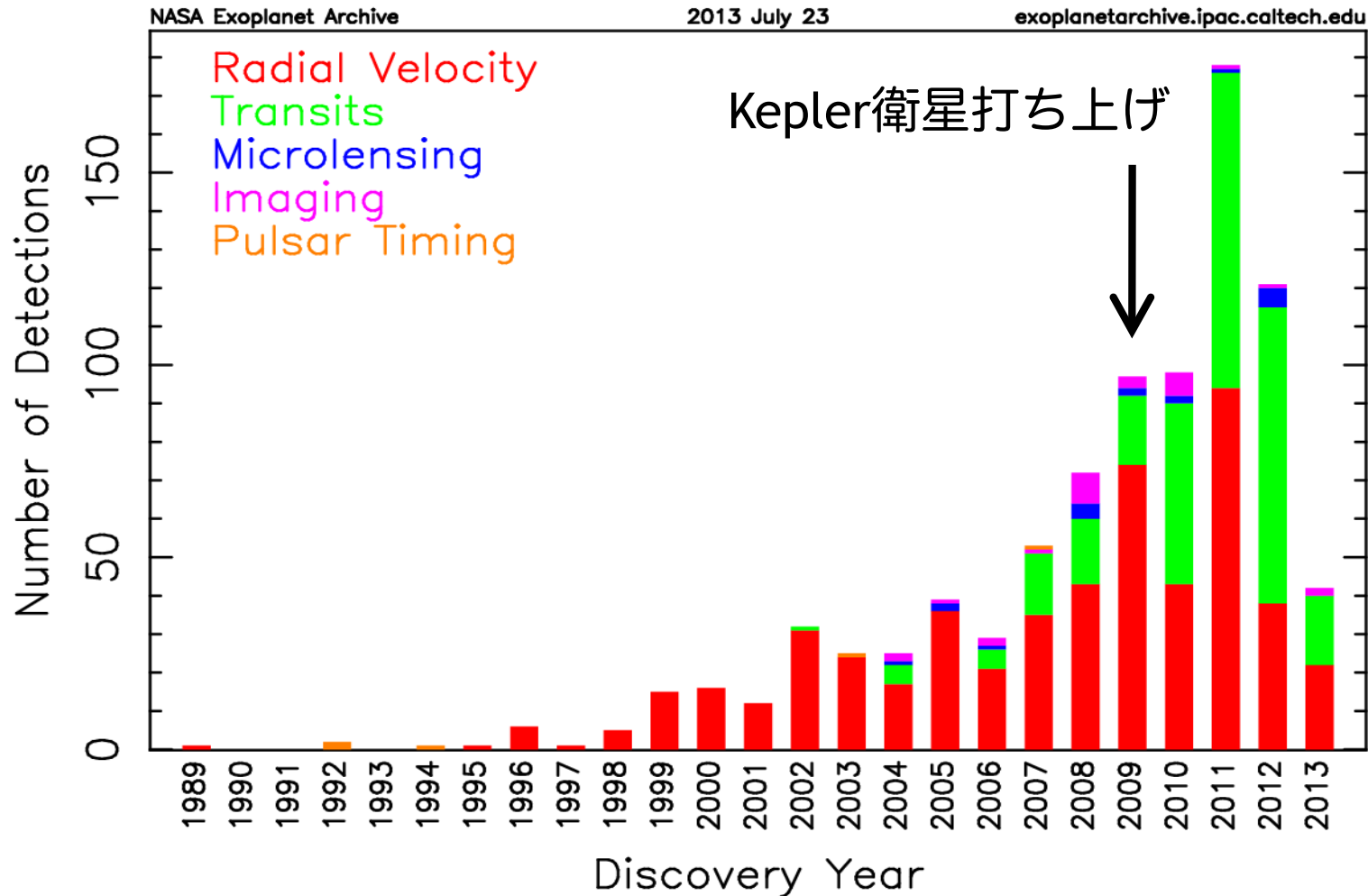
福井 暁彦（国立天文台岡山）

共同研究者：成田 憲保氏（国立天文台）他

2013.8.5

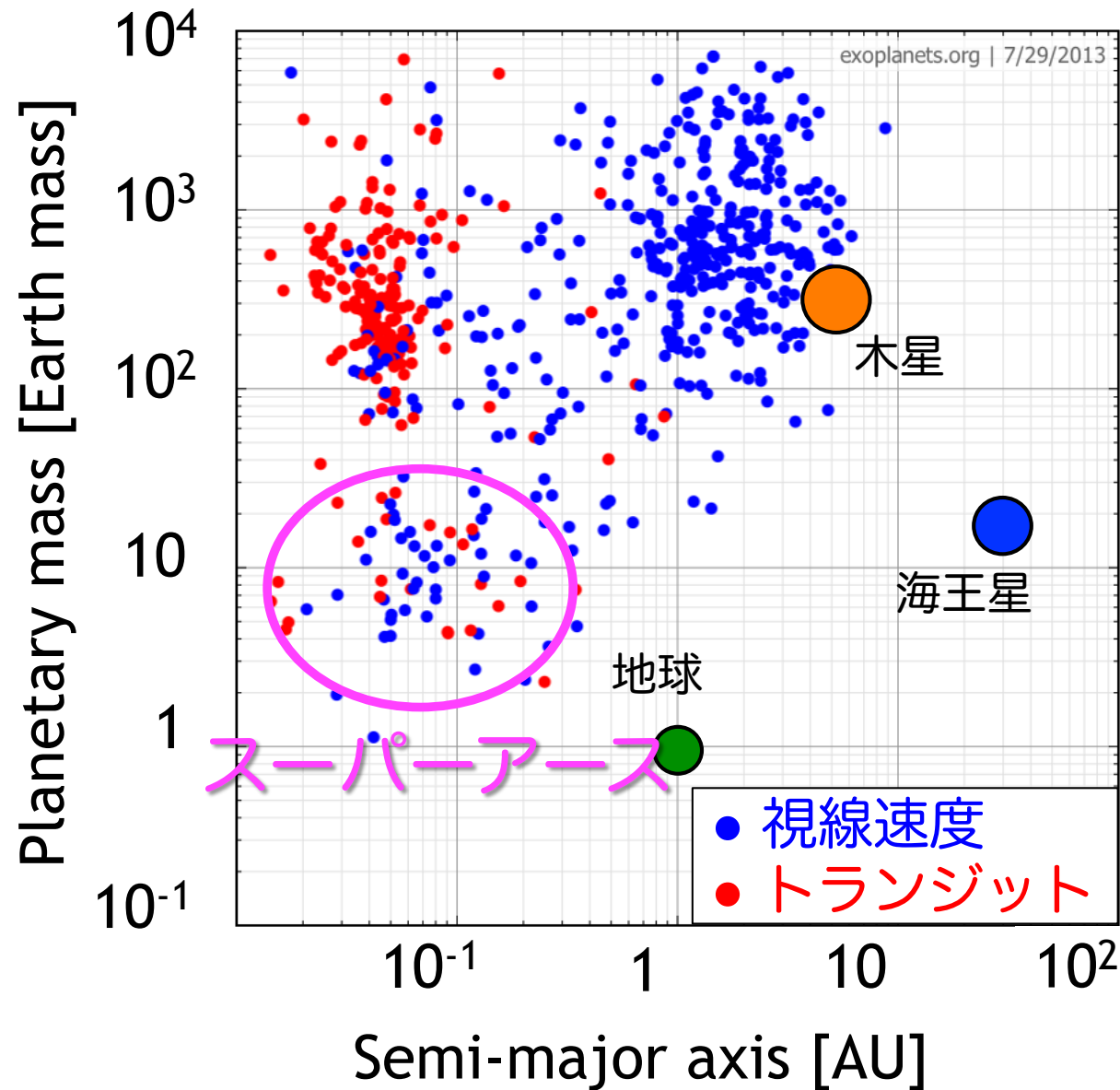
SWIMSサイエンスワークショップ
@東京大学天文学教育研究センター

太陽系外惑星研究の現状



- これまでに900個近い系外惑星が複数の手法で発見

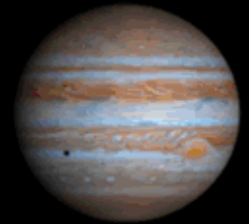
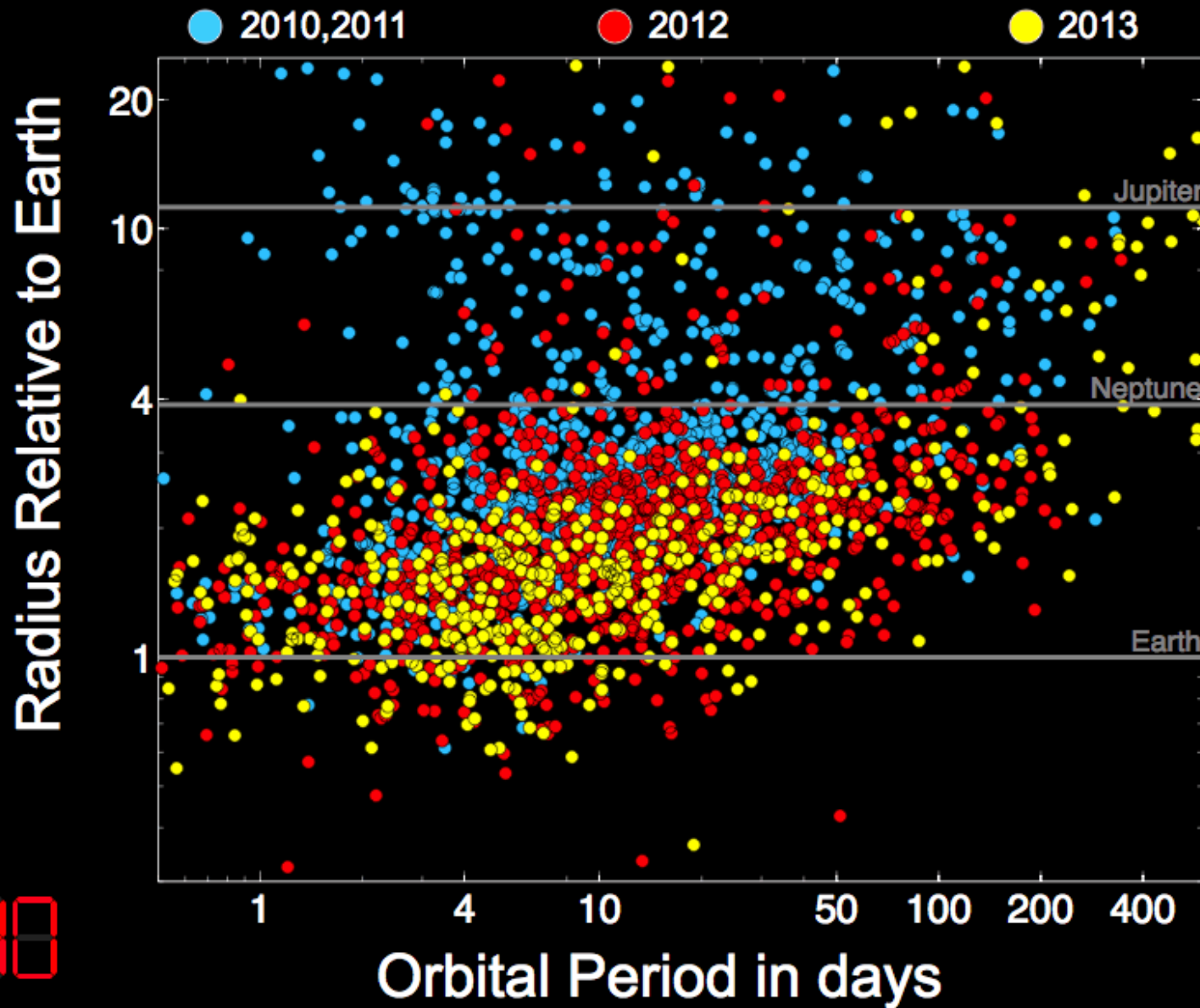
太陽系外惑星の分布



- 惑星系は「多様」
- 近年、スーパーアースが多数発見

Kepler's Planet Candidates

22 Months: May 2009 - Mar 2011



2010

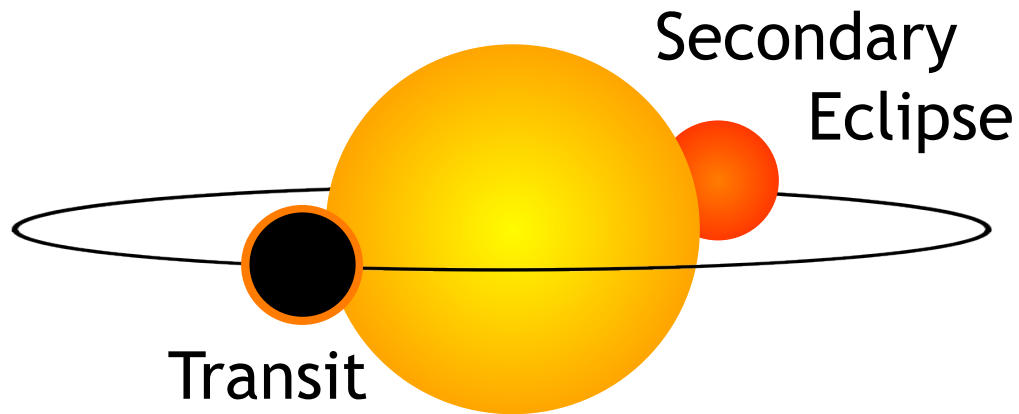
AAS 221ST
MEETING
of the
American Astronomical Society
12-14 January 2011, San Francisco, CA

Chris Burke:
216.02

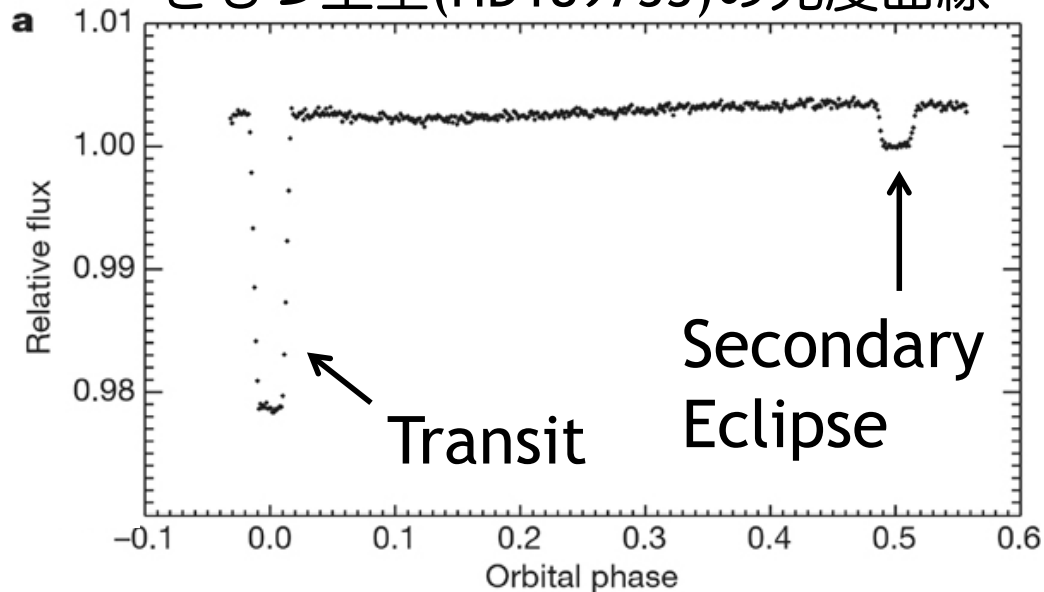
系外惑星研究の現状のまとめと今後

- 惑星系は宇宙において「普遍」かつ「多様」
 - 平均すると1個の恒星に1個以上の惑星
 - ホットジュピター、エキセントリックプラネット、スーパーアース...
 - 地球型惑星は豊富。ハビタブル惑星も豊富にありそう。
- 「発見」から「詳細観測」へシフト
 - 惑星の多様性の起源（形成過程）の解明
 - 個々の惑星の環境調査

トランジット惑星



トランジット・ホットジュピターをもつ主星(HD189733)の光度曲線



トランジット

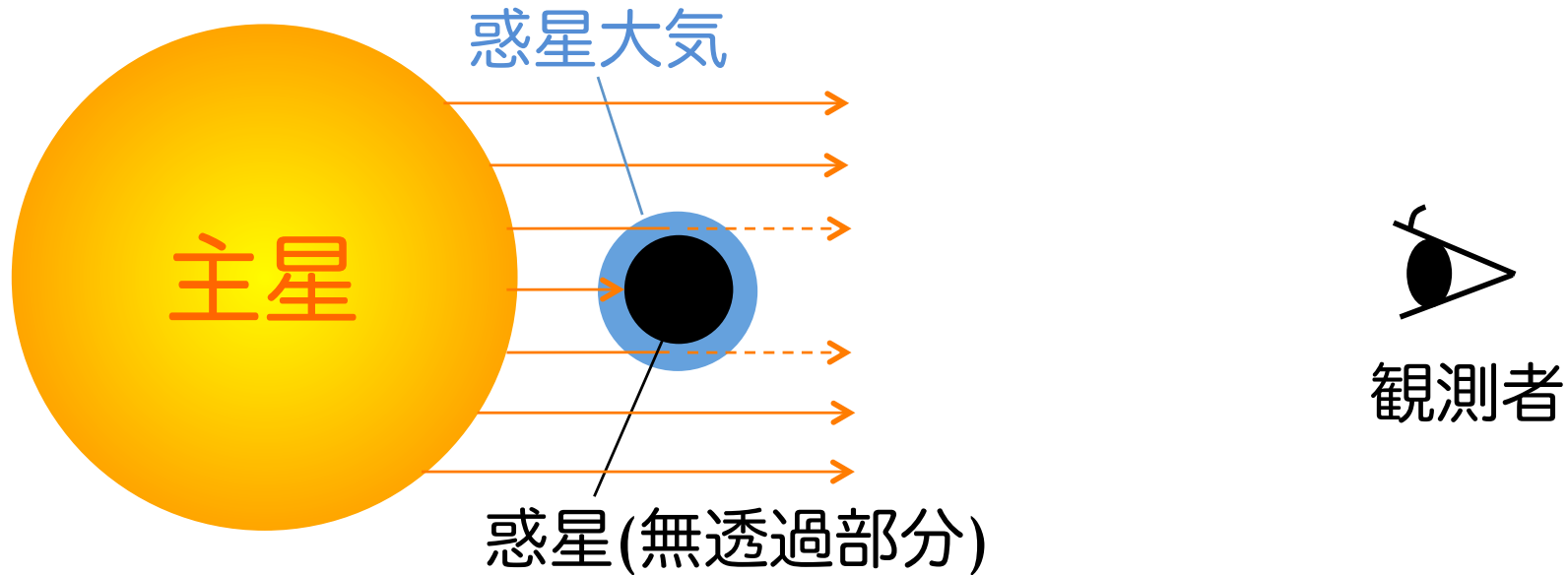
- 惑星の半径
- 軌道周期・軌道傾斜角
- トランジット周期変動
- 惑星大気の透過分光

セカンダリイクリプス

- 軌道離心率
- 惑星のアルベド（反射光）
- 惑星の熱放射
- 惑星の熱放射分光

赤文字：SWIMS/MOSの特徴を活かした観測が期待

惑星大気の透過分光観測

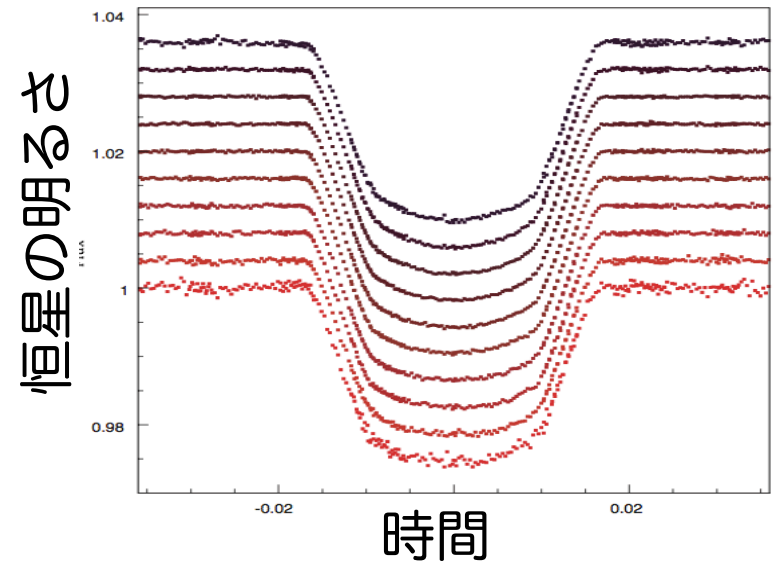


- 主星の減光率（つまり惑星の見かけの半径）は惑星大気の透過率に応じて変化。
- **惑星半径の波長依存性**を調べる事で大気組成の調査が可能。
- 高いS/Nの観測が必要。
- これまで主に明るい主星まわりのホットジュピターで観測。

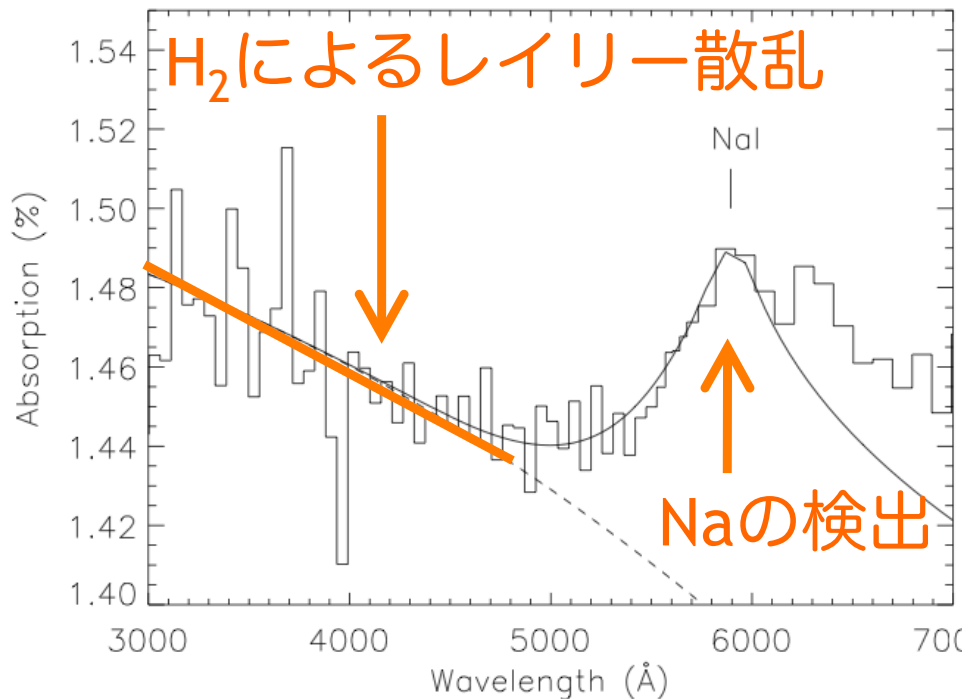
ホットジュピターの大気観測

- 2つのホットジュピター、**HD209458b**と**HD189733b**がこれまで最も詳しく調査
- 両者のトランジット・スペクトルには大きな相違 \Rightarrow 大気環境の多様性

波長ごとの光度曲線

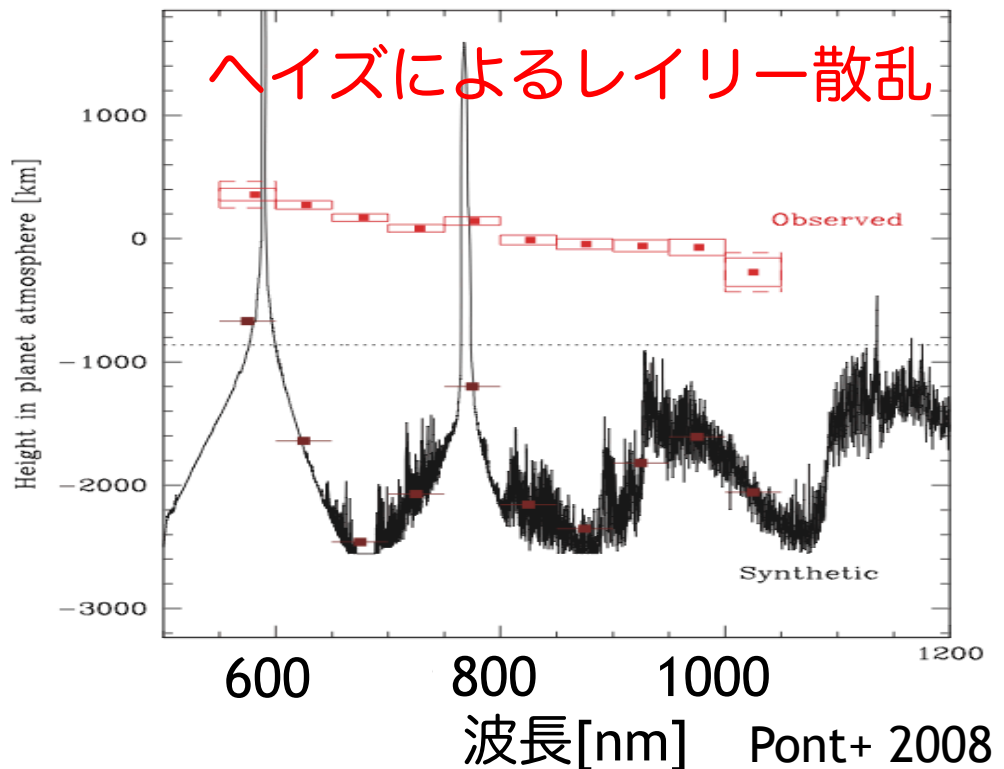


HD209458b



Lecavelier des Etangs+ 2008

HD189733b



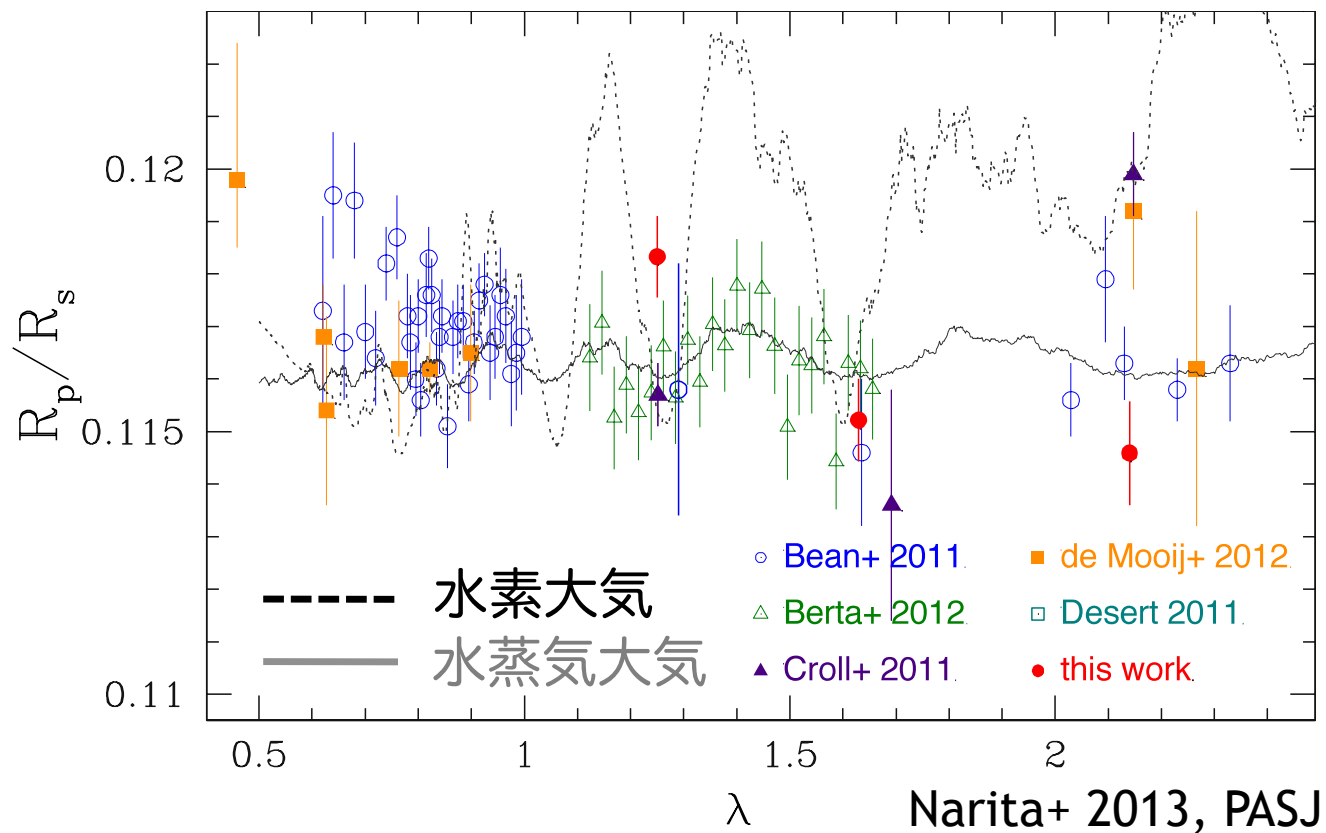
Pont+ 2008

スーパーアースの大気観測

- 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_{Earth}) の発見数は現在**2**個
 - **GJ1214b** (6.6 M_{Earth}), **GJ3470b** (14 M_{Earth})

GJ1214bのトランジットスペクトル

- これまでに可視から赤外にかけて非常に多数の観測
- 我々もIRSFやすばる等を用いて重要領域を観測

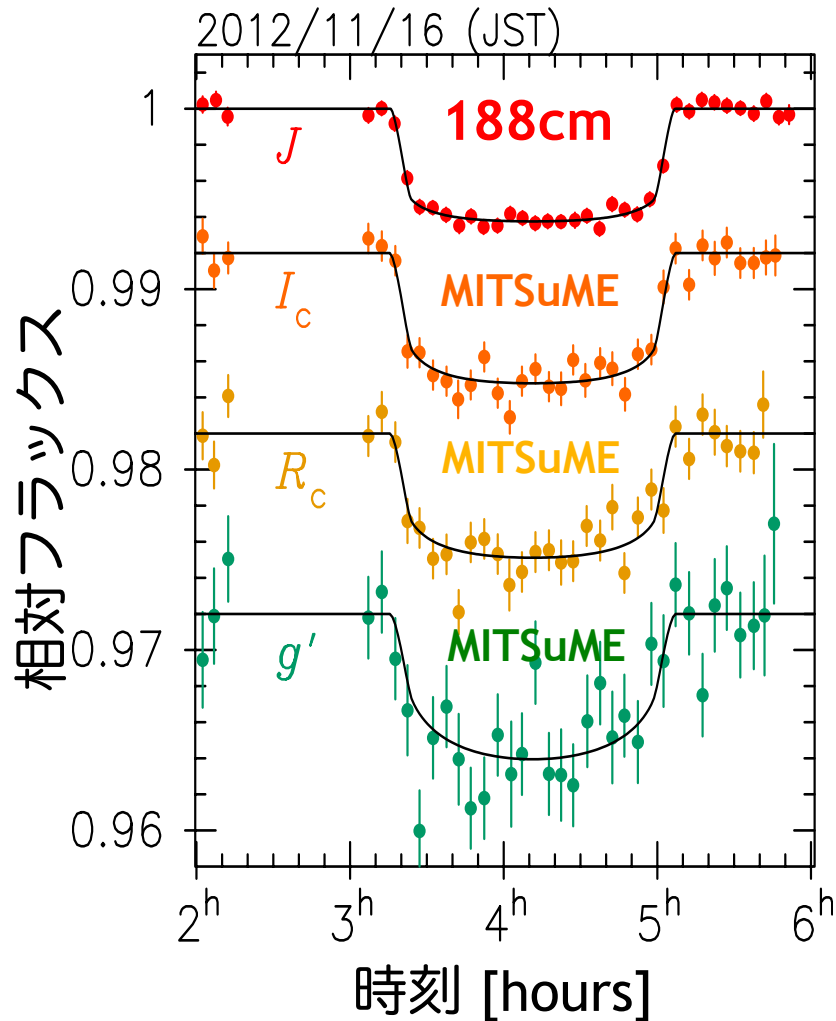


可視から赤外にかけて
平坦なスペクトル

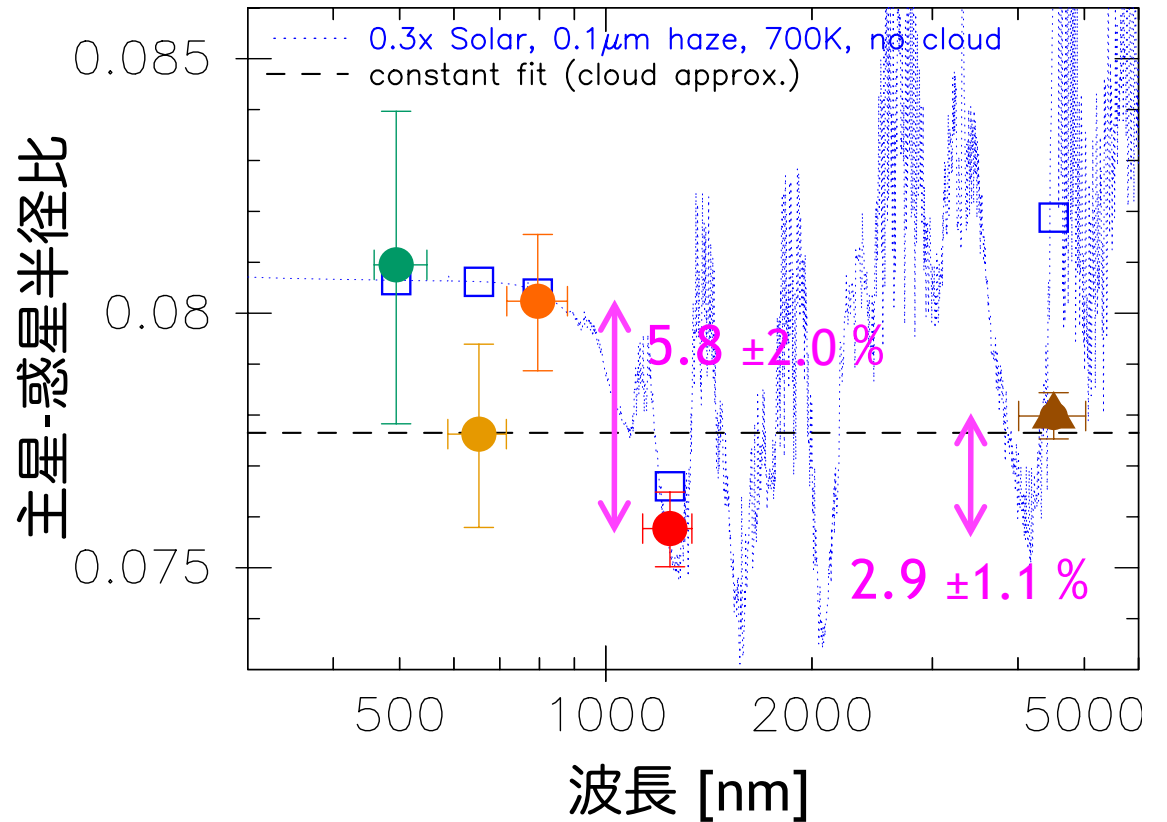


- 大気成分検出されず
- 水蒸気過多の大気?
 - 水素主体+雲の大気?

OA0の2台の望遠鏡を用いたGJ3470bの可視近赤外同時観測



GJ3470bのトランジット・スペクトル

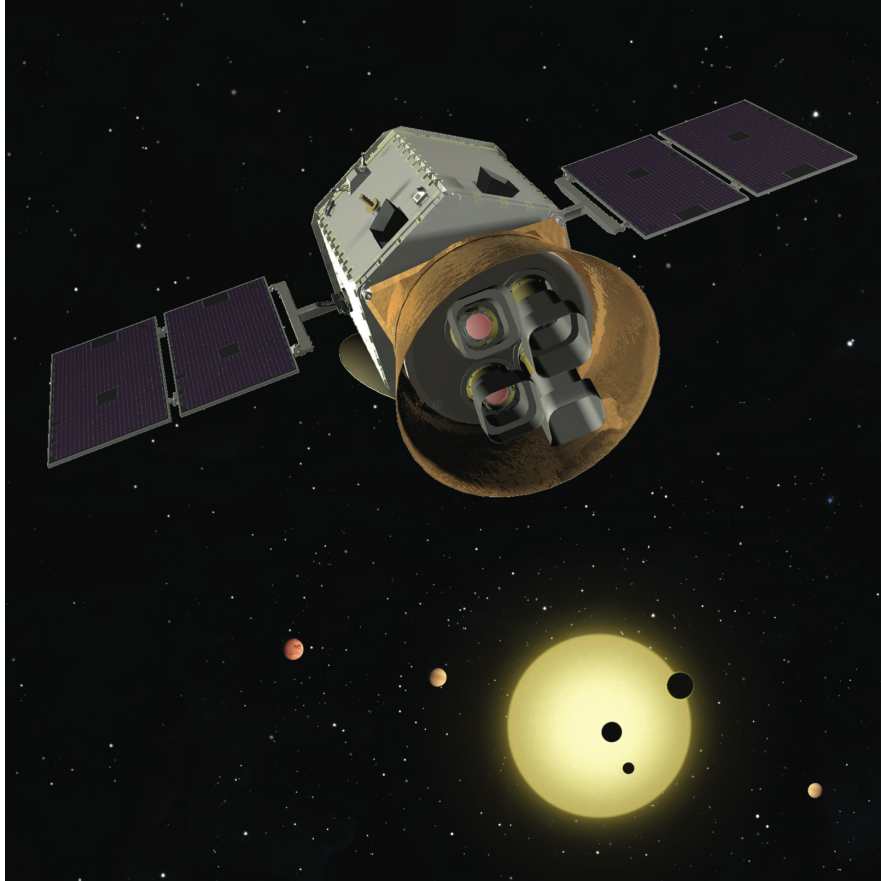


Fukui+ 2013, ApJ, 770, 95

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

All-Sky Transit Survey: TESS (by MIT/NASA)



2017年に全天トランジット
サーベイ計画TESSがスタート

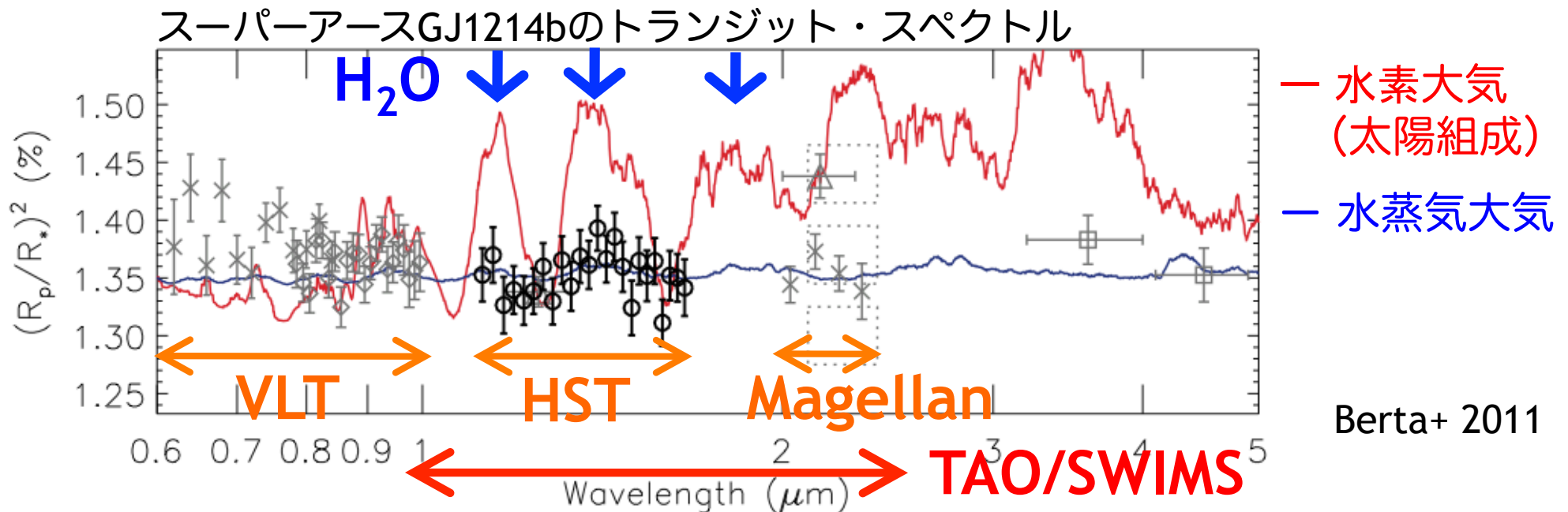
太陽系近傍の明るい恒星まわりの
惑星を探索

- 約500個のスーパーアース
- 5 ± 2 個のハビタブル惑星

TESSはサーベイ（発見）型のプロジェクト
⇒ フォローアップ観測の研究が重要

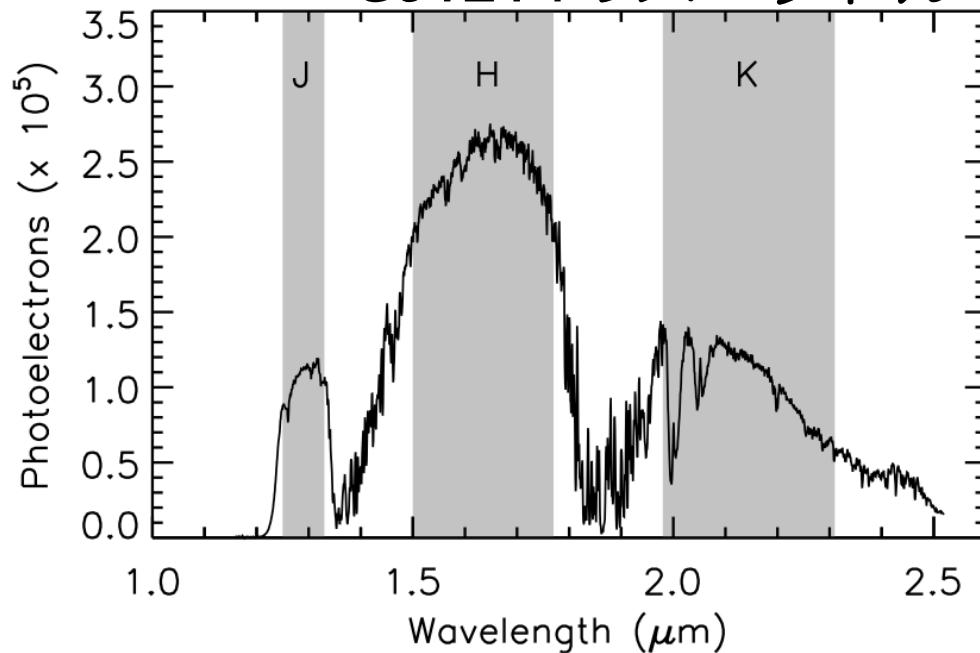
TAO/SWIMSを用いたスーパーアースの大気調査

- TAOが稼動する頃にTESSがスーパーアースを大量発見
 - TESS: 2017～、TAO: 2018～
- 大気の系統的調査により、スーパーアースの形成過程の解明へ
 - 水素大気 or 水蒸気大気？
- 近赤外領域での多天体分光観測が効果的
 - ターゲットと比較星を同時に分光し、波長毎に相対測光（分光測光）
 - H₂Oの有無



TAO/SWIMSを用いたスーパーアースの大気調査

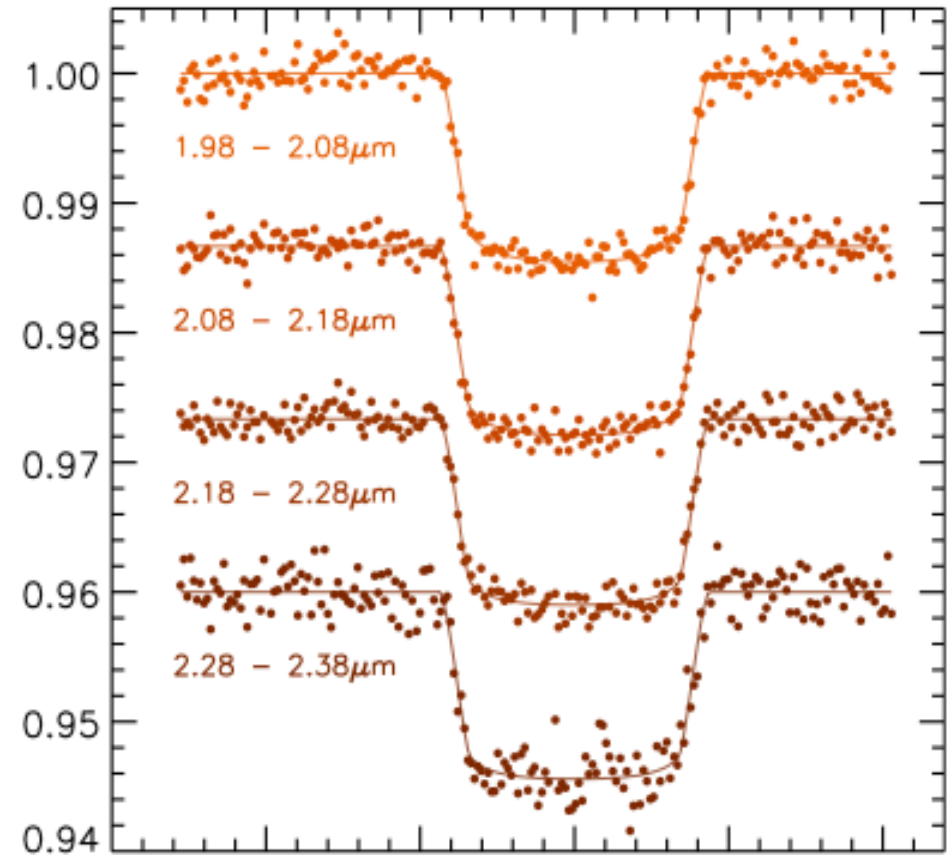
6.5m Magellan/MMIRSによる GJ1214のスペクトル



@標高2,400m

Bean+ 2011

Kバンド領域を4分割した光度曲線

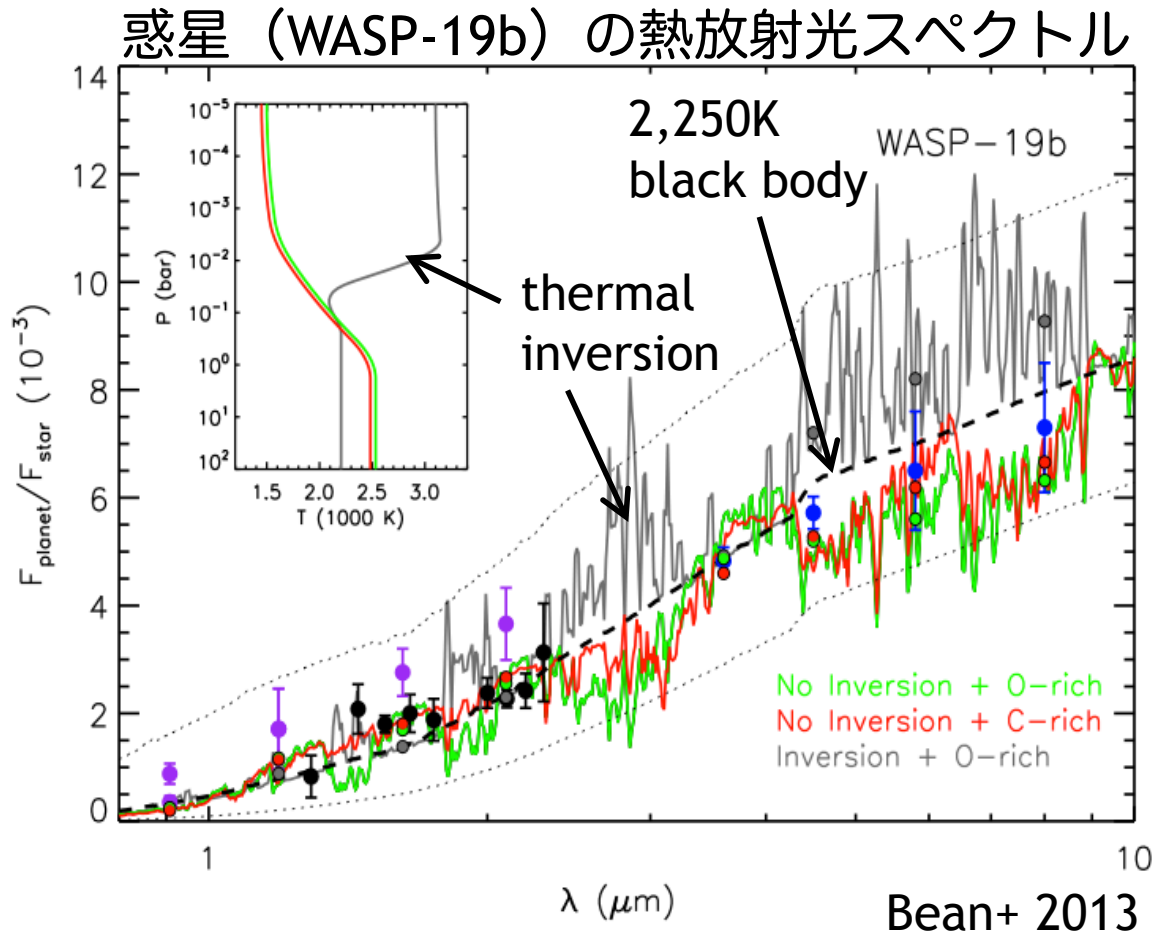
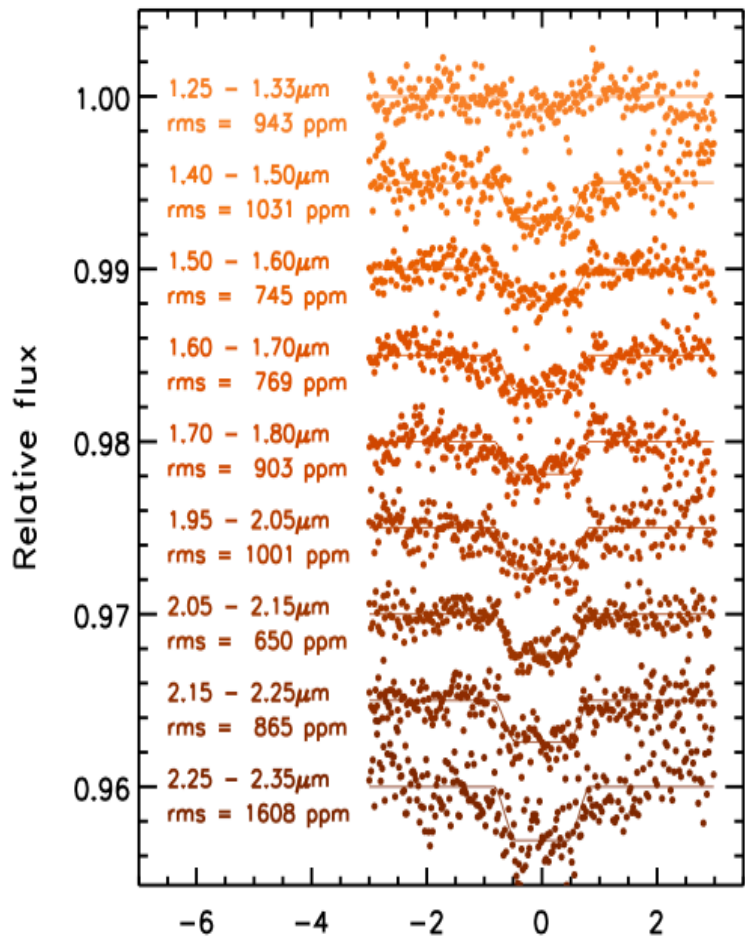


- TAO/SWIMSを使えば、Magellan/MMIRSと同様の観測がより広い波長帯域 (H_2O 吸収領域) で可能

セカンダリ・イクリプスのサイエンス

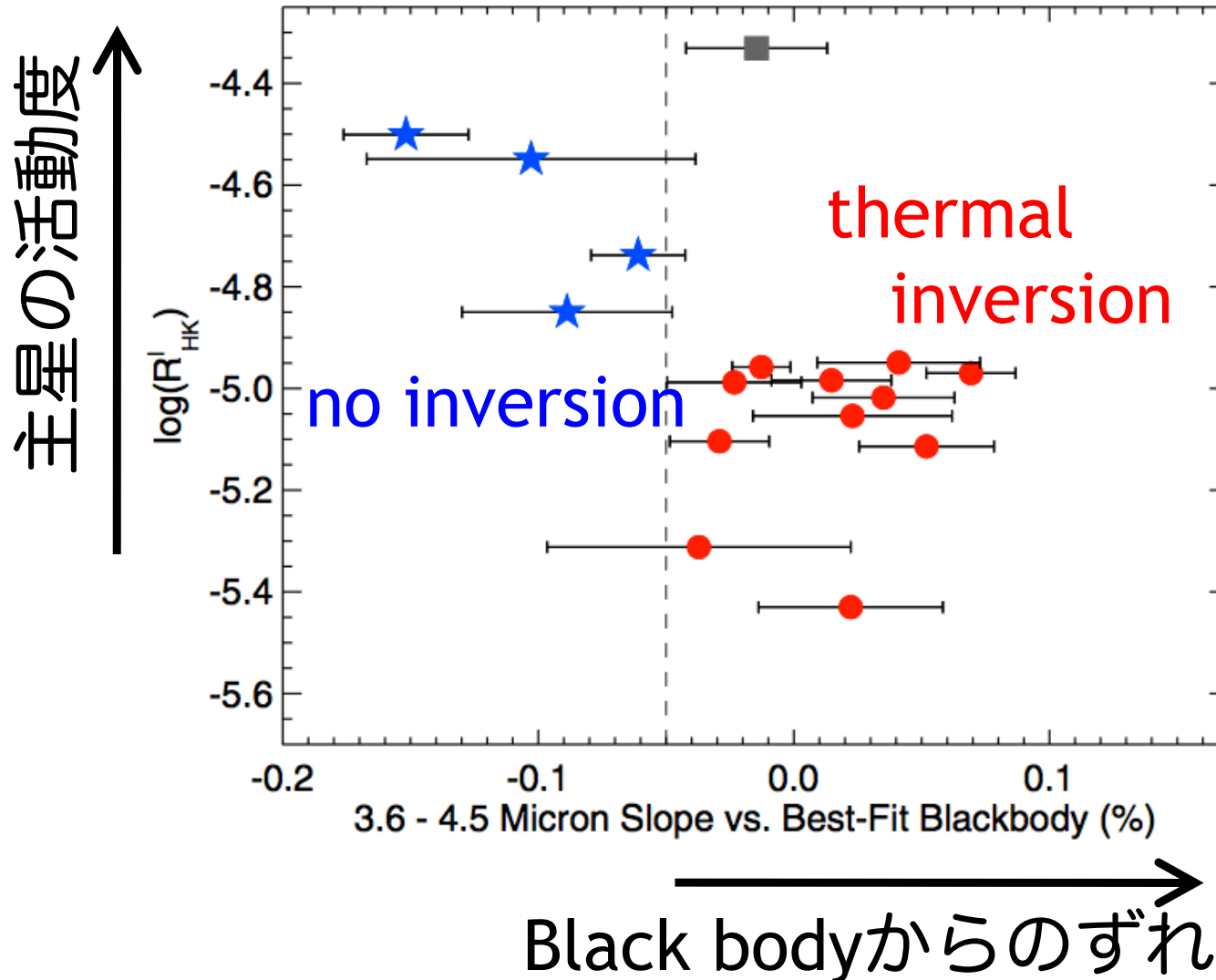
- 非常に熱い(>1,500K)巨大惑星 (ベリー・ホットジュピター) では、セカンダリイクリプスの分光測光観測が可能

Magellan/MMIRSによるWASP-19bのセカンダリイクリプス観測



大気組成 + 大気 の T-P profile に依存

主星の活動度とthermal inversion（熱逆転）の相関



- 惑星大気の上層に光を吸収する分子（TiO, ViOなど）が存在すると、thermal inversionが起こりやすい
- 主星の活動度が高いと、UV/X線によりTiO, ViOが破壊⇒thermal inversionは起こらない？ (Knutson+ 2010)

まとめ

- 惑星系は「豊富」かつ「多様」。今後は「発見」から「詳細観測」へ。
- 2017年に次期トランジット探査衛星TESSが打上。約500個のスーパーアースの発見が期待。
- SWIMS/MOSを用いた透過分光観測から、スーパーアース大気の系統的調査が可能。
 - 惑星大気中のH₂Oの検出
- ベリー・ホットジュピターのセカンダリイクリプスの分光測光観測から、大気組成およびthermal inversionの有無の調査が可能。