

# 広視野多色同時撮像カメラによるトランジット観測



成田憲保(国立天文台)

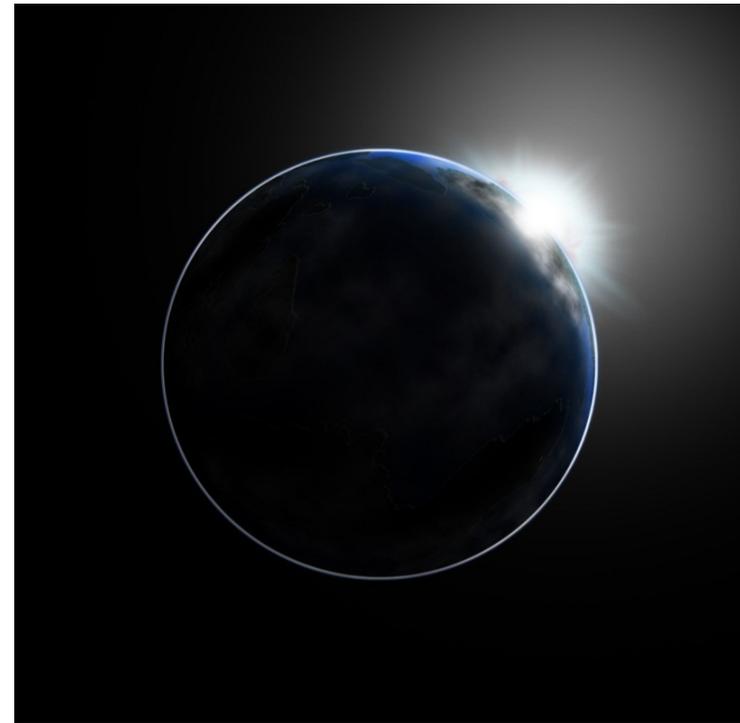
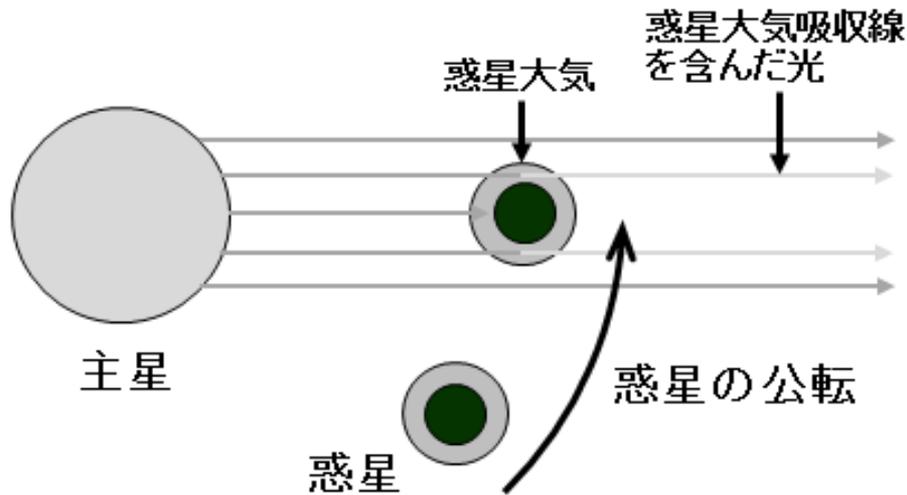
# 目次

- トランジット惑星と透過分光
- これからのターゲット:スーパーアース
- スーパーアース観測のモチベーション
- 広視野多色同時撮像カメラについて

# トランジット惑星の大気の観測

トランジットを利用した透過分光・測光観測

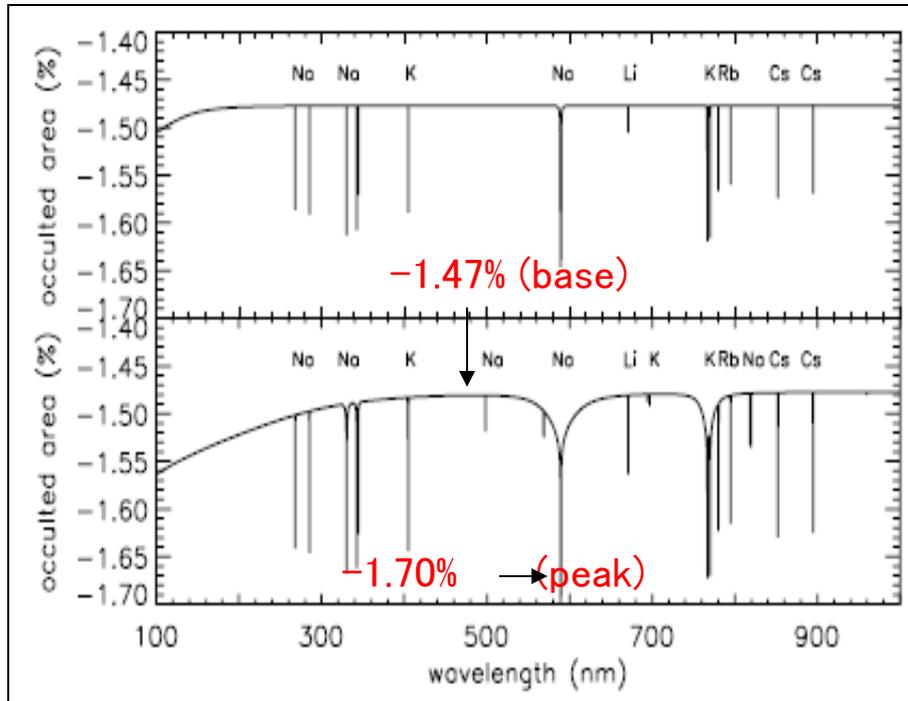
## 惑星トランジット



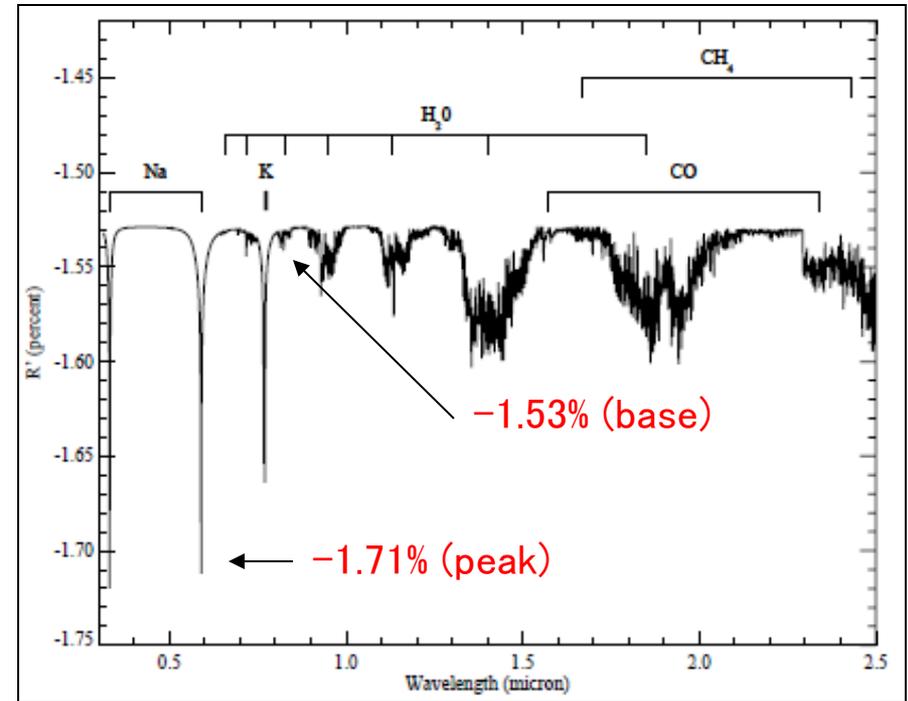
トランジットの減光の深さは惑星大気の組成を反映して、  
波長(吸収線や観測バンド)ごとに異なる

# 初期の理論モデルによる予言

## 雲がないホットジュピターHD209458bに対する透過光モデル



Seager & Sasselov (2000)

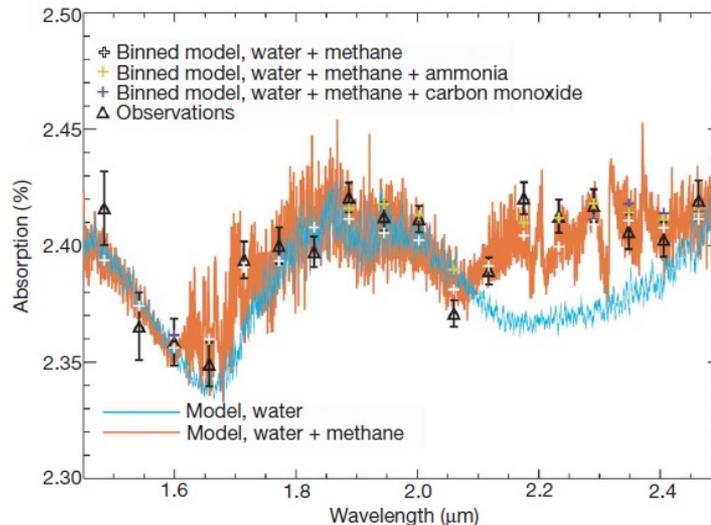


Brown (2001)

特に可視領域のナトリウム線や赤外の分子吸収バンドで  
強い追加吸収が予想されていた

# ホットジュピターで報告された大気成分

- 水素
- ナトリウム
- 水蒸気
- メタン
- その他CO<sub>2</sub>やCO、カリウムなど



▲: 観測点

赤: メタン+水蒸気

青: 水蒸気のみ

Swain et al. (2008)

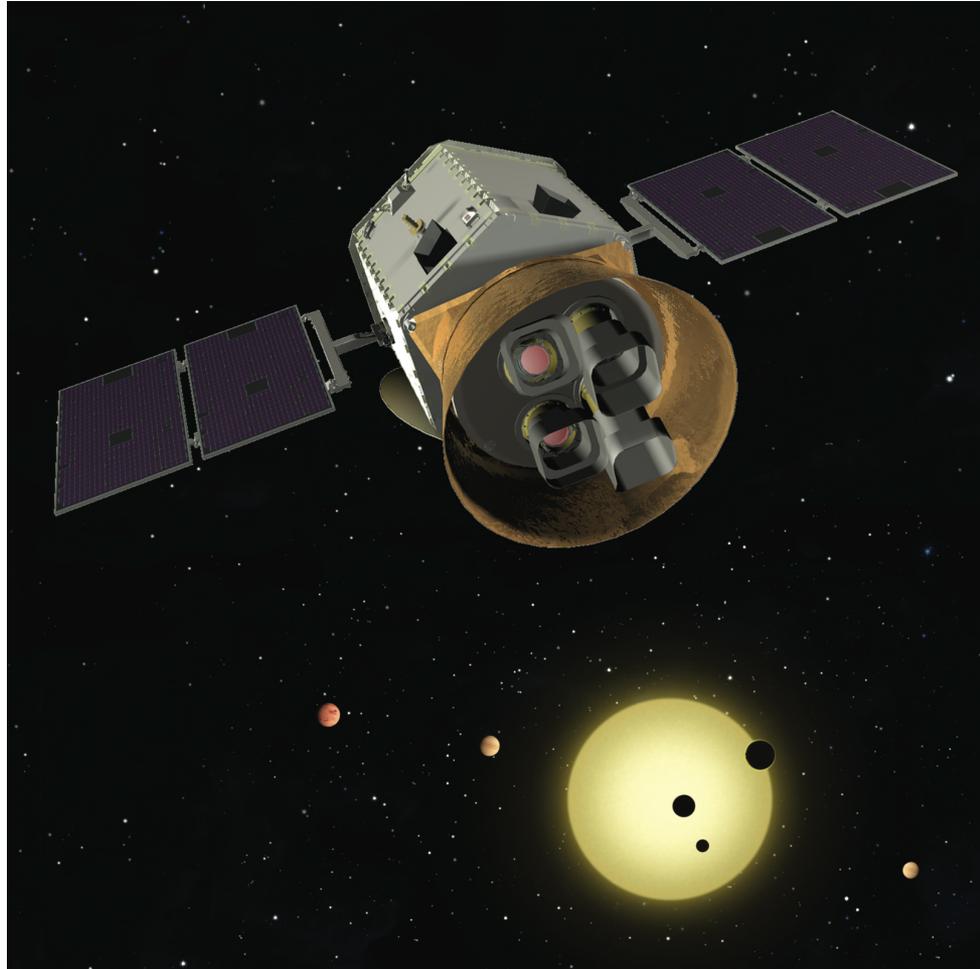
# これからのターゲット: スーパーアース

- 質量とサイズで地球と天王星・海王星の間にある  
「太陽系には存在しないタイプの惑星」
  - 質量: 1-15地球質量程度
  - 半径: 1-4地球半径程度
- 必ずしも地球型(=岩石)惑星ではなく、いろいろな組成の可能性が縮退している
  - mini Neptune or large Earth
  - どんな内部組成・大気組成なのか全く未知

# スーパーアースの存在頻度

- HARPSによる視線速度サーベイの結果(Bonfils et al. 2011)、特にM型星ではスーパーアースの頻度が高い
  - $P = 1-10\text{days} : f=0.36 (+0.25, -0.10)$
  - $P = 10-100\text{days} : f=0.35 (+0.45, -0.11)$
- Keplerによる最新の結果(Dressing & Charbonneau 2013)でも、M型星が周期50日以内に $1.4-4 R_E$ の惑星を持つ期待値は0.5程度 →  $\sim 2$ 個に1個の恒星は短周期スーパーアースを持つ
- 太陽系には存在しないが、短周期のスーパーアースは宇宙に多数存在する

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



2013年3月に最終ヒアリングまで終了：結果待ち  
もし採択されれば、2016年までに打ち上げ

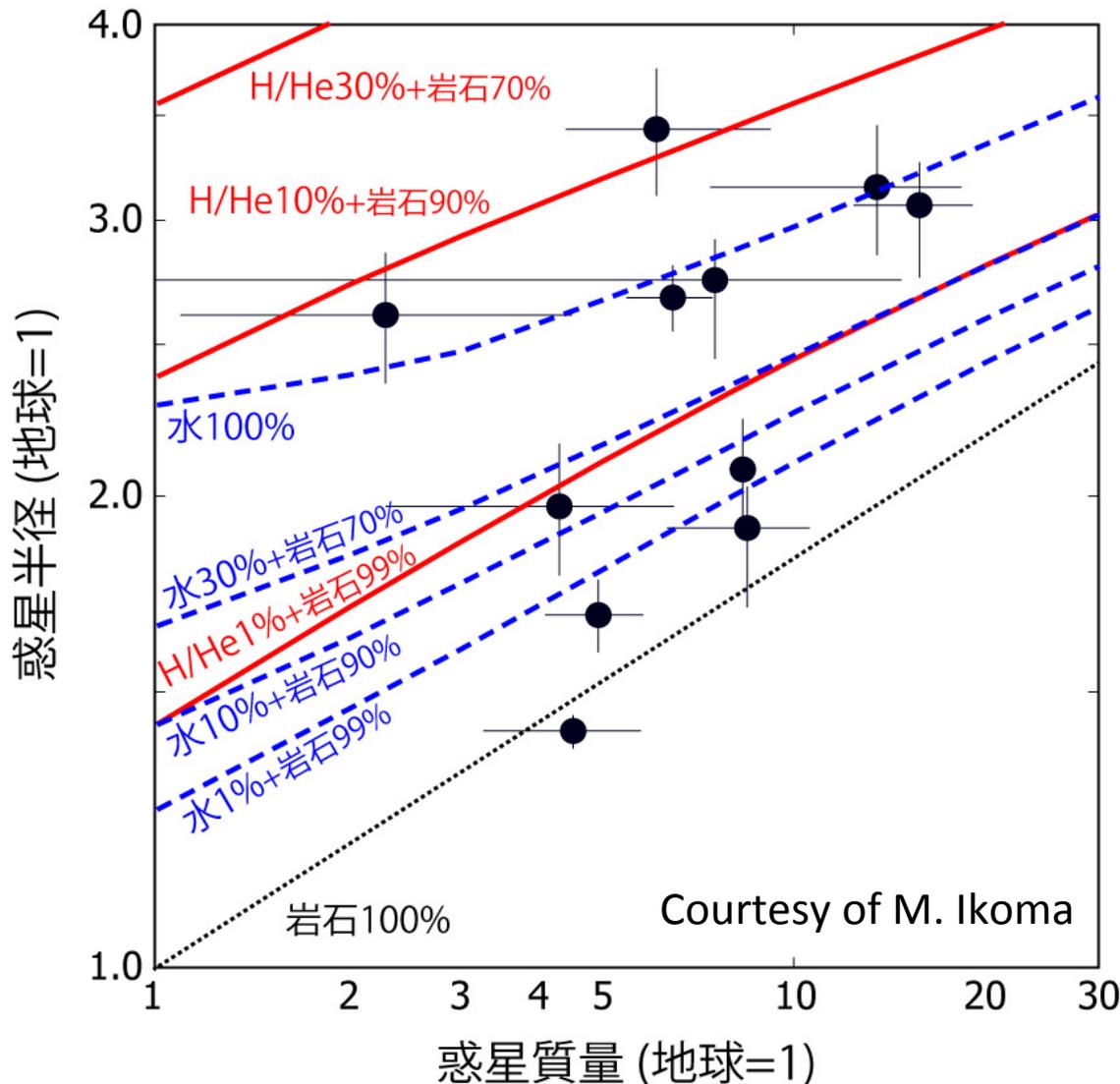
# TESSで発見が期待される惑星

- 太陽系近傍の明るい恒星の惑星 (I等級 0-12 mag, FGKM型)
- 検出可能な惑星の周期
  - 1領域の観測は30日程度なので、主に10日以下
  - 特定の領域では60日以下の惑星まで発見可能
  - 周期が10 (60) 日の惑星はmid (early) M型星のハビタブルゾーン内
  - 期待されるスーパーアース発見数は500個以上(全恒星型の合計)、  
そのうちM型星で  $5 \pm 2$  個のハビタブル惑星発見を期待
- TESSはサーベイ(発見)型のプロジェクト → フォローアップの研究が重要

# 惑星科学からの問題提起

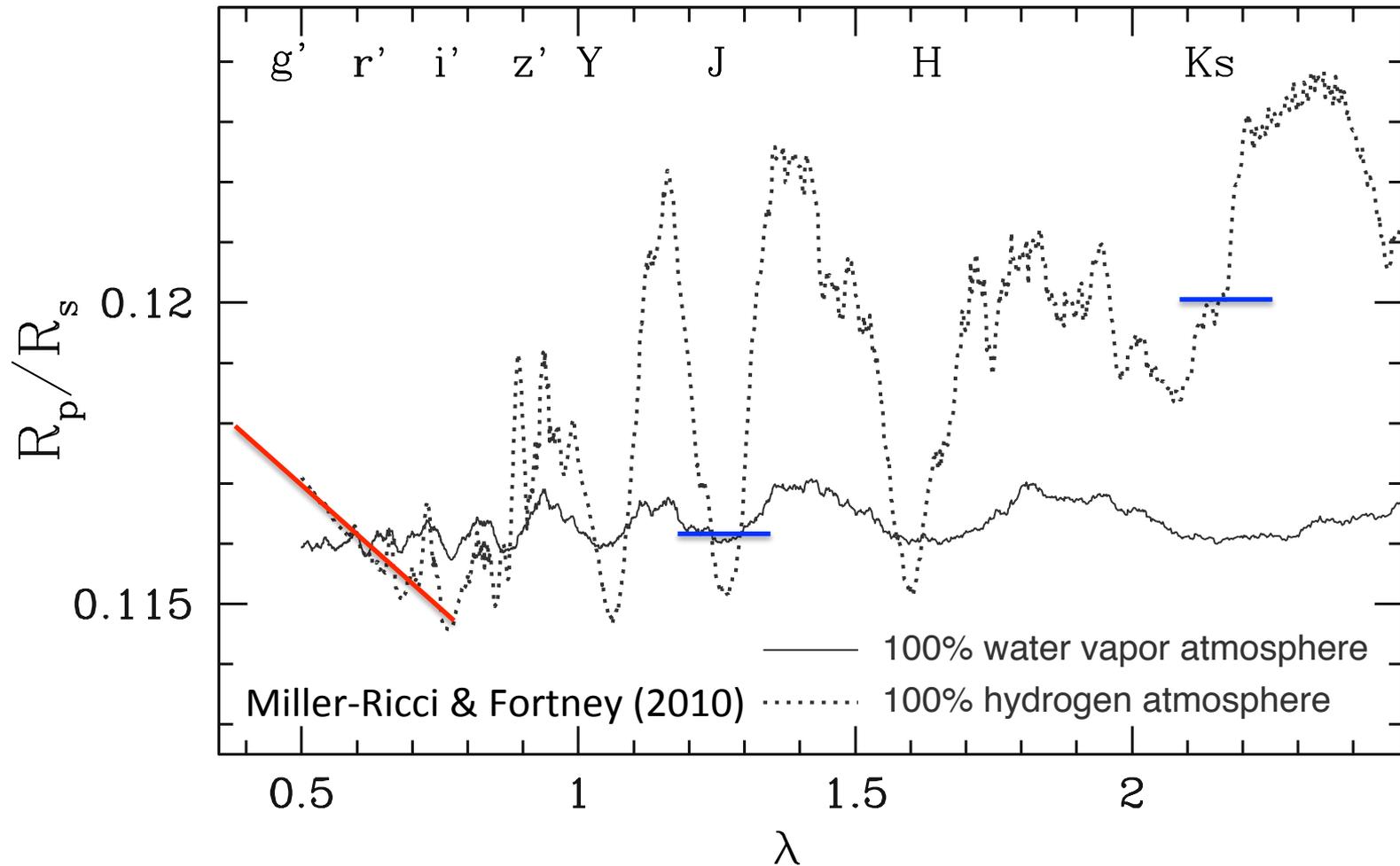
- 今後多数のトランジット・スーパーアースの発見が期待されているが、まだ我々はスーパーアースの性質をほとんど知らない
- **スーパーアース(低質量惑星)の組成は何か？**
  - 岩石+水素大気 or 岩石+水蒸気大気 の2大組成
  - しかし、2つの組成は惑星のMass-Radius図上で縮退する
- **どうやって惑星の組成を判別するか？**
  - 惑星のMass-Radius関係の統計をより増やす
  - 縮退を解くには個々の惑星に対して大気組成の決定を行う
- **これらを観測的に解き明かすことで、低質量惑星の惑星形成と惑星大気のサイエンスを切り拓くことができる**

# 惑星の大気組成と内部構造の縮退

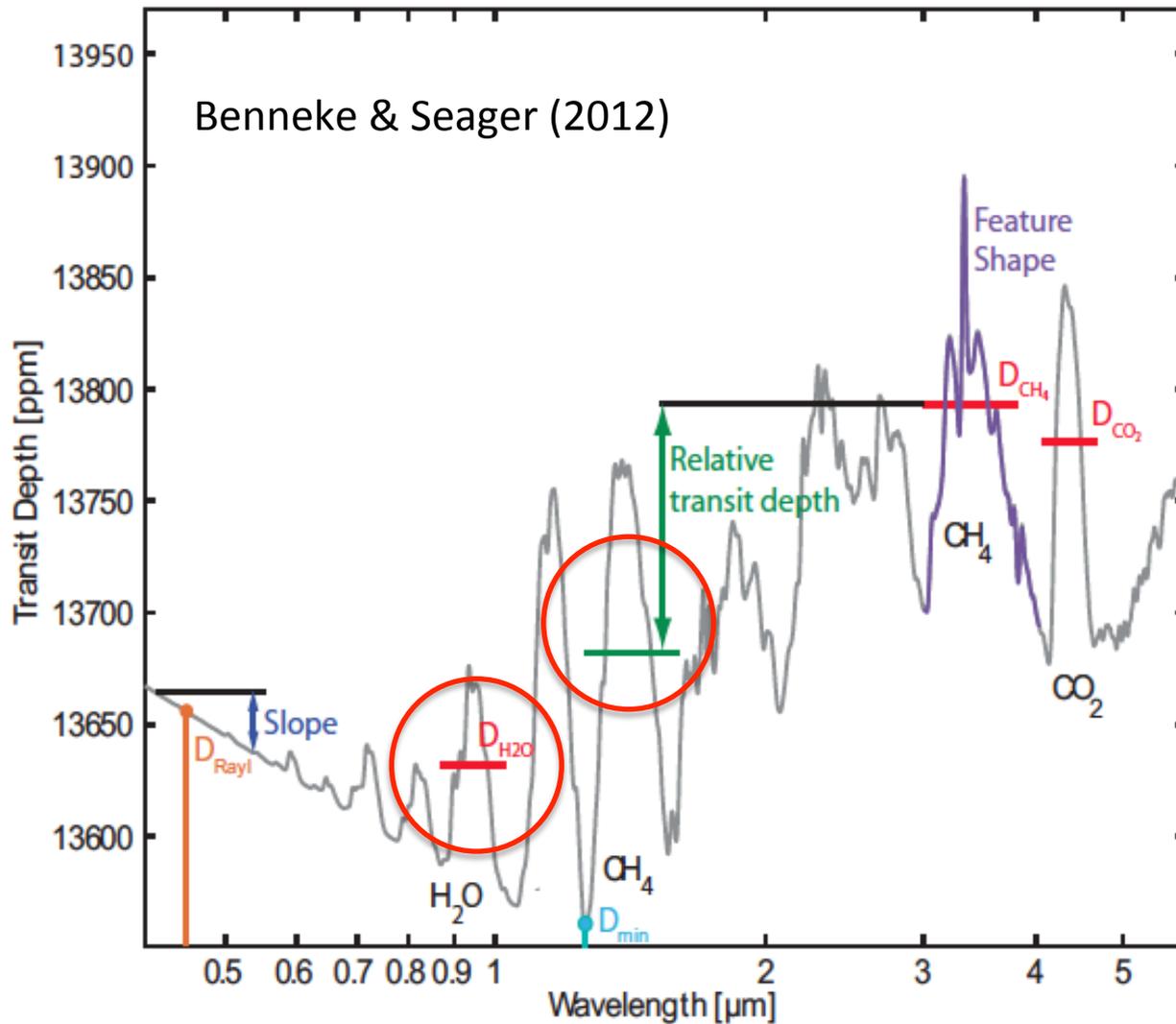


- 1-15地球質量で1-4地球半径の惑星は10個程度
- いくつかの惑星の内部構造・大気組成のモデルが縮退している
- 縮退を解くには、大気組成を多波長観測で決める必要がある

# 惑星大気組成をどう調べるか？



JとKsバンドの深さの違いと、レイリー散乱が水素大気の強い証拠となる



6色になればHバンドの $\text{CH}_4$ 、zバンドの $\text{H}_2\text{O}$ なども制限できる

# 多色同時撮像カメラのサイエンス

- 地上中口径望遠鏡で何ができるか？
  - 多波長トランジット観測によって惑星の半径と大気組成を決める
  - 主なターゲットはlate K-M型星
  - 質量や軌道を決めるには大口径望遠鏡の高分散分光器が必要
- 同時性が重要
  - 恒星に黒点がある場合、その割合によって恒星の明るさが変わるため、トランジットごとにトランジットの深さ(見かけの惑星サイズ)が変わる
  - M型星は特に黒点の影響が大きい
  - 大気モデルの正確な推定には多波長・同時のトランジット観測がベスト

# 観測のための新しい装置の提案

- トランジットを高精度で相対測光観測するには良い比較星が必要→**広視野**
  - $J < 10$  の参照星がほぼ確実に1つ以上入る視野 → 10分角
- 惑星大気モデルを判別するにはさまざまな波長の観測が必要→**多色**
- 恒星の黒点(cf: GJ1214)などによる変光の影響を受けないようにすることが重要→**同時**
- **本研究には広視野多色同時撮像カメラが特に望ましい**
- **岡山188cm望遠鏡用の広視野6色同時撮像カメラを提案**

# この装置のメリット

- 可視から近赤外にわたる広視野の多色撮像カメラは世界で非常にユニーク
  - 同様のものは南天ESOのGRONDのみ、北天には同様のものはない
- この装置があれば、今後のトランジット・スーパーアースのフォローアップ研究で世界の中で格段に優位に立てる
  - スーパーアースの主要大気組成を一度の観測で決定可能
- 広視野多色撮像カメラは汎用性が非常に高い
  - 他分野のサイエンスにもサイエンスメリットがある装置

# まとめ

- 今後トランジット・スーパーアース、そして地球サイズの惑星の発見が期待されている
- トランジット観測によって惑星の大気組成を調べる方法として多色同時撮像カメラが有効
- 岡山188cm望遠鏡向けに、可視・近赤外6色同時撮像カメラの設計・提案を行っているが、3.8m望遠鏡にも移転可能