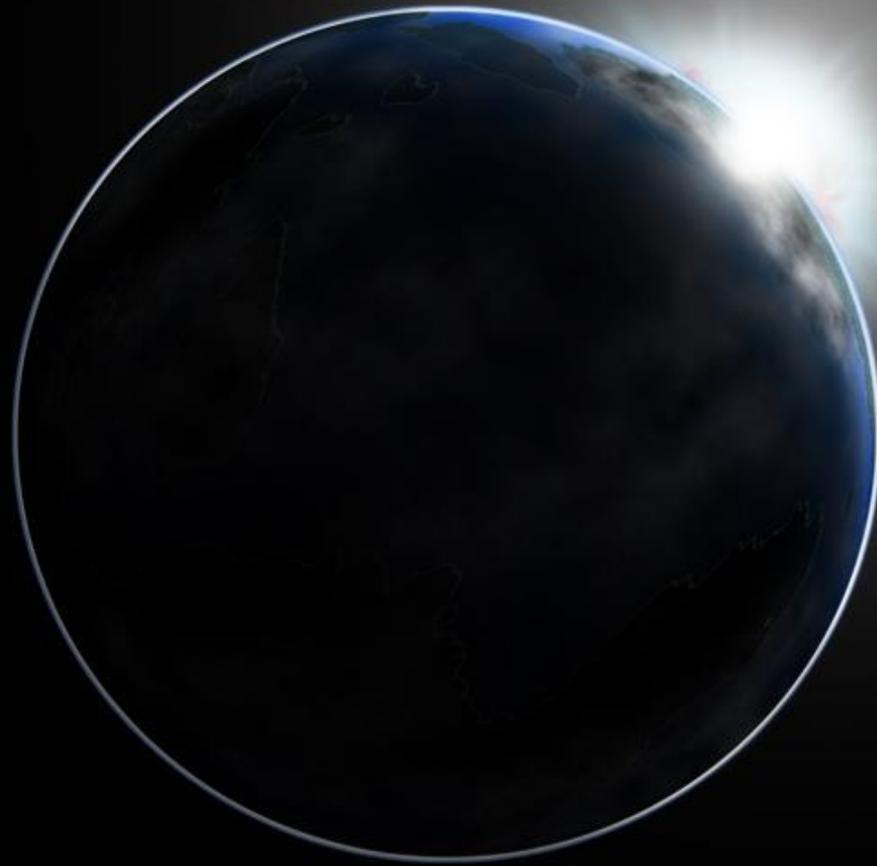


系外惑星探査とスーパーアースの大気



成田憲保 (国立天文台)

目次

- スーパーアースの大気観測とその方法論
 - モチベーション
 - 観測手法
 - GJ1214bの観測結果
- 全天トランジットサーベイと南極望遠鏡のサイエンス

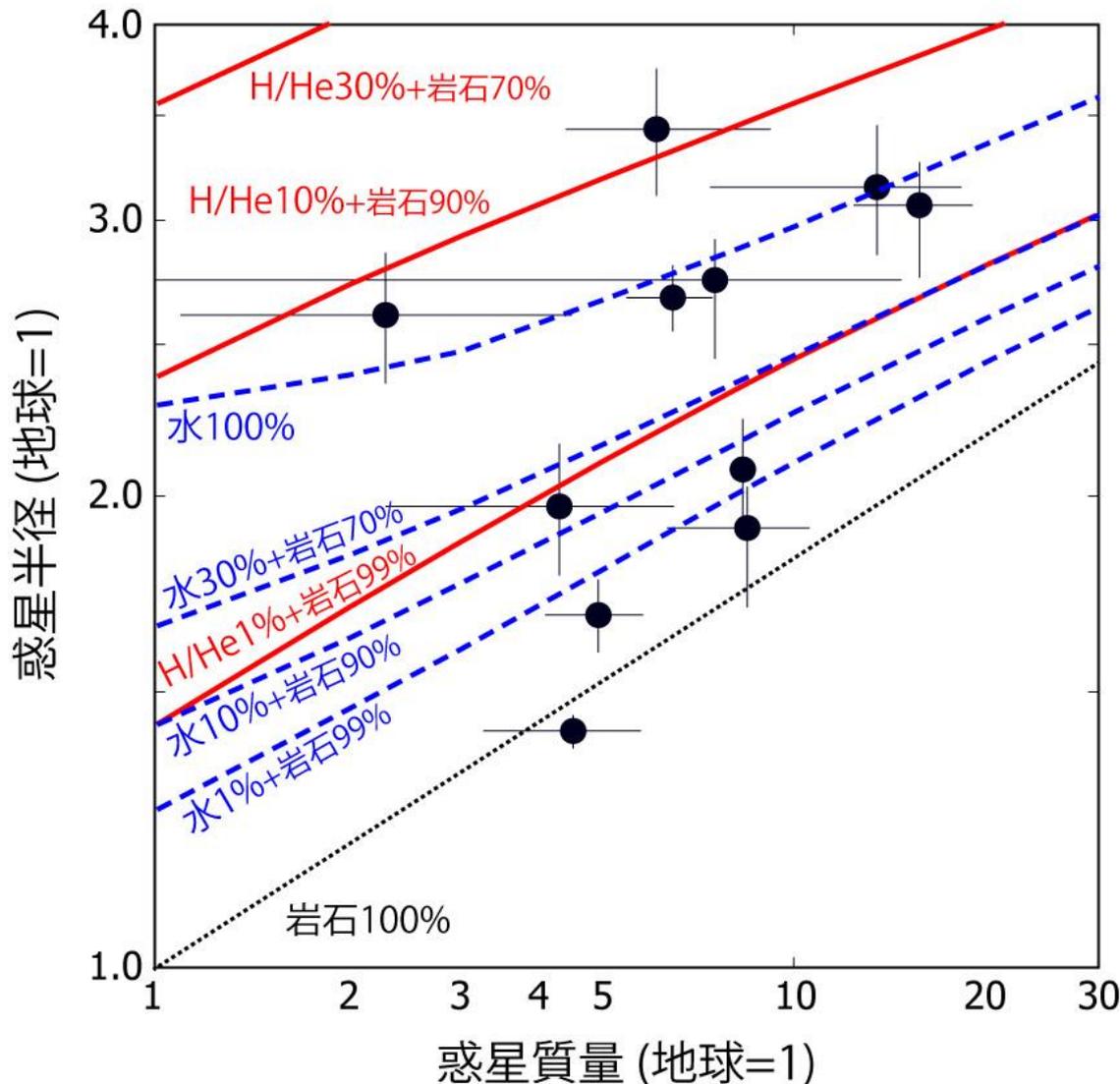
スーパーアースとは

- 正式な定義(IAUなどで認められた)はまだない
- 質量とサイズで地球と天王星・海王星の中間にある
「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)惑星ではない
 - いろいろな内部構造・大気組成の可能性が縮退している
 - その場で形成されるのか、移動して来たのかもまだ不明

天文学・惑星科学からの興味

- 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

質量・半径が確認されたスーパーアース



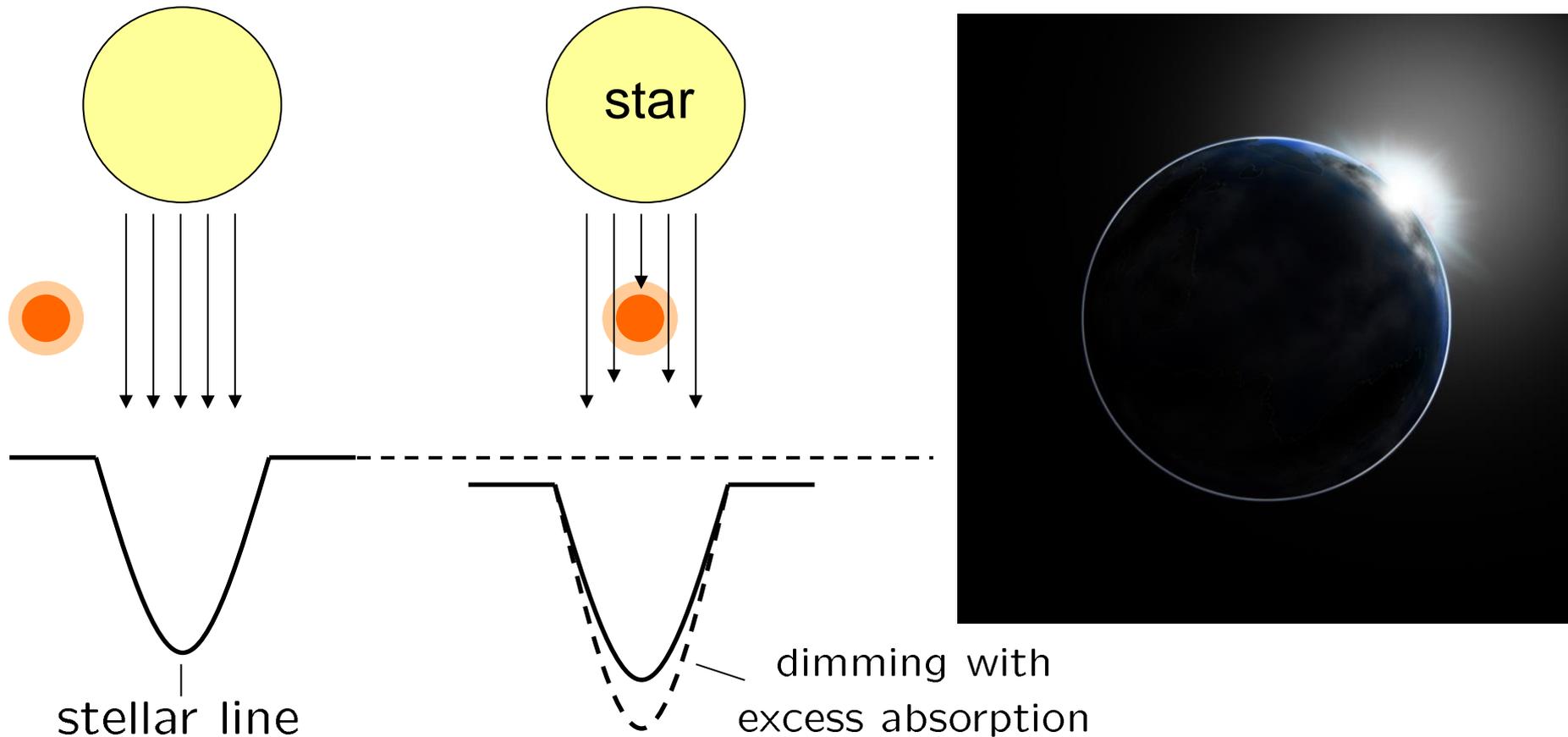
- 1-15地球質量で1-4地球半径の惑星は10個程度
- いくつかの惑星の内部構造・大気組成のモデルが縮退している

天文学・惑星科学からの興味

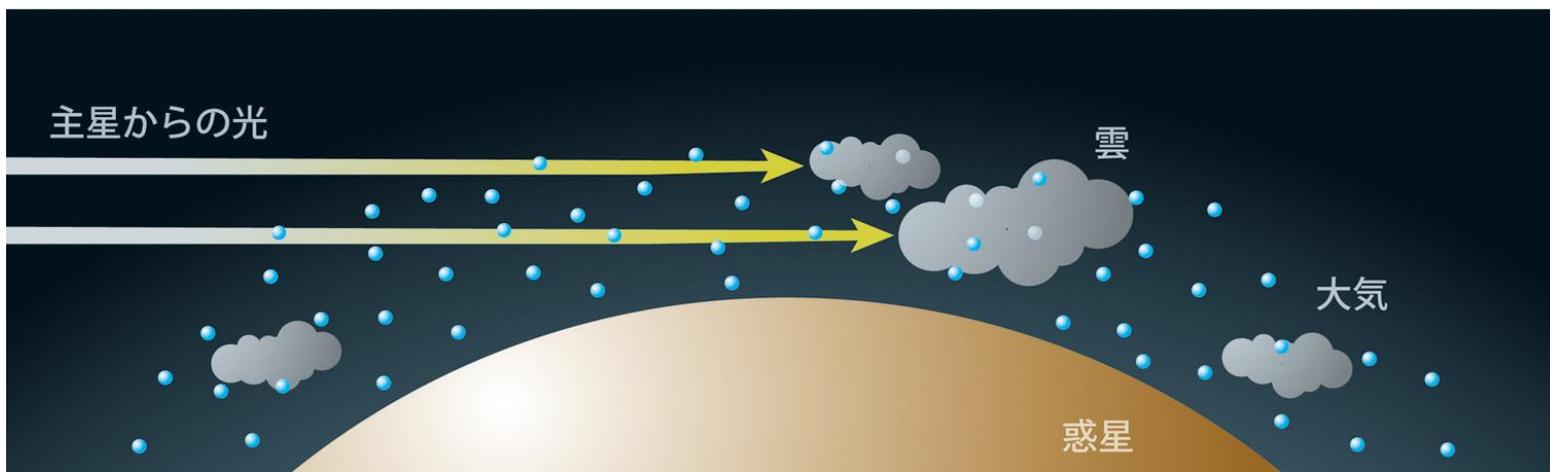
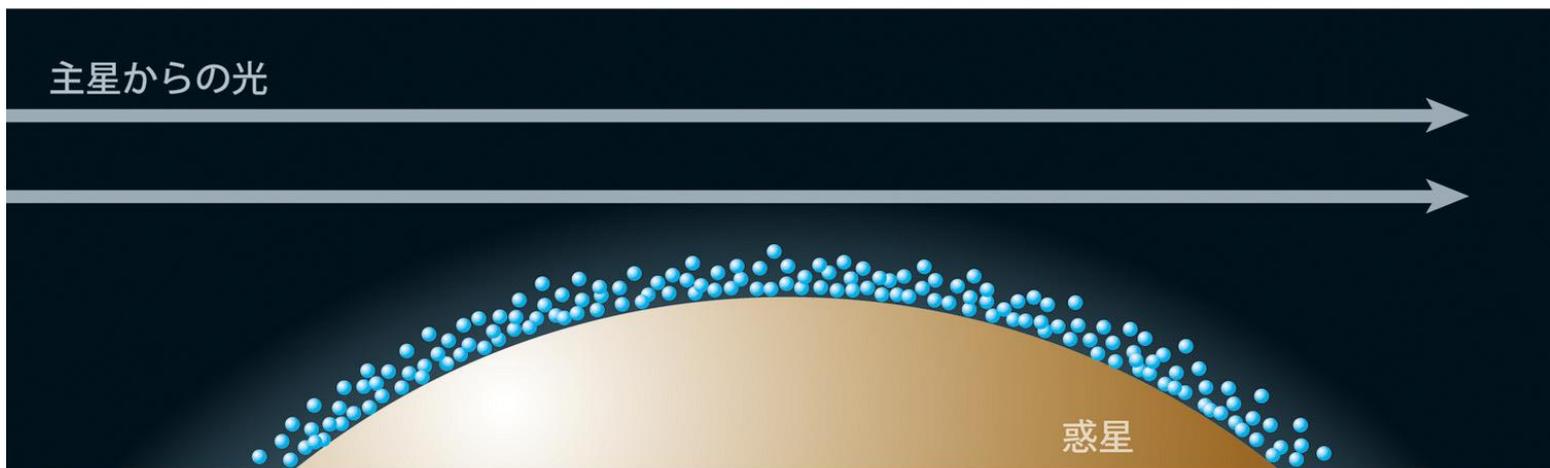
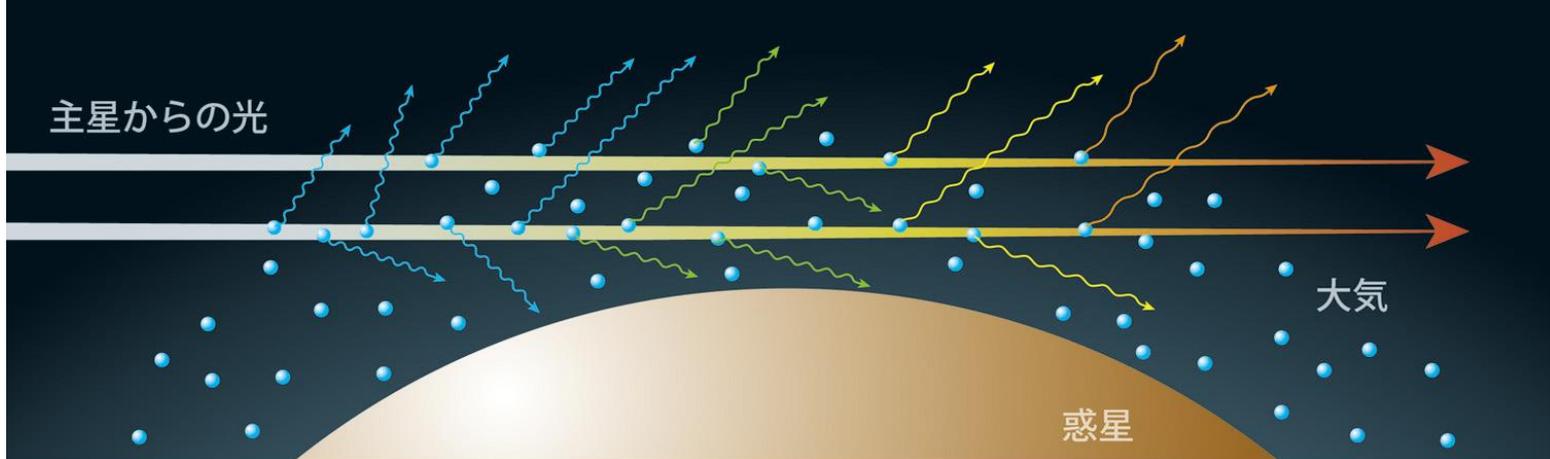
- 今後多数のトランジット・スーパーアースの発見が期待されているが、まだ我々はスーパーアースの性質をほとんど知らない
- スーパーアース(低質量惑星)の組成は何か？
 - 岩石+水素大気 or 岩石+水蒸気大気 の2大組成
 - しかし、2つの組成は惑星のMass-Radius図上で縮退する
- どうやって惑星の組成を判別するか？
 - 惑星のMass-Radius関係の統計をより増やす
 - 縮退を解くには個々の惑星に対して大気組成の決定を行う
- これらを観測的に解き明かすことで、低質量惑星の惑星形成と惑星大気のサイエンスを切り拓くことができる

トランジット惑星の大気の観測

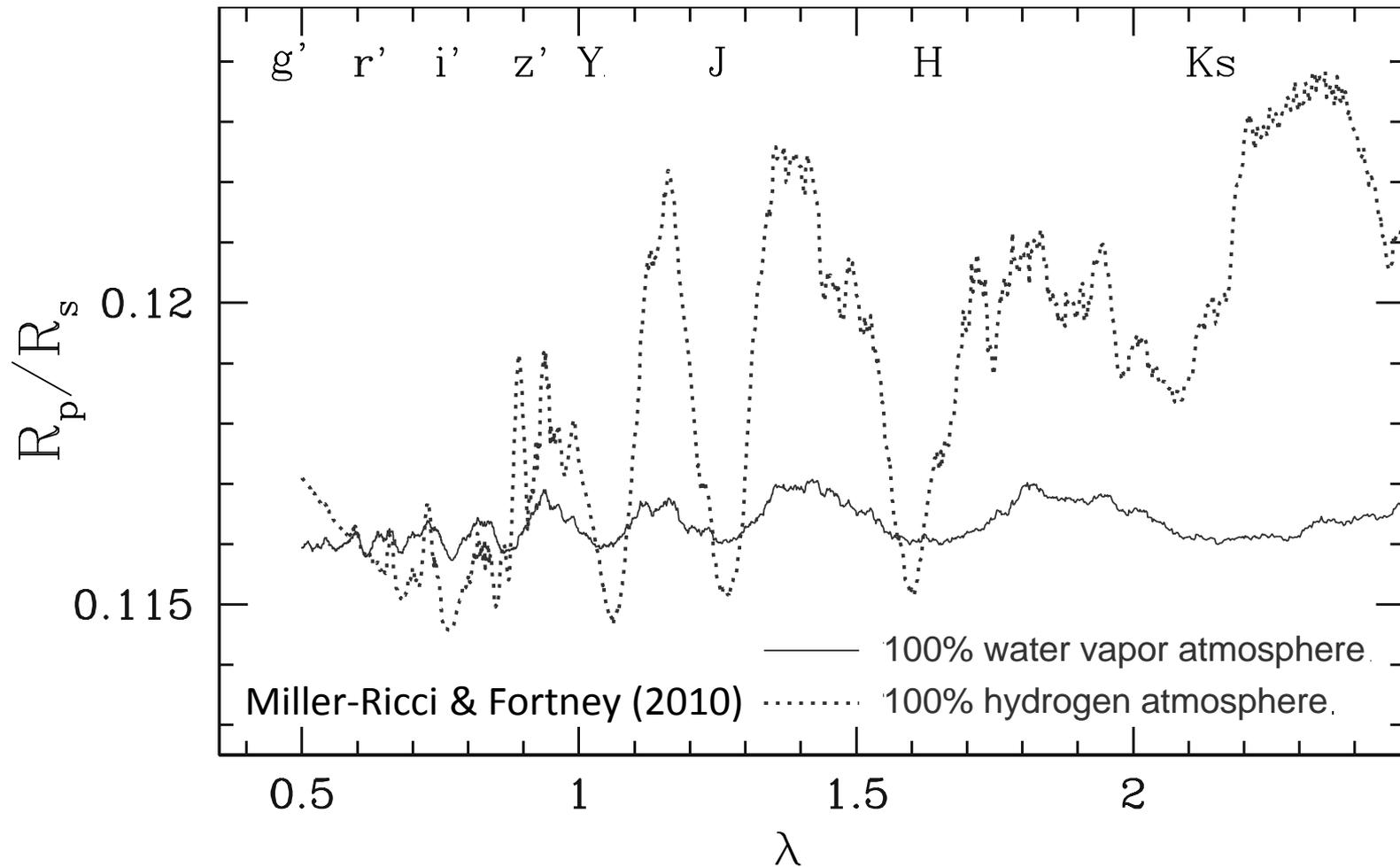
トランジットを利用した透過分光・測光観測



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

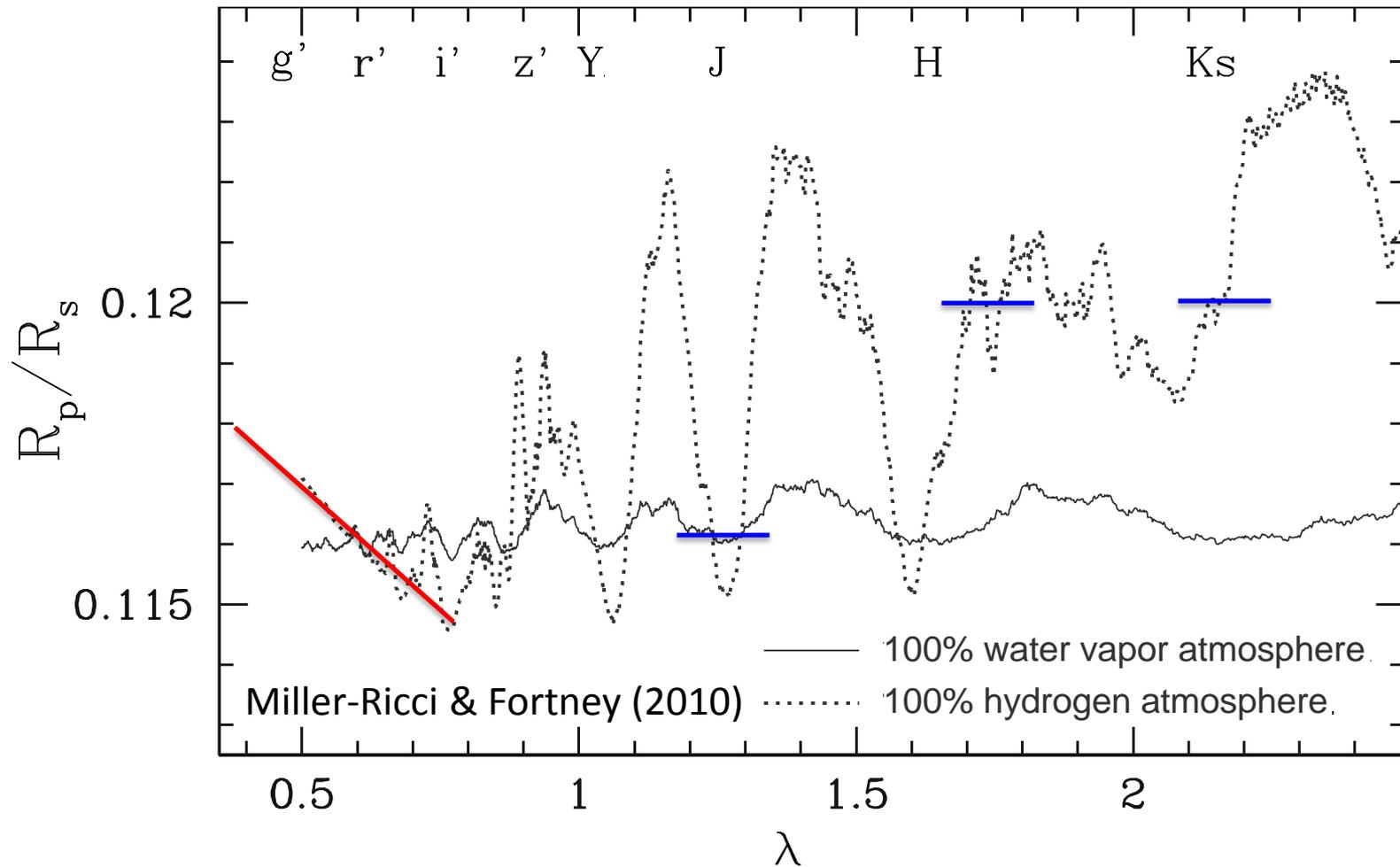


惑星大気組成とトランジットの深さ



これをどう見分けるか？

惑星大気組成とトランジットの深さ



可視のレイリー散乱と近赤外の波長依存性が水素大気の強い証拠

観測の方法論

- さまざまな波長帯でトランジットを観測し、その深さの波長依存性を調べる
 - 多色測光観測(中小口径望遠鏡に有効)
 - 多天体分光・測光観測(大口径望遠鏡+多天体分光器)

惑星大気の観測に好ましいターゲット

- トランジットの深さ(R_p/R_s)が大きいもの
 - 波長ごとの変化が見えやすいため
 - スーパーアースを狙うなら、**主星が小さいM型星が良い**
 - 主星が明るいもの
 - それだけ R_p/R_s を決定する精度が高くなる
 - **太陽系近傍の主星が良い**
- **太陽系近傍のM型星が狙い目**

最初のターゲット: GJ1214b

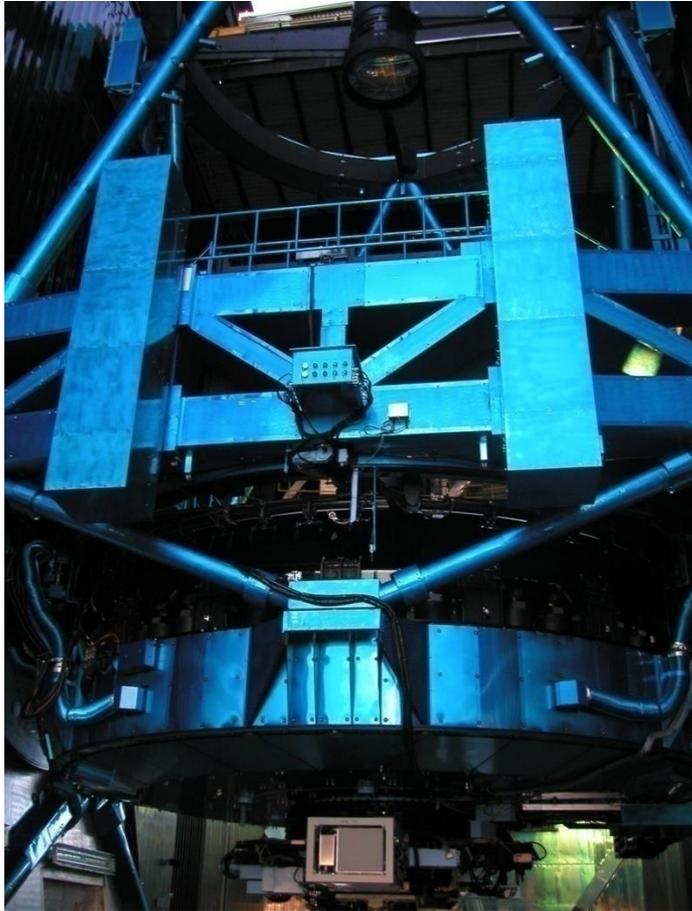
- M_{Earth}によって初めて発見された、低温度星(M4.5V)のまわりをトランジットするスーパーアース (Charbonneau et al. 2009)
- 惑星半径: $\sim 2.7R_{\text{Earth}}$, 惑星質量: $\sim 6.55M_{\text{Earth}}$, 公転周期: ~ 1.58 日
- 主星が $\sim 0.2R_{\text{Sun}}$ 程度と小さいため、スーパーアースでも $\sim 1.5\%$ の減光を起こす
- 太陽系近傍の13pcの距離にあり、B=16.4, V=14.67, J=9.75, H=9.09, Ks=8.78 と近赤外で明るい
- 大気組成を調べることができる初めてのスーパーアース
- (現在でも3つしかなく、その中で最も低質量のターゲット)

IRSF1.4m望遠鏡での近赤外3色同時観測

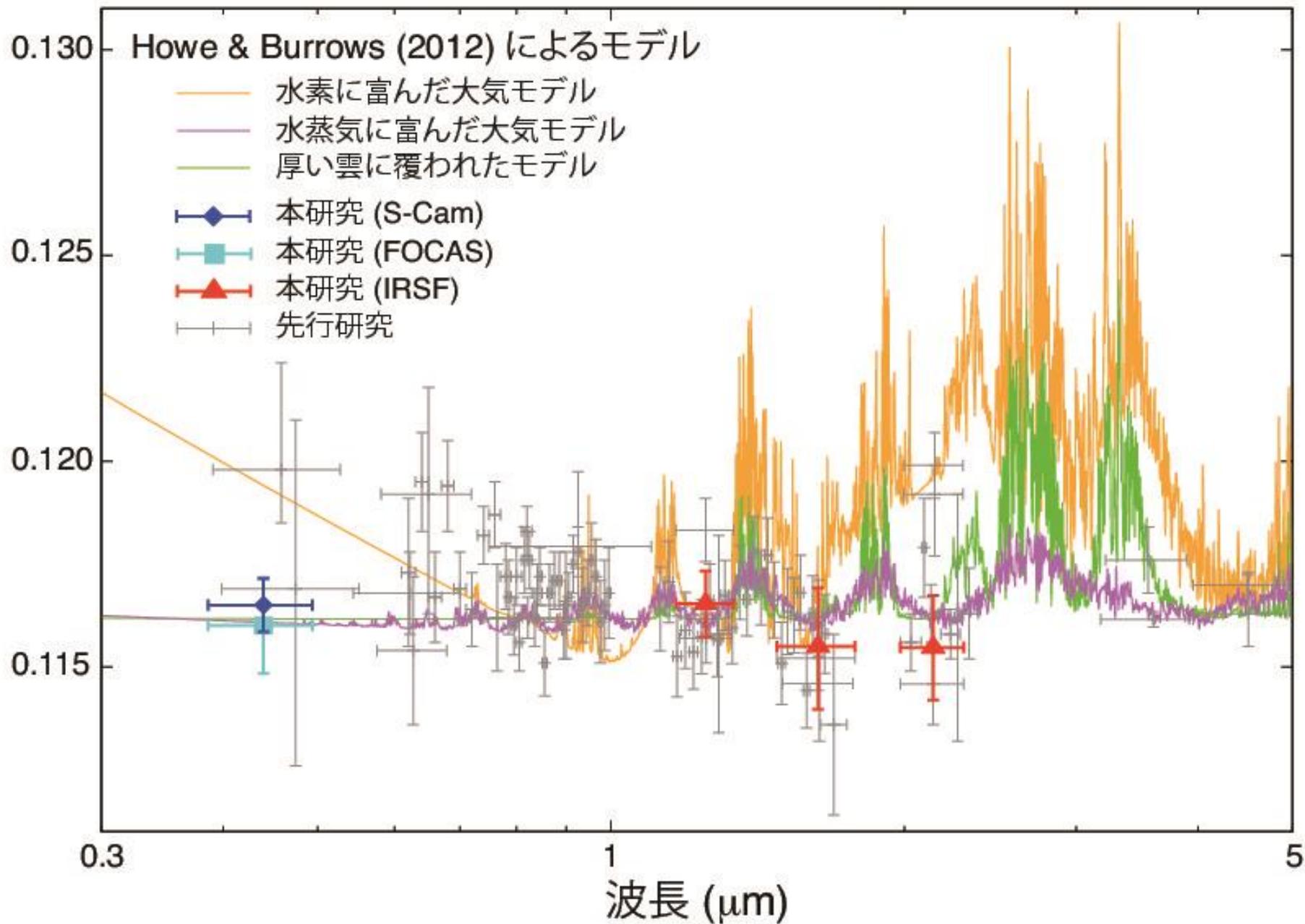


- IRSFは南アフリカ・サザールランドにある1.4m望遠鏡
- 近赤外の3色(JHKsバンド)同時撮像カメラSIRIUSが搭載されている
- 2011年8月14日と2012年6月14日にGJ1214bのトランジットを観測
- 近赤外3色同時トランジット観測は世界初

すばるSuprime-CamとFOCASでの観測

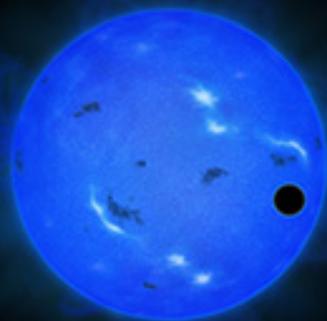


- レイリー散乱があるかどうかを調べるためBバンド（16.4等級）で観測
- 大口径により1mmag以下の測光精度を達成
- 2012年8月と10月に観測
- Bバンドトランジット観測は世界で2番目となったが、最も高い精度だった



青い光で見るスーパーアースの空

2013年9月4日



国立天文台と東京大学を中心とする研究チームは、すばる望遠鏡を用いてスーパーアースGJ1214bの空を観測し、この惑星が水蒸気を主成分とする大気を持つ可能性が高いことを明らかにしました。

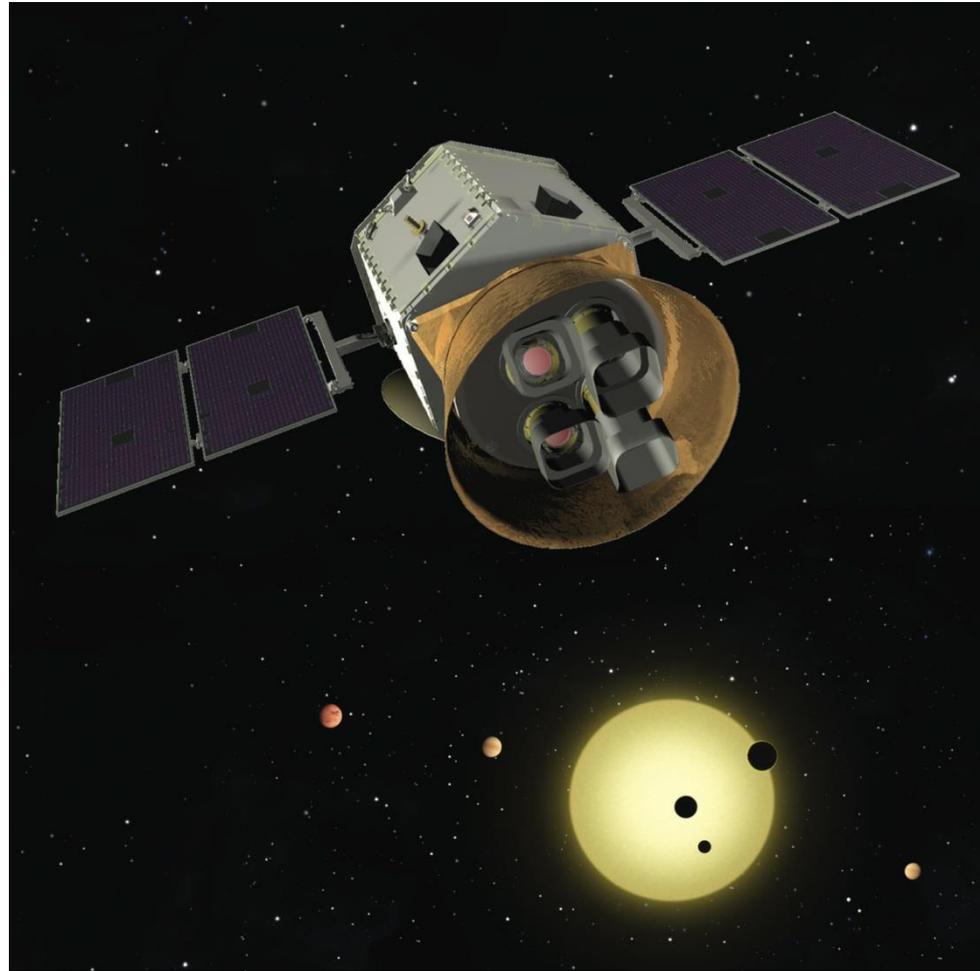
f いいね! 18

ツイート 14

国立天文台と東京大学を中心とする研究チームは、すばる望遠鏡に搭載された2つの可視光カメラ Suprime-CamとFOCASに青い光だけを透過するフィルターを装着して、へびつかい座の方向、約40光年のかなたにあるスーパーアースGJ1214bの空を観測しました。

この惑星の空（大気）は、その主成分が何かをめぐってこれまで議論が続いており、水素あるいは水蒸気が主成分である可能性が考えられていました。今回の観測の結果、この惑星では晴れた水素大気の空で観測されるはずの「強いレイリー散乱」の特徴が見られないことが明らかとなりました。このことは、これまでのこの惑星に対する観測結果と合わせて、GJ1214bが水蒸気を主成分とする大気を持つ可能性が高いことを示しています。

全天トランジットサーベイ計画:TESS



ケプラーの後継機として2013年4月にNASAに認められた衛星計画
2017年に打ち上げ予定(4人の日本人が公式参加)

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 4-13 mag, FGKM型)
- 検出可能な惑星の周期
 - 1領域の観測は27日程度なので、主に9日以下
 - 特定の領域(JWST用)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 ± 2 個のハビタブル惑星発見を期待
 - 多数のone-transit targetの発見
- TESSはトランジット発見型のプロジェクト → フォローアップが重要

TESS惑星のフォローアップ

- TESSは2020年頃までに多数のトランジット惑星候補を発見
 - 南天の全データは2020年頃に公開される予定
- すばる 8.2m
 - IRD(+HDS?): 質量、軌道の決定
 - FOCAS, MOIRCS: 大気組成の解明
 - 北天ターゲットのフォローアップ
- TAO 6.5m (2017~)
 - SWIMS: 大気組成
- 南極望遠鏡 2.5m (2020~)
 - 3バンド撮像分光装置: 大気組成、one-transit targetの周期決定

南極望遠鏡のサイエンス

- one-transit targetのフォローアップ
 - 地上では南極のみ可能なユニークサイエンス
 - TESSのカタログの中で特に面白いものに絞って数個程度
 - 特にハビタブルスーパーアースの発見が目標
- 1-5ミクロンに渡る3色 or 2色+低分散分光
 - 特に調べたい惑星のトランジット周辺で観測
 - 大気の窓の間の波長の情報が特に重要
 - 適切なフィルター、多天体分光波長を選ぶことで南極ならではのユニークサイエンスにできる

まとめ

- 最近スーパーアースと呼ばれる新しいタイプの惑星が発見されてきた
- 惑星の大気組成を調べることで、スーパーアースの組成や形成過程を解明していくことができる
- いろいろな波長帯での測光や多天体分光観測を行うことで大気組成を調べることができる
- 南極では他ではできない波長の情報を得ることができ、TESSのフォローアップ観測で特に威力を発揮することができる