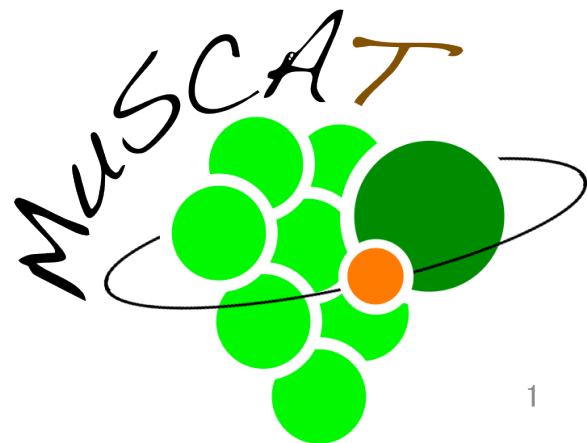


中小口径望遠鏡によるこれからの トランジットフォローアップのサイエンス

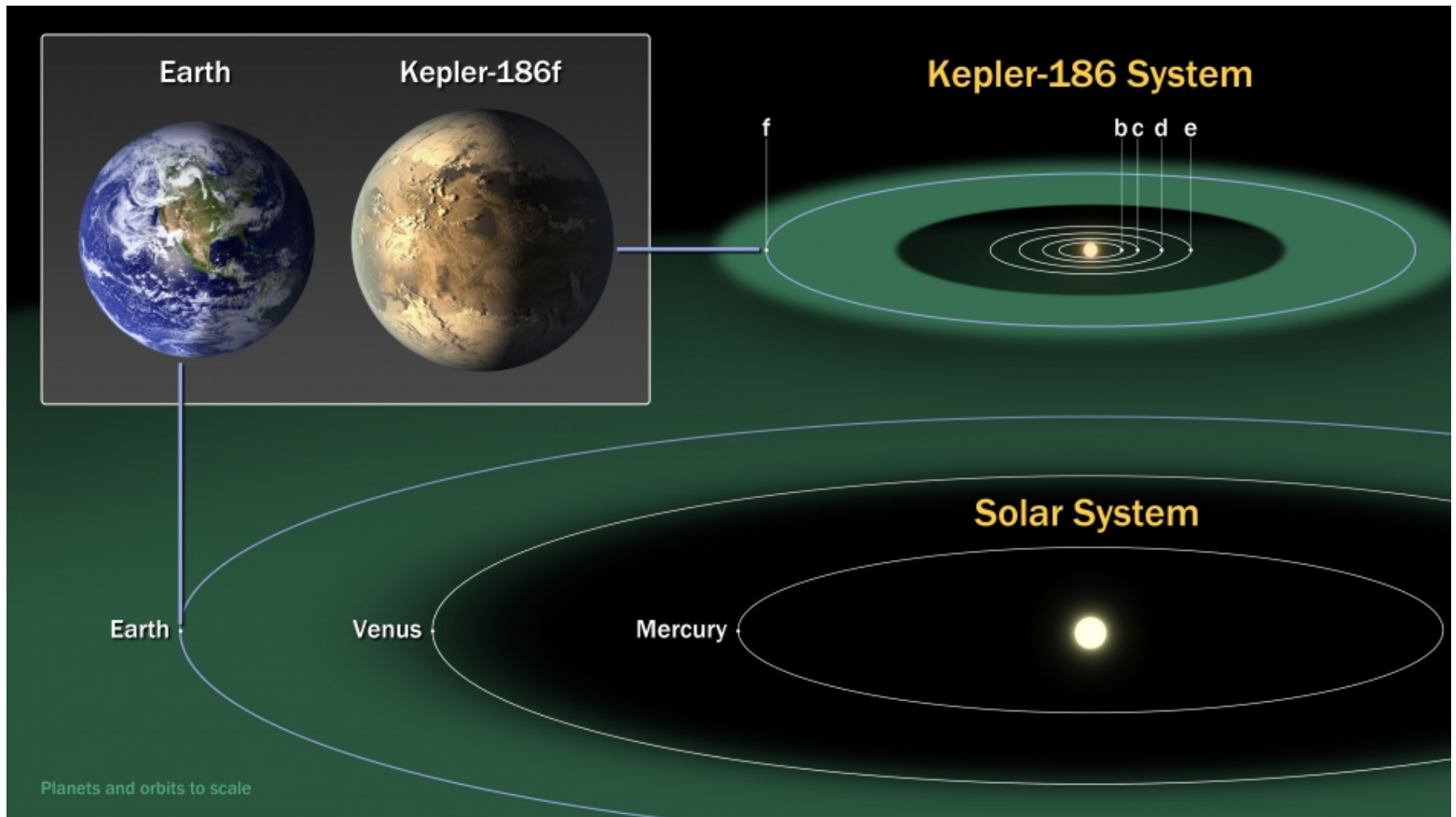
成田憲保(国立天文台)



目次

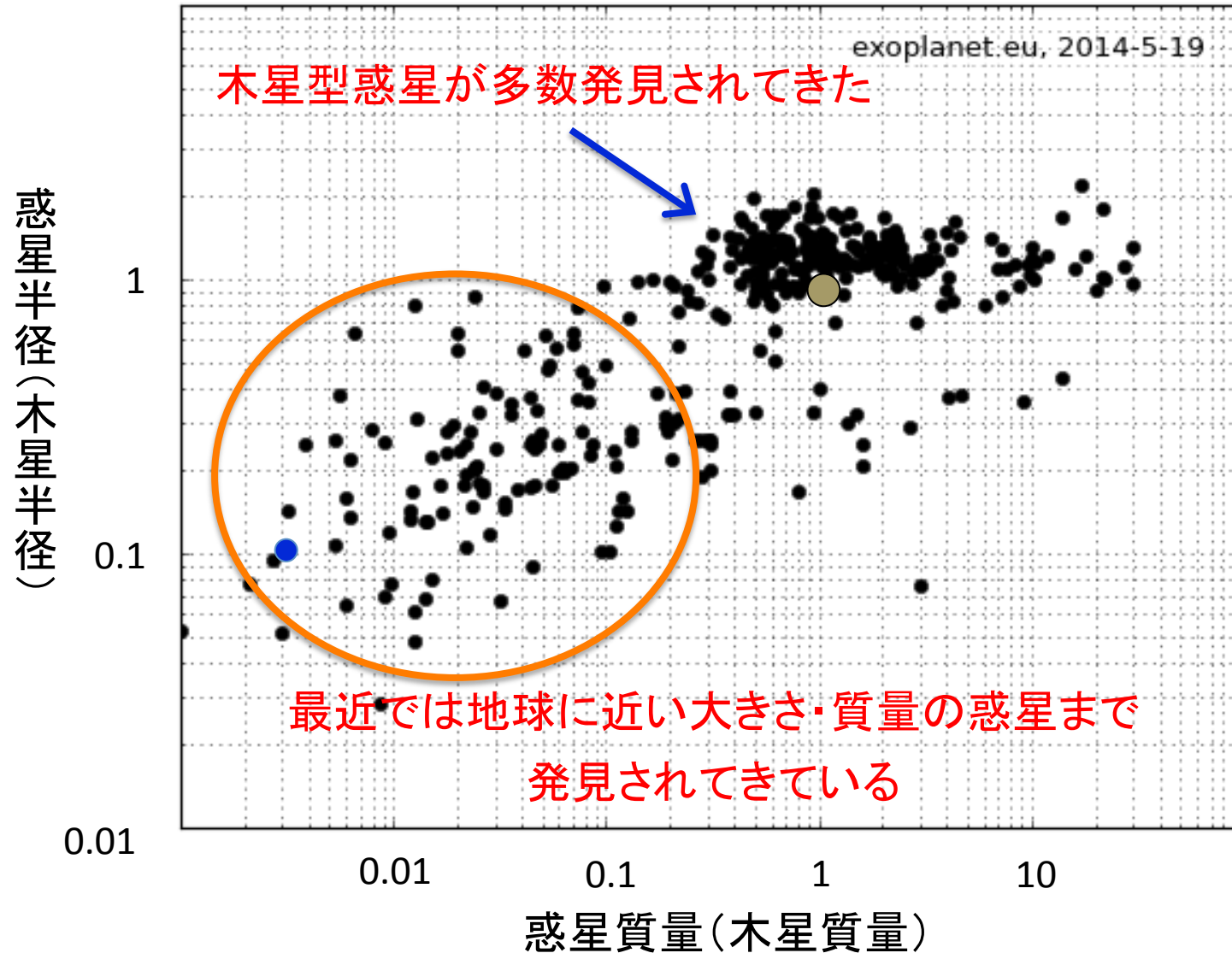
- トランジット惑星研究の動向
- トランジット観測のサイエンスと中小口径望遠鏡の役割
- スーパーアースの空模様観測
- 開発中の観測装置(MuSCAT)について

トランジット法の現在



Kepler望遠鏡によりやや遠い(～100pc以遠)恒星に
HZの地球型惑星を含む多数(数千個)のトランジット惑星の発見

トランジット惑星の多様性



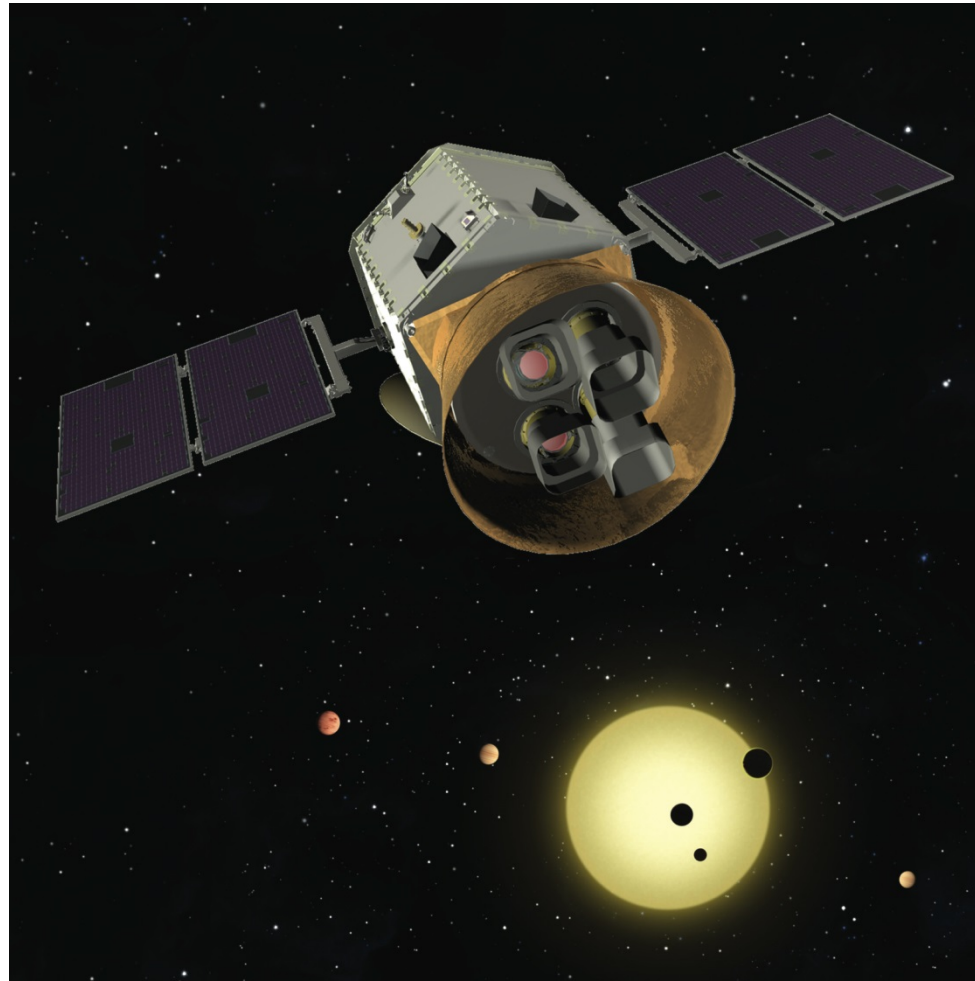
これまでのトランジット惑星探しの弱点

- ケプラー衛星を含めて、探すターゲットがかなり遠い
 - 典型的に $\sim 100\text{pc}$ 以遠
 - 発見された惑星の大気の観測など詳細な調査がしにくい
 - 主星と惑星の半径比が観測量のため、太陽型星まわりの地球型惑星は宇宙望遠鏡でないと発見できない
 - 地上で達成可能な測光精度($\sim 1\text{mmag}$)では、地球型惑星はmid-late M型星まわりでないとトランジットが検出できない
- 地球型惑星まで詳細な観測ができるターゲットとして、太陽系近傍のM型星が注目されている

今後のトランジット観測研究の展望

- まずは太陽系近傍での新しいトランジット惑星探し
 - IRDのRVサーベイなどと協力したトランジット惑星探し(2015年以降)
 - M型星に特化したトランジットサーベイ(MEarth、MOA-IIなど:実施中)
 - 全天トランジットサーベイ(TESS:2017年以降、PLATO:2024年以降)
- そして惑星の性質の詳細調査へ
 - 視線速度観測による質量、軌道などの調査
 - トランジットの分光・測光観測による軌道、大気などの調査

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
現状では2017年8月に打ち上げ予定

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 -> 確実に発見できるのは周期~9日以下
 - 特定の領域(JWST用)では周期~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20pc以内のM型星で 8 ± 3 個のハビタブル地球型惑星を期待
(Dressing+)
- 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

大口径望遠鏡でのフォローアップ観測

- TESSは2020年頃までに多数のトランジット惑星候補を発見
- すばる 8.2m
 - IRD(+HDS): 質量、軌道の決定、高分散分光による大気の観測
 - FOCAS, MOIRCS: 多天体分光による大気の観測
- TAO 6.5m (2017～)
 - SWIMS: 多天体分光による大気の観測
- TMT 30m (2021～)
 - 第1期装置による多天体分光観測など
- しかし大型望遠鏡は確保できる観測時間が限られてしまう

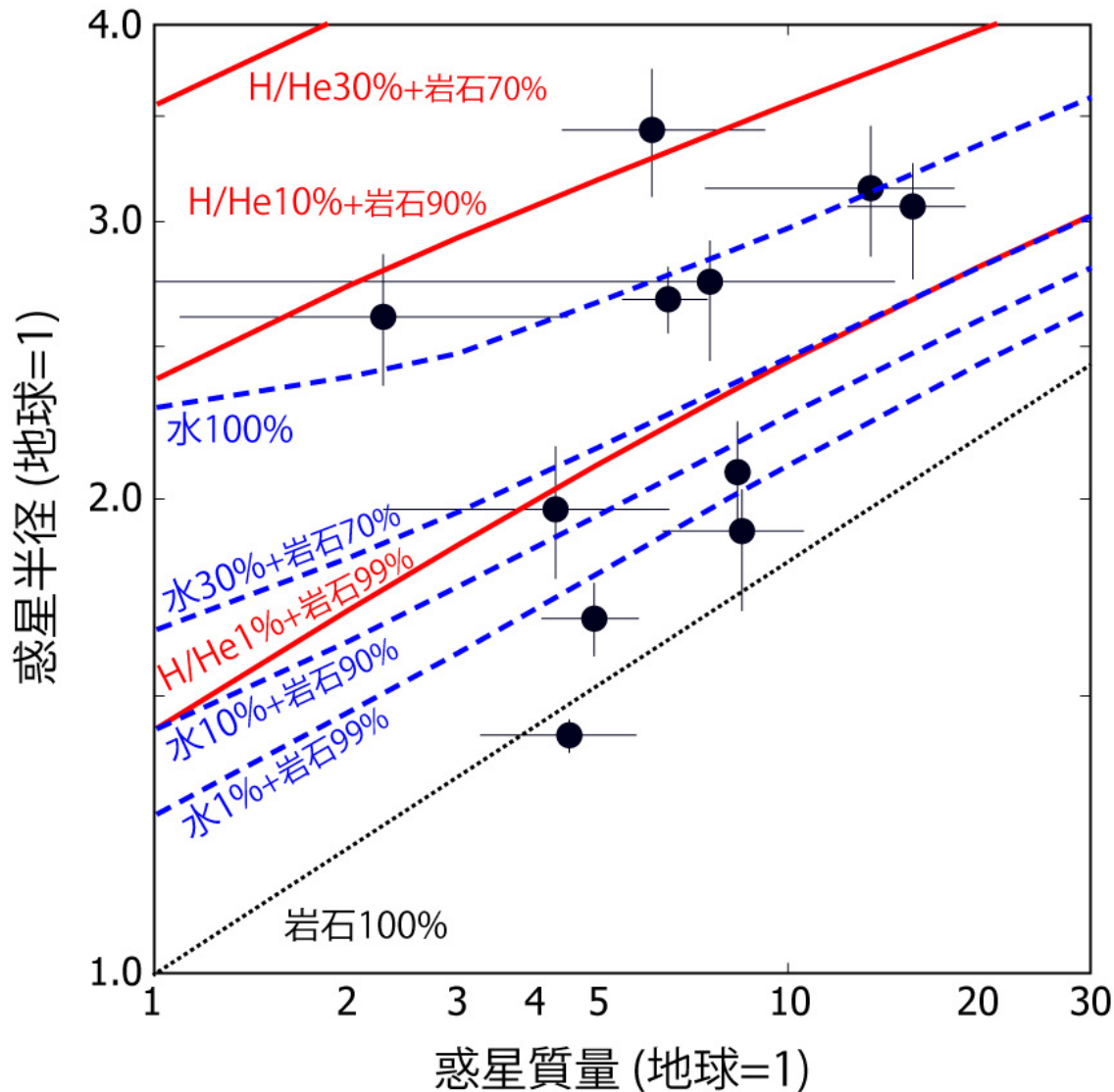
中小口径望遠鏡によるトランジットフォローアップ

- 太陽系近傍のトランジット惑星が多数発見された時に、中小口径望遠鏡ができることは何か？
 - 中小口径望遠鏡の利点
 - まとまった観測時間が確保しやすい -> ターゲットが多い場合に有利
 - 機動性が高く新発見の惑星もいち早く観測できる
 - (中小口径望遠鏡に対する)TESS惑星の利点
 - ターゲットは明るいものが多い
 - 全天にあるのでだいたいいつも観測できるターゲットがある
- ここではスーパーアースの大気観測のサイエンスを紹介

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

質量・半径が確認されたスーパーアース



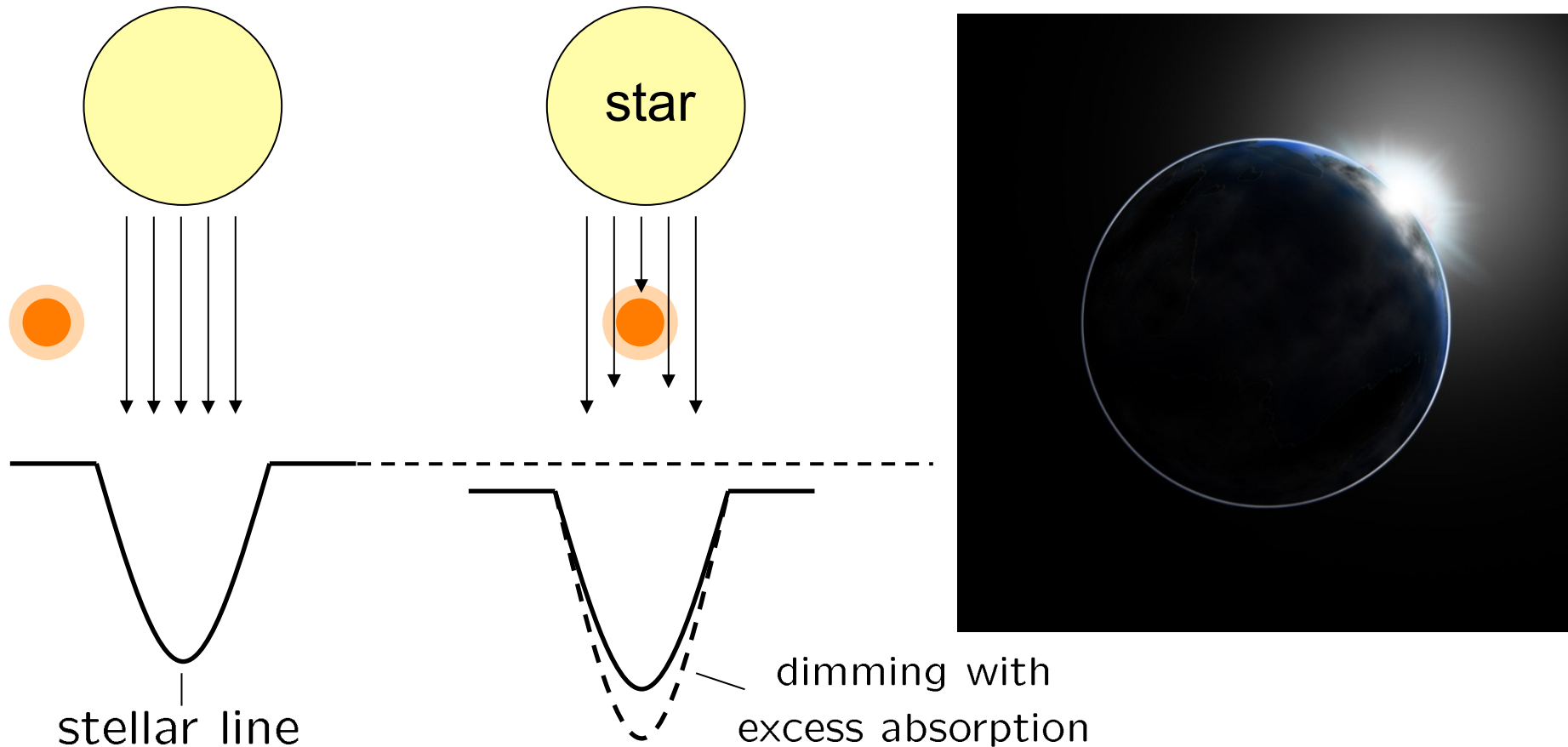
- 1-15地球質量で
1-4地球半径の惑星は10個程度
- いくつかの惑星の
内部構造・大気組成のモデルが縮退している

天文学・惑星科学からの興味

- 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

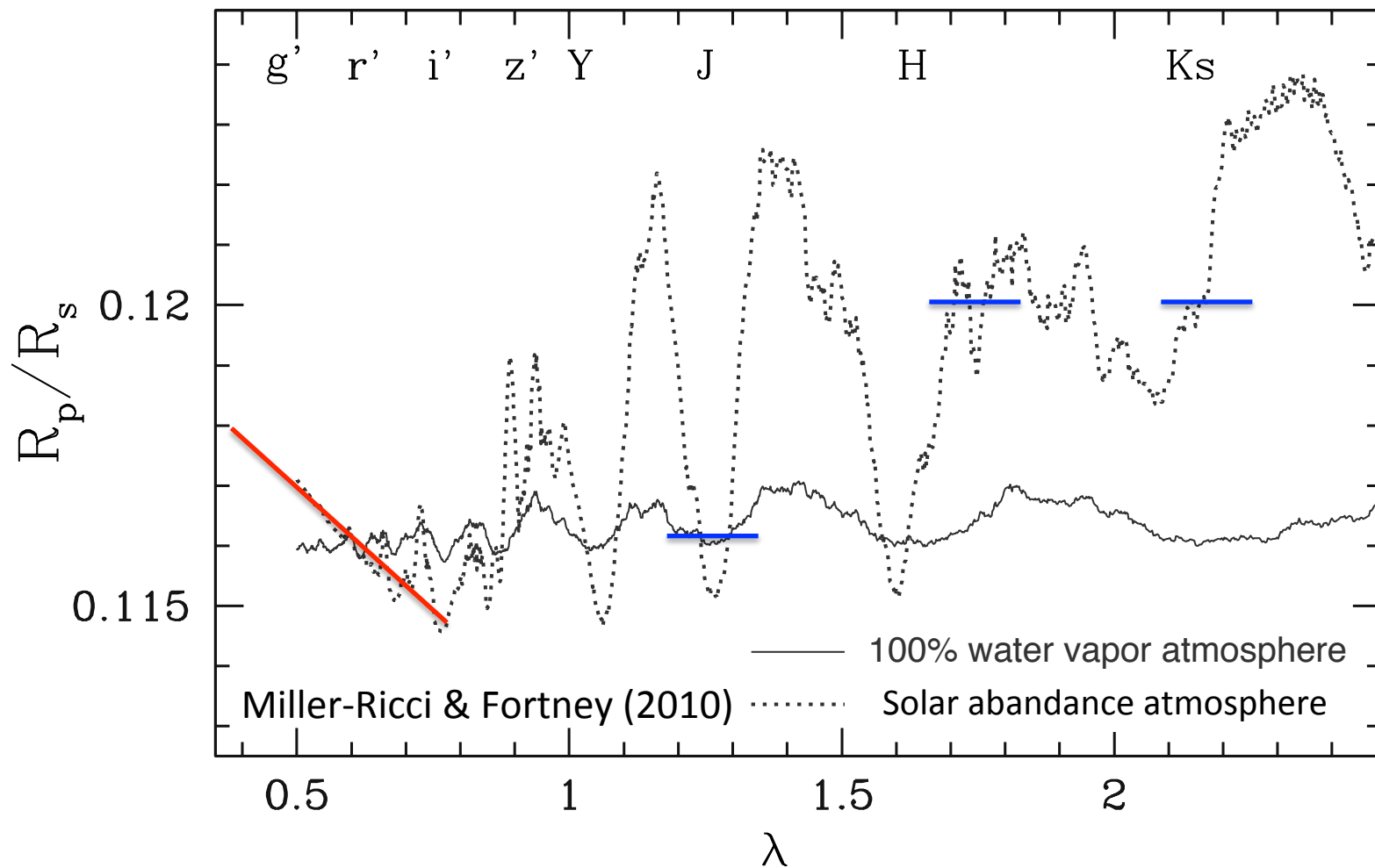
トランジット惑星の大気の観測

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

スーパーアースはどんな大気を持つか？



近赤外の深さの違いと、レイリー散乱が水素大気の特徴となる

中小口径望遠鏡のサイエンス

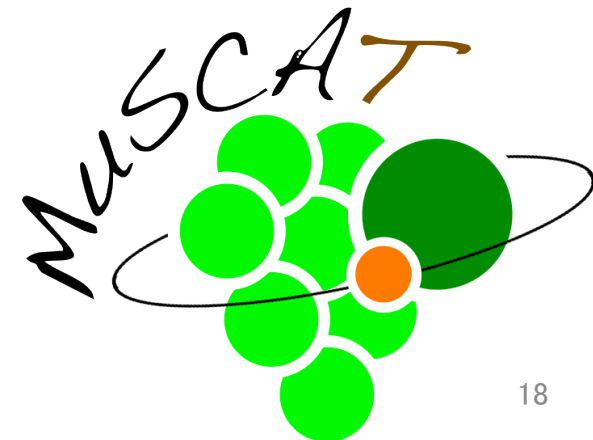
- 豊富な観測時間の中小口径望遠鏡で何ができるか？
 - 多色トランジット観測によって惑星の半径と大気組成を決める
 - 主なターゲットはlate K-M型星まわりのスーパーアース
 - 大まかに惑星の大気組成や空模様を判別することができる -> 面白いターゲットを見つけ、大口径望遠鏡の観測へとつなげられる
- 同時性が重要
 - 恒星に黒点がある場合、その割合によって恒星の明るさが変わるため、トランジットごとにトランジットの深さ(見かけの惑星サイズ)が変わる
 - M型星は特に黒点の影響が大きい
 - 大気モデルの正確な推定には多色同時のトランジット観測がベスト

このサイエンスに望ましい装置仕様

- 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→なるべく広視野
- 惑星大気の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
- 恒星の黒点などによる変光の影響を受けないようにする→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
- 2012年9月のスーパーアース研究会の議論をもとに、岡山188cm望遠鏡用の広視野多色同時撮像カメラを提案

新しく開発中の観測装置：MuSCAT

- 装置名称：MuSCAT
 - Multi-color Simultaneous Camera for studying Atmospheres of Transiting planets
- 開発状況と暫定スケジュール（詳細は成田まで）
 - 光学系＋筐体：仕様決定、発注完了
 - CCD：資金に合わせた仕様決定、入札準備中
 - ダイクロイックミラー：仕様決定、見積り完了



その後の運用について

- 2015年以降は188cm望遠鏡のPI装置として利用
- 装置自体はF変換光学系を入れ替えることで他の望遠鏡に移設が可能
- 多数のターゲットの観測を行うため、多くの観測時間が得られる中小口径望遠鏡で利用していきたい

まとめ

- 太陽系近傍のM型星まわりで発見されるトランジット惑星に対して、中小口径望遠鏡による多色撮像観測のサイエンスが考えられる
- そのための多色撮像カメラを新しく開発中
- (中小口径望遠鏡の利点である)機動性と豊富な観測時間によって集中的な観測を行い、成果をあげていきたい