

# 太陽系外惑星から宇宙生物学へ

[http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation\\_2013j.html](http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2013j.html)

物理教室ガイダンス A5 須藤研

2013年6月7日 11:40-12:00

須藤 靖 (太陽系外惑星、観測的宇宙論)

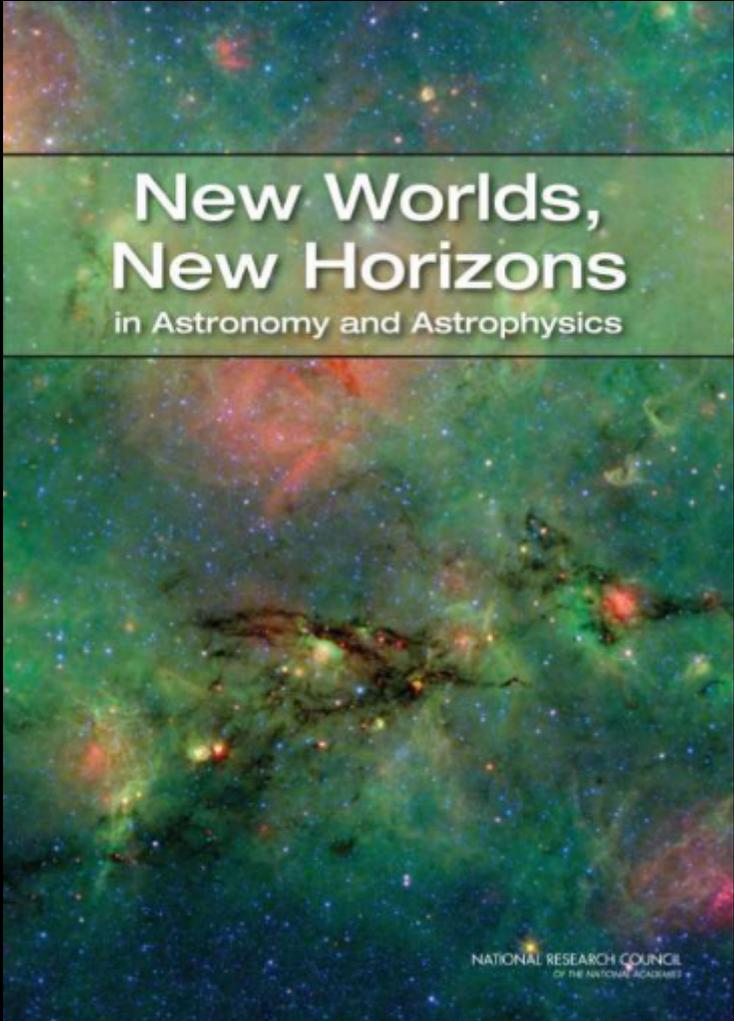
+ 助教 (観測的宇宙論) を現在公募中

物理教室の吉田直紀教授、およびビッグバン  
センターの横山順一教授のグループと連携  
しつつ研究室活動を行っている

# 東大本郷キャンパスでの 宇宙物理学の理論研究室

- 物理教室：宇宙物理研究室
  - 教授：須藤靖、助教（公募中）
  - 教授：吉田直紀、助教：細川隆史
- ビッグバンセンター
  - 教授：横山順一、助教：須山輝明
- 3研究室が共同で研究活動を行っている
  - 木曜日に昼食会、ランチセミナー、定例セミナー
  - 学生間のゼミ、勉強会、議論、雑談、愚痴
  - サマースクール、遠足、飲み会
  - 新着論文紹介（月、水、金）

# Astro2010: decadal survey



New Worlds,  
New Horizons  
in Astronomy and Astrophysics

## ■ *Cosmic Dawn*

- 宇宙の夜明け: 第一世代天体・ブラックホールの探索

## ■ *New Worlds*

- 新世界: 近傍の居住可能惑星の探索

## ■ *Physics of the Universe*

- 宇宙の物理: 宇宙を支配する科学法則の理解

August 13, 2010

[http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA\\_049810](http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA_049810)

# 宇宙もいろいろ・残された謎

- **宇宙の起源**
  - 素粒子物理学・量子重力理論の進展に依存
- **ダークマターの直接検出**
  - 天文学から高エネルギー物理学実験へ
- **ダークエネルギーの性質の解明**
  - 宇宙の加速膨張の起源
- **重力波の直接検出**
  - 一般相対論の検証から新しい天文学の窓へ
- **高エネルギー宇宙線の起源**
  - 粒子加速機構の解明、粒子線天文学の開拓
- **超新星爆発・ガンマ線バーストのメカニズム**
  - 大質量星進化の最終段階の理解
- **第一世代天体の発見・起源・進化**
  - 宇宙の果てを見通す、天体の起源、元素の起源
- **恒星・惑星の起源**
  - 星・惑星・コンパクト天体の形成と進化
- **地球型系外惑星の発見から宇宙生物学へ**
  - 第二の地球、生命・文明の起源、生物の普遍性

# 須藤研での研究テーマの例

- 観測的宇宙論: HSC+PFS=SuMIRe
  - すばる望遠鏡を用いた撮像サーベイ(2014年開始予定)と分光サーベイ(2018年開始を目指す)
  - 宇宙のダークエネルギーの理解
  - 予期せぬ観測的発見
- 星間・銀河間物質
  - 銀河系ダスト減光地図と銀河の遠赤外線輻射
  - astro-H, HSC, ACTなどのX線、電波、重力レンズによる銀河団サーベイに向けた銀河団の理論モデル構築
- 太陽系外惑星

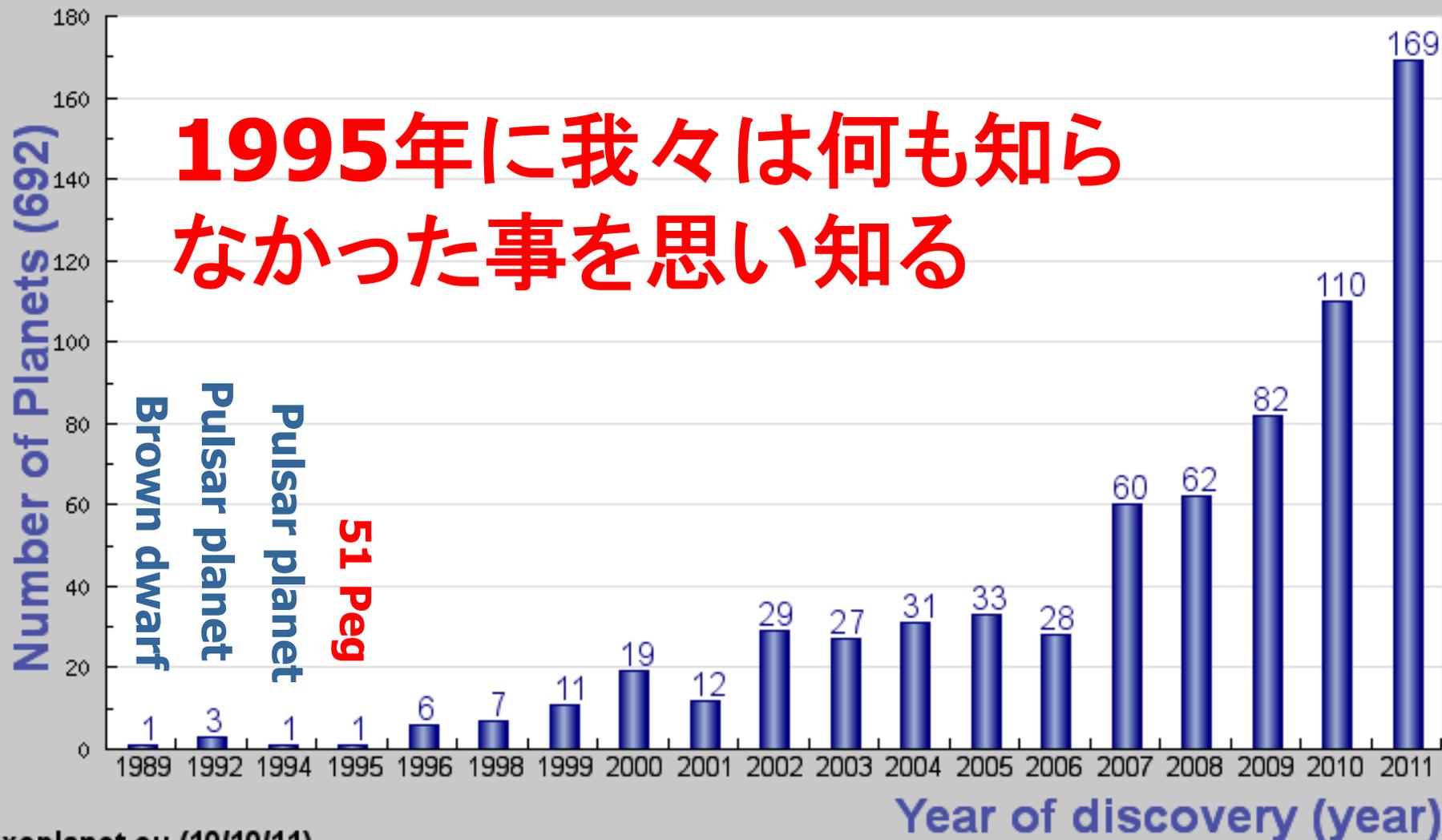
# 太陽系外惑星から宇宙生物学へ

## ■ 太陽系外惑星の観測的・理論的研究

- 系外惑星の角運動量の決定とその起源
- 系外惑星系軌道進化の天体力学シミュレーション
- 系外惑星の大気組成の決定
- 系外惑星のリングと衛星の(兆候の)発見
- 地球型惑星の反射光の時間変化と表面地図
- 地球型惑星のバイオマーカー同定
- 東大天文・地惑、東工大、国立天文台、プリンストン大学、マサチューセッツ工科大学との共同研究

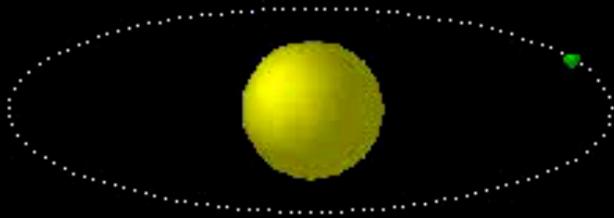
# 太陽系外惑星発見の歴史年表

Number of planets by year of discovery



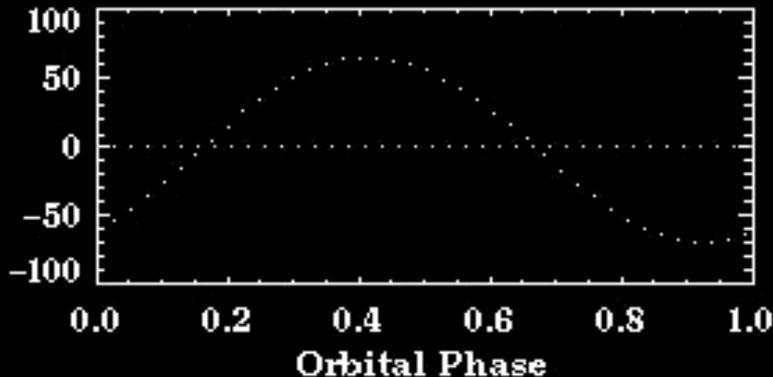
# どうやって見つけたのか？

Circular Orbit: rho CrB



$$K = 67.4 \text{ m/s} \quad e = 0.03$$
$$\omega = 210.0 \text{ deg.} \quad \sin(i) = 0.3 \text{ (*)}$$

Radial Velocity Curve  
of the Star [m/s]



## ■ ドップラー法

- 中心星の速度が毎秒数十メートル程度、周期的に変動

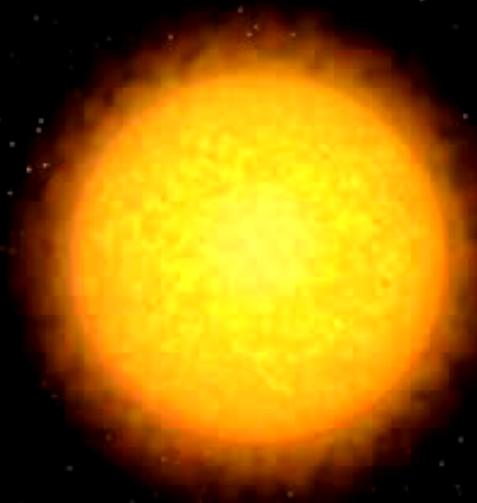
## ■ トランジット法

- (運がよければ) 中心星の正面を惑星が横切ることによって星の明るさが1パーセント程度周期的に暗くなる

# 初めてのトランジット惑星HD209458b

- 速度変動のデータに合わせた惑星による主星の掩蔽(可視光)の初検出

周期3.5日

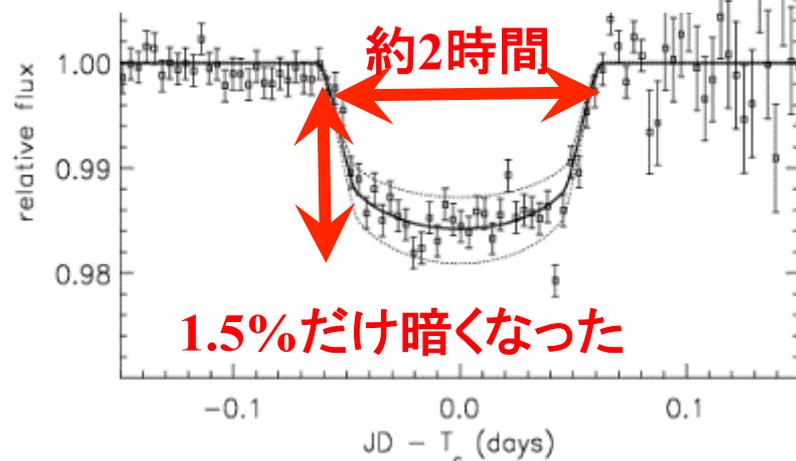


想像図

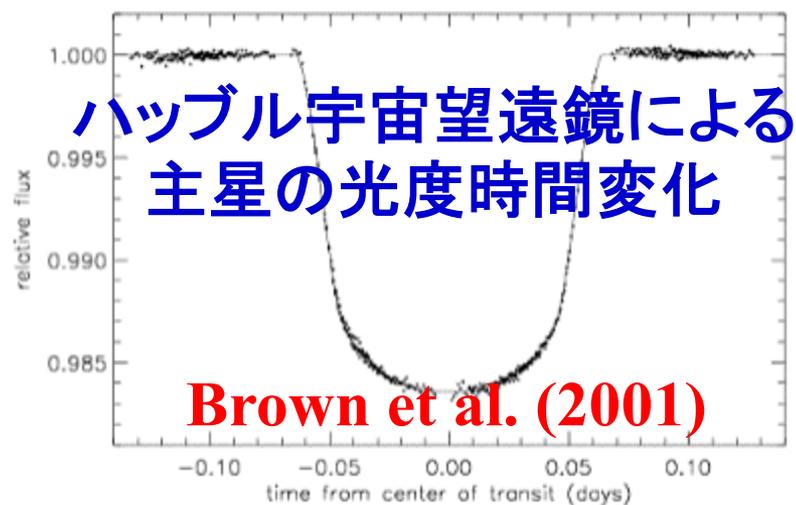
Henry et al. (1999)

Charbonneau et al (2000)

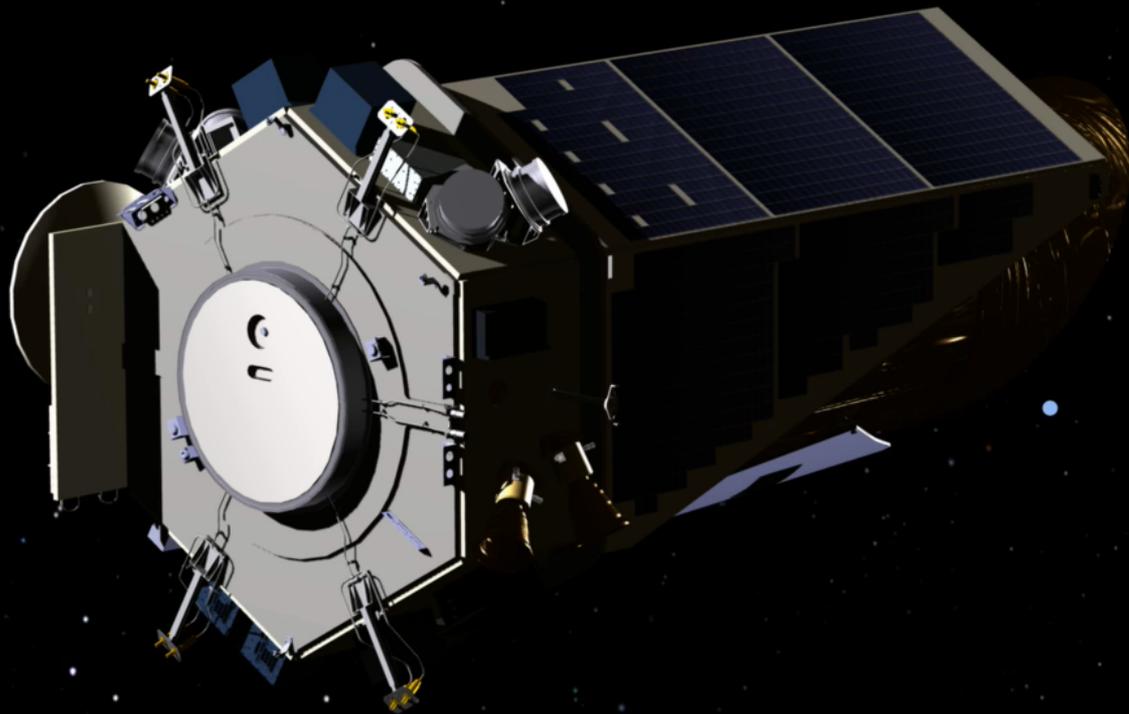
地上望遠鏡による  
主星の光度時間変化



ハッブル宇宙望遠鏡による  
主星の光度時間変化



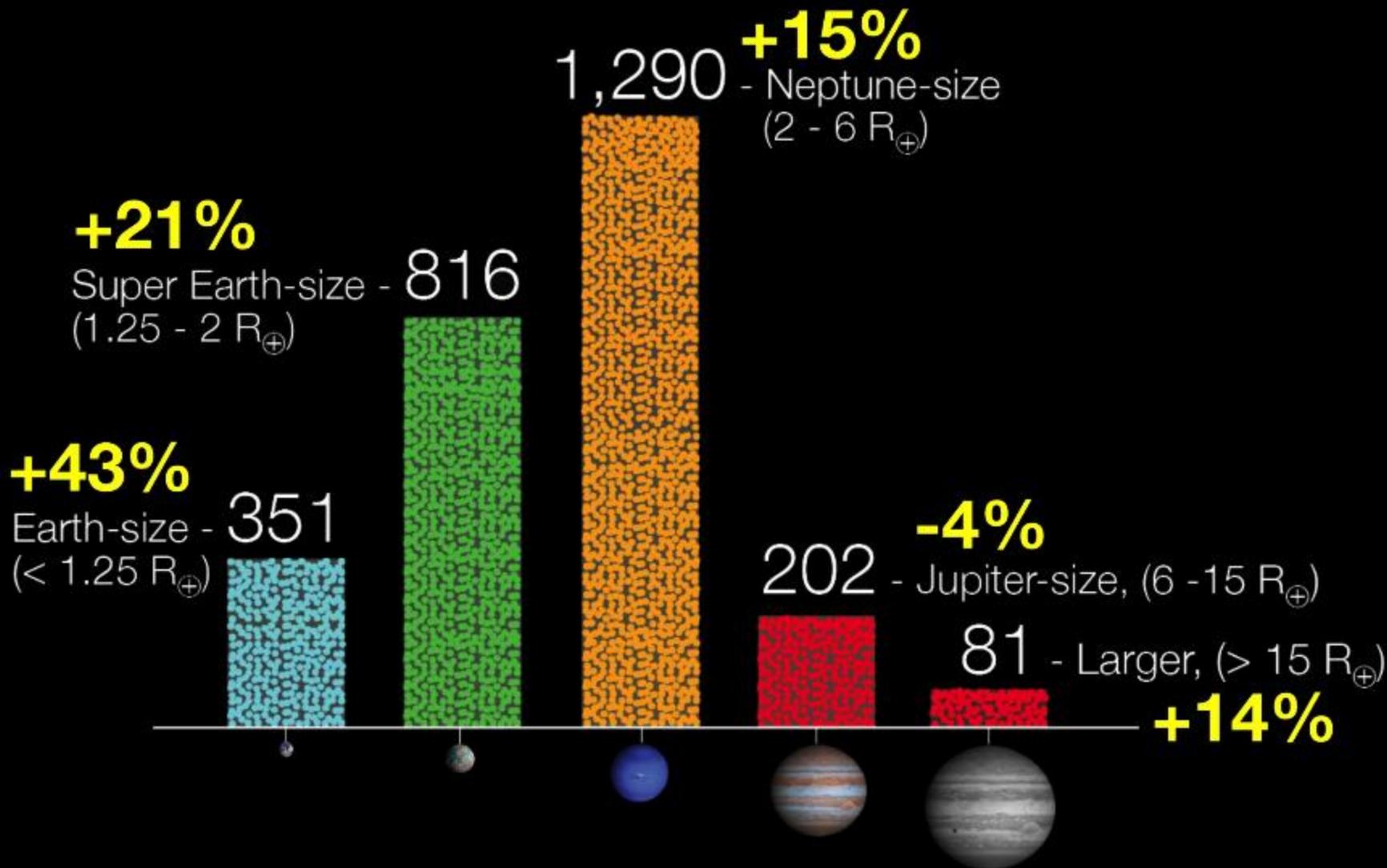
Kepler mission (March 6, 2009 launch)  
Photometric survey of transiting planets  
**Searching for terrestrial/habitable planets**



<http://kepler.nasa.gov/>

# Sizes of Planet Candidates

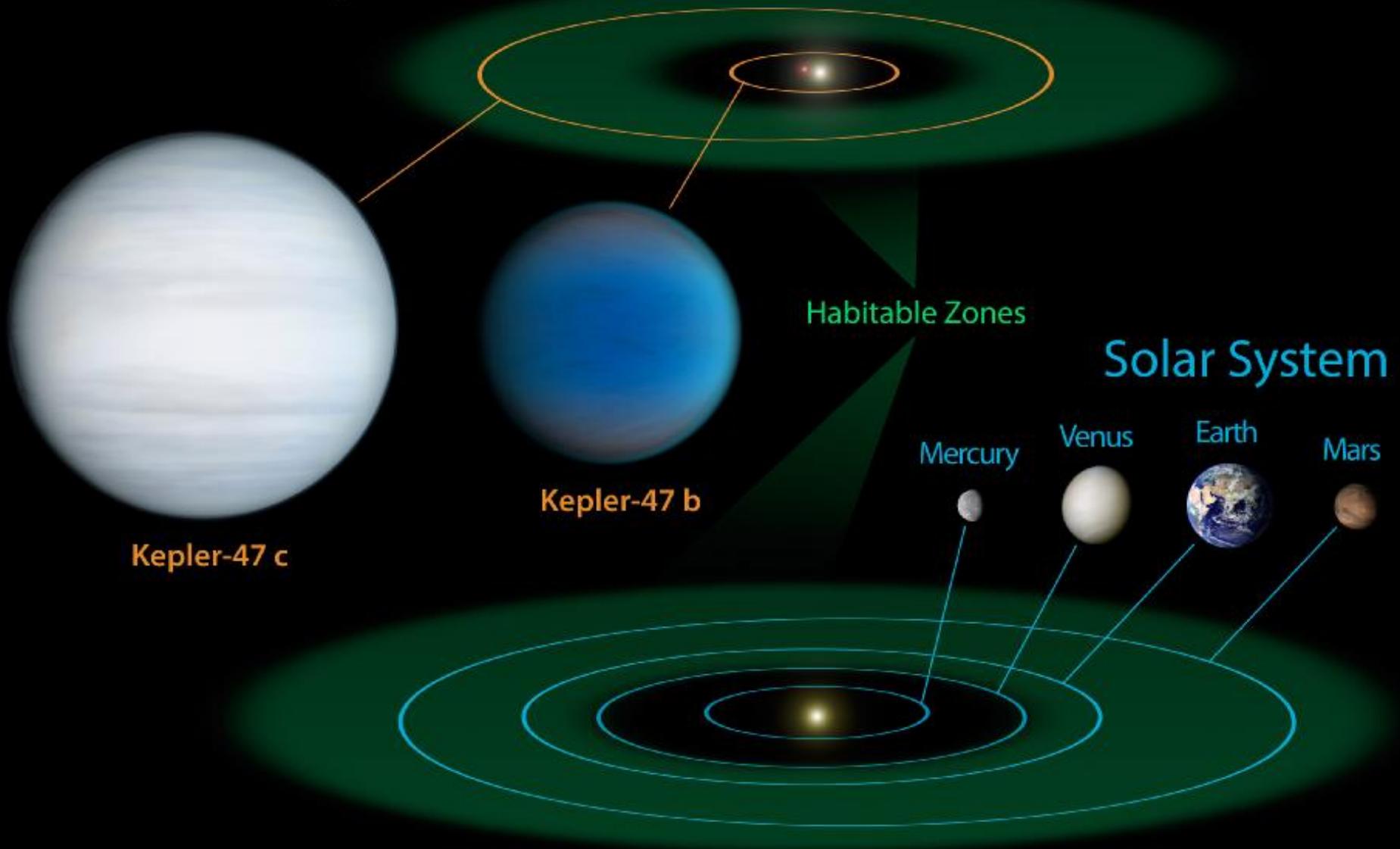
As of January 7, 2013



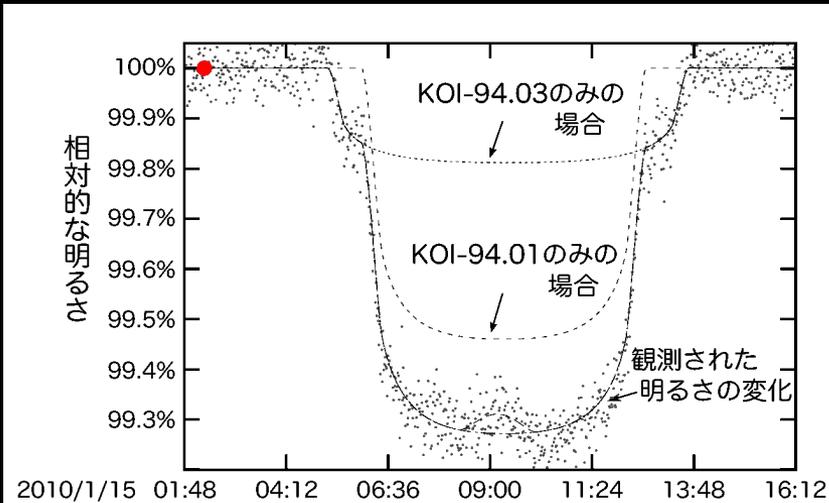
# Habitable earth-like planet?

## Kepler-47 System

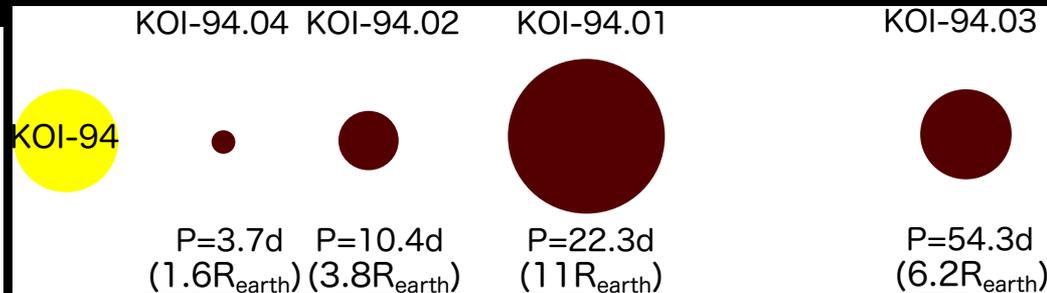
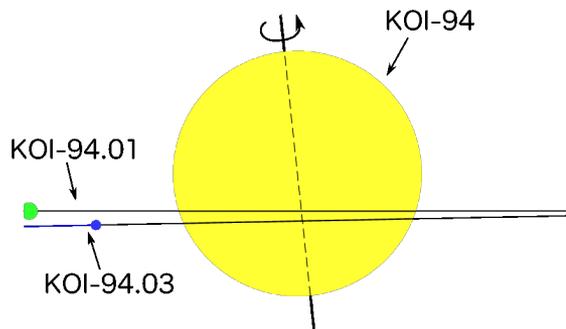
**A second Earth ? Life ?**



# 多重トランジット惑星系KOI-94: 惑星食の初検出 (Hirano et al. 2012)



2010/1/15 02:16:48



- ケプラー衛星測光データの解析から偶然発見
- すばる望遠鏡の分光観測で主星の自転軸と惑星公転軸がほぼ揃っている事を発見

# さらに将来へ:系外惑星から宇宙生物学へ

- 巨大ガス惑星発見の時代 (1995)
  - 惑星大気の実見 (2002)
  - 惑星赤外線輻射の検出 (2005)
  - 惑星可視域反射光の検出 (2009)
- 

■ 系外惑星リング、衛星の実見

■ 地球型惑星、居住可能惑星の実見

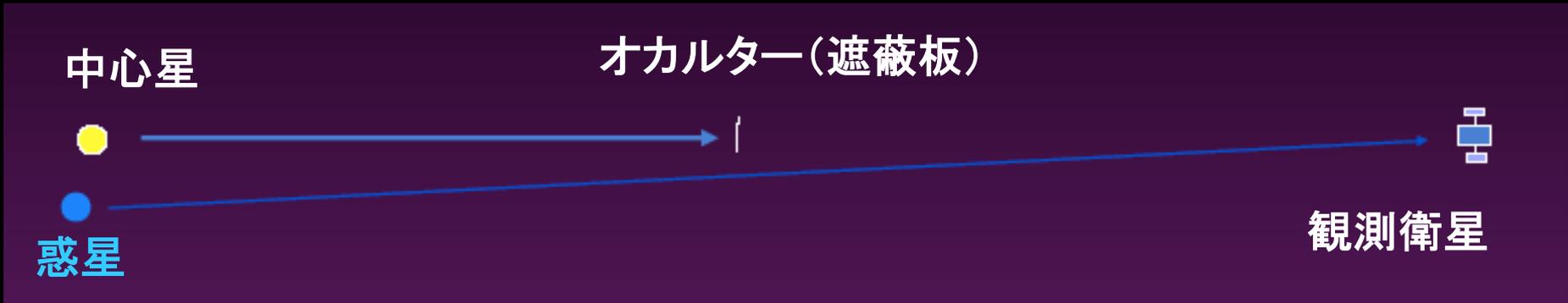
■ 惑星の直接検出(測光&分光)

■ バイオマーカー(生物存在の証拠)の同定

■ 地球外生命の実見



# 地球型惑星探査プロポーザル: *The New Worlds Mission*



<http://newworlds.colorado.edu/>

- 口径(2-4)mの可視光望遠鏡@L2点
  - 7万km先に中心星を隠すオカルター衛星をおく
  - 望遠鏡にはその星の周りの惑星から光のみが届く
  - 惑星の分光・測光モニターからのバイオマーカー検出
  - コロラド大学を中心とした米国と英国の共同計画
  - 同様の計画がプリンストン大学でも検討中(O<sub>3</sub>)

# バイオマーカー

- 何をもってバイオマーカーとするのかは曖昧
  - 生物由来と考えられる大気成分（酸素、オゾン、メタン）の分光観測
  - 植物のレッドエッジの測光観測
  - 知的生命体からの信号の電波観測
  - 地球外での生命を生み出す環境とそれに対応した生物の多様性をどこまで認めるか
- いずれにせよ、検出は天文学観測しかない
  - 天文学で検出可能な限界は何か
  - どのような検出器・望遠鏡を作るべきか

# より過激(保守的?)なバイオマーカー

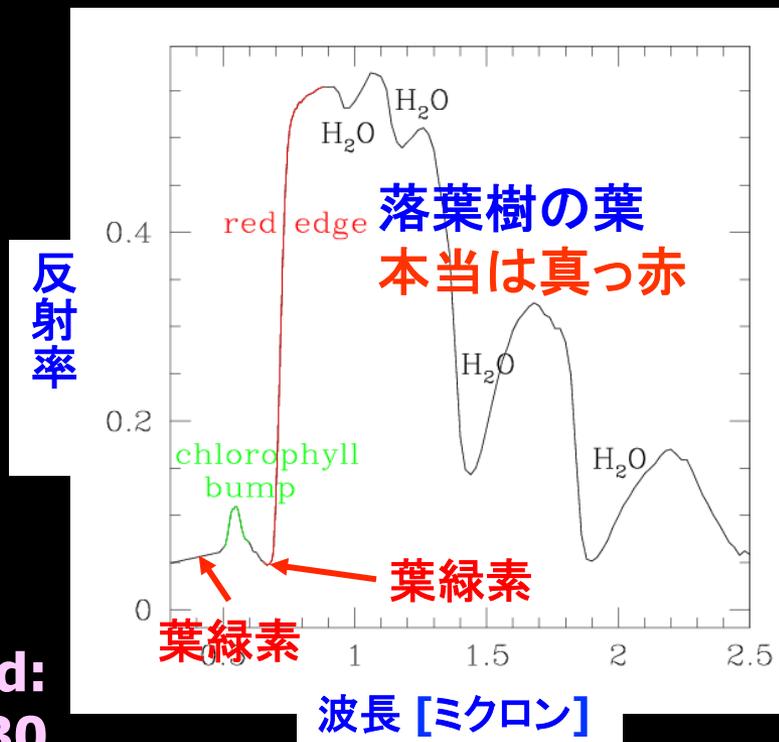
## Extrasolar plants on extrasolar planets

- (居住可能)地球型惑星を発見するだけでは、そこに生命があるかどうかはわからない

### ■ Biomarker の探求

- 酸素、オゾン、水の吸収線
- 植物の **red edge**
- 地球のリモートセンシングではすでに確立

Seager, Turner, Schafer & Ford:  
astro-ph/050330



# 第二の地球の色から、海、雲、植生の占める面積の割合を推定する

- 東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
  - 藤井友香、河原創、樽家篤史、須藤 靖
- 東京大学気候システム研究センター
  - 福田悟、中島映至
- プリンストン大学
  - Edwin Turner

Fujii et al. *Astrophys. J.* 715(2010)866, arXiv:0911.0001

*Astrophys. J.* 738(2011)184, arXiv:1102.0001

<http://www.space.com/scienceastronomy/color-changing-planets-alien-life-100513.html>

*A pale blue dot*

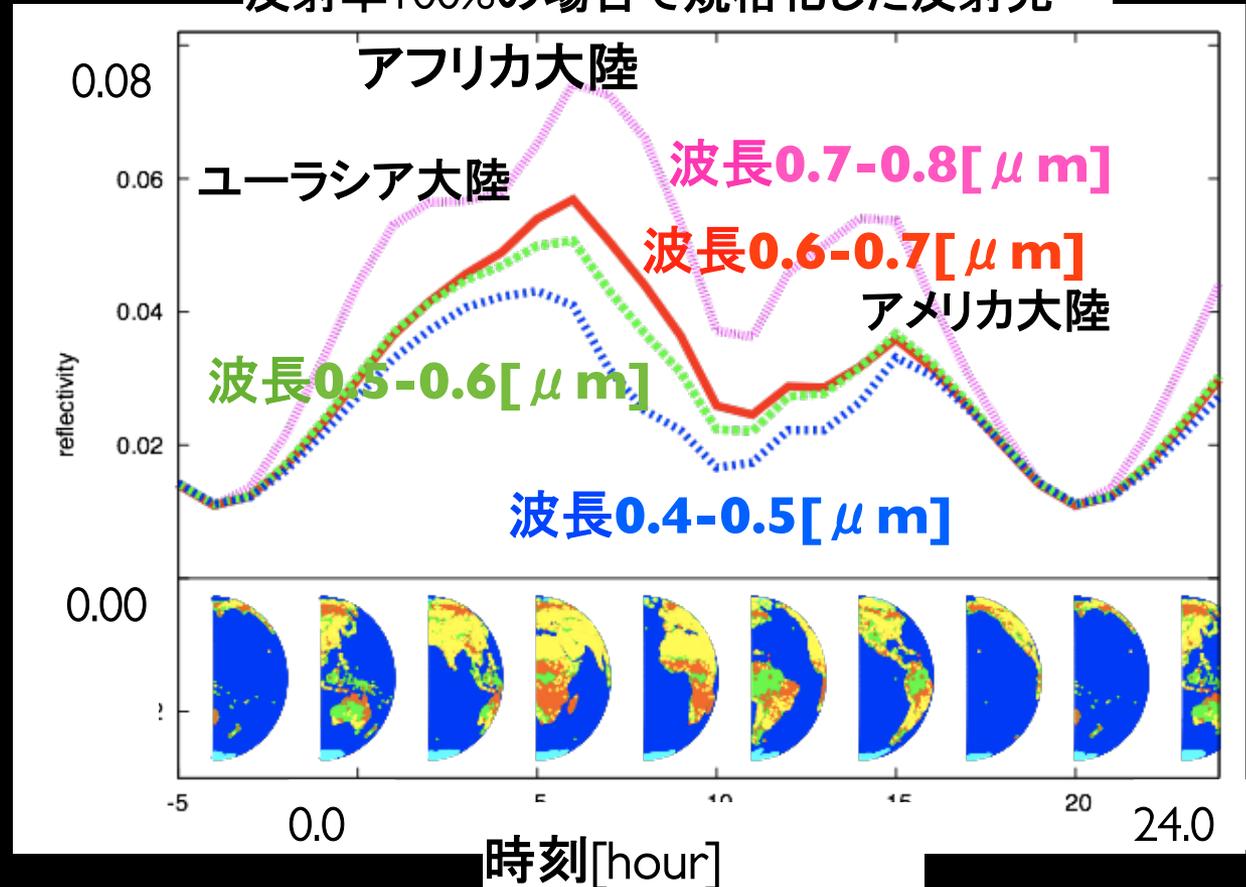
# 地球は青かった？



自転に伴う反射光の色の時間変動のシミュレーション

- 春分(3月)
- 自転軸に垂直な方向から観測
- 地球観測衛星のデータを用いて計算

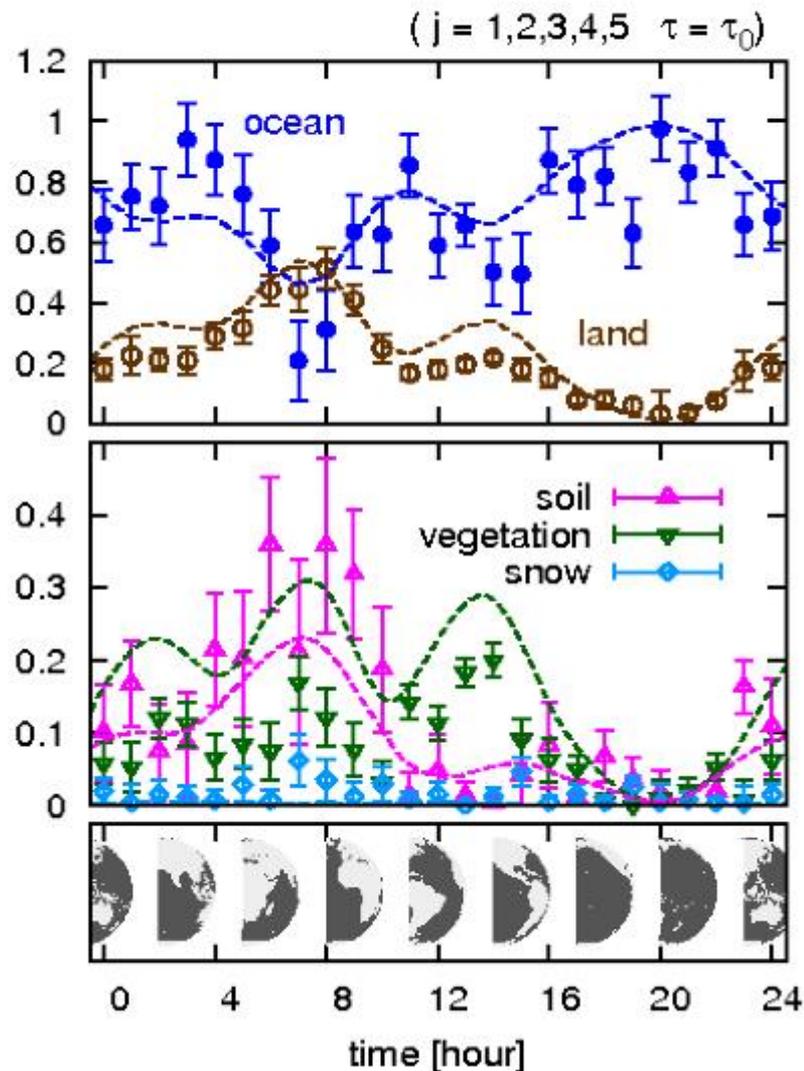
反射率100%の場合で規格化した反射光



Fujii et al. (2010)

# 第二の地球の色から表面積を推定

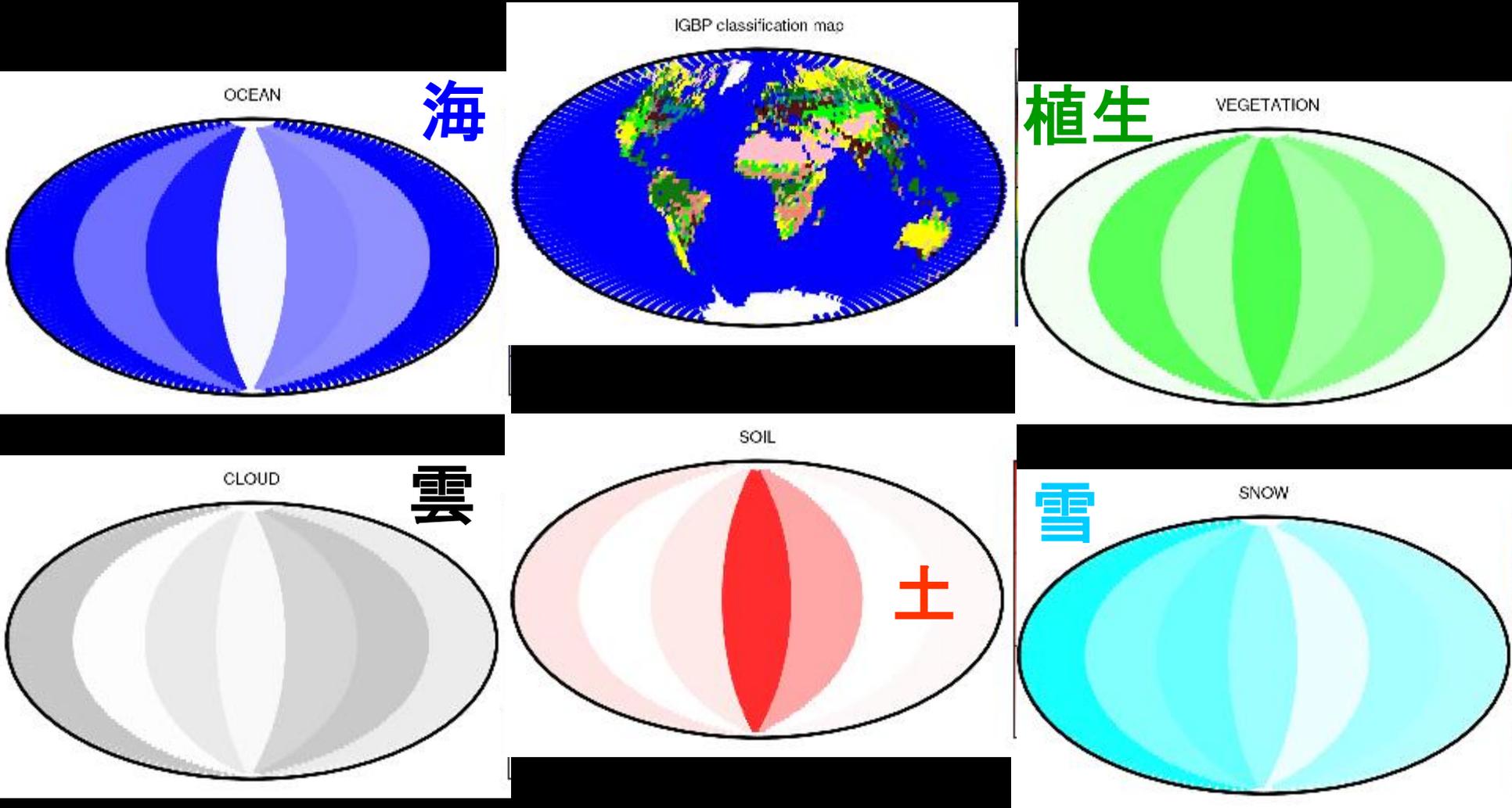
(重みつき)表面積比



- 雲が存在しない場合の例
- 中心星の光が完全にブロックできた場合
- 10pc先の地球を口径4mの宇宙望遠鏡で1週間観測
- 海、土、植物、雪の4つの成分の面積比を推定
- 原理的には、第二の地球の海、さらには植生の存在を探る事が可能！
- Not a pale blue dot !

Fujii et al. (2010)

# 地球測光観測データから再構築された 地表面成分の経度分布地図 (雲の存在を考慮)



# 研究室のモットー

- 人のやらない事をする
  - 人が群がっているようなテーマは極力避ける
- 競争のための研究はしない
  - 研究に「勝ち負け」を持ち込むべきではない
- まだ誰も気づいていない「謎」を発見する
  - 世界の不思議さと奥深さを認識する
  - 正解を与えられるかはどうかは結果論
- 過去の卒業生の学位論文タイトルと進路
  - [http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/former\\_members.htm](http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/former_members.htm)

# ハワイに流れ着いた3人の兄弟の話

- 果物がたわわに実り、真ん中には高い山がそびえるハワイのある美しい島に流れ着いた3人の兄弟。夢にでた神様が「とてつもなく重く大きな岩が3つあるはず。それを好きなところまで転がして行け、どこまで行くかはお前達の自由である。高い場所に行けば行くほど遠くを見ることができる」と告げる。
  - 三男：海岸の近く：とても美しいし、魚も捕れる
  - 次男：山の中腹：果物が豊富に実っている
  - 長男：山のとっぺん：霜をなめ苔を食べることで水分と栄養をとるしかない、でも世界は見渡せる

村上春樹『アフターダーク』

# 村上春樹『アフターダーク』

- 「ハワイにまで来て、霜をなめて、苔を食べて暮らしたいとは誰も思わないよな。たしかに。でも長男には、世界を少しでも遠くまで見たいという好奇心があったし、それを押さえることができなかったんだよ。そのために支払わなくちゃいけないものがどんなに大きかったとしてもさ」
- 「知的好奇心」
- 「まさに」