

宇宙理論研究室ガイダンス

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2012j.html

2012年4月5日 17:20-18:00

教授：須藤 靖

(観測的宇宙論、太陽系外惑星)

教授：吉田直紀

(数値宇宙論、
第一世代天体形成シミュレーション)

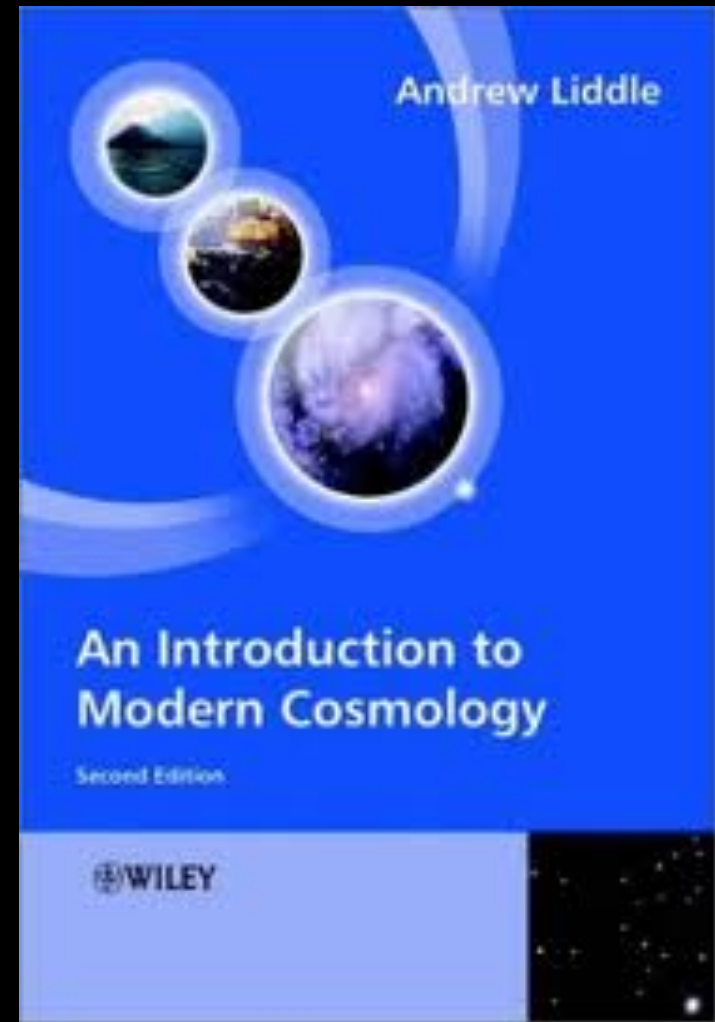
助教：樽家篤史

(宇宙論、重力波)

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

2012年度前期理論演習

- Andrew Liddle “An Introduction to Modern Cosmology” Wiley, 2nd edition
- 須藤・吉田研に配属となった場合は、できるだけ各自購入しておくこと
- 初回は4月17日(水)13:30、
一号館9階908号室に集合



2012年度後期理論演習

- 広義の天文学・宇宙物理学に関する英語の教科書を選び、担当を決めてそれを発表、全員で議論する
- 詳細は第一回目に希望を聞いたうえで決定する(2009年は重力波、2010年は恒星動力学の教科書を輪講した)

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2012j.html

天文学・宇宙物理学研究対象と方法論： とにかく「いろいろ」

■ 対象別：「XX」の起源と進化

- 「XX」 = 惑星、太陽、恒星、星間物質、超新星、コンパクト天体、銀河系(天の川)、銀河、活動銀河核、銀河団、宇宙、時空、生命・文明

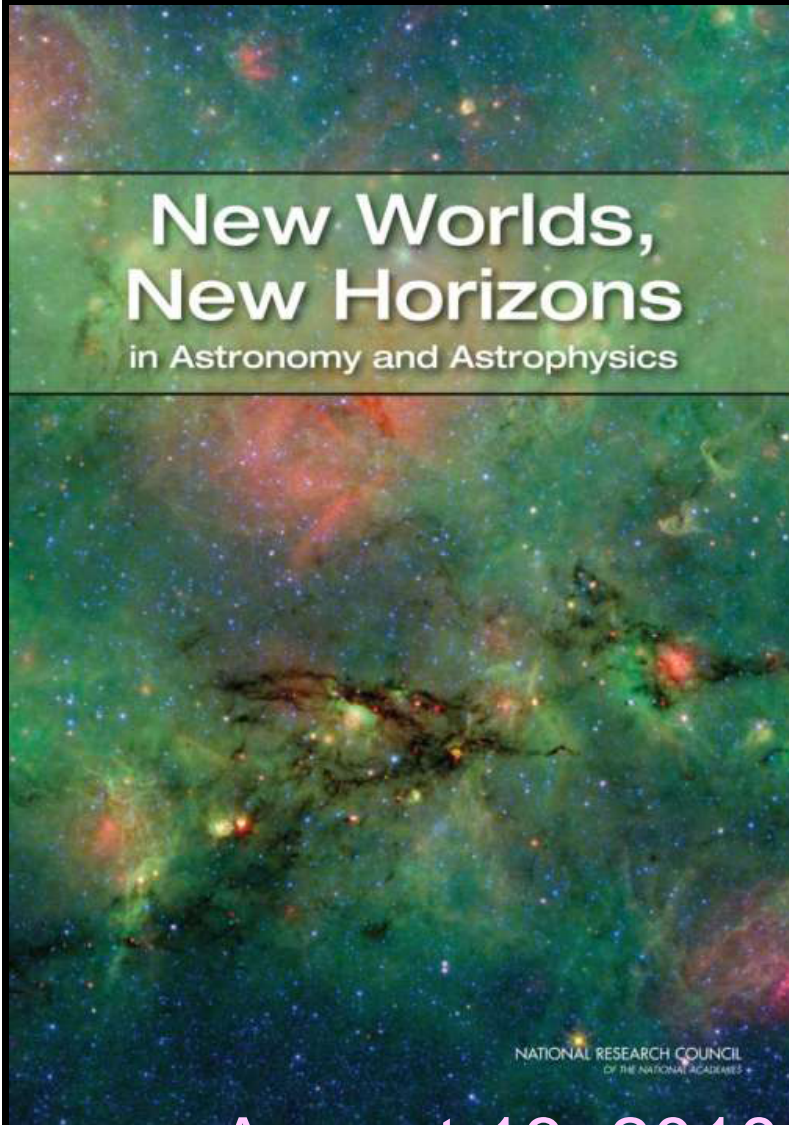
■ 波長別：「YY」天文学

- 「YY」 = 電波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線、宇宙線、ニュートリノ、重力波

■ 手法別：

- 理論、観測(地上、気球、ロケット、衛星、地下)、実験、数値シミュレーション

Astro2010: decadal survey



August 13, 2010

http://sites.nationalacademies.org/bpa/BPA_049810

■ *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

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

I 宇宙のダークエネルギー

- 摂動論による精密モデル構築、シミュレーション、観測データ解析
- すばる望遠鏡に搭載する撮像、分光装置を用いた観測プロジェクトの立案と実行(SuMIRe)
 - 東大数物連携機構、東大相原研、国立天文台、東北大学、名古屋大学、広島大学、プリンストン大学、カリフォルニア工科大学、エジンバラ大学、ポーツマス大学などとの共同研究

Ⅱ 星間・銀河間物質

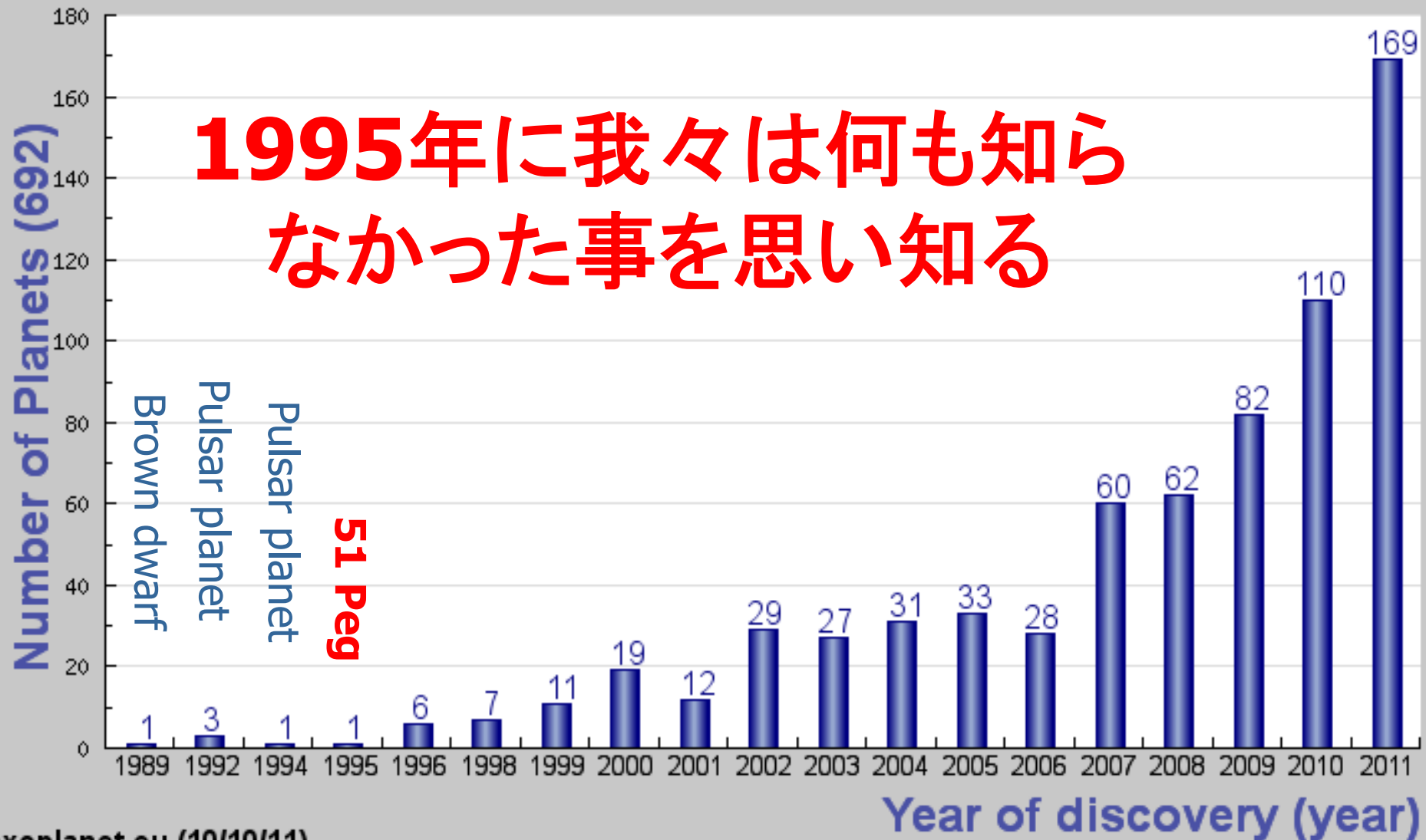
- 銀河系ダスト減光地図と遠方銀河の遠赤外線輻射
- 銀河団の理論モデル構築とX線、電波、重力レンズ観測
- 銀河間に存在する宇宙のダークバリオンのシミュレーション
- ダークバリオン探査専用衛星の提案
 - 首都大学東京、宇宙研、筑波大、金沢大、ローマ大、ボローニャ大、オランダSRONなどとの共同研究

Ⅲ 太陽系外惑星

- 太陽系外惑星の観測・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
 - 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
 - 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

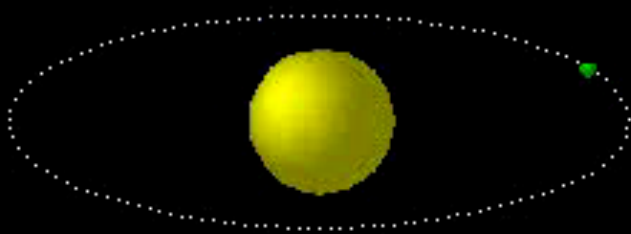
太陽系外惑星発見の歴史年表

Number of planets by year of discovery



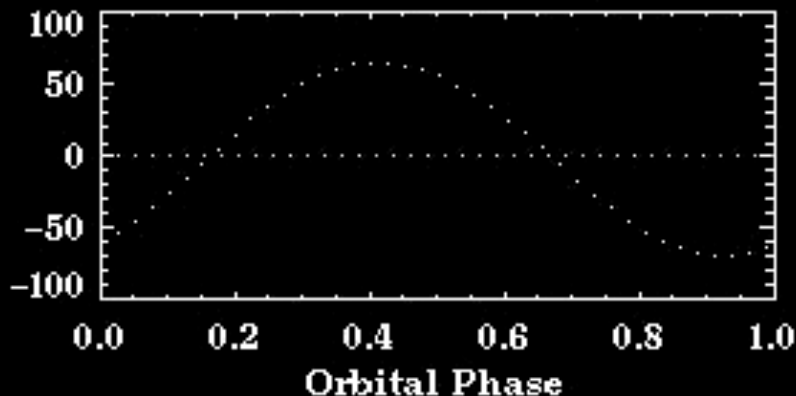
どうやって見つけたのか？

Circular Orbit: rho CrB



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

Radial Velocity Curve
of the Star [m/s]



S.G. Korzennik (CfA, © 1997)

■ 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で星の明るさが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

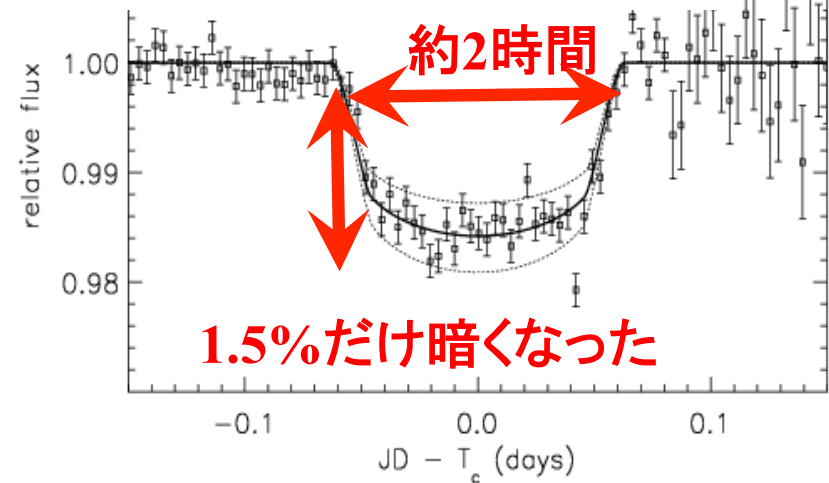
- 速度変動のデータに合わせた惑星による主星の掩蔽(可視光)の初検出

周期3.5日

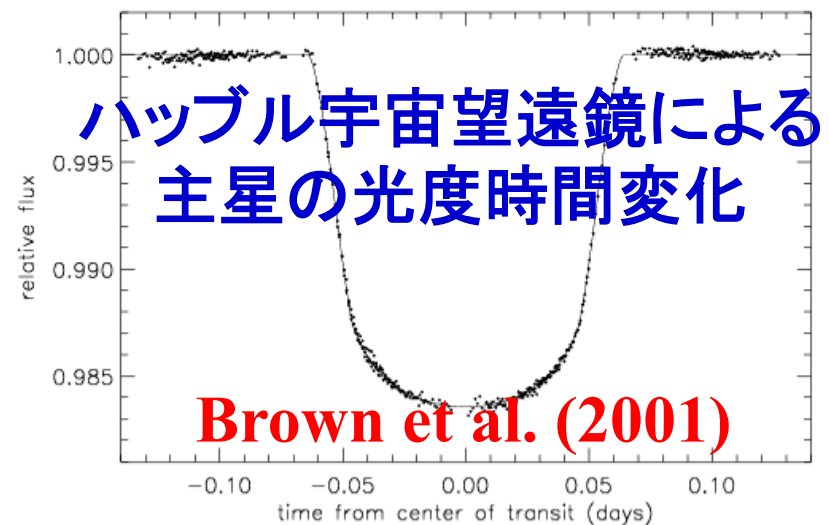
想像図

Henry et al. (1999), Charbonneau et al (2000)

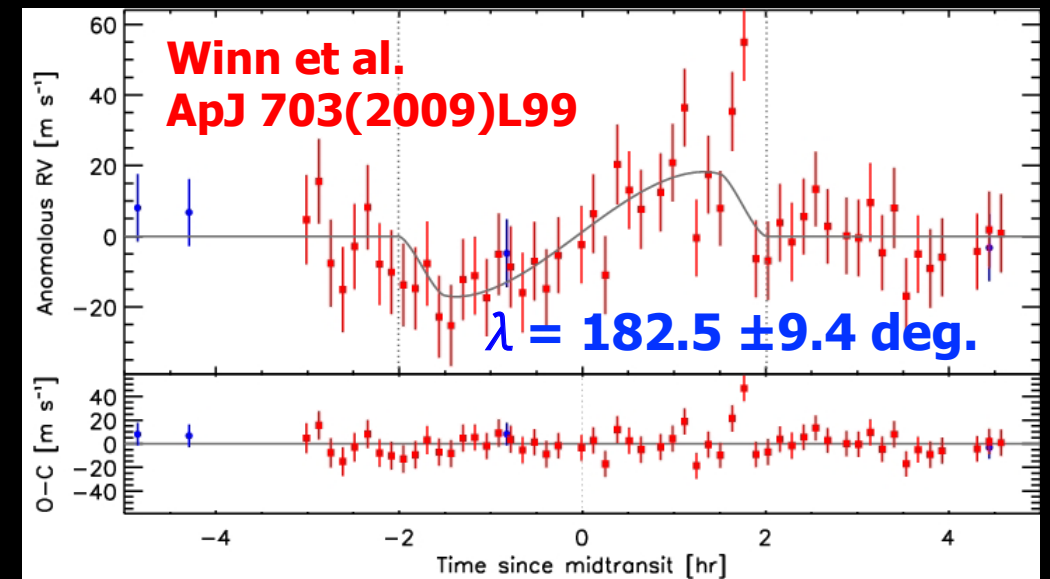
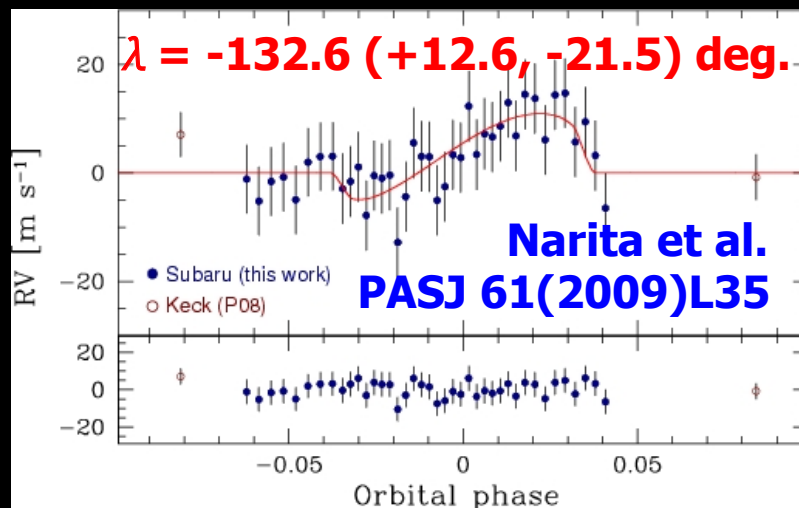
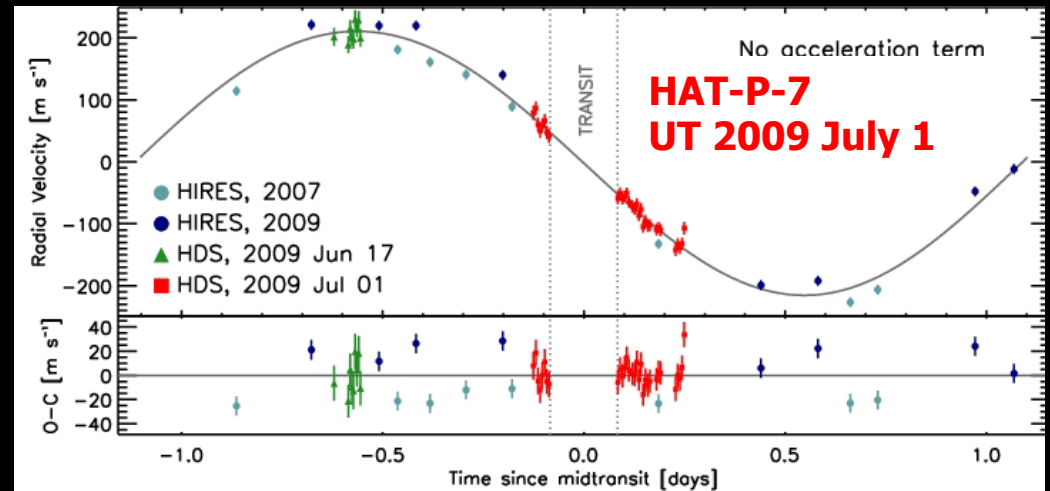
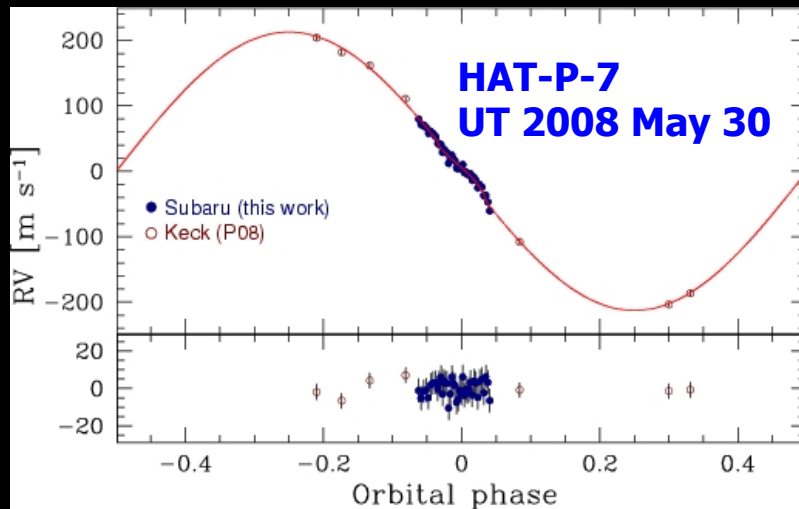
地上望遠鏡による
主星の光度時間変化



ハubble宇宙望遠鏡による
主星の光度時間変化



逆行惑星の発見



- とともにすばる望遠鏡の成果
- 起源は謎、惑星形成・進化モデルに大きなインパクト

ケプラー衛星 (米国2009年3月6日打ち上げ)

トランジット惑星の測光サーベイ:
地球型ハビタブル惑星の発見をめざす

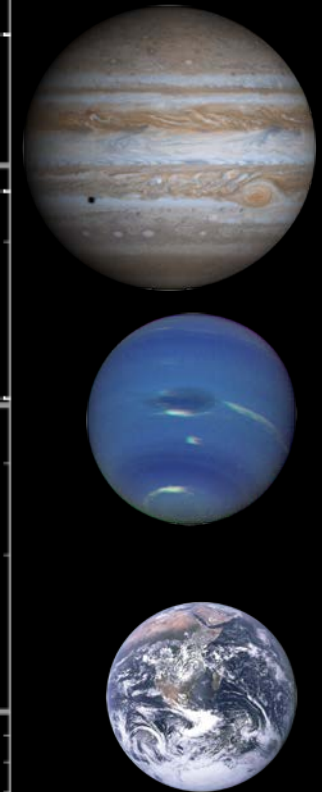
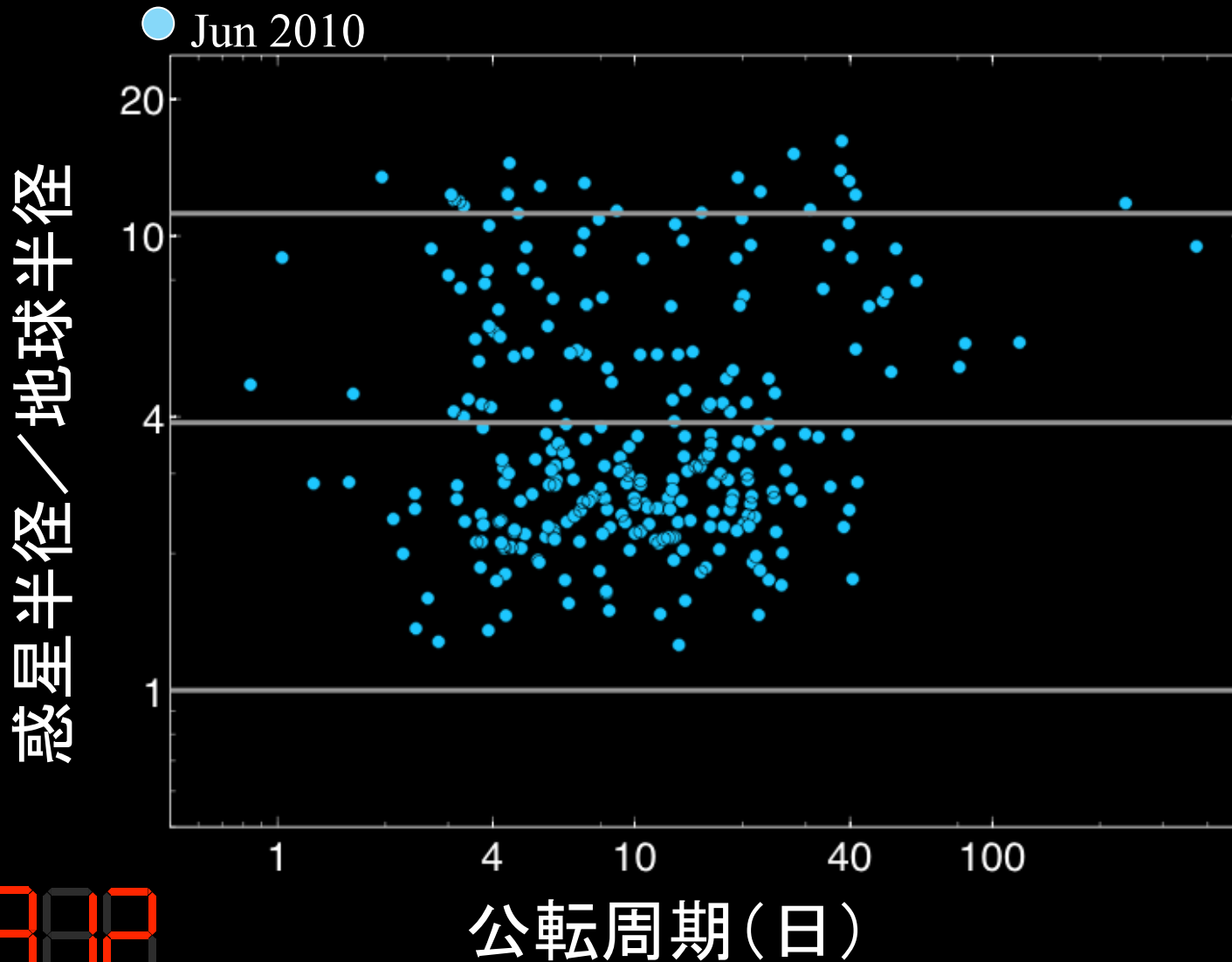
■ Borucki et al. NASA press release (2011年2月1日)

- 1235 のトランジット惑星候補
- 54 個がハビタブルゾーン?
- うち5個が2倍の地球半径以下
- 2重、3重、4重、5重、6重惑星系はそれぞれ、115 45, 8, 1, 1個
- 太陽と似た恒星の約34%が惑星を持ち、17%は多重惑星を持つ



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

2010年6月時点での惑星候補

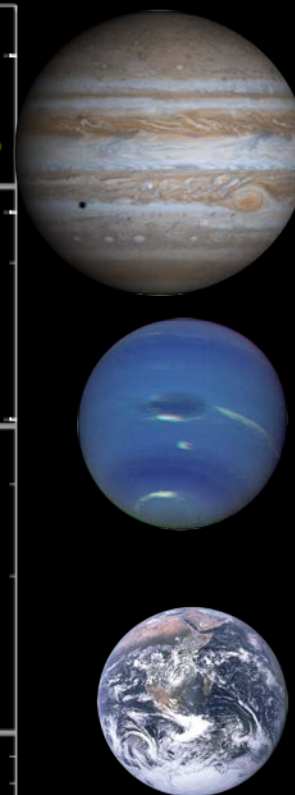
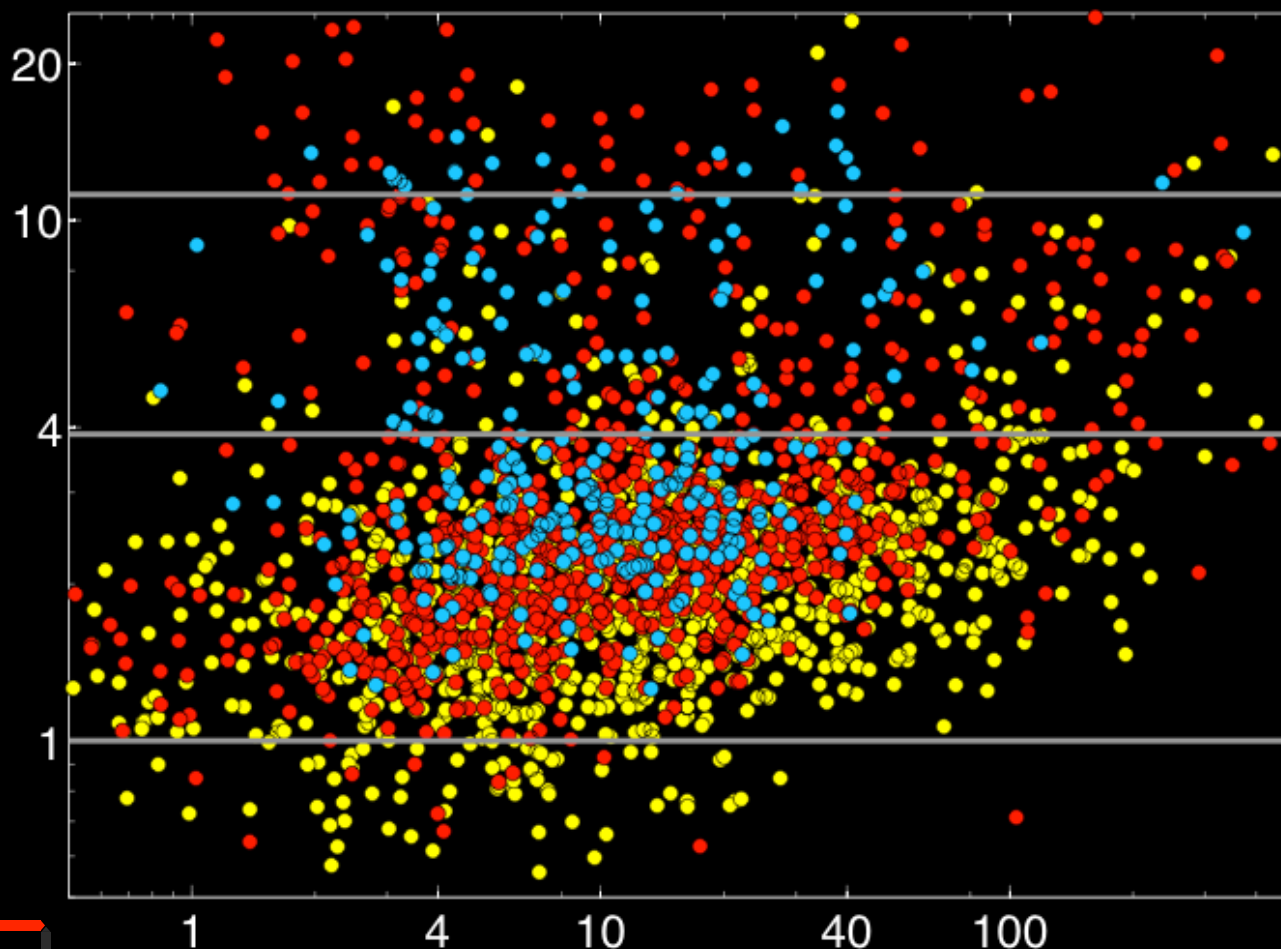


Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

2011年12月時点での惑星候補

● Jun 2010 ● Feb 2011 ● Dec 2011

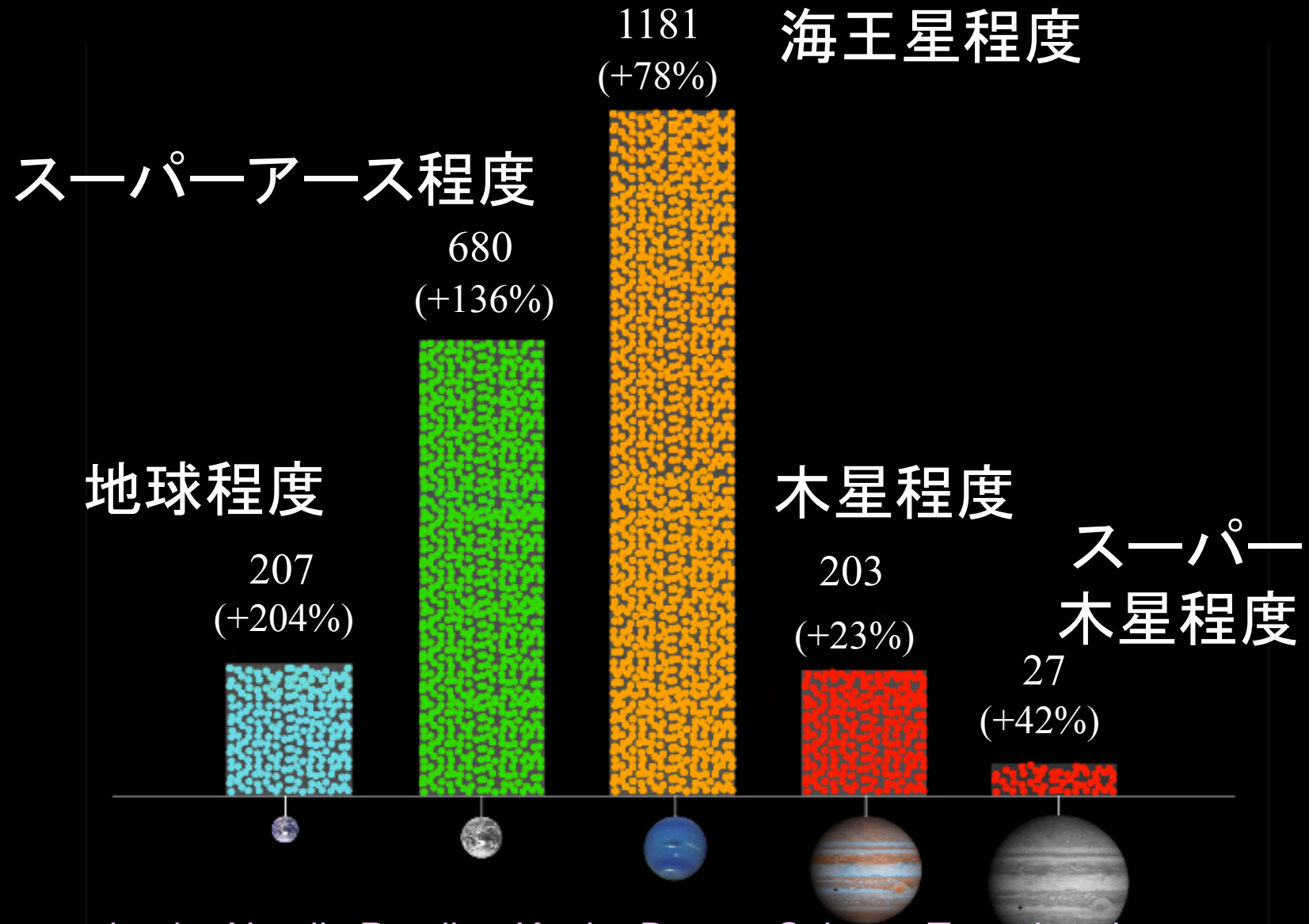
惑星半径 / 地球半径



公転周期(日)

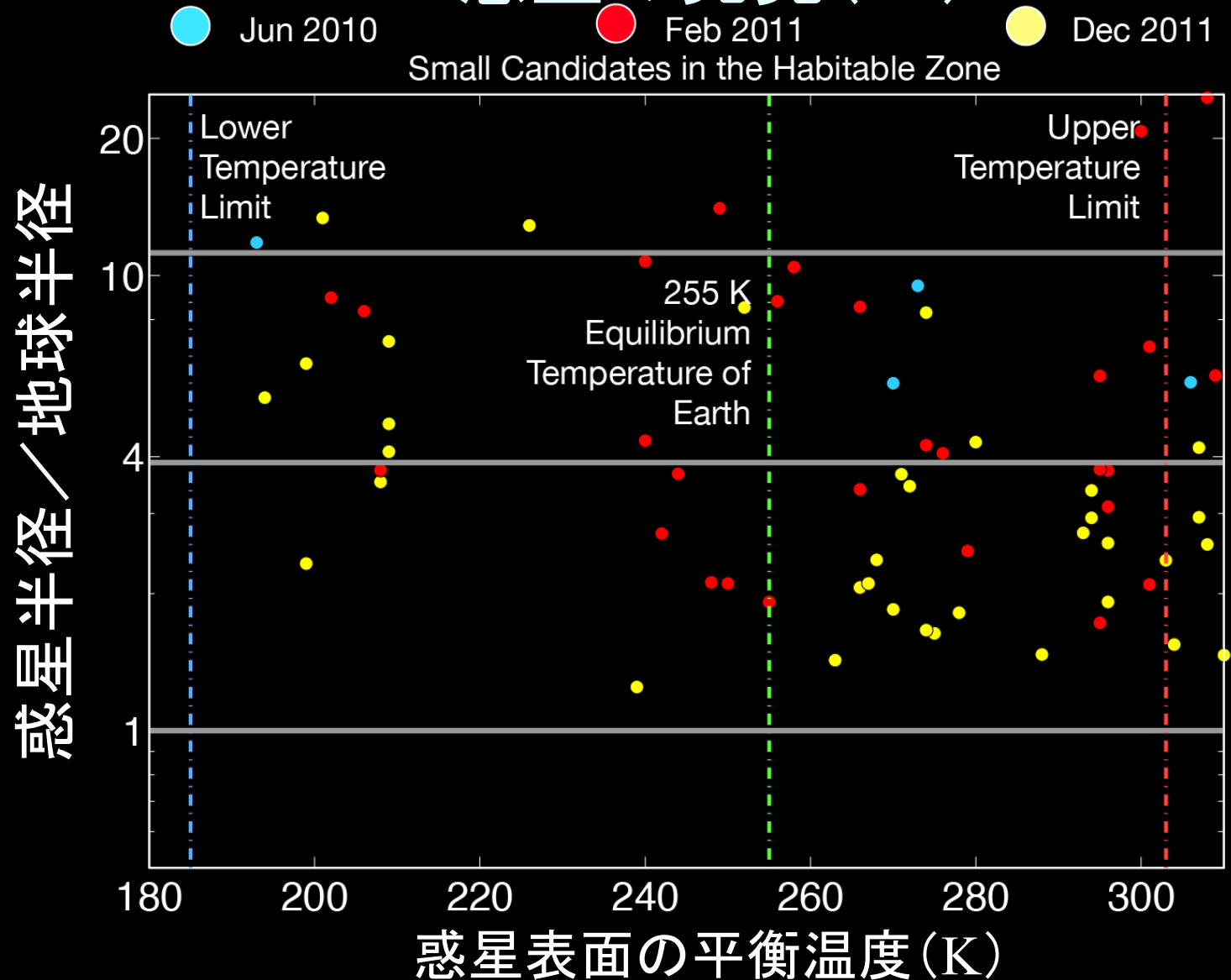
Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

惑星候補の大きさのヒストグラム



Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

ケプラー衛星による居住可能域に存在する惑星の発見(?)



Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

最初の居住可能地球型惑星？

Kepler-22 System

もう一つの地球？ 生命は存在するのか？

Habitable Zone

Solar System

我々は何も知らなかった



Mercury



Venus



Earth



Mars

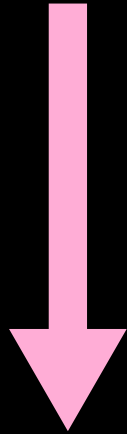
Kepler-22b

Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

Planets and orbits to scale

さらにもっと将来の展望

- 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



太陽系外惑星研究の歴史と展望

	地上からの系外惑星探査	スペースからの系外惑星探査	系外惑星上の生命探査
紀元前 ~1995年	山師、先駆者 ハイリスク ・ノーリターン	荒唐無稽 ハイリスク ・ノーリターン	論外: 危ない人々、十分成功して失うものがない人
1995年 ~2009年	ゴールドラッシュ ハイリスク ・ハイリターン	立案 ハイリスク ・ハイリターン	荒唐無稽 ハイリスク ・ノーリターン
2009年 ~ 20xx年	定着 ローリスク ・ハイリターン	実現 ローリスク ・ハイリターン	立案 ハイリスク ・ハイリターン
20xx年~	統計を稼ぐ ローリスク ・ローリターン	定着 ローリスク ・ローリターン	実現? ローリスク ・ハイリターン?

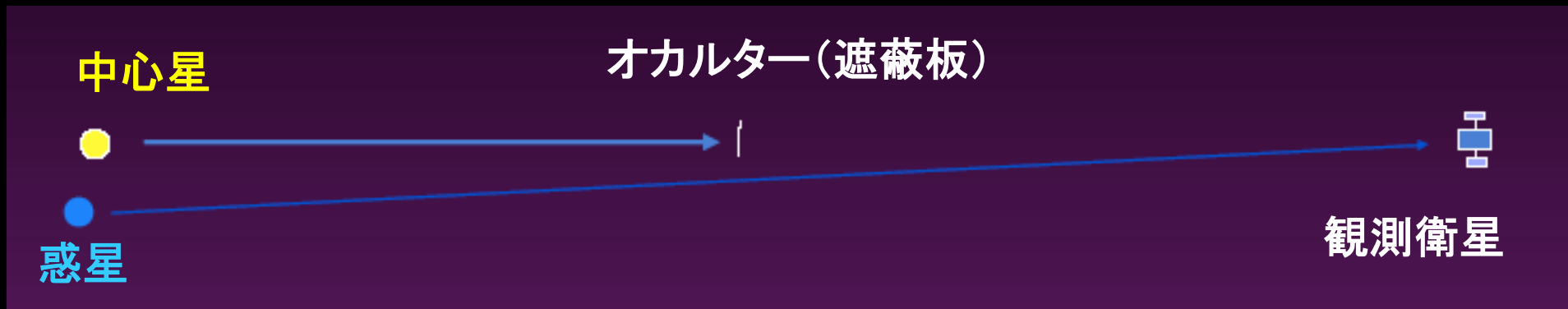
ブレイクスルー

1995年
系外惑星発見

2009年
系外惑星専用
衛星Kepler
打ち上げ

20XX年
ハビタブル惑星
発見???

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(O₃)

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

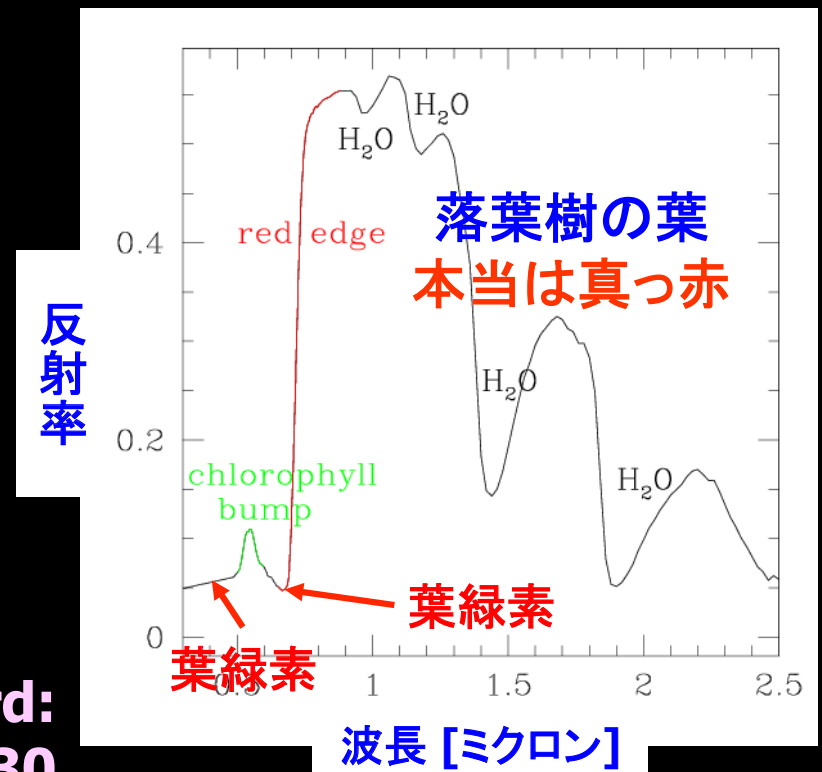
Extrasolar plants on extrasolar planets

- (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



系外惑星上の植物の色？

古いM型星



若いM型星



G型星



F型星



■ Nancy Y.Kiang *"The color of plants on other worlds"*

■ Scientific American April 2008

■ 邦訳：日経サイエンス2008年7月号

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:0911.5621
Astrophys. J. 738(2011)184, arXiv:1102.3625

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

A pale blue dot

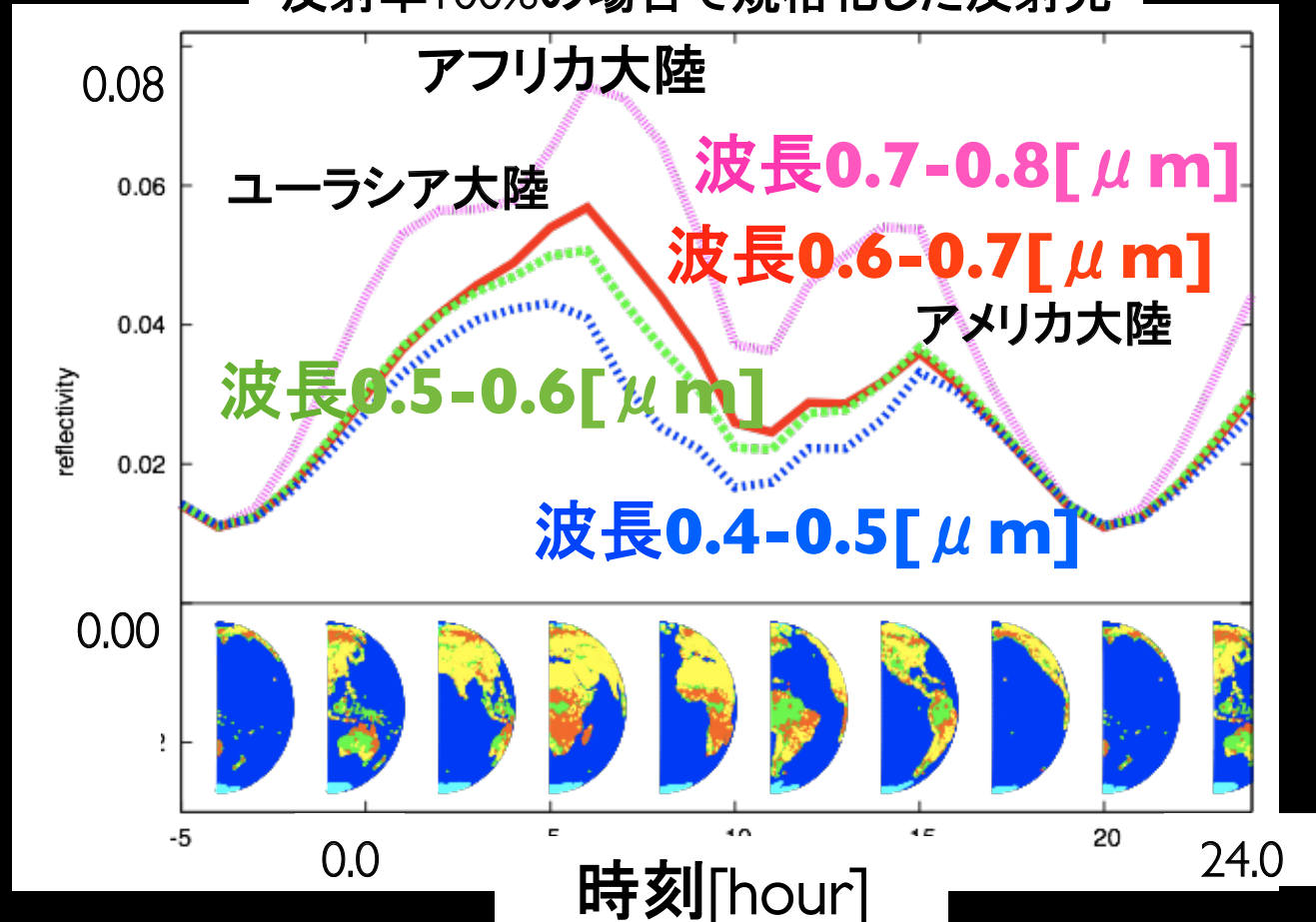


自転に伴う反射光の色の時間変動のシミュレーション

- 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

地球は青かった？

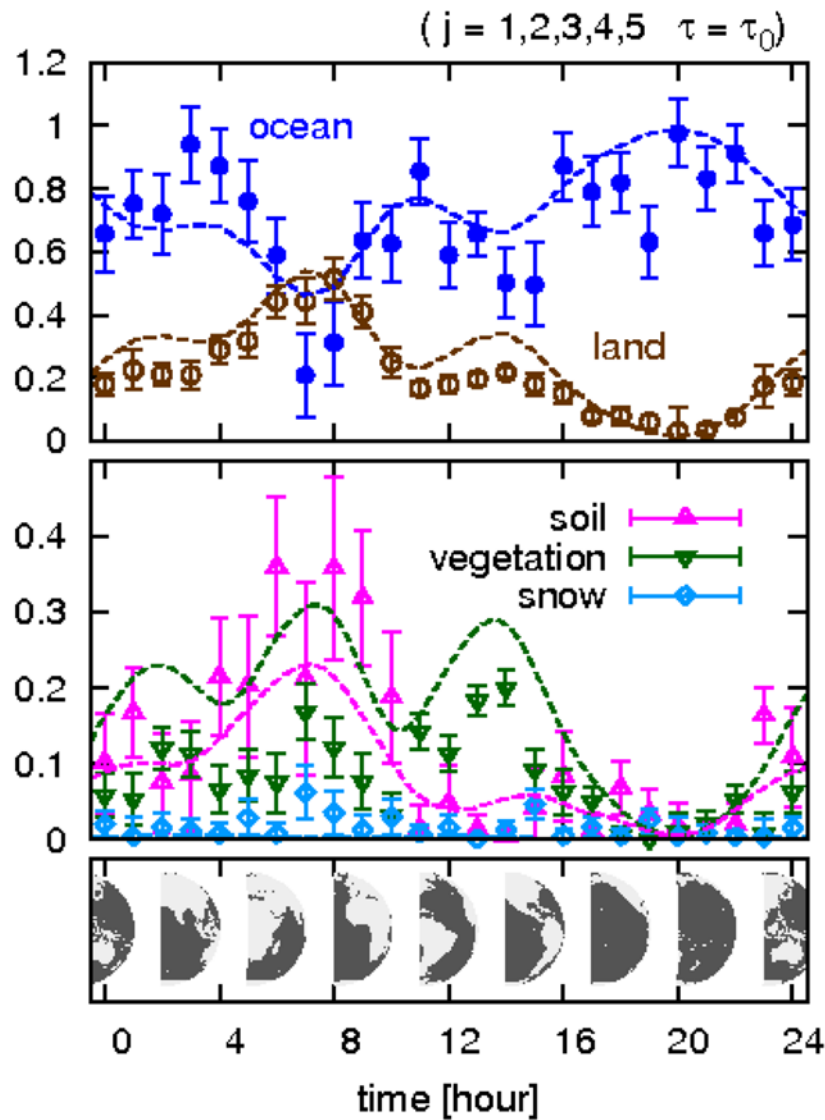
反射率100%の場合で規格化した反射光



Fujii et al. (2010)

第二の地球の色から表面積を推定

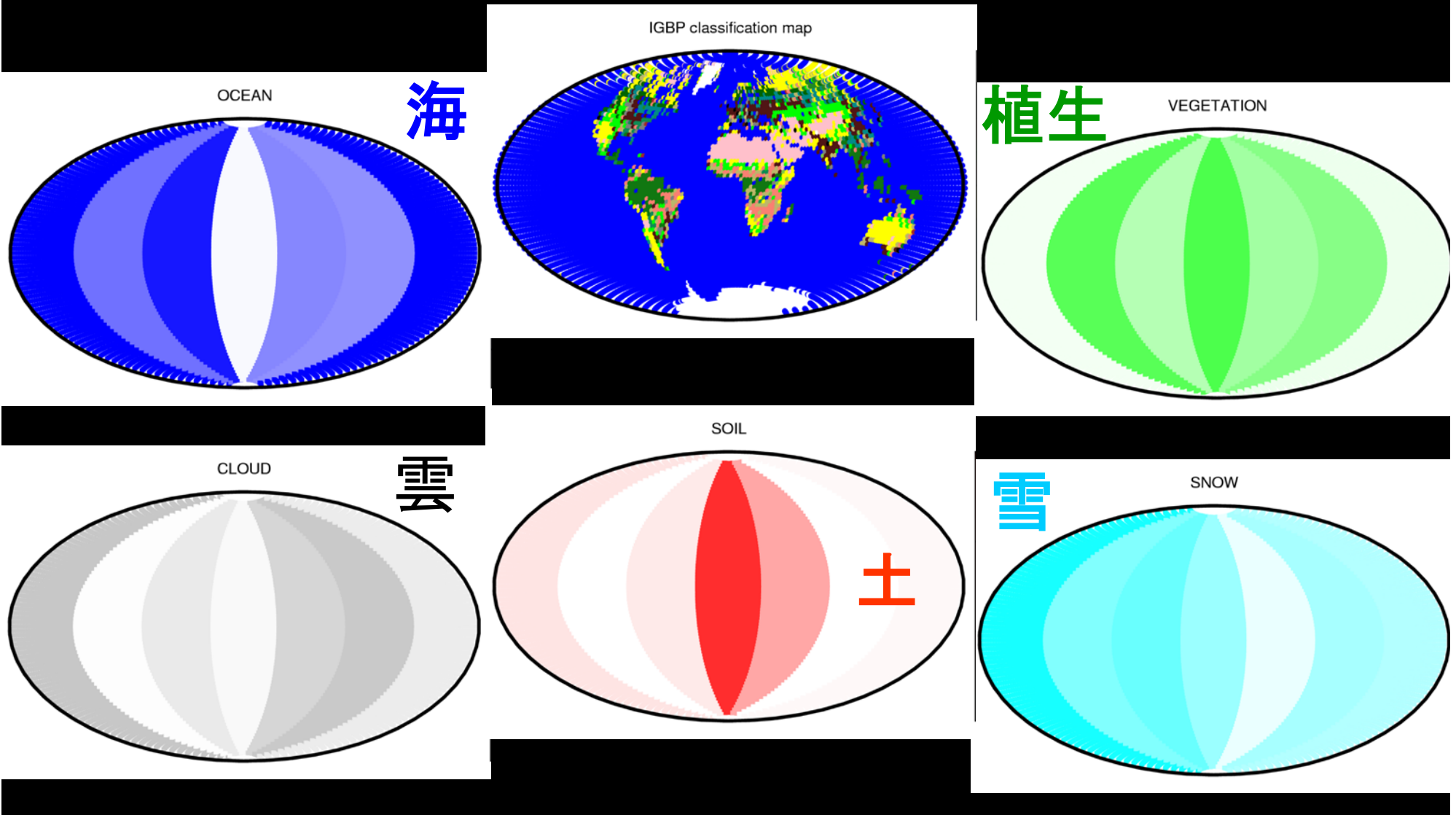
(重みつき)表面積比



Fujii et al. (2010)

- 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
- レイリー散乱の一次近似
 - 我が地球、悲しからずや空の青、海のをあをにも染まずただよふ
- 海、土、植物、雪の4つの成分の面積比を推定
- 結構イケテル！

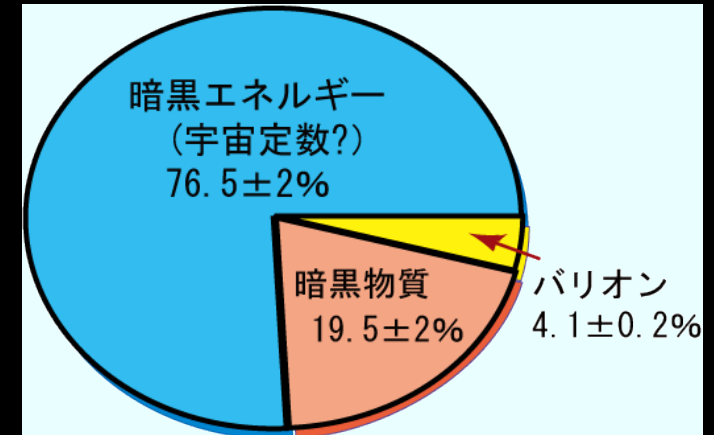
地球測光観測データから推定された 地表面成分の経度分布地図



「夜空のむこう」を探ることで、従来全く予想されていなかった新しい科学が発展しつつある

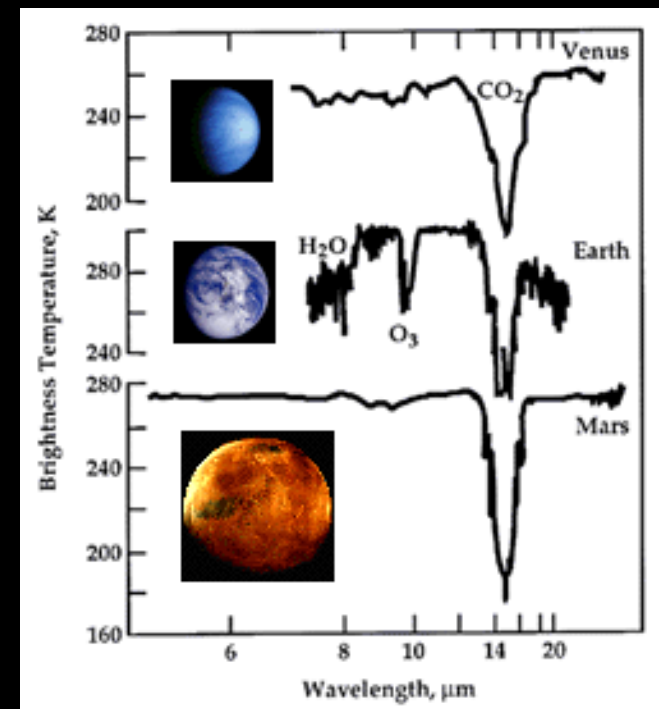
■ 宇宙の果ての観測から微視的世界の新しい階層が発見された

- 宇宙の96%の正体は理解されていない
- 暗黒物質と暗黒エネルギーの解明は新しい自然法則を探る本質的な鍵



■ 天文学から宇宙生物学へ

- 1995年初めての系外惑星発見
- 地球型居住可能(水が液体として存在する)惑星の発見へ
- 遠くの惑星に生物の兆候を探る天文学的試み



宇宙生物学の心 「星の王子様」



夜空を埋め尽くす無数の星々のどれかに咲く

たった一つの花が好きになれたなら

夜空を見上げるだけで

とっても幸せな気持ちになれる

「僕の花がこの夜空のどこかにあるんだ」

と信じられるだけで