

ペイル・ブルー・ドットの色を解読する



東京大学大学院理学系研究科物理学専攻 須藤 靖

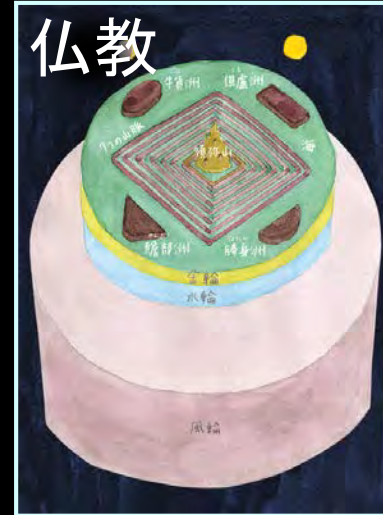
2012年8月8日 15:00-16:00

愛媛大学理学部物理学教室 セミナー

天文学の目標： 夜空のムコウの世界を探る

■ 我々の世界はどうなっているのか

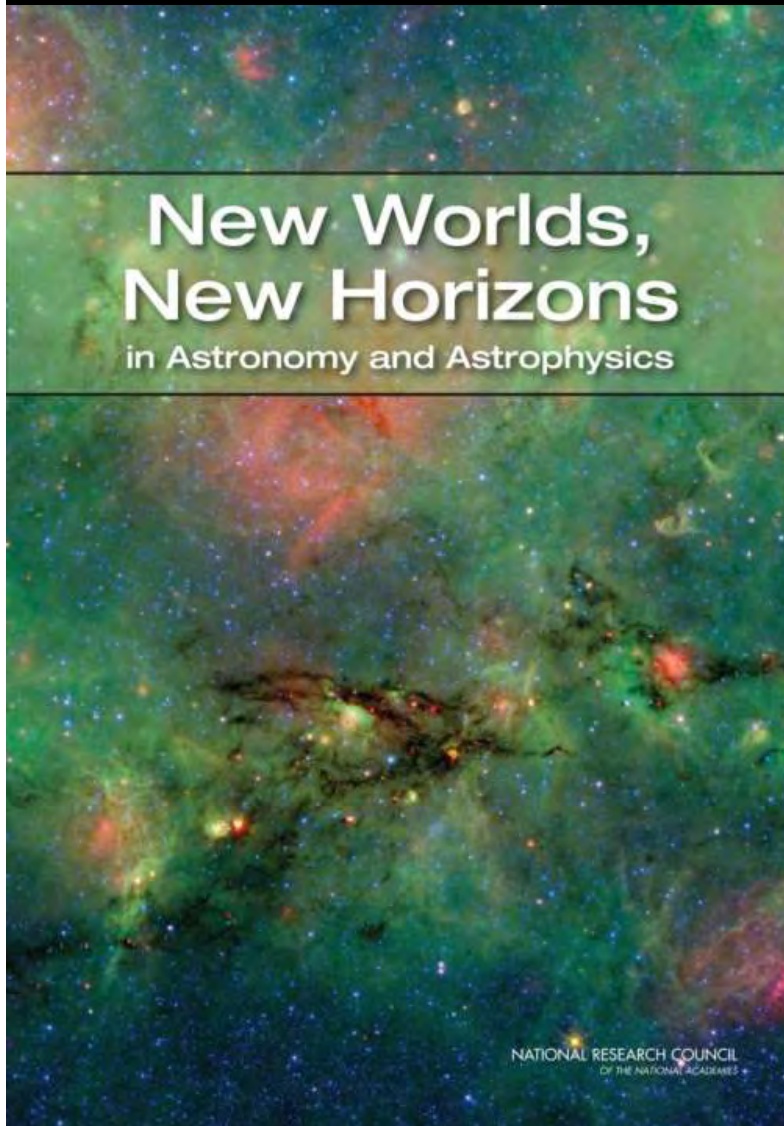
イラスト：羽馬有紗



■ 直接役に立つわけではなくとも人生を豊かにしてくれる“invaluable”な疑問に挑戦する

- 宇宙は何からできているか？（宇宙論）
- もう一つの地球はあるか？（太陽系外惑星）
- 生命はいかにして誕生したのか？（宇宙生物学）

Astro2010: decadal survey



■ *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

もうひとつの宇宙の果て： 銀河系のどこかに生命を宿した惑星はあるのか？

■ 宇宙の果てと太陽系外惑星

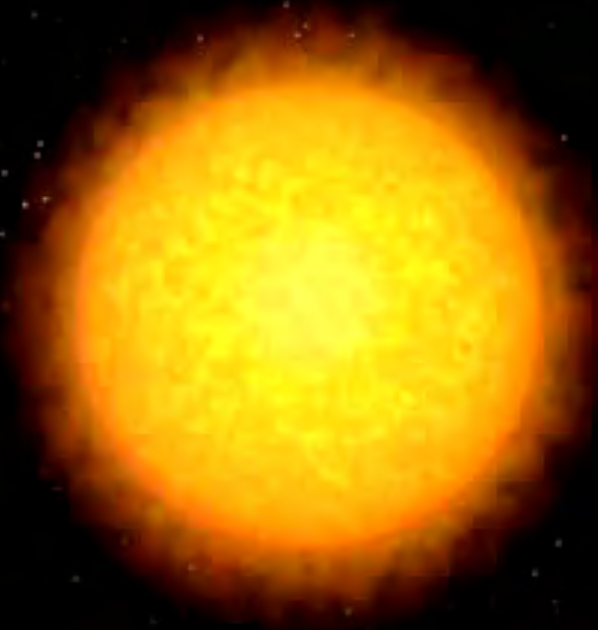
■ 大望遠鏡は「暗い」天体を観測できる

- 本当は明るいのだが遠く
にあり暗く見える天体

⇒ 宇宙の果てにある銀河

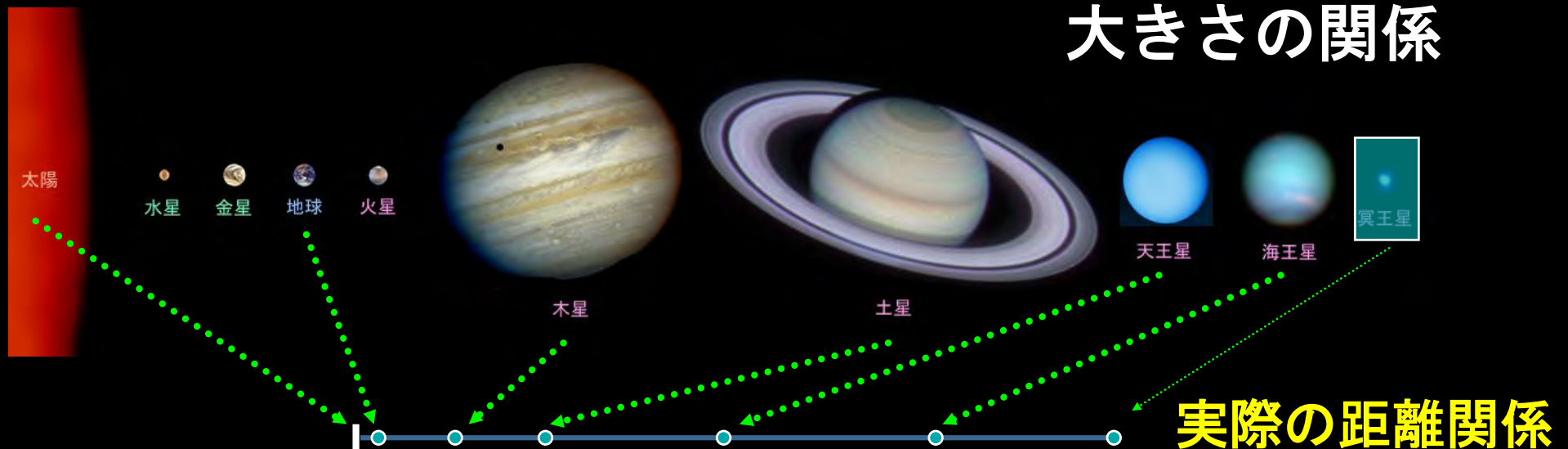
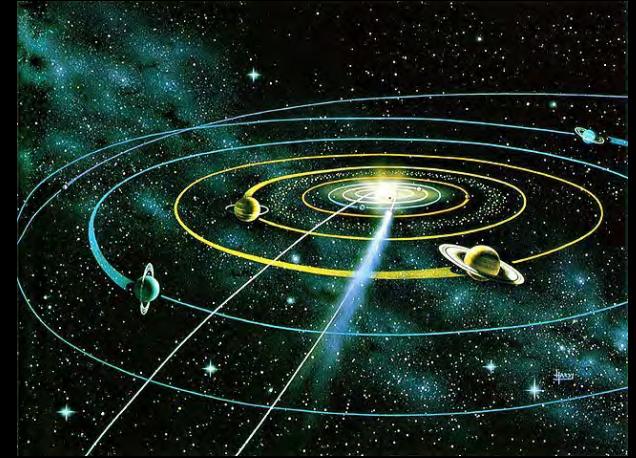
- すぐ近くにあるのだが本
当に暗い天体

⇒ 銀河内にある系外惑星



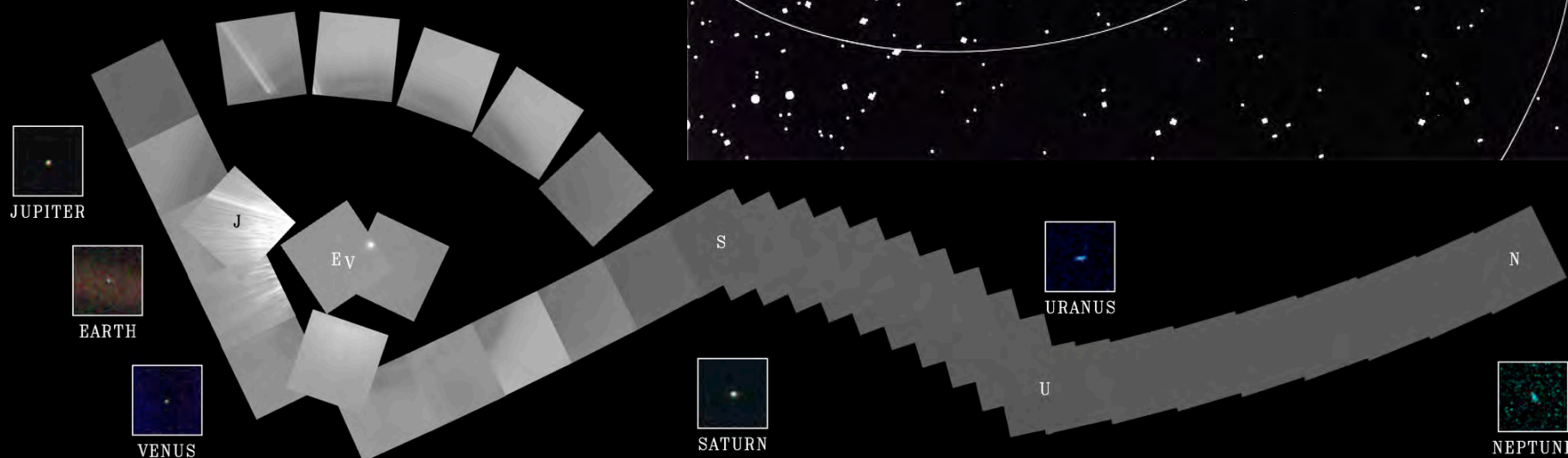
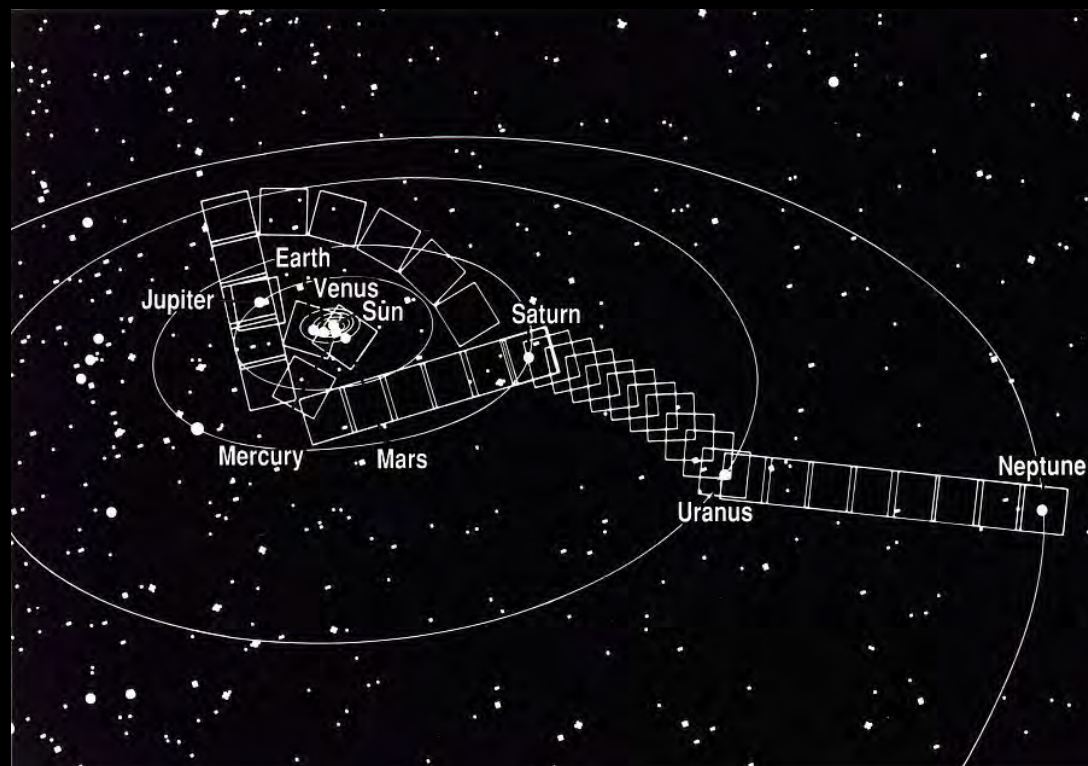
太陽系惑星のおさらい

- 岩石惑星：地球、火星、金星、水星
- ガス惑星：木星、土星
- 氷惑星：天王星、海王星
- 準惑星/太陽系外縁天体：冥王星など
- 太陽は惑星ではなく恒星(星)
 - 核融合で自らエネルギーを生成
 - 惑星≠星 (planet ≠ star)

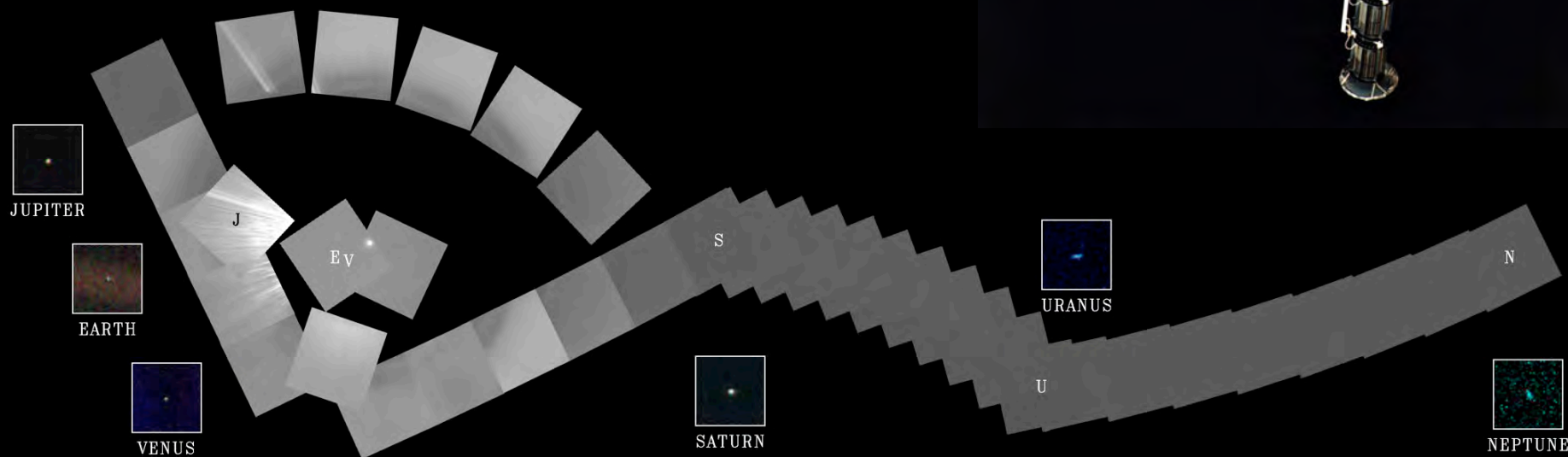


ボイジャー1号による太陽系内惑星撮像

- 1990年2月14日
@40AU
 - カールセーガンが地球の画像を **Pale Blue Dot** と命名



ペイル・ブルー・ドット



太陽系惑星から太陽外惑星へ

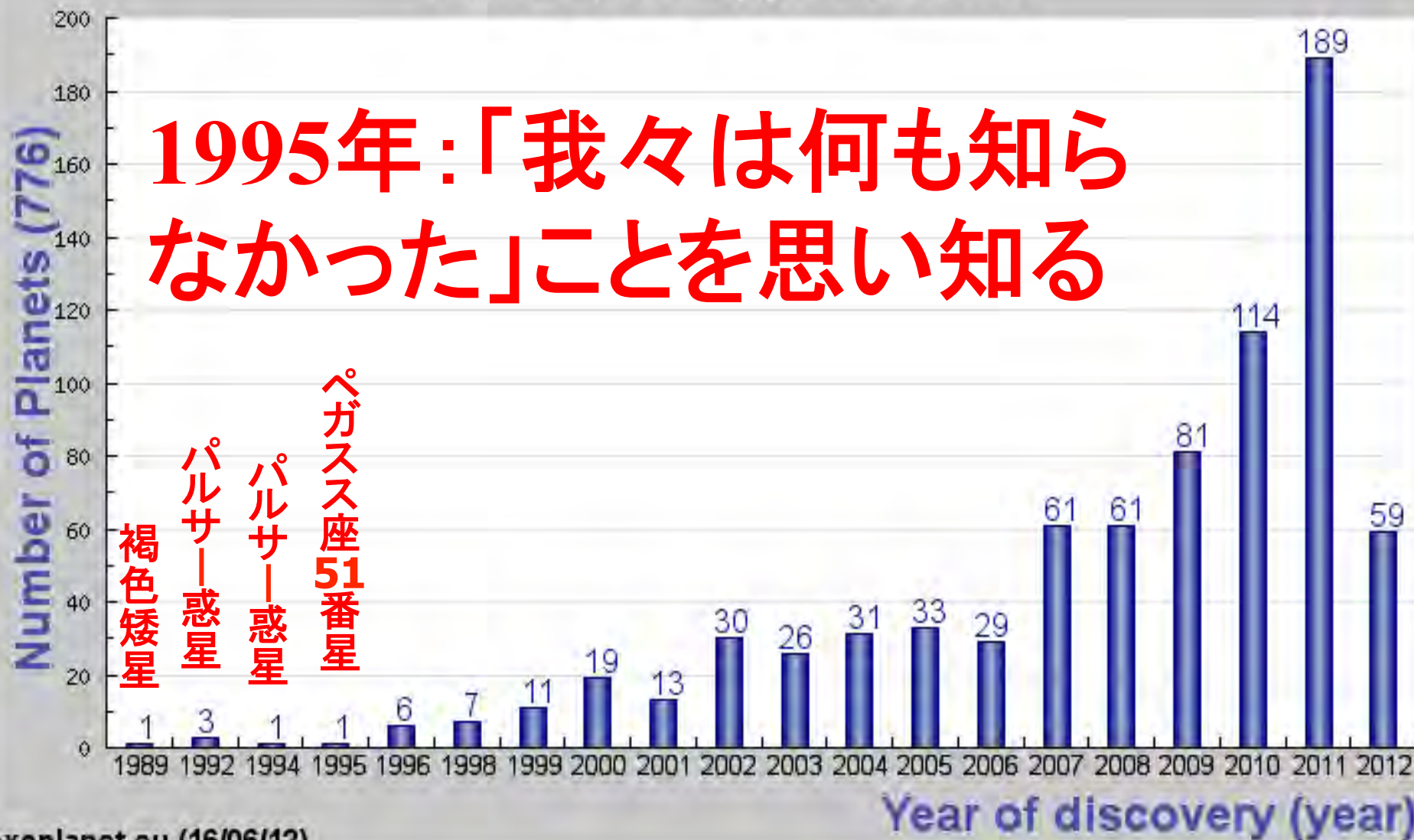
- かつての世界＝太陽系：水金地火木土
- 哲学的世界観
 - この宇宙とよく似た宇宙も全く異なる宇宙も無限に存在
(エピキュラス：紀元前341年～270年)
 - 我々以外の宇宙は存在し得ない(アリストテレス：紀元前384年～322年)
 - 宇宙は無限であり、太陽系以外にも無数の惑星がある
(ジョルダーノ・ブルーノ：1548－1600、その『罪』で火刑)
- わが太陽系の拡大
 - 1781年：天王星の発見
 - 1846年：海王星の発見
 - 天王星の観測＋ニュートン力学によって予測され発見
 - 1930年：冥王星の発見
 - 海王星の観測＋ニュートン力学によって予測され発見されたのだが、実は海王星の観測データの解釈が間違っていたため偶然の発見であると考えられているらしい
- 1995年：初めての太陽系外惑星の発見

太陽系外惑星発見史

- 1963年 バーナード星に惑星を発見！（ピーター・バンデキャンプ）と報告したが、後に間違いとわかる
- 1995年8月：カナダのゴードン・ウォーカーのグループが12年にもわたる観測の結果、21個の恒星のまわりに巨大惑星は存在しないことを発表
- 1995年10月：スイスのミシェル・メイヨールとその学生デディエ・ケロズが太陽に似た恒星ペガス座51番星を周期4日で公転している巨大惑星を発見
 - 前年4月に新装置で探査開始したばかり！
 - 直後に、過去7年惑星探査を続けていた、アメリカのジェフ・マーシーとポール・バトラーらがこのデータを確認
- 2012年6月16日時点で776個の系外惑星

太陽系外惑星の発見年表

Number of planets by year of discovery



exoplanet.eu (16/06/12)

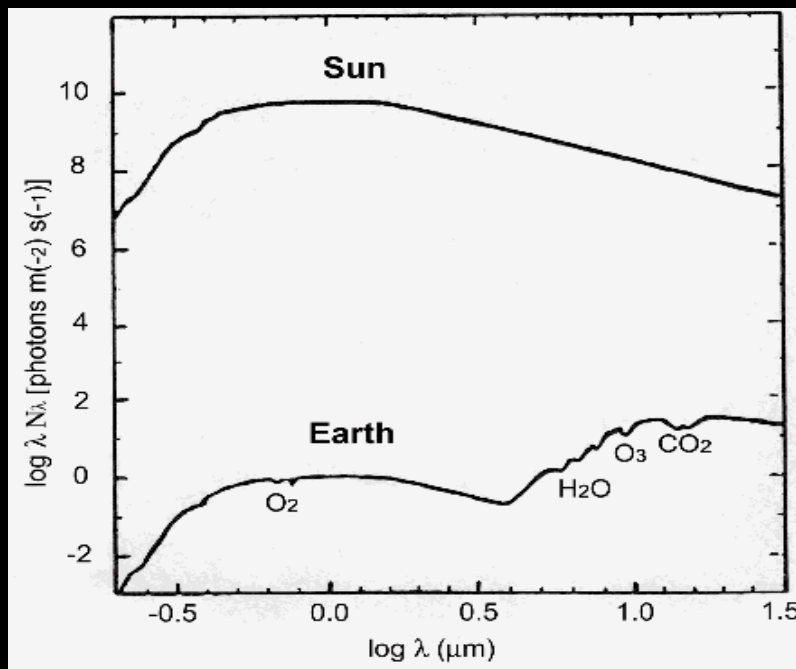
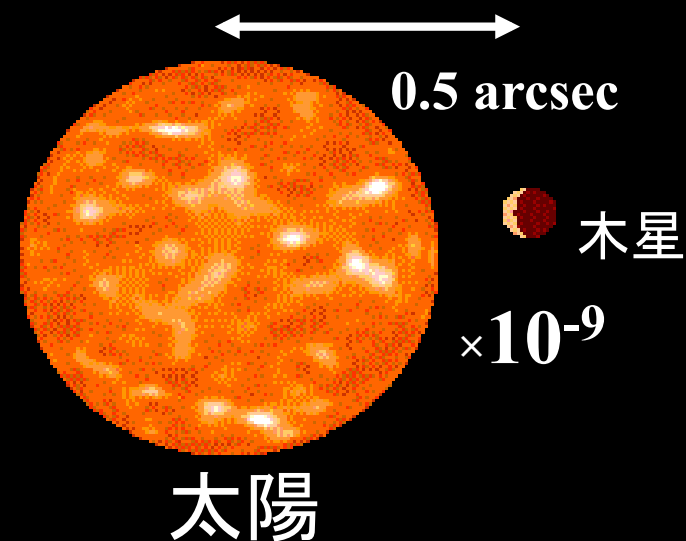
2012年6月16日時点 <http://exoplanet.eu/>

惑星は直接見えるか？

30光年先から観測した木星

明るさ: 27等級 (可視域)

主星との角距離: 0.5秒角

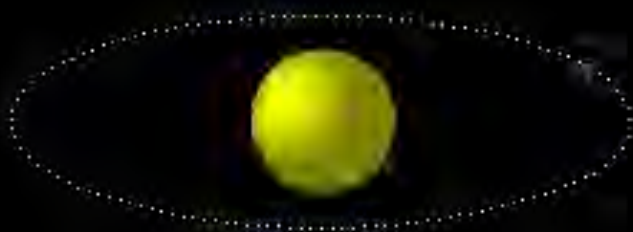


地上から観測できる分解能の大きさ内で、9桁も明るい主星の隣にある27等級の暗い天体を検出する

⇒ ほとんど不可能
(だった: 後述)

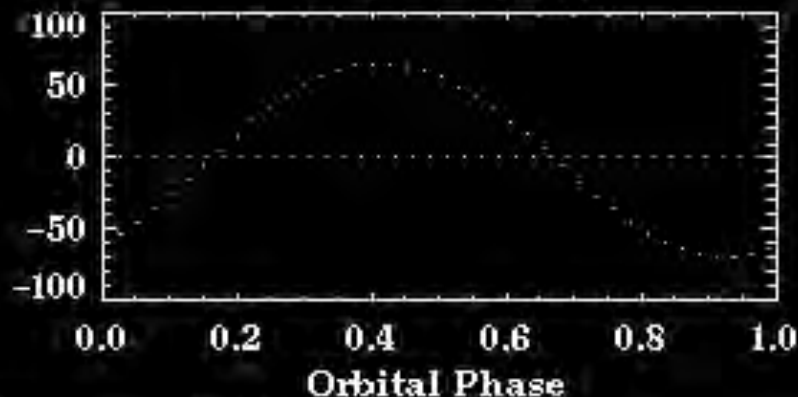
ではどうやって見つけたのか？

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(←ニュートン力学)

■ トランジット法

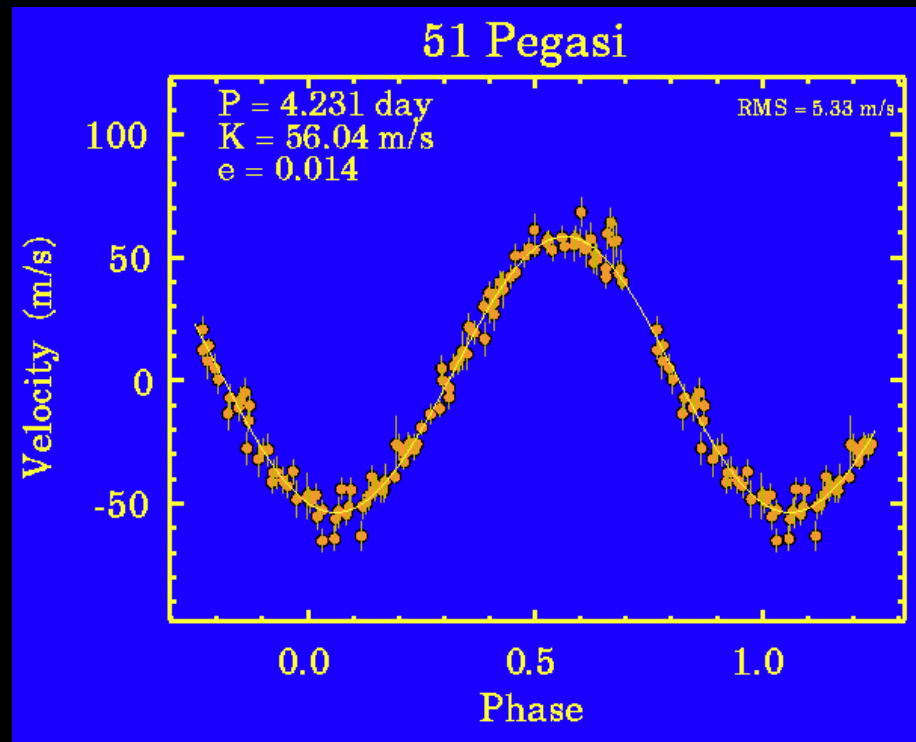
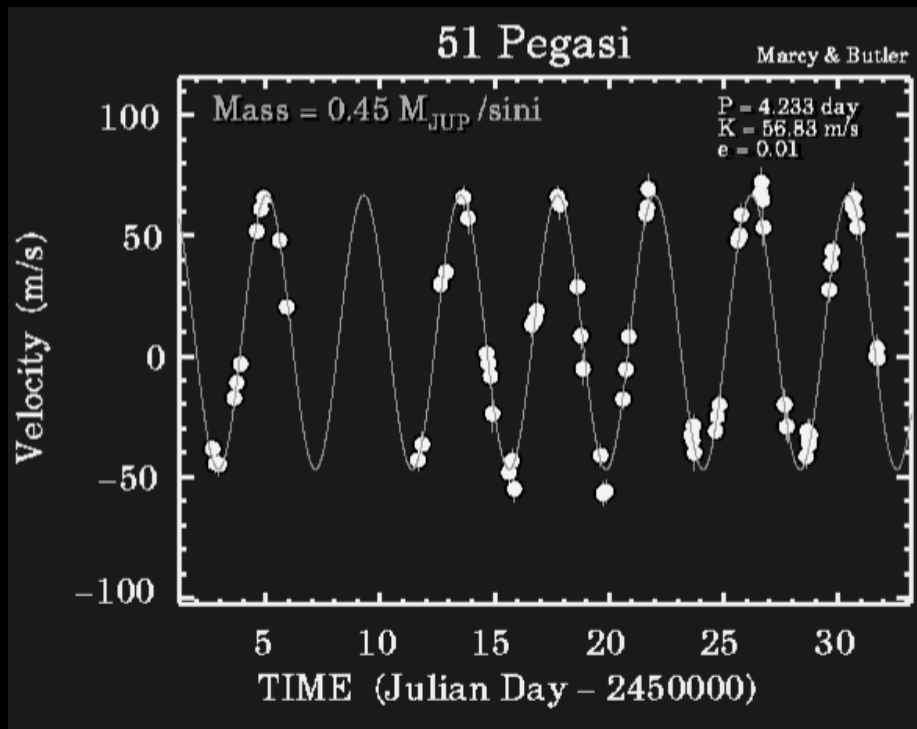
- (運がよければ) 中心星の正面を惑星が横切ることによって星の明るさが1パーセント程度周期的に暗くなる

ペガサス座51番星： 初めての太陽系外惑星 (1995年発表)

わずか4.2日で一周！

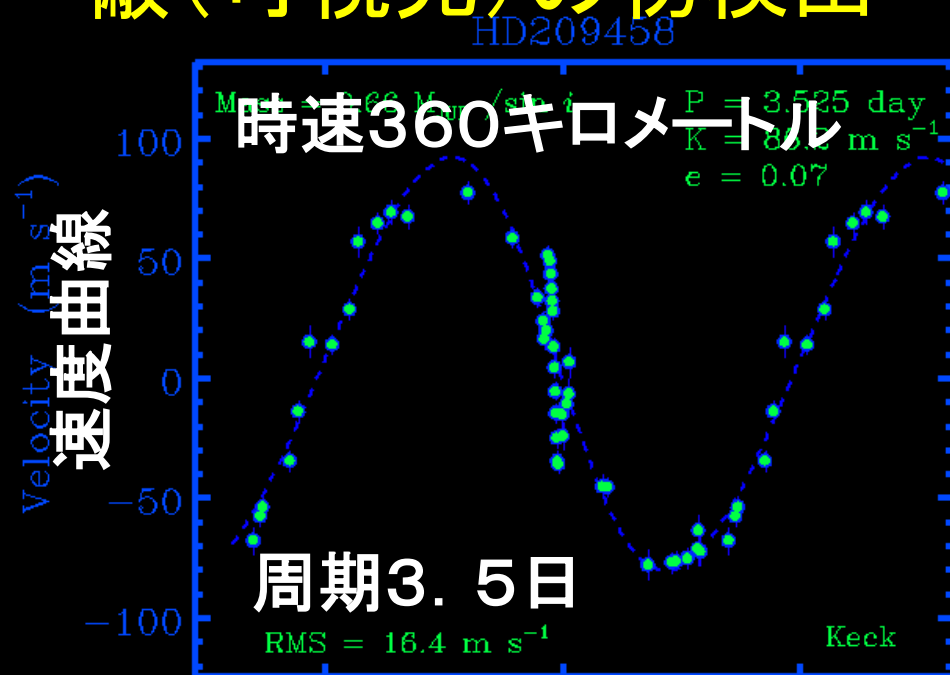


ミッシェル・メイヨール



初めてのトランジット惑星HD209458b

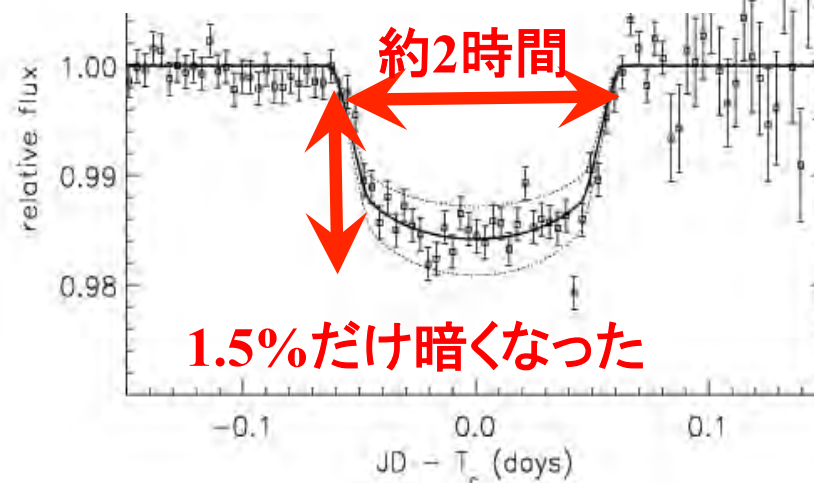
- 速度変動のデータに合わせた惑星による主星の掩蔽(可視光)の初検出



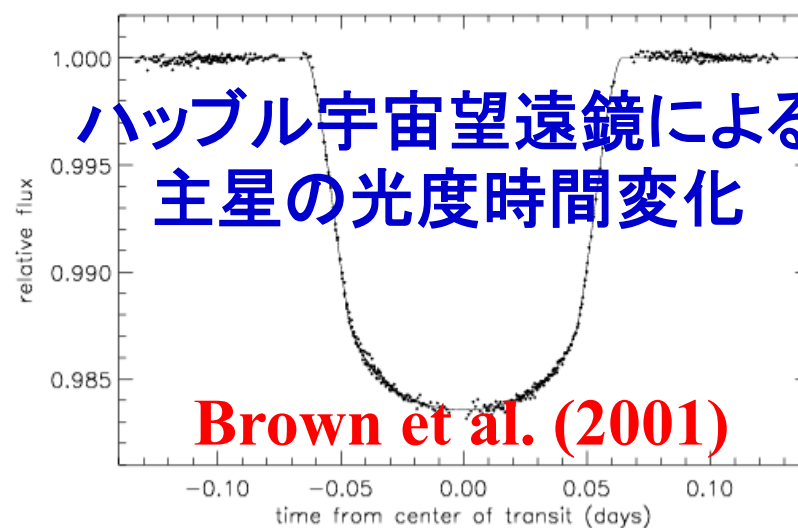
地上望遠鏡による
主星の速度時間変化

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

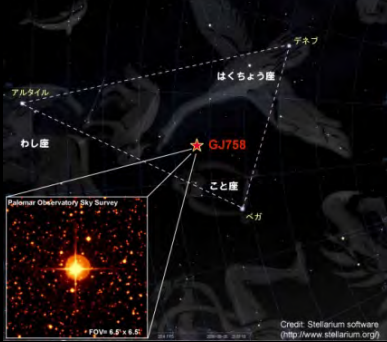
地上望遠鏡による
主星の光度時間変化



ハッブル宇宙望遠鏡による
主星の光度時間変化

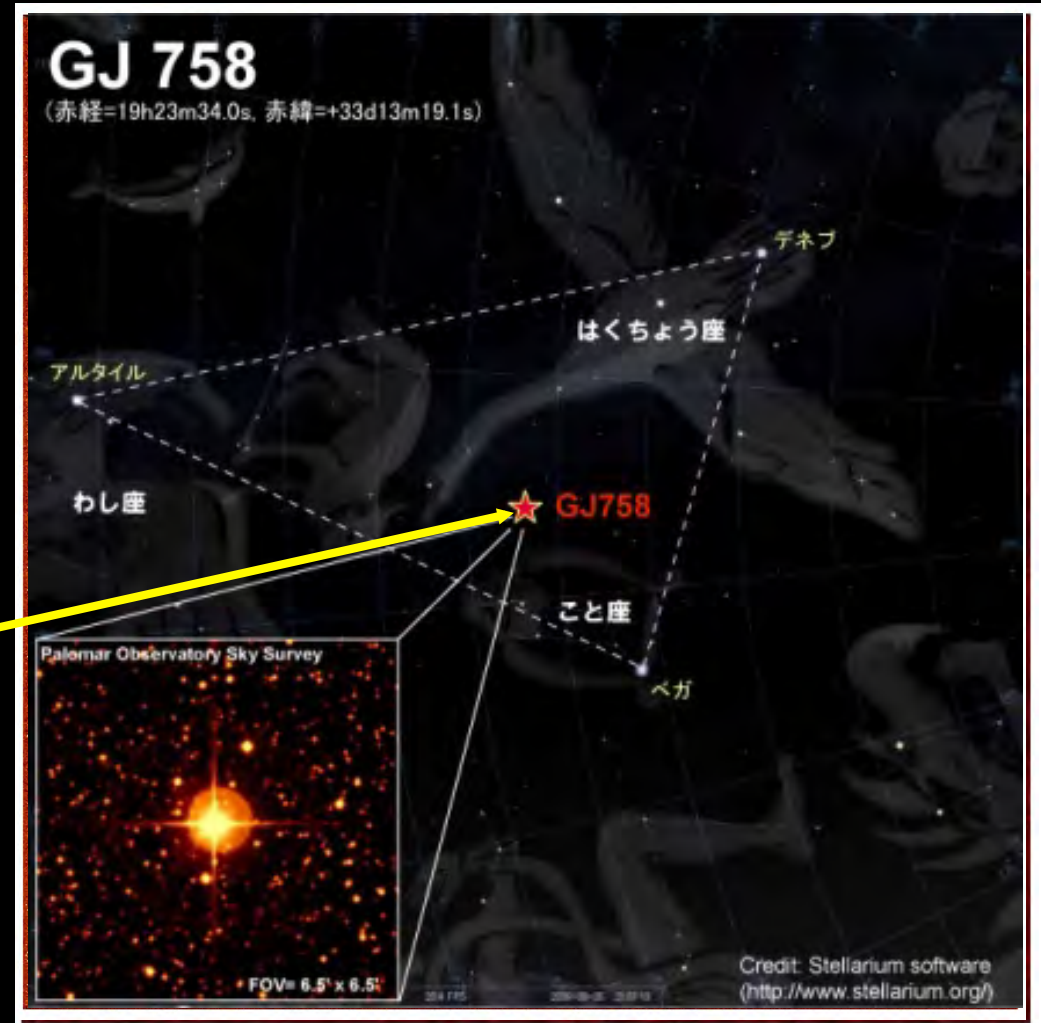


GJ 758
(赤経=19h23m34.0s, 赤緯=+33d13m19.1s)



惑星を直接撮像することも可能になり始めてきた(国立天文台、田村元秀氏ら)

- こと座の方向
- 距離: 50光年
- G9型恒星
 - 可視光で6等星
 - 質量: 0.97太陽質量
- 明るい中心星の影響を抑える観測およびデータ解析法を駆使



中心付近の白黒の斑点は除去しきれないノイズ
(スペックルノイズ)

惑星の放つ熱が波長1.6ミクロンの
赤外線として見えている (反射光ではない)
また、白が明るく、黒が暗い意味の色 (実際の色ではない)

発見された系外惑星（候補）の統計

検出法	惑星	惑星系	多重惑星系
ドップラー法	716	571	96
トランジット法	239	205	30
重力レンズ	16	15	1
直接撮像（褐色矮星）	31	27	2
パルサータイミング	15	12	2
総計	778		

2012年6月16日時点 <http://exoplanet.eu/>

ケプラー衛星 (米国2009年3月6日打ち上げ)
トランジット(食を起こす)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

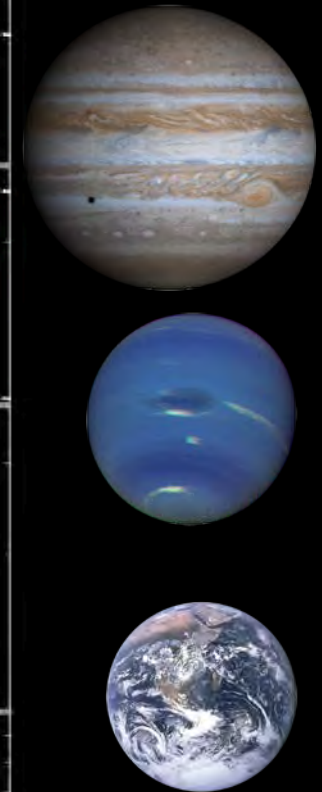
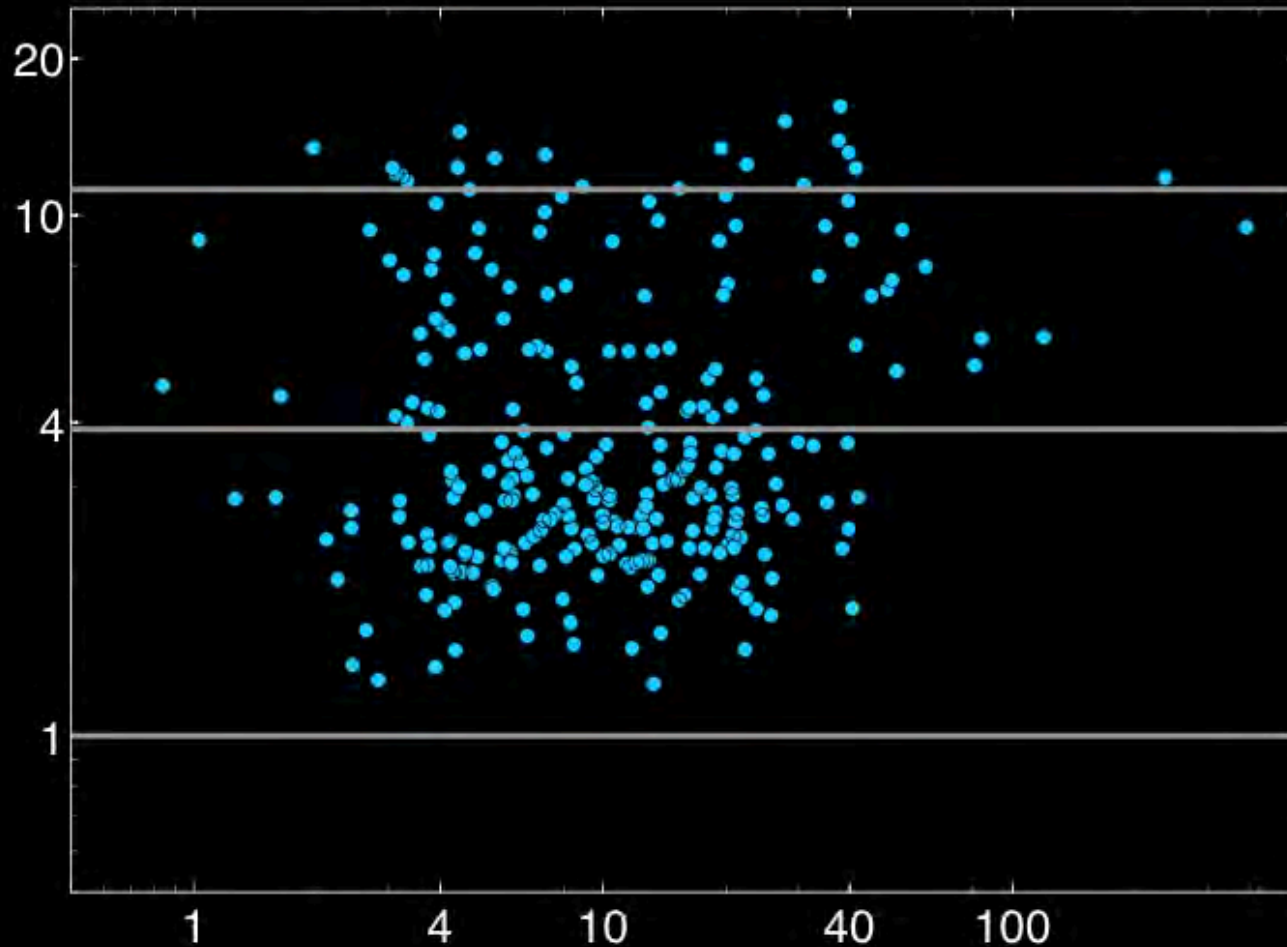


<http://kepler.nasa.gov/>

2010年6月時点での惑星候補

● Jun 2010

惑星半径 / 地球半径



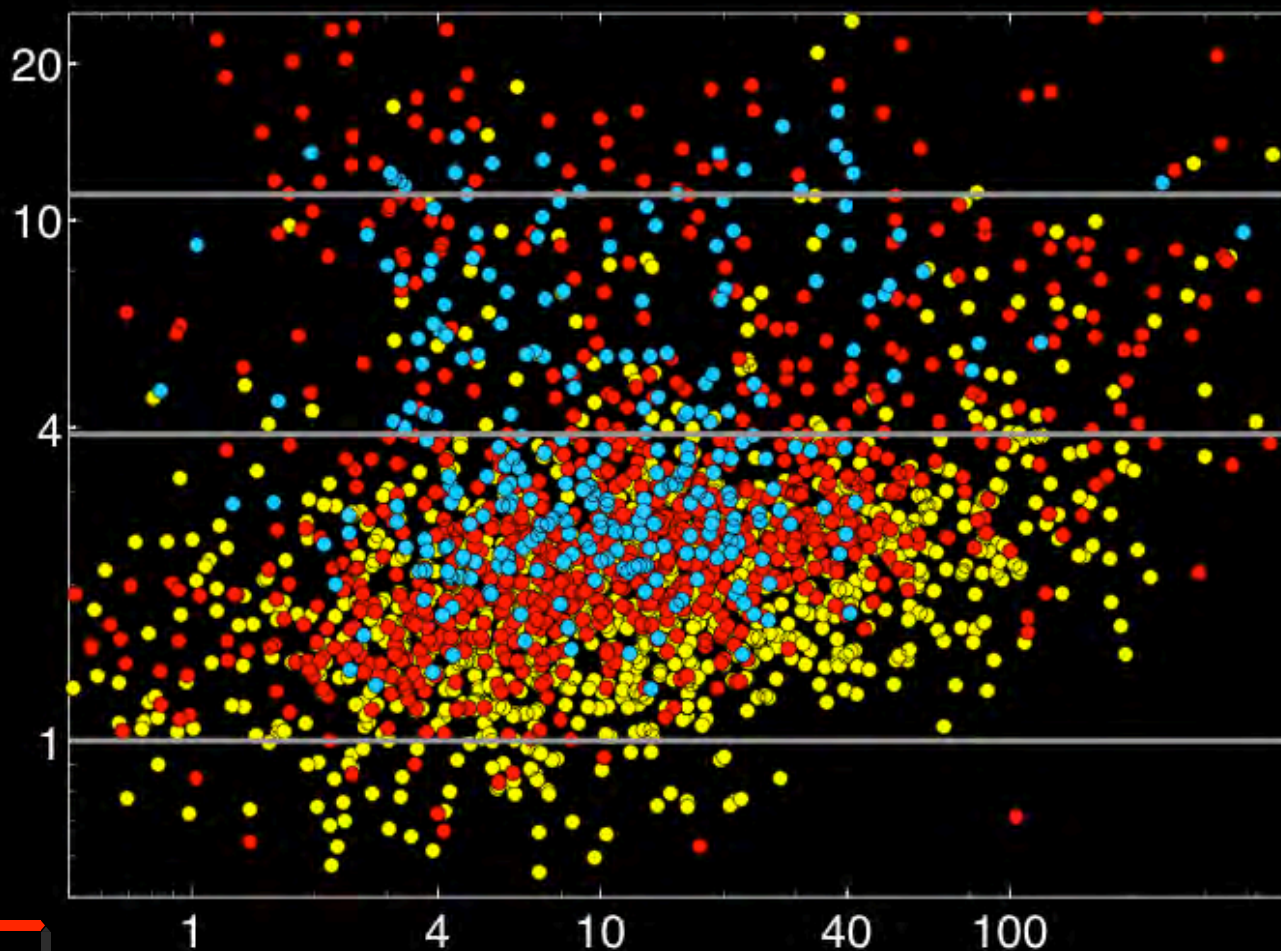
公転周期(日)

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

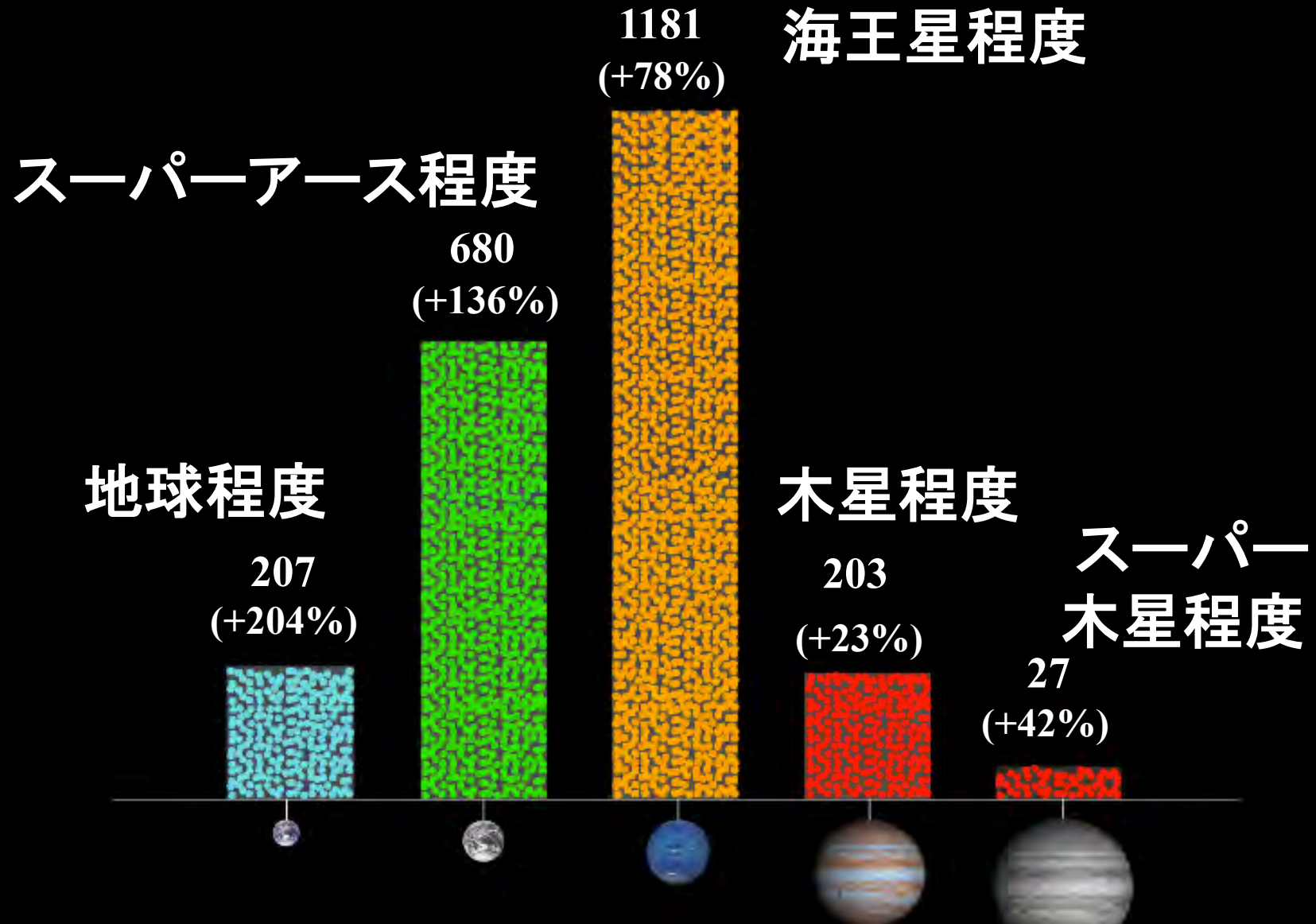
惑星半径／地球半径



公転周期(日)

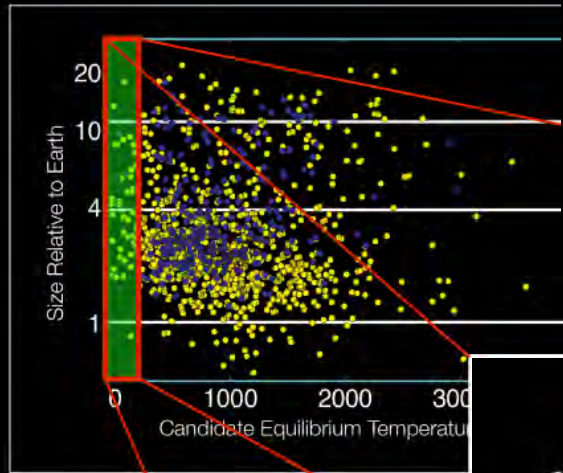
Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

惑星候補の大きさのヒストグラム

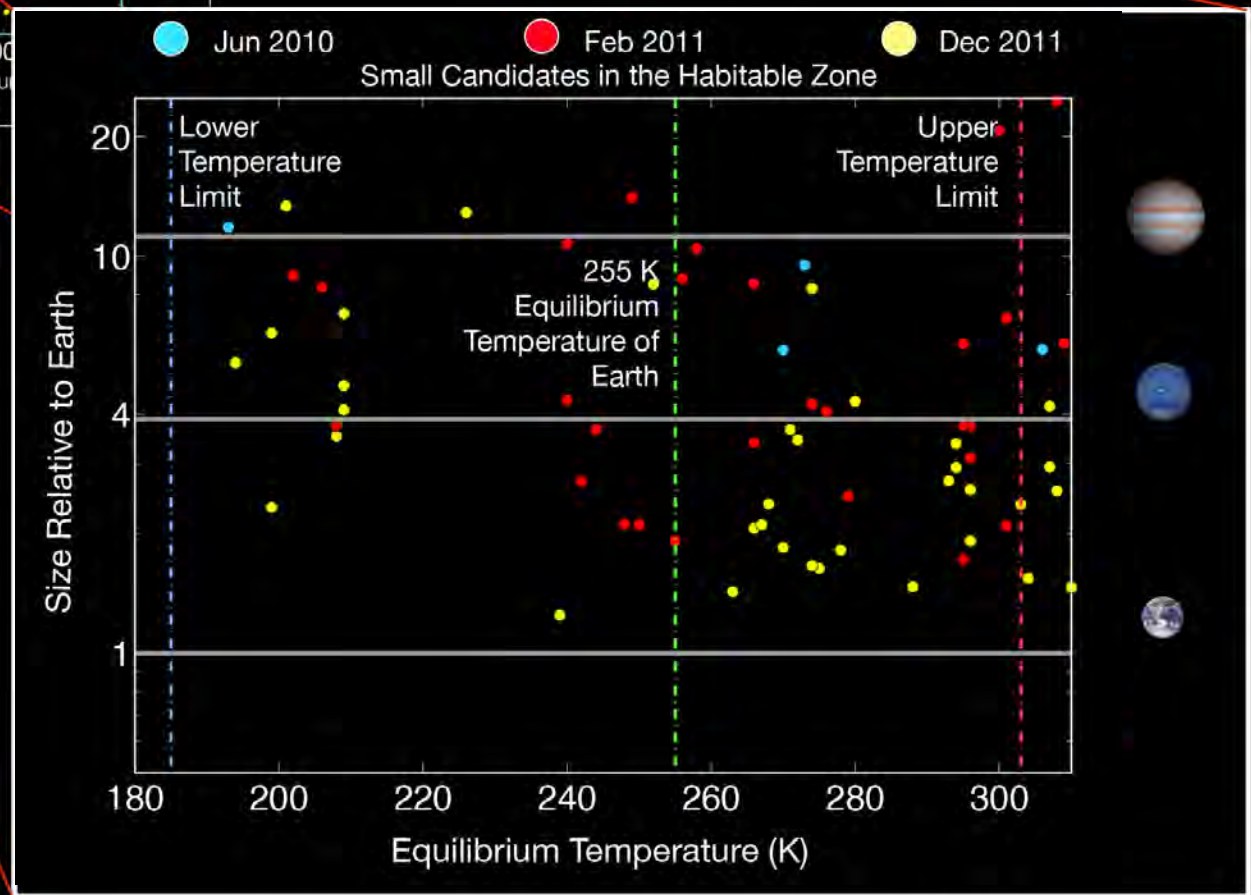


Presentation by Natalie Batalha, Kepler Deputy Science Team Lead

ハビタブルゾーンにある 惑星候補

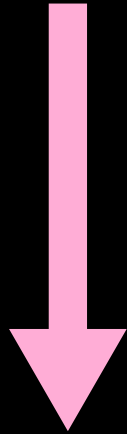


ハビタブルゾーン:
惑星の温度が適度
で水が液体として
存在できる領域。
主として、中心星の
明るさと距離、惑星
の反射率などで決
まる



系外惑星：今後の展望

- 巨大ガス惑星発見の時代 (1995)
 - 惑星大気の実見 (2001)
 - 惑星赤外線輻射の検出 (2005)
 - 惑星可視域反射光の検出 (2009)
-
- **地球型居住可能惑星の実見**
 - **系外惑星リング、衛星の実見**
 - **地球型惑星の直接検出(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?

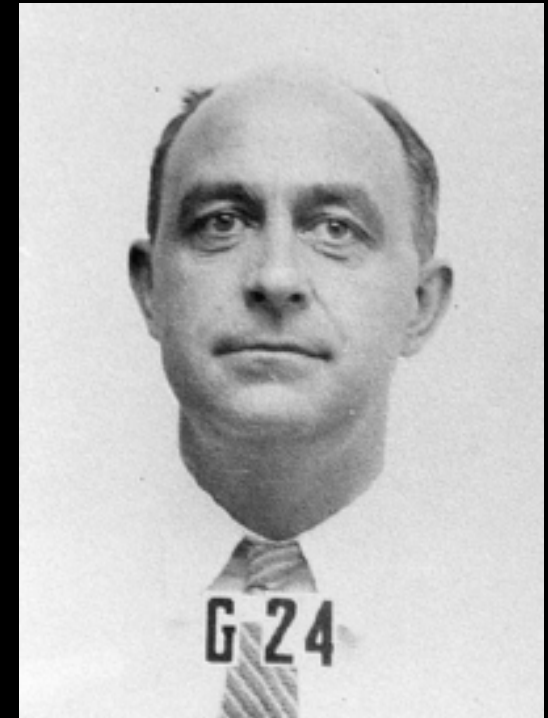
ブレイクスルー

1995年
系外惑星発見

2009年
系外惑星専用
衛星Kepler
打ち上げ

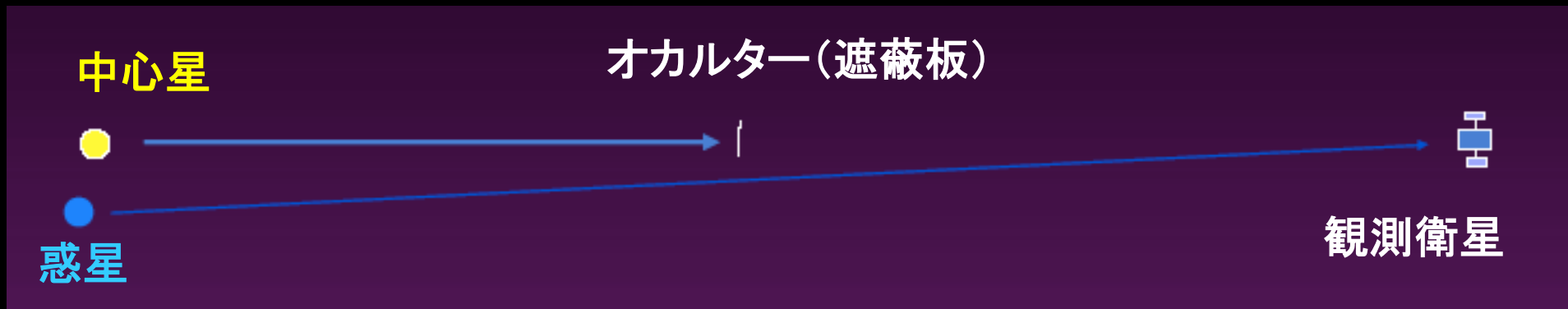
20XX年
ハビタブル惑星
発見???

フェルミの疑問 (フェルミのパラドクス)



- **Where are *they* ?**
 - 1950年、ロスアラモス研究所の昼食時にエンリコ・フェルミが問いかけたとされている

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

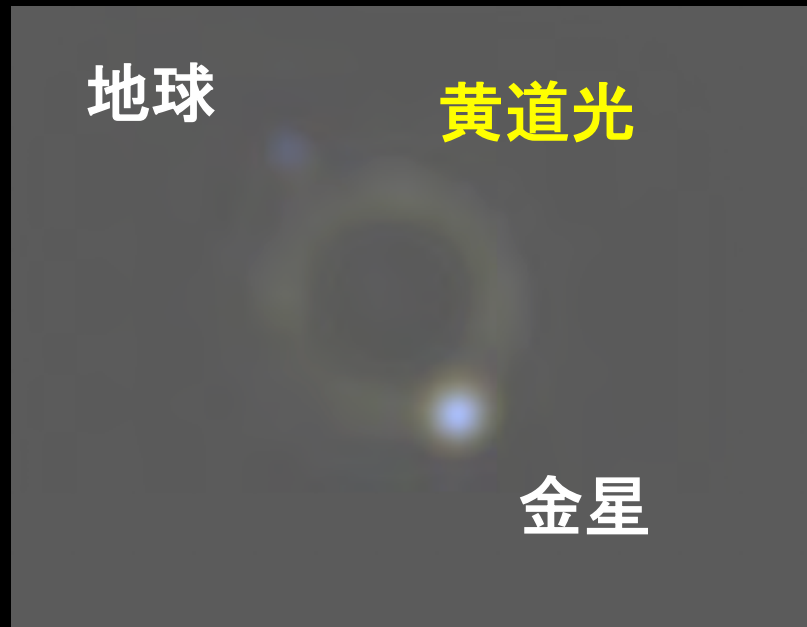


<http://newworlds.colorado.edu/>

- 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
 - 同様の計画はプリンストン大学でも検討中(O₃)

New Worlds Mission: simulated image

軌道面傾斜角=0°



軌道面傾斜角=60°



- 我々の太陽系の内惑星を(4m宇宙望遠鏡+オカルター)を用いて30光年先から観測した場合に予想される画像
- このようなミッションが実現した場合、一体何がどこまで分かるのだろうか?

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

大気中のバイオマーカー

酸素 (O₂) と水 (H₂O) 生命の存在しない世界でも、中心星からの光による水蒸気の分解で、惑星の大気中に少量の酸素ができる可能性はある。しかし、酸素ガスは雨に溶けたり、岩石の酸化や火山ガスの酸化に使われて減っていく。したがって、もし液体の水のある惑星に酸素が大量に存在すれば、酸素の発生源はほかにもあるはずだ。酸素発生型光合成が有力な候補となる。



オゾン (O₃) 地球の成層圏では、太陽光のエネルギーで酸素分子が分解され、これが再結合することでオゾンが生じる。液体の水とともにオゾンの存在が確認できれば、生命の強力な証拠となる。酸素は可視光領域で検出可能だし、オゾンも赤外波長域で検出できる。従来の望遠鏡で容易に観測できる。



メタン (CH₄) と酸素の組み合わせ、またはメタンの季節変動

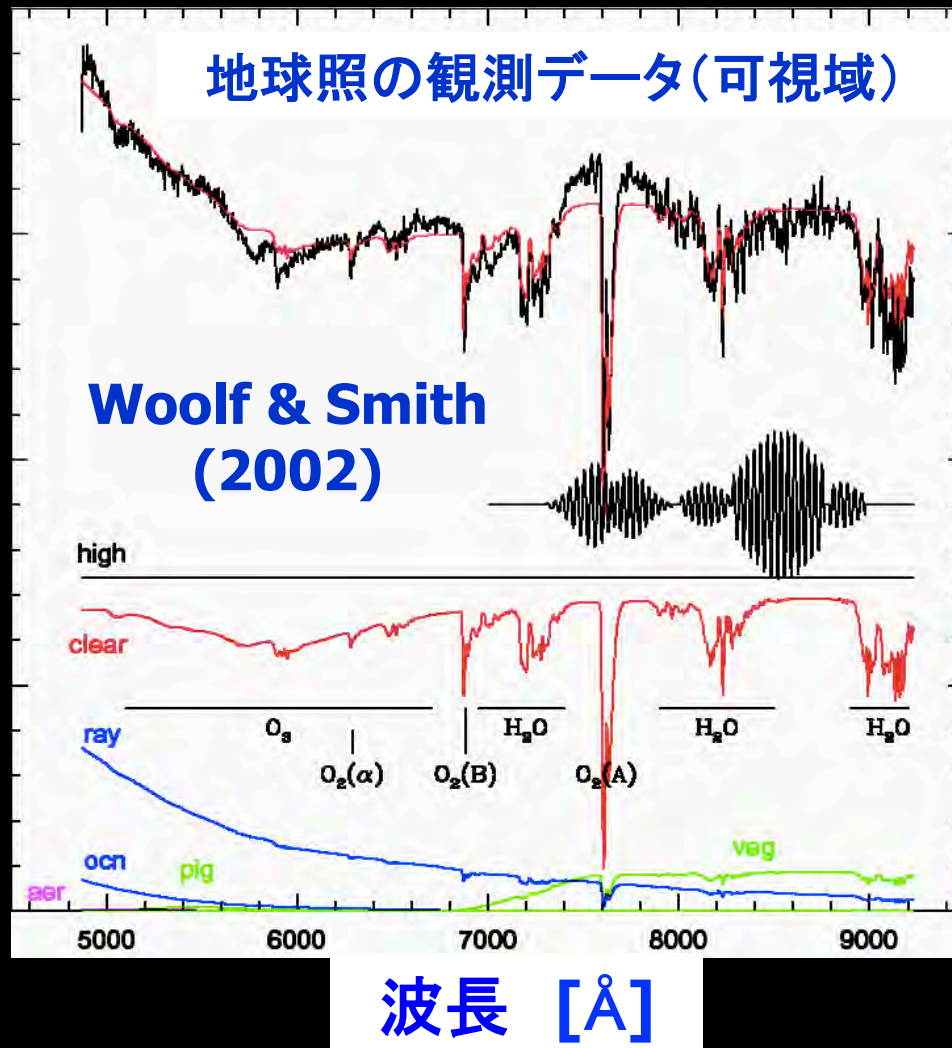
メタンと酸素は、光合成以外では生成されにくい特徴的な組み合わせだ。また、メタン濃度が季節変動を示したら、生命体の存在を示す優れた指標となる。生命の存在しない惑星では、メタン濃度はほぼ一定だが、恒星からの光がメタンを分解するために、長い時間をかけて徐々に低下する。



塩化メチル (CH₃Cl) 塩化メチルガスが地球上で生じるケースは、植物の燃焼（おもに森林火災）のほか、プランクトンや海水中の塩素に太陽光が作用することなどだ。塩化メチルは酸化されると分解する。しかし、M型星の放射は比較的弱いので、塩化メチルガスが検出可能な量まで蓄積する可能性がある。



常識的バイオマーカー（生物存在の証拠）



■ 酸素

- Aバンド@ $0.76 \mu\text{m}$
- Bバンド@ $0.69 \mu\text{m}$

■ 水

- $0.72, 0.82, 0.94 \mu\text{m}$

■ オゾン

- Chappuis バンド
@ $(0.5-0.7) \mu\text{m}$
- Hartley バンド
@ $(0.2-0.3) \mu\text{m}$

Kasting et al. arXiv:0911.2936

“Exoplanet characterization and the search for life”

より過激(保守的?)なバイオマーカー

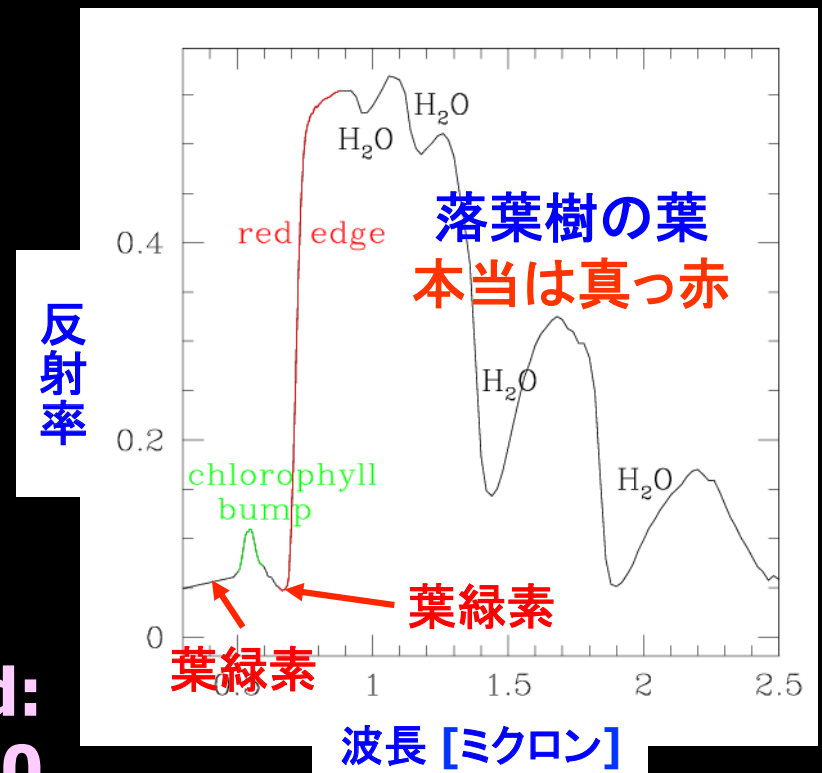
Extrasolar plants on extrasolar planets

- (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



Vesto Melvin Slipher (1875-1969)



レッドエッジをバイオマーカーとして使う先駆的な試み

- “spiral nebulae”（今で言う銀河）の赤方偏移を発見
- ハッブルによる宇宙膨張の発見に本質的寄与
- Plutoという名前を採択した

“Observations of Mars in 1924 made at the Lowell Observatory: II spectrum observations of Mars” PASP 36(1924)261



reflection spectrum. The Martian spectra of the dark regions so far do not give any certain evidence of the typical reflection spectrum of chlorophyl. The amount and types of vegetation required to make the effect noticeable is being investigated by suitable terrestrial exposures.

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

系外惑星の植物の色

- *The color of plants on other worlds*

- Nancy Y.Kiang

- Scientific American April 2008

- 邦訳：日経サイエンス2008年7月号



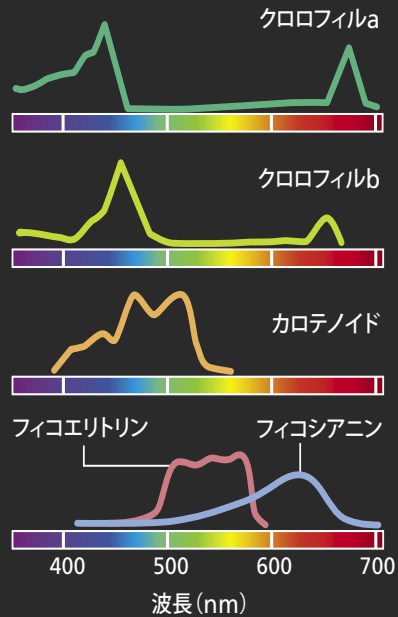
- 誤解・理解不足がある可能性が高いのであらかじめご容赦頂きたい

- 生物学との学際的な協力が、天文学にとっていかに大切かを示す具体例なので詳しく紹介

惑星表面での光のスペクトル： G型星の場合

光合成色素は、さまざまな波長域の光を吸収する。地球上のすべての陸上植物は、クロロフィルaとクロロフィルb、カロテノイド系色素なしには生存できない。藻類やシアノバクテリアはフィコビリ色素を使用する。

相対吸収度



恒星の光

大気に入射前の光は明瞭なスペクトルを示す。スペクトルの全体的な形状は、恒星の表面温度によって決まる。曲線上の切れ込みの一部は、恒星そのものの大気が吸収したことによる。

惑星表面

大気中のガスが恒星の放射する光を不均一に吸収し、そのピークの色をずらす。また、特定の波長を吸収するのでスペクトルに吸収帯が生じる。吸収帯は地球(太陽はG型)について最もよく知られている。

水面下

水は青色光は通すが、赤色光や赤外光を吸収する傾向がある。グラフは、水面下5cmおよび60cmにおける値を示す(成熟したM型星については酸素のほとんどない大気を想定した)。

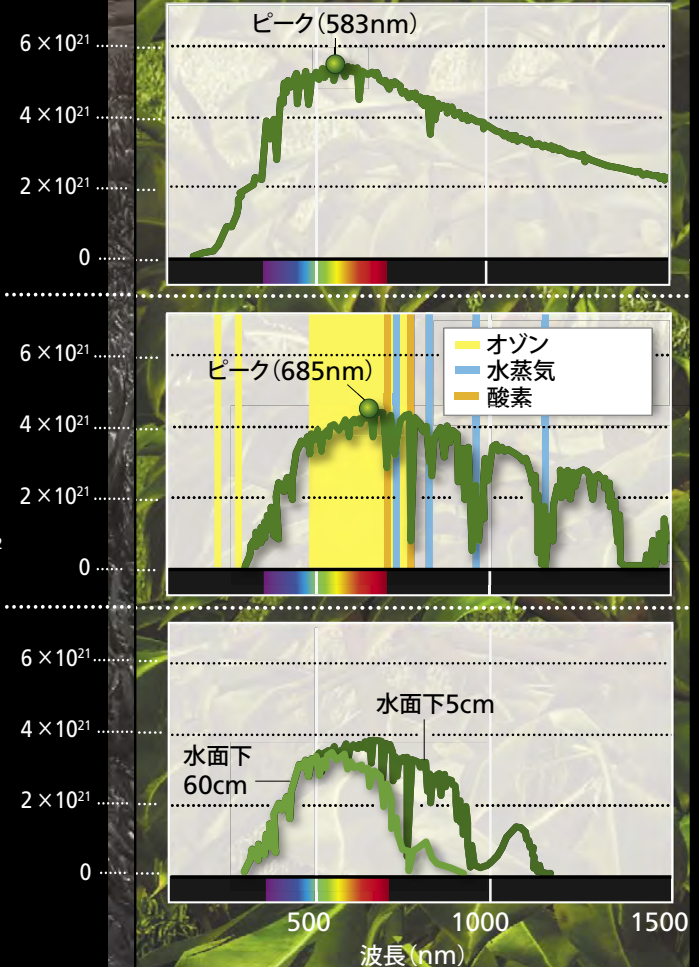
G型星

下の曲線は、地球上に注ぐ太陽光のスペクトルを示す

寿命：100億年

地球の軌道：1天文単位

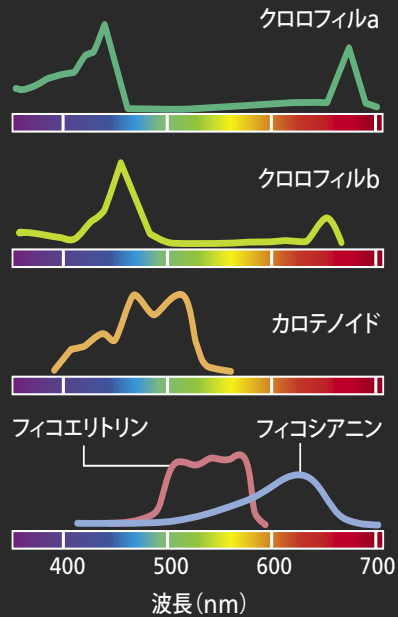
光量子束密度(1秒あたり、 1m^2 あたりの光子の数)



惑星表面での光のスペクトル： 古いM型星の場合

光合成色素は、さまざまな波長域の光を吸収する。地球上のすべての陸上植物は、クロロフィルaとクロロフィルb、カロテノイド系色素なしには生存できない。藻類やシアノバクテリアはフィコビリ色素を使用する。

相対吸収度



恒星の光

大気に入射前の光は明瞭なスペクトルを示す。スペクトルの全体的な形状は、恒星の表面温度によって決まる。曲線上の切れ込みの一部は、恒星そのものの大気が吸収したことによる。

惑星表面

大気中のガスが恒星の放射する光を不均一に吸収し、そのピークの色をずらす。また、特定の波長を吸収するのでスペクトルに吸収帯が生じる。吸収帯は地球(太陽はG型)について最もよく知られている。

水面下

水は青色光は通すが、赤色光や赤外光を吸収する傾向がある。グラフは、水面下5cmおよび60cmにおける値を示す(成熟したM型星については酸素のほとんどない大気を想定した)。

成熟したM型星

質量*: 0.2

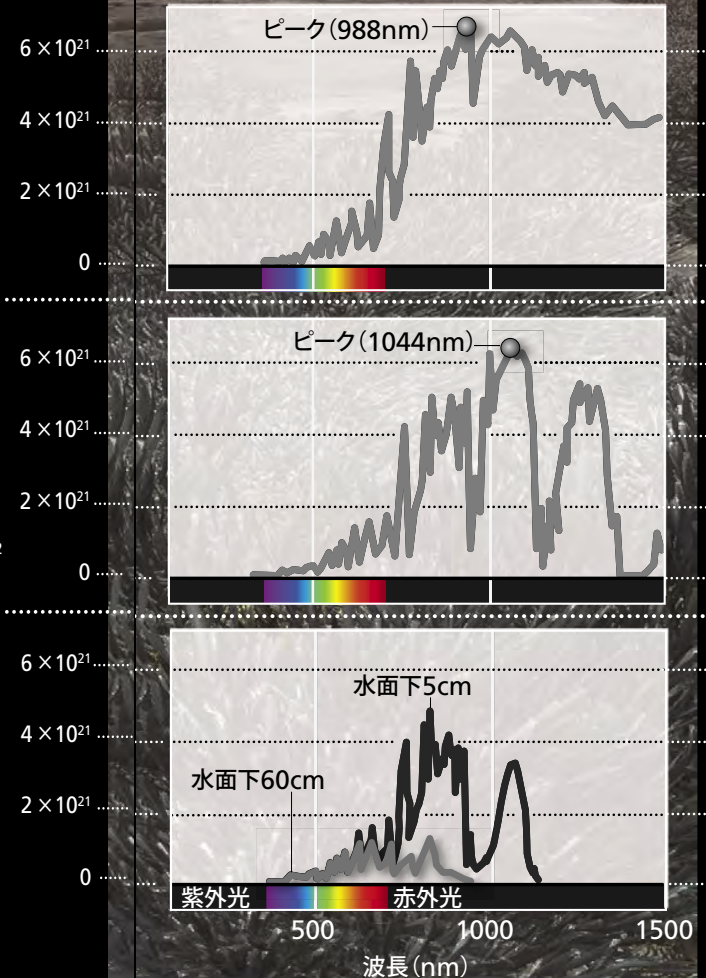
光度*: 0.0044

寿命: 5000 億年

モデル惑星の軌道: 0.07天文単位

* 太陽に対する相対値, 天文単位は太陽と地球の平均距離

光子束密度(1秒あたり、1m²あたりの光子の数)



惑星表面での光のスペクトル： 若いM型星の場合

若いM型星

質量*: 0.5

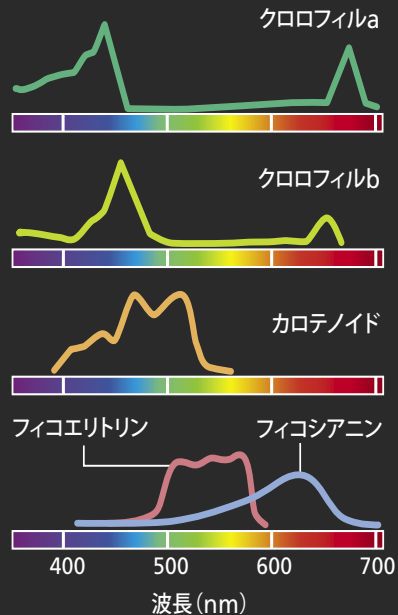
光度*: 0.023

寿命: 2000億年 (フレアの発生は
星の誕生から10億年後まで続く)

モデル惑星の軌道: 0.16天文単位

光合成色素は、さまざまな波長域の光を吸収する。地球上のすべての陸上植物は、クロロフィルaとクロロフィルb、カロテノイド系色素なしには生存できない。藻類やシアノバクテリアはフィコビリ色素を使用する。

相対吸収度



恒星の光

大気に入射前の光は明瞭なスペクトルを示す。スペクトルの全体的な形状は、恒星の表面温度によって決まる。曲線上の切れ込みの一部は、恒星そのものの大気が吸収したことによる。

惑星表面

大気中のガスが恒星の放射する光を不均一に吸収し、そのピークの色をずらす。また、特定の波長を吸収するのでスペクトルに吸収帯が生じる。吸収帯は地球(太陽はG型)について最もよく知られている。

水面下

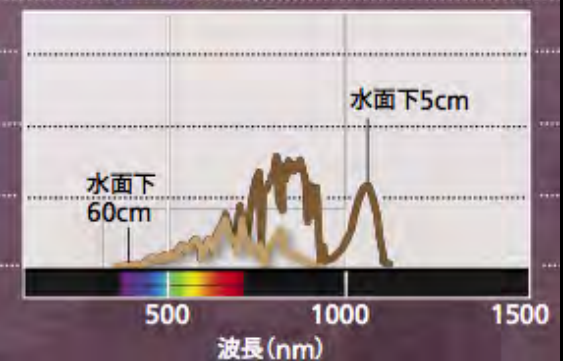
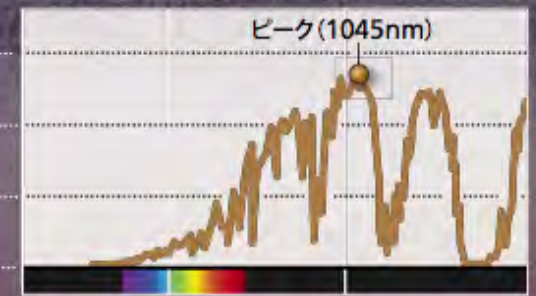
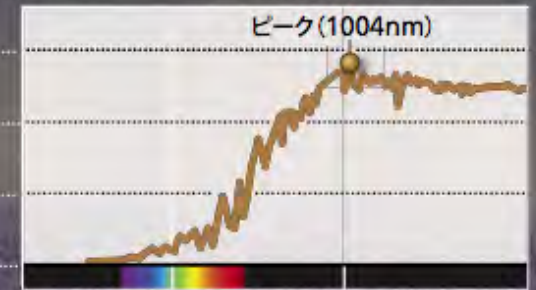
水は青色光は通すが、赤色光や赤外光を吸収する傾向がある。グラフは、水面下5cmおよび60cmにおける値を示す(成熟したM型星については酸素のほとんどない大気を想定した)。

光子束密度(1秒あたり、1m²あたりの光子の数)

6 × 10²¹
4 × 10²¹
2 × 10²¹
0

6 × 10²¹
4 × 10²¹
2 × 10²¹
0

6 × 10²¹
4 × 10²¹
2 × 10²¹
0



惑星表面での光のスペクトル： F型星の場合

F型星

質量*：1.4

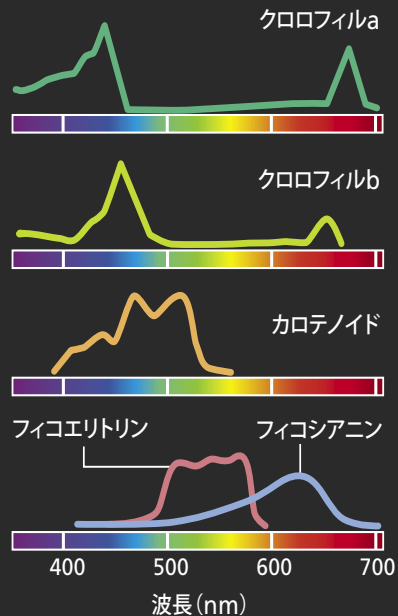
光度*：3.6

寿命：30億年

モデル惑星の軌道：1.69天文単位

光合成色素は、さまざまな波長域の光を吸収する。地球上のすべての陸上植物は、クロロフィルaとクロロフィルb、カロテノイド系色素なしには生存できない。藻類やシアノバクテリアはフィコビリ色素を使用する。

相対吸収度



恒星の光

大気中に入射前の光は明瞭なスペクトルを示す。スペクトルの全体的な形状は、恒星の表面温度によって決まる。曲線上の切れ込みの一部は、恒星そのものの大気が吸収したことによる。

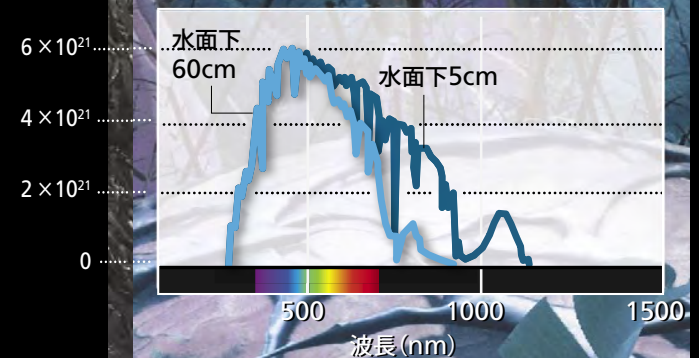
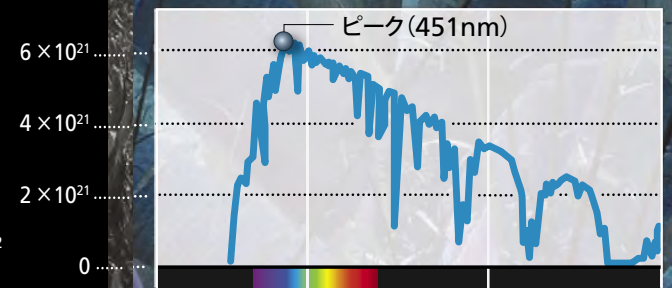
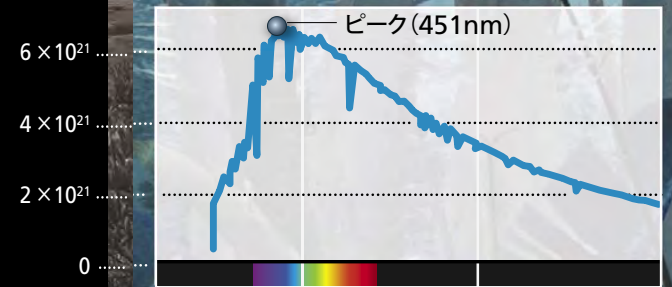
惑星表面

大気中のガスが恒星の放射する光を不均一に吸収し、そのピークの色をずらす。また、特定の波長を吸収するのでスペクトルに吸収帯が生じる。吸収帯は地球(太陽はG型)について最もよく知られている。

水面下

水は青色光は通すが、赤色光や赤外光を吸収する傾向がある。グラフは、水面下5cmおよび60cmにおける値を示す(成熟したM型星については酸素のほとんどない大気を想定した)。

光量子束密度(1秒あたり、1m²あたりの光子の数)



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



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

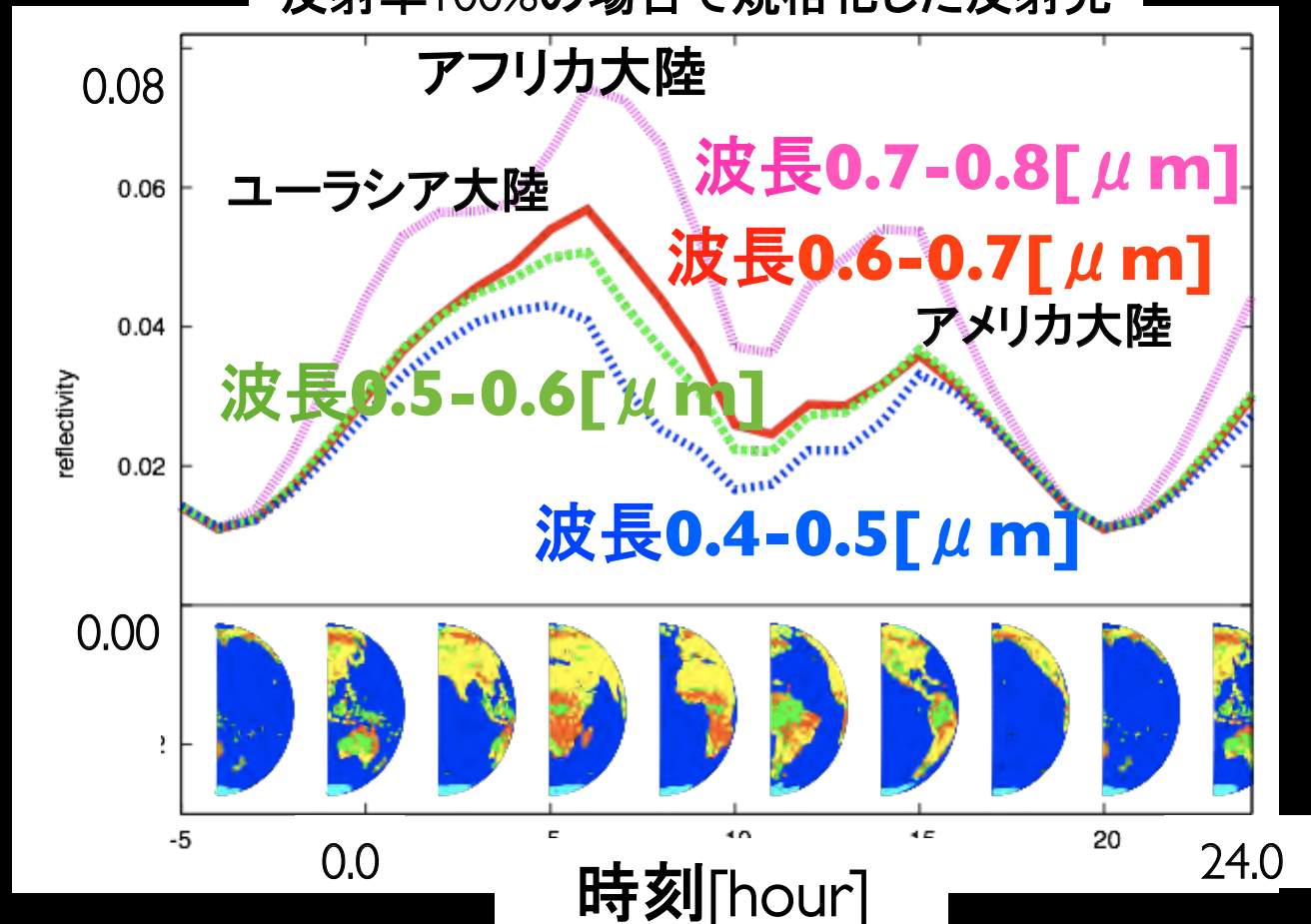


自転に伴う反射光の色の時間変動のシミュレーション

- 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？

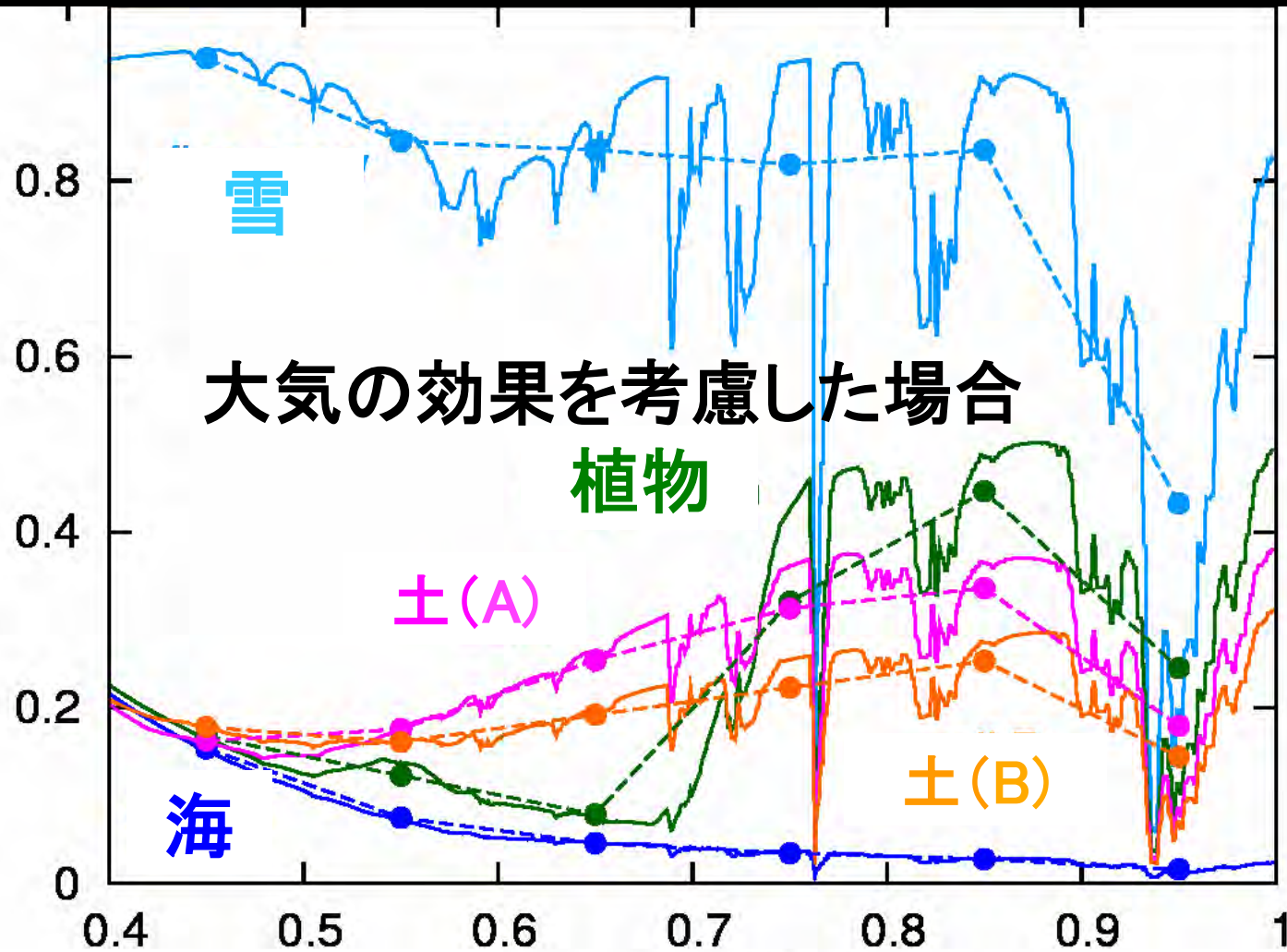
反射率100%の場合で規格化した反射光



Fujii et al. (2010)

等方散乱近似での反射スペクトル

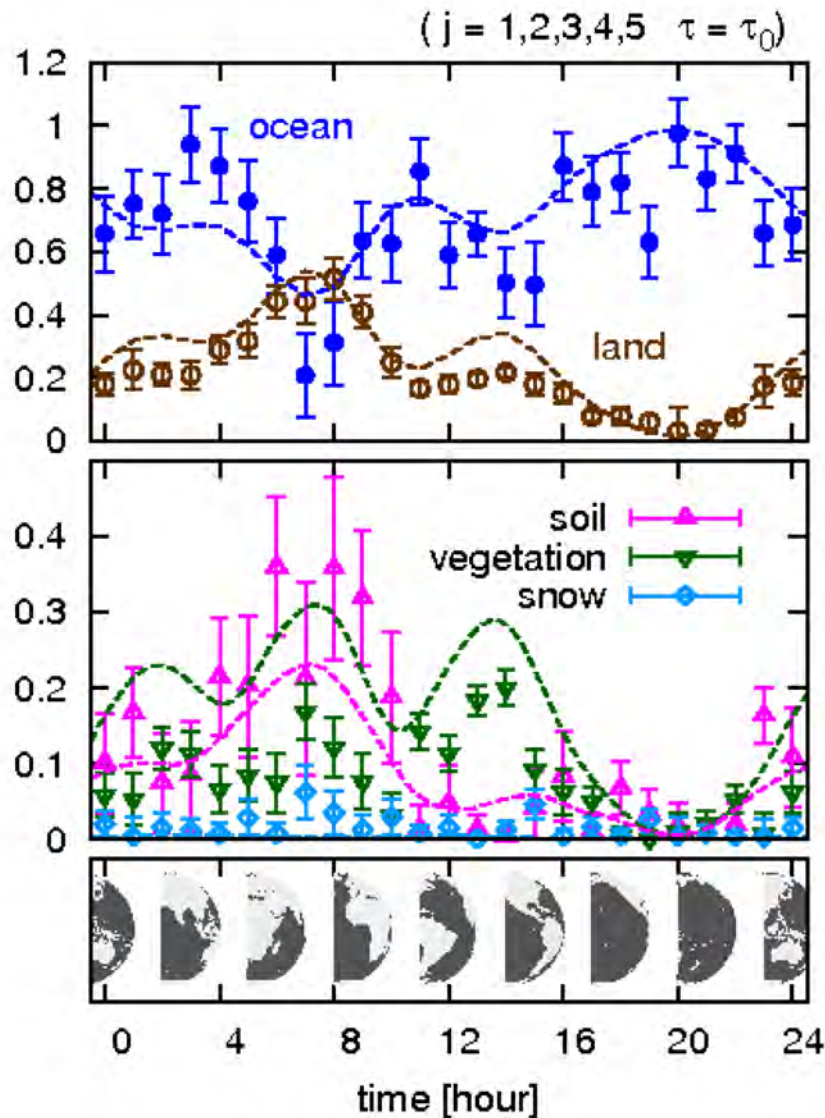
反射率(アルベド)



波長 [ミクロン]

第二の地球の色から表面積を推定

(重みつき)表面積比



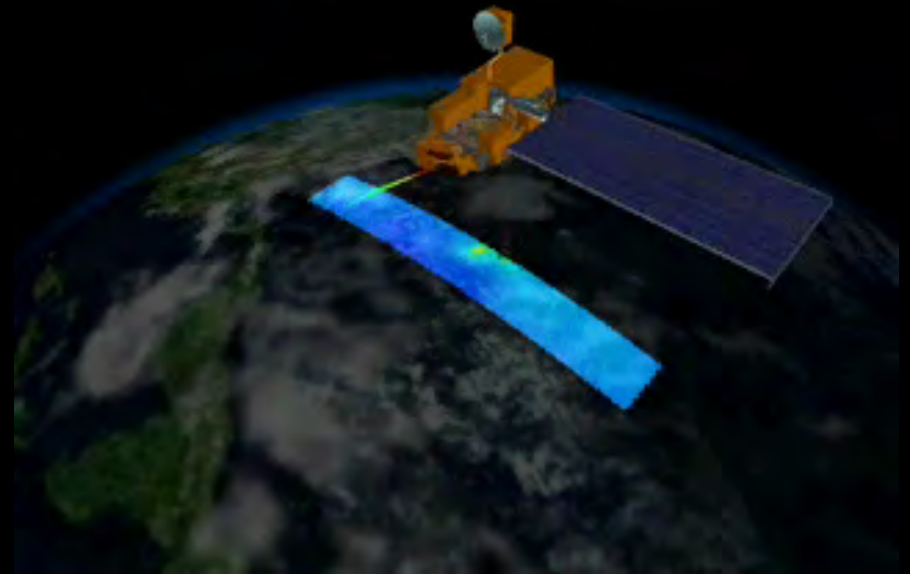
- 雲が存在せず、かつ中心星の光が完全にブロックできた場合
- 10pc先の地球を口径4mの宇宙望遠鏡で1週間観測
- レイリー散乱の一次近似
- 海、土、植物、雪の4つの成分の面積比を推定
- 結構イケテル！

Fujii et al. (2010)

順問題：地球の反射光計算

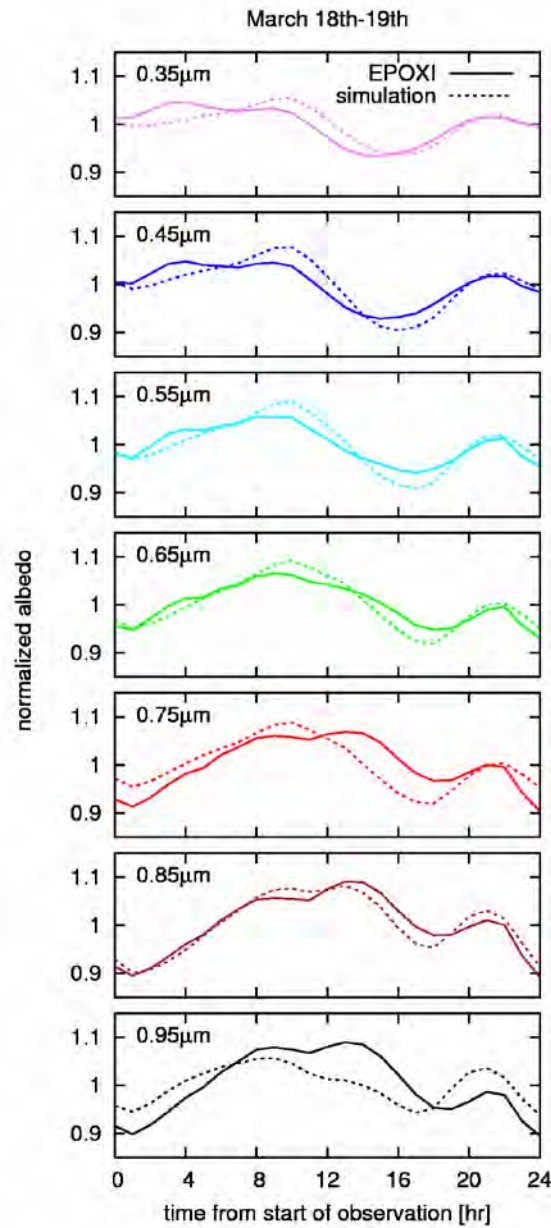
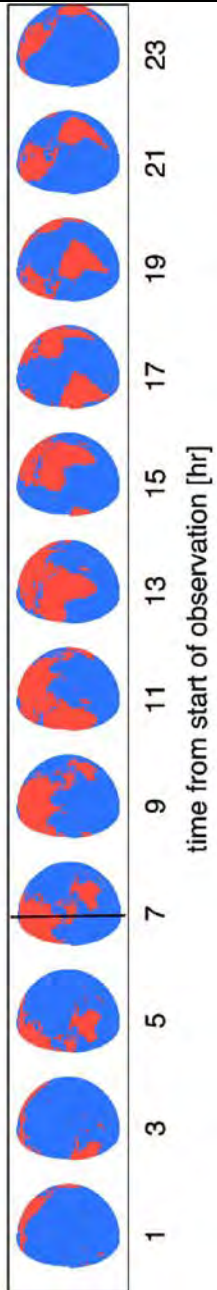
- 地球観測衛星TerraのMODIS検出器から作成された経験的反射モデルを用いて、ある日時地球の7バンドの模擬光度曲線を作成。それを実際のEPOXI衛星の観測データと比較
 - 陸地： $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ のピクセル毎に決められた反射特性のパラメータ(BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function)を用いて足し合わせる
 - 海：MODISデータにない海に対してはNakajima & Tanaka (1983)のBRDFモデルを用いて計算
 - 雪：その月の平均的雪分布データを用いる
 - 雲：その日の雲分布データを(時刻には関係なく)用いる
 - 大気と雲の輻射輸送数値コードrstar6bで計算

Earth observing satellite **Trace** (Transition
Region and Coronal Explorer)
+ detector **Modis** (Moderate Resolution
Imaging Spectroradiometer)

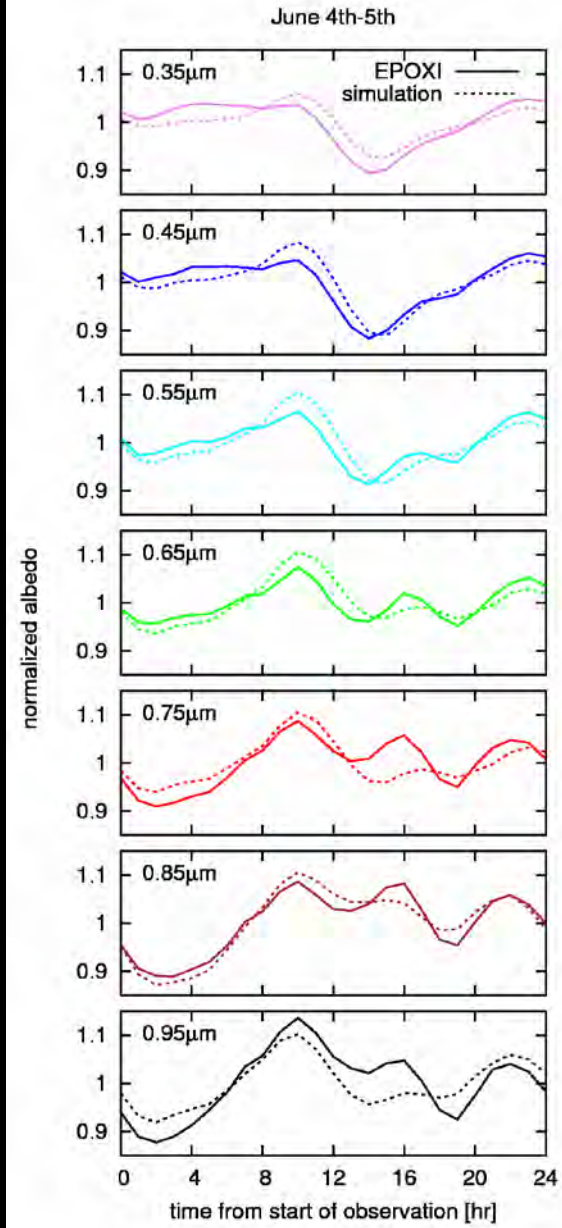
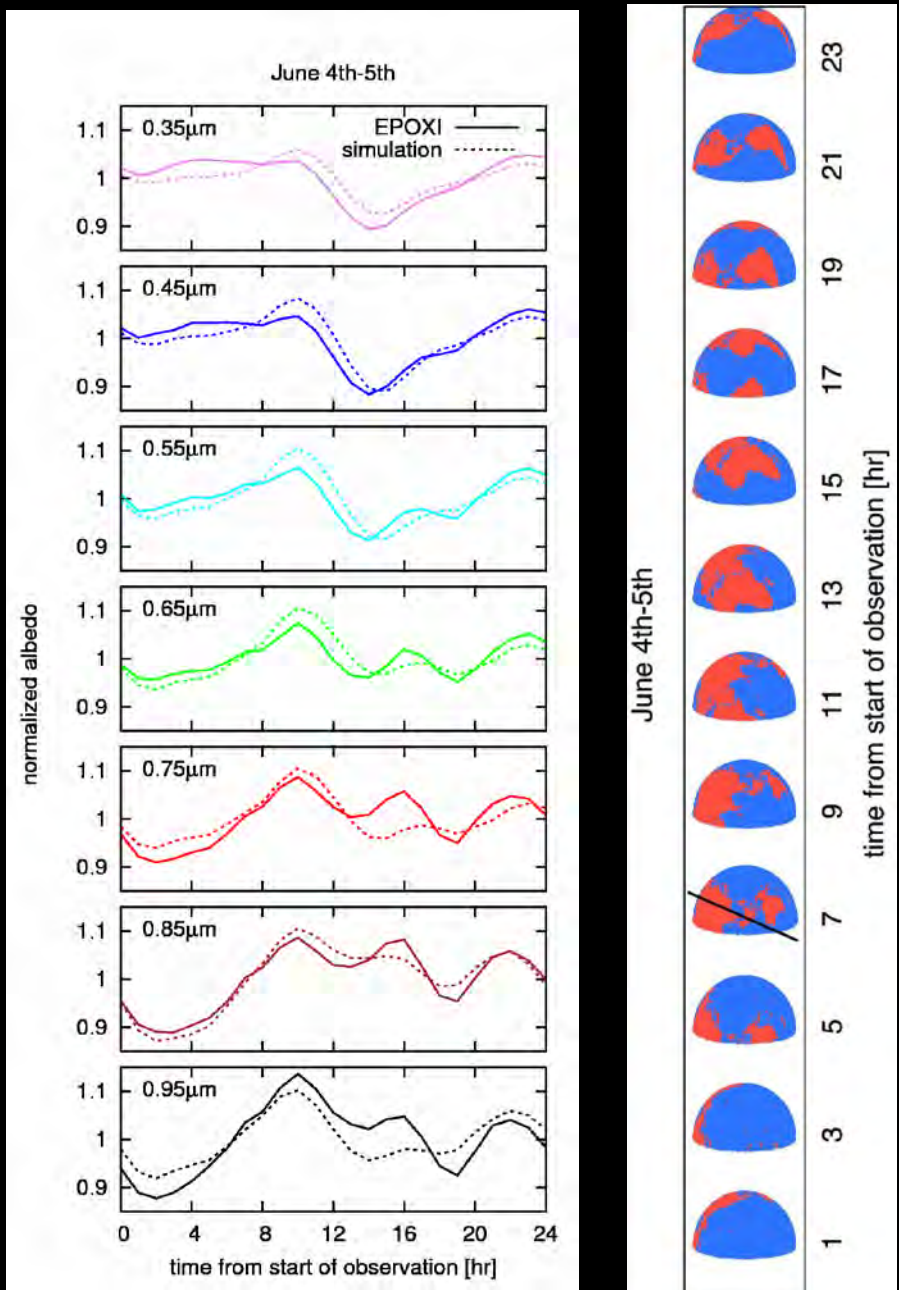


模擬光度曲線と地球観測データの比較(雲あり)

March 18th-19th



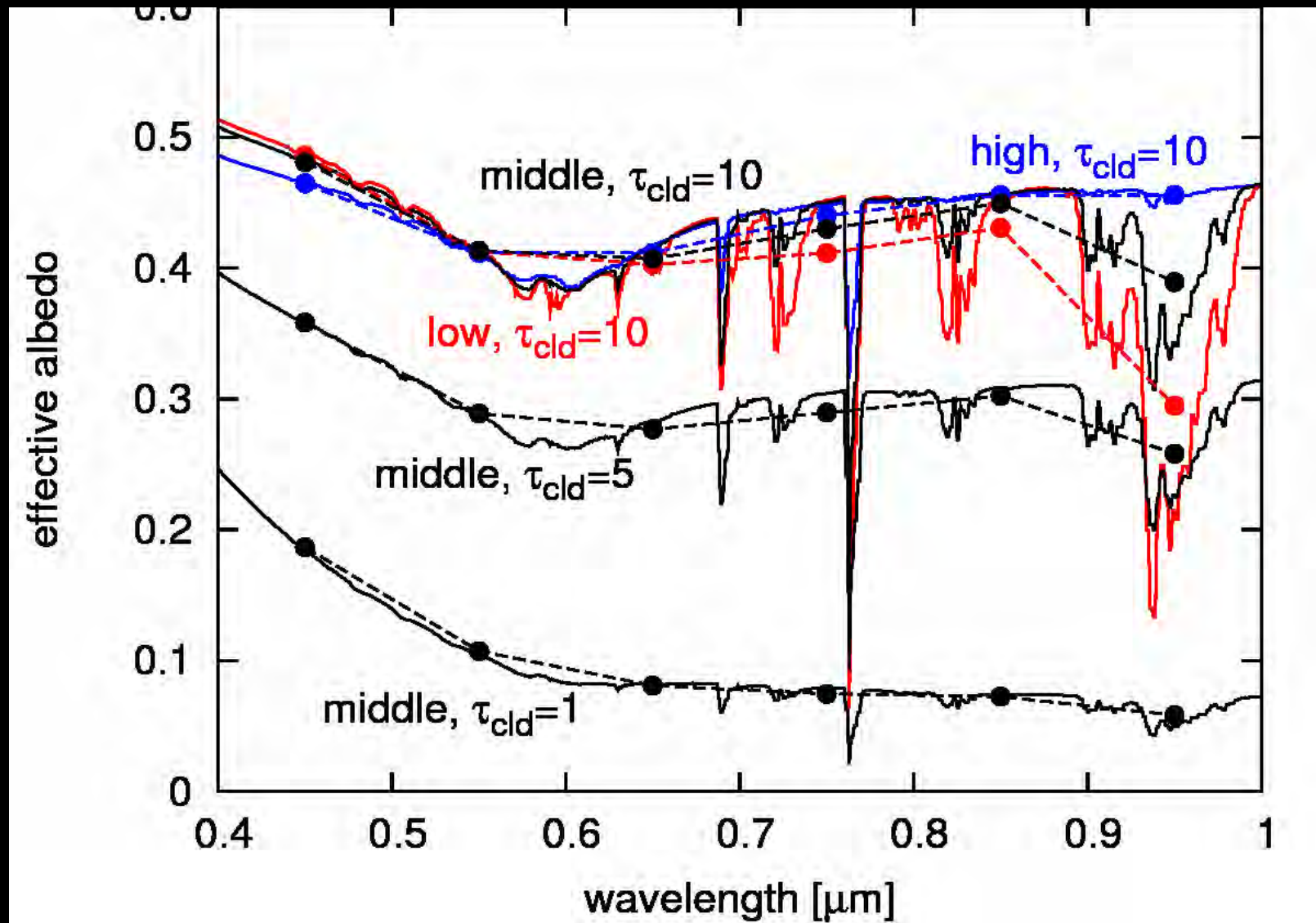
June 4th-5th



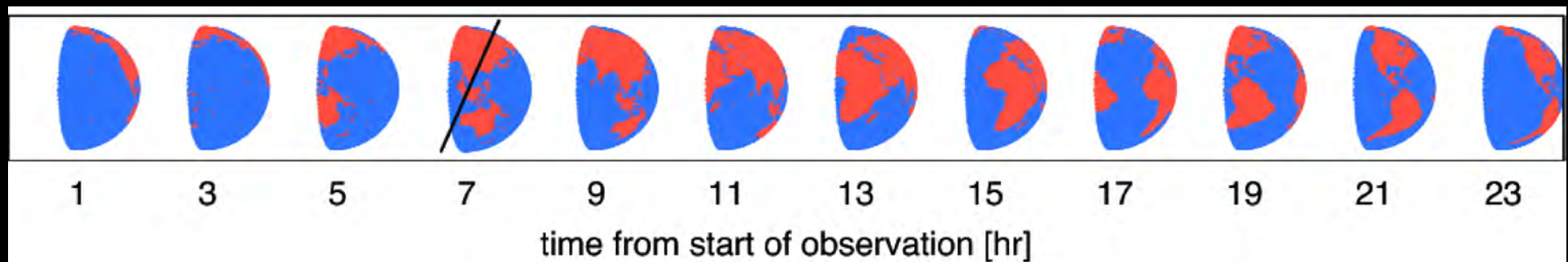
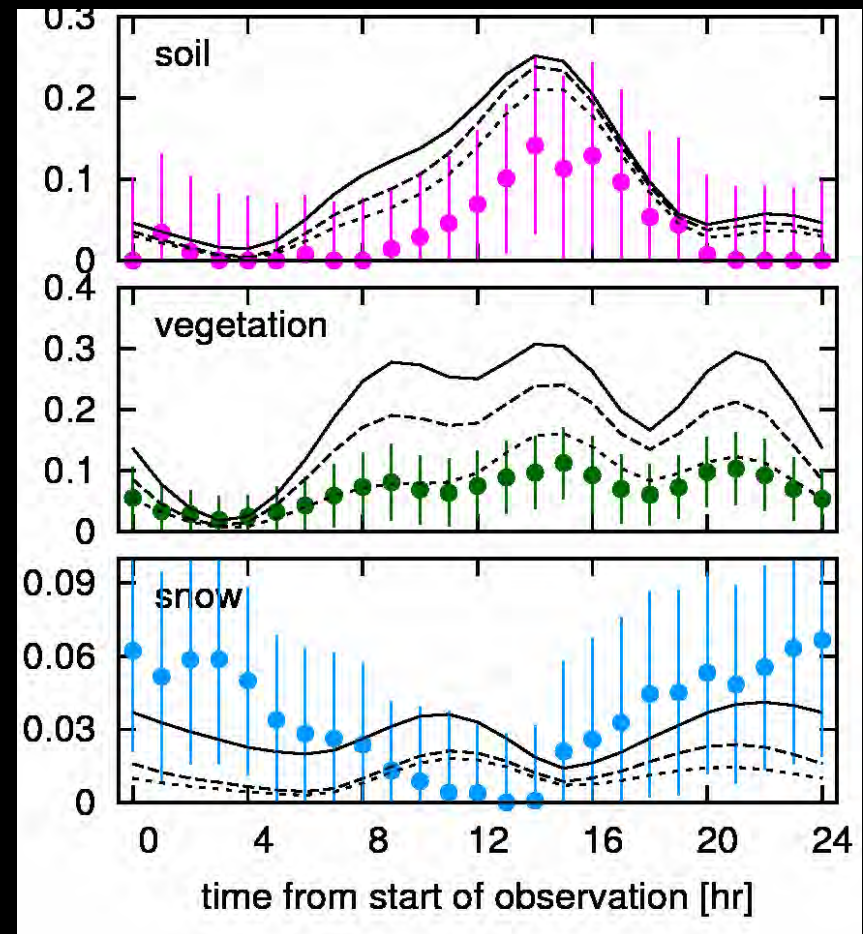
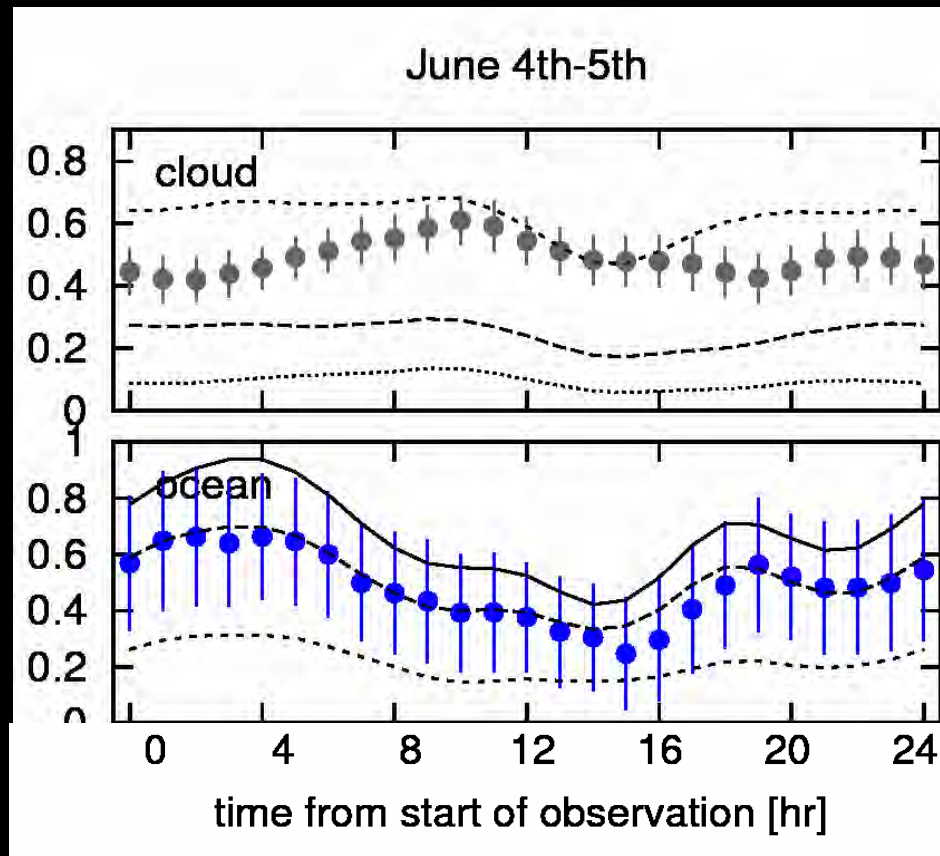
逆問題：地球の成分ごとの面積の推定

- EPOXIデータを、単純化されたモデル(等方散乱で近似した海、土、植物、雪、雲の5成分)でフィットして、成分ごとの面積を推定する
 - 系外惑星の場合には、中心星の光がブロックされた極度に理想的な観測に対応(可能性の限界)
 - 各観測中の自転や公転の効果は無視
 - 雲については、ある光学的厚さ τ (今回は10とする)の単一モデルを想定
 - 大気も「米国標準大気」と呼ばれる組成、圧力・温度プロファイルを仮定

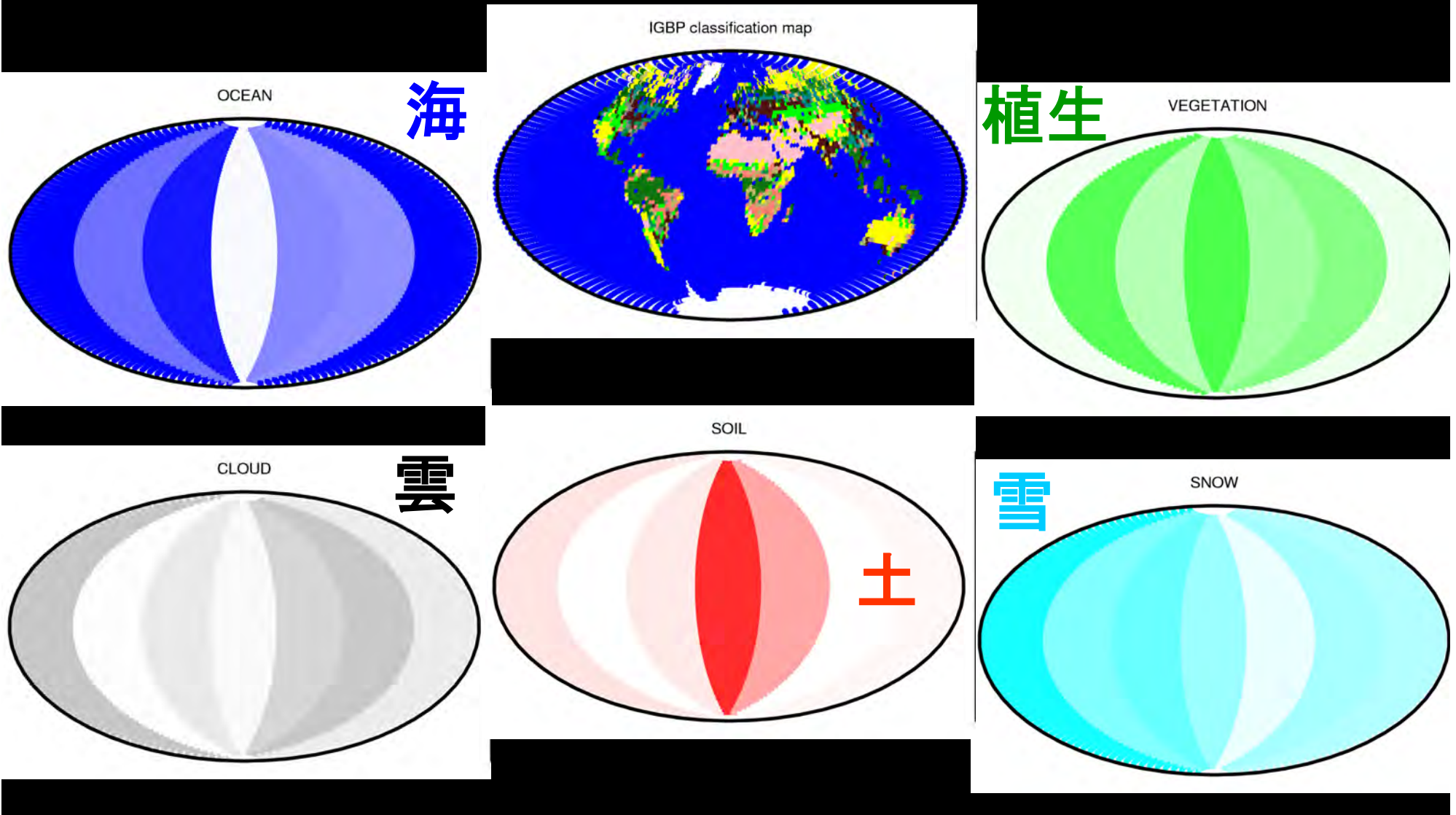
雲の反射スペクトル:モデル依存性



EPOXIデータから推定された面積



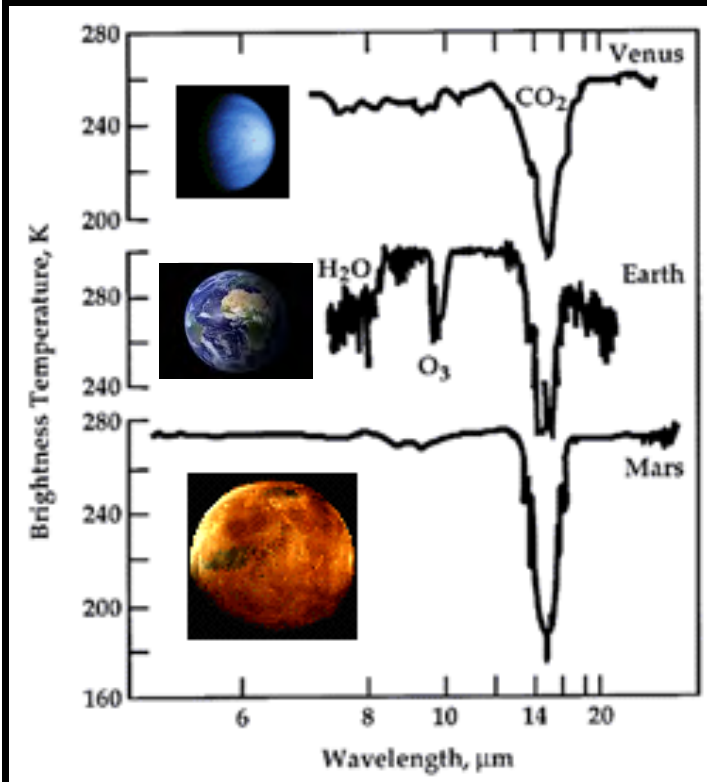
地球測光観測データから推定された 地表面成分の経度分布地図



太陽系外惑星：まとめ

- 1995年に天文学が「世界観」を大きく広げた
 - 今や惑星系は固有名詞ではなく、普通名詞
- 惑星系の存在は普遍的だが、性質は多種多様
 - 太陽に似た恒星の30パーセント以上は惑星を持つ
 - 太陽系と似た系もかけ離れた系も存在する
- 宇宙における生命の起源とその普遍性という究極の問いに、科学的立場から答えられる日が来る可能性もある
 - 「第2の地球」の発見をめざして、数多くの観測が実行中・計画中

太陽系外惑星：そのさきにあるもの “天文学から宇宙生物学へ”



- 地球型惑星の発見
- 居住可能(ハビタブル)惑星の発見
 - 水が液体として存在する地球型惑星
- バイオマーカーの提案と検出
 - 酸素、水、オゾン、植物、核爆発、、
- 超精密分光観測の成否が鍵！
 - 惑星の放射・反射・吸収スペクトルを
中心星から分離する

- 直接見に行くことができない系外惑星の表面組成・分布を天文観測だけでどこまで推定できるか
- 植物の有無を通じて宇宙生物学に至る一つの道

予想もできない展開が待っているはず

■ 最初にかかるのはどれだろう

- 地球外生物の痕跡の天文学的検出
- 実験室での人工生物の誕生
- 地球外文明からの交信の検出
- 地球文明の破滅（いったん発達した文明は、疫病、核戦争、資源の枯渇などの要因で不安定）

■ 交信できるレベルまで安定に持続した地球外文明の有無を知ることは、我々の未来を知ることと同じ

*Le Petit Prince:
(par Antoine de Saint
Exupéry)*

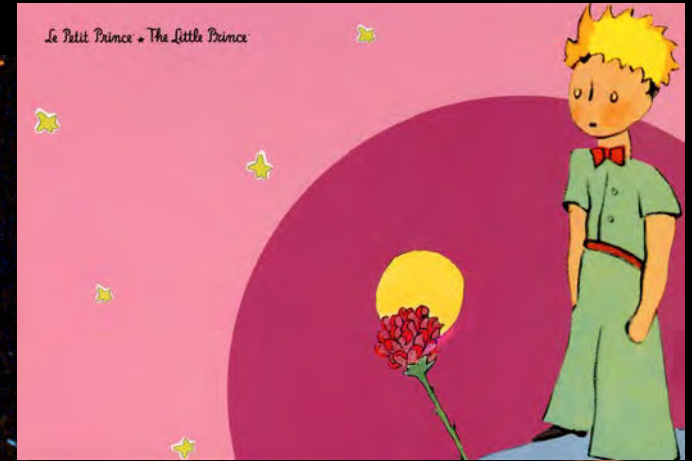


Si quelqu'un aime une fleur qui n'existe qu'à un exemplaire dans les millions et les millions d'étoiles, ça suffit pour qu'il soit heureux quand il les regarde. Il se dit: "Ma fleur est là quelque part . . . "

系外惑星・宇宙生物学

研究の心

「星の王子様」より



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