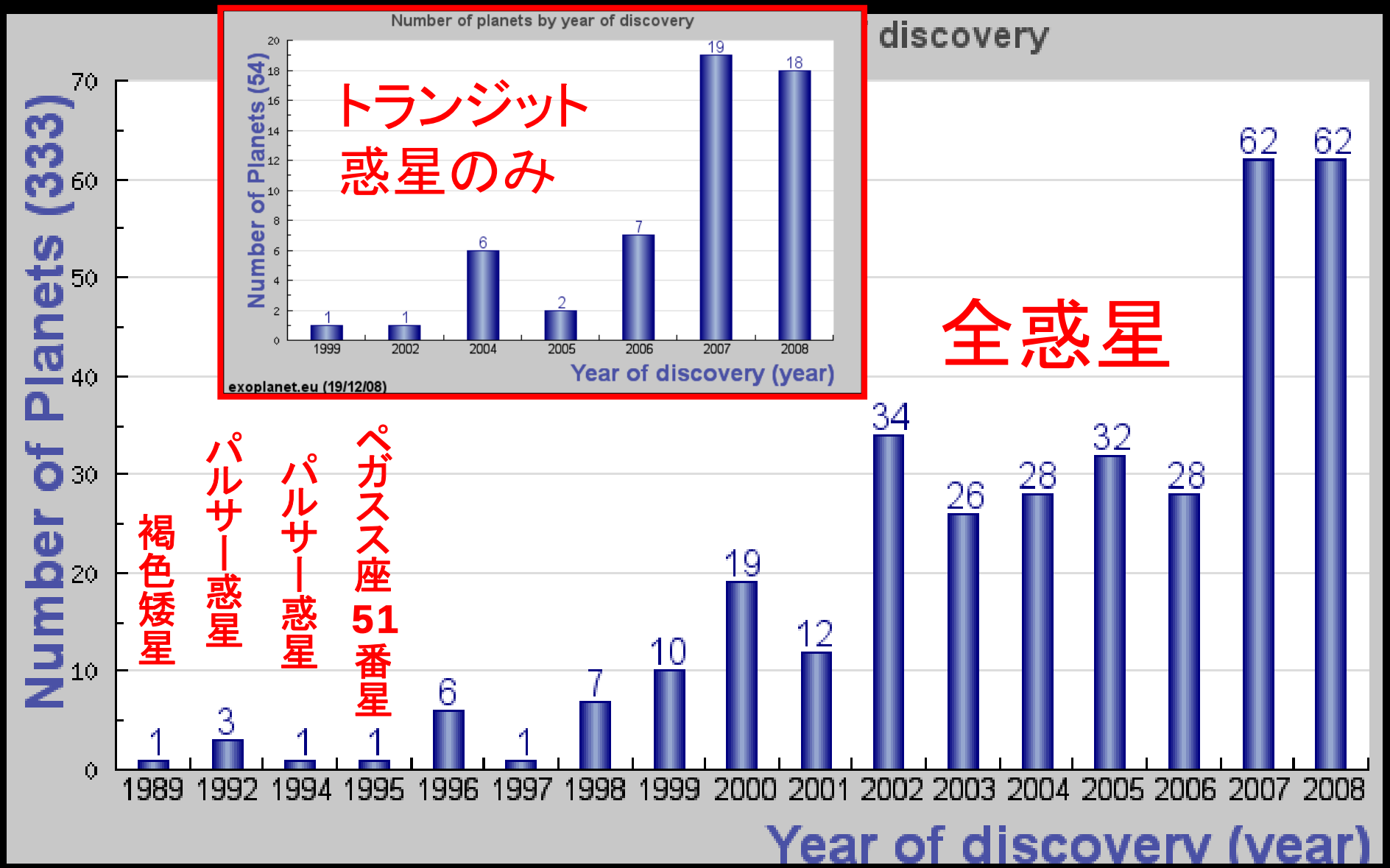
系外惑星探査:その次

南半球宇宙地球観測
シンポジウム
@名古屋大学
野依記念学術交流館
2009年6月25日

Terra衛星のMODIS検出器のデータ
http://modarch.gsfc.nasa.gov/
http://www.nasa.gov/home/index.html

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻
須藤　靖、藤井友香、河原創、樽家篤史、太田泰弘
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

太陽系外惑星（候補）の発見年表



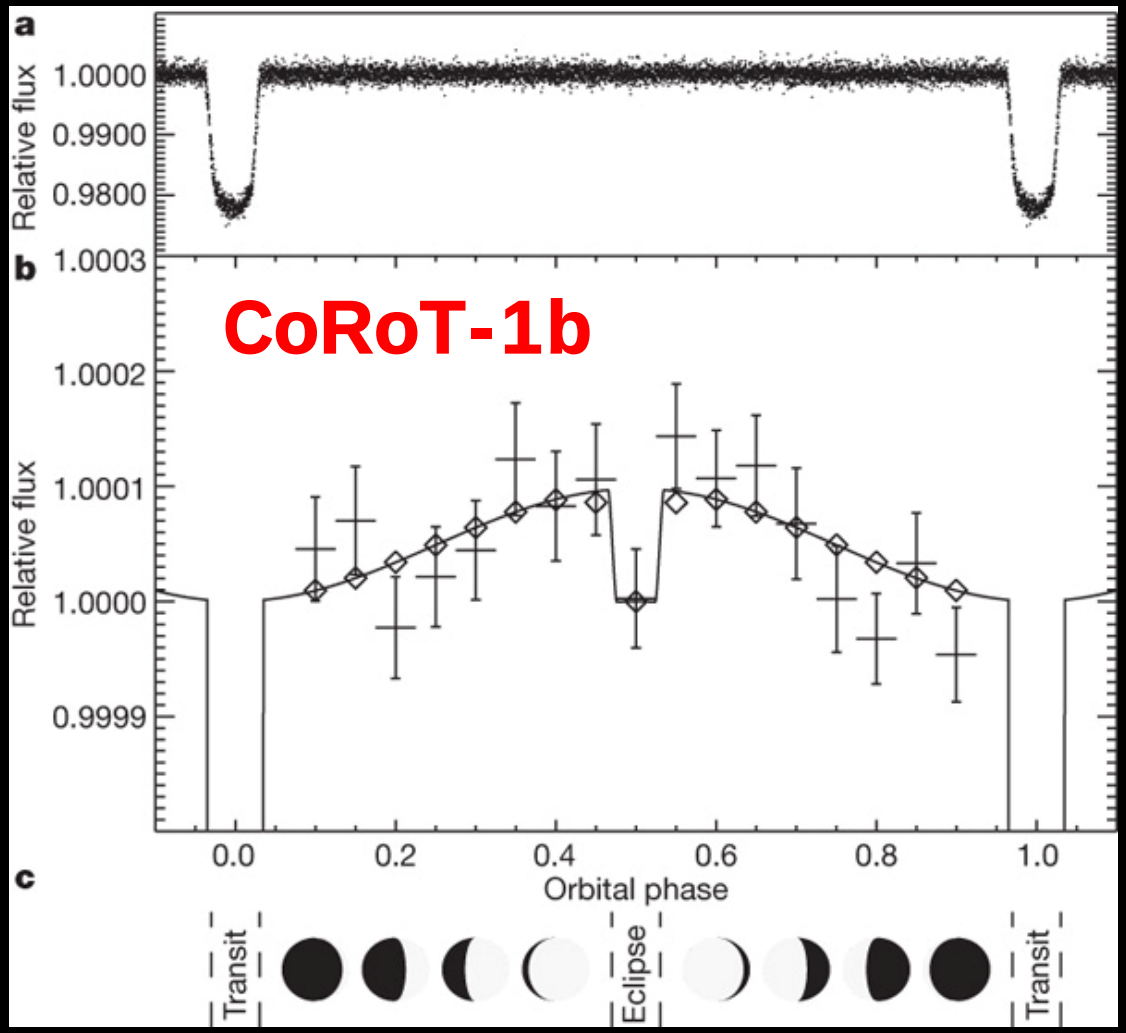
すでに学んだこと

- 惑星（系）は稀なものでなく普遍的存在
  - G型星の10パーセント程度は惑星を持つ
- 惑星系の性質は多種多様
  - 太陽系と似た系もかけ離れた系も存在する
  - 惑星大気の発見
  - 惑星反射光の検出
- 様々な間接的観測手法での相補的アプローチ
  - ドップラー法（精密分光）、トランジット法（精密測光）、重力レンズ（高時間分解能測光）
- 重力レンズで見つかった惑星は直接観測の格好のターゲット（中心星からの距離が大）

近い将来の観測的マイルストーン

- 地球型惑星の発見（精密測光・分光）
- ハビタブルゾーンにある惑星の発見
- 複数の惑星がトランジットする惑星系の発見
- 系外惑星の衛星の発見（トランジット時刻の残差）
- 系外惑星のリングの発見（トランジット時の精密測光・分光）

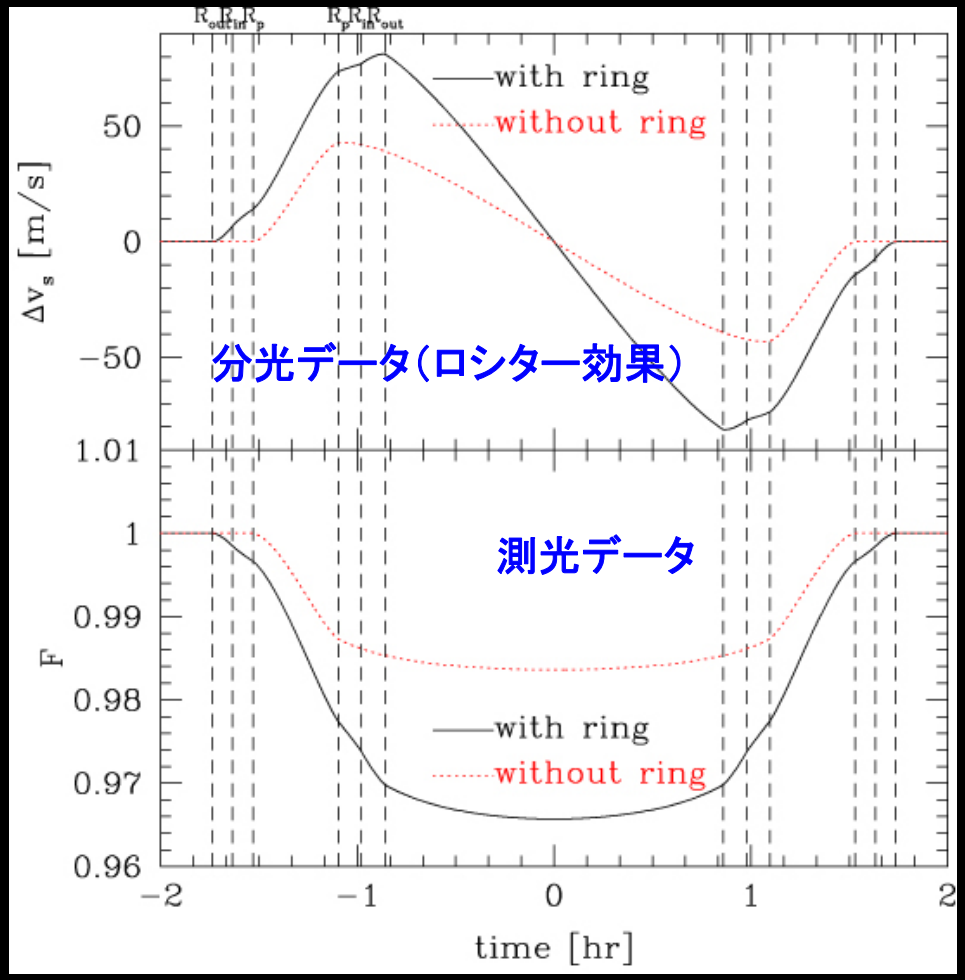
CoRoT-1bの反射光の検出

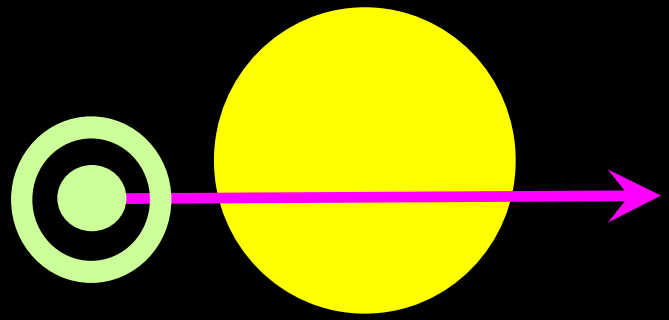


- CoRoT-1b: トランジット惑星(周期＝1.5日)
- Convection, Rotation and planetary Transit (2006年12月27日打ち上げ)
- 55日間測光モニター
  - 反射光（7100Å）検出
  - 表面温度　2430K
  - 0.02<albedo<0.2

Snellen, de Mooji & Albrecht: Nature 459(2009)543

惑星リング存在の兆候を探れるか？

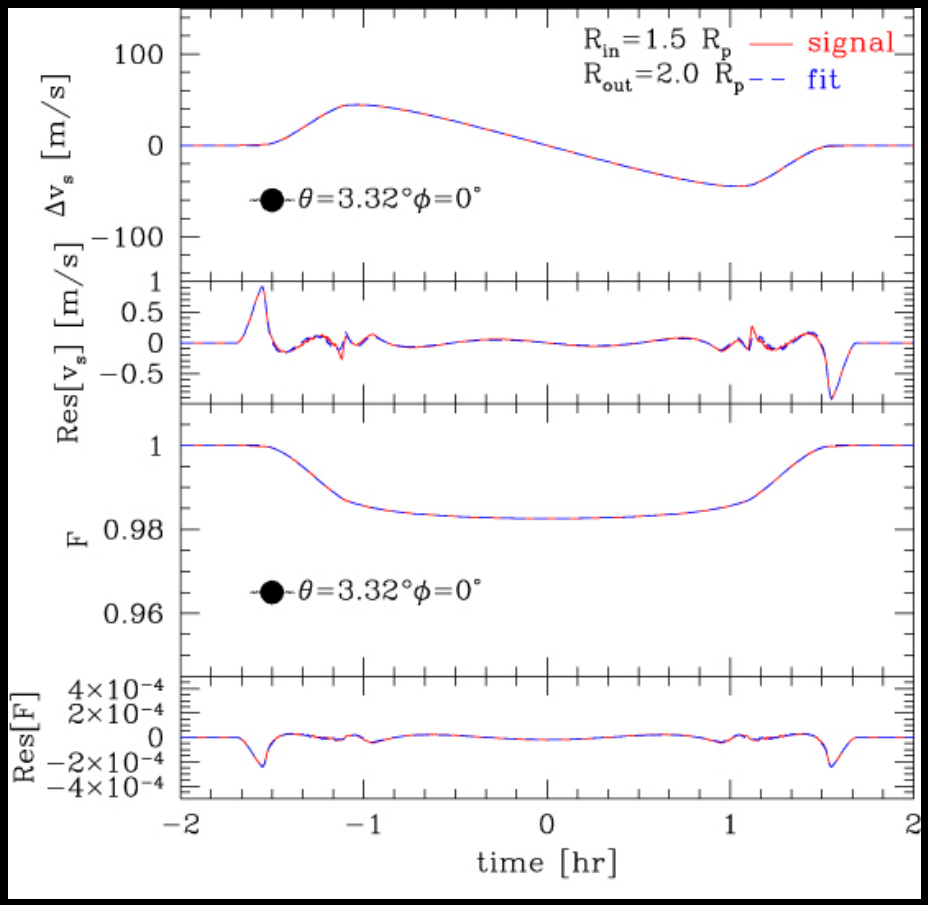


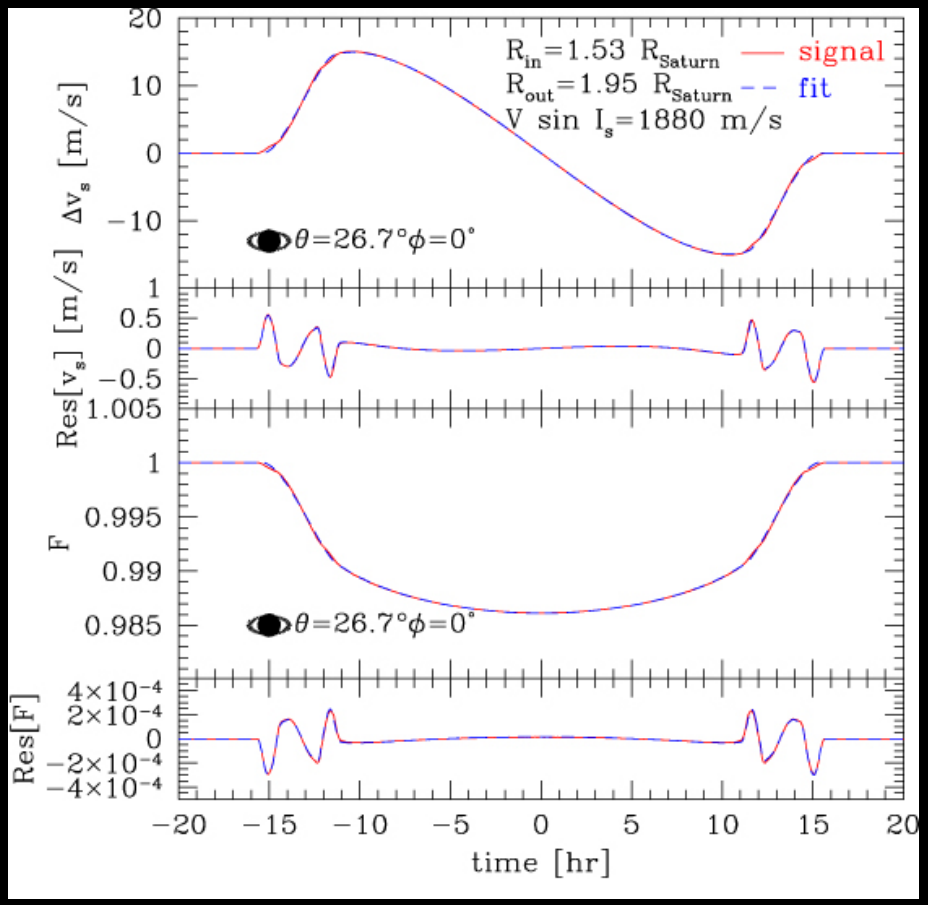


- リングの外径・内径、間隙、惑星本体の通過時に不連続な変化
- リングなしでフィットしたモデルとの残差を統計解析

Ohta, Taruya & Suto ApJ 690(2009)1

HD209458bと土星の場合どう見える？





- 「もしリングがあれば」何とか検出可能 (S/N=3)

Ohta, Taruya & Suto ApJ 690(2009)1

さらにもっと将来の展望

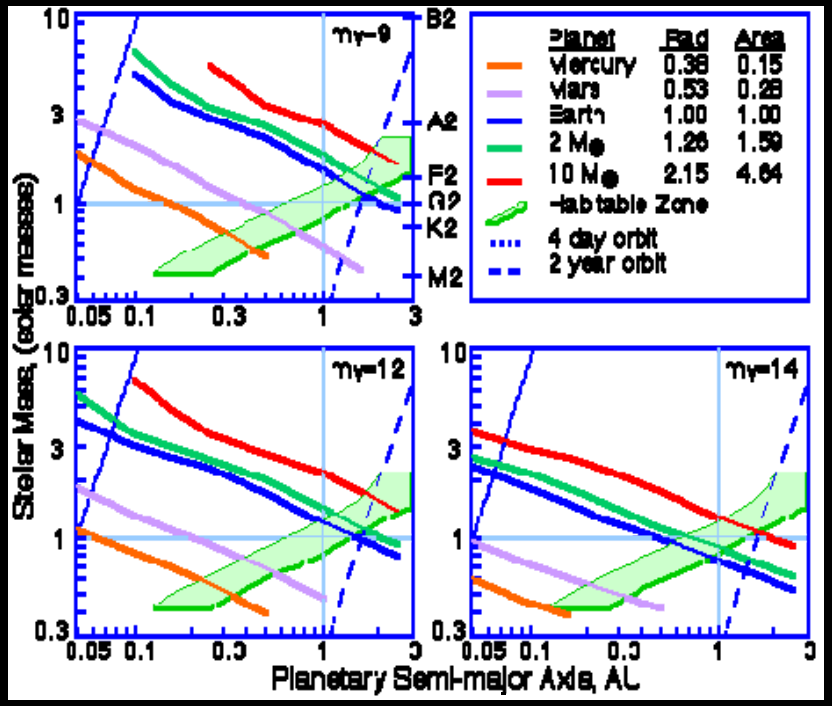
- 巨大ガス惑星発見の時代 (1995)
- 惑星大気の発見 (2002)
- 惑星赤外線輻射の検出 (2005)
- 惑星可視域反射光の検出 (2009)

- *系外惑星リング、衛星の発見*
- *地球型惑星、居住可能惑星の発見*
- *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*
- *地球外生命の発見*

ケプラー衛星 (米国2009年3月6日打ち上げ)

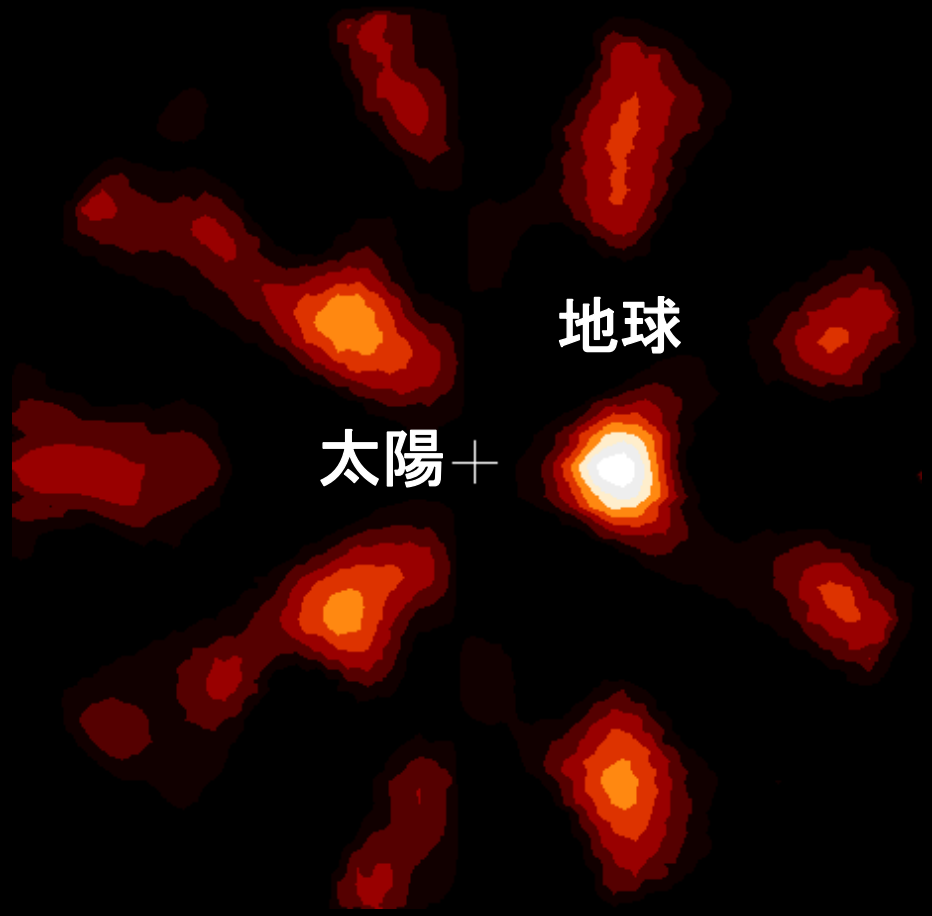
トランジット惑星の測光サーベイ:
地球型(＋ハビタブル)惑星の発見をめざす



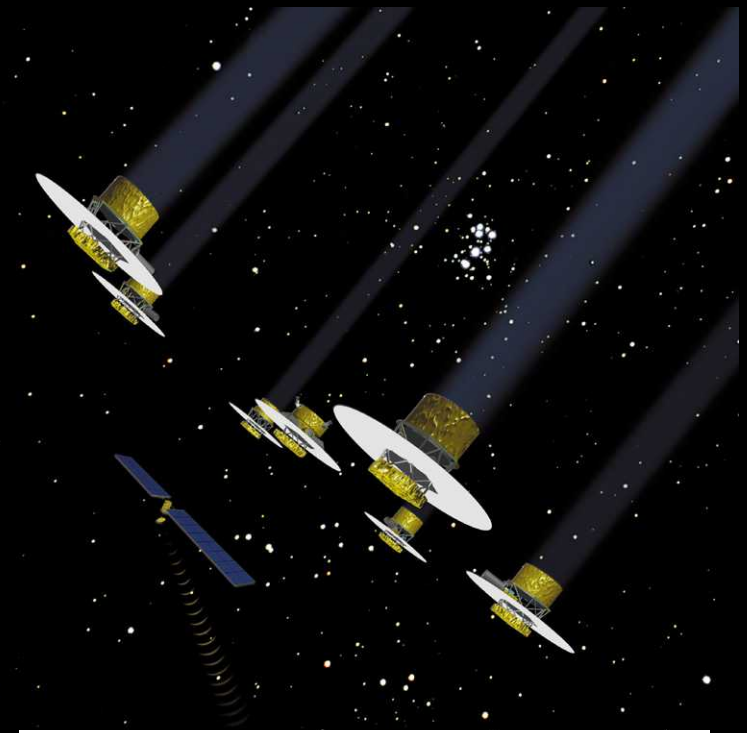
Kepler
A Search For Habitable Planets

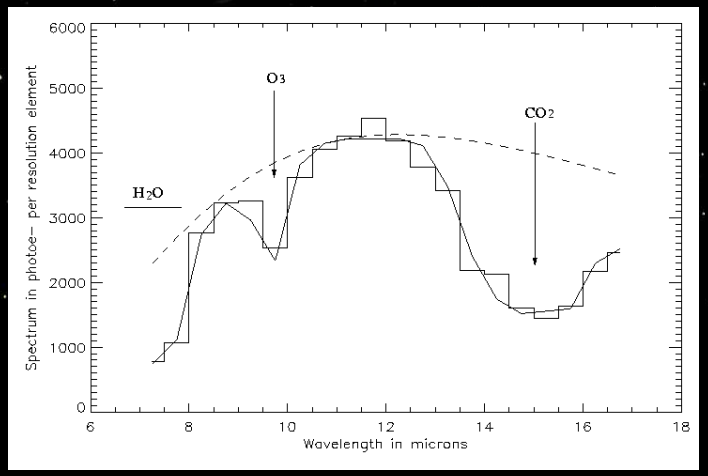
http://kepler.nasa.gov/

ダーウィン衛星
(欧州：2020年頃？打ち上げ)
赤外線での惑星の直接撮像を目指す



10pc先においた太陽と地球の観測予想図
http://ast.star.rl.ac.uk/darwin/

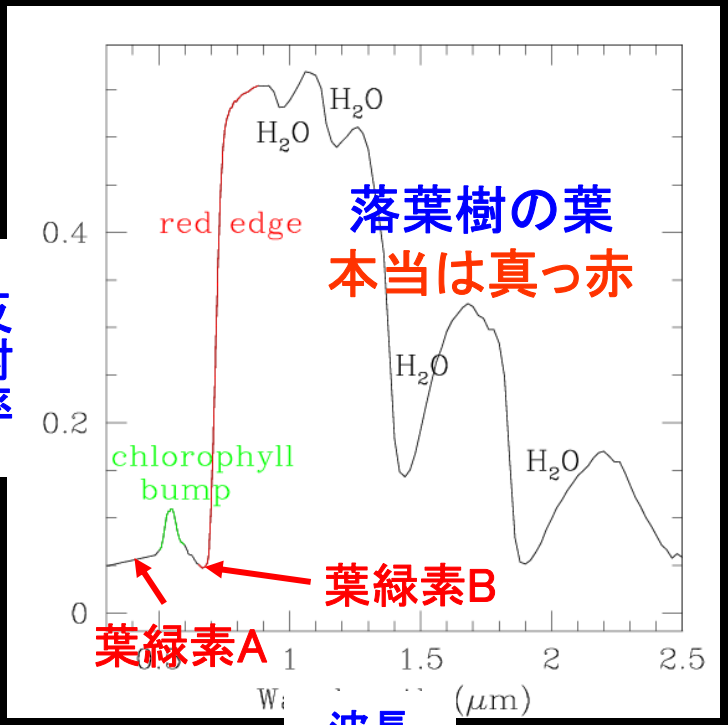




宇宙赤外線干渉計群
測光・分光観測

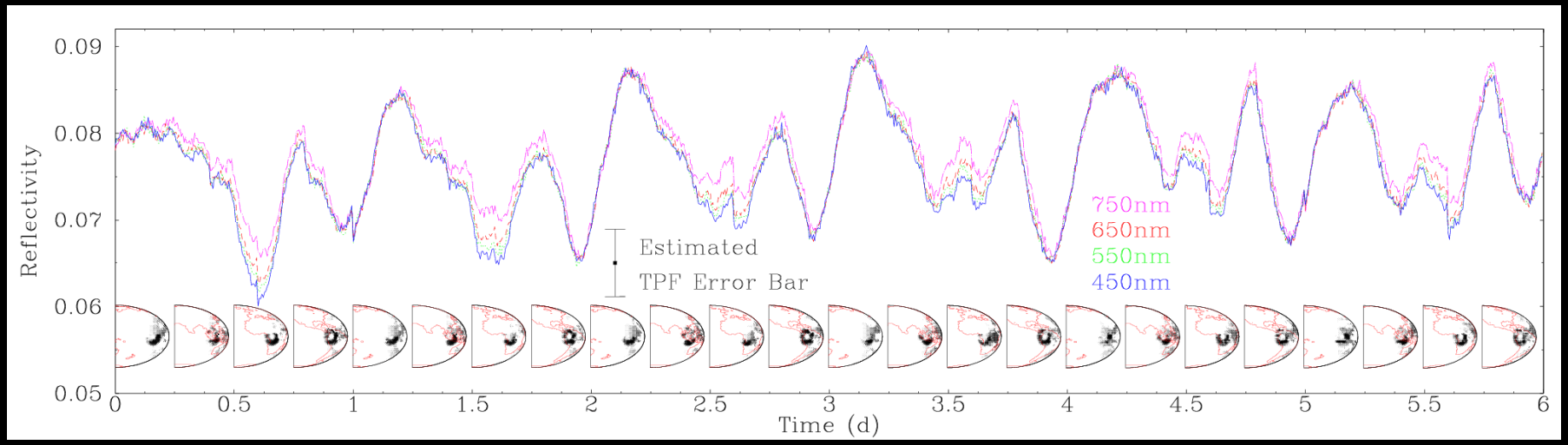
バイオマーカー（生物存在の証拠）の同定

- （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**
  - *Extrasolar planets from extrasolar plants*
  - とにかく精密測光・分光観測



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

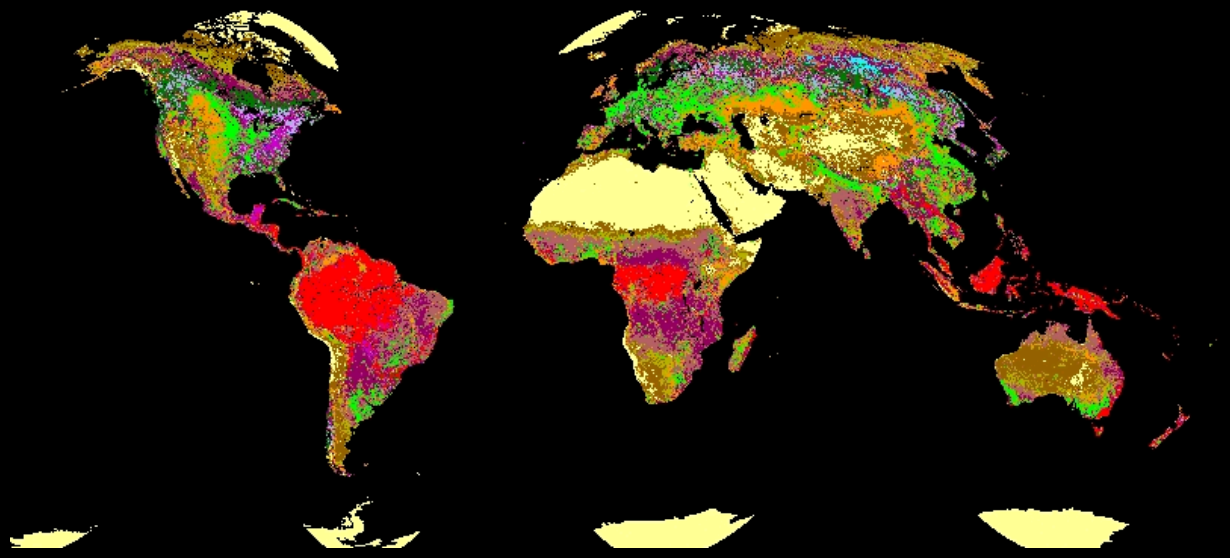
地球が10pc先にあるとして何がどこまでわかるか？

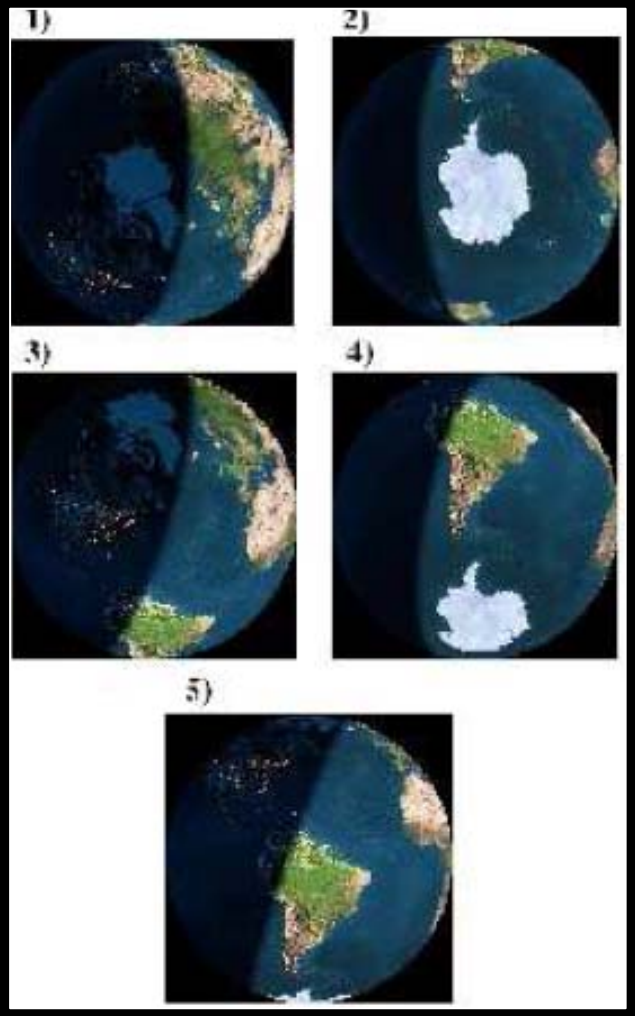


Ford, Seager & Turner： Nature 412 (2001) 885

- **10％レベルの日変化は検出可能**
  - 大陸、海、植生などの反射特性の違いを用いる
- **雲の存在が鍵**
  - 太陽系外地球型惑星の天気予報の精度が本質的！

地球（型惑星）の測光観測シミュレーション



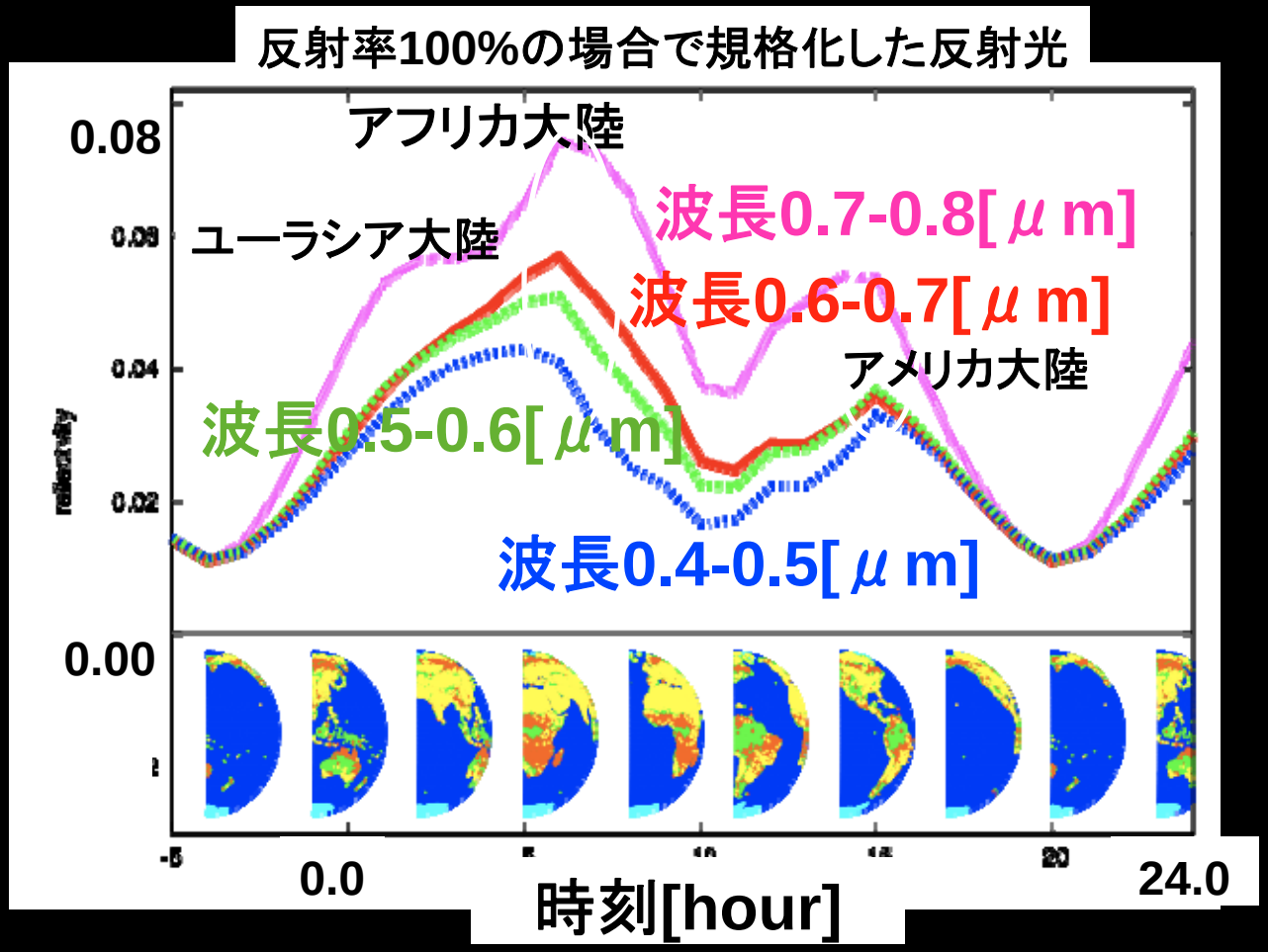


- 実際の地球の表面データを用いた模擬測光観測データを作成
- 時間変動から何を読み取れるかを検討

Palle et al. arXiv:0802.1836

A Pale Blue Dot:

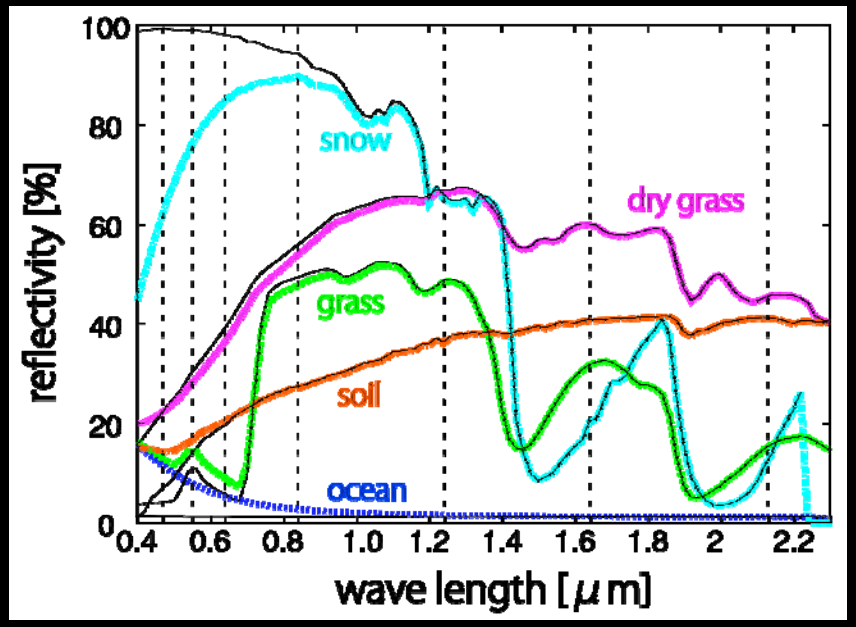
地表面の非一様性と自転に伴う反射光の色の時間変動のシミュレーションデータ

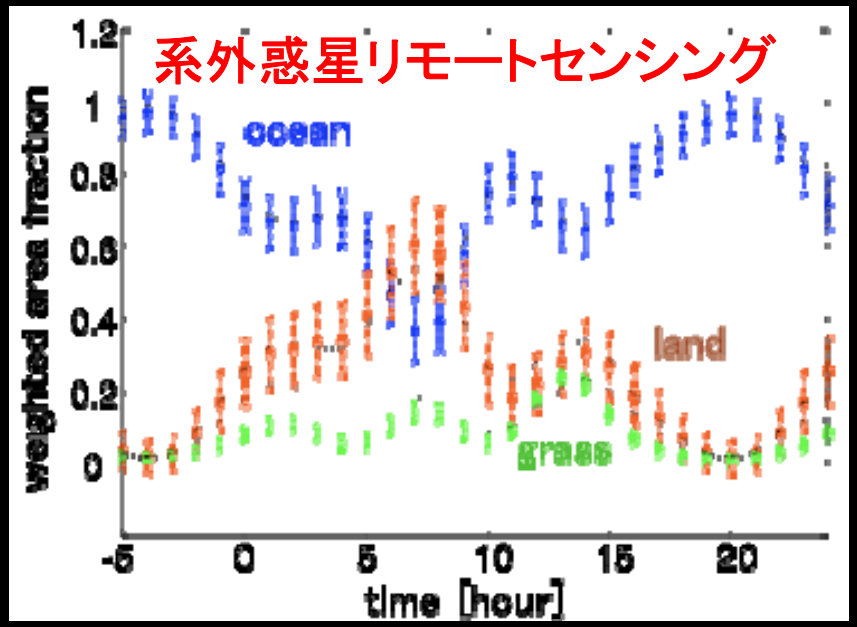


- 春分（3月）
- 自転軸に垂直な方向から観測
- 地球観測衛星のデータを用いて計算

Fujii et al. in prep.

地球の色から表面情報を再構築する



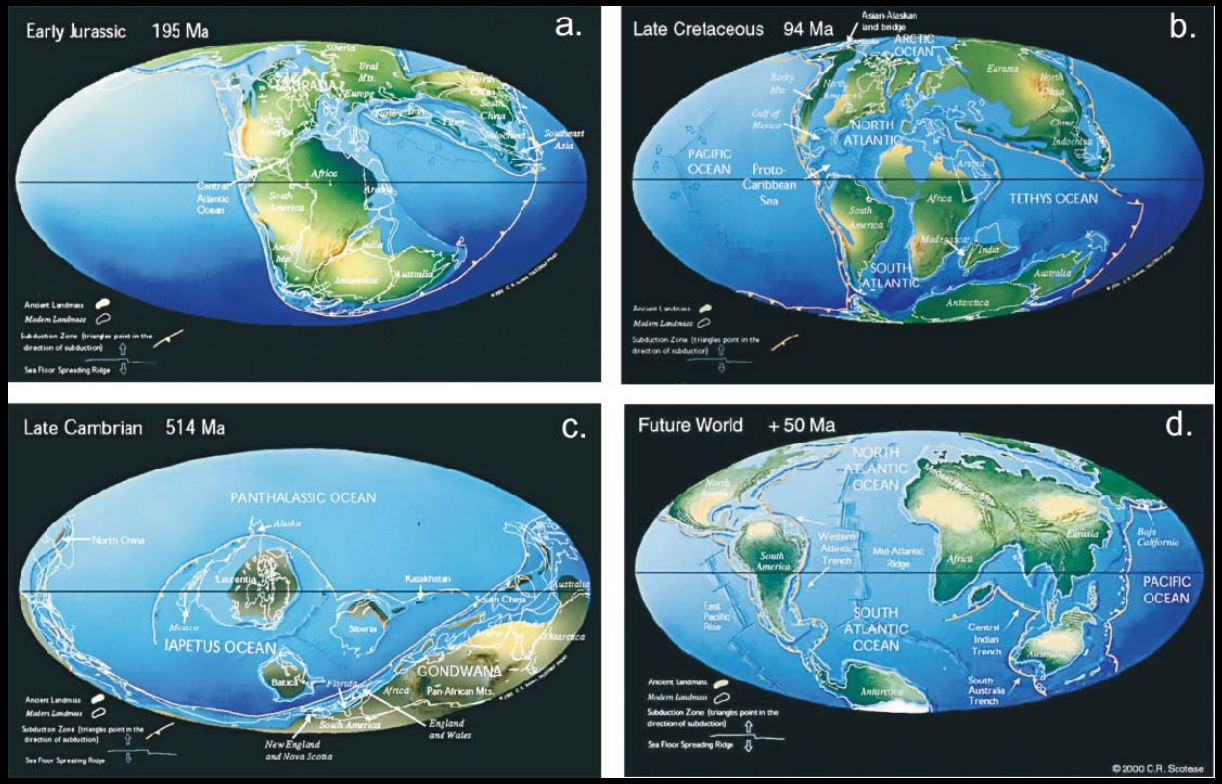


Fujii et al. in prep.

- 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2mの宇宙望遠鏡で2週間観測
- 光子のポワソンノイズだけを考慮
- レイリー散乱の一次項近似
- 5つの成分（ocean, soil, grass, dry grass, snow）で近似し、7つの測光バンドデータから再構築
- 結構イケテル!

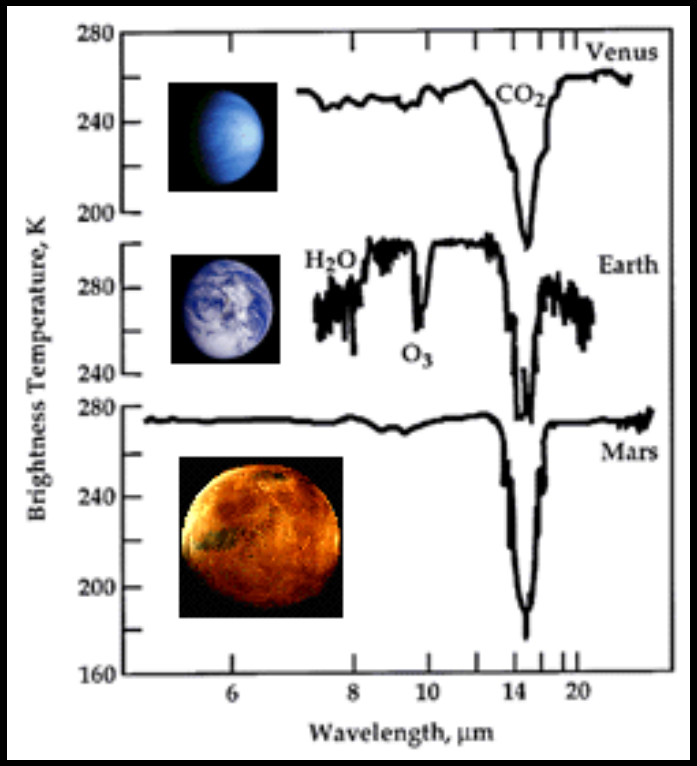
異なる地球環境下での測光観測シミュレーション

- 系外地球型惑星が、「現在」の地球と全く同じ環境にあるわけはない
- 地球のパラメータを変化させた模擬観測



例えば、左のPaleomap project (Scotese 2002)のようなデータを用いて、過去の地球の模擬観測を行う

系外惑星から宇宙生物学へ



- 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、核爆発、植物、、、
- 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

直接見て帰ることができない距離にある惑星に生物が存在するかどうかを天文観測だけで説得できるか？ <u>Biomarker を特定できるか？</u>