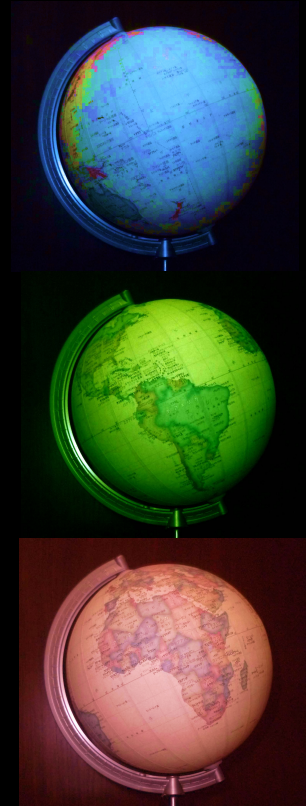
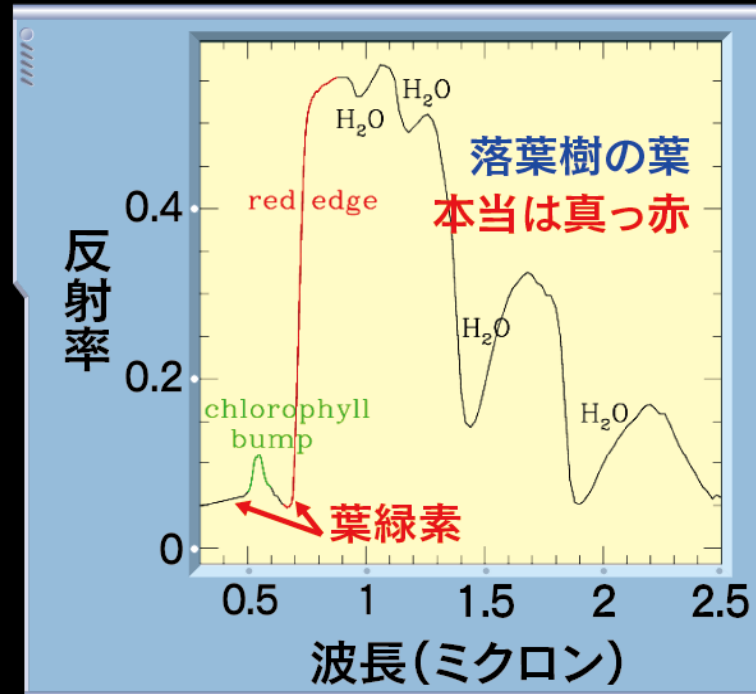
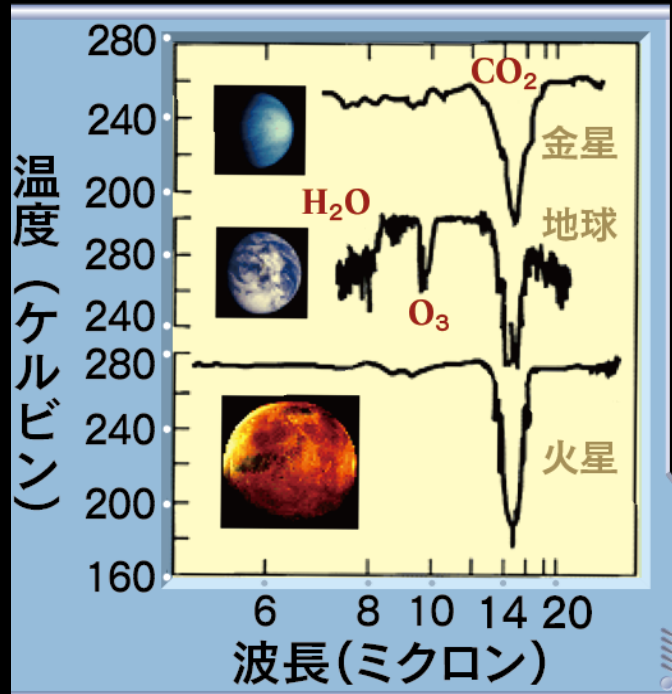


太陽系外惑星から宇宙生物学へ

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2015j.html



物理教室大学院ガイダンス

A5 須藤研

2015年5月29日

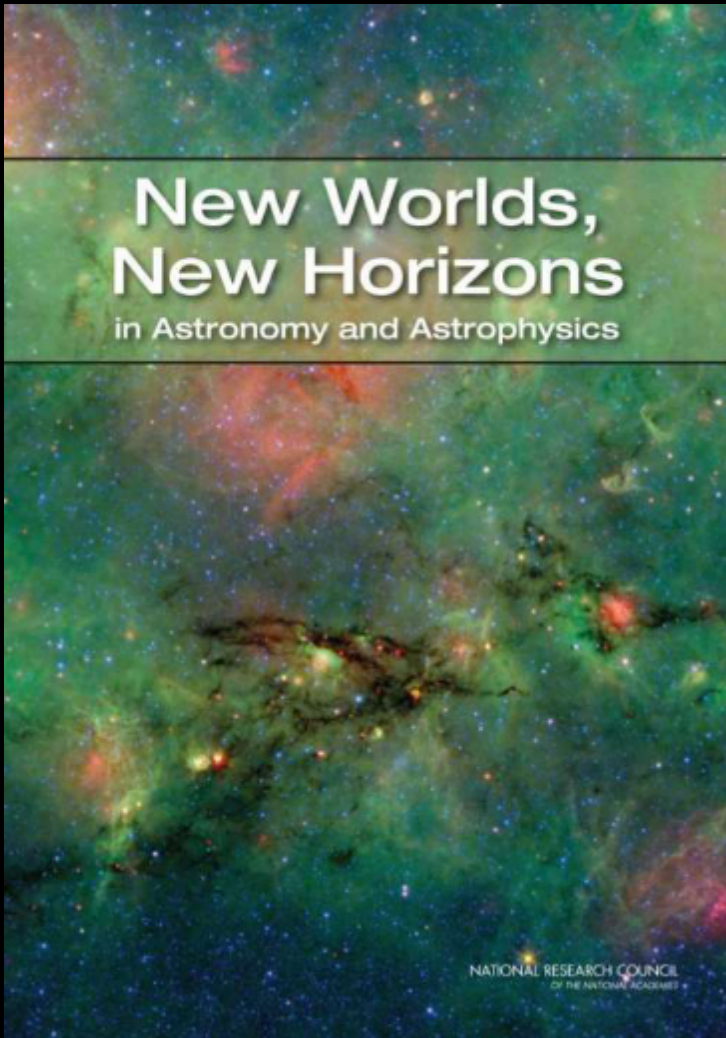
10:20-10:40@小柴ホール



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：大栗真宗
 - 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)
- IPMUの高田昌広教授のグループとも共同研究

Astro2010: decadal survey

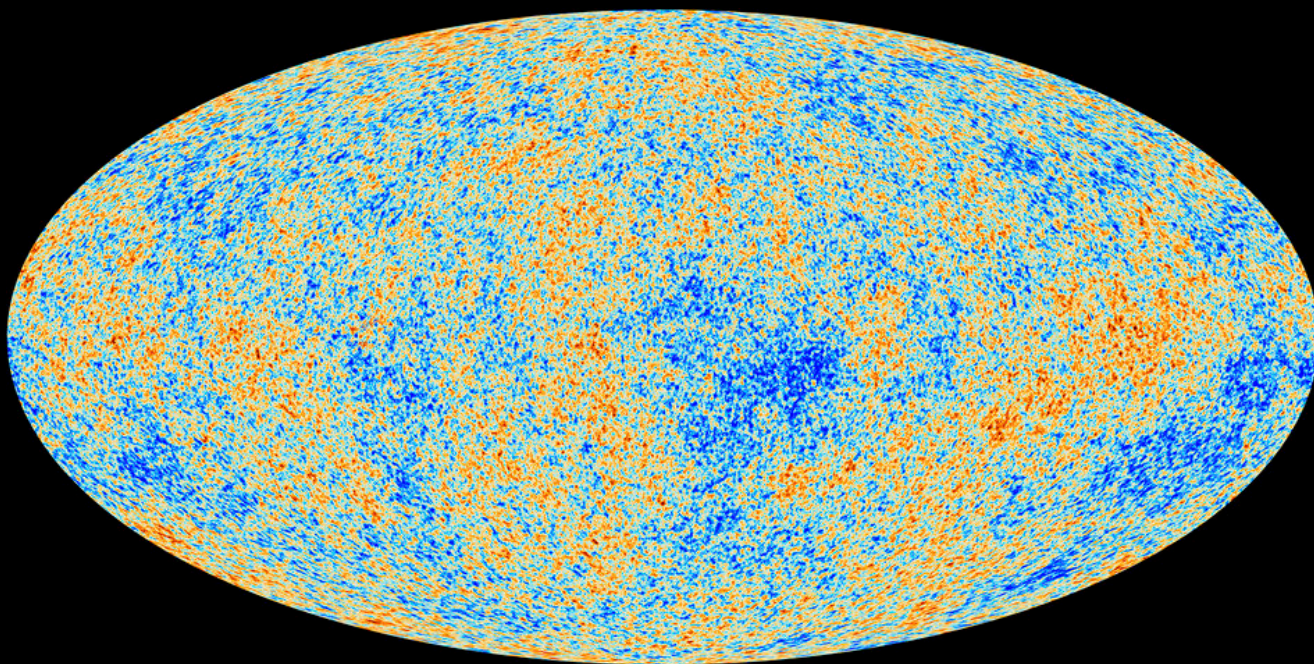


- ***Cosmic Dawn* ⇒ 吉田**
 - 宇宙の夜明け: 第一世代天体・ブラックホールの探索
- ***New Worlds* ⇒ 須藤**
 - 新世界: 近傍の居住可能惑星の探索
- ***Physics of the Universe* ⇒ 横山**
 - 宇宙の物理: 宇宙を支配する科学法則の理解

August 13, 2010

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

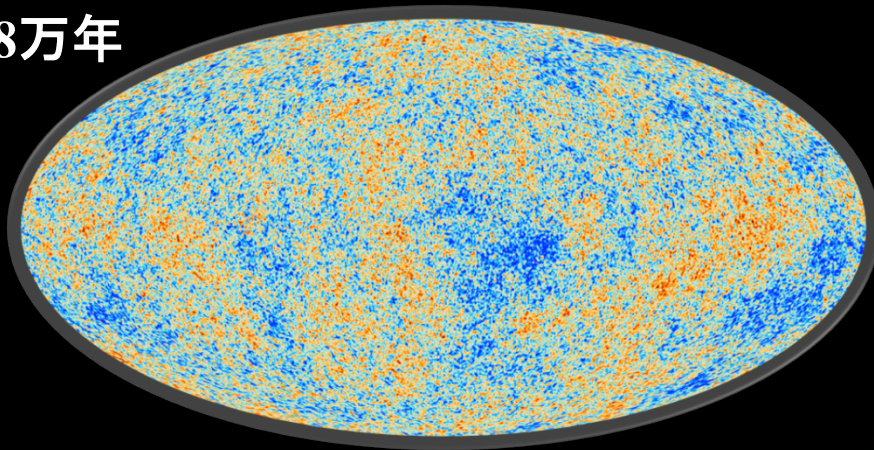
驚くべきことに、現在の宇宙に関するすべての情報は原理的にはここに刻まれている



- 誕生後38万年の宇宙全天電波地図
 - 宇宙マイクロ波背景輻射

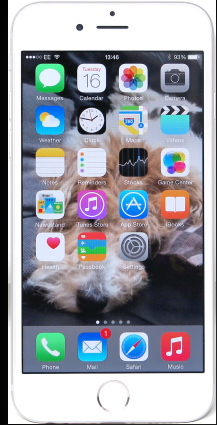
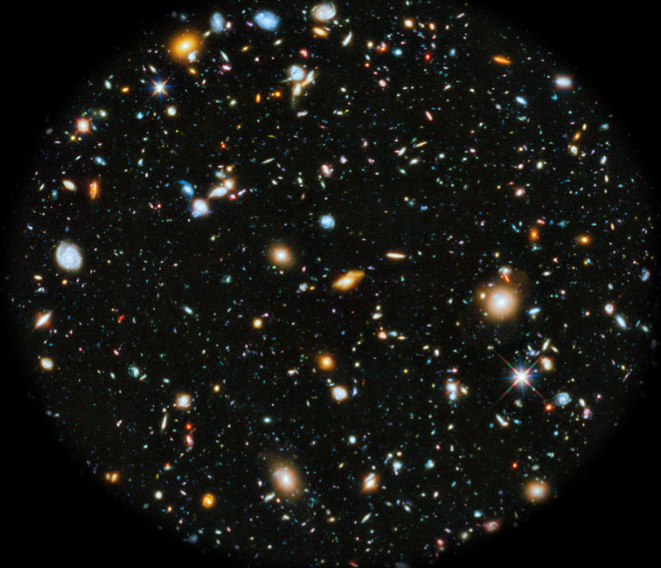
宇宙を知り世界を知る

誕生後
38万年



現在の宇宙・地球・社会の驚異的な多様性のすべては、誕生直後の宇宙の初期条件に刻まれていた(はず)

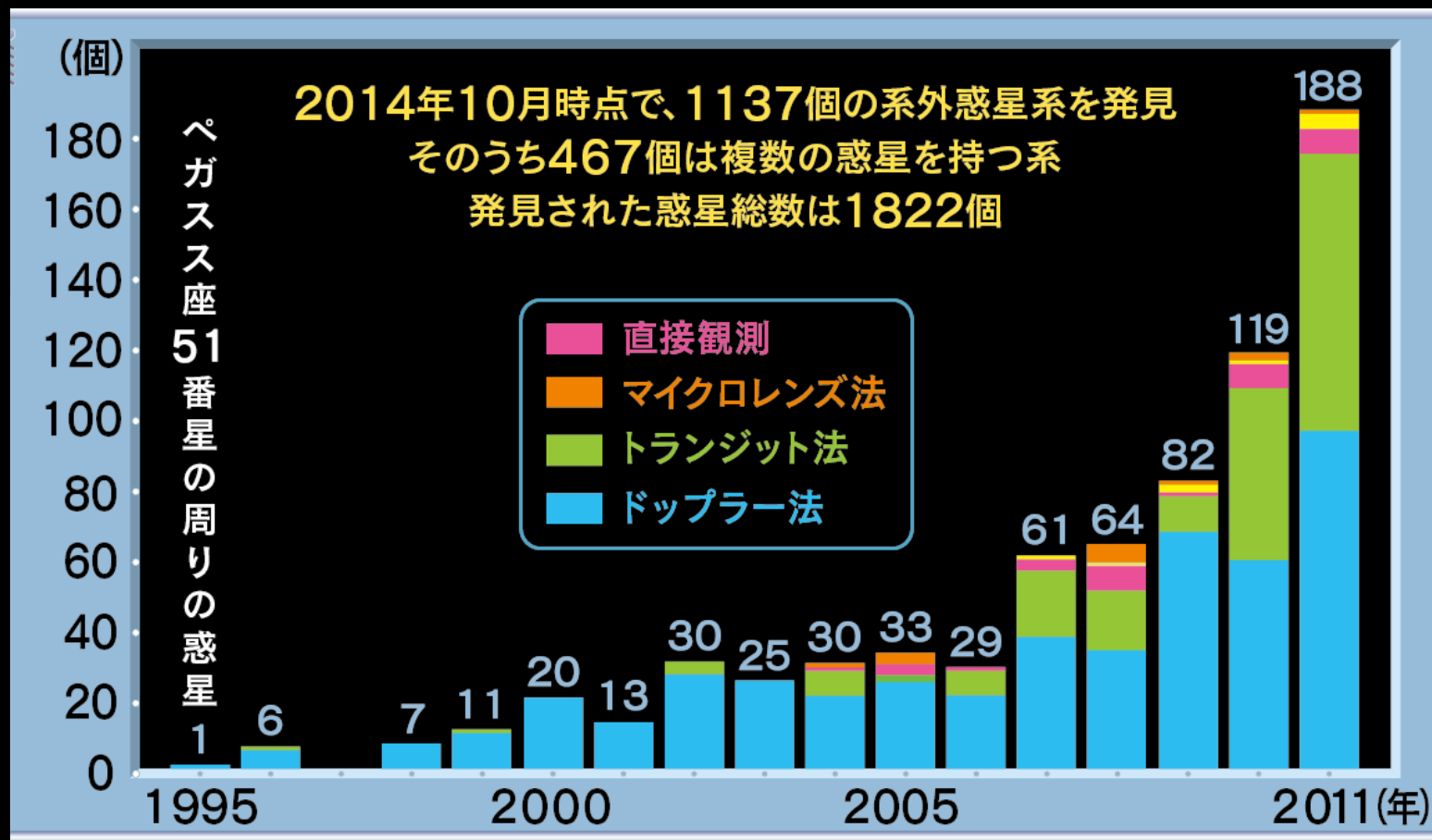
誕生後数十億年



須藤研で行っている研究テーマの例

- ずばる望遠鏡を用いた観測的宇宙論
- 重力レンズ天文学
- ダークマターハローの非球対称収縮力学モデル
- 多波長全天地図のスタッキング解析による銀河とクエーサーの統計的検出
- 太陽系外惑星系の主星－惑星潮汐相互作用を取り入れた力学モデルの構築
- 系外惑星系の衛星・リングの検出法
- トランジット、星震学、視線速度観測を組み合わせた惑星系の自転・軌道角運動量の進化と起源
- 第2の地球のバイオマーカー探査可能性の探究

太陽系外に無数の惑星系が存在していた



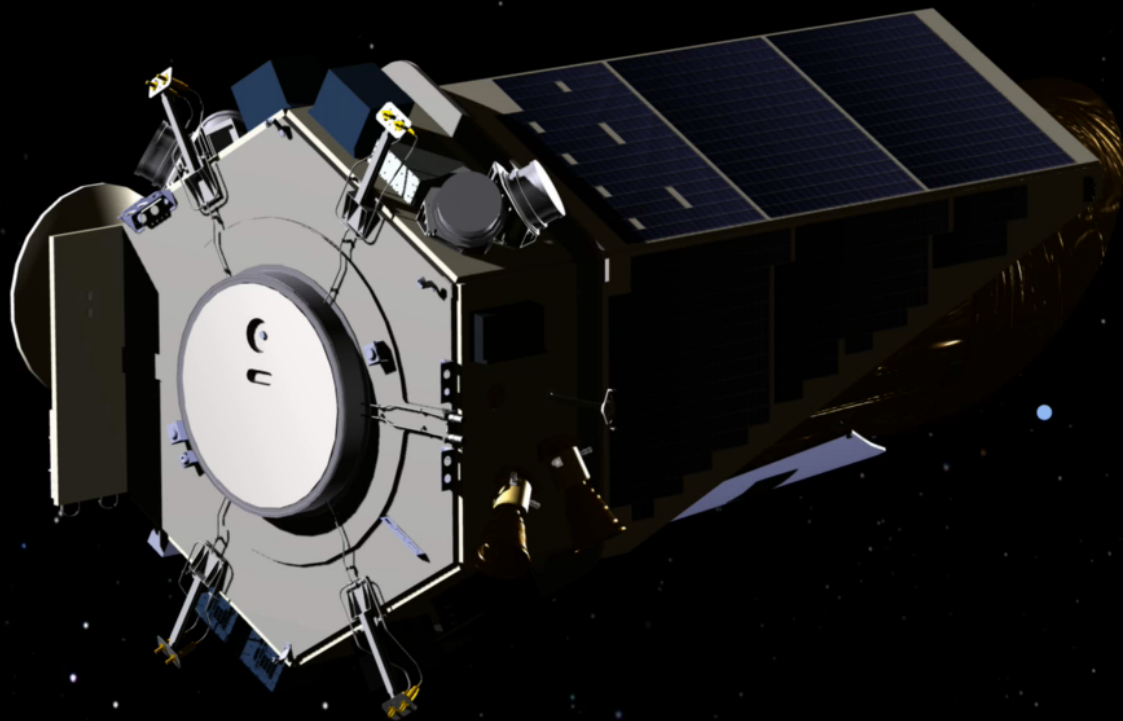
2015年5月時点では

8重惑星系:太陽系のみ、7重惑星系:2、6重惑星系:2、5重惑星系:15、
4重惑星系:49、3重惑星系:98、2重惑星系 300個以上

Kepler mission (March 6, 2009 launch)

Photometric survey of transiting planets

Searching for terrestrial/habitable planets

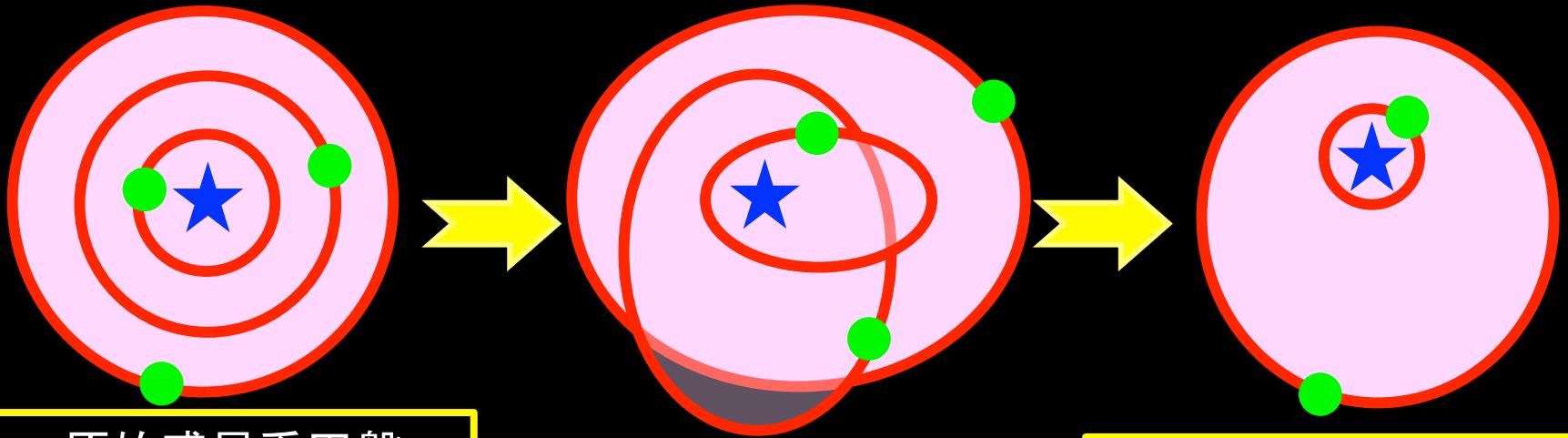


<http://kepler.nasa.gov/>

太陽系とは異なる特徴

- 発見されている惑星の約7%(ドップラー速度法)から20%(トランジット法)が、**公転周期一週間以内の巨大ガス惑星(ホットジュピター)**
- ホットジュピターはほとんど円軌道だが、より長周期の惑星には**高離心率軌道**が多い
- 標準太陽系形成モデル(原始惑星系円盤⇒ダスト成長⇒微惑星集積)によると、ガス惑星は氷境界とよばれる公転周期10年程度以遠でしか形成されないはず
- **ではどうやって惑星を移動させるか？**

惑星間重力散乱 + 主星・惑星潮汐作用 = 円軌道のホットジュピター + 遠方の高離心率軌道の惑星



- 原始惑星系円盤
- ダスト沈殿・成長
- 微惑星形成・合体
- 円軌道の原始惑星
- ガス降着によるガス惑星の誕生

- 重力少数多体系
- カオス的力学進化
- 近接散乱
- 軌道交差
- 惑星放出

- 古在機構
- 主星自転軸と惑星公転軸のずれ
- 主星・惑星潮汐作用
- 軌道収縮
- 円軌道化
- ホットジュピターの誕生

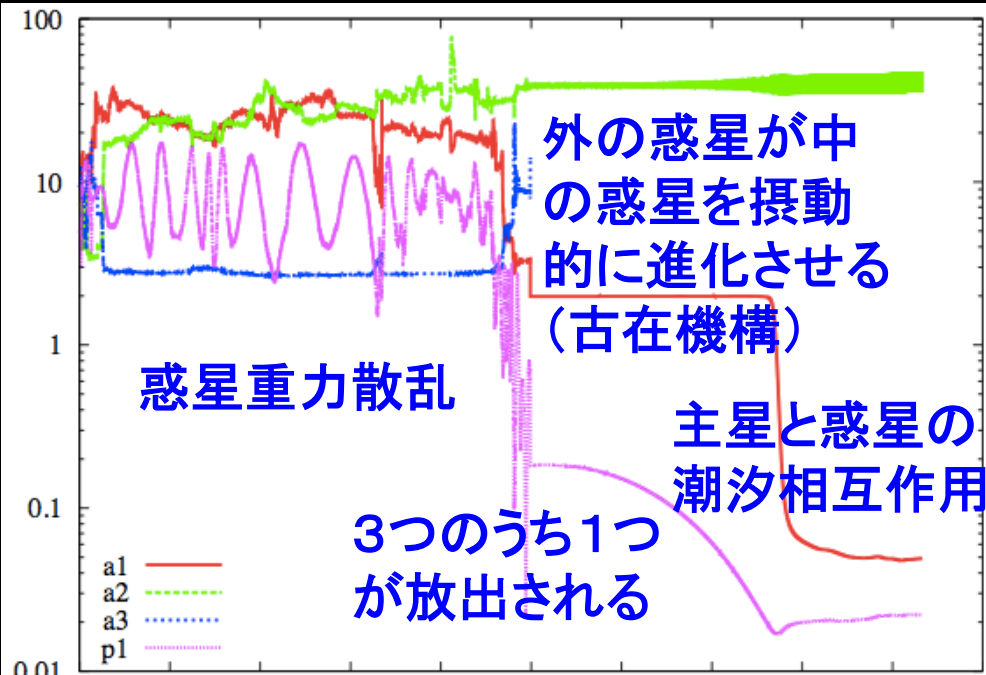
太陽系形成標準モデル
(京都モデル・林モデル)

3惑星系の数値計算例

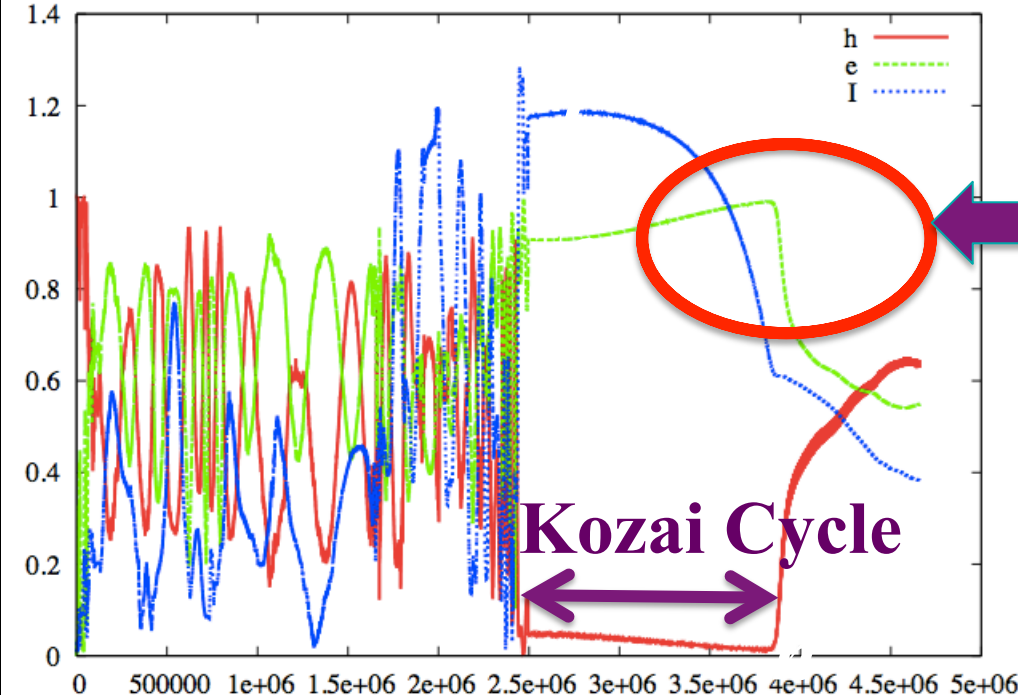
古在機構の保存量

$$h = (1 - e^2) \cos^2 I = \text{const.}$$

a, q [AU]



h, e, I [rad]

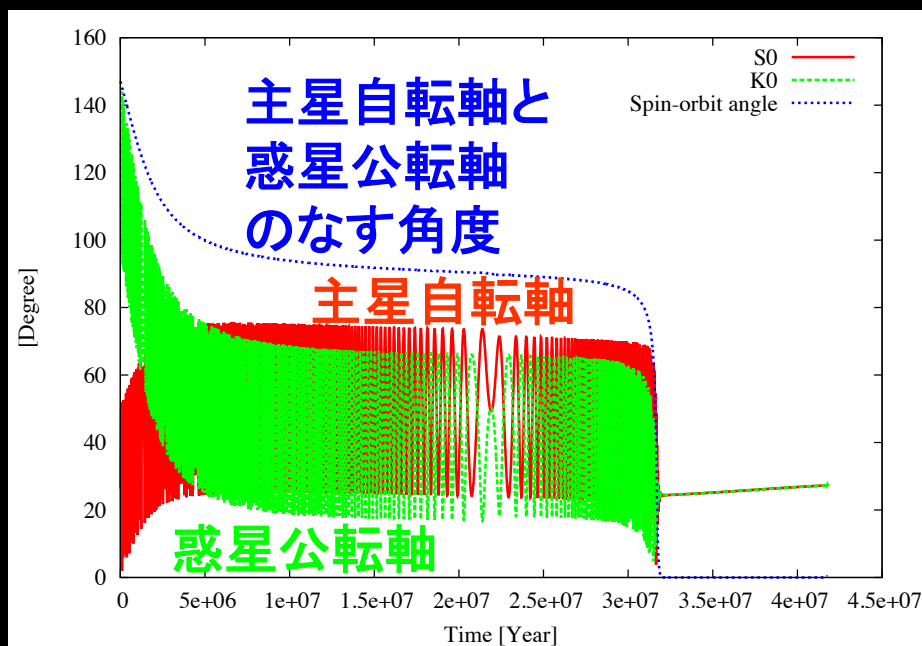


Tidal circularization
after the Kozai cycle

Xue et al. (2013)

Time [Year]

主星と惑星の潮汐相互作用・散逸

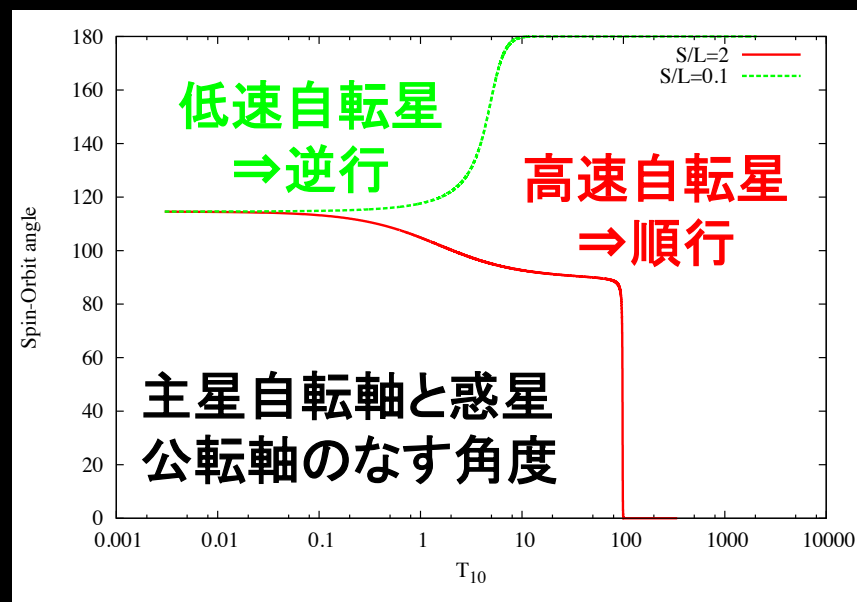


Xue et al. (2013)

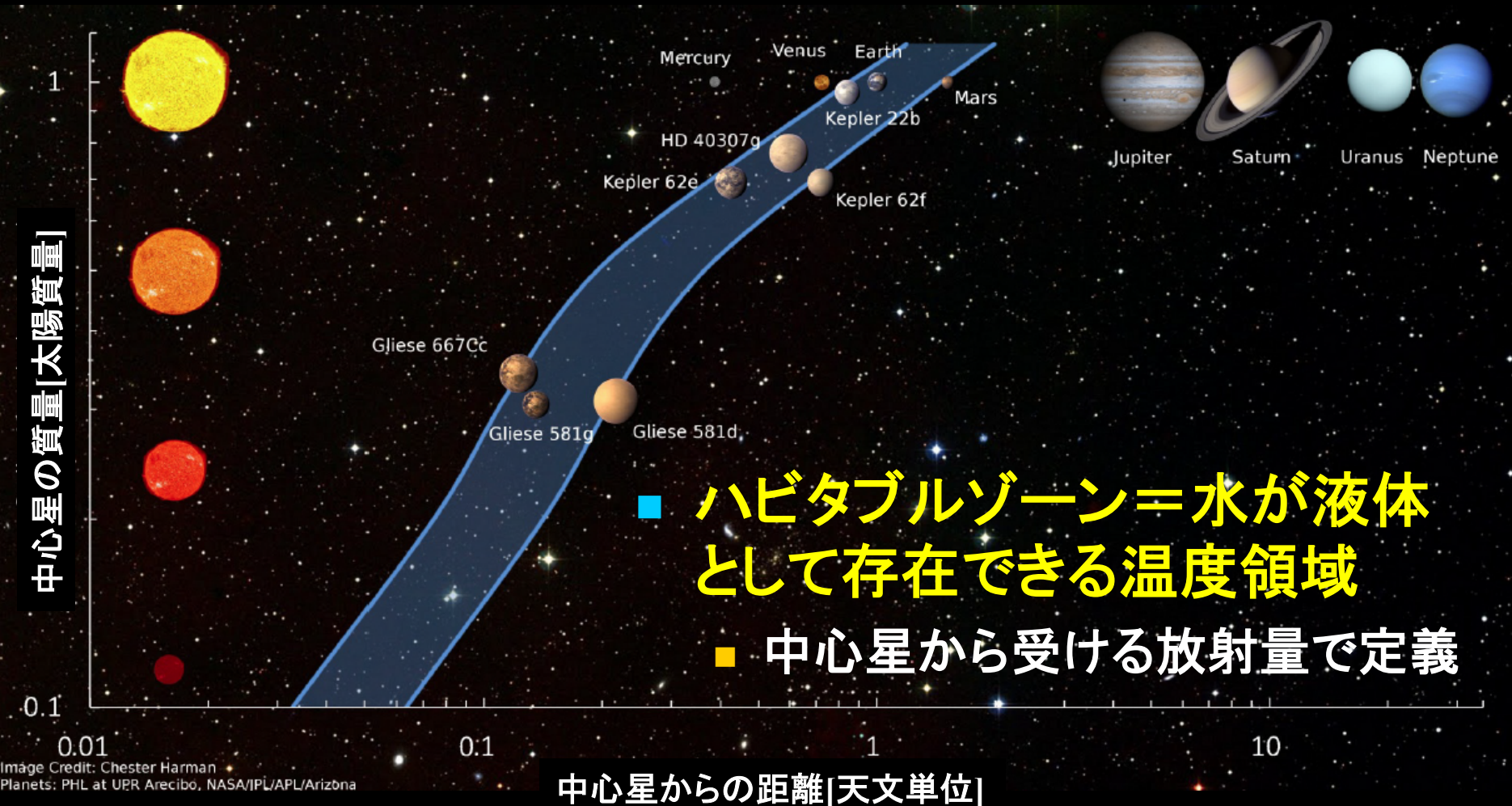
主星と惑星の角運動量の大きさの比を変化させたときの、主星の自転軸と惑星の公転軸のなす角度の時間発展計算例

主星の自転軸と惑星の公転軸の向きの時間発展計算例

順行軌道がもっとも安定だが、逆行軌道に向かう場合もある。極軌道（直交）も一時的には安定となるがやがて順行か逆行に落ち着く



すでに知られているハビタブル惑星候補



Kasting, Kopparapu, Raminez & Harman (2013)

地球サイズのハビタブル惑星の存在確率

- **GK型星を公転する地球半径の1～2倍の惑星**
 - ケプラーのトランジット惑星検出数から、観測的選択効果を補正して推定
 - **11 ± 4 % (地球上での太陽フラックスの1～4倍のもの)**
 - **$5.7 + 2.2 - 1.7$ % (公転周期が200～400日のもの)**

Table 1. Occurrence of small planets in the habitable zone

HZ definition	a_{inner}	a_{outer}	$F_{P,\text{inner}}$	$F_{P,\text{outer}}$	f_{HZ} (%)
Simple	0.5	2	4	0.25	22
Kasting (1993)	0.95	1.37	1.11	0.53	5.8
Kopparapu et al. (2013)	0.99	1.70	1.02	0.35	8.6
Zsom et al. (2013)	0.38		6.92		26*
Pierrehumbert and Gaidos (2011)		10		0.01	$\sim 50^{\dagger}$

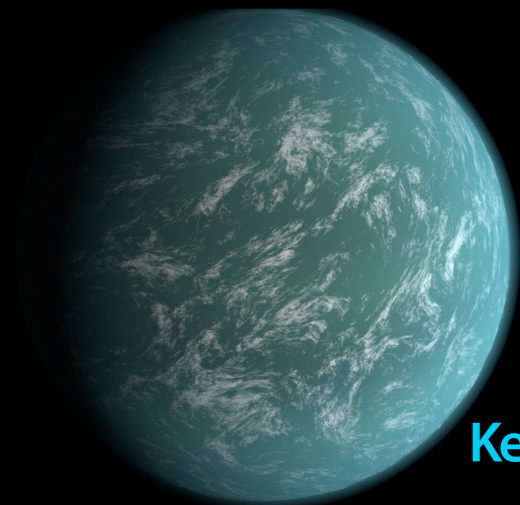
ハビタブル惑星候補の例

Kepler-22 System

もう一つの地球？ 生命は存在するのか？

Solar System

Habitable Zone



Kepler-22b

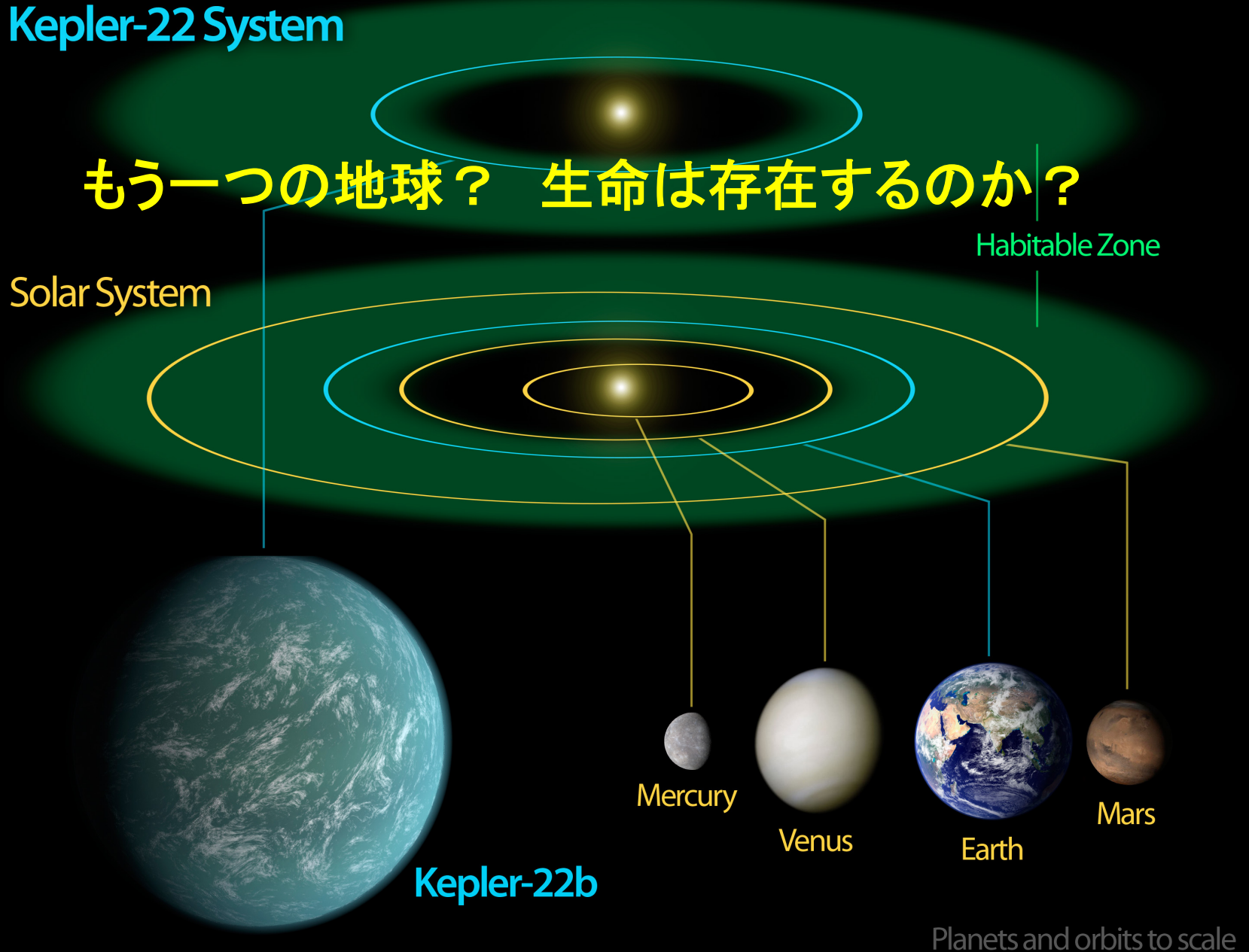
Mercury

Venus

Earth

Mars

Planets and orbits to scale



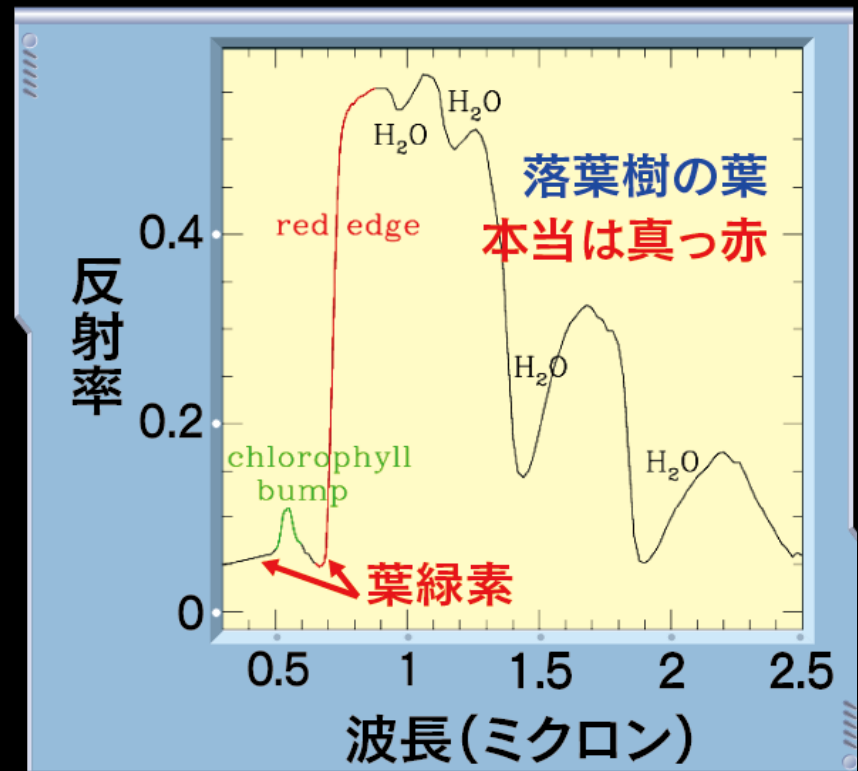
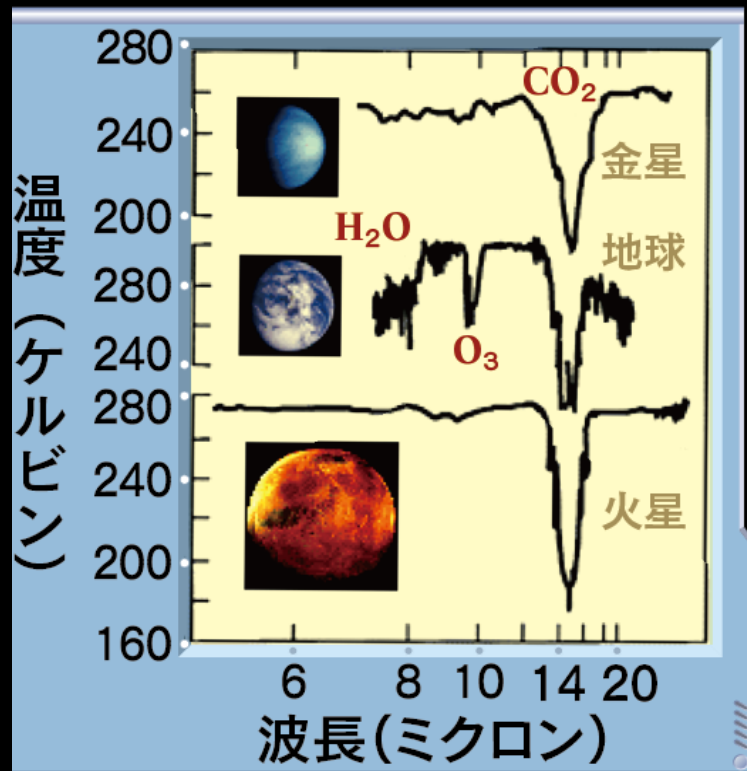
バイオマーカー：生物が存在する兆候

- 何が決定的バイオマーカーなのかは不明
 - 地球外での生命の定義？
 - 地球上での生命の指標
 - 生物由来と考えられる大気成分（酸素、オゾン、メタン）
 - 植物のレッドエッジ
 - 知的生命体からの電磁波
- 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

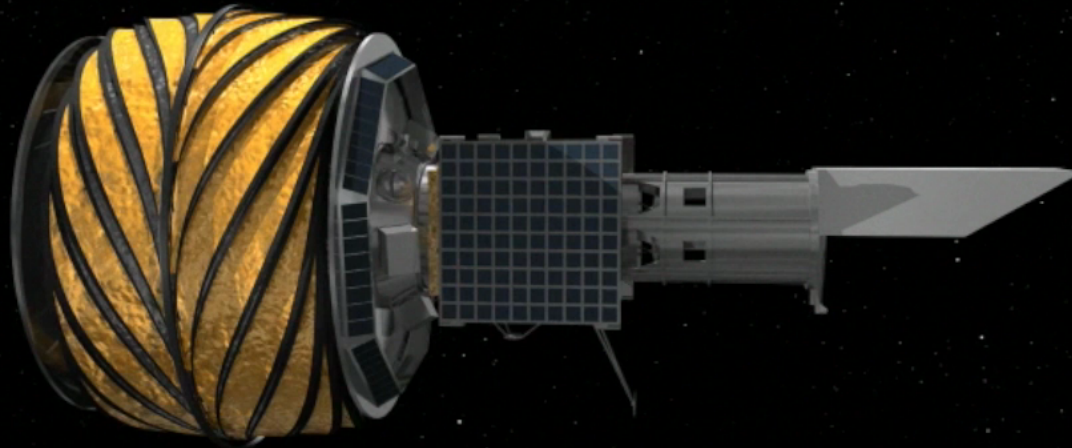
天文学から宇宙生物学へ

ハビタブル惑星に生命の兆候を探す

- 水とオゾンの吸収が観測されるのは地球のみ
- 地上の植物のほとんどは700nmより長波長で反射率が急激に増加する(レッドエッジ)



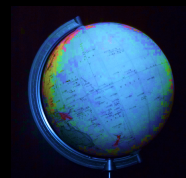
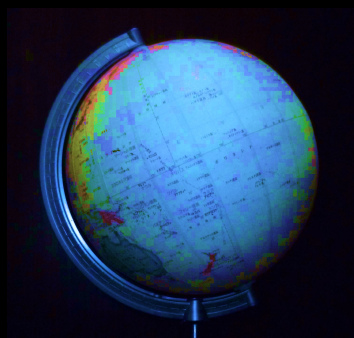
Starshade project: 地球型惑星を直接見る



- 宇宙望遠鏡の5万km先に中心星を隠すオカルター衛星をおき、惑星を直接撮像(プリンストン大学 J.Kasdinらのグループ)

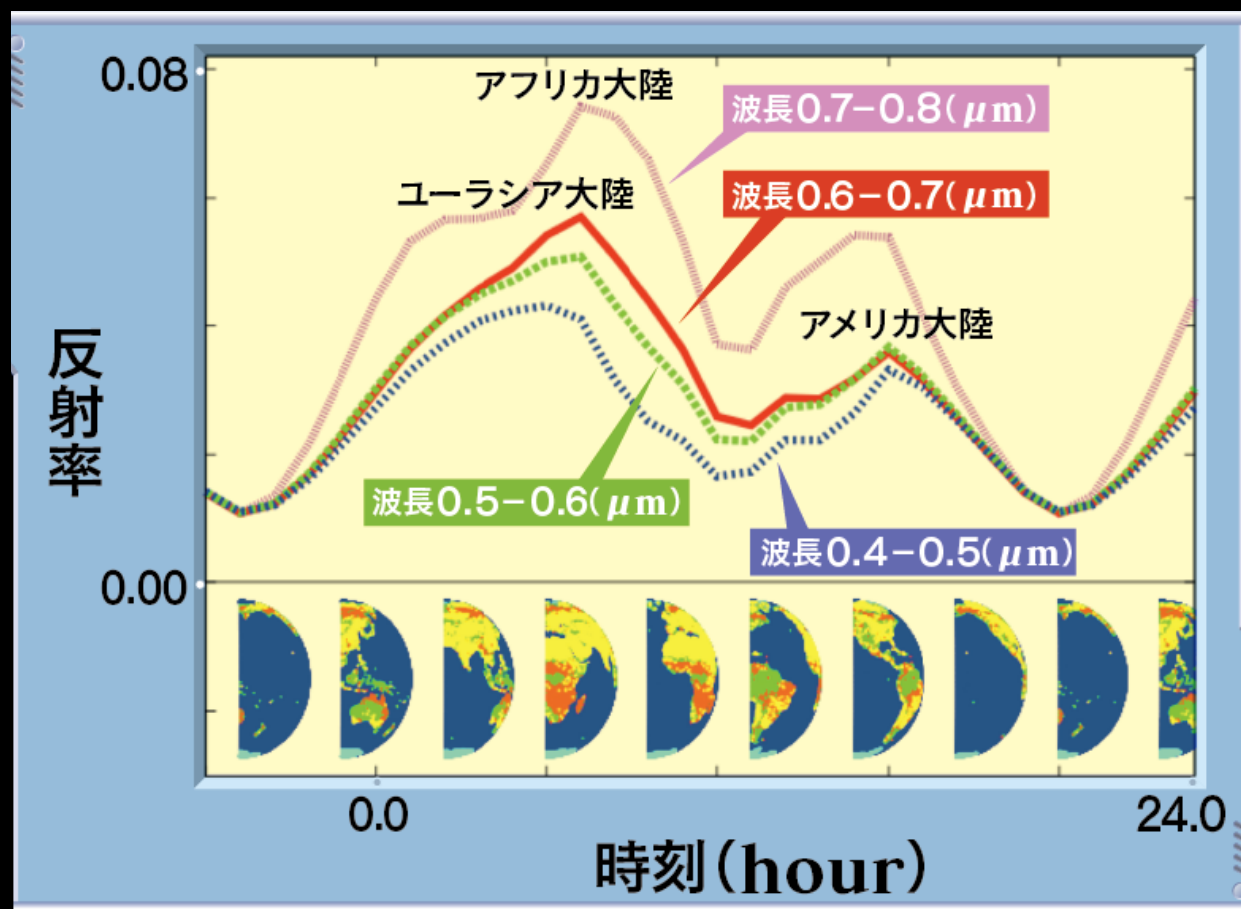
ペイルブルードットを超えて

- 系外惑星は「点＝ドット」としか見えない
- 表面を直接分解できない
- 自転周期による微妙な色の変化は観測可能



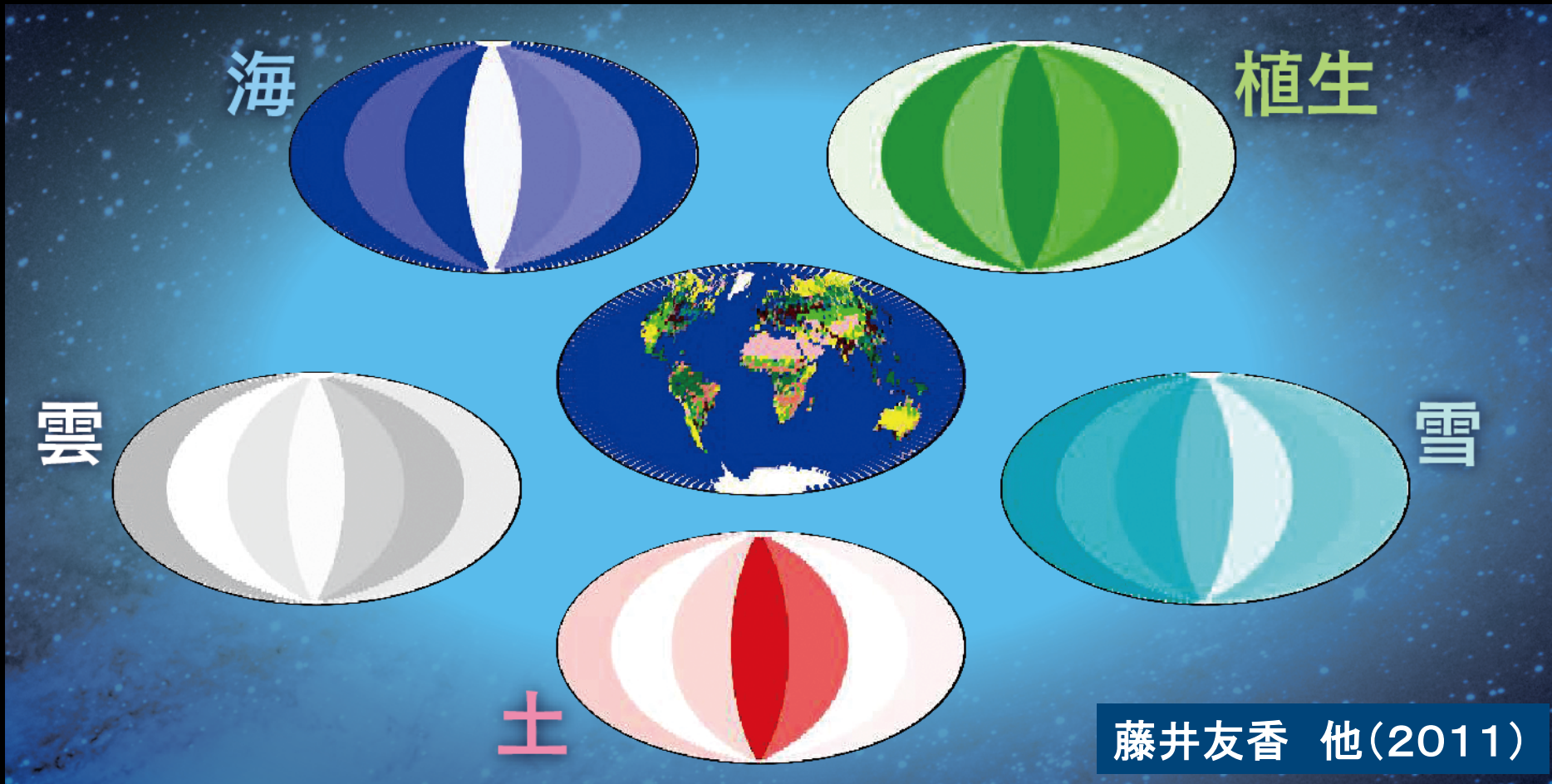
もうひとつの地球の色

- 自転にともなう地球の反射光の色の時間変化のシミュレーション



藤井友香 他(2010)

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



藤井友香 他(2011)

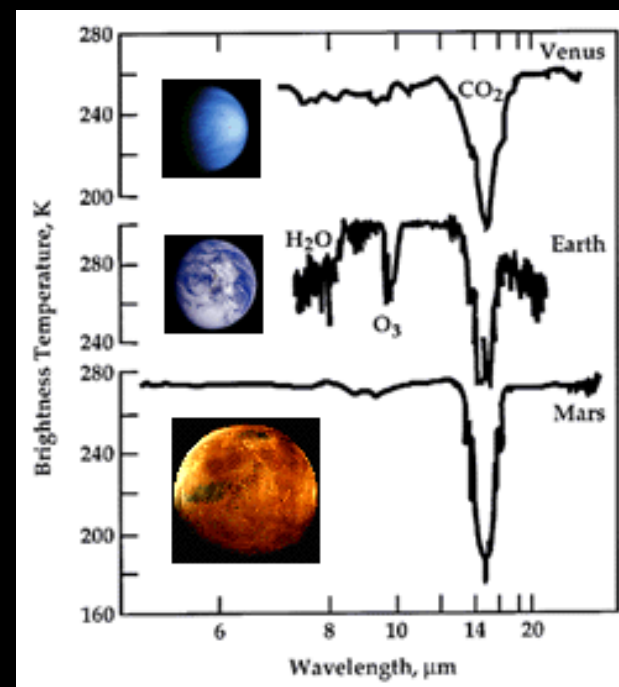
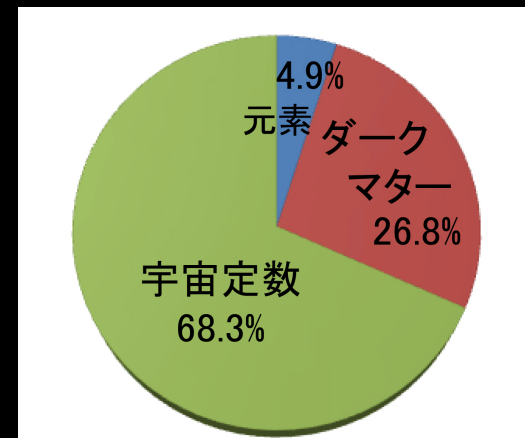
「夜空ノムコウ」を探り、新たな世界観を生み出す

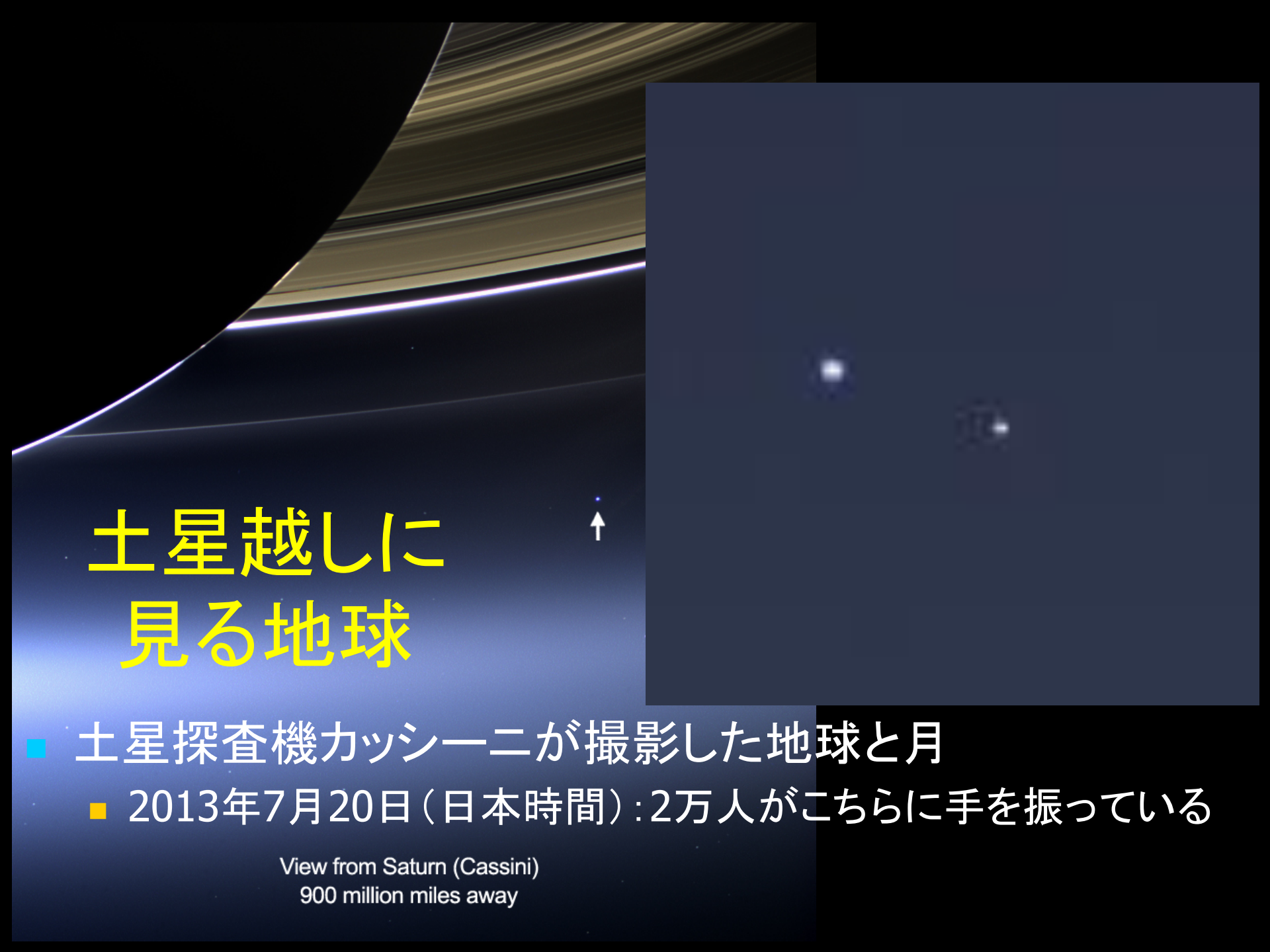
■ 宇宙の果ての観測から微視的世界の新しい階層が発見された

- 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

- 地球型ハビタブル惑星の発見
- バイオマーカーの提案と検出
- 系外惑星リモートセンシング
 - 惑星の放射・反射・吸収スペクトルを中心星から分離する





土星越しに 見る地球

- 土星探査機カッシーニが撮影した地球と月
 - 2013年7月20日(日本時間): 2万人がこちらに手を振っている

View from Saturn (Cassini)
900 million miles away

研究室のモットー

- 普通の人やらない研究をする
 - 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

一般的なアドバイス

- 須藤研で行われている研究の詳細に関しては、以下のホームページを参照のこと
 - <http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp>
 - <http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mytalks.html>
- 大学院進学を希望する研究室の先生にはメールでアポイントをとり、必ず直接話をうかがおう
 - 学部とは異なり大学院教育は各研究室単位。特に理系の場合には、公私ともに研究室中心の生活になる。
 - それぞれ独自の伝統、文化、雰囲気があるので、研究テーマはもちろん、それらとの相性も極めて大事