

宇宙理論研究室ガイダンス

http://www.utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2018j.html

物理教室

2018年4月11日 14:40-15:00

教授：須藤 靖 (太陽系外惑星、観測的宇宙論)

助教：大栗真宗 (観測的宇宙論、重力レンズ)

教授：吉田直紀 (数値宇宙論、第一世代天体形成)

助教：檜山和巳 (高エネルギー天体物理)

ビッグバンセンター

教授：横山順一 (初期宇宙論、重力理論、重力波)

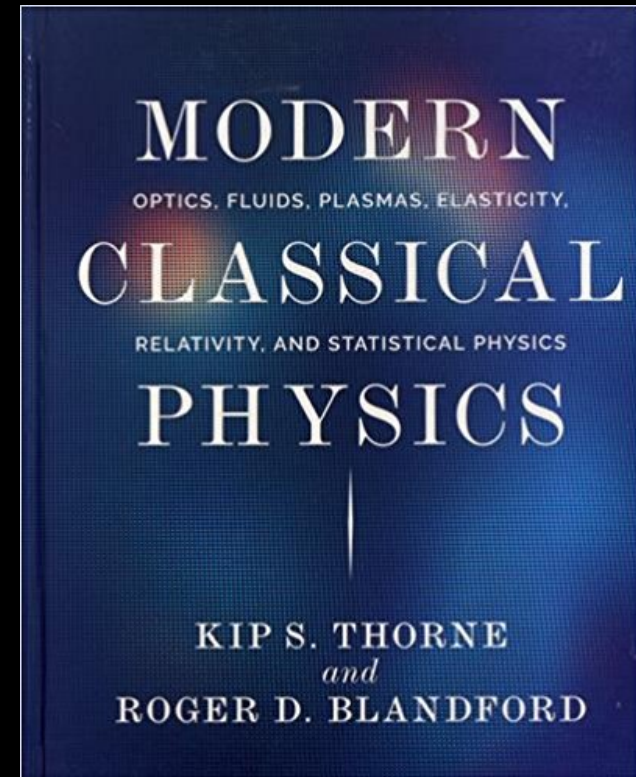
助教：(公募中) (初期宇宙論、重力理論)

准教授：Kipp Cannon (重力波天体物理学)

助教：(公募中) (重力波天体物理学)

2018年度前期理論演習

- 須藤・吉田・横山の3研究室合同で以下の教科書の相対論と宇宙論の章を読む
- Thorne & Blandford "Modern Classical Physics"
- 配属となった人は、4月17日(水)13:00@理学部一号館9階908号室に集合すること。そこで教科書と分担を相談する

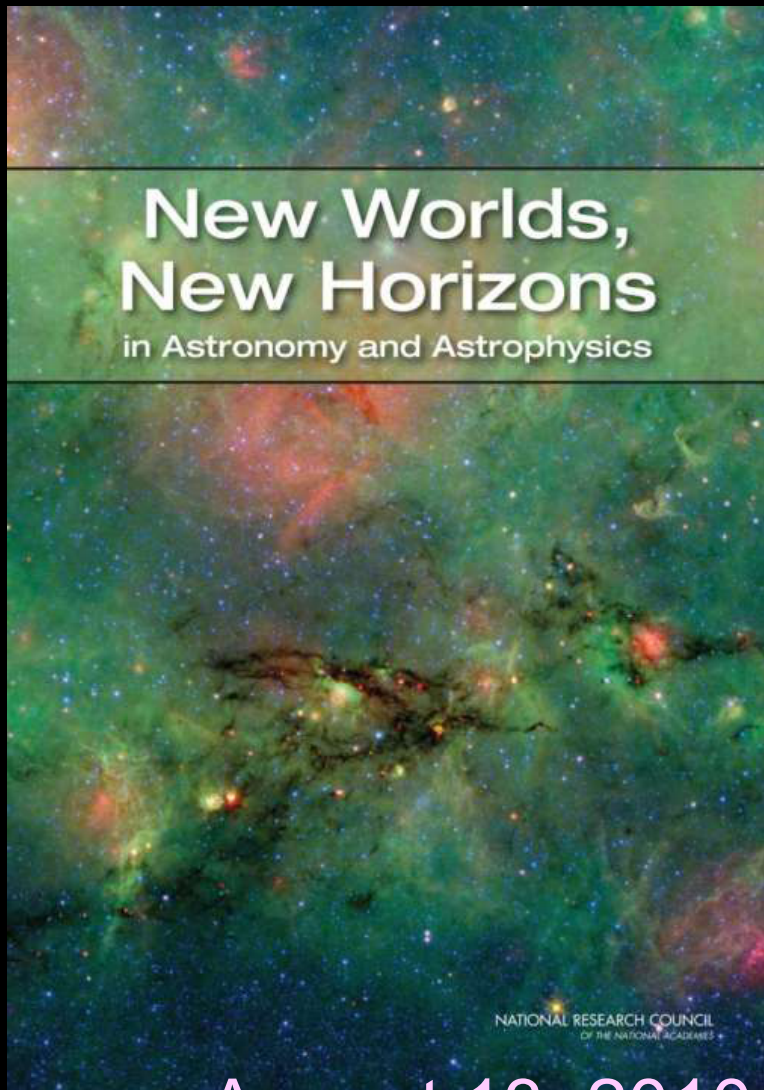


<http://www.pmaweb.caltech.edu/Courses/ph136/yr2012/>

2018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(2010年は重力波、2011年は恒星動力学、2012年と2013年は星の進化論、2014年と2017年はコンパクト天体、2015年は星の進化論の教科書を輪講した)

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, Cannon**
 - 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

須藤研の研究内容紹介

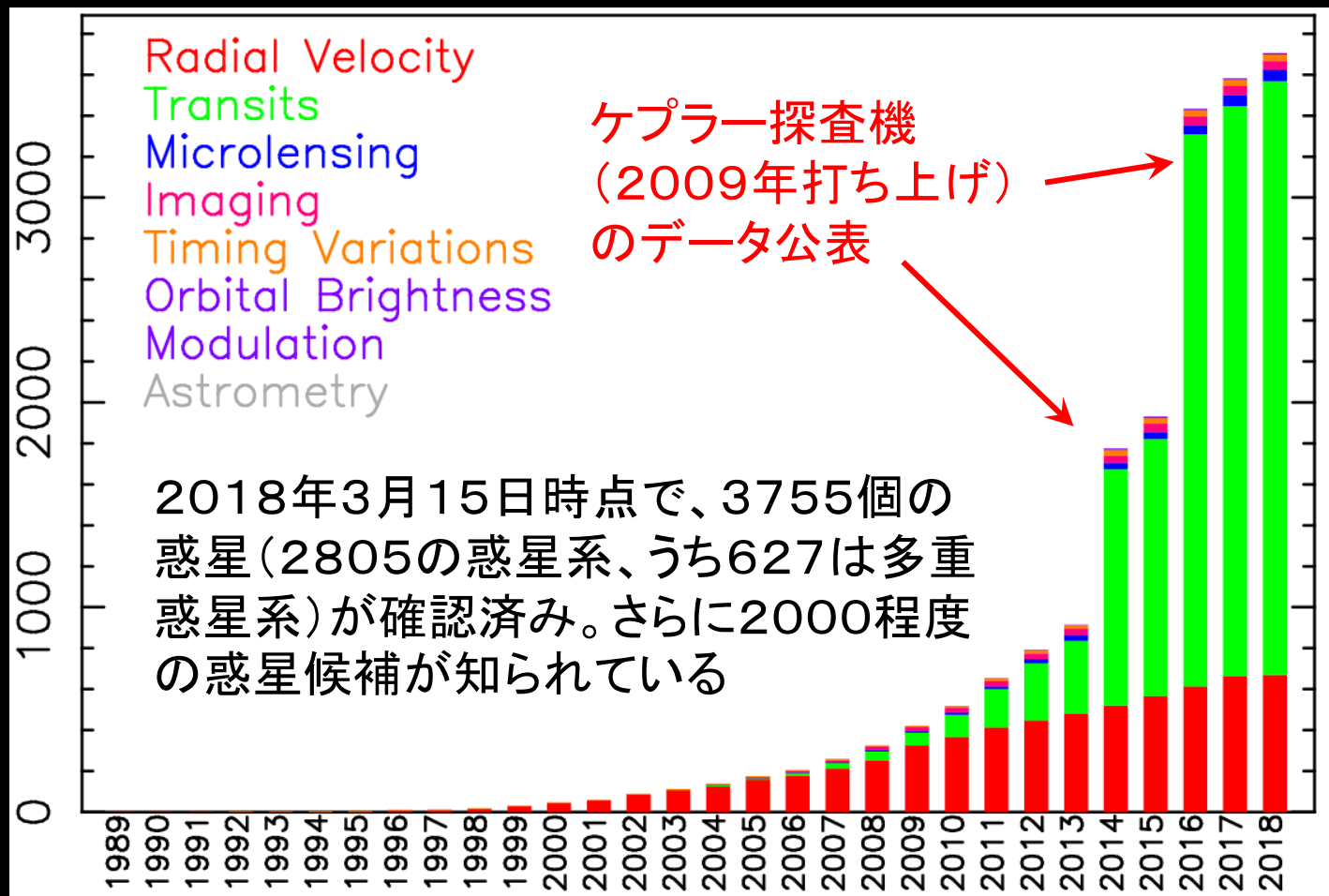
- 宇宙論と太陽系外惑星が2つの主テーマ
 - すばる望遠鏡に代表される大規模撮像／分光サーベイに基づく観測的宇宙論（特に大栗助教は重力レンズ宇宙論の世界的研究者。IPMUの高田教授とも共同で行う）
 - 太陽系外惑星系の観測的および理論的研究
 - 惑星大循環モデルシミュレーション、バイオシグニチャーから宇宙生物学へ

太陽系外惑星の理論と観測

- 系外惑星系の角運動量の起源と進化
 - ロシター・マクローリン効果による観測的決定
 - 軌道進化の天体力学的数値計算
 - 星震学の応用
- 複数惑星系の軌道進化と3体問題
- 系外惑星から宇宙生物学へ
 - 地球型惑星の反射光による表面地図
 - バイオシグニチャー

太陽系外惑星発見年表

発見総数



2016年6月時点では

西暦

8重惑星系:太陽系のみ、7重惑星系:3、6重惑星系:2、5重惑星系:15、
4重惑星系:49、3重惑星系:99、2重惑星系 300個以上

系外惑星研究の現在・過去・未来

- 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)
-

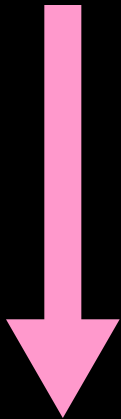
■ **ハビタブル惑星の実見**

■ **系外惑星リング、衛星の実見**

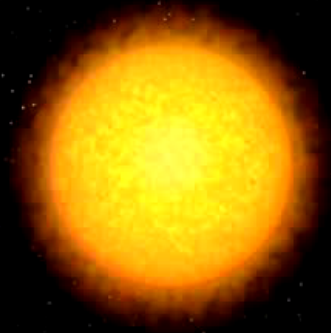
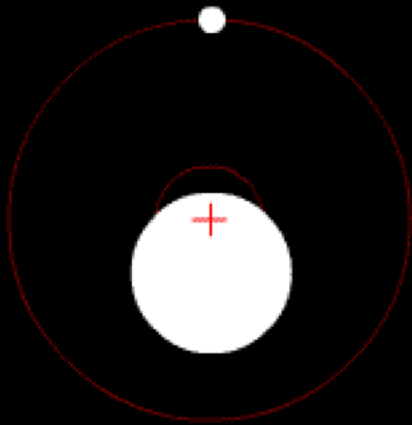
■ **地球型惑星の直接検出(測光 & 分光)**

■ **バイオシグニチャー(生物の兆候)の同定**

■ **地球外生命の実見**



系外惑星検出方法



■ ドップラー法

- 惑星の公転に同期して中心星の速度が毎秒数十メートル程度、周期的に変動

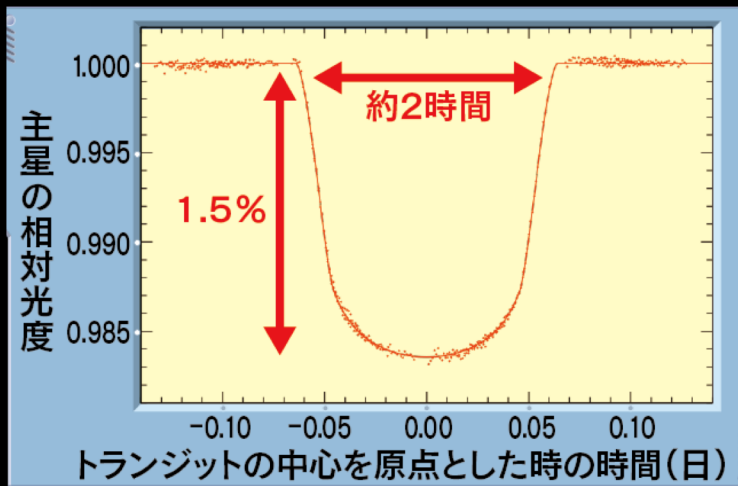
■ トランジット法

- 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

■ 直接撮像

- 中心星の光を隠して惑星の光を分離

■ 重力レンズ



トランジット惑星観測からわかること

■ 測光観測

- 公転周期、惑星半径(主星半径との比)、我々の視線に対する公転面軌道傾斜角
- 主星の自転速度

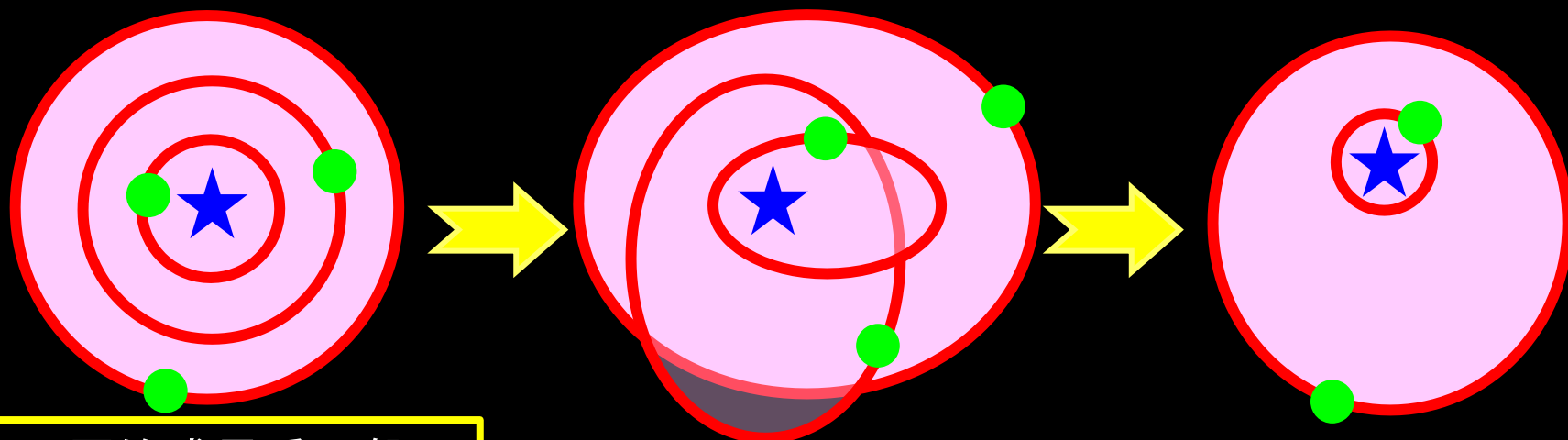
■ + 分光観測

- 惑星質量、離心率
- spin-orbit 射影角 λ (主星自転軸と惑星公転軸のなす角の天球面上への射影)

■ 星震学(asteroseismology)

- 主星の温度、半径、密度などの精密推定
- 我々の視線に対する主星自転軸傾斜角

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

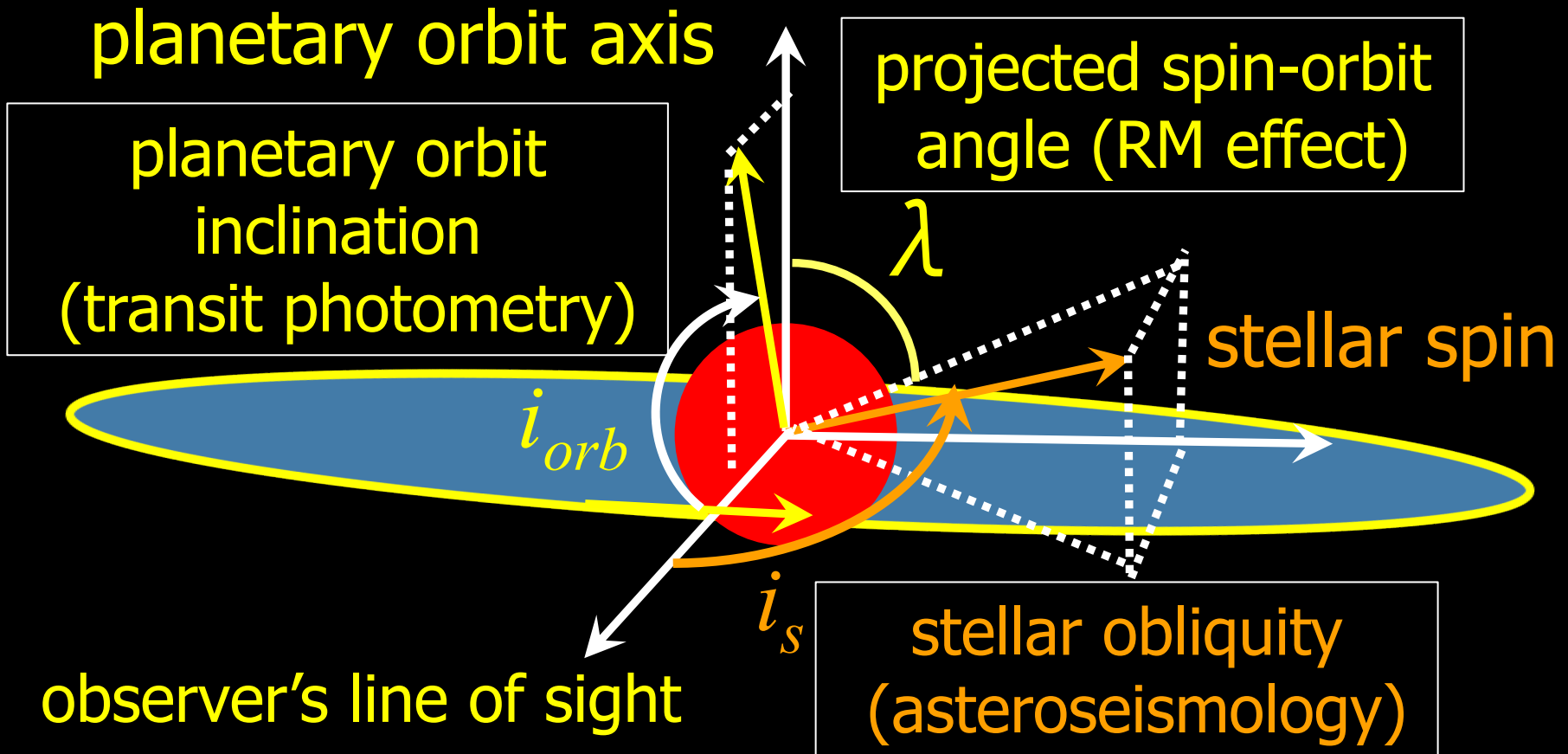
太陽系形成標準モデル
(京都モデル・林モデル)

- 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

林利憲、Wang Shijie
修士論文 (2019)

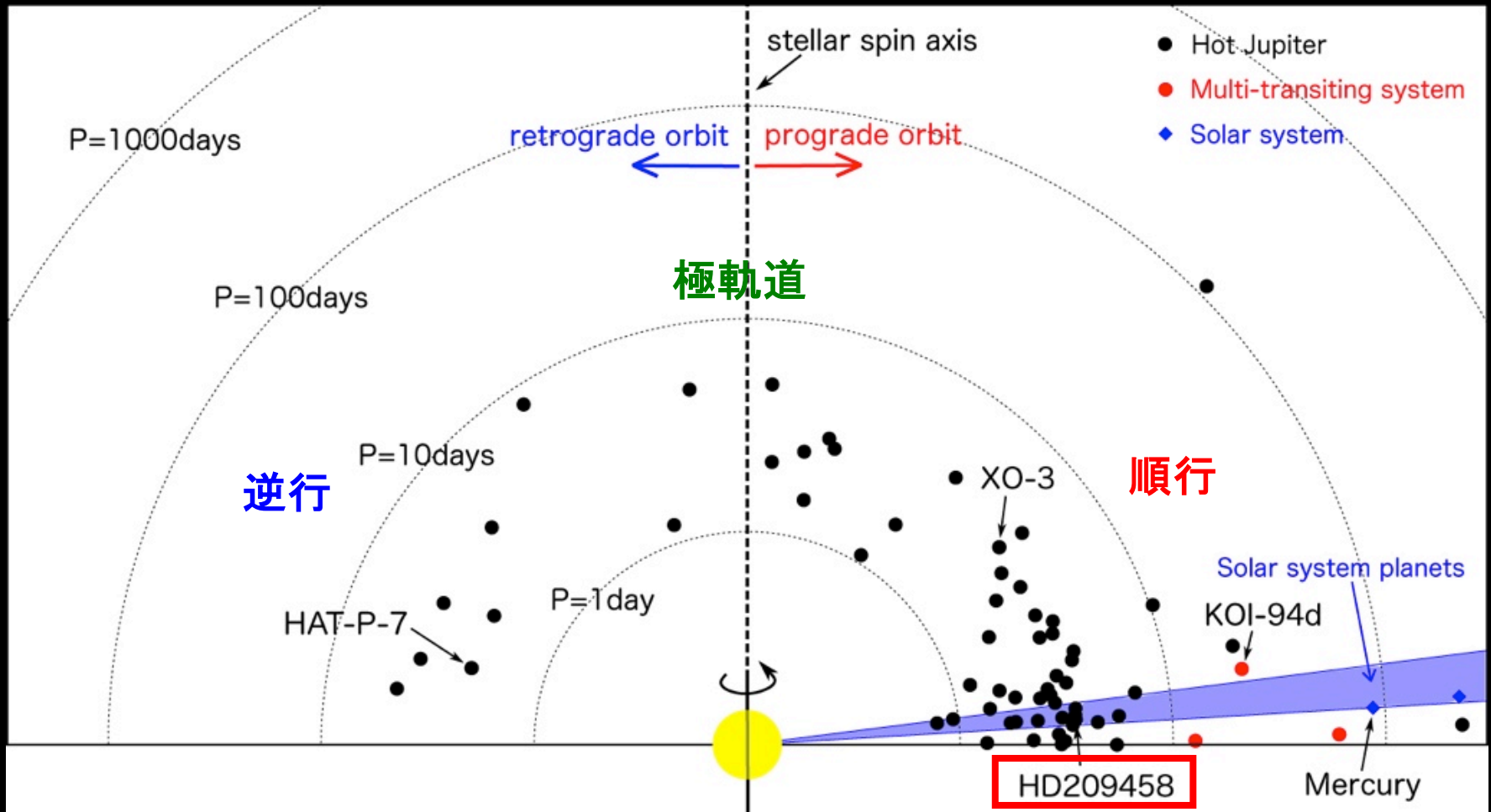
- 古在機構
- 主星自転軸と惑星公転軸のずれ
- 主星・惑星潮汐作用
- 軌道収縮
- 円軌道化
- ホットジュピターの誕生

Spin-orbit angles of a transiting planet



$$\cos \Psi = \sin i_s \sin i_{orb} \cos \lambda + \cos i_s \cos i_{orb} \\ \approx \sin i_s \cos \lambda$$

主星自転軸と惑星公転軸のまとめ (天球上の射影角なので3次元角度ではない)



2013年6月時点でRM効果が測定されたトランジット惑星70個中29個が $\pi/8$ 以上の有意なずれ。うち、8個が極軌道、7個が逆行軌道。

Xue Yuxin 博士論文 (2017)

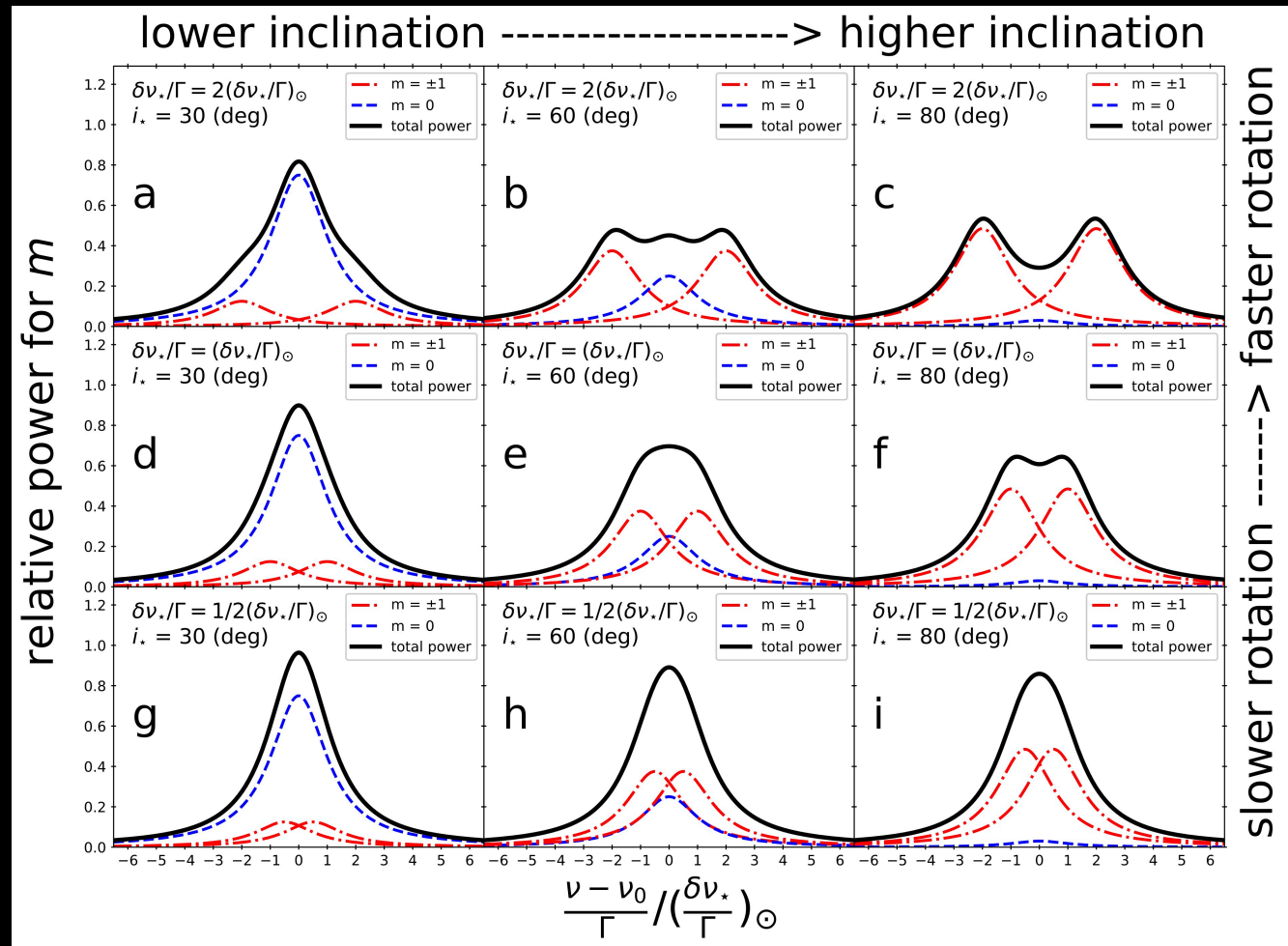
星震学から星の自転傾斜角を推定

- 星の非球対称振動モードの解析から、系外惑星系の起源と進化を探る 上赤翔也 博士論文 (2019)

Toutain & Goutebroze, (1993)

Gizon & Solanki (2003)

Kamiaka, Benomar & Suto (2018)



系外惑星リングの発見？

- ケプラー衛星データのトランジット信号からアナノマリーを探す
 - 惑星リング？
 - 連惑星
 - 食連星の星周円盤？
- すばる望遠鏡で追観測予定

逢澤正嵩 修士論文(2017)

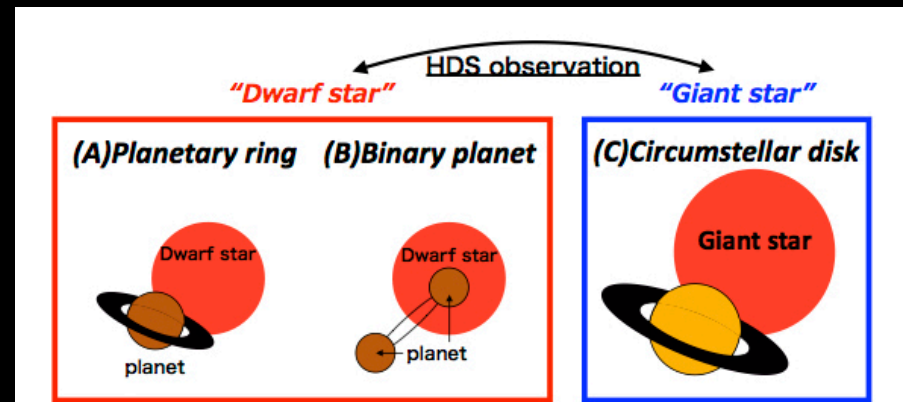
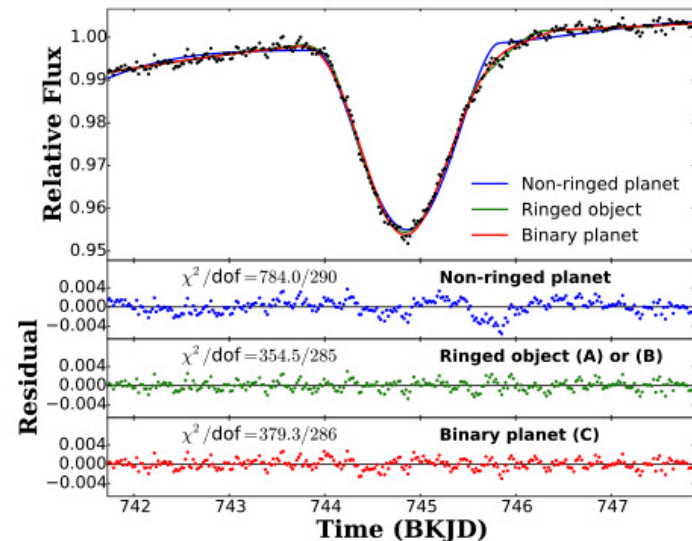
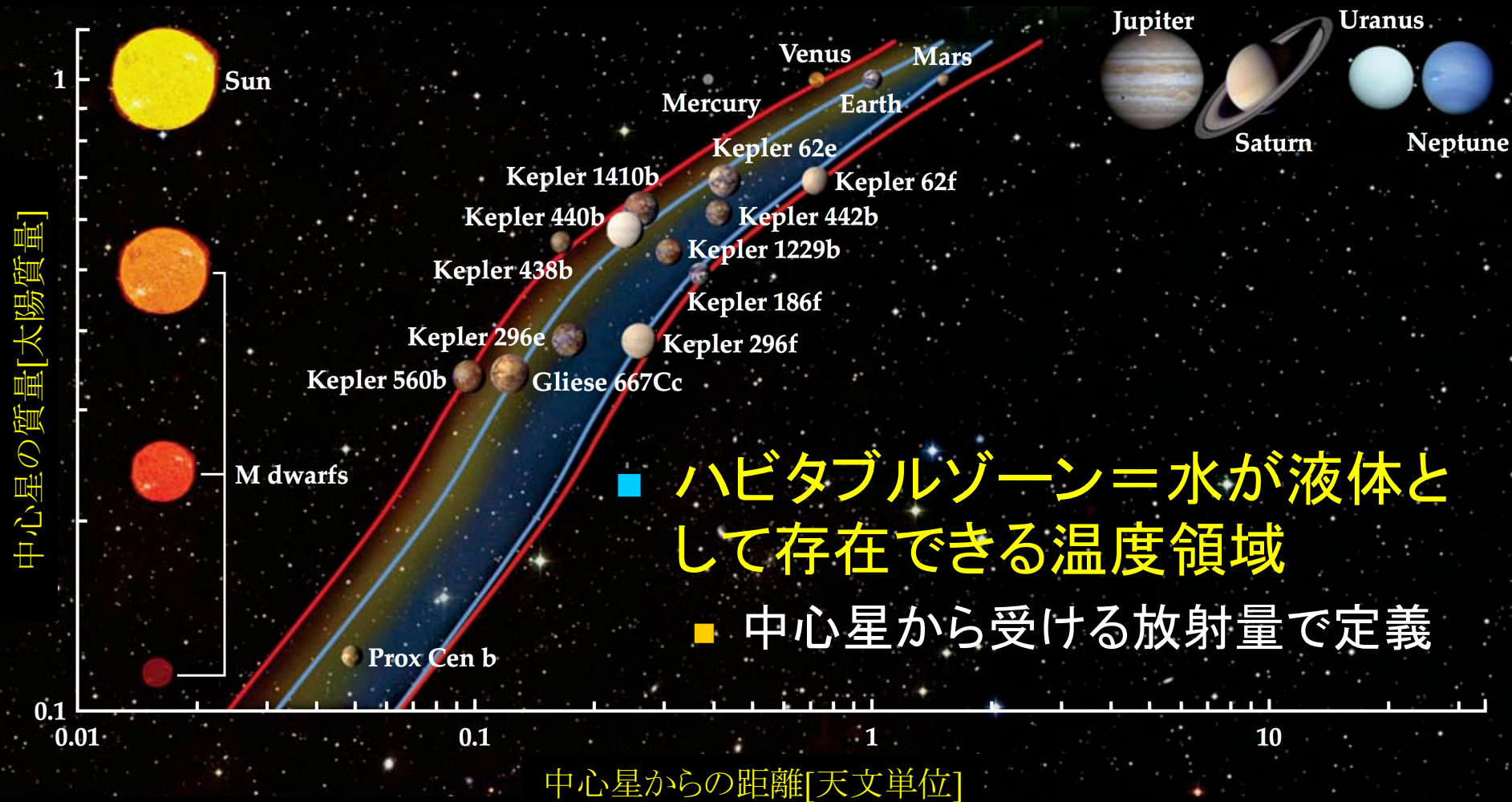


Fig 1. Three possible scenarios for the transit-like signal. (A) Ringed planet (B) Binary planet (C) Stellar companion with a circumstellar disk.



ハビタブル惑星候補



地球サイズのハビタブル惑星の存在確率

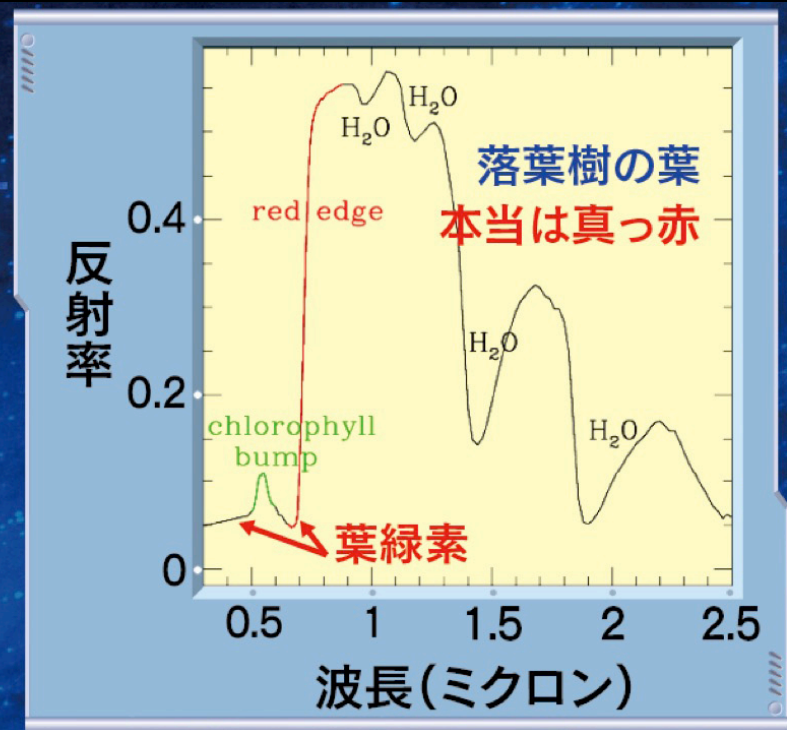
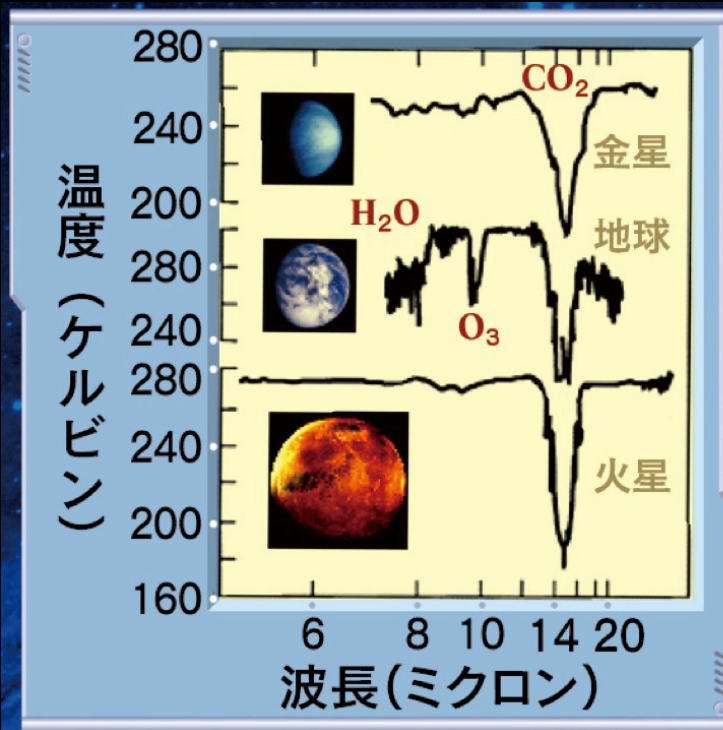
- 太陽と似た星を公転する地球半径の1~2倍の惑星
 - ケプラーのトランジット惑星検出数から、観測的選択効果を補正して推定
 - 11 ± 4 % (地球上での太陽フラックスの1~4倍のもの)
 - $5.7^{+2.2}_{-1.7}$ % (公転周期が200~400日のもの)

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	~50 [†]

バイオシグニチャー: 生物が存在する兆候

- 何を見れば生命があると考えらるのか？
 - 生物由来の大気成分(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



惑星科学国際研究ネットワーク

汎惑星進化史の構築から水と生命の起源へ



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



天

サンプルリターンによる始原物質の組成解明

系外惑星系の多様性と普遍性の解明



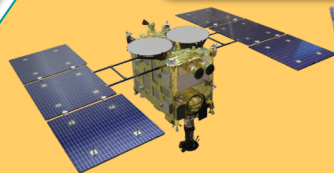
第二の地球？
生命を育む惑星
惑星を育む宇宙

宇宙の初期ゆらぎから生命へ
惑星系の起源と進化

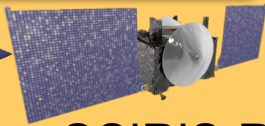
物質組成、水の起源と輸送、生命の兆候

太陽系内小天体
始原物質探査

地球型惑星探査・
大気分光



はやぶさ2(2014-2020) (2016-2023)



OSIRIS-REx



CHEOPS
(2018-2022)



すばる



国立天文台
NAOJ
National Astronomical
Observatory of Japan

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>

地球は青かった？

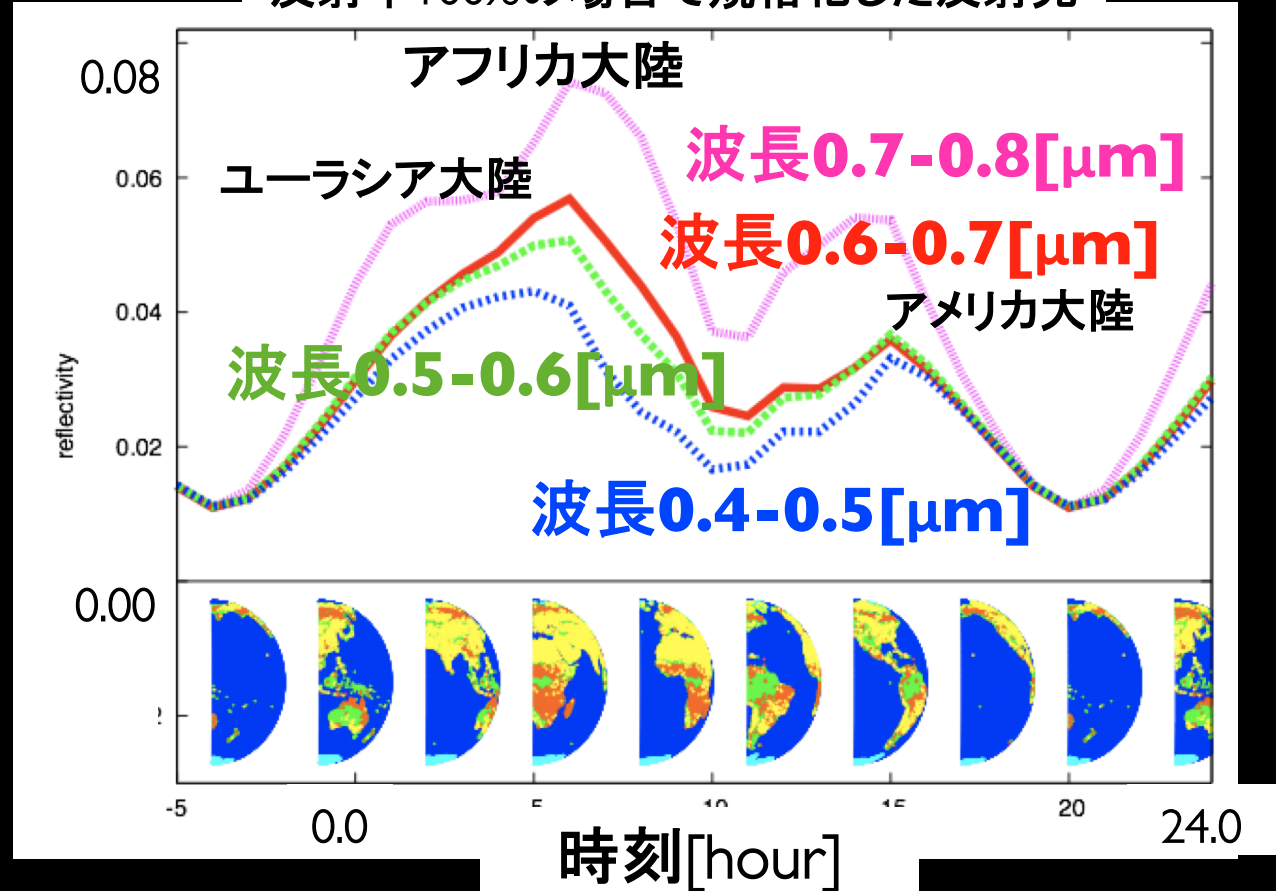
A pale blue dot



自転に伴う反射光の色の時間変動のシミュレーション

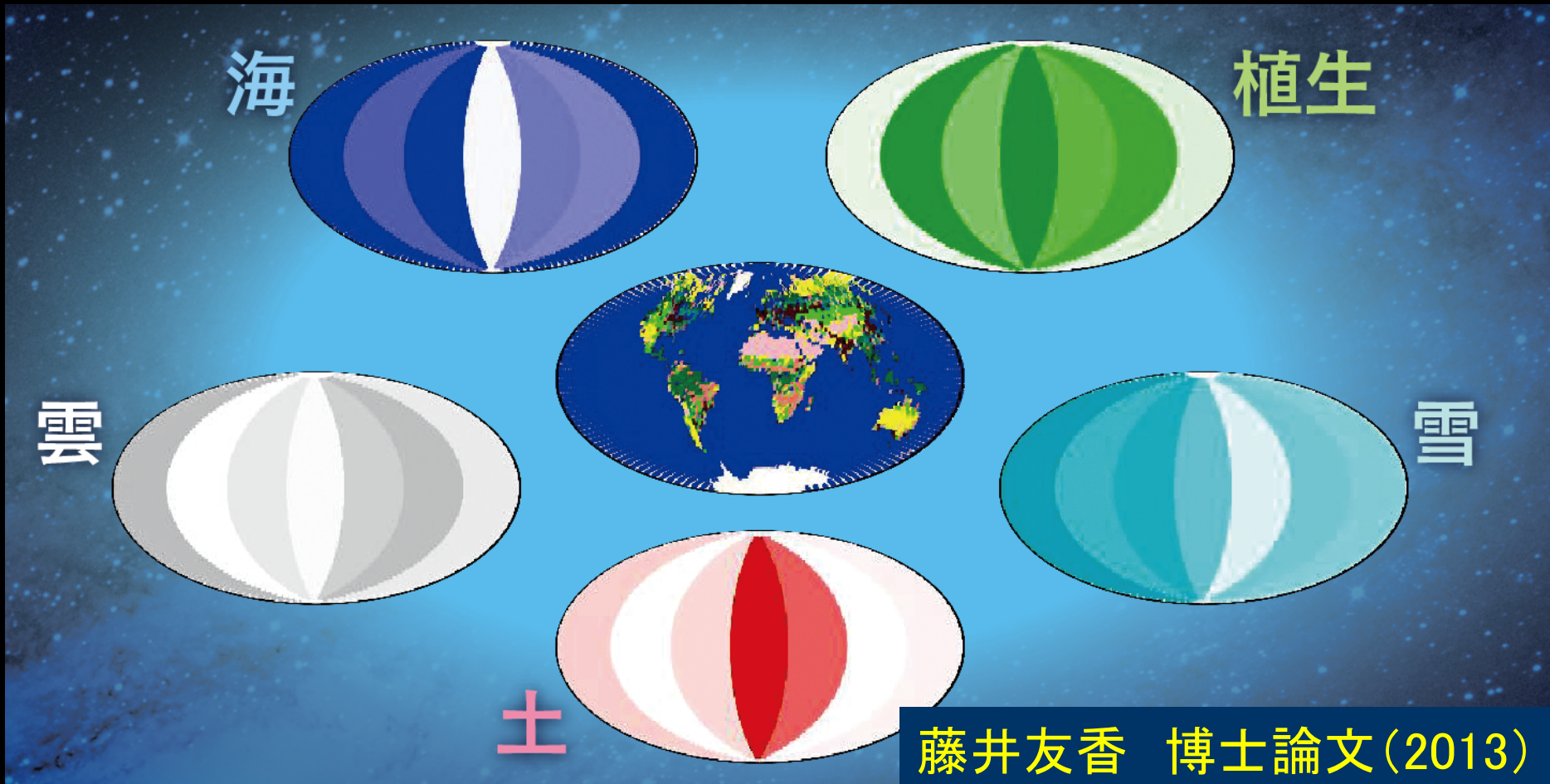
- 春分(3月)
- 自転軸に垂直な方向から観測
- 地球観測衛星のデータを用いて計算

反射率100%の場合で規格化した反射光



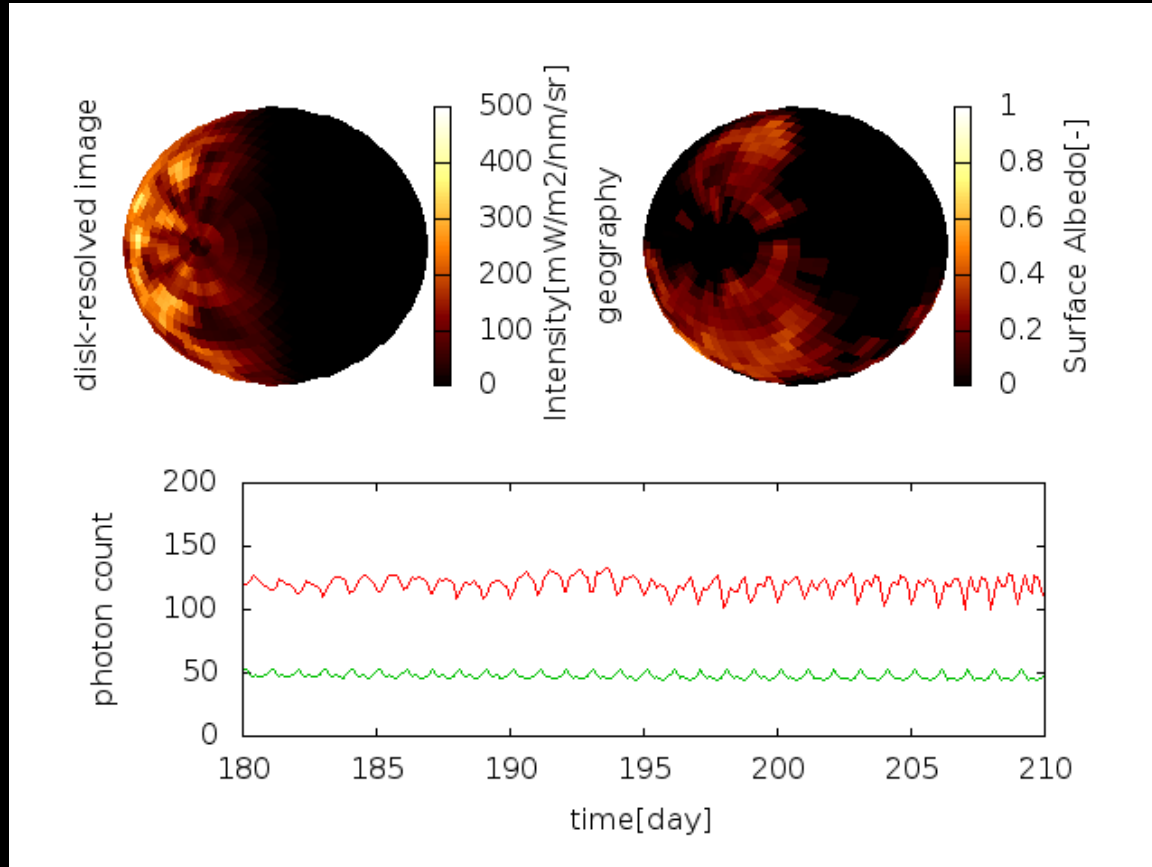
Fujii et al. (2010)

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 博士論文(2013)

大循環モデルを用いた地球の気象シミュレーションによる雲分布と光度変化



中川雄太 修士論文 (2018)

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>
- 大学院で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うこと
 - 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