

宇宙理論研究室ガイダンス

http://www-utap.phys.s.u-tokyo.ac.jp/~suto/mypresentation_2017j.html

物理教室

2017年4月4日 17:10-17:30

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)

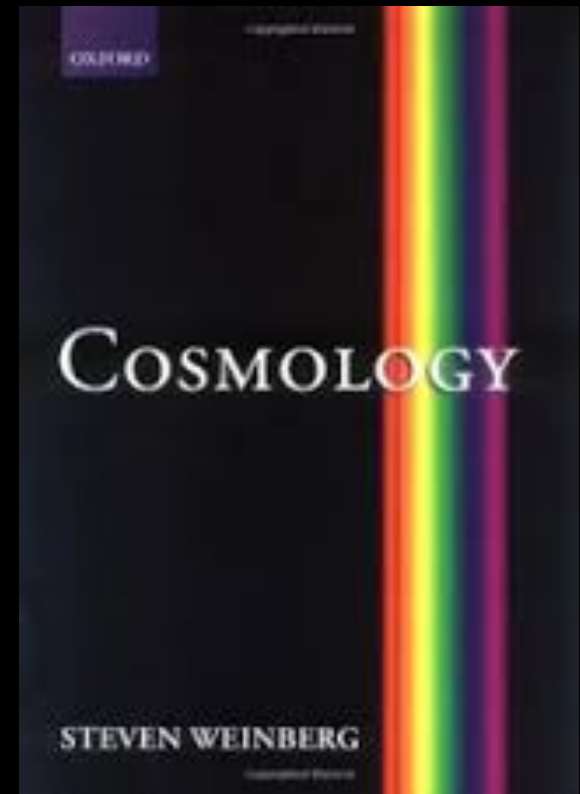
助教：須山輝明 (初期宇宙論、重力理論)

准教授：Kipp Cannon (重力波天体物理学)

助教：伊藤洋介 (重力波天体物理学)

2017年度前期理論演習

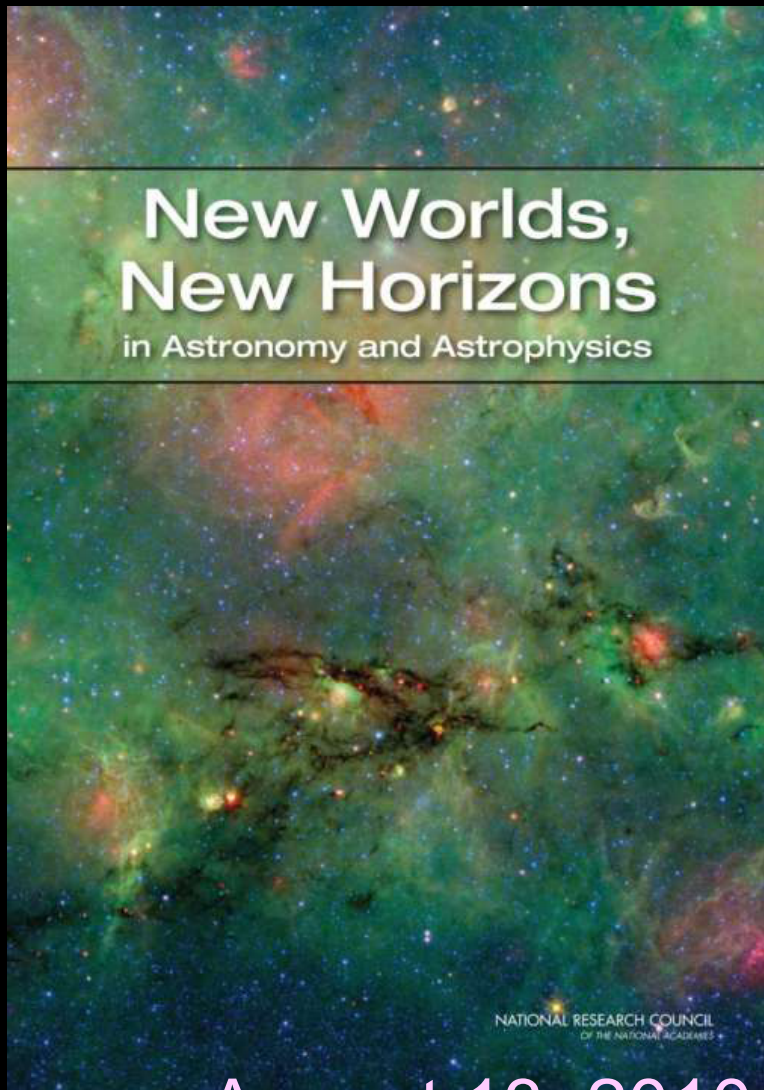
- 須藤・吉田・横山の3研究室合同で宇宙論の教科書を読む
- Steven Weinberg
"Cosmology" Oxford Univ.
Pressが第一候補
- 配属となった人は、4月12日
(水)13:30@理学部一号館9
階908号室に集合すること。そ
こで教科書と分担を相談して
決める



2017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）
 - 太陽系外惑星系の観測的および理論的研究
 - バイオマーカ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
- 系外惑星のリングと衛星の探索
- 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
 - バイオマーカー

系外惑星発見数 (2016年7月)

検出方法	惑星系数	多重惑星系数	惑星総数
時刻変動	18	5	29
視線速度	511	119	676
位置天文	1	0	1
マイクロレンズ	47	2	49
直接撮像	65	3	70
トランジット	1978	448	2652
総計	2600	590	3476

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)
-

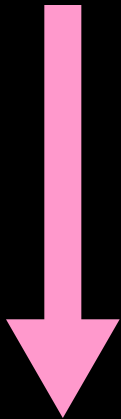
■ **ハビタブル惑星の実見**

■ **系外惑星リング、衛星の実見**

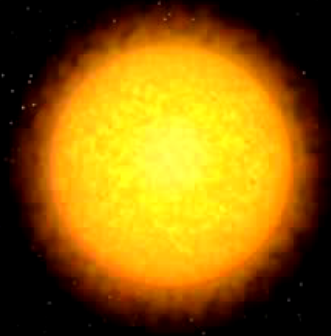
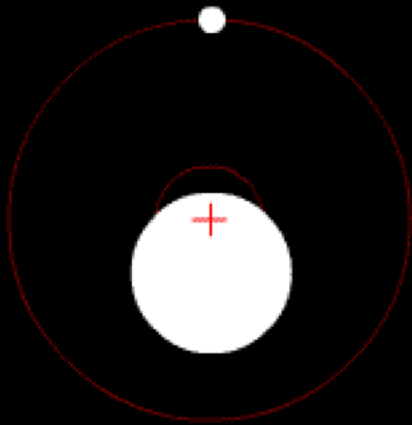
■ **地球型惑星の直接検出(測光 & 分光)**

■ **バイオマーカー(生物存在の証拠)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

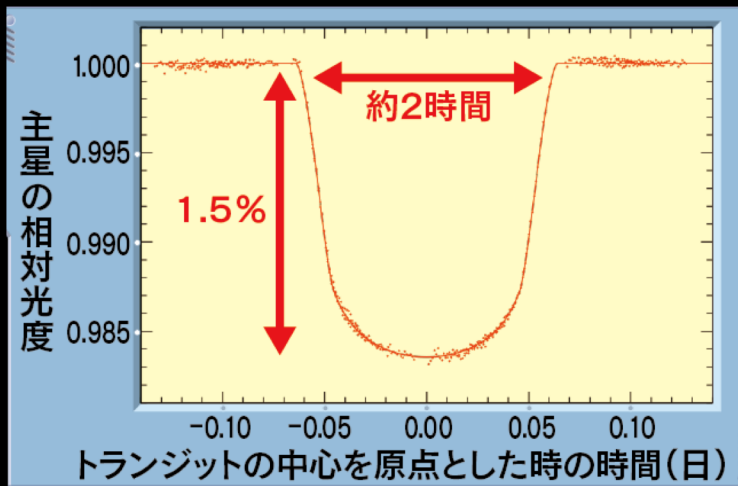
■ トランジット法

- 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

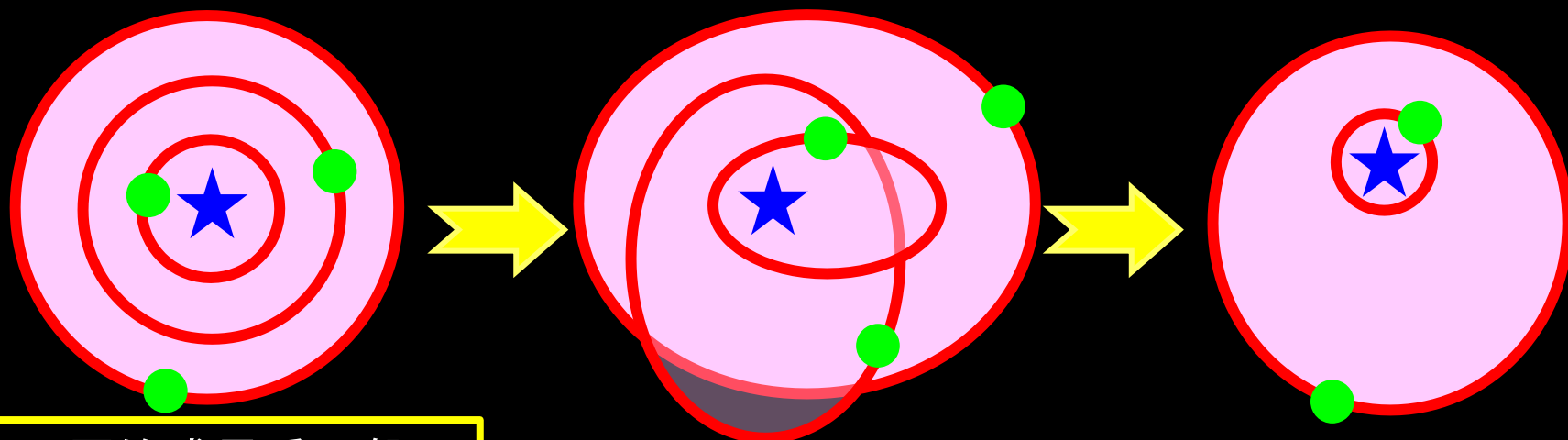
■ + 分光観測

- 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



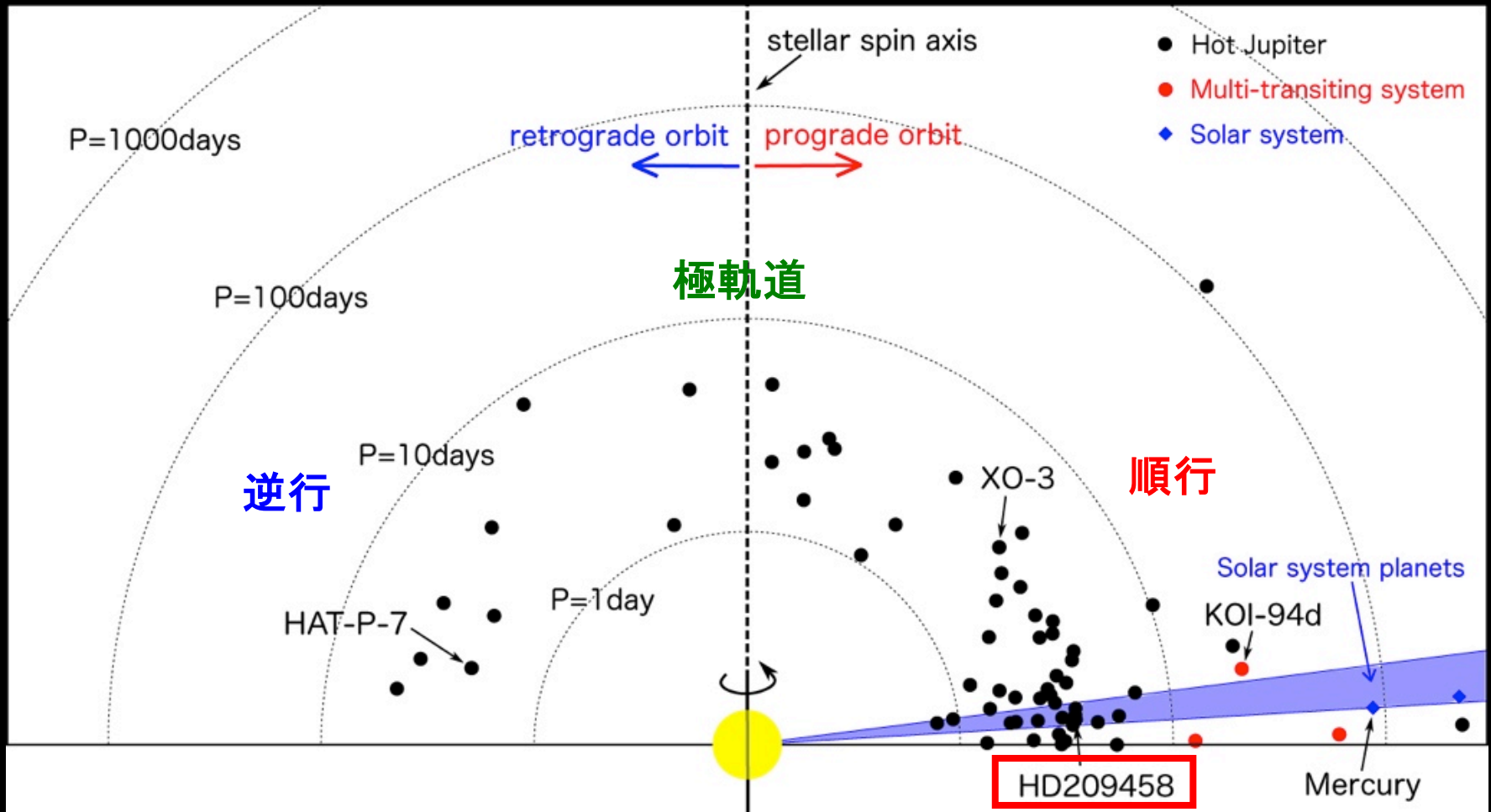
- 原始惑星系円盤
- ダスト沈殿・成長
- 微惑星形成・合体
- 円軌道の原始惑星
- ガス降着によるガス惑星の誕生

- 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)

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。

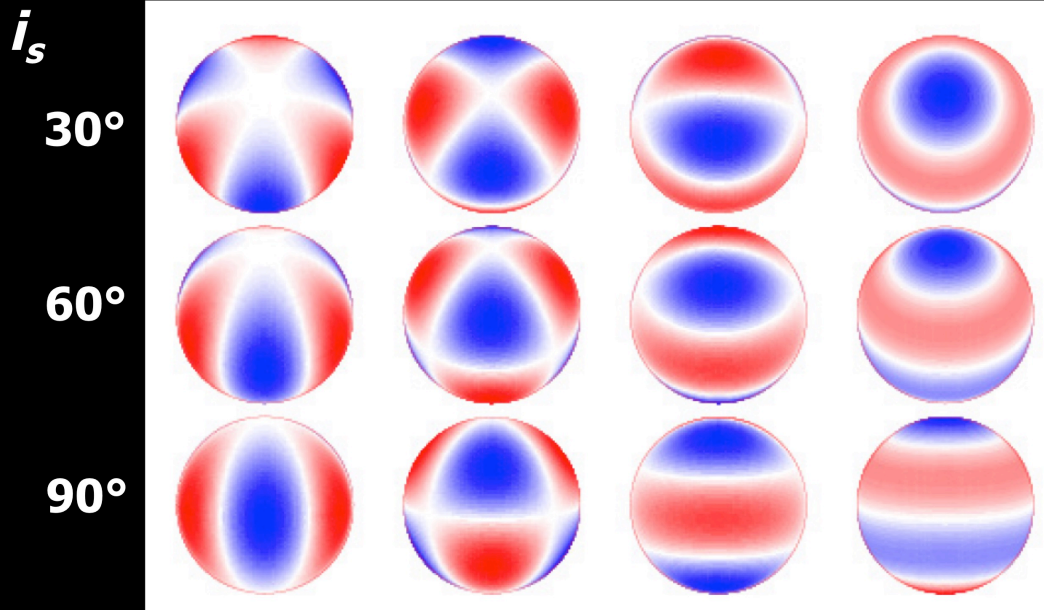
Xue et al. (2014)

星震学と系外惑星系

- 星の非球対称振動モードの解析から、中心星の自転傾斜角 i_s を決定 (Benomar et al. 2014)

$Y_{lm}(\theta, \varphi)$ と Stellar inclination ($l=3$)

$m=\pm 3$ $m=\pm 2$ $m=\pm 1$ $m=0$



T.L. Campante, arXiv:1405.3145

- Kepler-25 (2重トランジット惑星系)

- $i_s = 65.4^\circ \quad +12.1^\circ \quad -7.4^\circ$
- 射影角 $\lambda = 9.4^\circ \quad \pm 7.1^\circ$
- 3次元角 $\psi = 26.9^\circ \quad +7.0^\circ \quad -9.2^\circ$

- HAT-P-7 (逆行惑星候補)

- $i_s = 27^\circ \quad +35^\circ \quad -18^\circ$
- 射影角 $\lambda = 186^\circ \quad +10^\circ \quad -11^\circ$
- 3次元角 $\psi = 122^\circ \quad +30^\circ \quad -18^\circ$

系外惑星リングの発見？

- 修士論文(逢澤正嵩)
- 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申請中

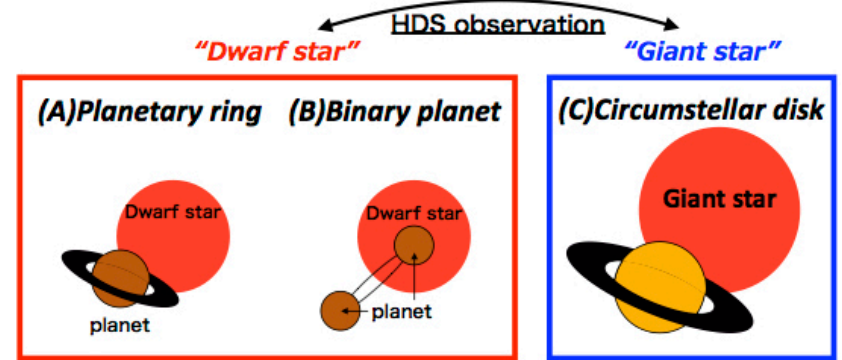
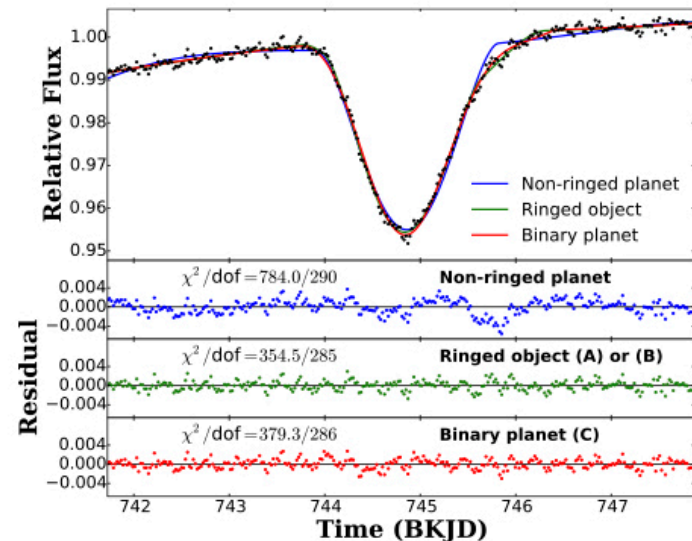


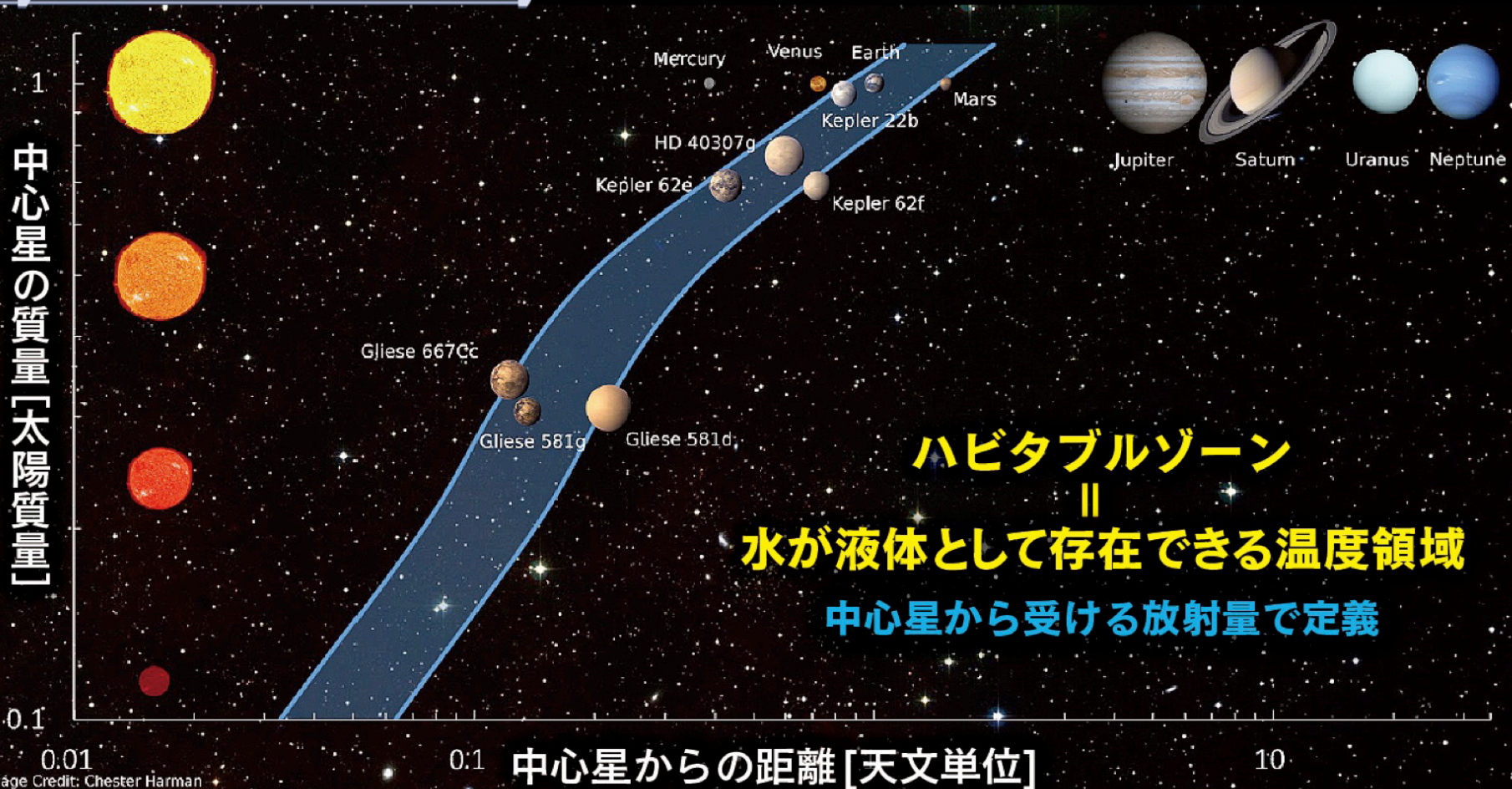
Fig 1. Three possible scenarios for the transit-like signal. (A) Ringed planet (B) Binary planet (C) Stellar companion with a circumstellar disk.



系外惑星系とハビタブルゾーン

ハビタブル惑星候補

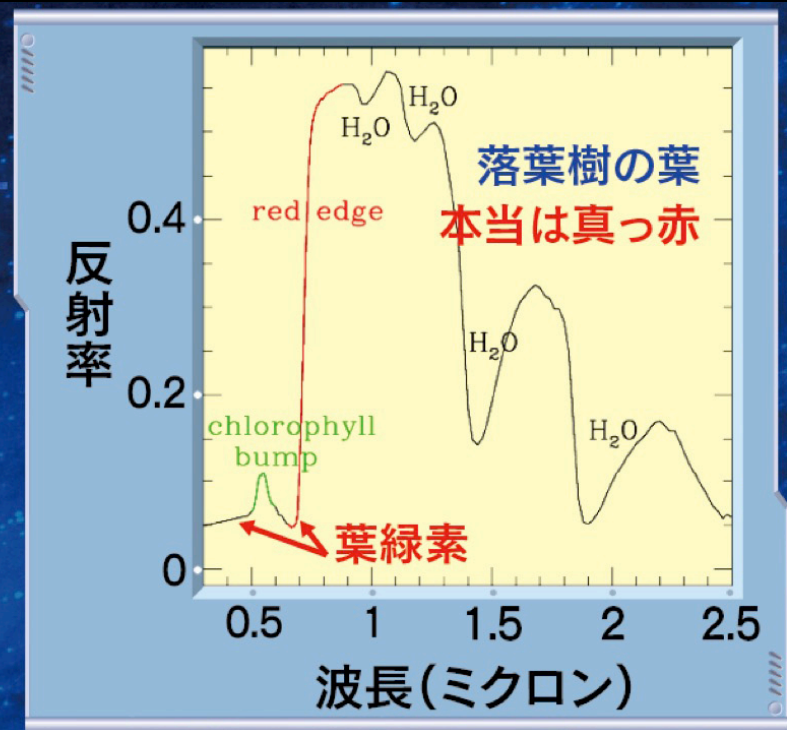
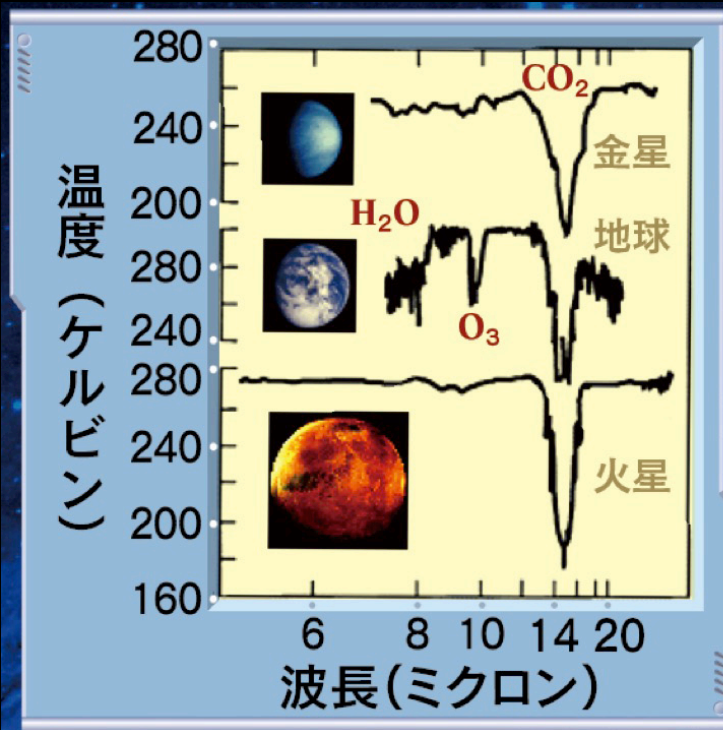
Kasting, Kopparapu, Rameez & Harman (2013)



Kasting, Kopparapu, Rameez & Harman: arXiv:1312.1328

バイオマーカー: 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



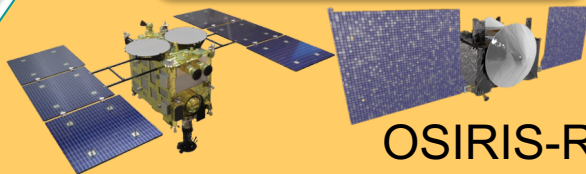
第二の地球？
生命を育む惑星
惑星を育む宇宙

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



OSIRIS-REx

はやぶさ2(2014-2020) (2016-2023)



CHEOPS

(2018-2022)



すばる



国立天文台
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？

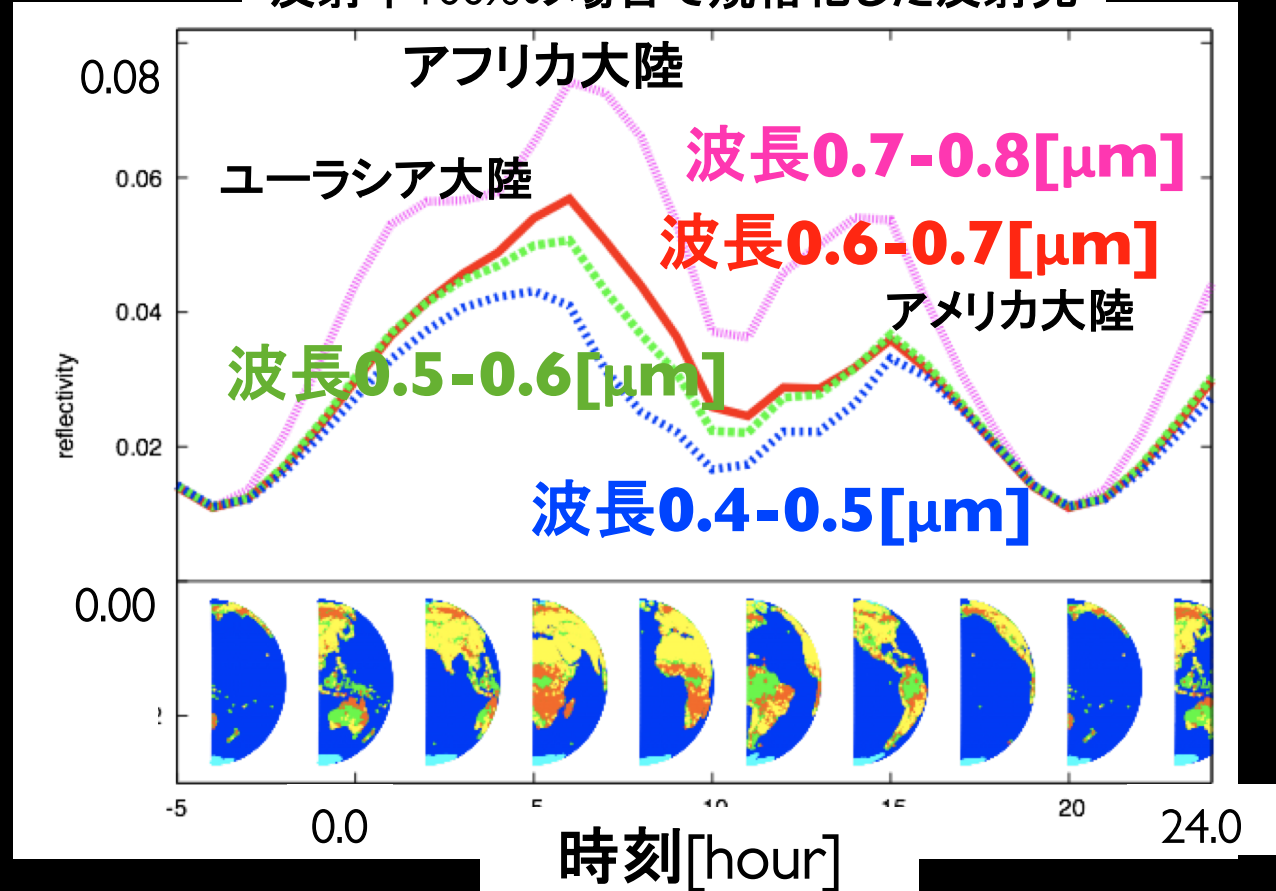
A pale blue dot



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)

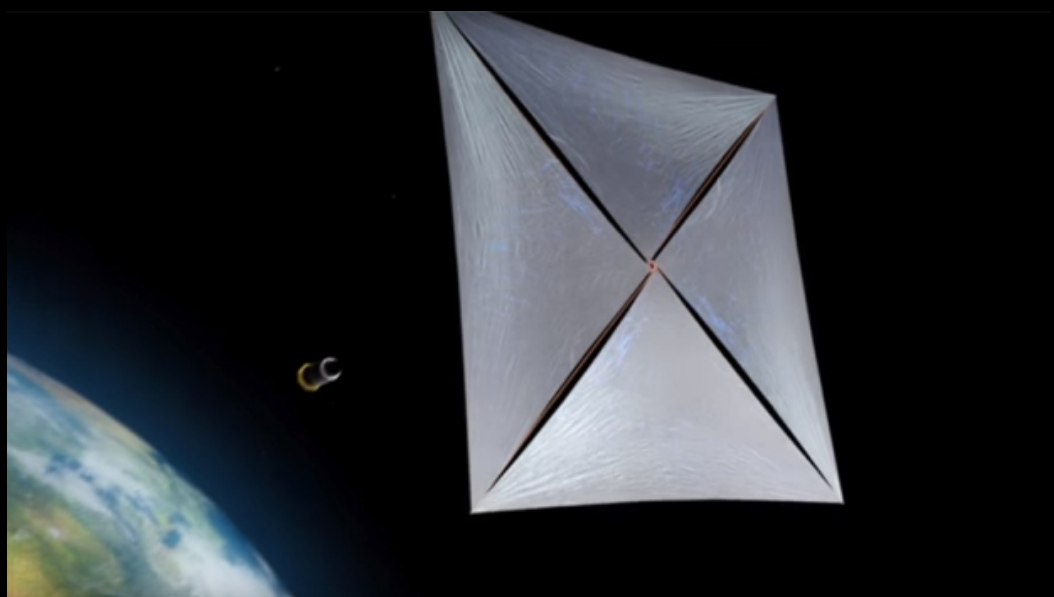
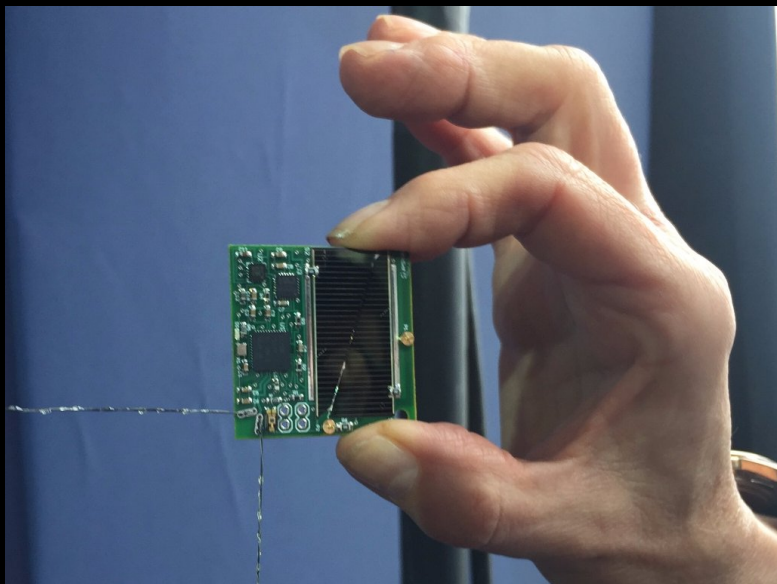
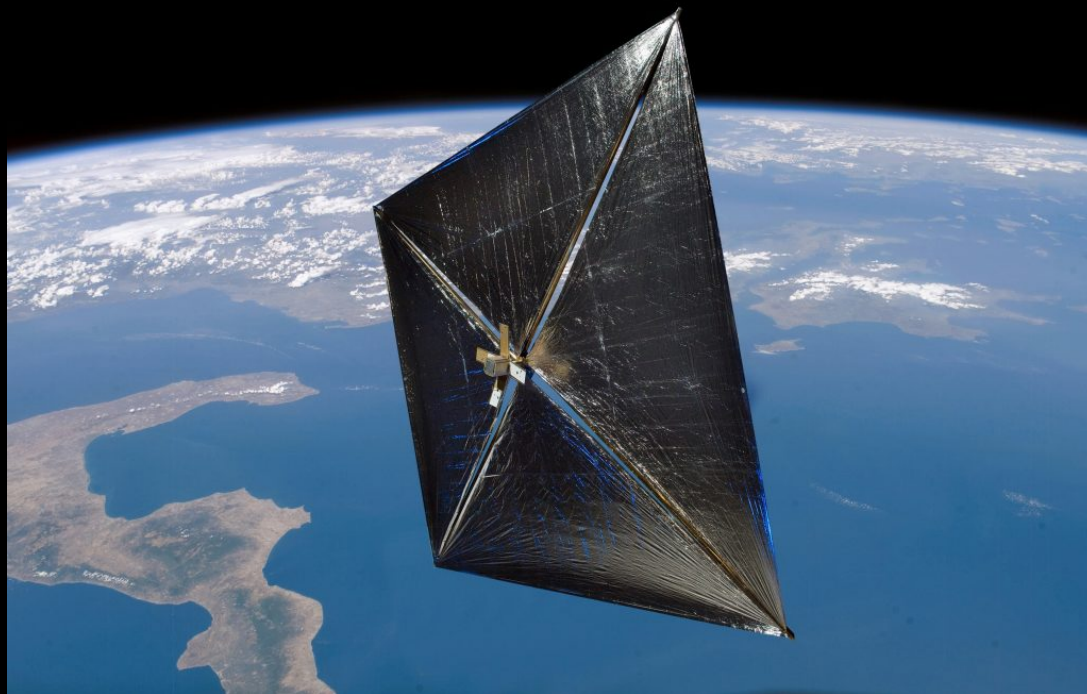
ブレイクスルースターショット

<http://breakthroughinitiatives.org/Initiative/3>

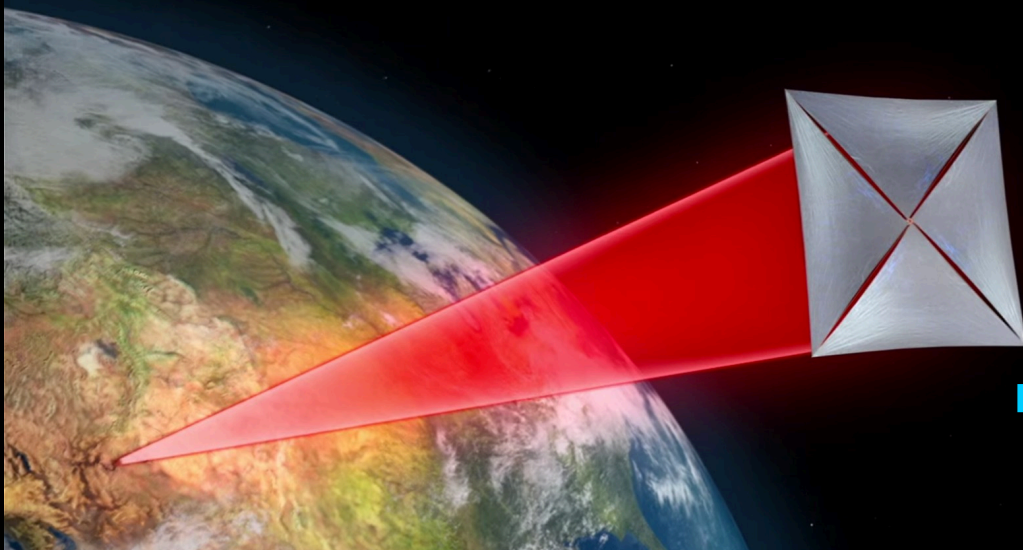
■ スターチップ

- 2cm x 2cm、数グラムで、カメラ、コンピュータ、通信用レーザー、燃料装置を搭載したチップ
 - 4m x 4m の帆に結びつけられ、それが地上からのレーザー光を受けて、約10分で光の20%の速度にまで加速される
- プロキシマ ケンタウリに1000個のスターチップを次々と飛ばす。約20年で到着する
- ただしこの技術はまだ存在しておらず、完成までに今から20年の研究開発が必要

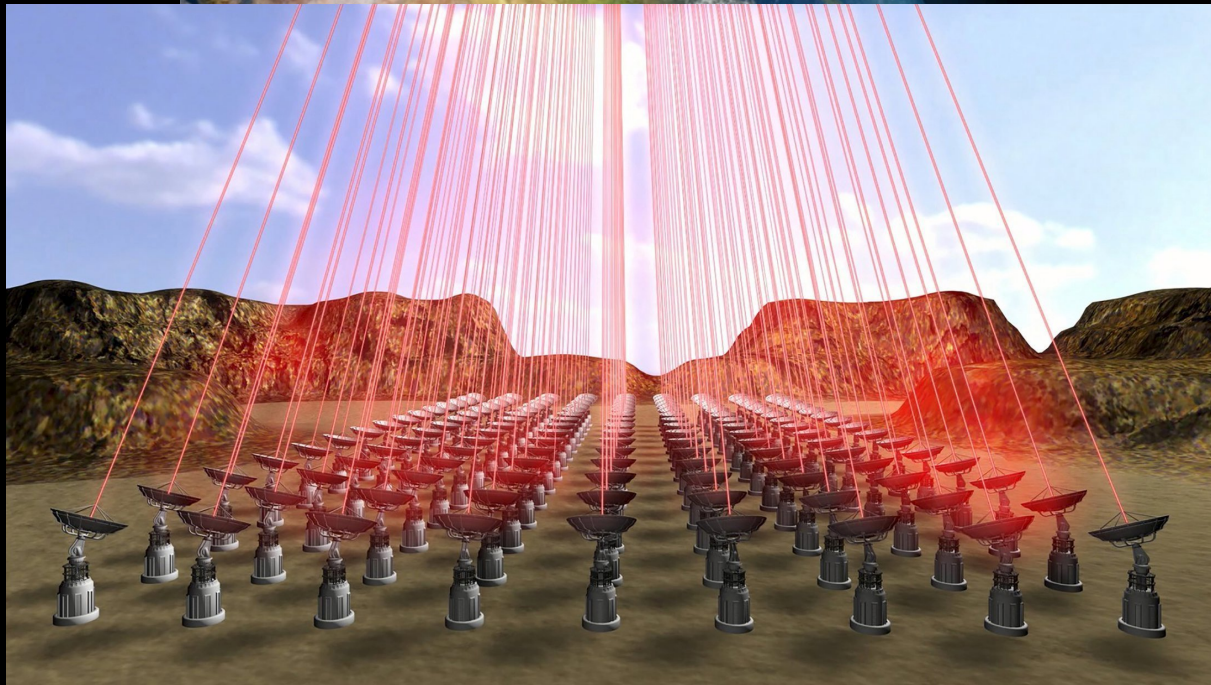
スターチップ



地上のレーザーで光速の20%に加速



- 20年後に打ち上げ、さらに20年かけてプロキシマケンタウリに到達しデータを取得。その4年後には地球にデータが届く。そこには何が写っているのか？



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