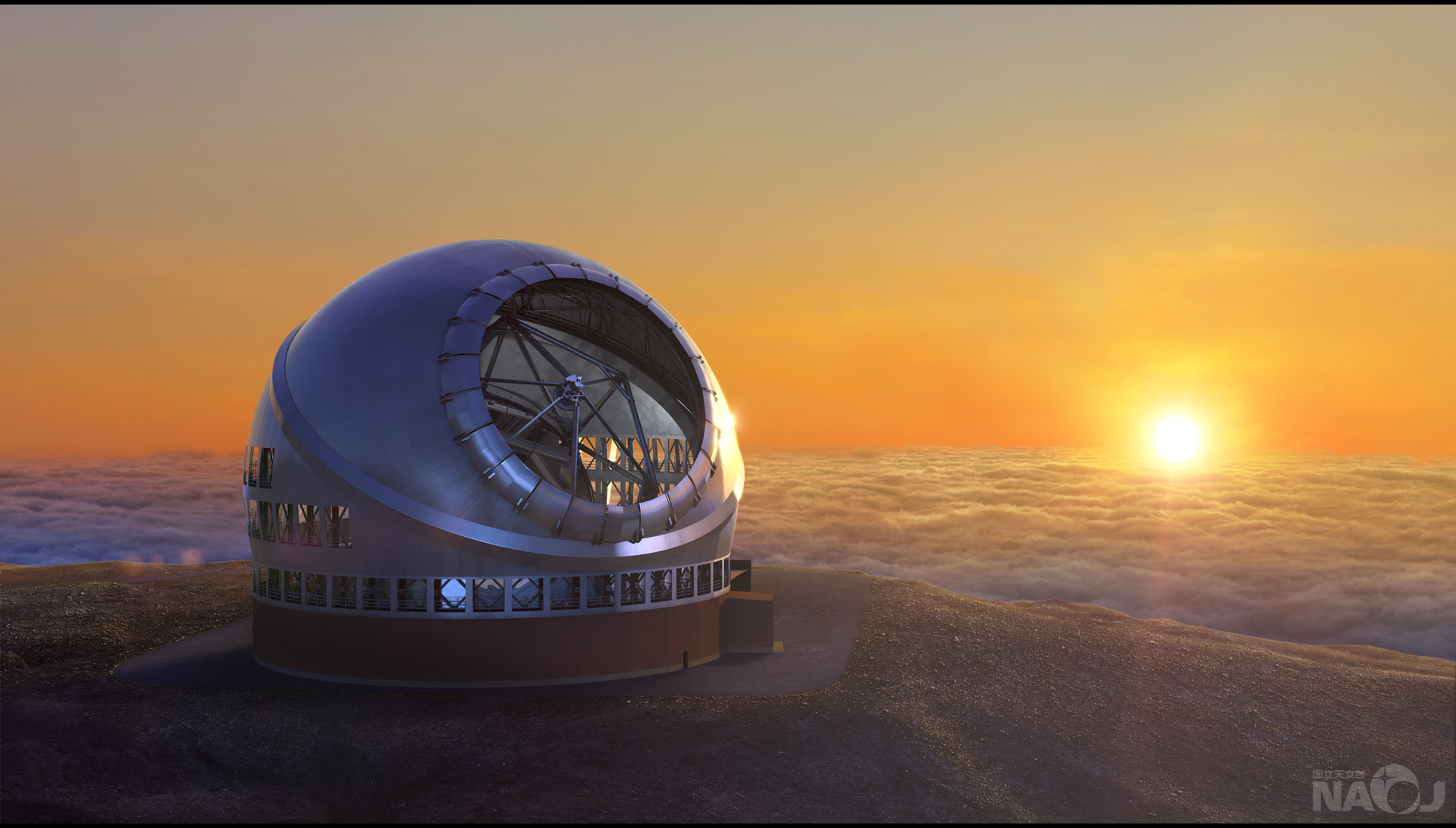
生命の存在可能性に迫る系外惑星研究



東京大学 総合文化研究科附属先進科学研究機構
成田憲保

目次

- これまでの系外惑星探査
- 系外惑星研究の現状
- TMTまでの研究の展望
- TMTによる系外惑星の観測

宇宙の中の太陽系と地球

太陽系以外にも惑星はあるのか？

「生命を育む惑星」は宇宙にありふれているのか？

最初の系外惑星の発見者と望遠鏡

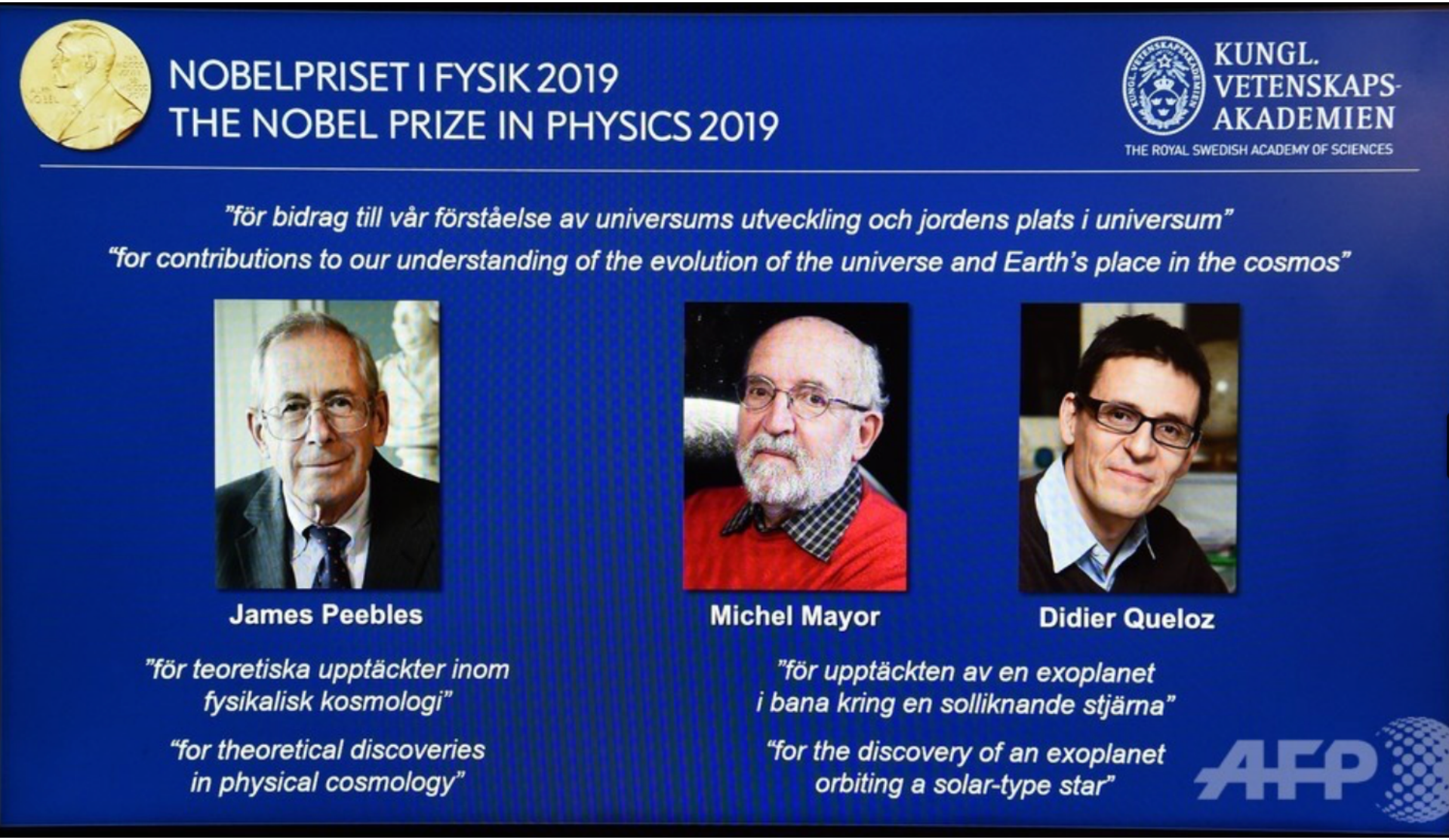
左：Didier Queloz氏

右：Michel Mayor氏

10周年記念研究会の写真より

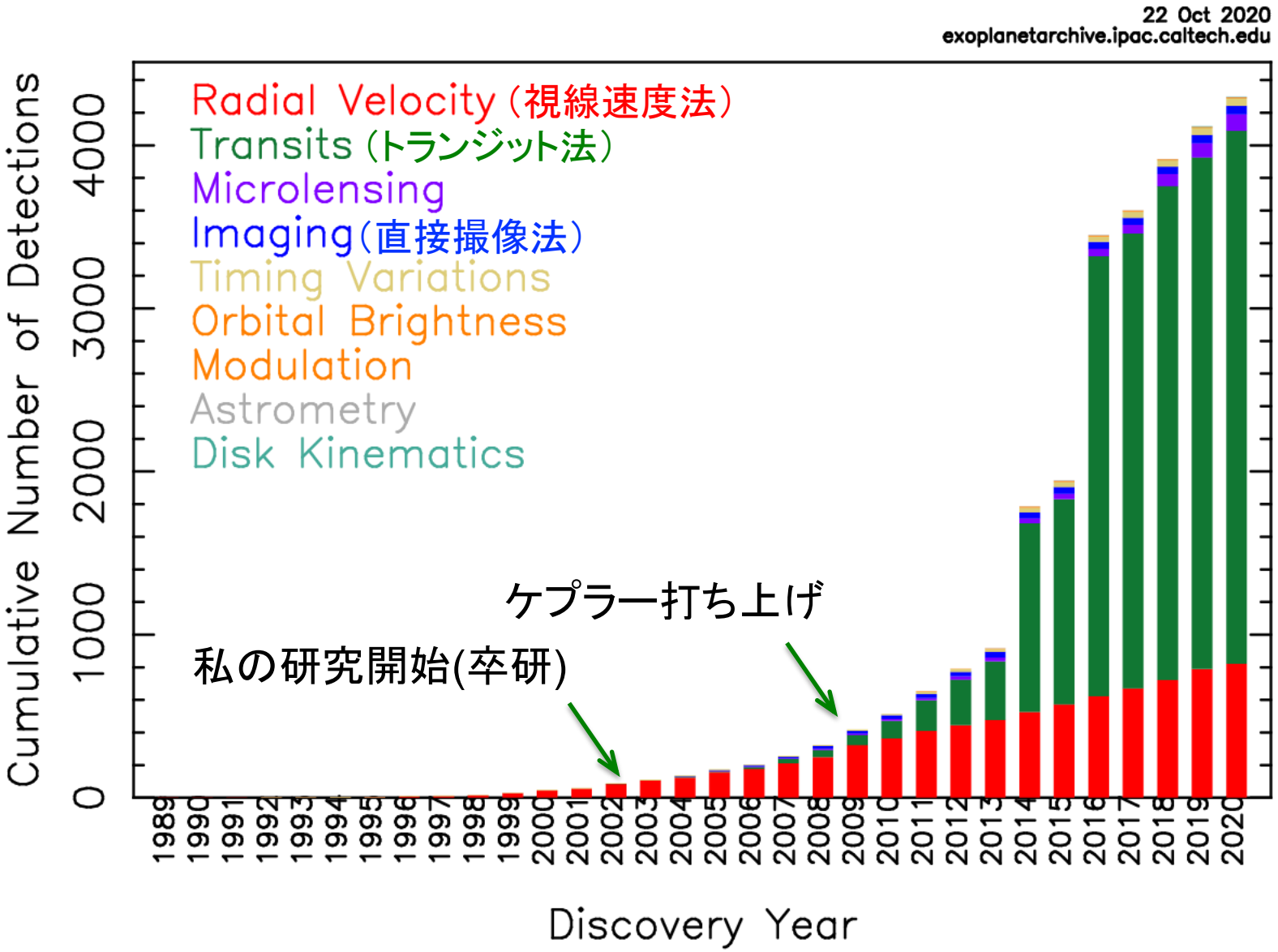
フランス・オートプロバンス天文台・193cm望遠鏡

2019年ノーベル物理学賞



AFP通信のニュースより

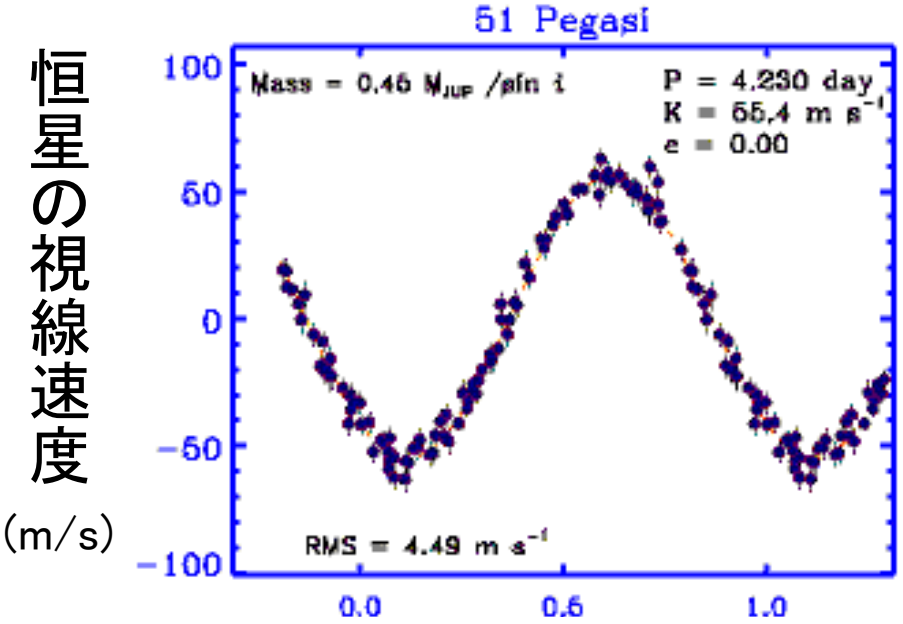
太陽系外惑星の発見数の現状



主な観測法とその観測からわかること

視線速度（ドップラー）法

ペガスス座51番星の視線速度
(California & Carnegie Planet Search)

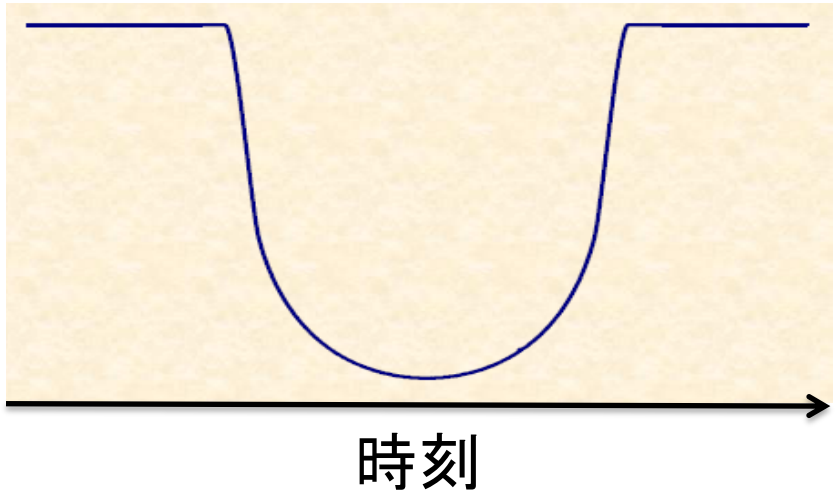


惑星がどれだけ主星をゆさぶったか

→ 惑星の質量

トランジット法

トランジットによる明るさの変化

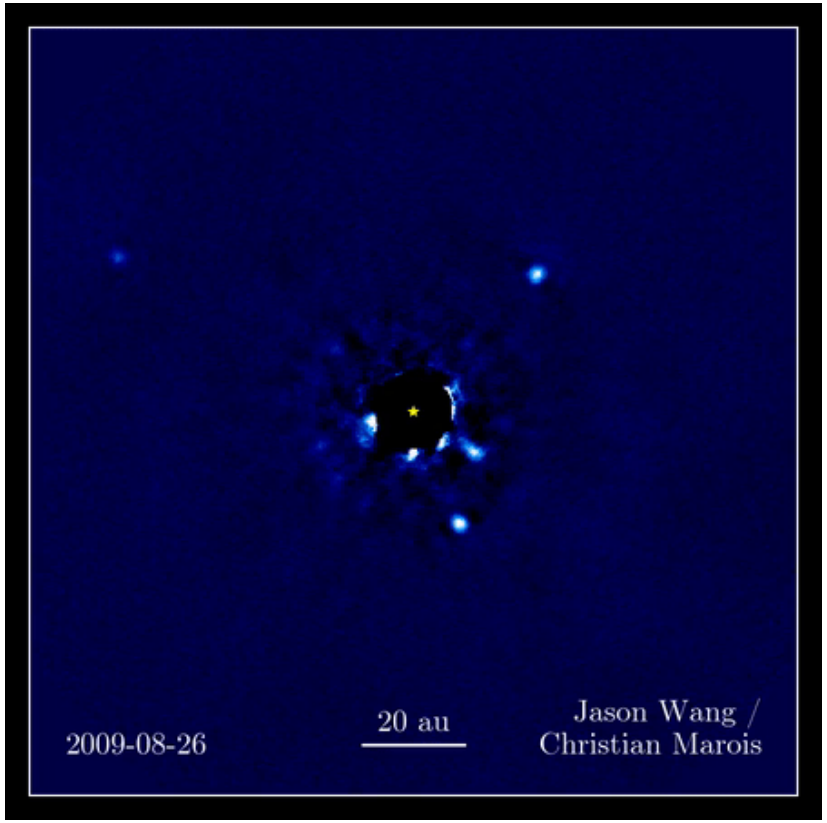


惑星がどれだけ主星を隠したか

→ 惑星の半径

主な観測法とその観測からわかること

直接撮像法



惑星の光を直接見る

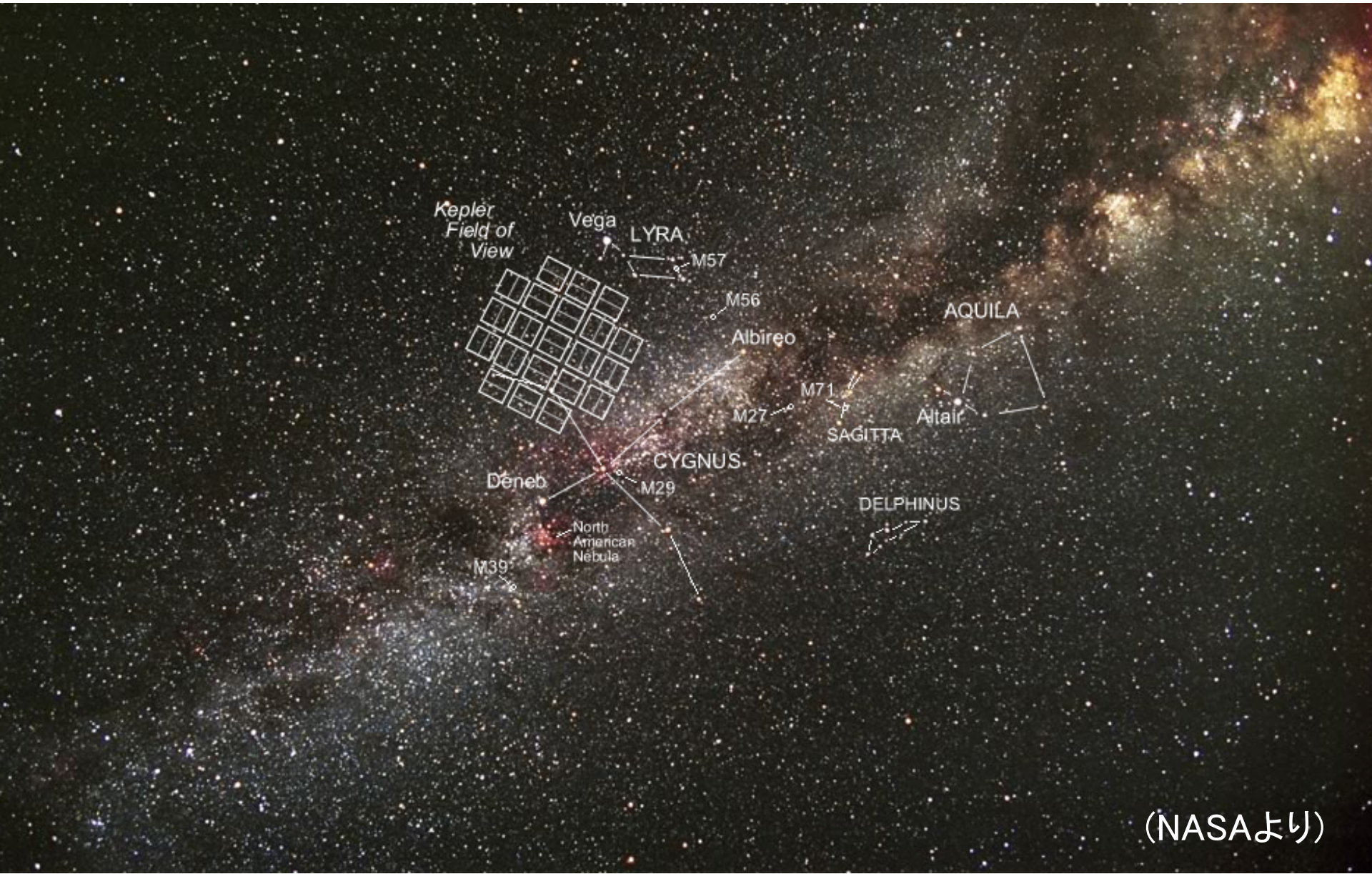
→ 惑星の位置と明るさ

ケプラー計画

- NASAの宇宙望遠鏡計画
- 太陽-地球のような惑星系の発見が目標
- 白鳥座付近の10万個以上の主系列星を4年にわたって観測し続けた
- 95cm望遠鏡とCCD42枚によるトランジット惑星探し
- 2009年3月6日に打ち上げ
- 2013年5月16日活動休止後、2014-2018年にK2計画を実施

Kepler 打ち上げの様子
（NASAより）

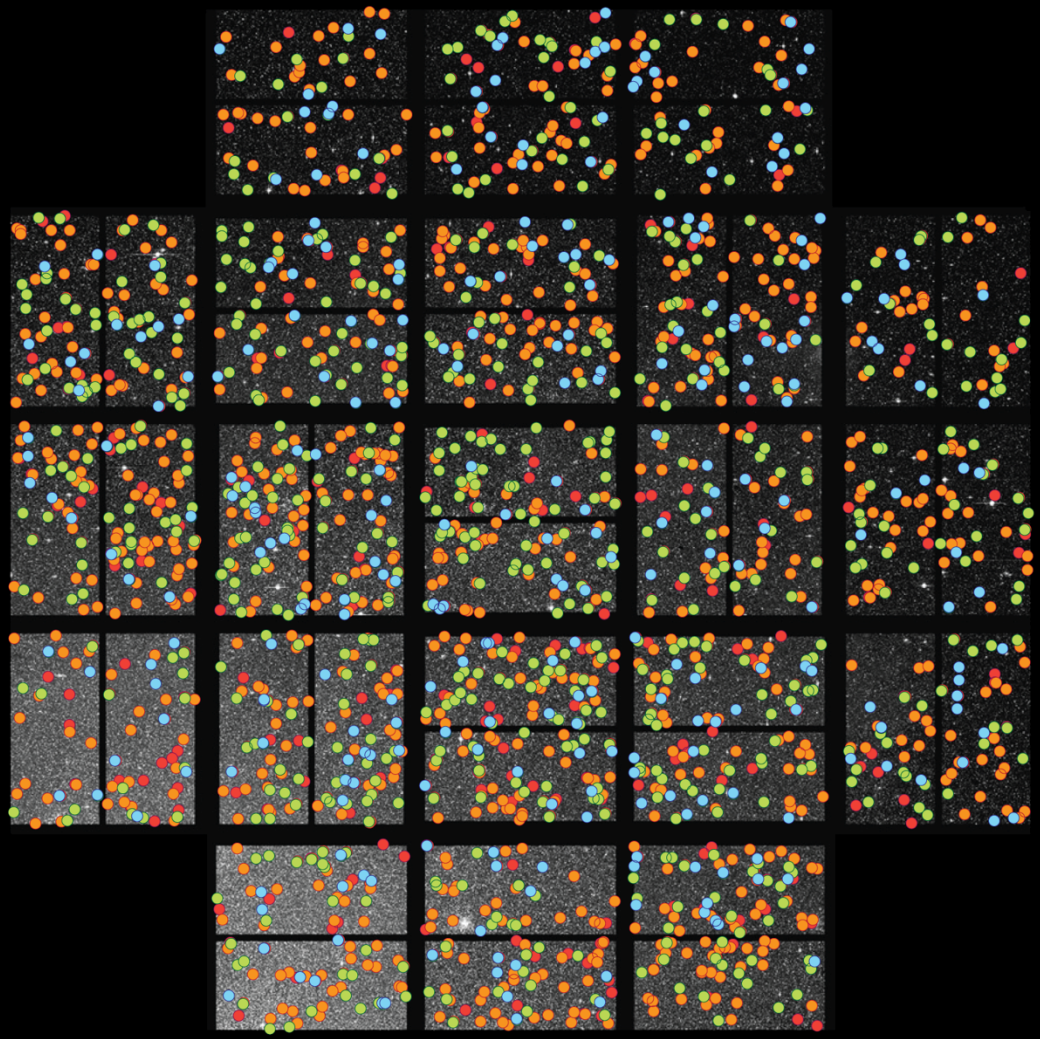
ケプラーの観測領域



（NASAより）

ケプラーが2013年1月までに発見した惑星候補

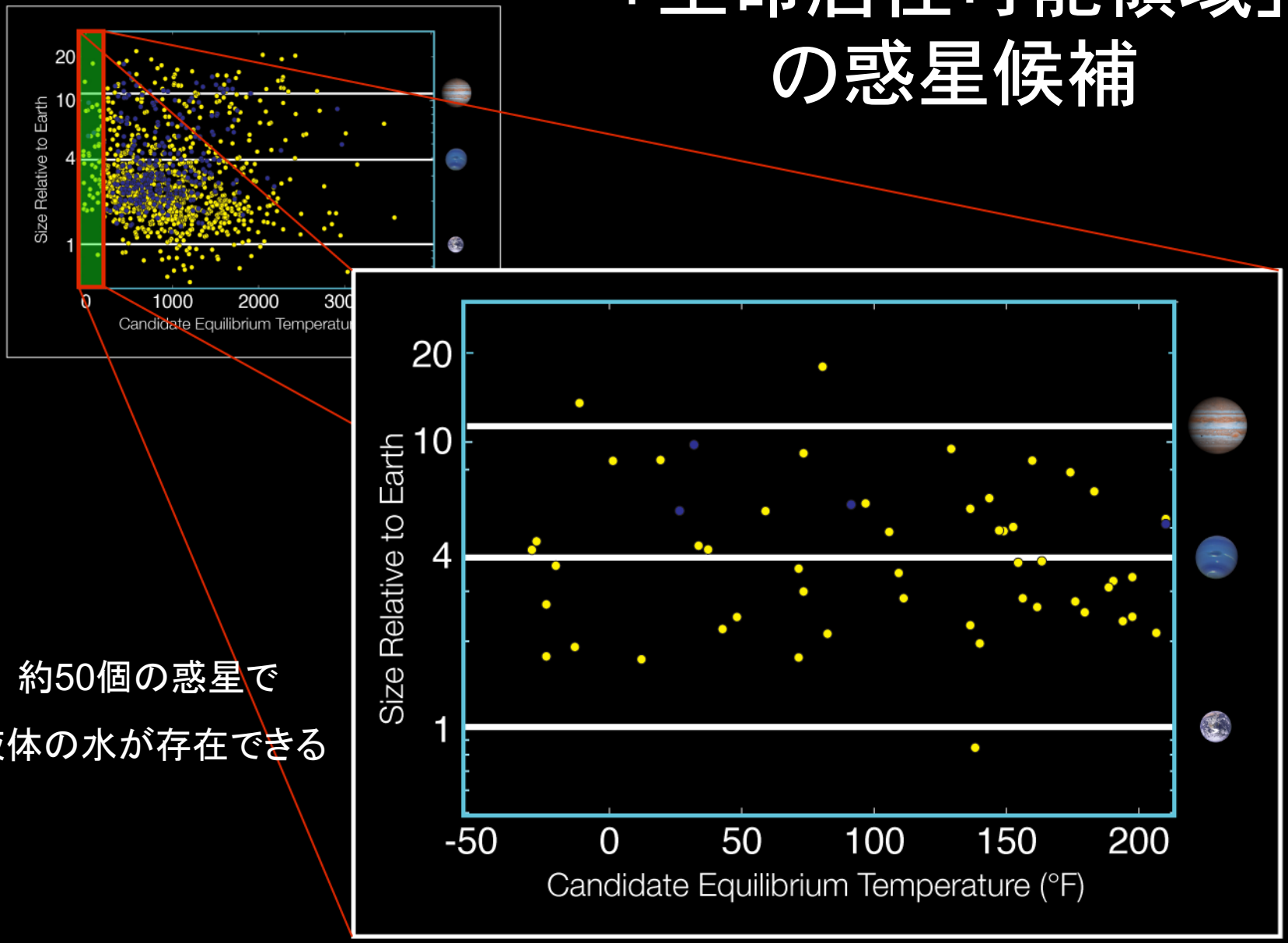
- 地球サイズ
- スーパーアース
- 海王星サイズ
- 木星サイズ



2740個 → 2015年までに4696個

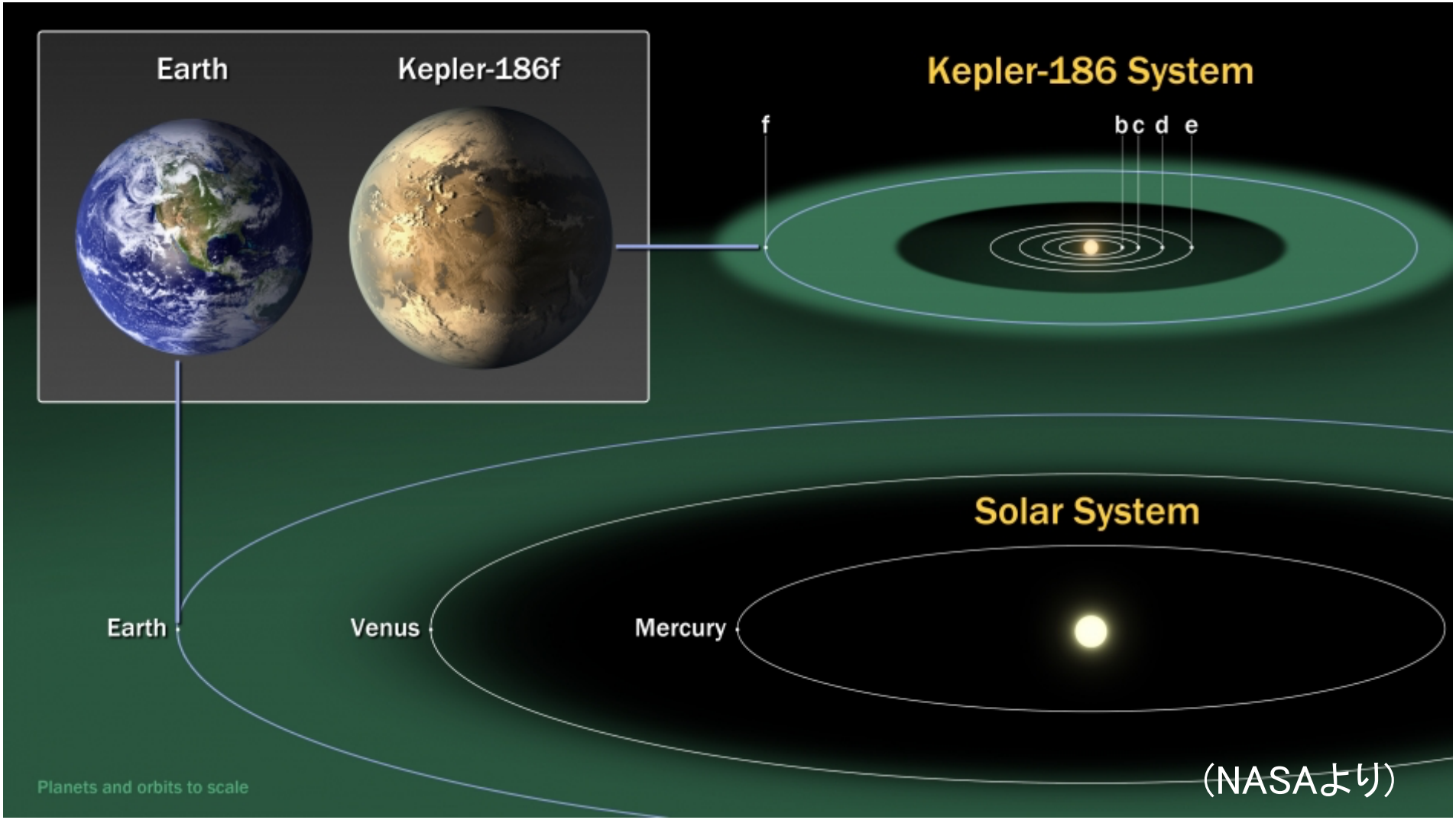
（NASAより）

「生命居住可能領域」の惑星候補



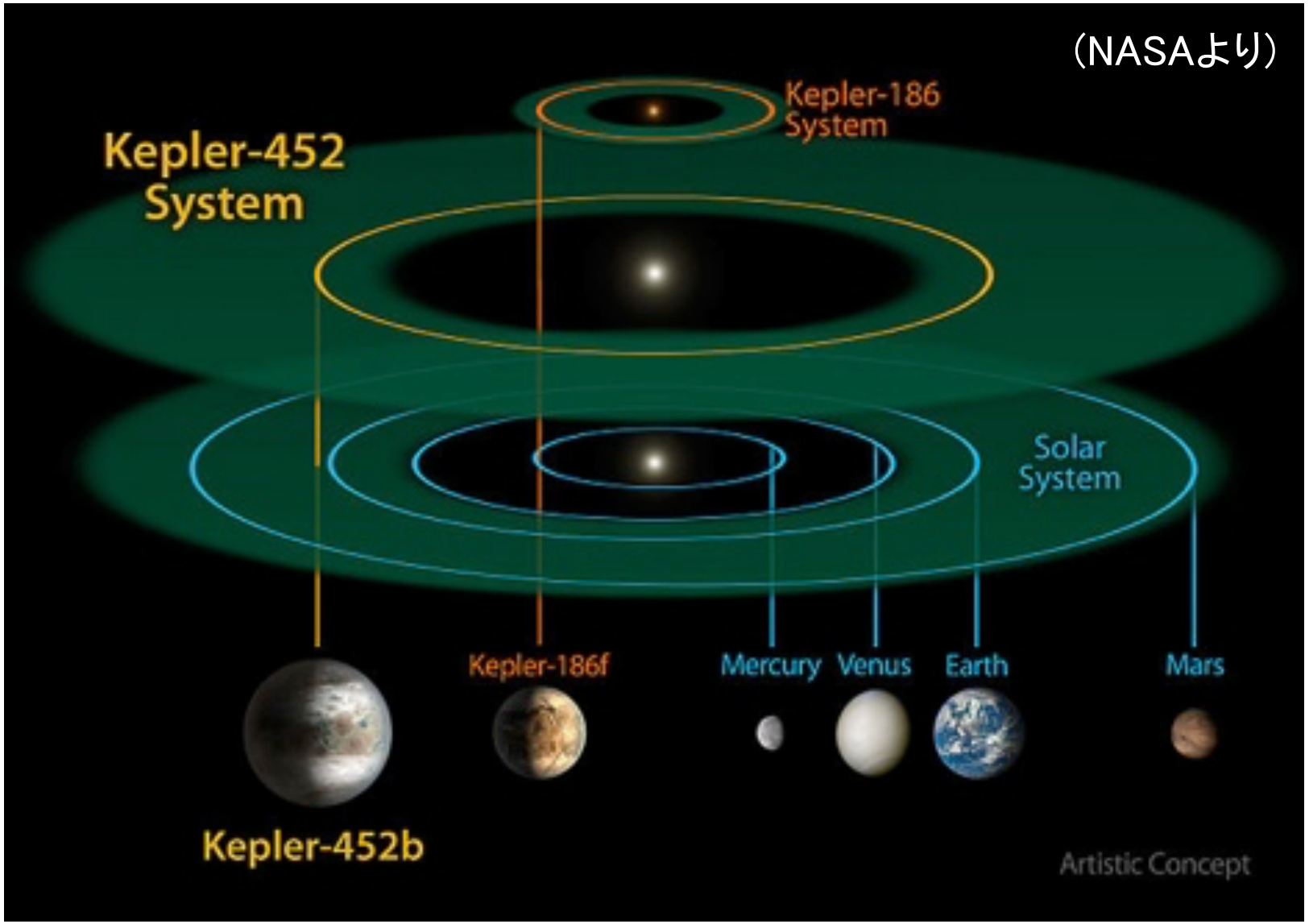
約50個の惑星で
液体の水が存在できる

（NASAより）



ハビタブルゾーンにある地球型惑星Kepler−186f

→　地球のいとこ？（親星が太陽と違うタイプの恒星）

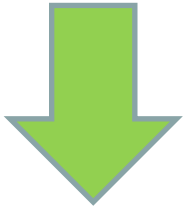


太陽型の恒星のハビタブルゾーンにある地球型惑星

→　最も(？)地球に似た惑星（2015年7月発見）

これまでの系外惑星探査の弱点

- ケプラーは生命居住可能惑星を発見したけれど、これまでの観測対象は太陽系から遠く離れた暗い惑星系が多い
- 例えば、系外惑星に生命の痕跡を探すという研究をするには、もっと太陽系に近い明るいターゲットが必要



現在はもっと太陽系に近い恒星にある

「第２の地球」探しが行われている

全天トランジットサーベイ計画：TESS

ケプラーの後継機として2013年4月にNASAに認められた衛星計画

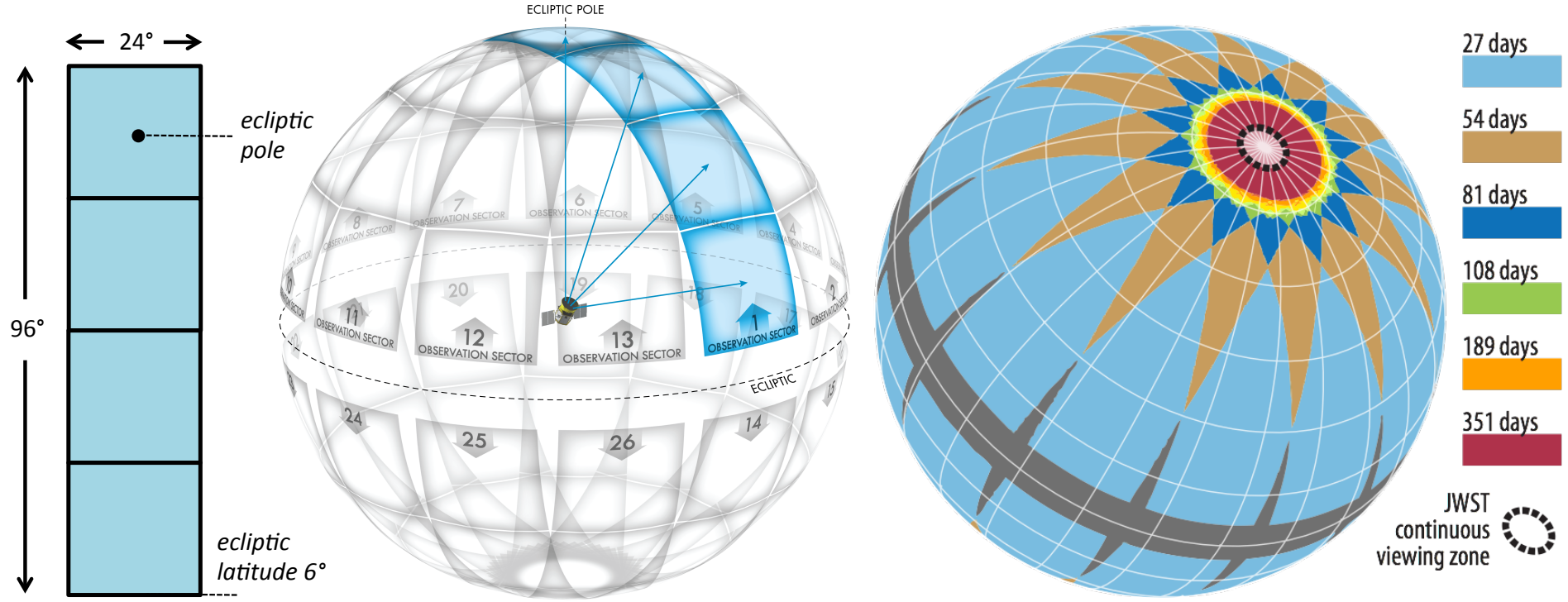
2018年4月18日に打ち上げ成功（4人の日本人がミッション提案に参加）

TESSについて

- 2018年4月18日に打ち上げ、7月から本格観測開始
- 太陽系近傍の約200,000個の恒星を2分露光ターゲットとしたほぼ全天のサーベイ
- 直径10cmの4台の超広視野（24° x 24°)カメラ
- 南天からサーベイを開始
- 2年間+延長ミッション

- 太陽系に近い恒星のまわりで、詳細な観測が可能な小型惑星が多数発見される見込み

TESSの観測する場所

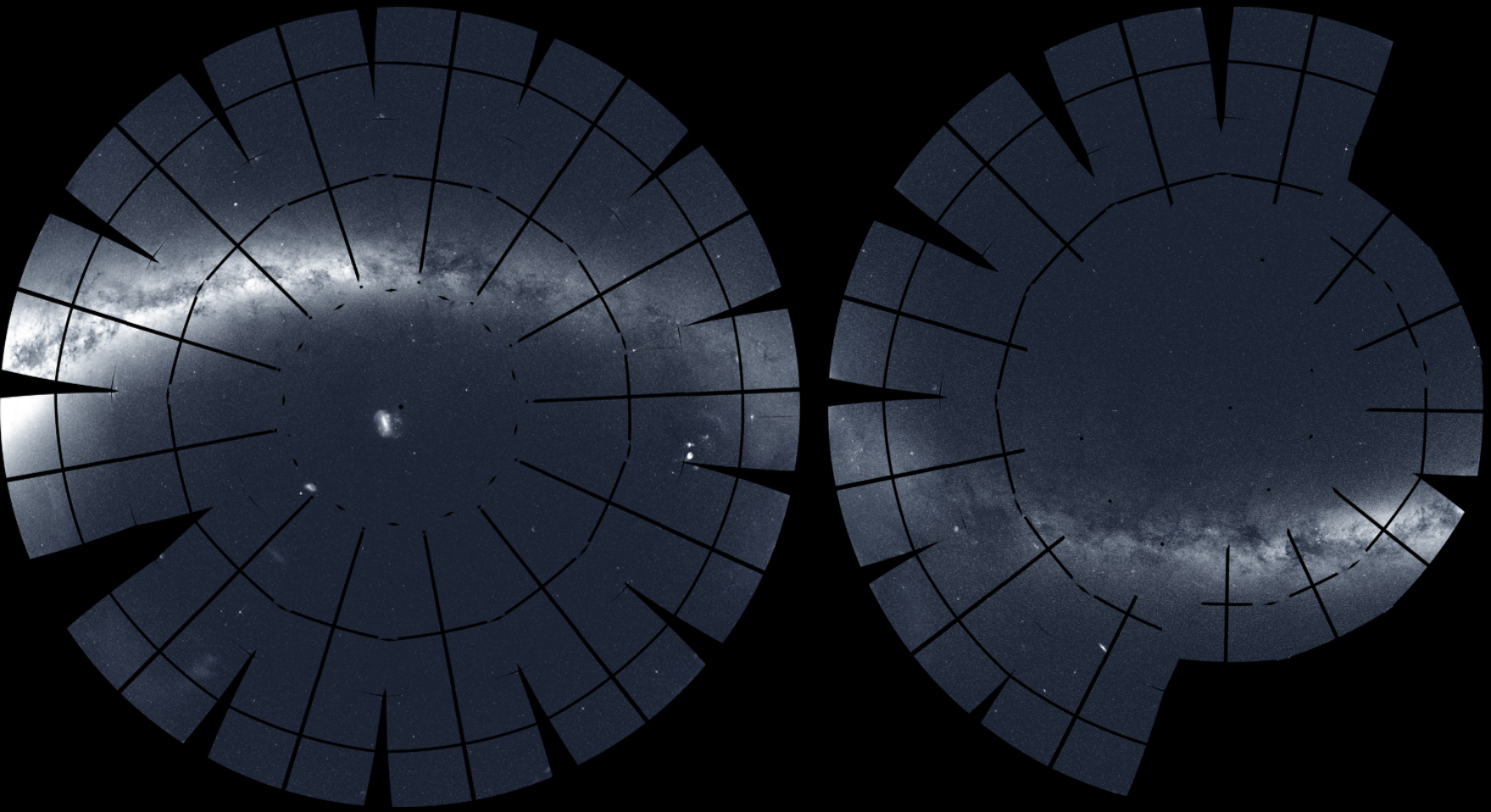


Ricker et al. 2015

空の24度 x 96度の領域を1度に観測

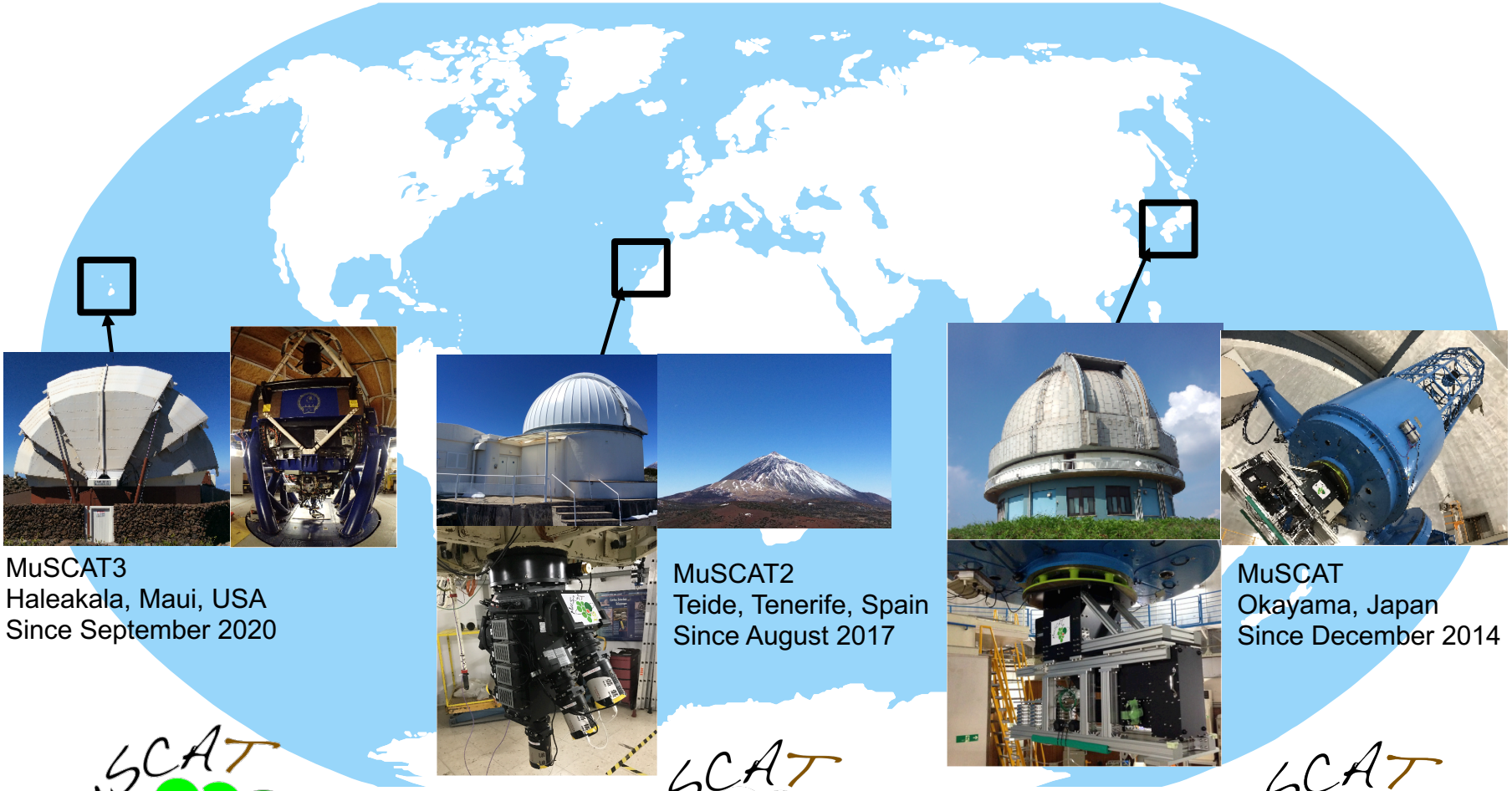
南から2年間(+4年以上)かけてほぼ全天のトランジット惑星を探す

TESSが見た宇宙



MuSCATシリーズで本物の惑星を確認

世界初の多色撮像観測ネットワーク → どんな周期の惑星でも観測できる



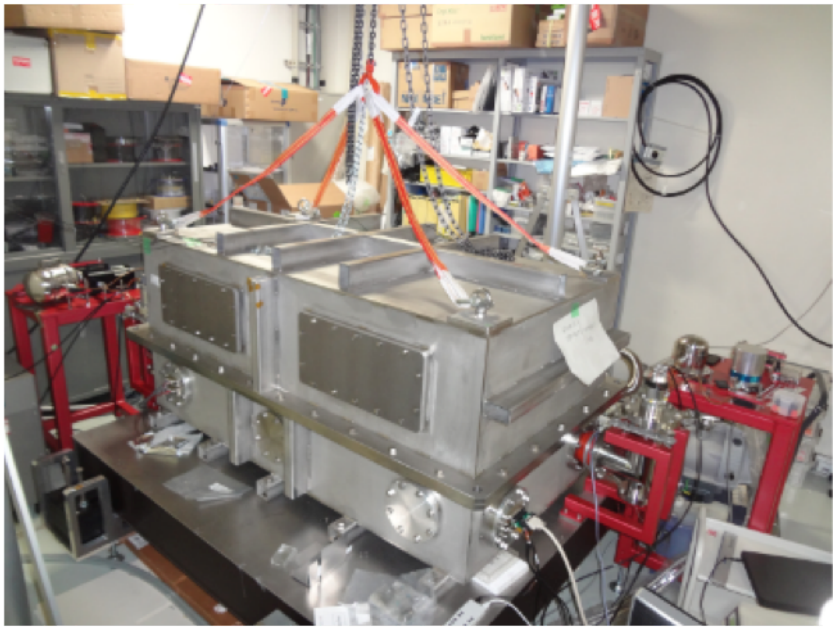
MuSCAT3
Haleakala, Maui, USA
Since September 2020

MuSCAT2
Teide, Tenerife, Spain
Since August 2017

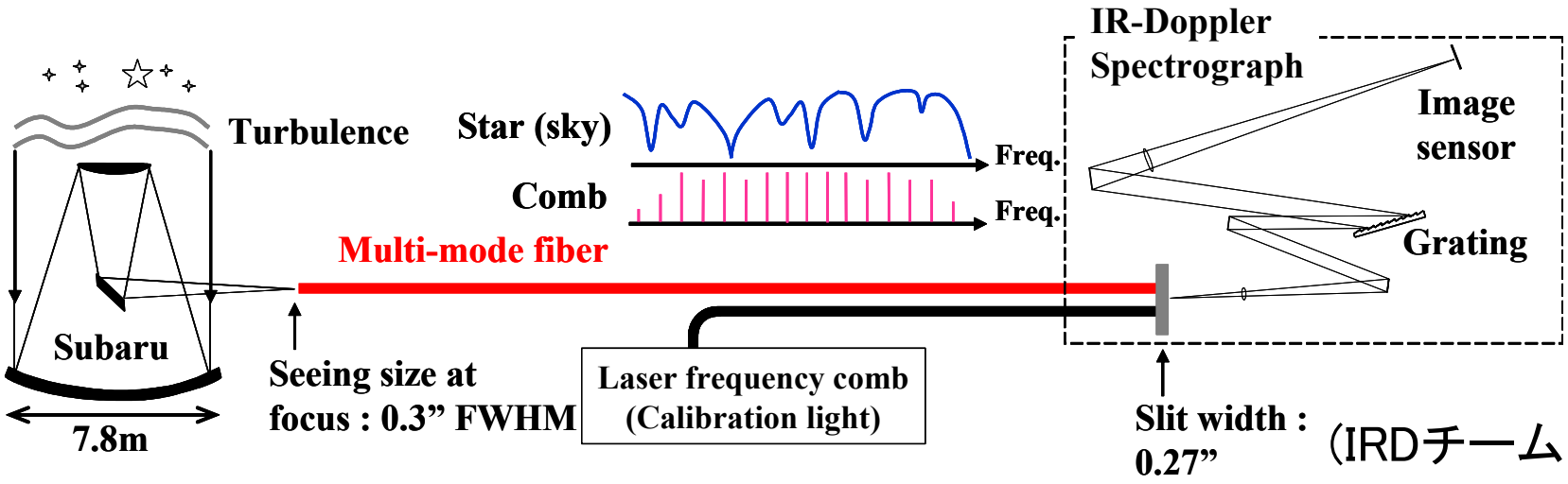
MuSCAT
Okayama, Japan
Since December 2014

すばる望遠鏡の新しい観測装置IRD

- すばる望遠鏡では赤外線視線速度測定装置IRDが完成し、視線速度法による惑星探し(戦略枠観測)が行われている



- それとは別に、TESSで発見された惑星の質量と軌道を決定し大気を観測するため、TESSの惑星の追観測も実施している



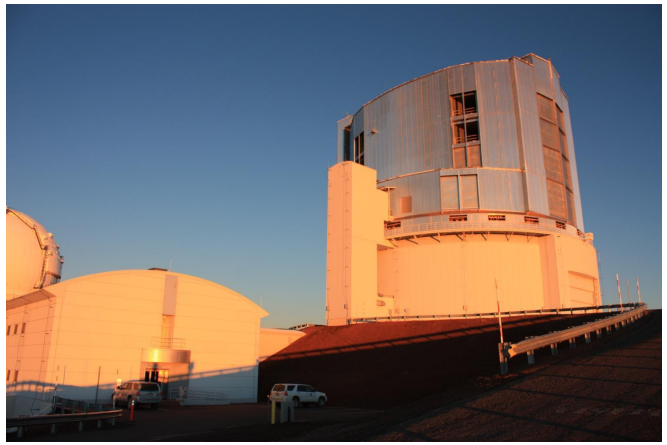
(IRDチームより)

TESSと地上望遠鏡による第2の地球探し

- TESSは2020年代前半までに多数のトランジット惑星候補を発見

- 岡山天体物理観測所　188cm望遠鏡
- カナリア諸島 1.52m望遠鏡
- ハワイ諸島 2m望遠鏡
  - マスカット123を使って面白い惑星を発見

- すばる8.2m望遠鏡
  - IRDで質量・軌道・大気を観測

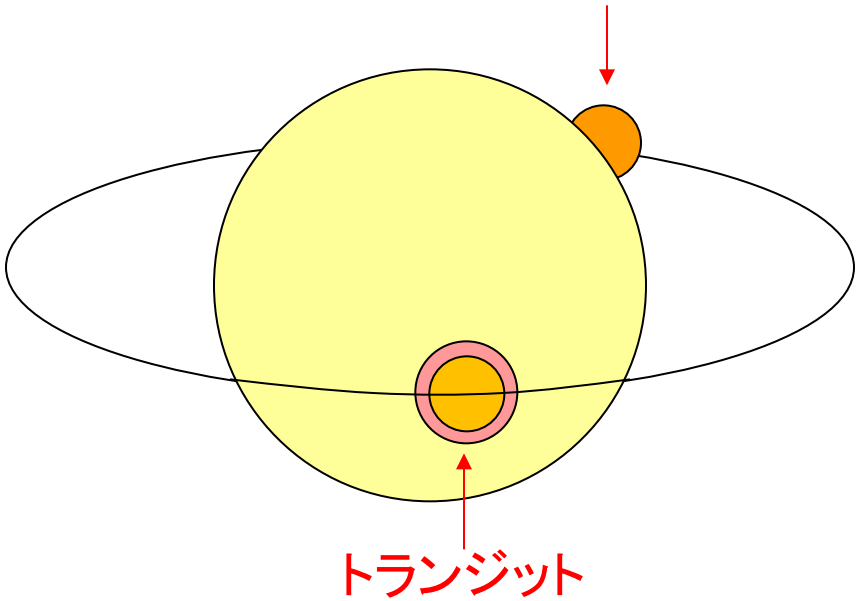


- TMTでのさらなる詳細観測のターゲットを供給

系外惑星の大気を調べる

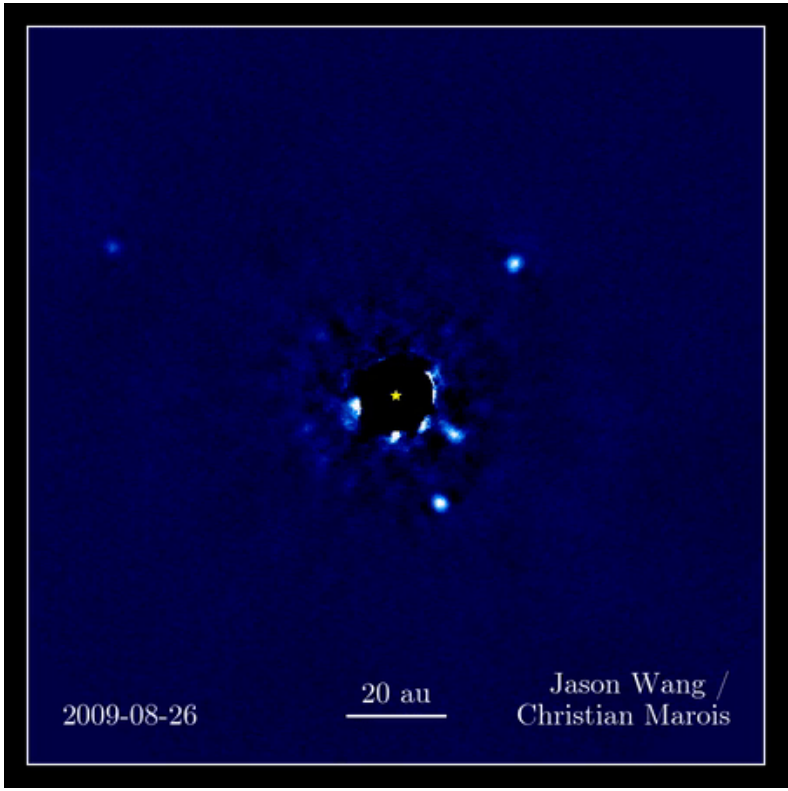
二次食

（惑星が裏に隠れる現象）



直接撮像した惑星の

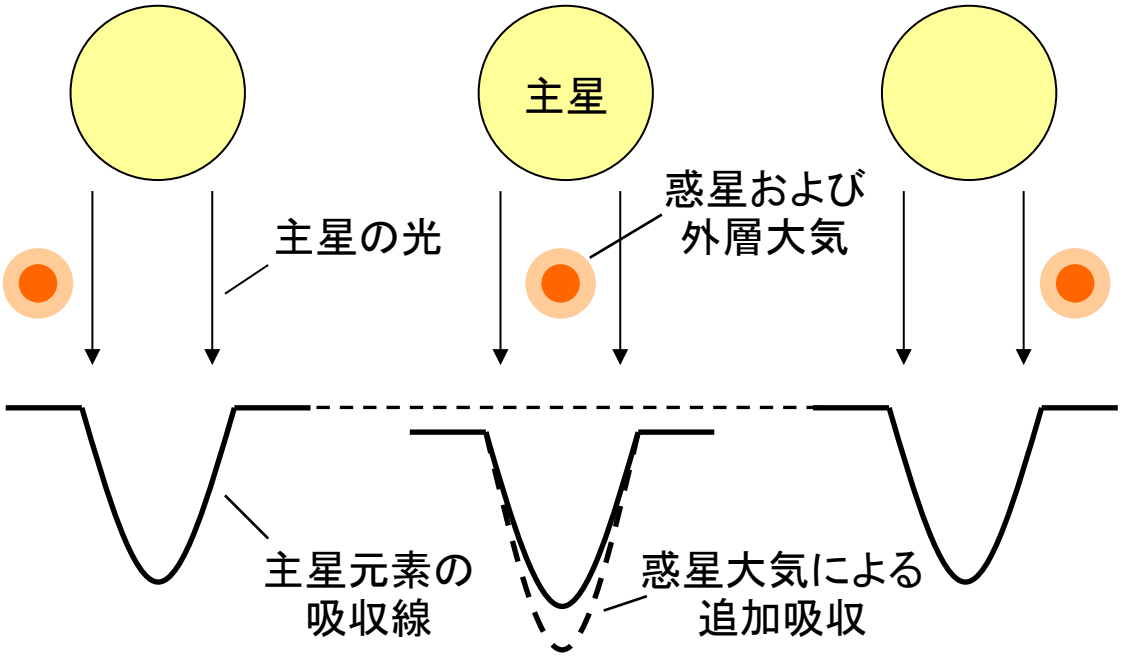
反射・放射光を調べる

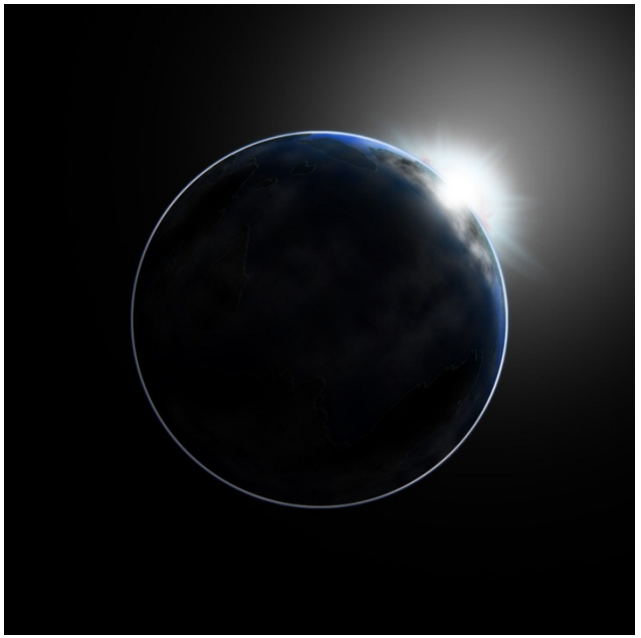


トランジット惑星や直接撮像できた惑星は大気を調べることができる

トランジット惑星の大気の観測

トランジットを利用した透過光観測



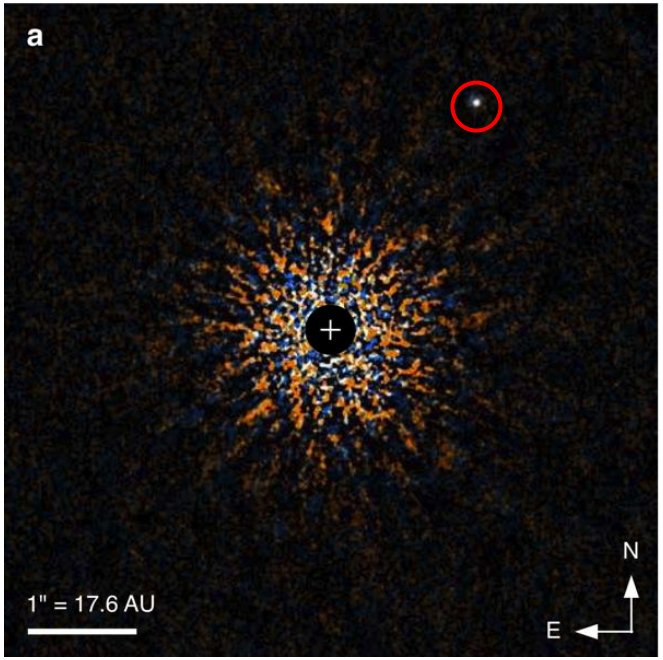


トランジット中は主星の光が惑星の大気を一部透過するため、

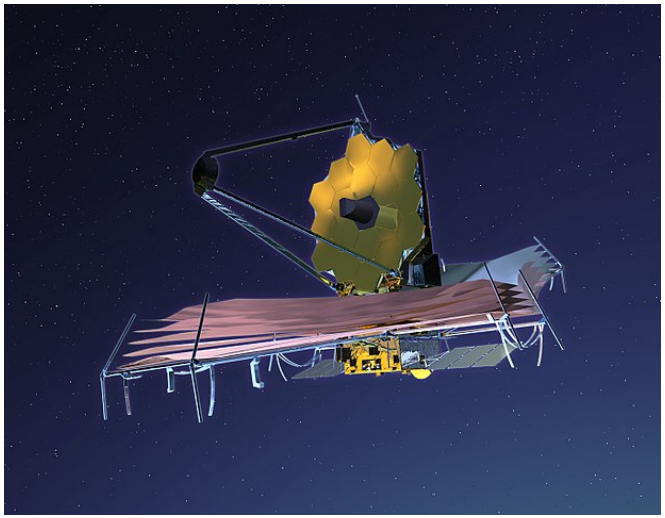
惑星の大気を観測することができる

直接撮像分光で大気を探る

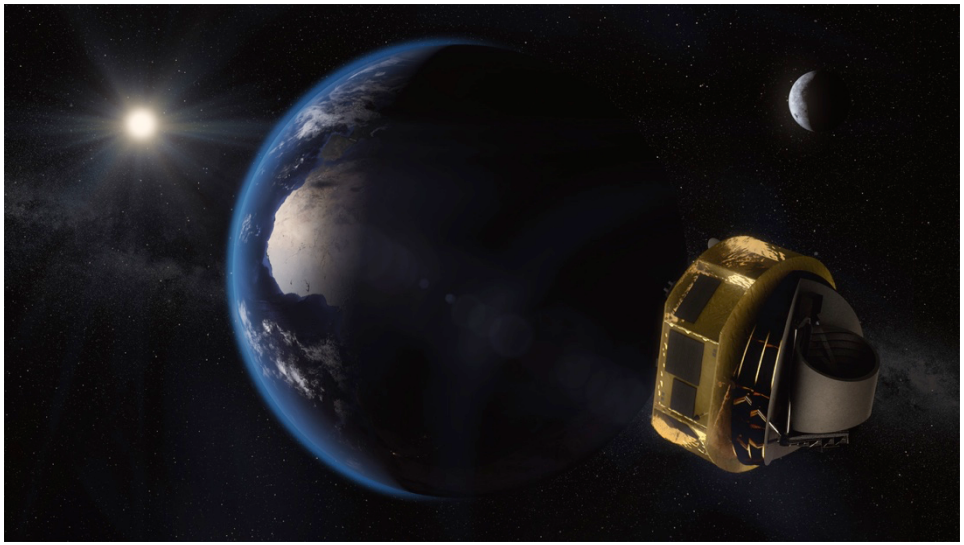
- 大型望遠鏡+高コントラスト直接撮像分光装置
  - 惑星を直接撮像してから、その光を分光する



2020年代の宇宙望遠鏡計画

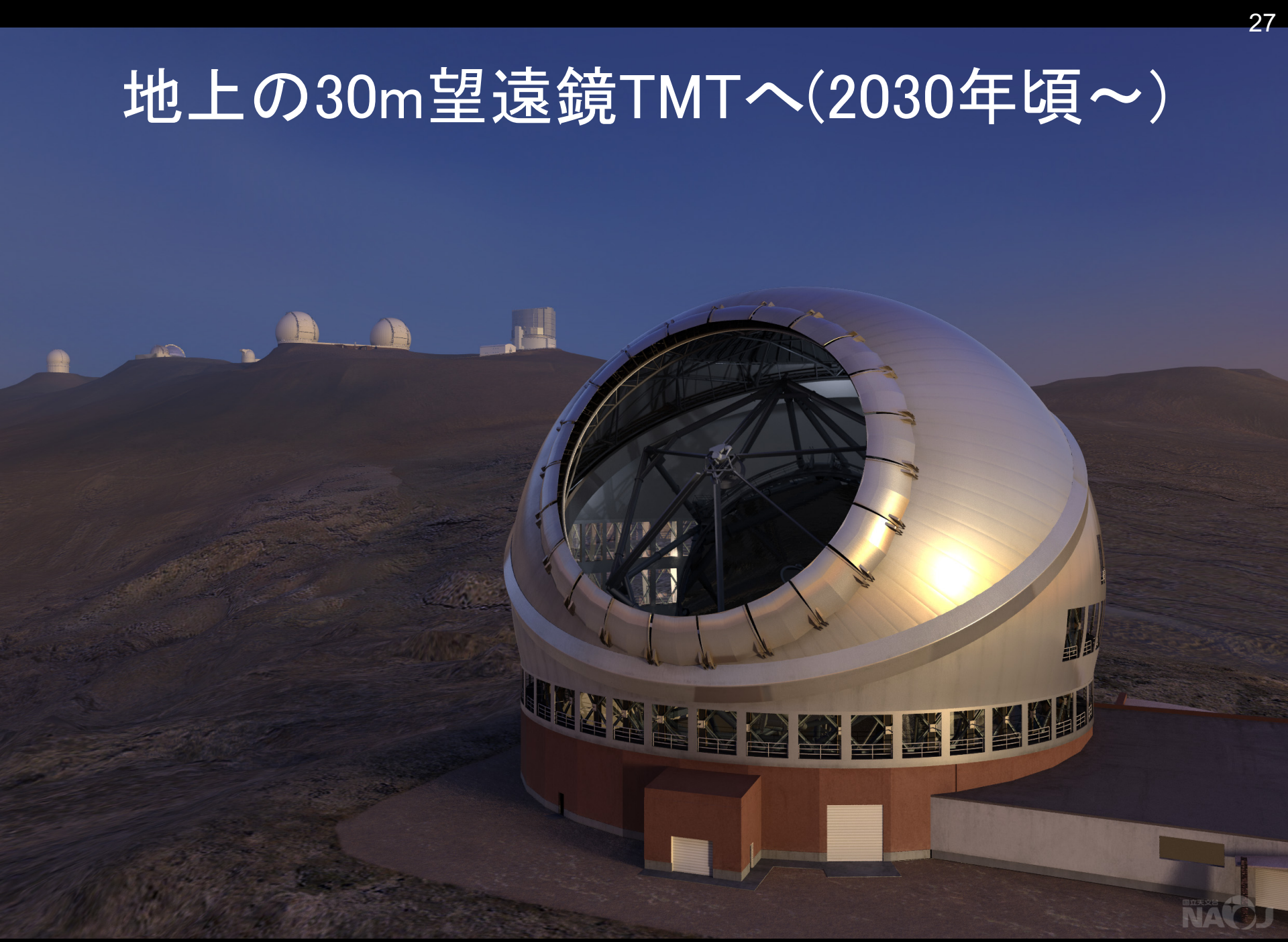


左上：NASAのハッブル宇宙望遠鏡（既存）
右上：NASAのJWST(2021年以降)
左下：ロシアのWSO-UV(2025年以降)
右下：ESAのARIEL(2028年以降)



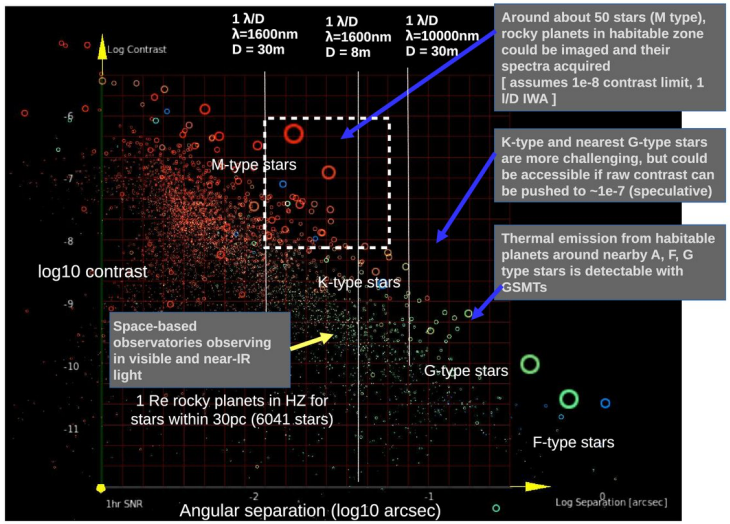
2020年代は主にトランジット惑星の大気透過光の研究が行われる見込み
ただ、酸素分子・オゾン分子などの大気成分の検出は難しい

地上の30m望遠鏡TMTへ(2030年頃～)

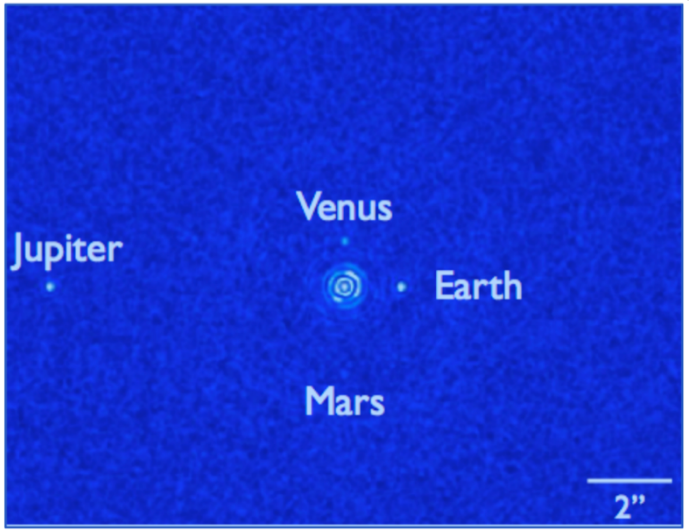


TMTには生命居住可能惑星に酸素・オゾンを検出できる（かもしれない）観測装置が3つ提案されている

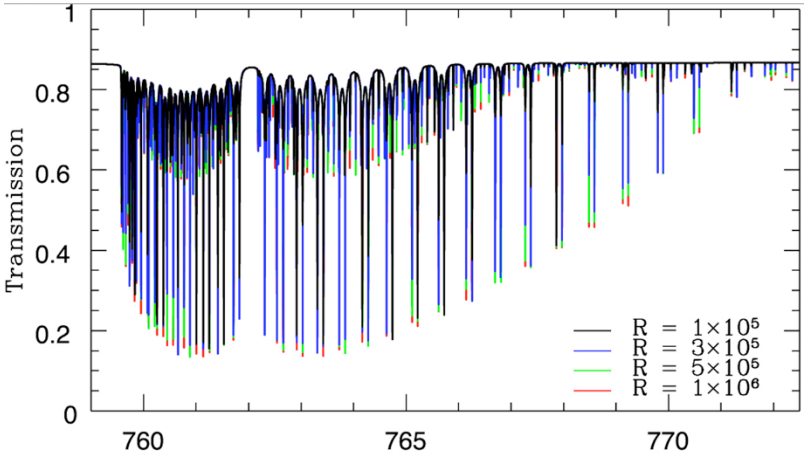
Planetary Systems Imager (PSI：惑星系撮像装置)



Mid-IR Camera, High-disperser & IFU spectrograph (MICHI：中間赤外線撮像分光装置)

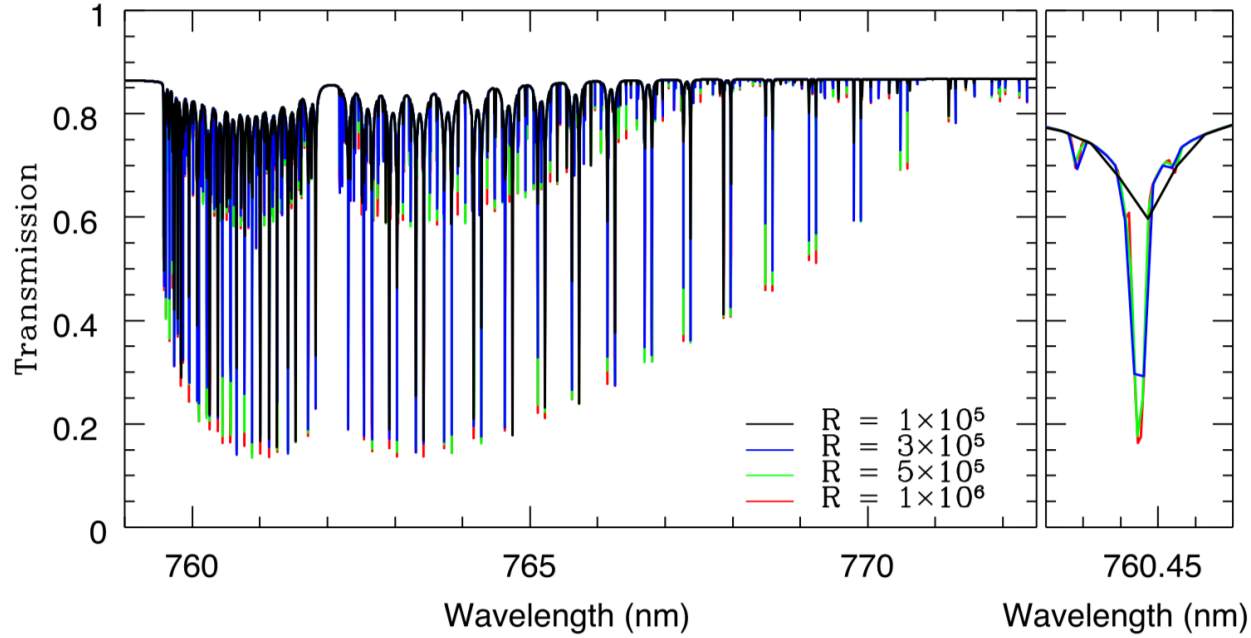


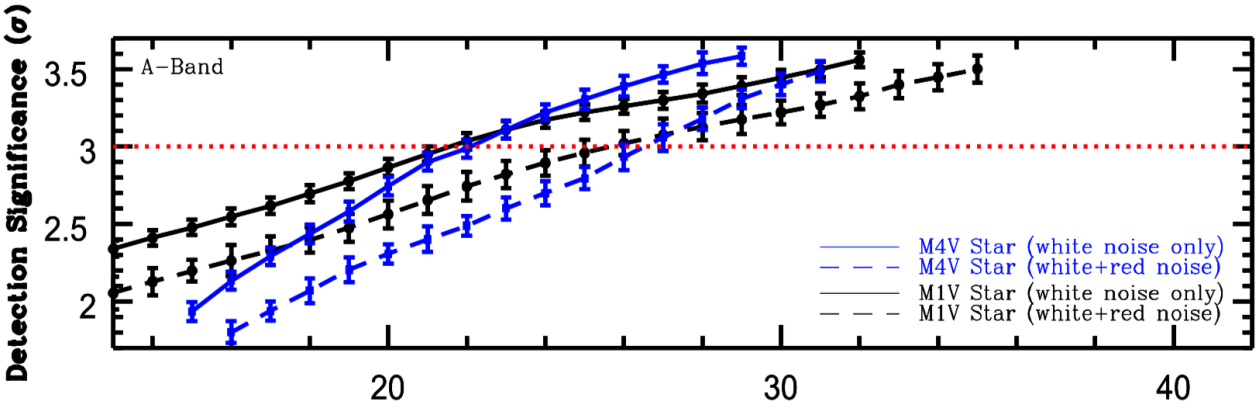
High-Resolution Optical Spectrometer (HROS：可視光高分散分光装置)



HROSを使った酸素の探索

赤色矮星周りのトランジット惑星に対して
トランジットを繰り返し観測することで酸素を探すことができる



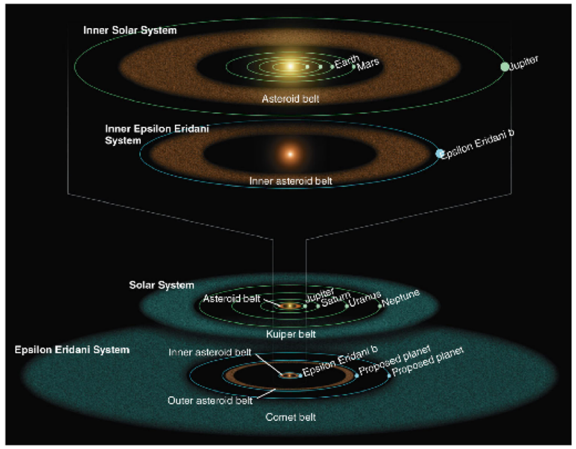


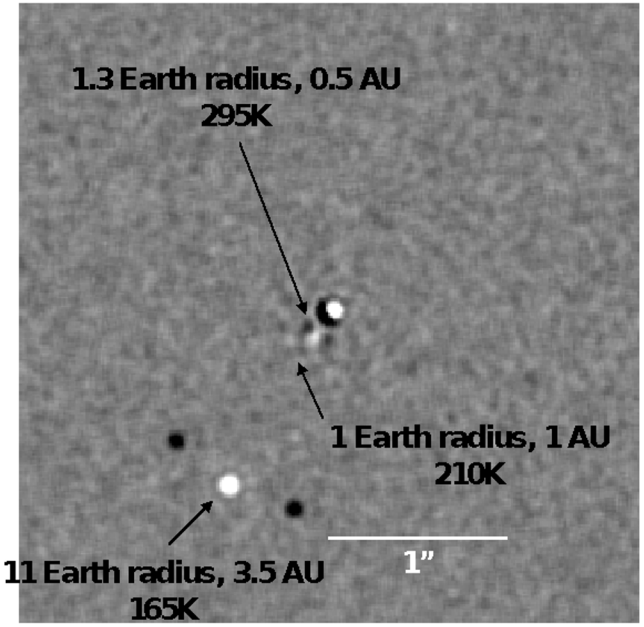
López-Morales et al. (2019)

中間赤外でのオゾンの探索

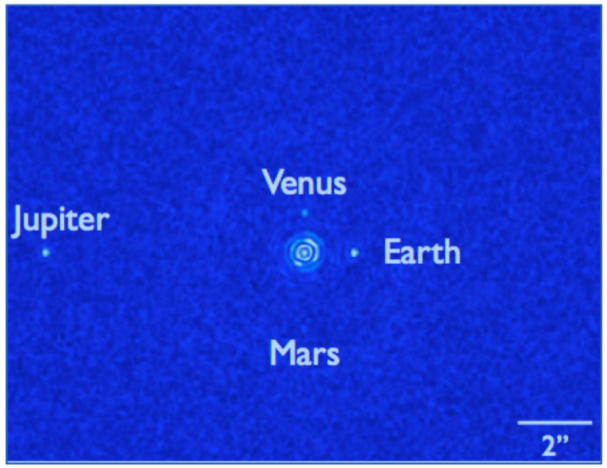
太陽型星周りの地球型惑星に対して
中間赤外(9.6um)の直接撮像分光でオゾンを探すことができる

Epsilon Eridani
(d=3.2 pc)





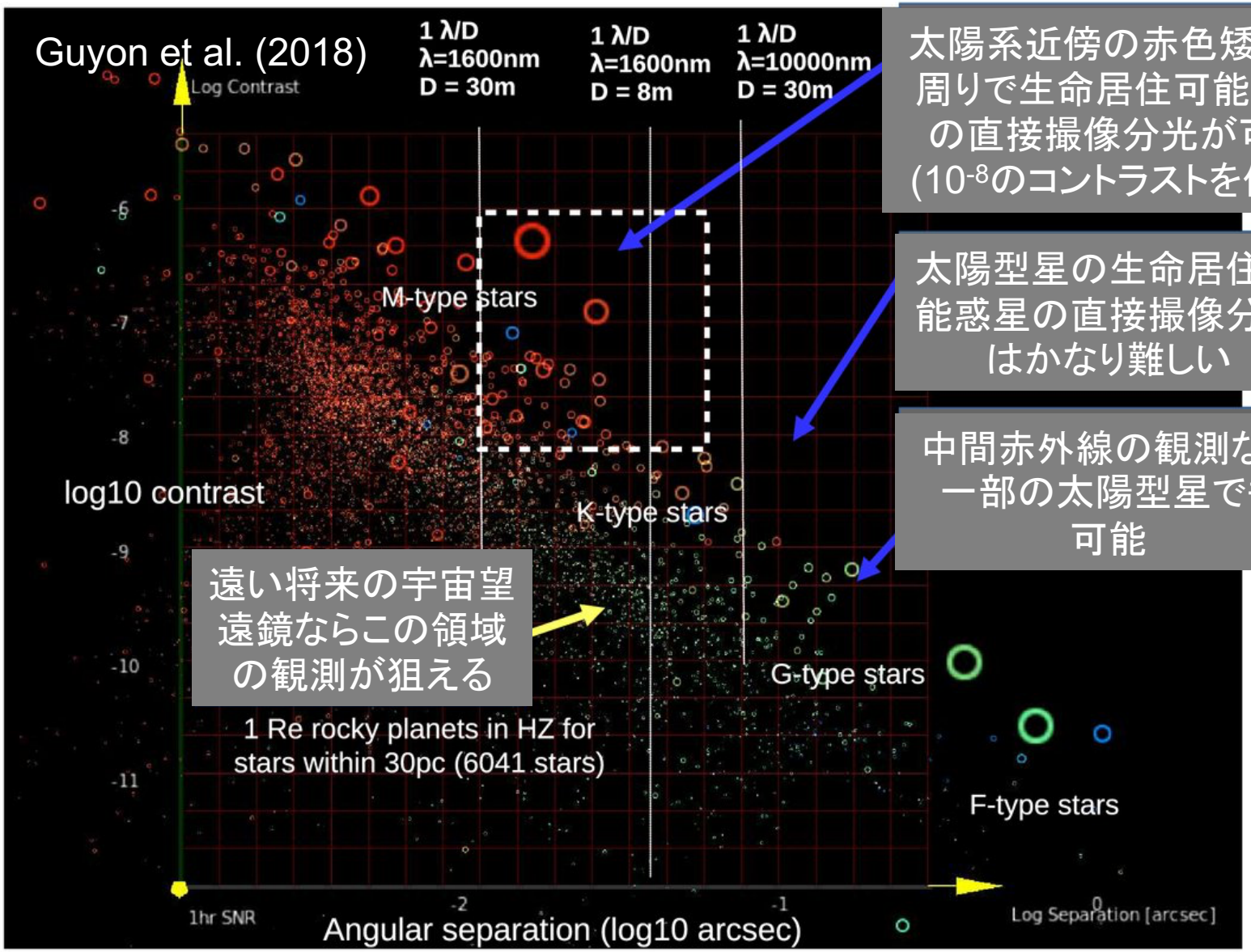
10光年のところにある惑星系でのシミュレーション



16光年のところにある
太陽系のシミュレーション
(MICHIチームより)

PSIでの可視・近赤外での酸素の探索

赤色矮星周りの地球型惑星に対して直接撮像分光で酸素を探すことができる



太陽系近傍の赤色矮星の周りで生命居住可能惑星の直接撮像分光が可能 (10^{-8}のコントラストを仮定)

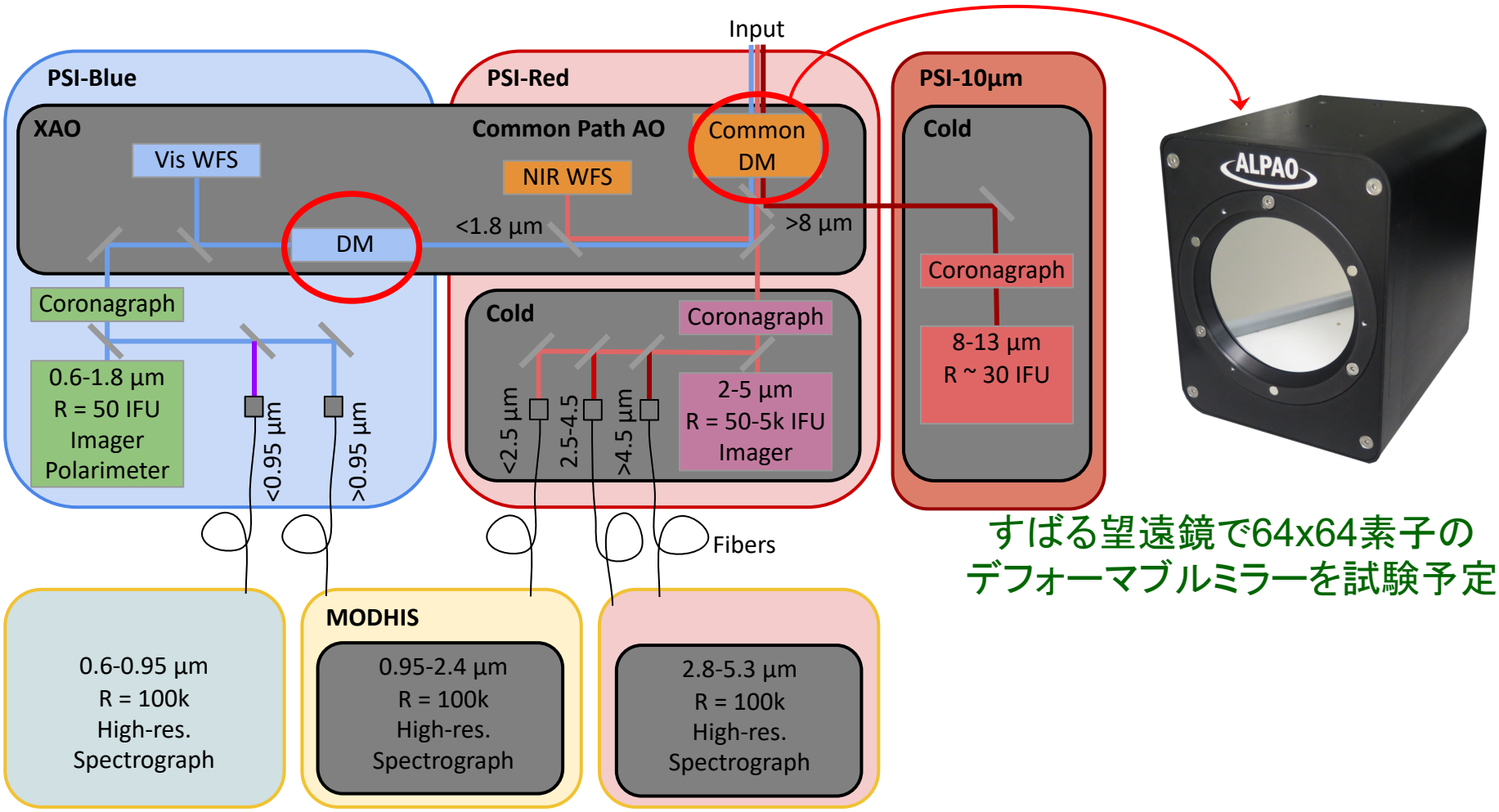
太陽型星の生命居住可能惑星の直接撮像分光はかなり難しい

中間赤外線の観測なら一部の太陽型星でも可能

遠い将来の宇宙望遠鏡ならこの領域の観測が狙える

PSIの仕組みとすばるでの技術実証

PSIでは(まだ存在しない)128x128素子の
デフォーマブルミラ(DM)ーが必要



すばる望遠鏡で64x64素子の
デフォーマブルミラーを試験予定

すばるとTMTの連携(観測技術の実証)が重要

まとめ

- 系外惑星の研究はいよいよ地球サイズの惑星に辿り着いた
- 太陽系の近くにある生命居住可能惑星の探索が行われている
- 2020年代の計画では直接的に生命の兆候と呼べる大気成分の検出は難しい
- TMTは生命の兆候を持つ惑星があるかという問いに切り込むことができる
- すばるとTMTの連携が重要