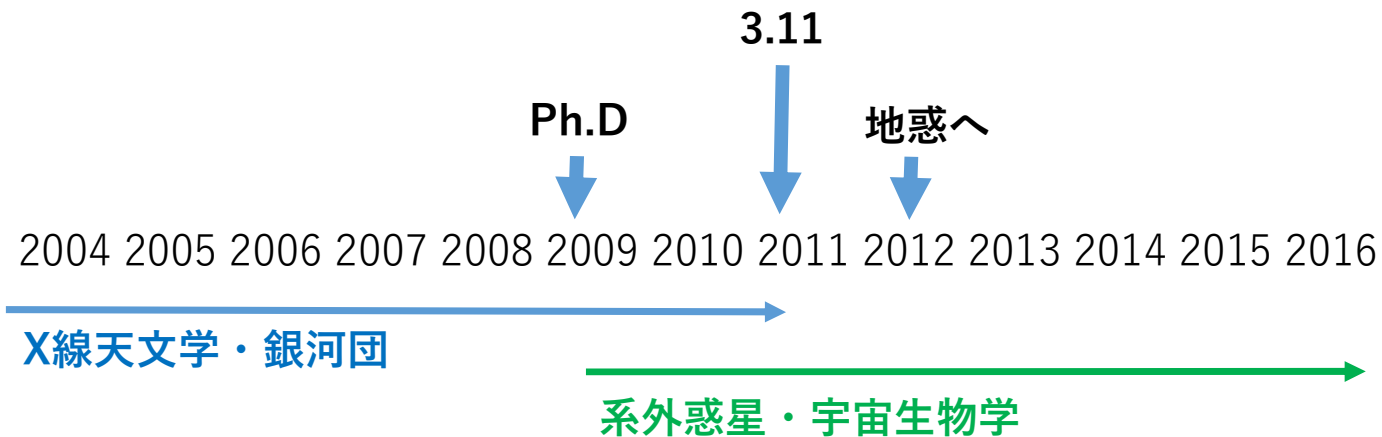


系外惑星から宇宙生物学へ

河原 創

昨日の会議で若手の発表をきいたところによると
これからは重力波と宇宙生物学（系外惑星？）だと認識されているらしい

•おかしい



ここ5～6年いろいろな若い人を誘ったがだれも来てくれない
自分がやってもよいというくらい宇宙生物学に興味がありますか？

昨日出ていたマクロな課題

- 波長・サイトではなくターゲットでコミュニティを再編
- 新しい提案・方向性を（若手が）だせ

ミクロスコピックには、研究者の研究対象の変更（掛け持ち）が行われないと解決しない（分野移動の流動性）

若手の頭の中を覆いがちな外部性（煩惱）

幸福を迫及する権利

学振格差
任期制と支配関係
人生設計に過酷な勤務地の流動性

承認欲求と所属欲求

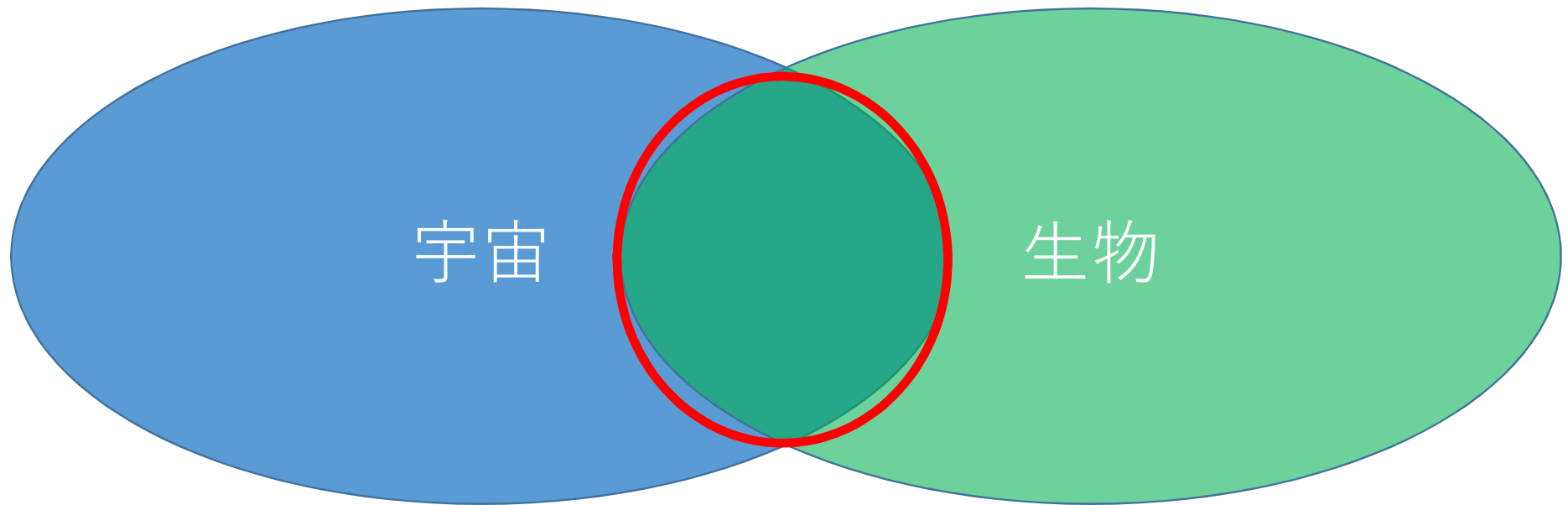
学振格差
論文数・引用数
職位・特任問題
学会賞・給料の額
人間関係・波長コミュニティー
名誉関係・偉い人の評価とか？

**若手twitterキャプチャー削除
(30年後の天文学を考える前に
まず職をくれという内容)**

**重要ですが、しかしこの話はこれ以上しない
宇宙生物学（系外惑星）の内部性（動機）の話から**

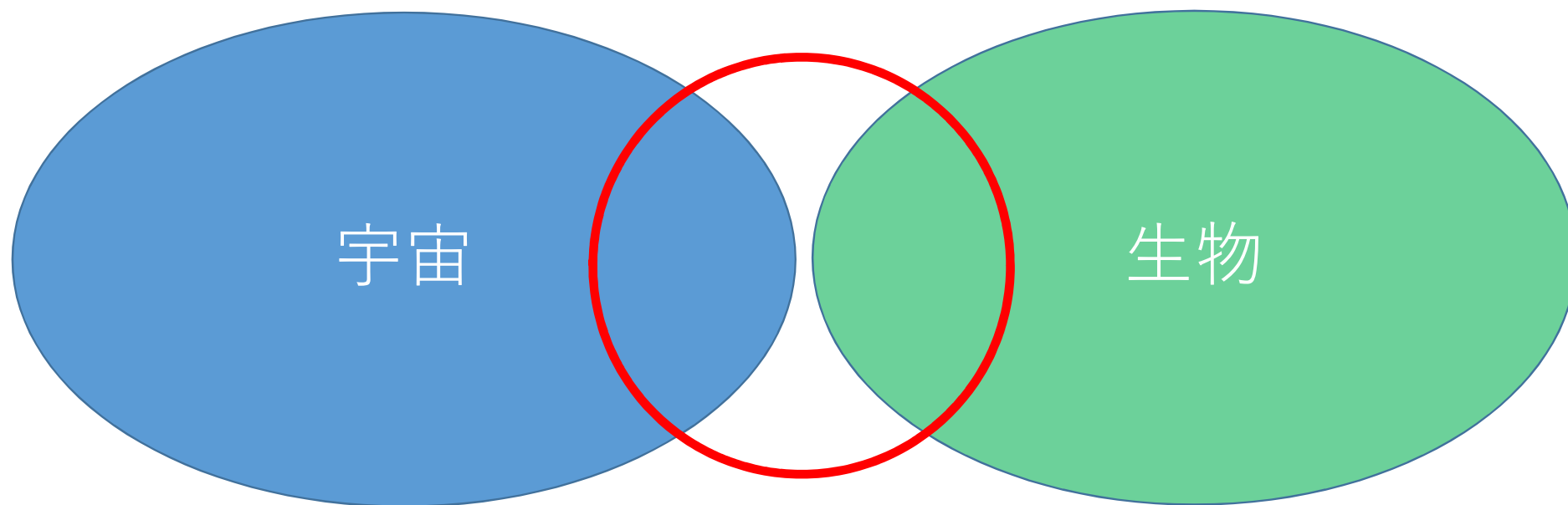
“宇宙生物学”という用語について

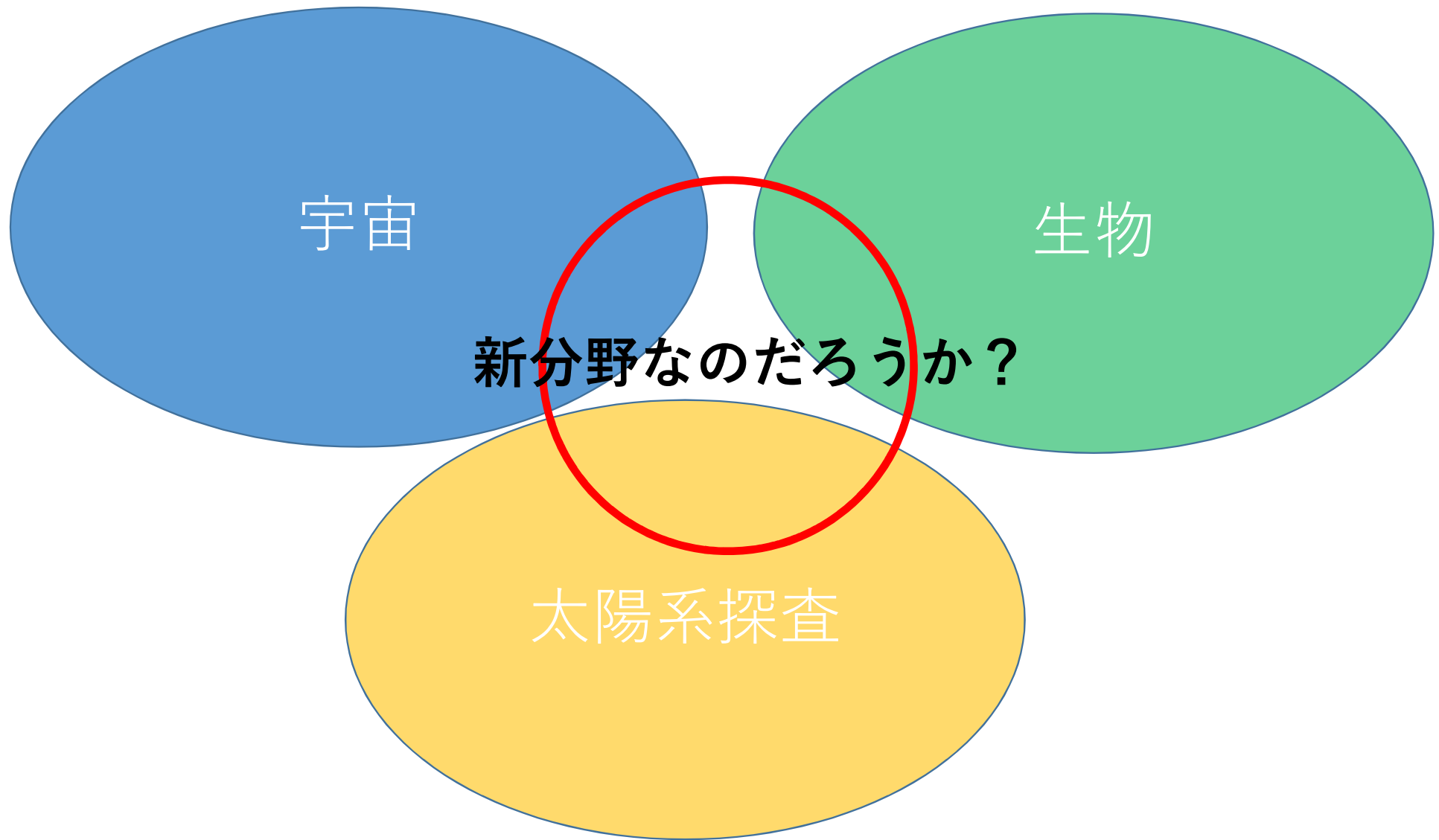
イメージ



“宇宙生物学”という用語について

実態





宇宙

生物

新分野なのだろうか？

太陽系探査

なぜ既存の枠組みで語らないのか：

新分野というよりは、**既存分野では共有されない価値**

「宇宙生物学」とよばれるVinland(s)に向かう人たち

1. **生命の起源**（パンスペルミア的展開）をしりたい(生物)
2. 太陽系内天体に行ってなにか**生命的な探査**をしたい（惑星）
3. 他の**生命がありうる他の惑星**（世界）を知りたい（天文）

お互い(少なくとも今は)そんなに関係ないけど寄り集まっている

なぜ既存の枠組みで語らないのか：

反感を買う以下の面も多分にある（宇宙生物学のダークサイド）

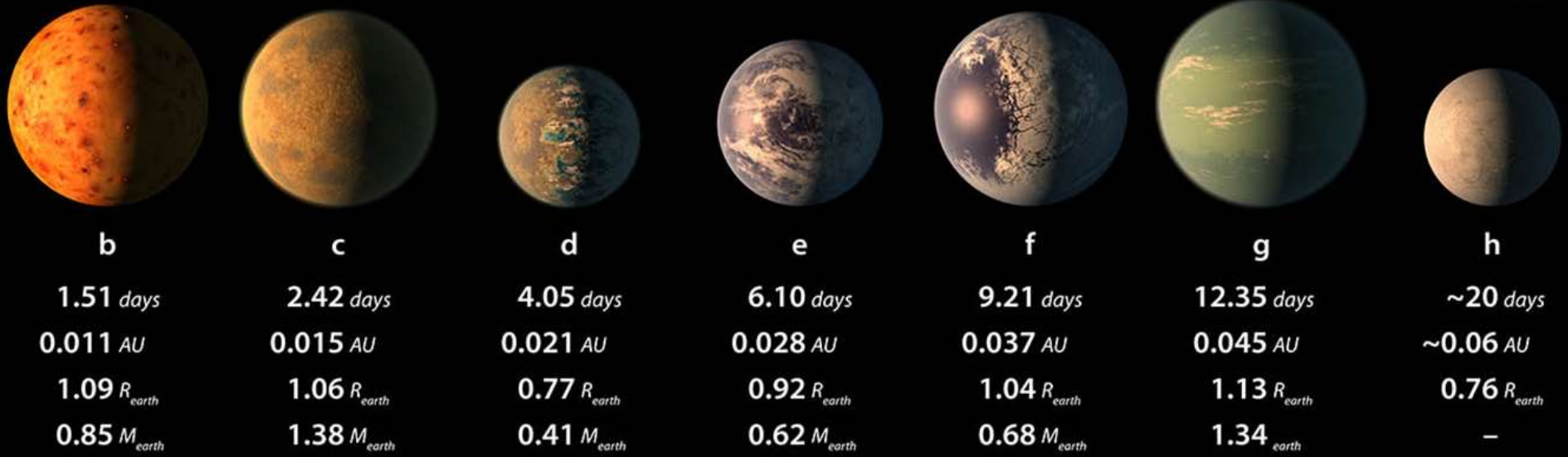
1. 一般受けしやすくある種の自尊心や懐を満足させられる
（現状を歪めて伝える **アウトリーチの功罪**）

2. やってることは前と同じだが宇宙生物に関連付けると、なにか新しい感じがする ⇒ **気のせい**

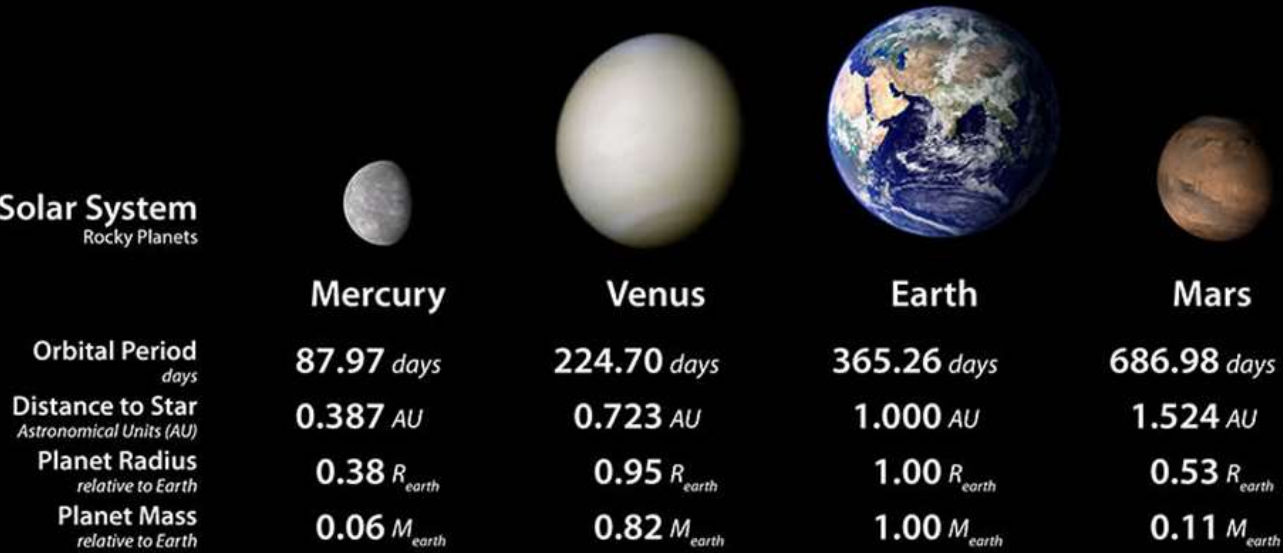
Ex) 水/有機物が宇宙・惑星に見つかればそれでいいの？
ハビタブルゾーンに無理やり割り込む系外惑星

⇒本当は **そんなに華々しくない**。まじめにやろう。

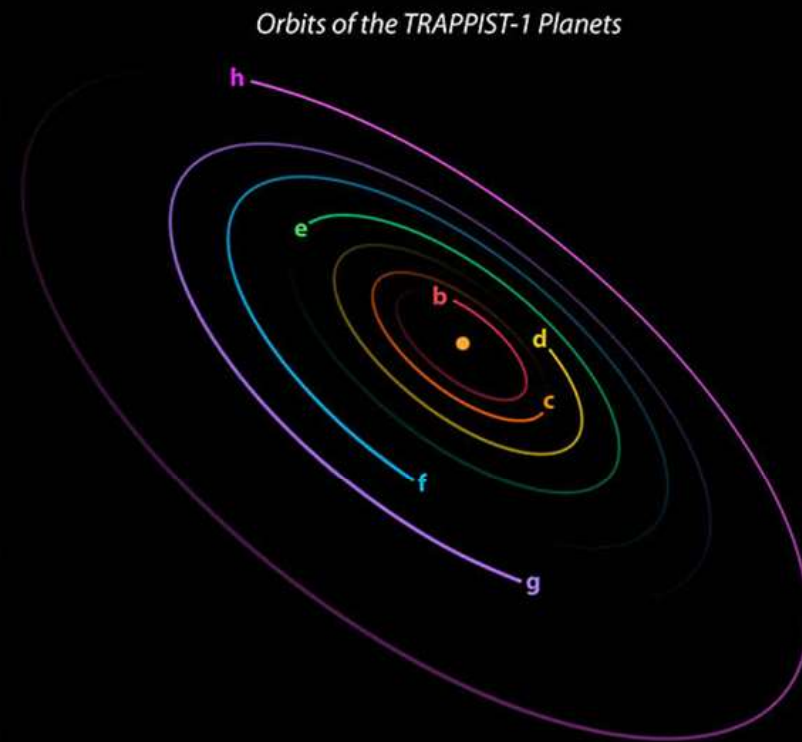
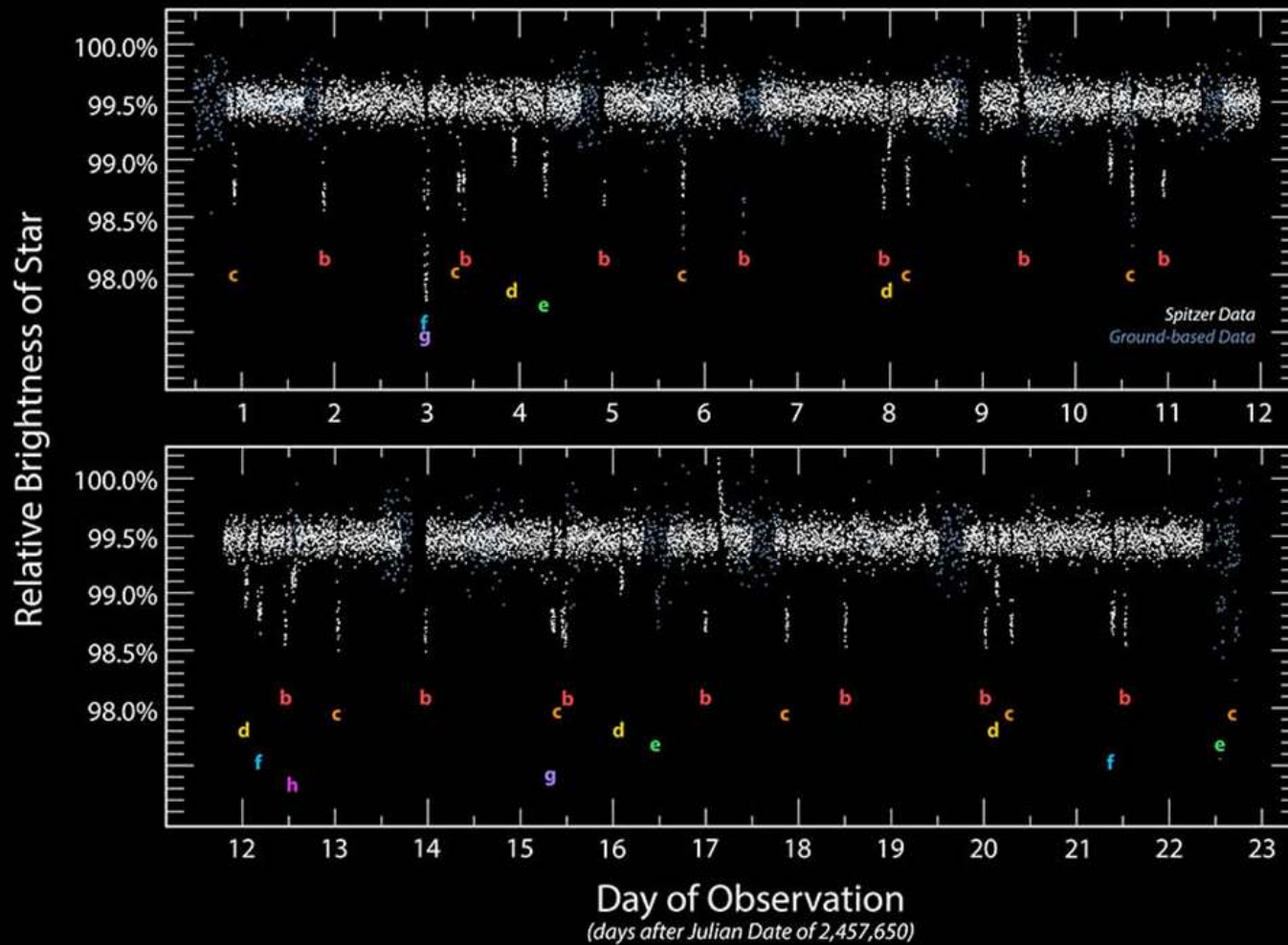
TRAPPIST-1 System



Solar System
Rocky Planets





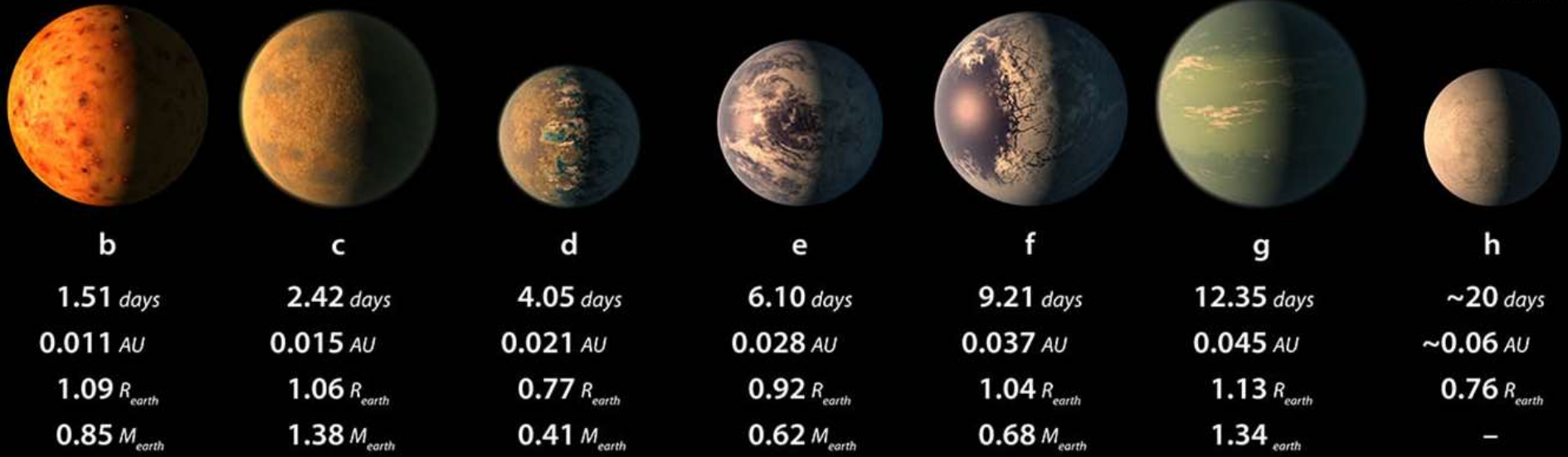


500 Hours of Exoplanet Transits in the TRAPPIST-1 System

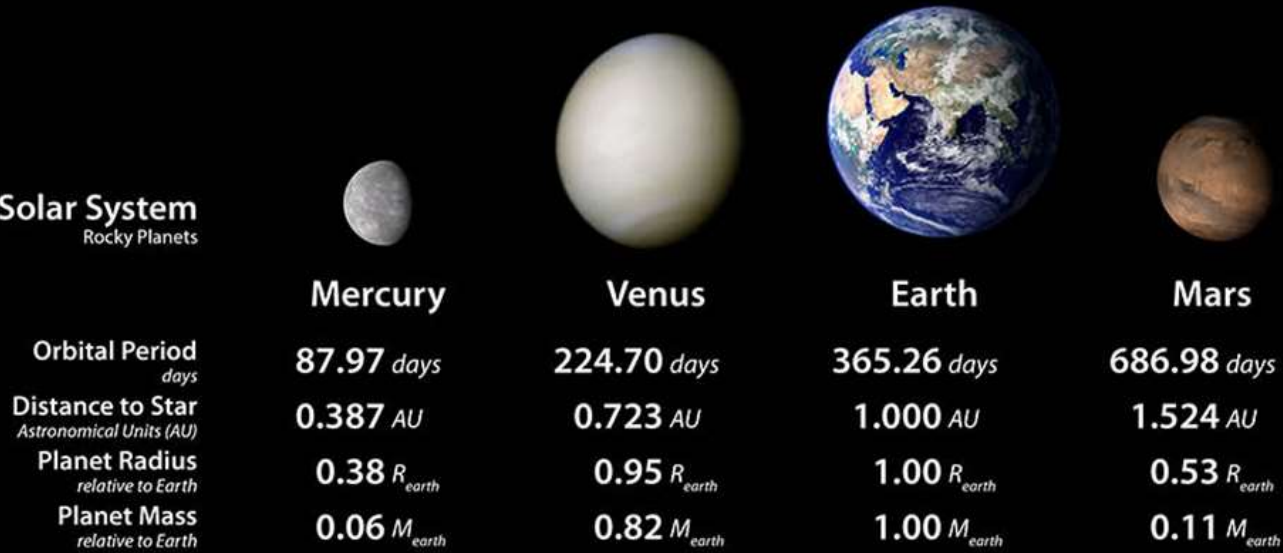
NASA/JPL-Caltech/M. Gillon (Univ. of Liegè, Belgium)

Spitzer Space Telescope • IRAC

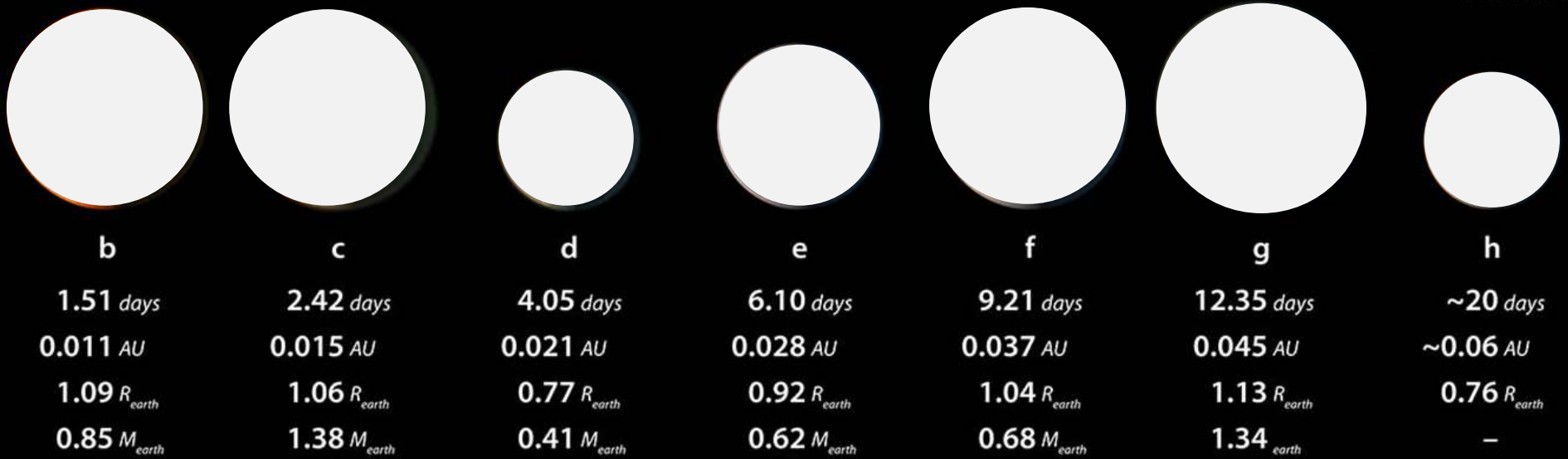
TRAPPIST-1 System



Solar System
Rocky Planets



TRAPPIST-1 System



Solar System
Rocky Planets



なぜ既存の枠組みで語りにくいか：

新分野というよりは、**既存分野では共有されない価値**

「宇宙生物学」とよばれるVinland(s)に向かう人たち

1. **生命の起源**（パンスペルミア的展開）をしりたい(生物)
2. 太陽系内天体に行ってもなにか**生命的な探査**をしたい（惑星）
3. 他の**生命がありうる他の惑星**（世界）を知りたい（天文）

お互い(少なくとも今は)そんなに関係ない

系外惑星の生命探査

系外惑星の探査をしても

- 1.物理的な**普遍法則**
- 2.生命を司る**基本原理**

などの崇高な問題には答えない

- 1.物理学的な**美しさは（少）ない**
- 2.惑星科学・地球物理学的には**仮想的**すぎる
- 3.生物学的には**無関心**
- 4.天文では比較的理解が…

系外惑星生命探査は

我々の愛する世界に似た世界が他にもありうるのか
そこはどんなところなのか知りたい

というナイーブな価値観に駆動

⇒サイエンス的に追及可能になったという点が新しい



●よく言われた⇒「物理じゃない」

そうかもしれませんが、天文で基礎物理を解明するっていうお題目も…

●たぶん言われている⇒「生物じゃない」

そうですね。こまった。名前がよくないかも

価値の問題

作業の楽しさ

2050年代くらいにはこうあるべき（私 = 70代）

- 現在進む富の偏在が解消され、文化的なことに使えるようになる
- 太陽型星まわりの地球型惑星たち@ ハビタブルゾーンを徹底観測する専用衛星の時代

補足：科学者コミュニティの中で、
という意味ではなく、世界の社会全体の中でという意味

⇒ トランジット・直接撮像両方やるだろう。さらにもっと先端的な技術（光赤外干渉計）をめざすようになってほしい

⇒ 探るもの：大気組成、気象、海洋、大陸、気候、
生命の兆候など



宇宙直接撮像

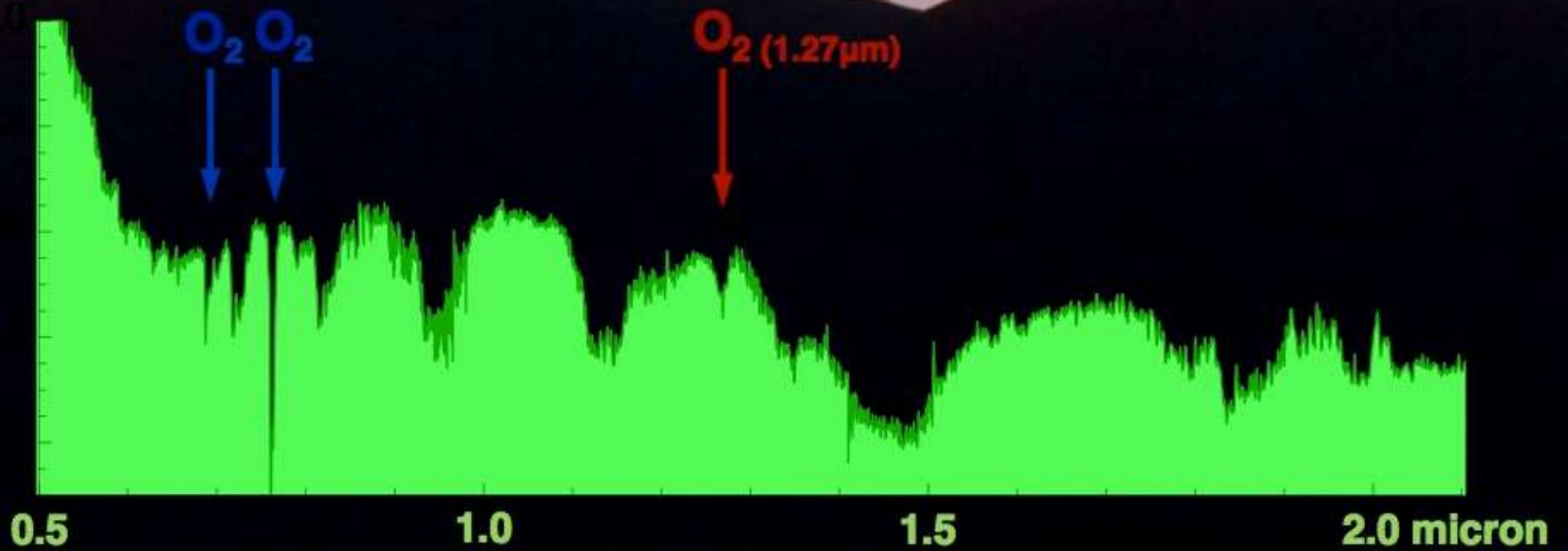
⇒分光（大気、レッドエッジ、表面組成）

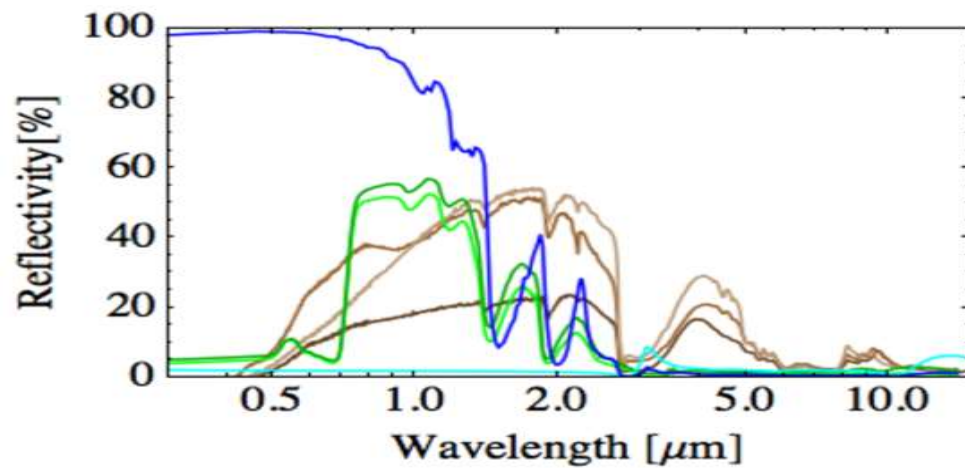
⇒ライトカーブ（表面分布、気象情報）



Reflection Spectra of Earthshine

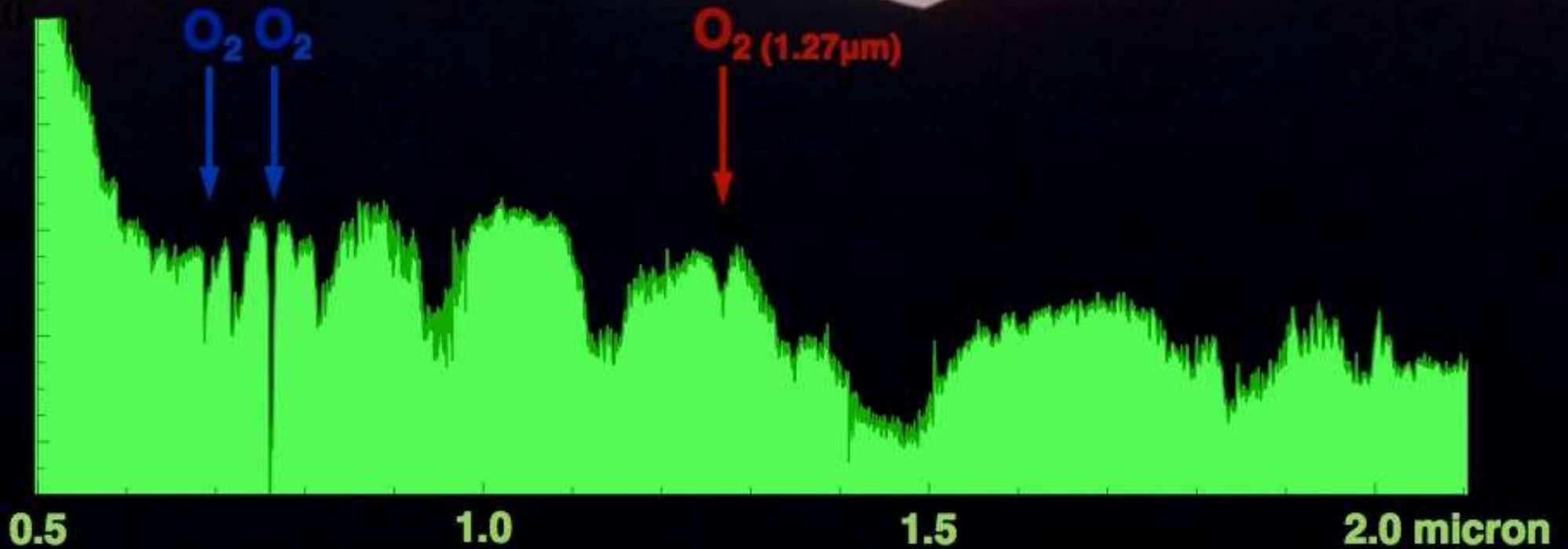
Courtesy of E. Palle





- soil/entisol/ustifluvent
- soil/inceptisol/dystrochrept
- soil/mollisol/agriudoll
- vegetation/trees/conifers
- vegetation/trees/deciduous
- water/ice
- water/snow/fine

earthshine
le





Jupiter

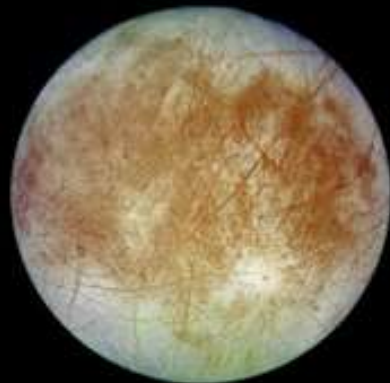
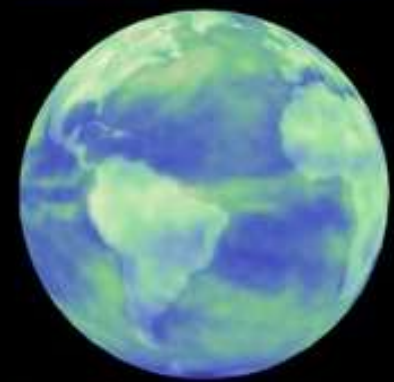
Solar planet

x 50

Europa



Reflection from the Earth



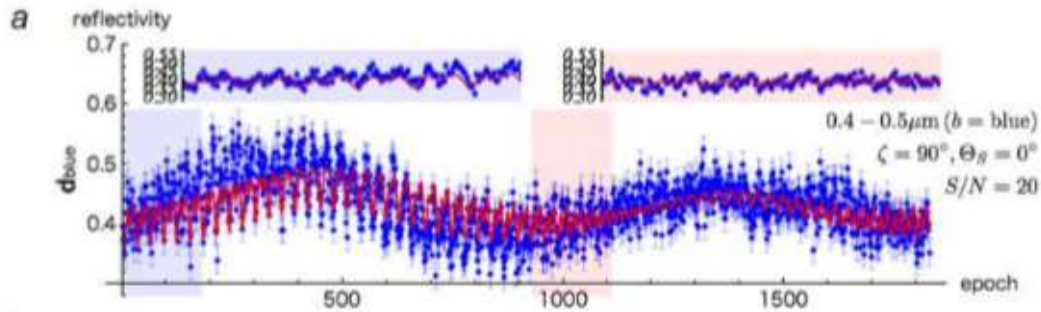
Satellite

x 100,000

Nearby Earth-like Exoplanet

Credit : NASA/CERES

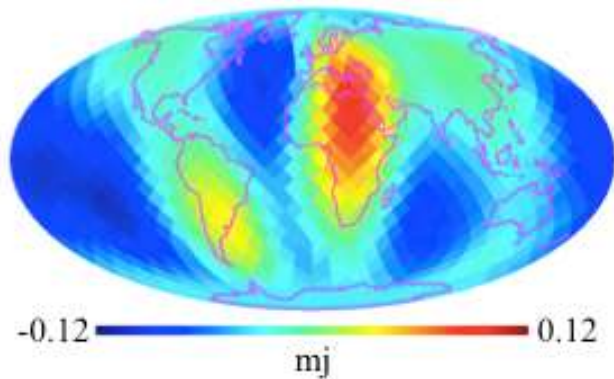
一年間、光度曲線を精密(10%)に測定すると表面がわかる



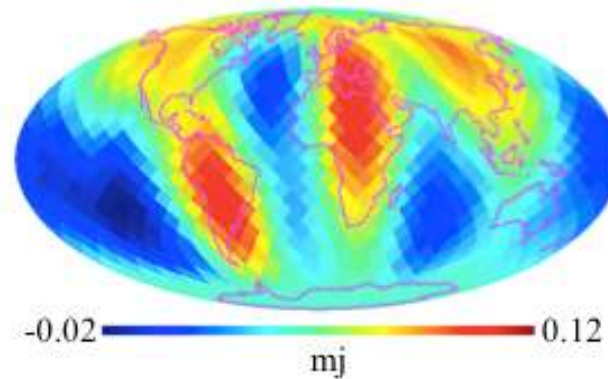
$$d(\Omega) = \int d\omega W(\Omega, \omega | \text{spin}) a(\omega) + \epsilon$$

ω : longitude/latitude
 Ω : revolution/rotation
 ϵ : noise

NIR-Blue (SN=100)



NIR-Orange (SN=100)

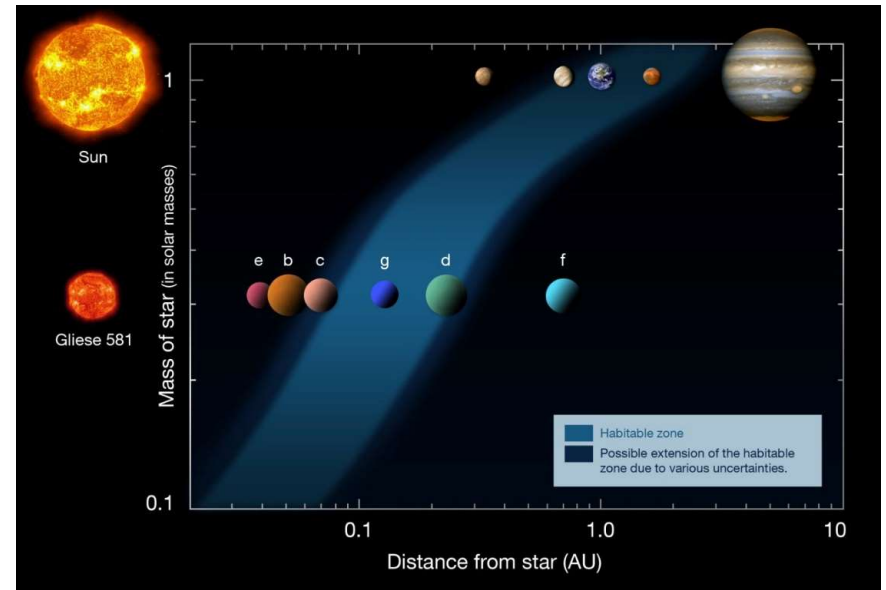
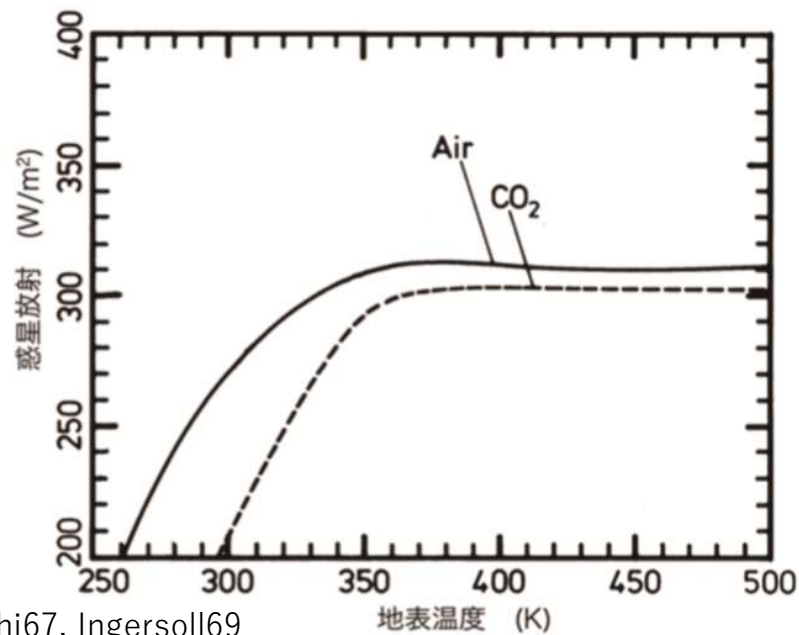


Kawahara & Fujii10,11 Fujii & Kawahara12, Kawahara16



Habitabilityとはなにか？

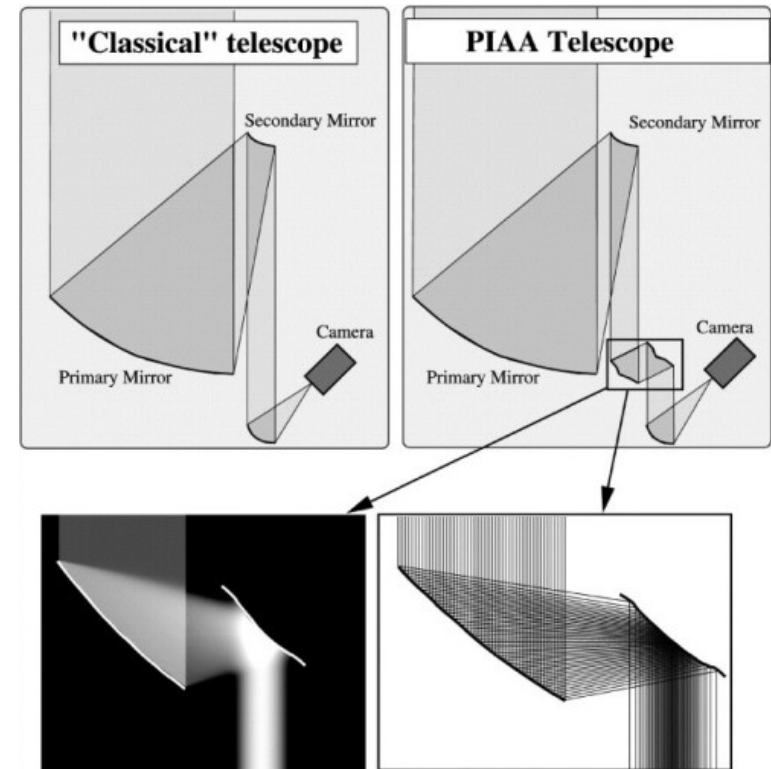
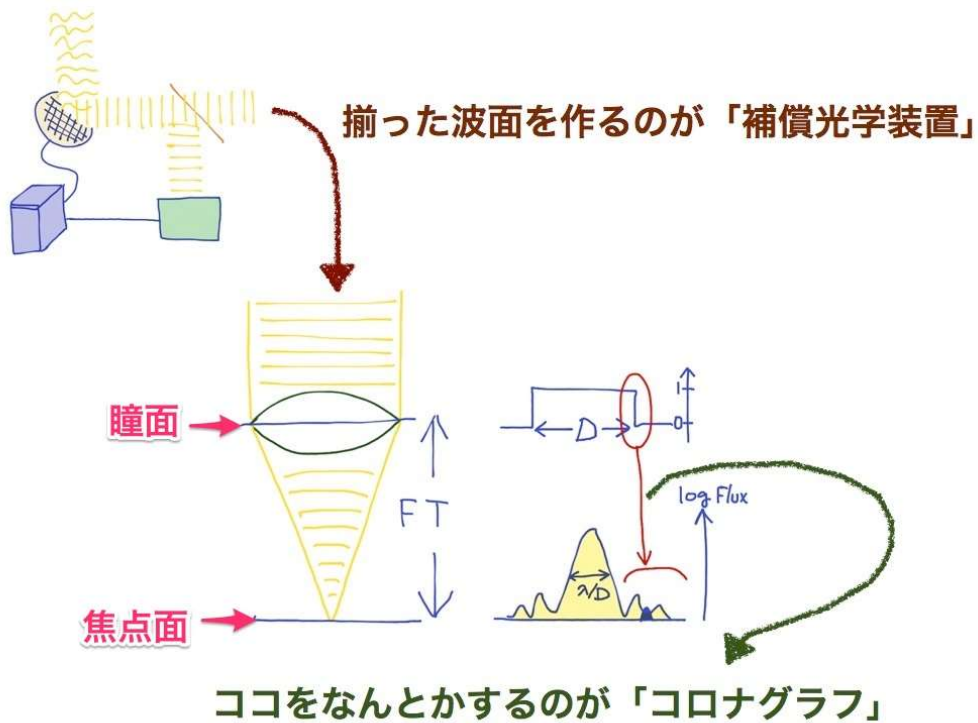
- 地球がなぜ地球たるかという根源的問い⇔系外惑星
- 作業としては放射伝達モデルなどでわりと美しい



Komabayashi67, Ingersoll69
Abe&Matsui88, Kasting88, Nakajima+92

Coronagraph関連技術

- 具体的には光学と数学と情報科学



O. Guyon PIAA coronagraph

現状：系外惑星生命探査

1995 系外惑星発見

2007 岩石トランジット惑星発見(corot-7b)

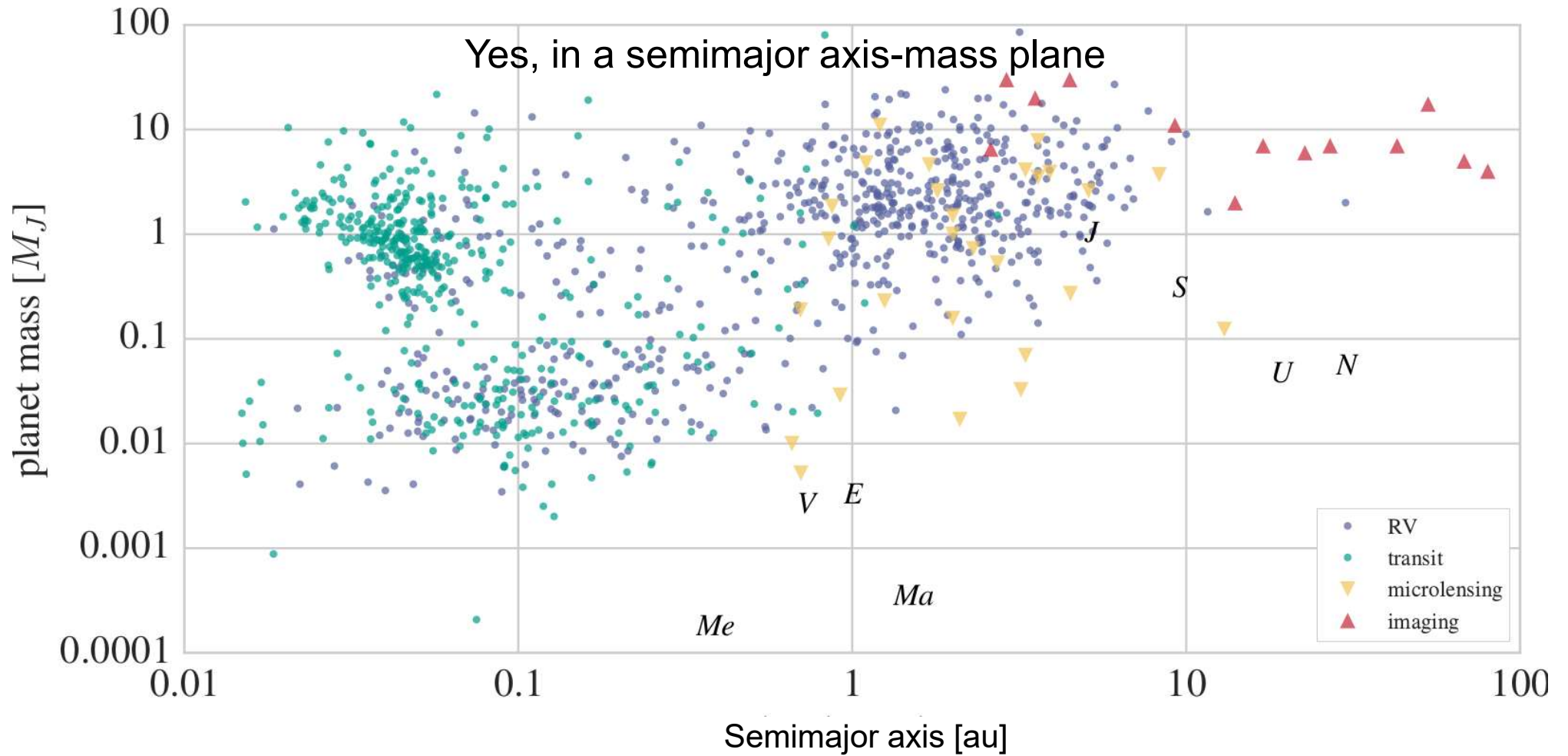
2009 ケプラー衛星アウトブレイク

… many exoplanets within HZ

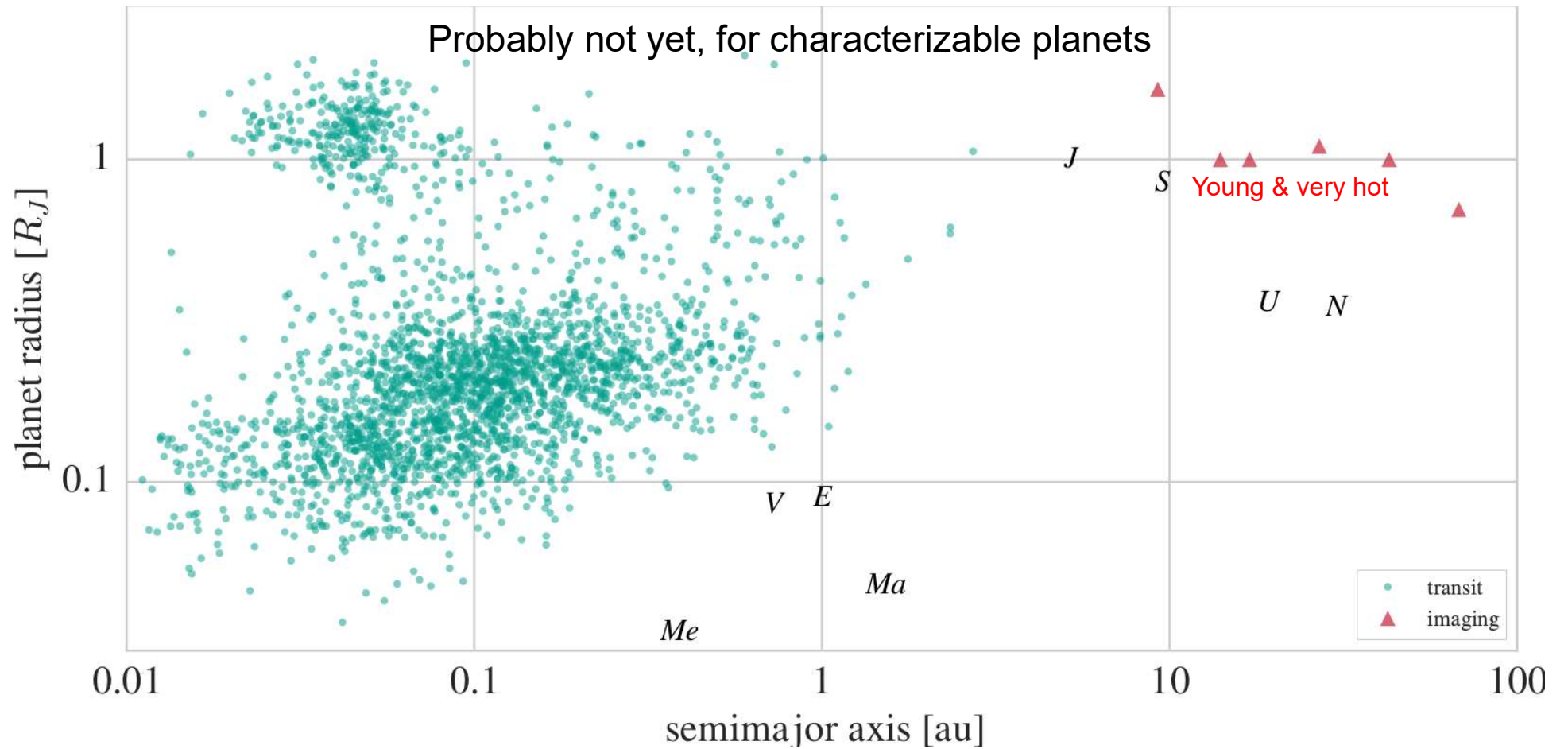
2016 proxima Cen b (in HZ?) $T_{\text{eff}}=3000\text{K}$

2017 Trappist1 bcdefgh $T_{\text{eff}}=2500\text{K}$

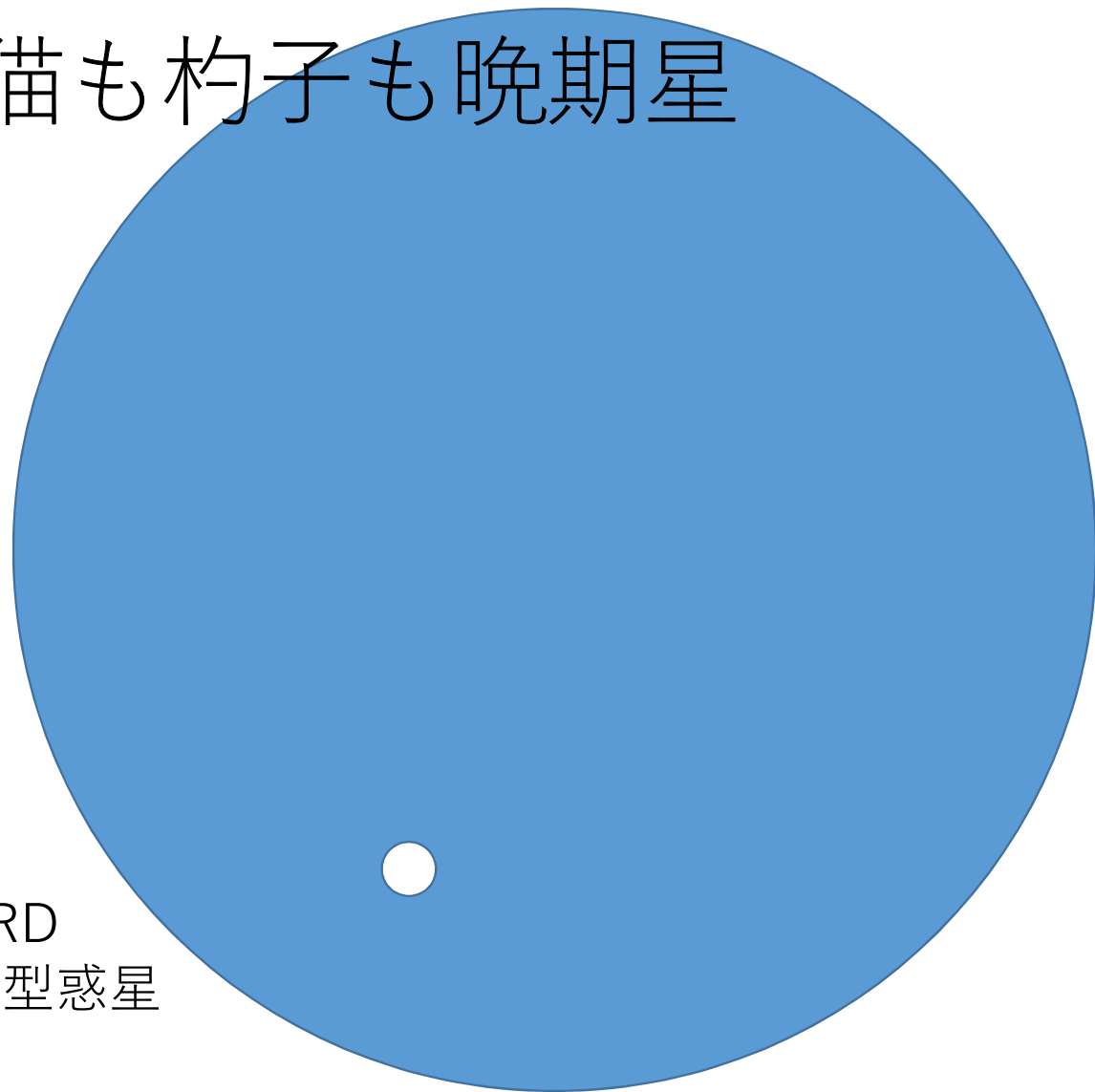
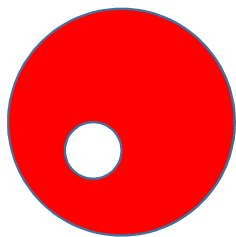
Have we already detected solar planet analogs?



Have we already detected solar planet analogs?

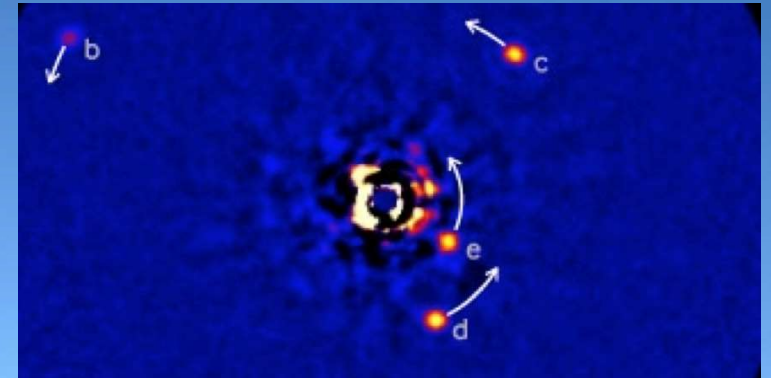
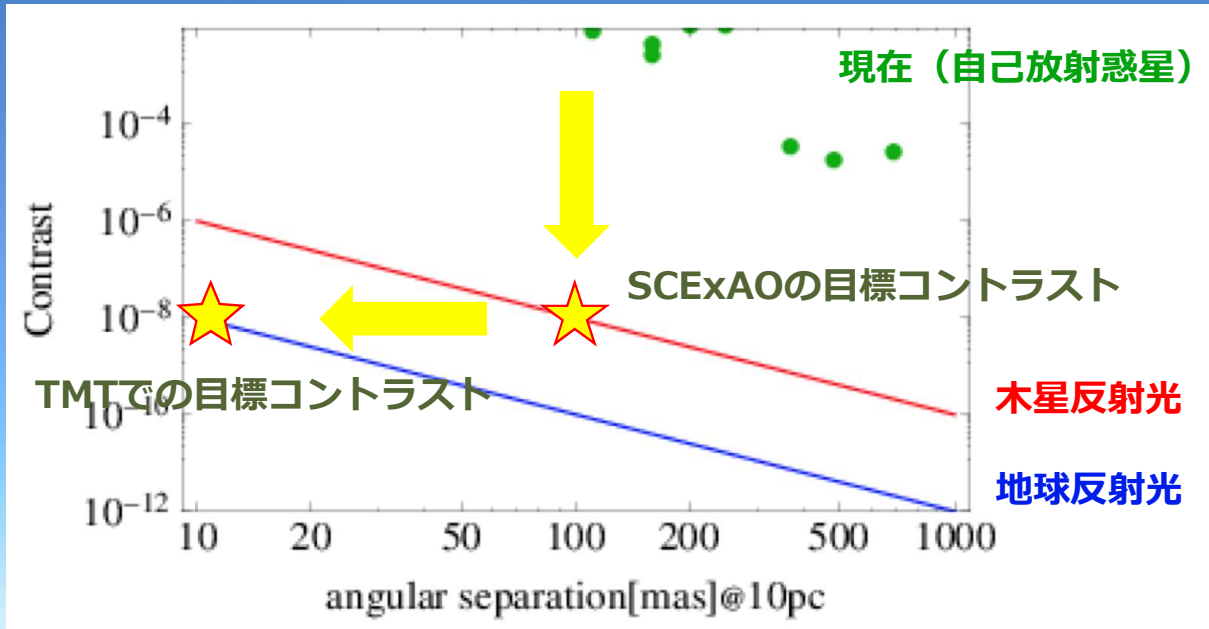


2010-2020年代：猫も杓子も晩期星



トランジット：trappist1系
視線速度法：proxima centauri, IRD
直接撮像：M型星のまわりの地球型惑星

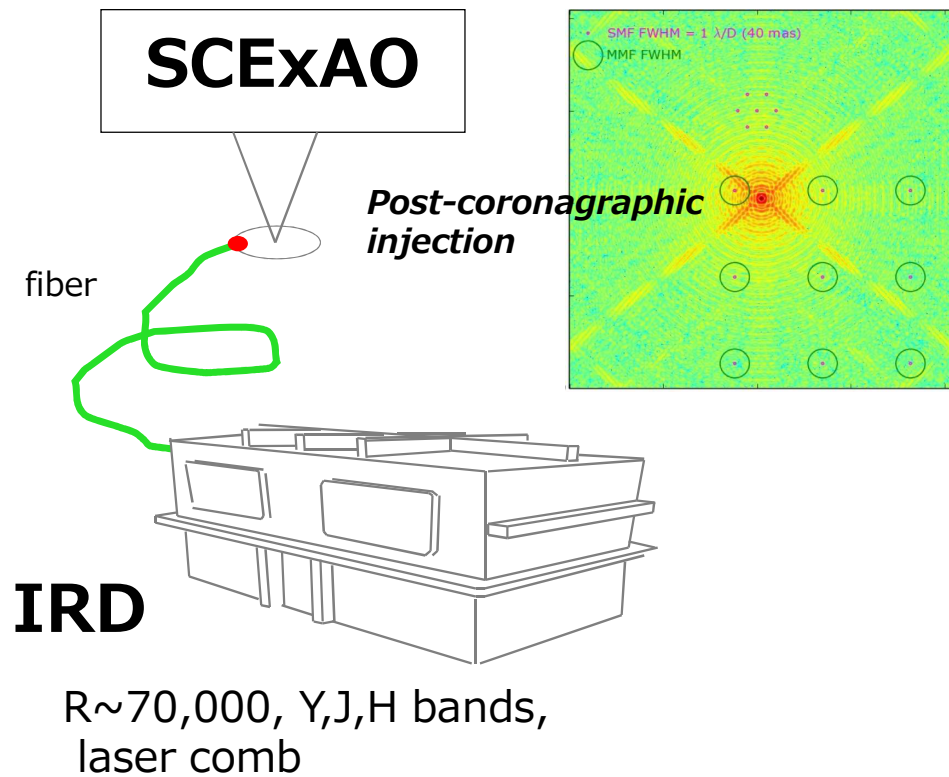
Coronagraph on Subaru Telescope/TMT, E-ELT etc



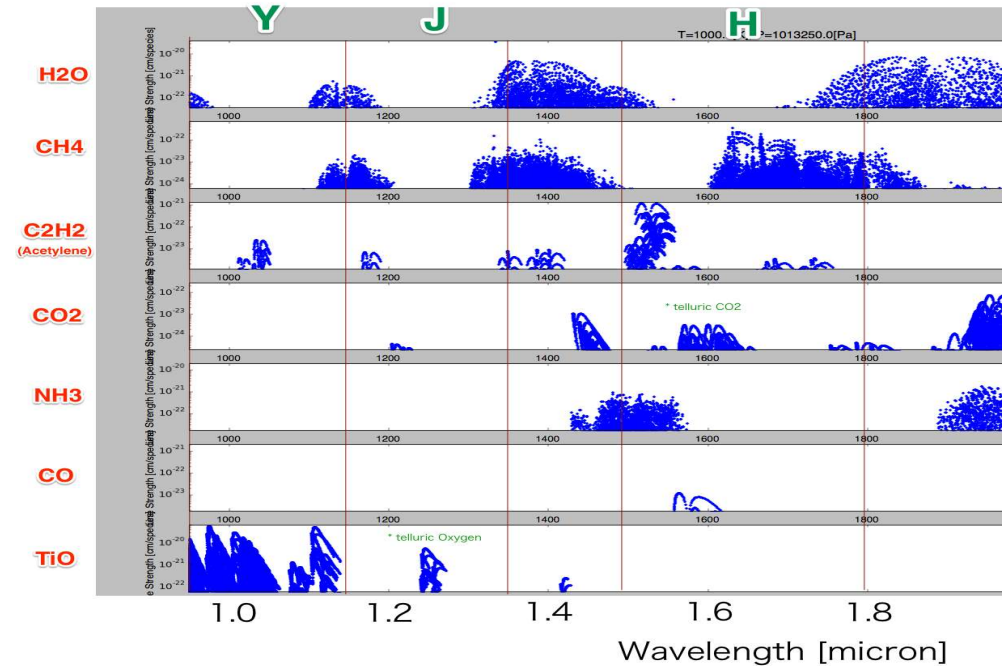
Guyon, Jovanovic (すばる)
Kotani, Murakami, Yamamoto, Matsuo
Etc.. (各大学)



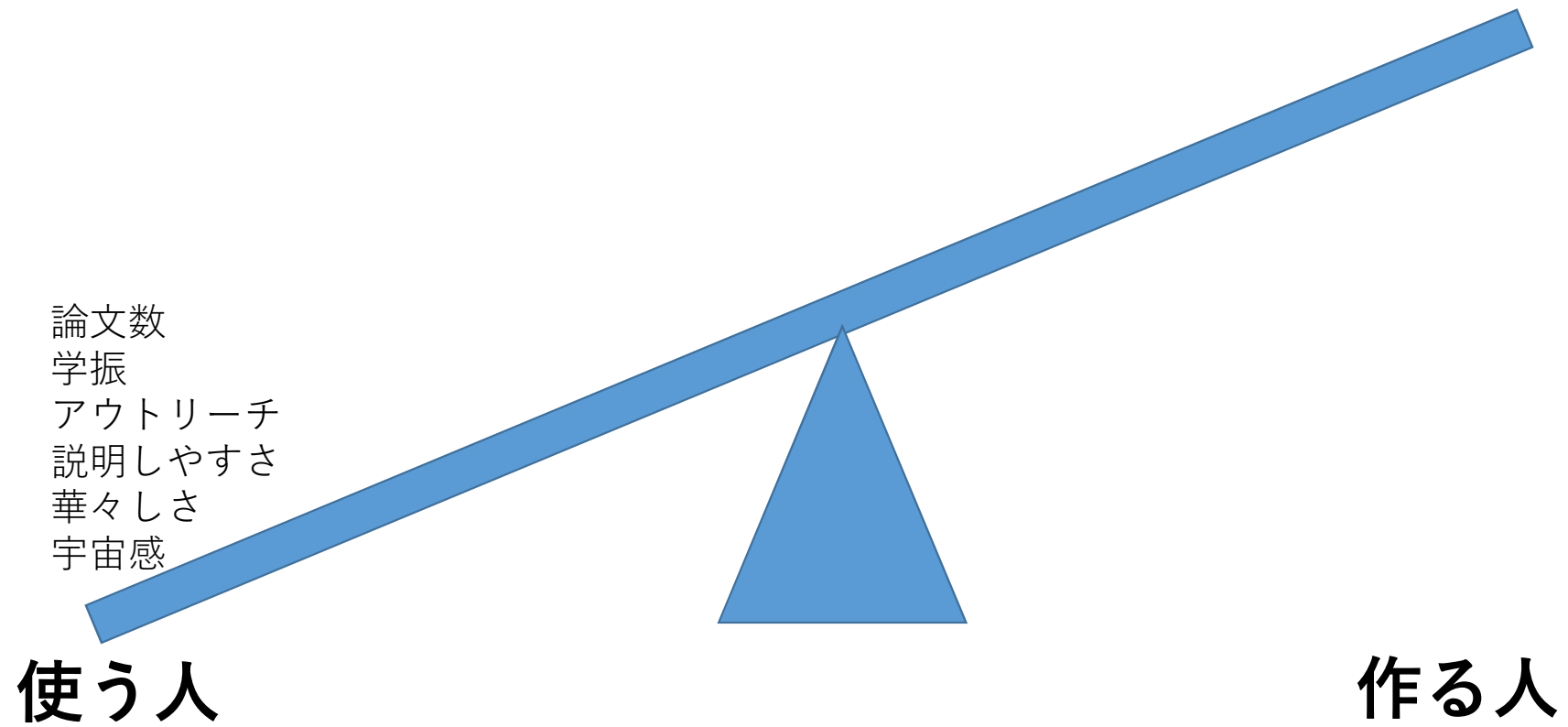
Post-Coronagraphic Injection



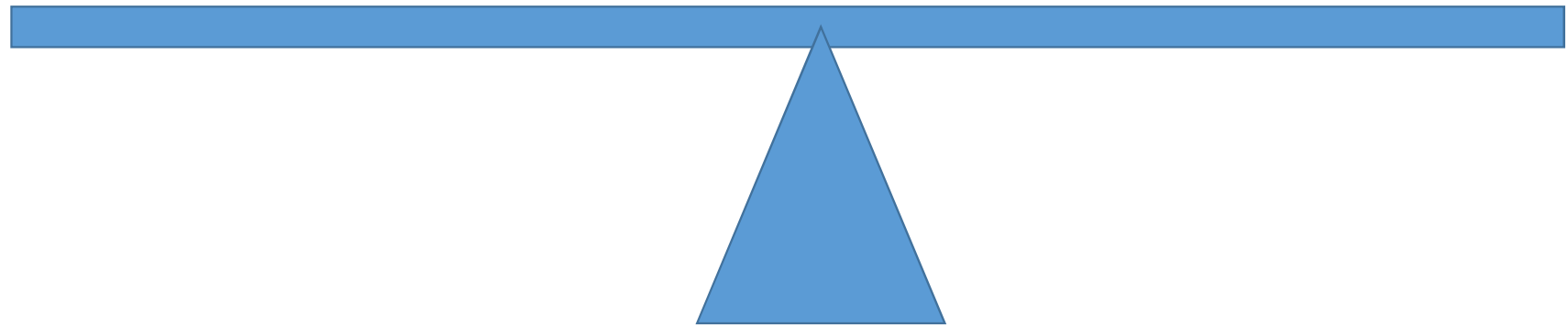
Molecular lines in Y,J, and H band



装置開発振興の重要性



装置開発振興の重要性

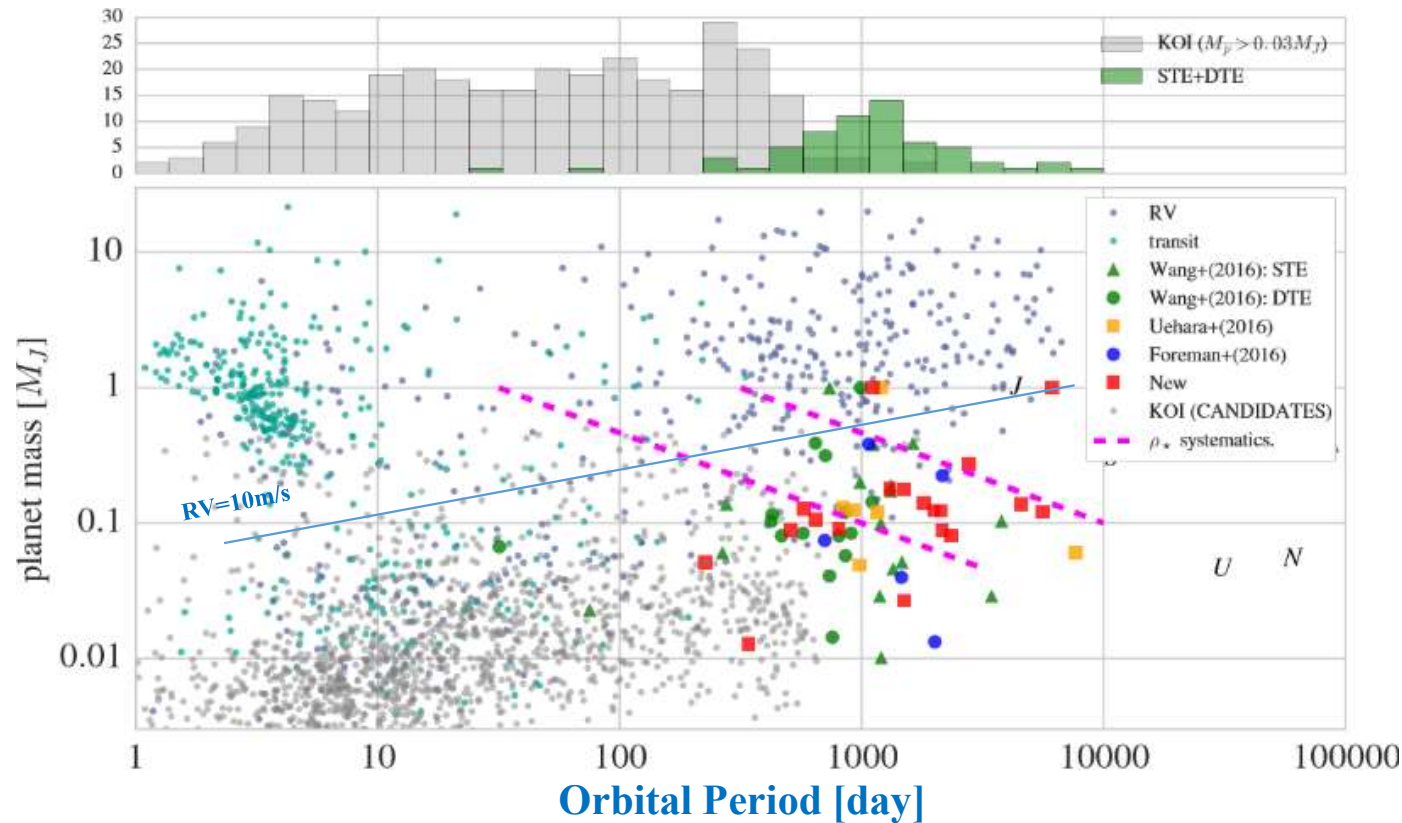
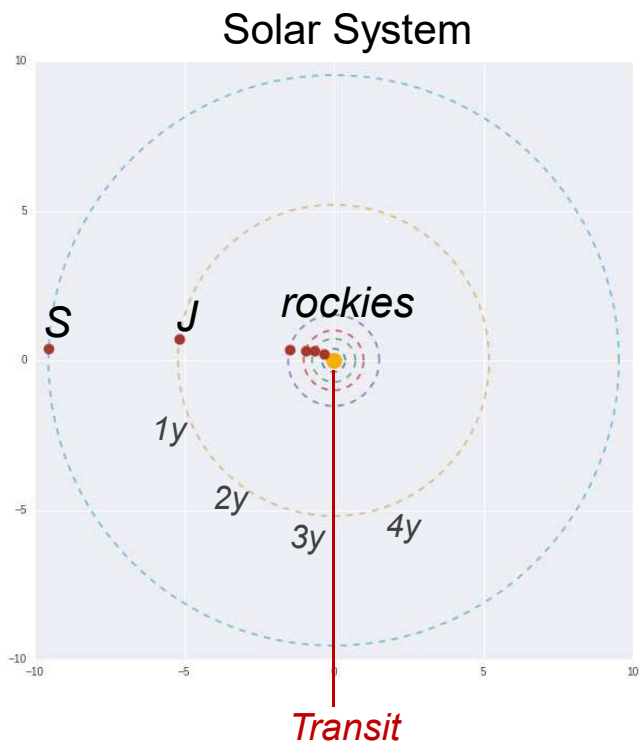


使う人

作る人

2050-2020=30年: 長期スパン観測

Productivity $\propto 1/\text{公転周期}$? \Rightarrow 短周期惑星・晩期型まわり・TESS
長寿命・中性能のトランジット衛星をやっておくとよいかもしれない



系外惑星のデータ科学という側面

- **大量の一次元データ** : e.g. Kepler 200,000 objects x 4yr

機械学習、AI、GPUコンピューティング、人力探査…

今後、TESS, CHEOPS, PLATOとある意味安泰

参入障壁ゼロ : twitterでtrappist1と検索してみよう

- **二次元画像データ** : 2050年代・直接撮像においてもデータ量は莫大で (SCEXAO, 一晚~TB) 処理も複雑 (波面情報や復元など)

まとめ：

系外惑星における生命探査をやっていくためにはこれまでの物理では共有されない価値について流布してコミュニティを作る必要がある

作業が楽しい（実際楽しい）というのも大事

価値感の問題

ゲリラ的衛星？



太陽型周地球型惑星の専門観測

大型望遠鏡
直接撮像

？



TESS JWST WFIRST habitable planet用衛星

