

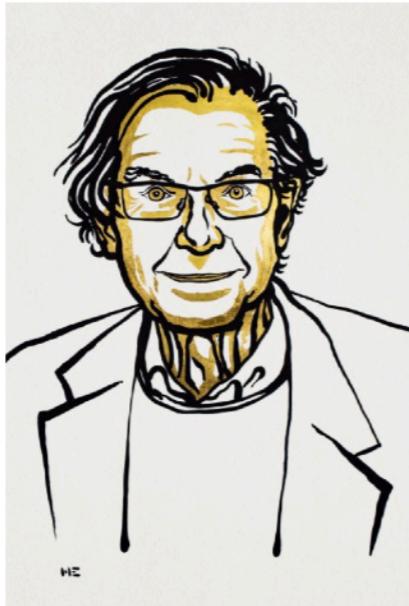
Section 2.

太陽系外惑星

脫線

2020年ノーベル物理学賞

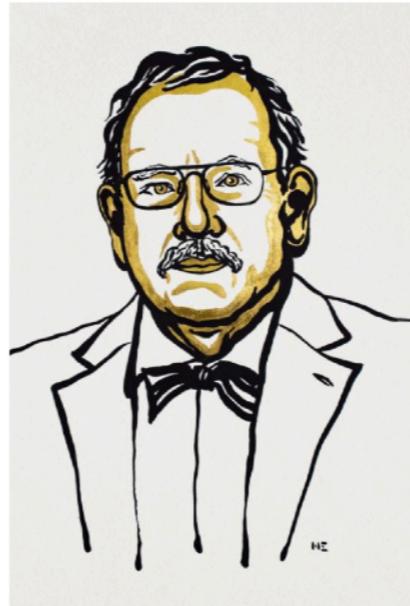
The Nobel Prize in Physics 2020



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

Roger Penrose

Prize share: 1/2



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

Reinhard Genzel

Prize share: 1/4



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

Andrea Ghez

Prize share: 1/4

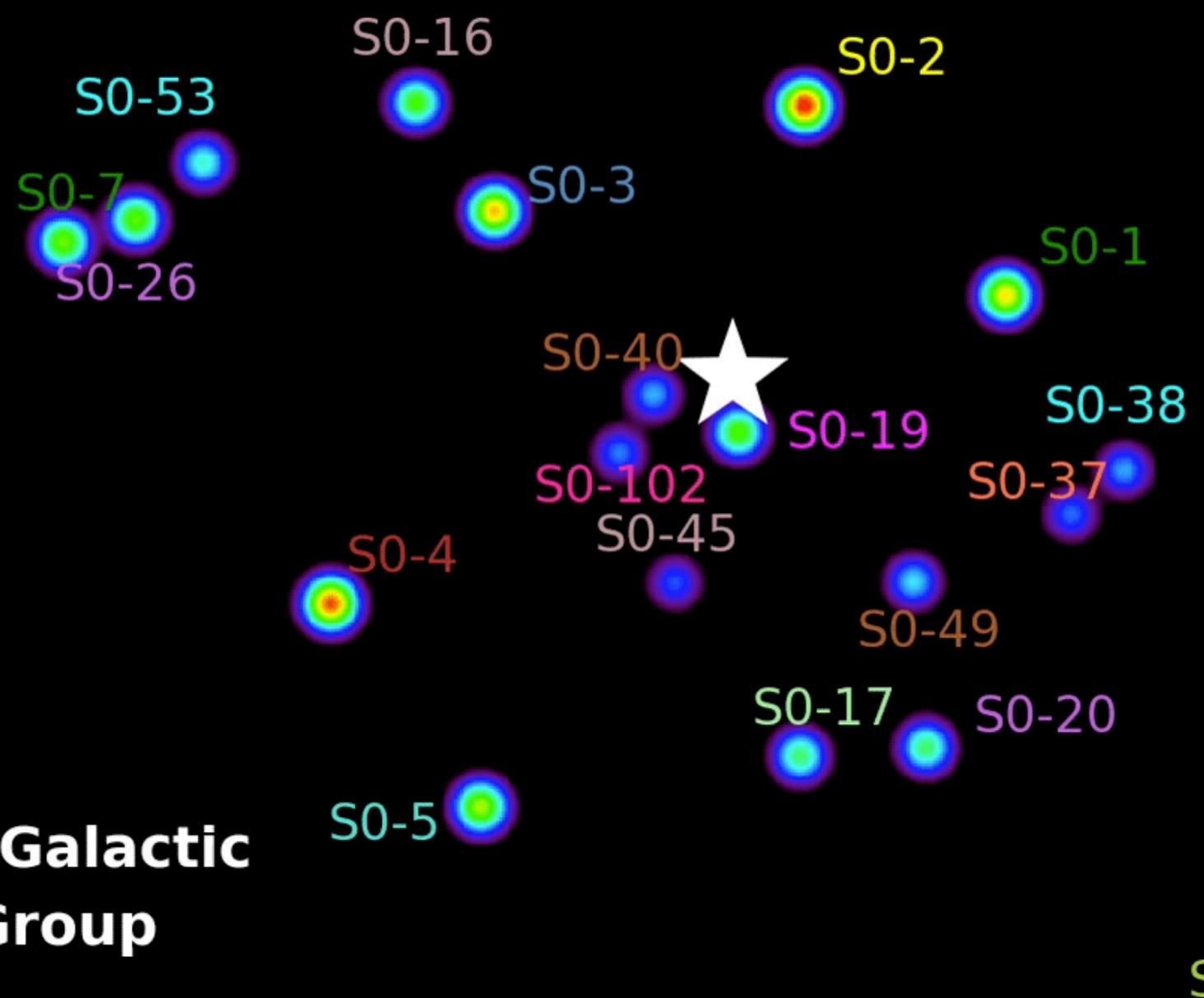
The Nobel Prize in Physics 2020 was divided, one half awarded to Roger Penrose "for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity", the other half jointly to Reinhard Genzel and Andrea Ghez "for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy."



<https://www.eso.org/public/videos/eso1151d/>

(C) ESO/MPE/Nick Risinger (skysurvey.org)/VISTA/J. Emerson/Digitized Sky Survey 2

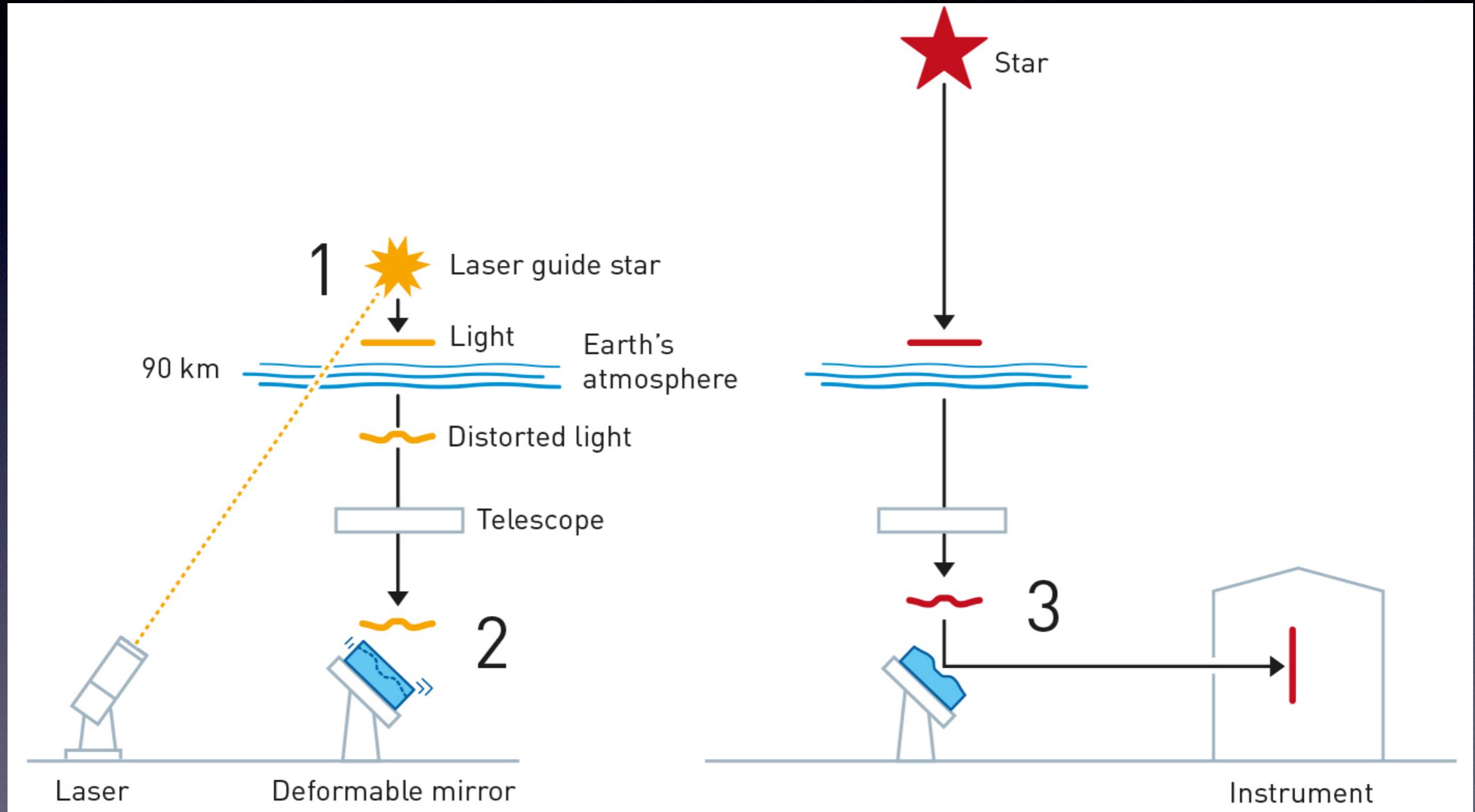
1995.5



中心に見えない巨大な重力源がいる！

力学

補償光学





Section 2. 太陽系外惑星

2.1 直接撮像 (写真を撮る)

2.2 ドップラー法 (速度を使う)

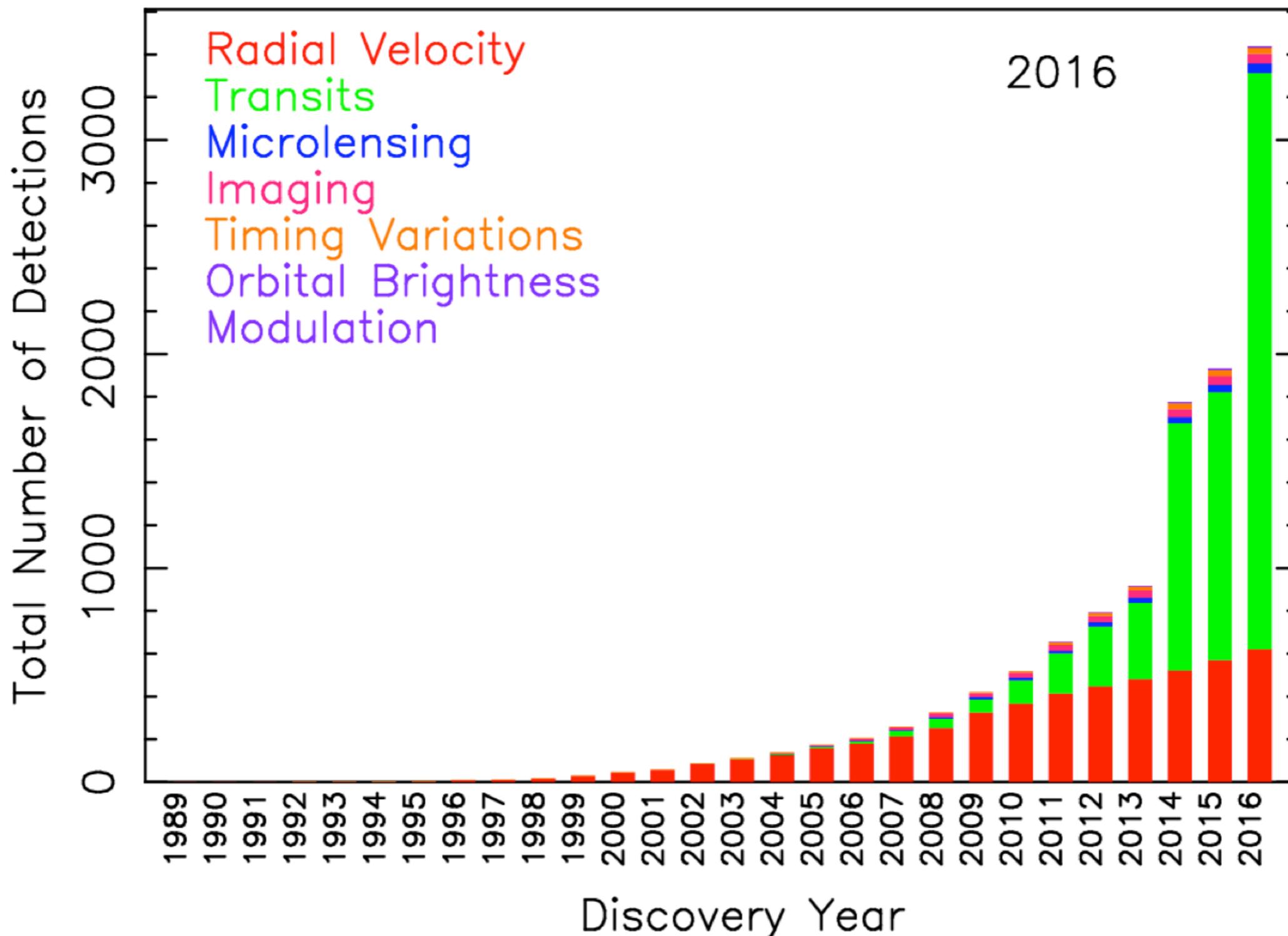
2.3 トランジット法 (食を使う)

宇宙に私たちの地球のような惑星は
他にも存在するのか？

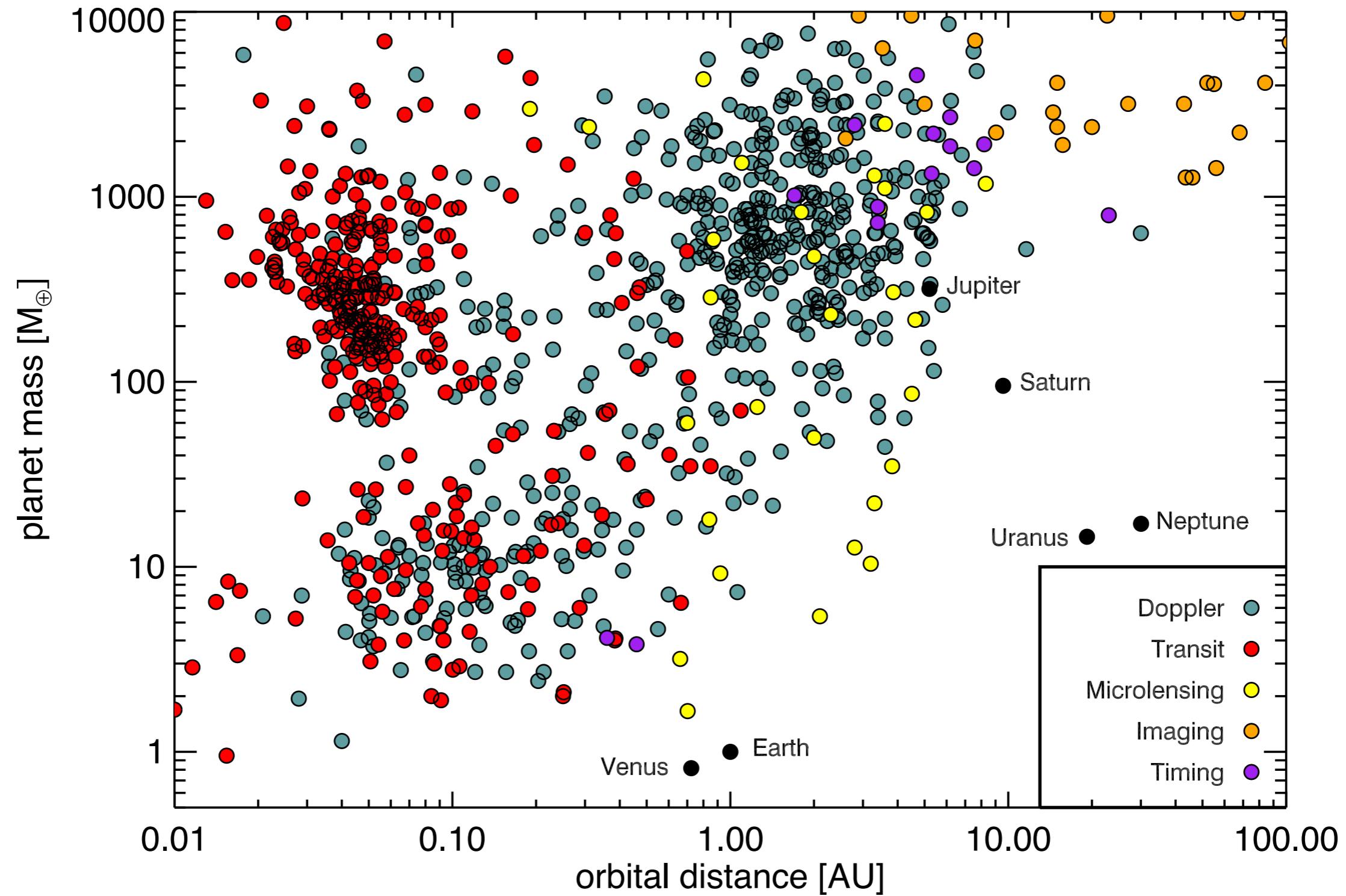
太陽系でない惑星(太陽系外惑星)は
いくつ見つかっている？



系外惑星発見の歴史



太陽系外惑星 (2014年時点)



どうやつたら発見できるの？
なんで発見したと言えるの？

なぜ「第二の地球」を発見するのは難しいの？



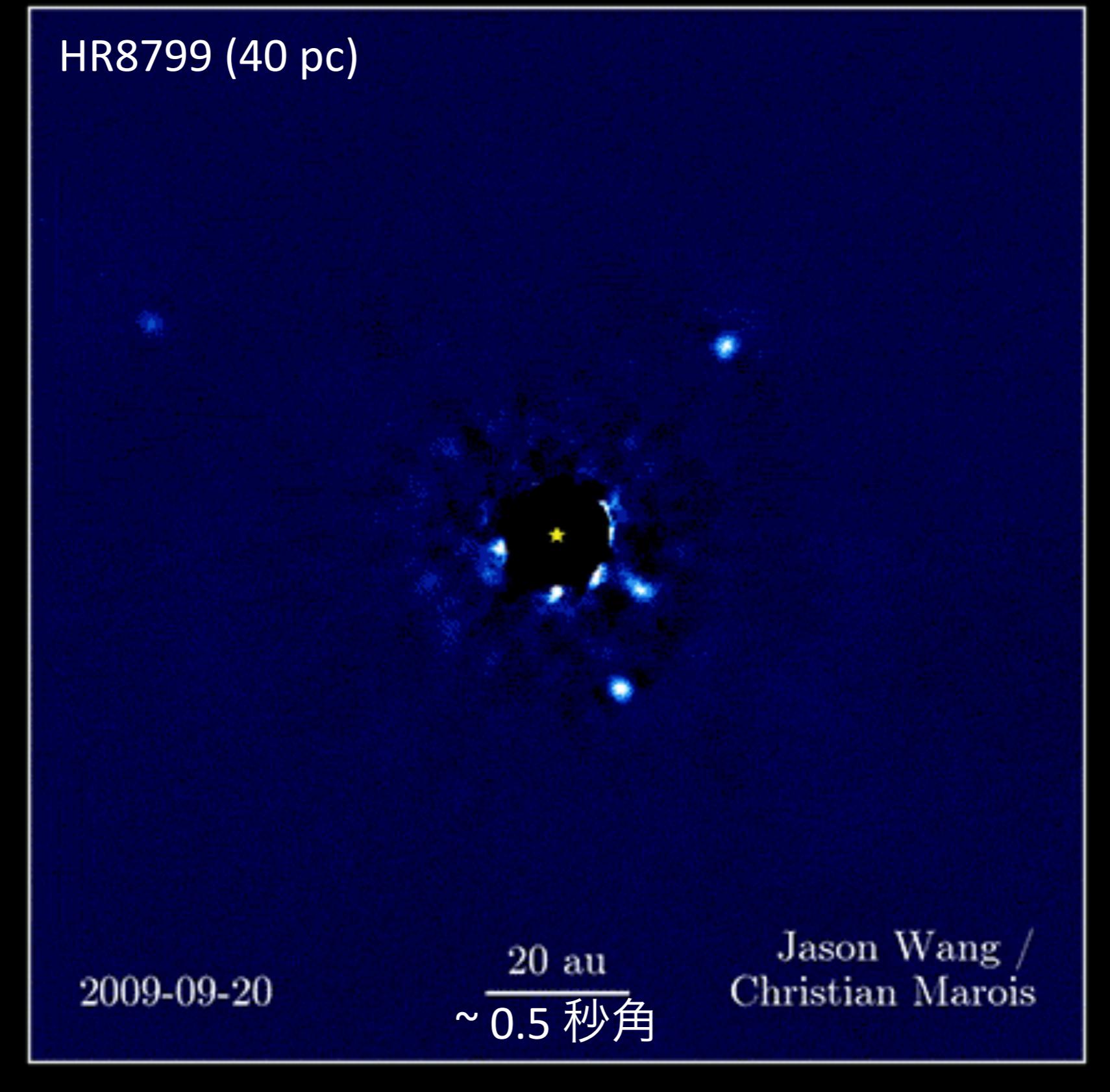
Section 2. 太陽系外惑星

2.1 直接撮像 (写真を撮る)

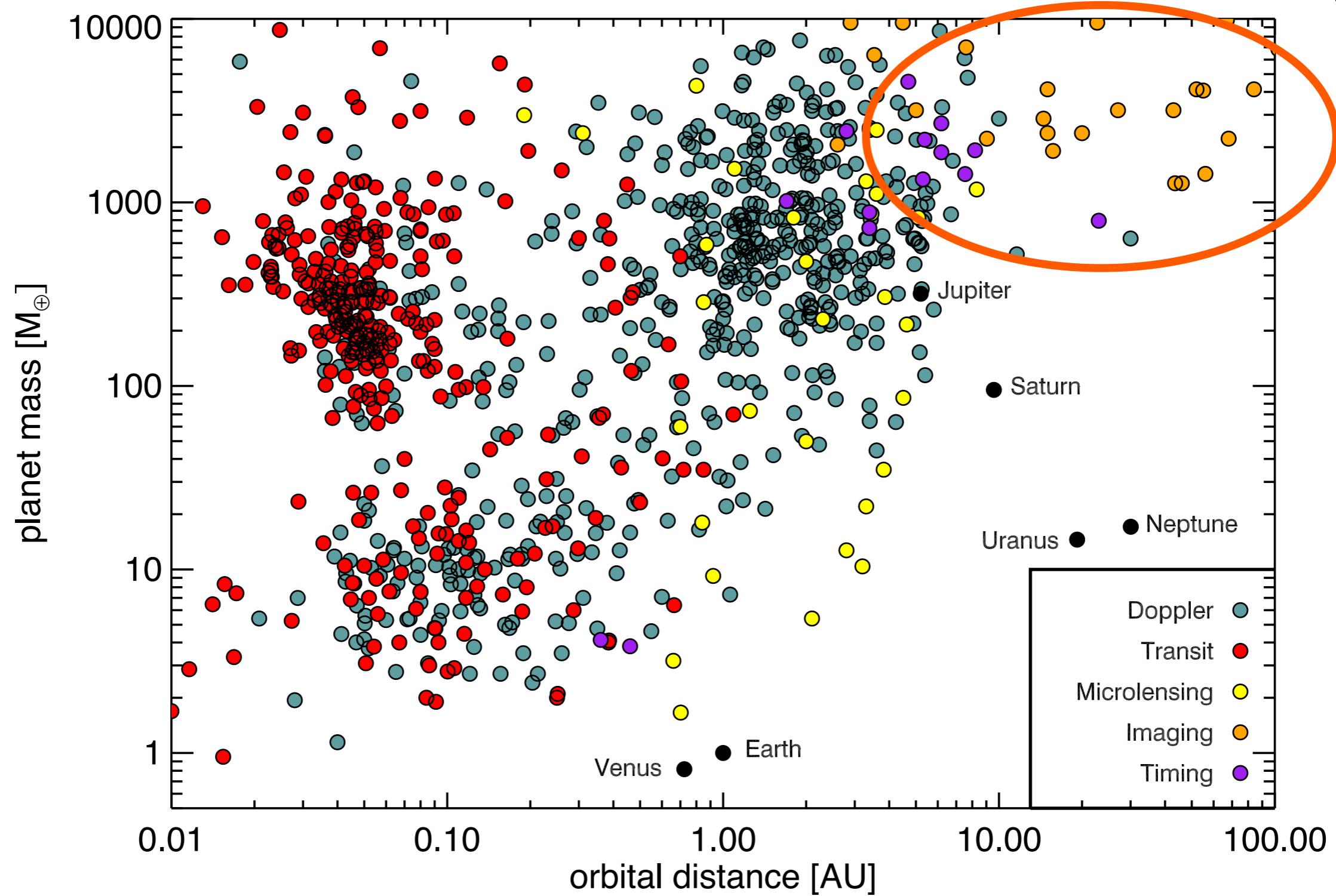
2.2 ドップラー法 (速度を使う)

2.3 トランジット法 (食を使う)

直接攝像



太陽系外惑星 (2014年時点)

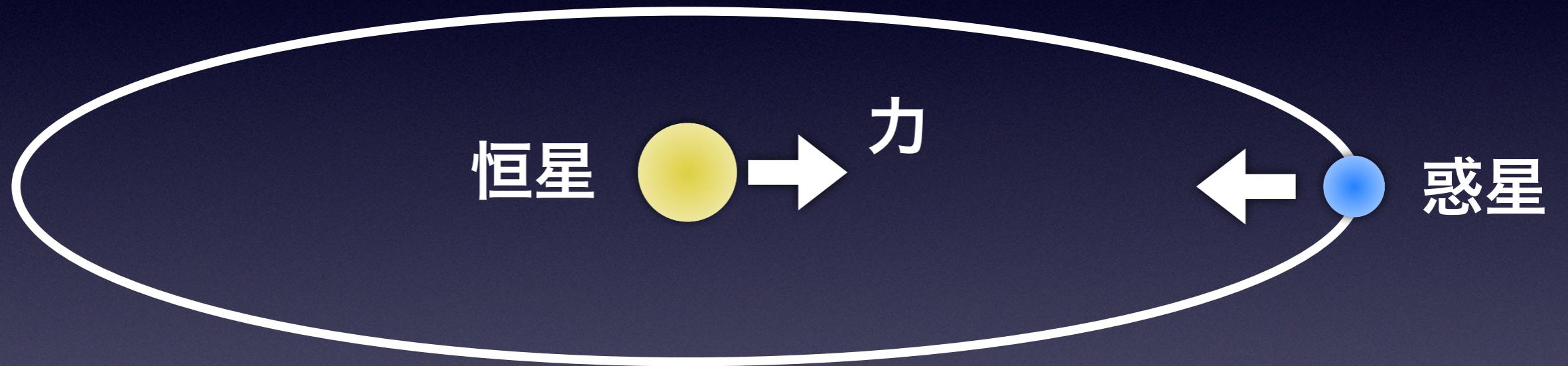


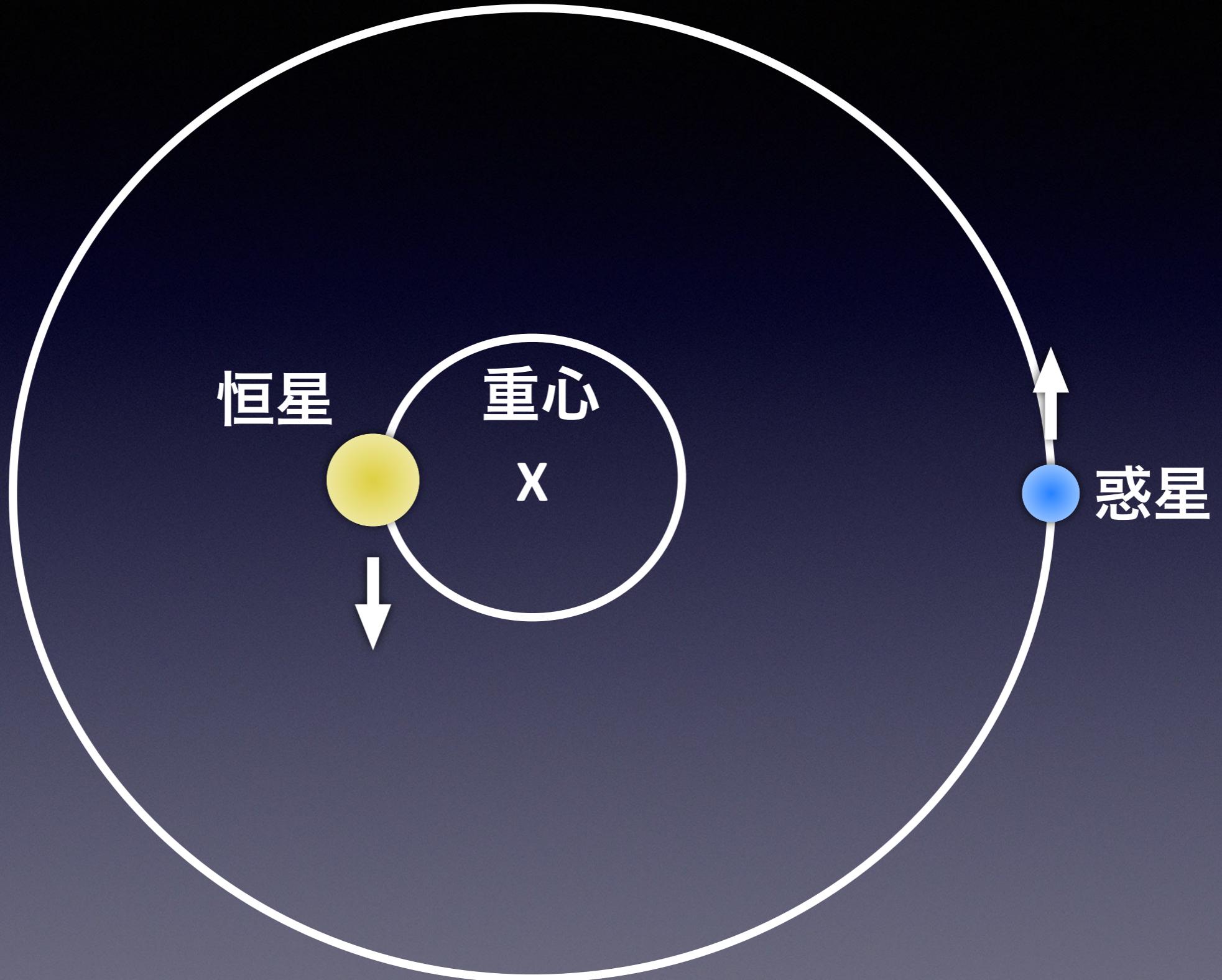
Section 2. 太陽系外惑星

2.1 直接撮像 (写真を撮る)

2.2 ドップラー法 (速度を使う)

2.3 トランジット法 (食を使う)



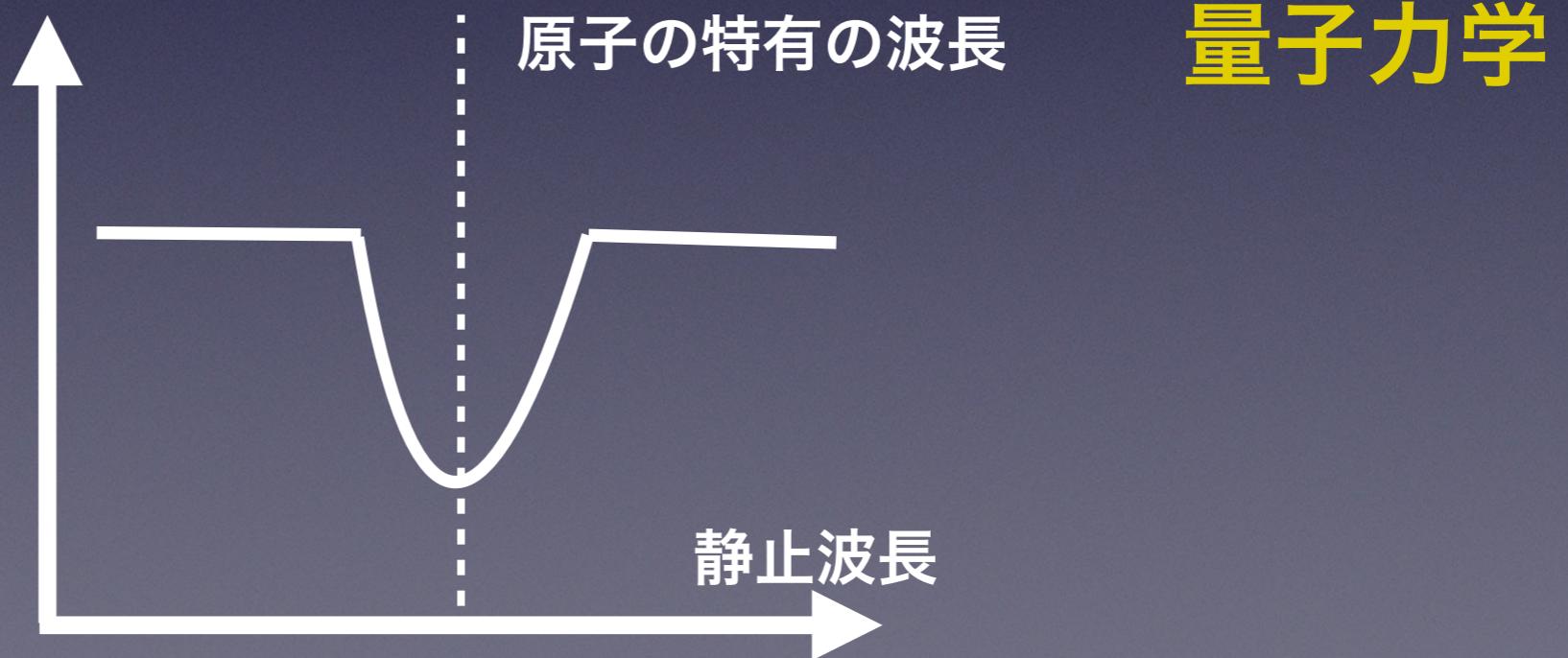
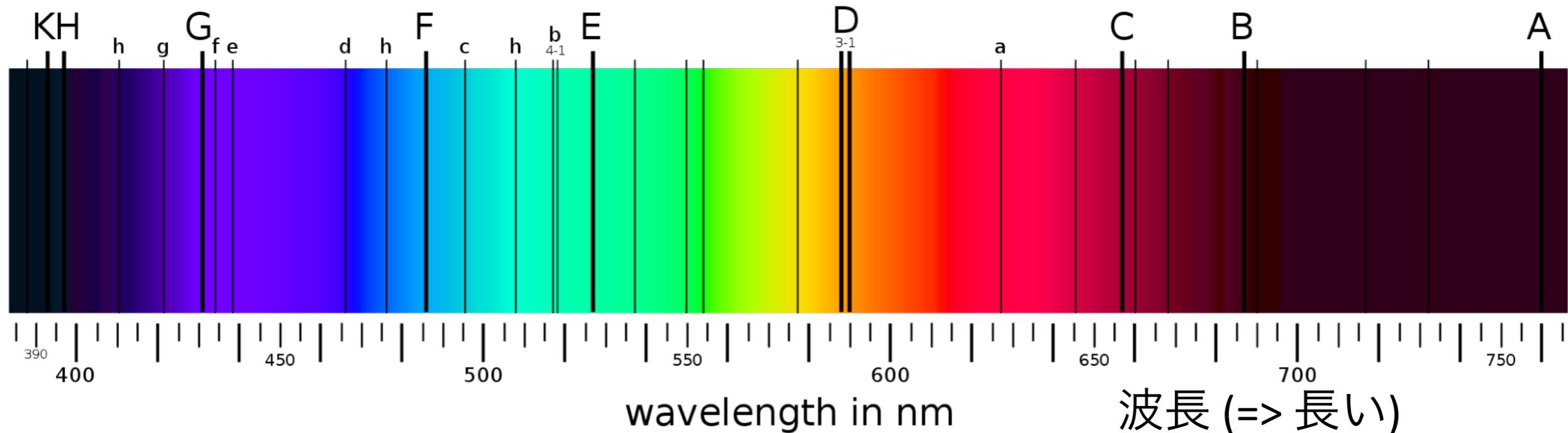




太陽はどれぐらい「振られる」の？
観測できるの？

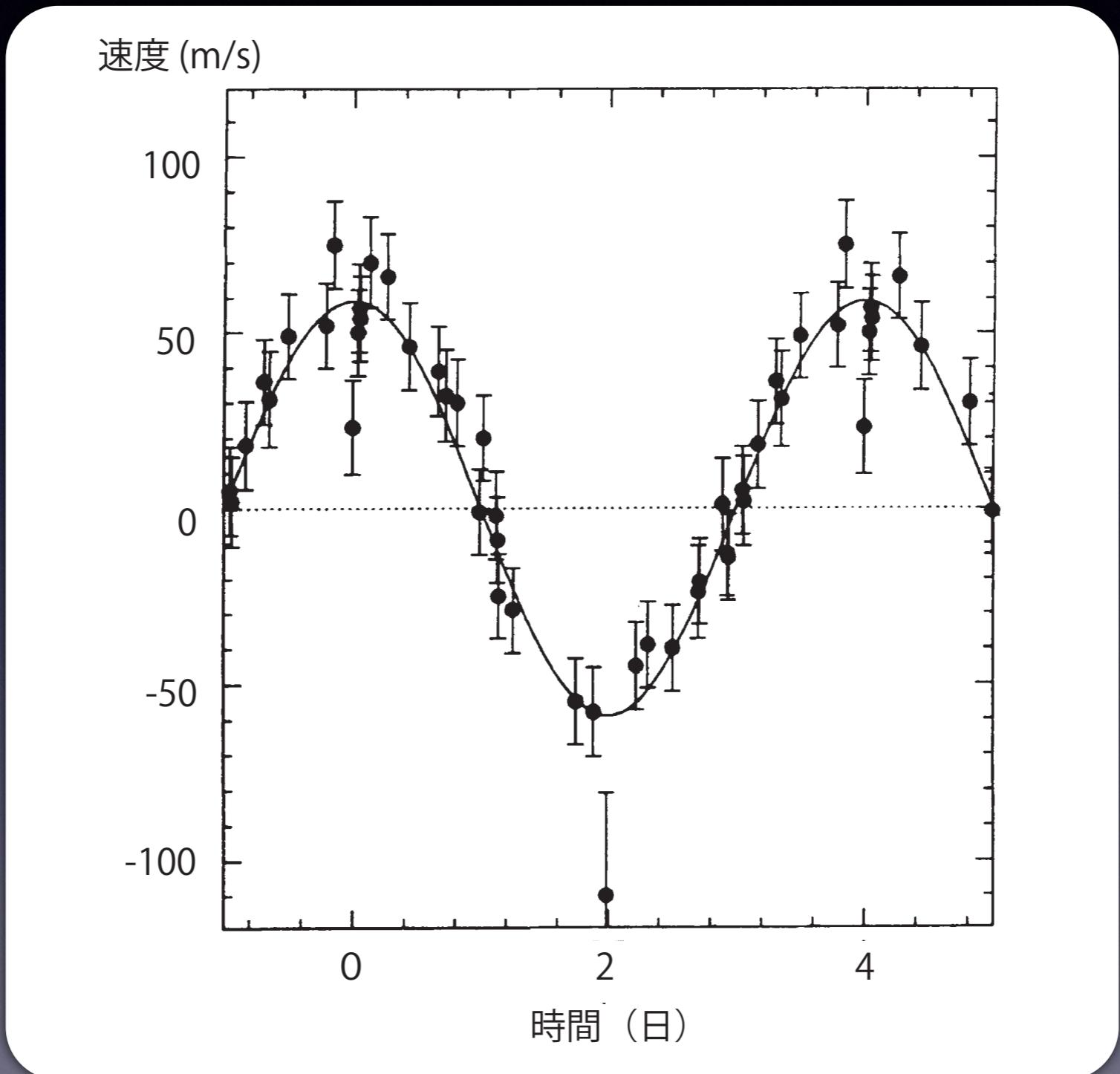
恒星のスペクトル

https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer_lines



ドップラー法：実際の分光データ

51 Pegasi: 初めて系外惑星が見つかった例 (1995年)



2019年ノーベル物理学賞

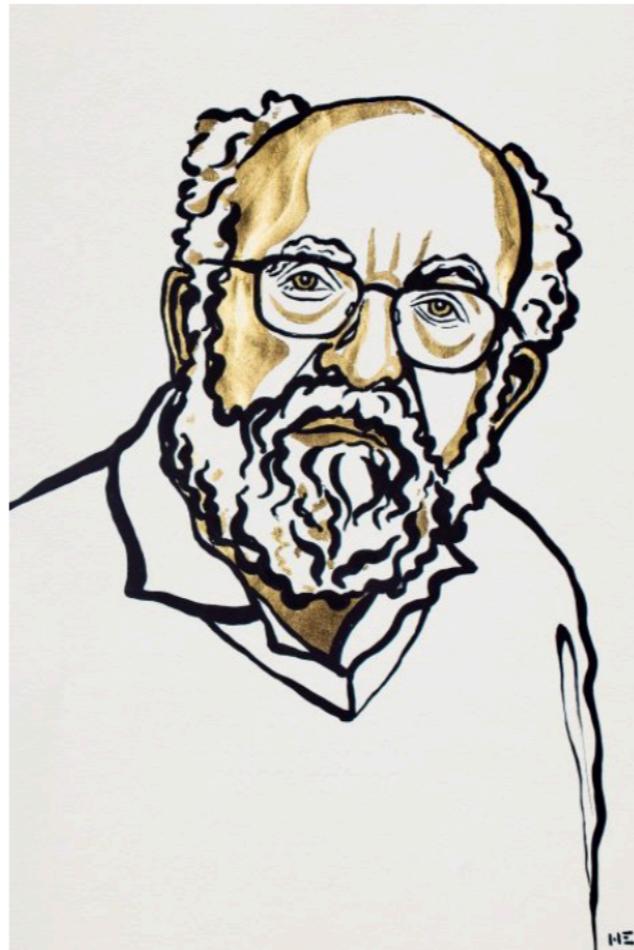
The Nobel Prize in Physics 2019



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

James Peebles

Prize share: 1/2



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

Michel Mayor

Prize share: 1/4

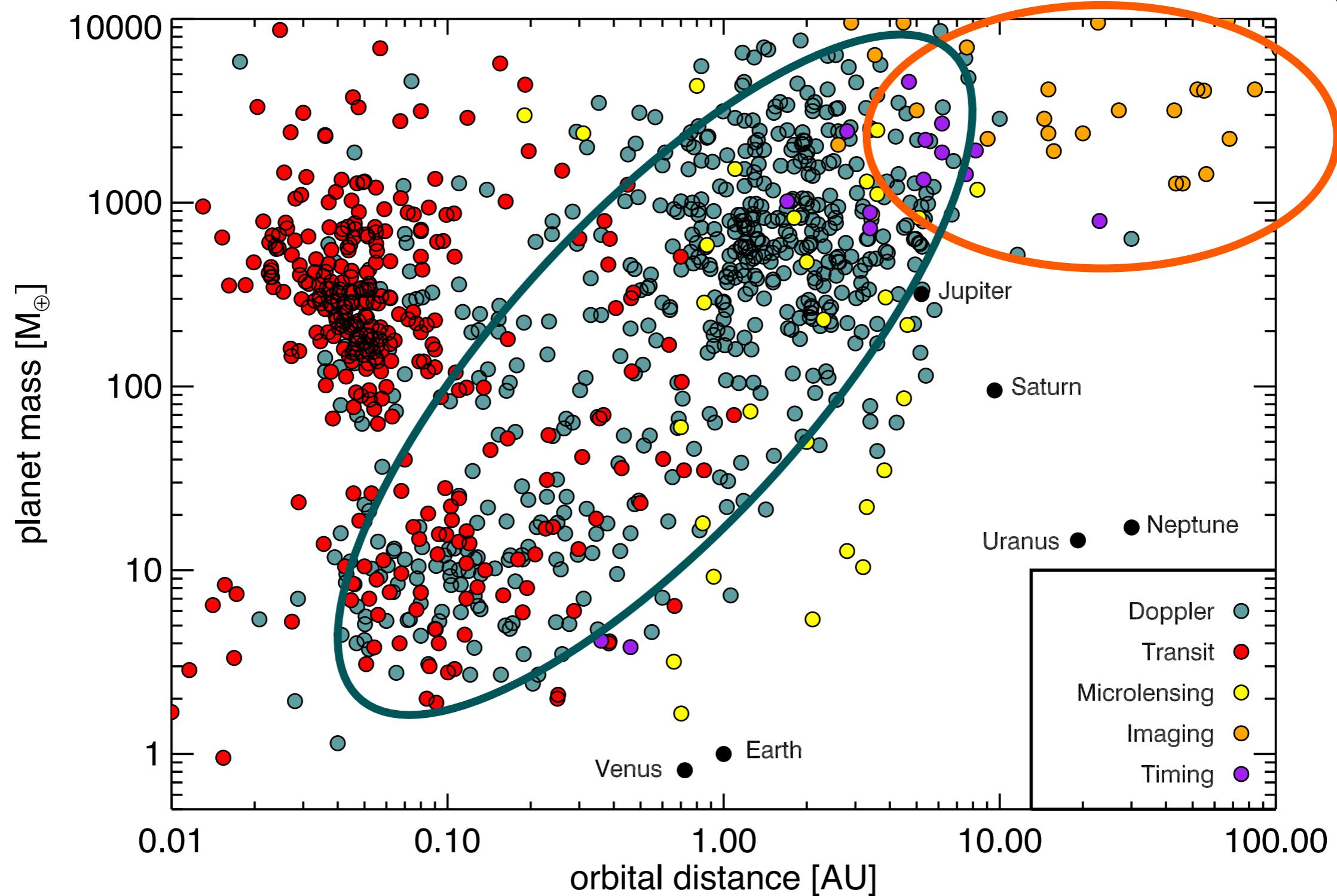


III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

Didier Queloz

Prize share: 1/4

太陽系外惑星 (2014年時点)



Section 2. 太陽系外惑星

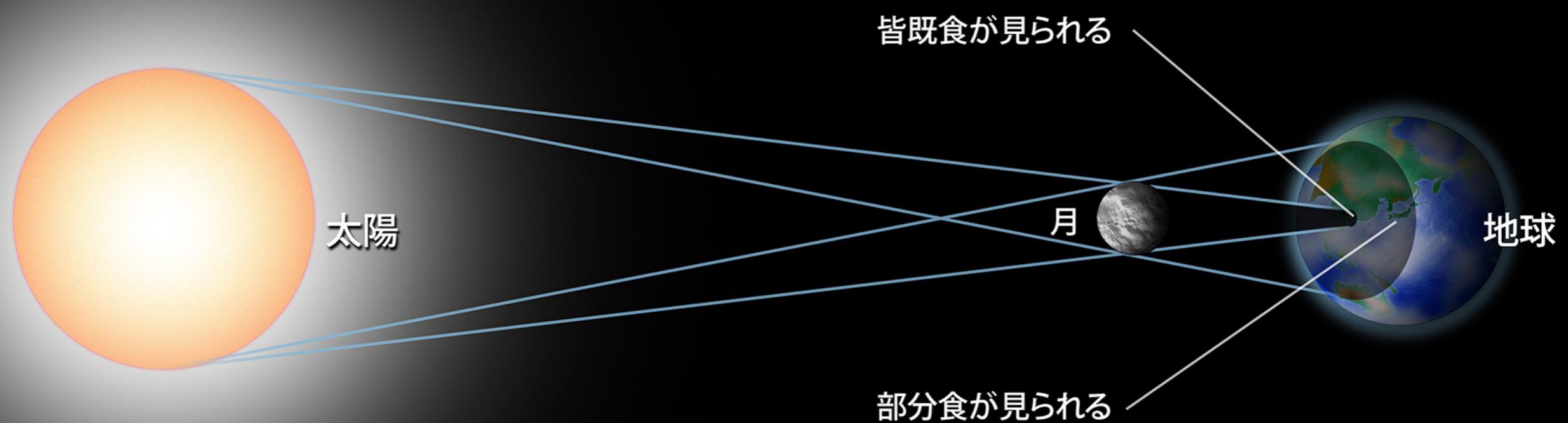
2.1 直接撮像 (写真を撮る)

2.2 ドップラー法 (速度を使う)

2.3 トランジット法 (食を使う)

日食（地球から見て、月が太陽を隠す）

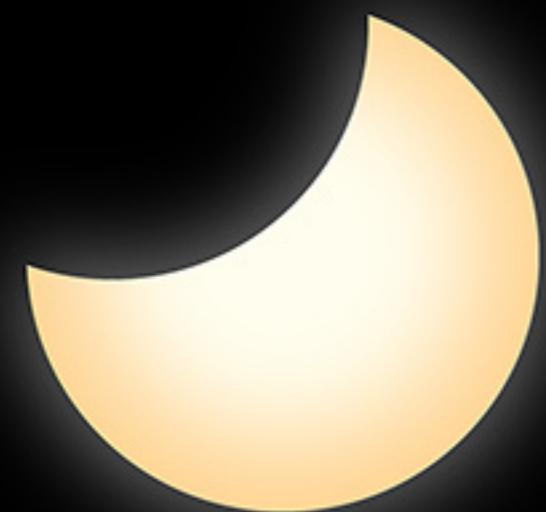
※太陽、月、地球の大きさとそれぞれの距離の縮尺は、実際とは異なります。



国立天文台 天文情報センター

<https://www.nao.ac.jp/astro/basic/solar-eclipse.html>

部分食



皆既食



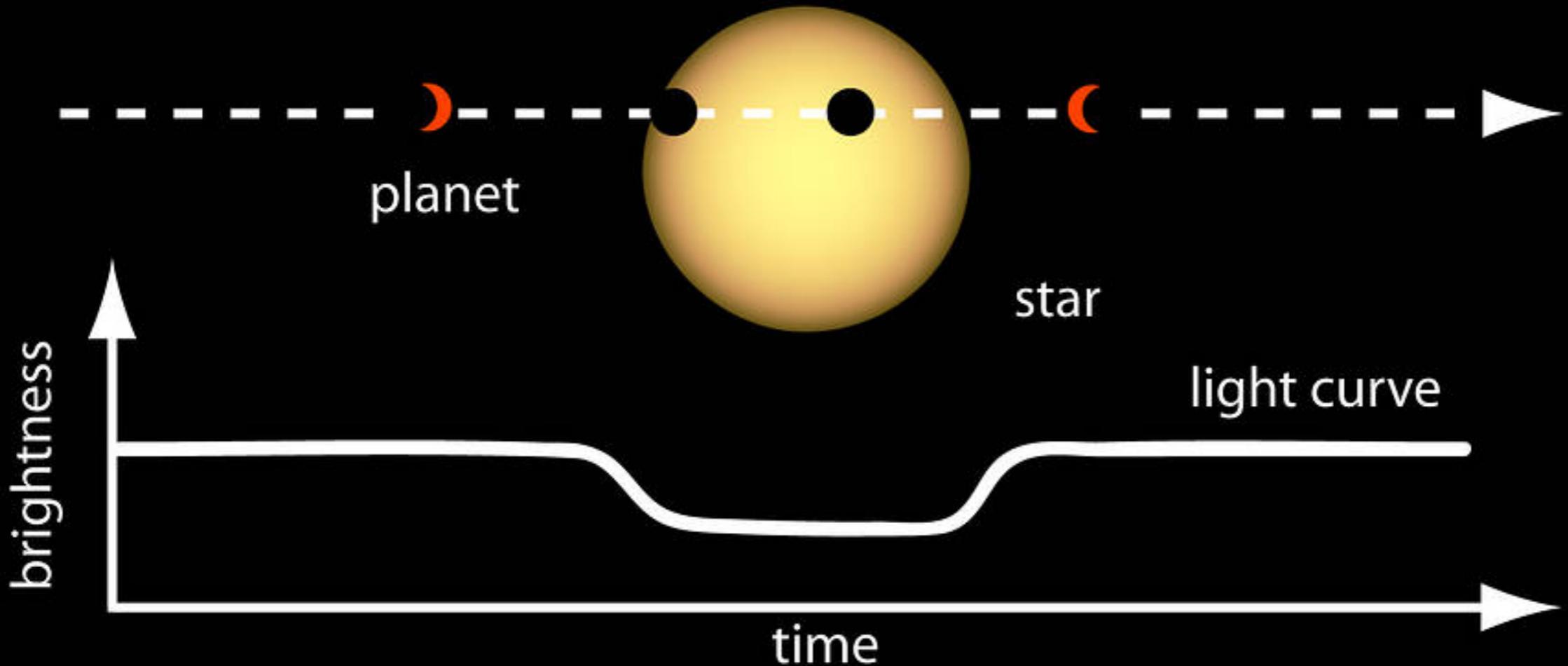
金環食



国立天文台 天文情報センター

<https://www.nao.ac.jp/astro/basic/solar-eclipse.html>

地球から見て、系外惑星が恒星を隠す



https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/transit-light-curve.html

明るさ f の主星が Δf だけ暗くなる

$$\frac{\Delta f}{f} = \left(\frac{R_{\text{planet}}}{R_{\text{star}}} \right)^2$$

NASA ケプラー衛星

https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html

The screenshot shows the official NASA Kepler and K2 mission website. At the top, there's a navigation bar with links to Topics, Missions, Galleries, NASA TV, Follow NASA, Downloads, About, and NASA Audiences, along with a search bar and a back arrow icon. Below the navigation is a large banner featuring a 3D rendering of the Kepler satellite in space, with its solar panels extended. The banner has a dark background with some star-like dots. Below the banner, the main title "Kepler and K2" is displayed in a large, bold, white font. Underneath the title is a horizontal menu bar with links: "Kepler and K2" (which is highlighted in blue), "Overview", "Images", "Videos", and "Media Resources". To the left of the main content area, there's a sidebar with social media sharing icons for Facebook, Twitter, and RSS feed, and links for "YouTube: Kepler and K2 Missions", "Learn More", "Discoveries", and "Education". The main content area features a large image of a planet (Earth-like) against a star-filled background. To the right of the image, there's a section titled "Kepler Legacy Press Kit" with a date "Oct. 30, 2018:" followed by text about the mission's end. There's also a "More information" link. On the far right, there's a "Tweets by @NASAKepl" section showing a tweet from NASA's official Twitter account (@NASA) about detecting water vapor on a distant planet.

NASA

Topics Missions Galleries NASA TV Follow NASA Downloads About NASA Audiences Search

Kepler and K2

Kepler and K2 Overview Images Videos Media Resources

Follow

f

YouTube: Kepler and K2 Missions

Learn More

Discoveries

Education

Kepler Legacy Press Kit

Oct. 30, 2018:

After nine years collecting data that revealed our night sky to be filled with more planets even than stars, NASA is ending the Kepler space telescope's science operations.

[More information](#)

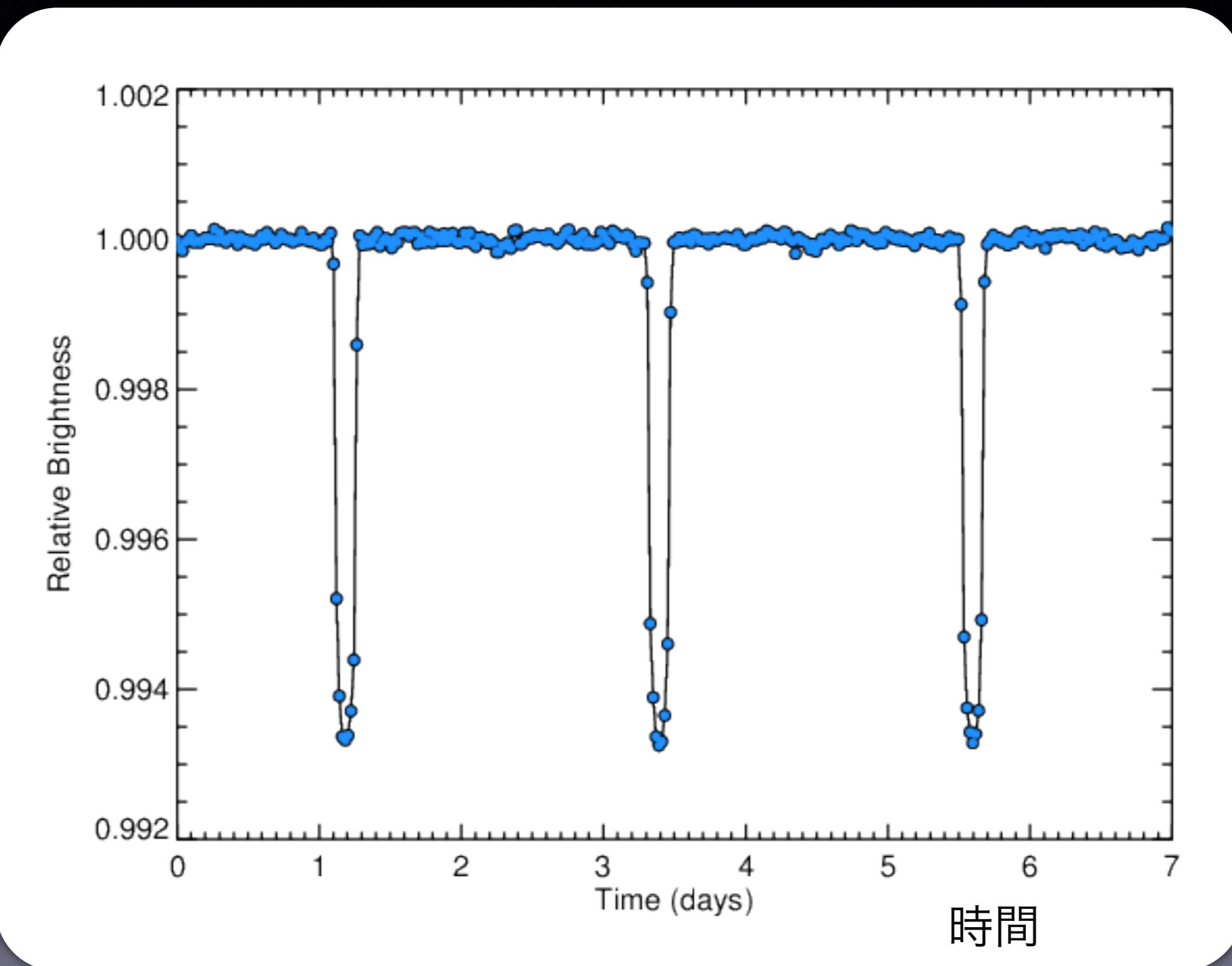
Tweets by @NASAKepl

NASA @NASA

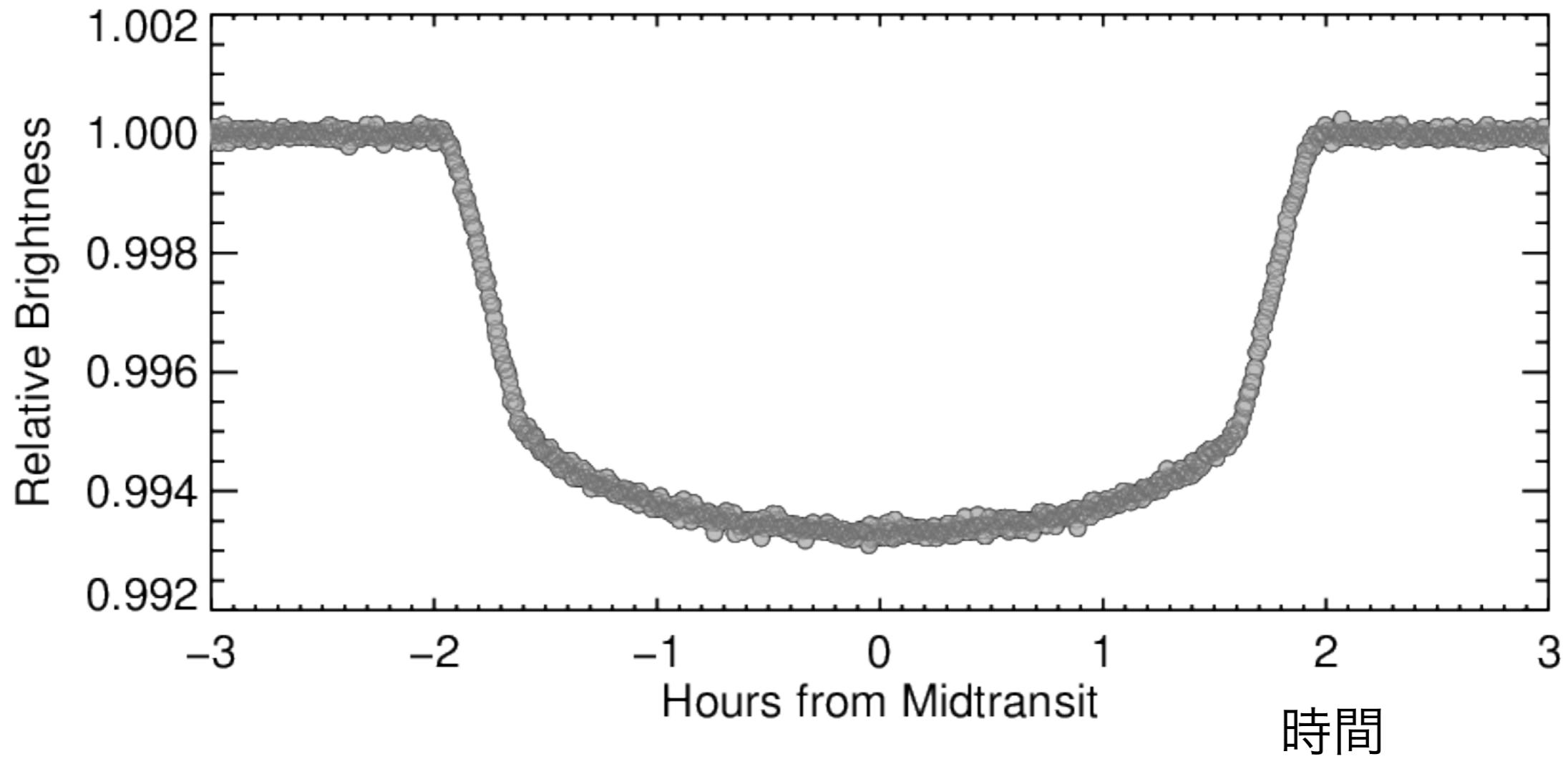
A planetary first! Researchers detected signs of water vapor in the atmosphere of a faraway planet in the "habitable zone," where liquid water could potentially pool.

[Embed](#) [View on Twitter](#)

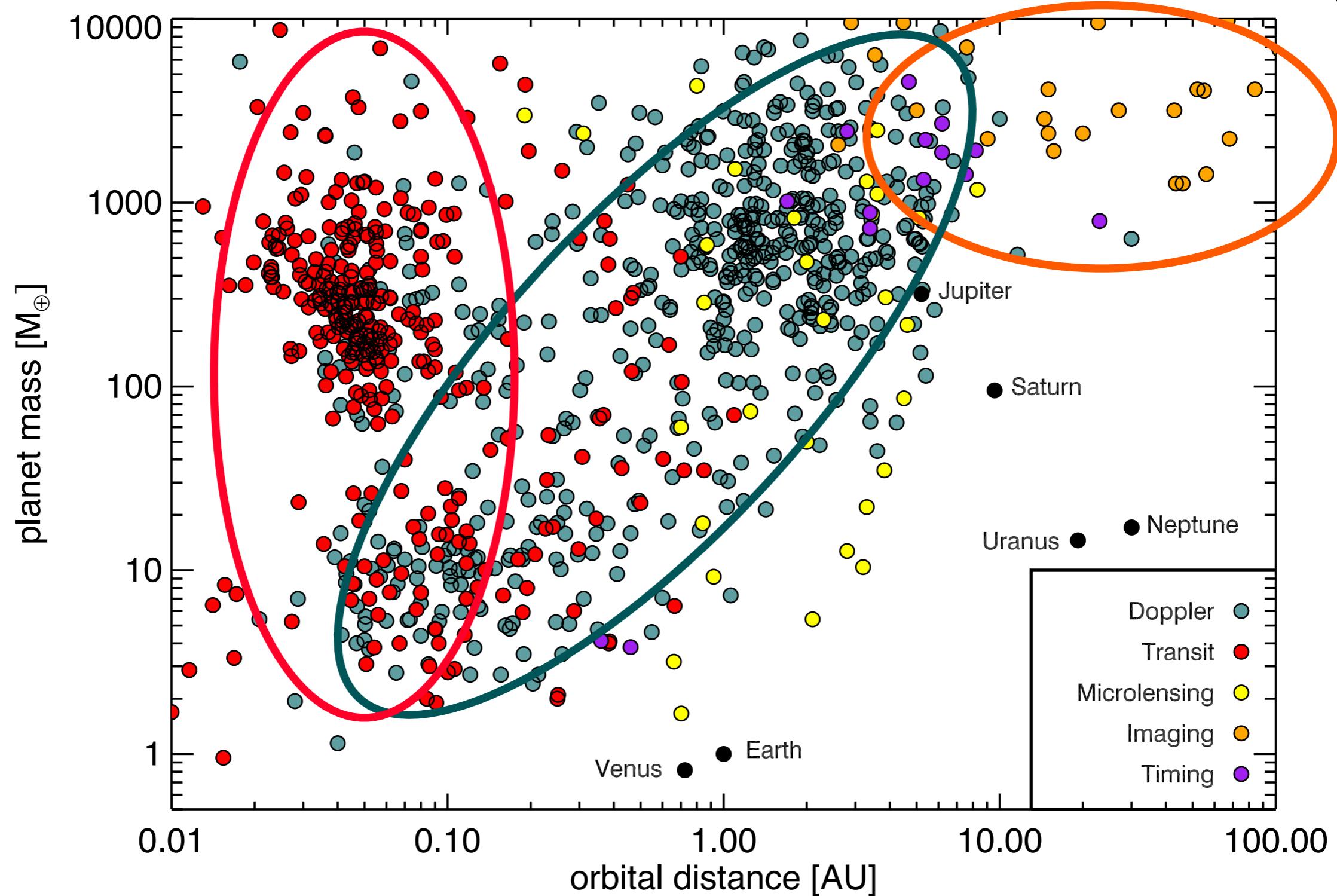
トランジット法：実際の観測データ



トランジット法：実際の観測データ



太陽系外惑星 (2014年時点)



Winn & Fabrycky 2014

レポート課題1b

質量 $1M_{\text{Sun}}$ 、半径 $1R_{\text{Sun}}$ の恒星の周りを、惑星が円軌道で運動している。惑星の質量は恒星よりも十分軽いとする。

(1) この系を公転軌道面から観測したとき右のような観測データが得られた。

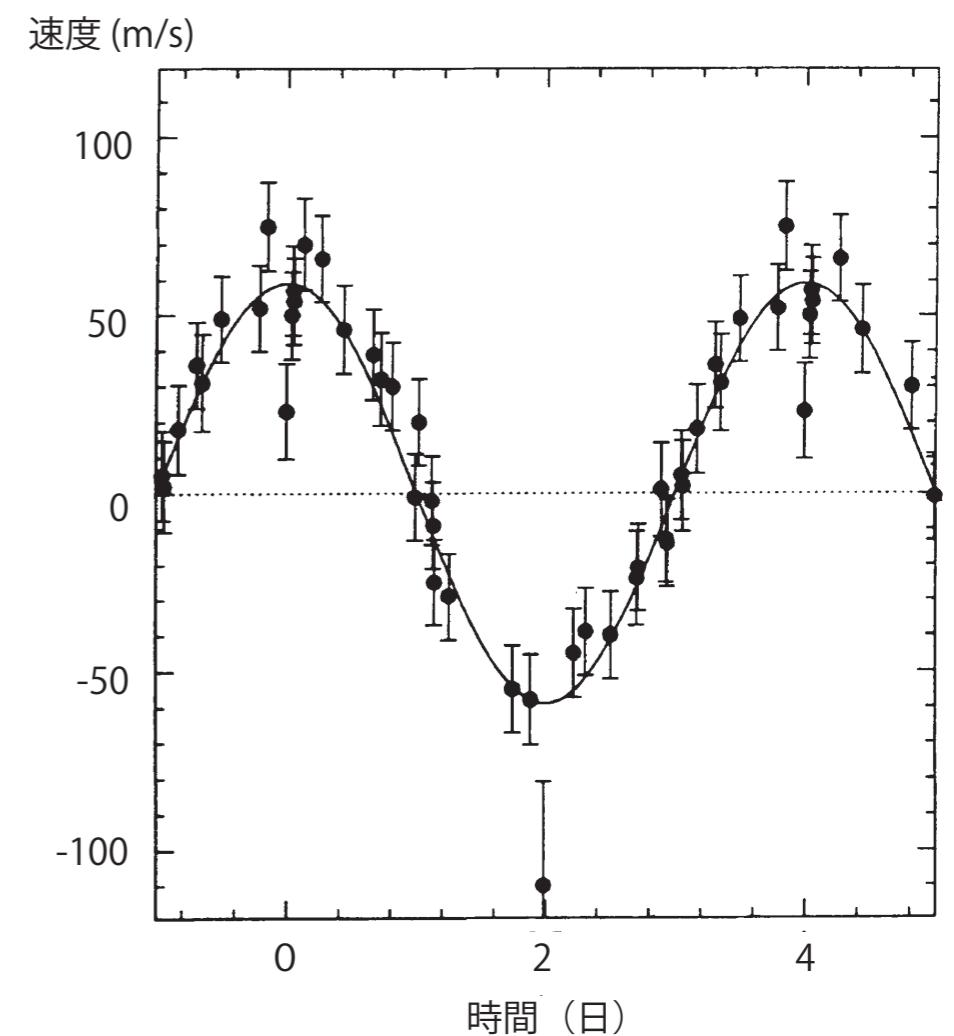
惑星の質量を求めよ(単位：太陽質量)。

(2) この系を公転軌道面から観測したとき恒星の明るさが1%だけ減少した。

惑星の半径を求めよ(単位：太陽半径)。

(3) この惑星は地球のような岩石惑星か、

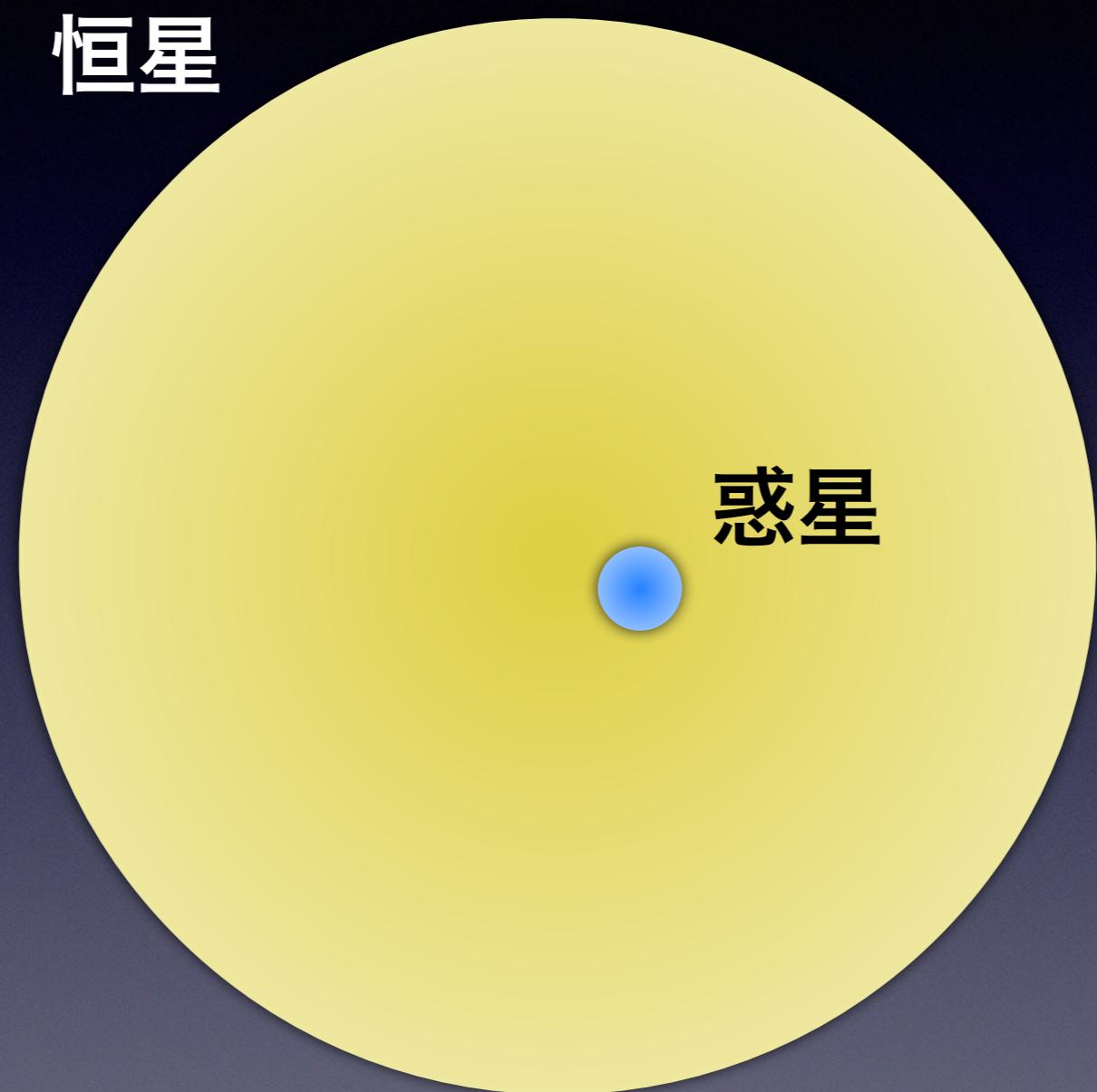
木星のようなガス惑星か、理由を添えて答えよ



Mayor & Queloz 1995

脱線：最新の研究

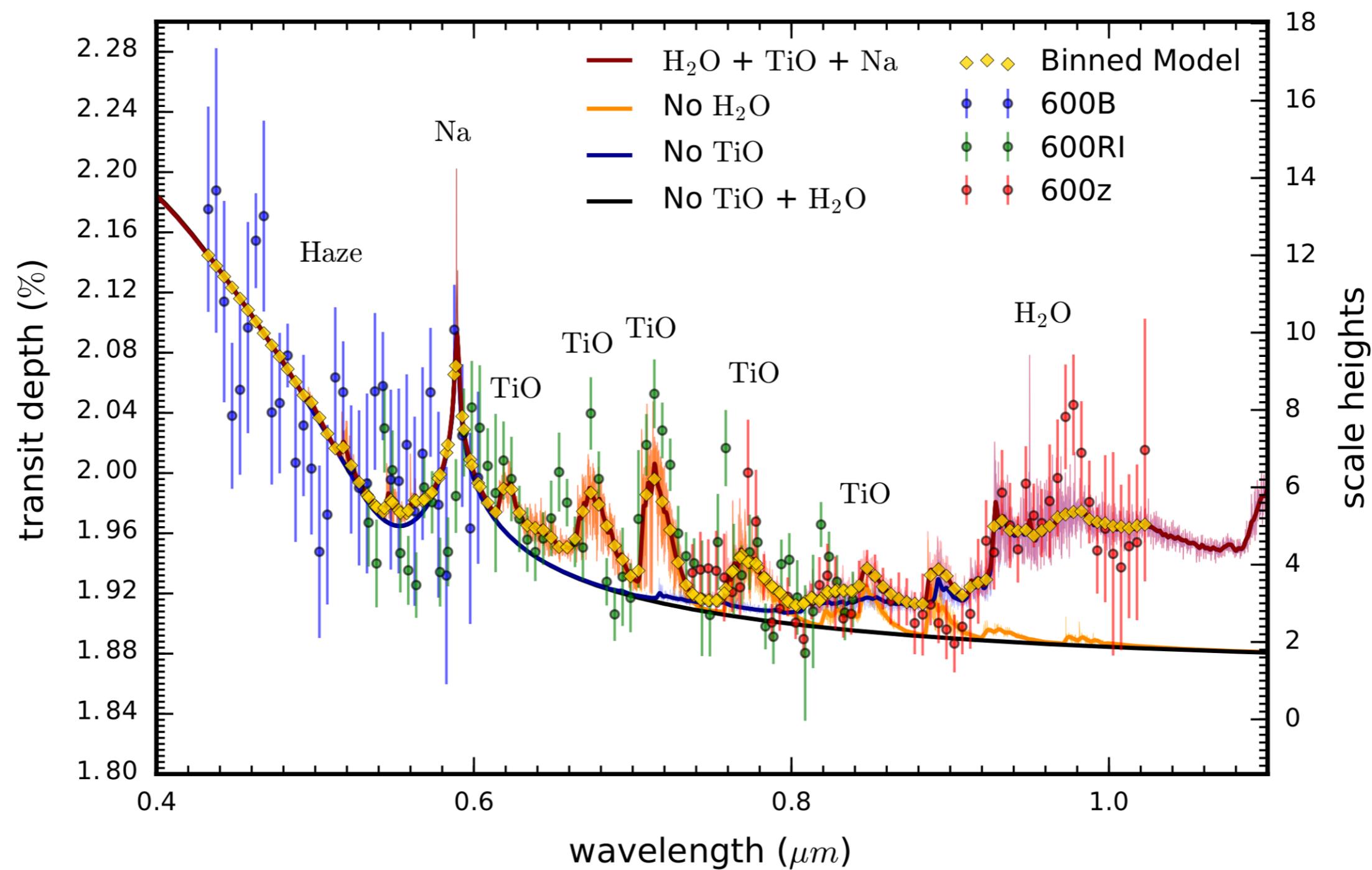
系外惑星の大気を調べる



恒星からの光が惑星の大気を通ってくる

透過光の分光

より強く吸収



まとめ

- 太陽系の外の惑星は近年大量に見つかっている
- 観測の手法
 - 原理は理解できる (幾何学、力学)
 - それぞれの方法で強みが異なる
- 最近の研究
 - 地球に近い天体も見つかってきている
 - 太陽系外惑星の大気を調べる研究もできるようにな