

## 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)

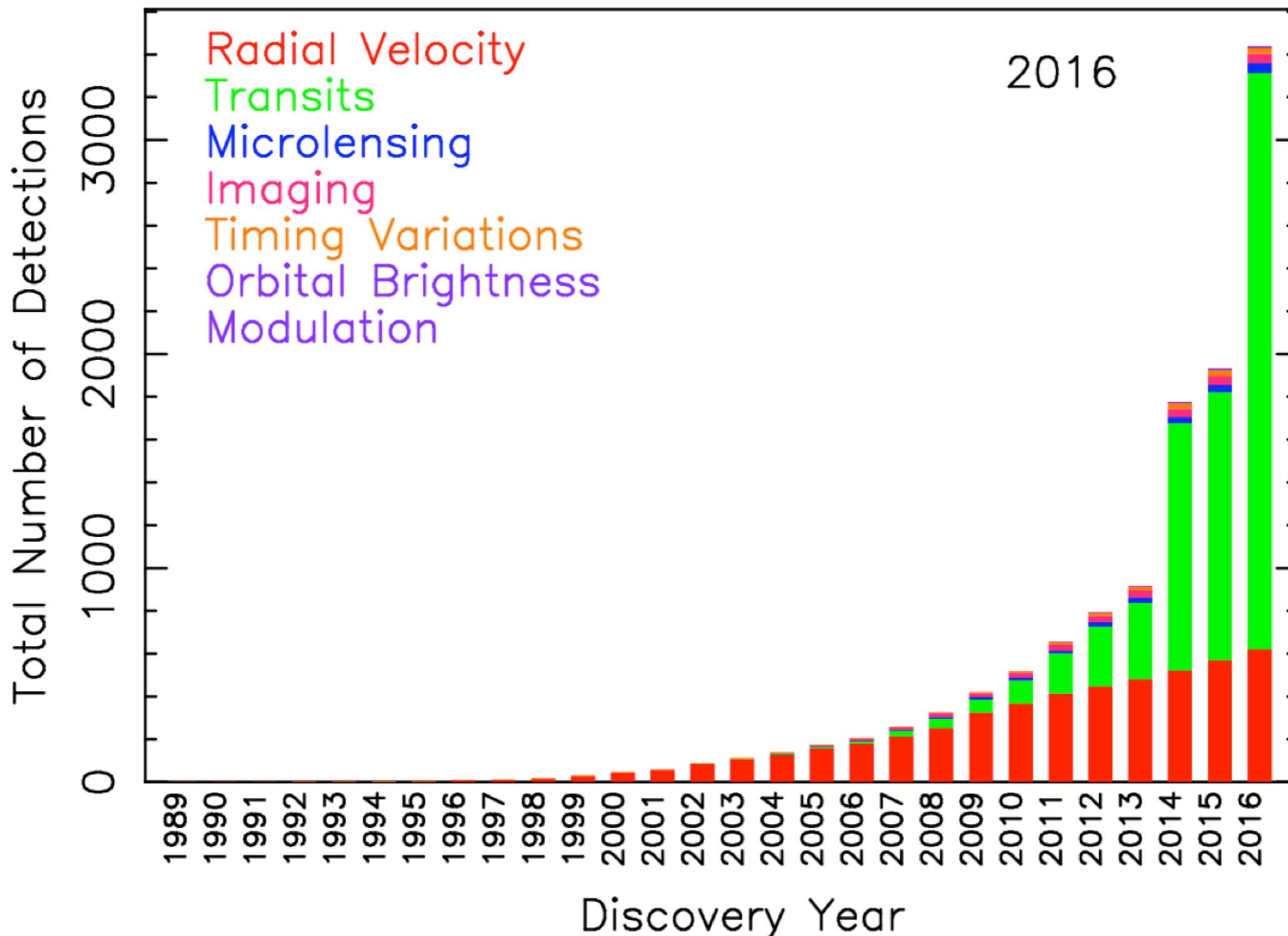
2.3 トランジット法 (食を使う)

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？

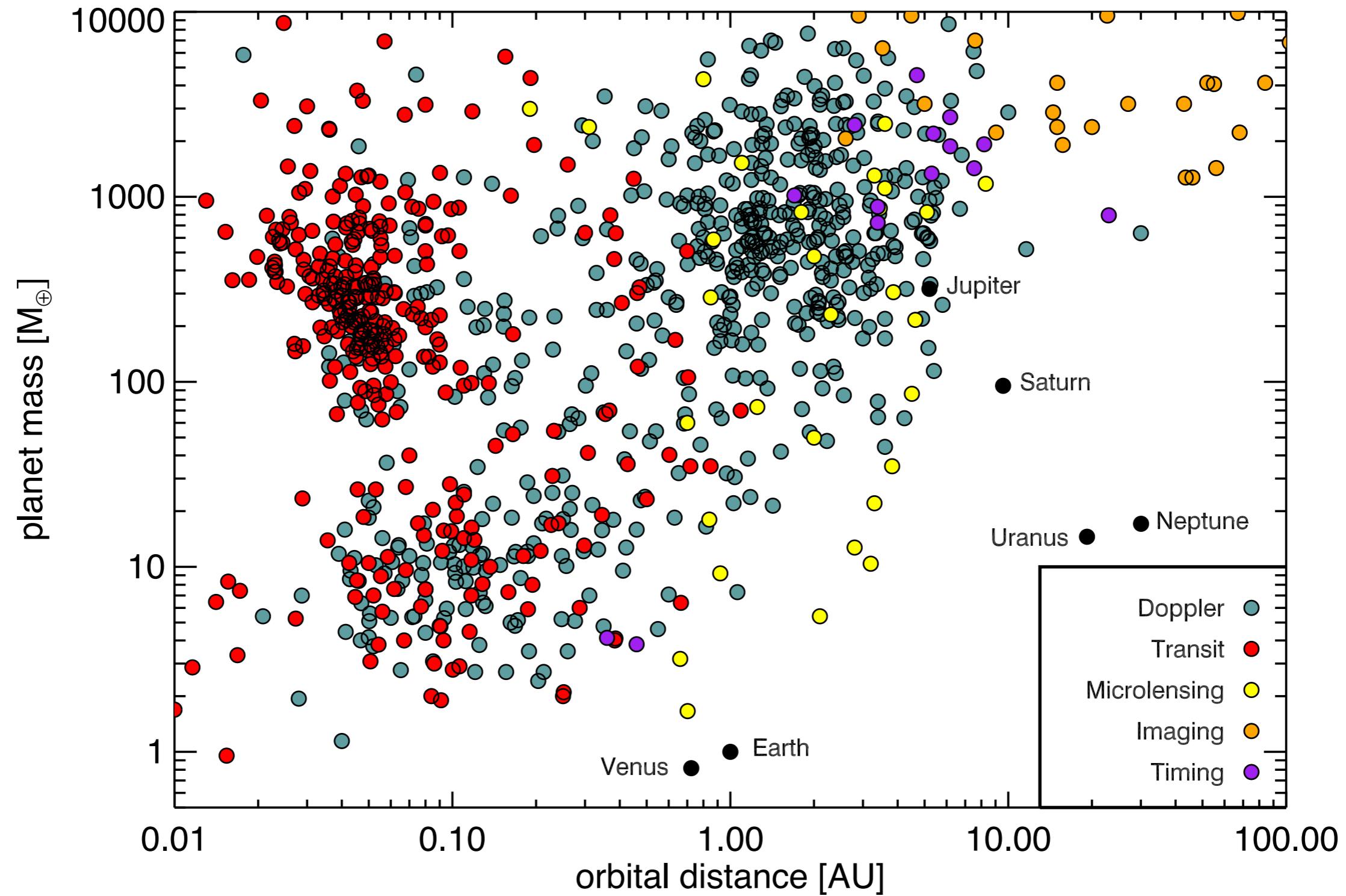
太陽系でない惑星(太陽系外惑星)は  
いくつ見つかっている？



# 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？



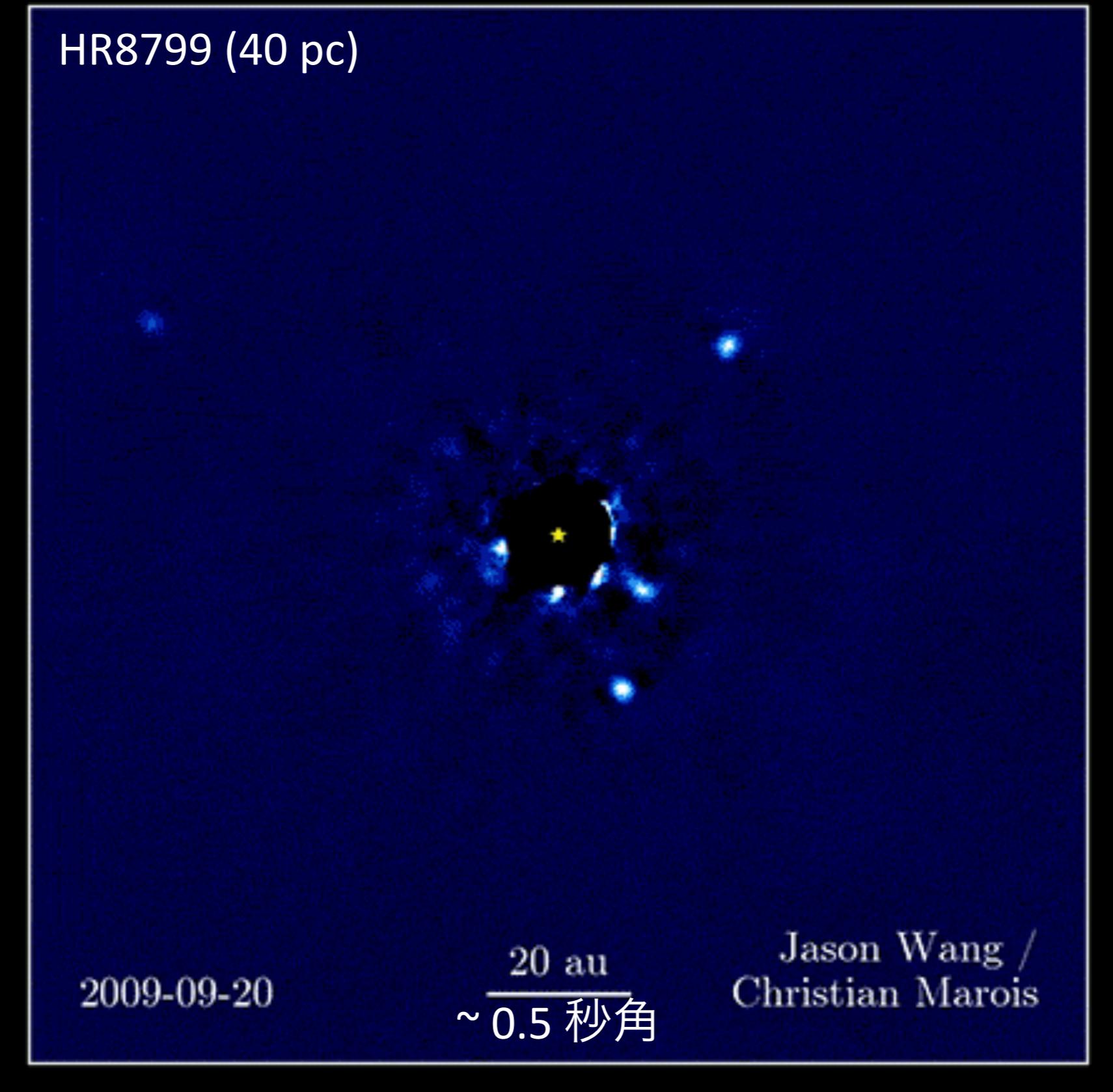
## Section 2. 太陽系外惑星

2.1 直接撮像 (写真を撮る)

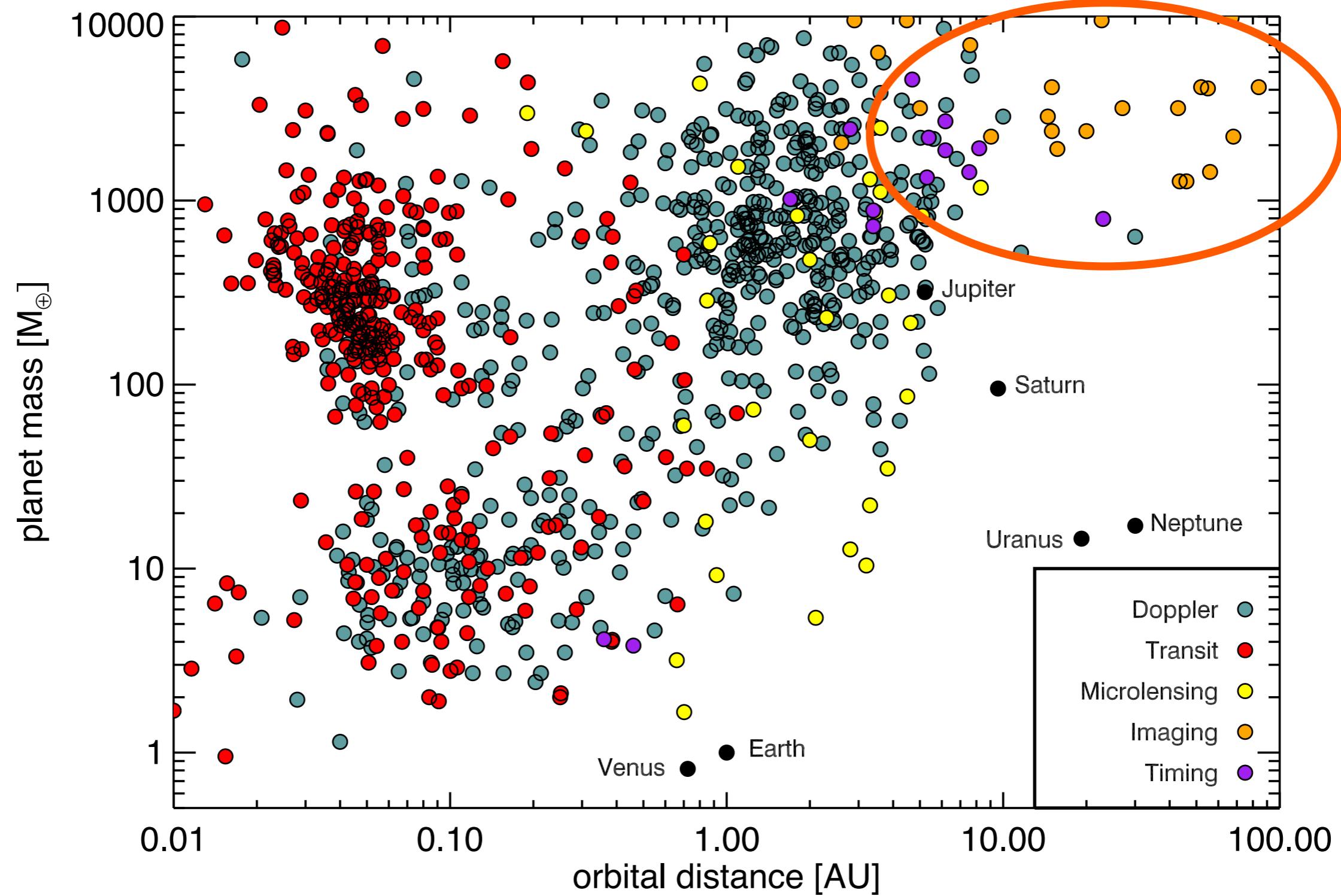
2.2 ドップラー法 (速度を使う)

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)

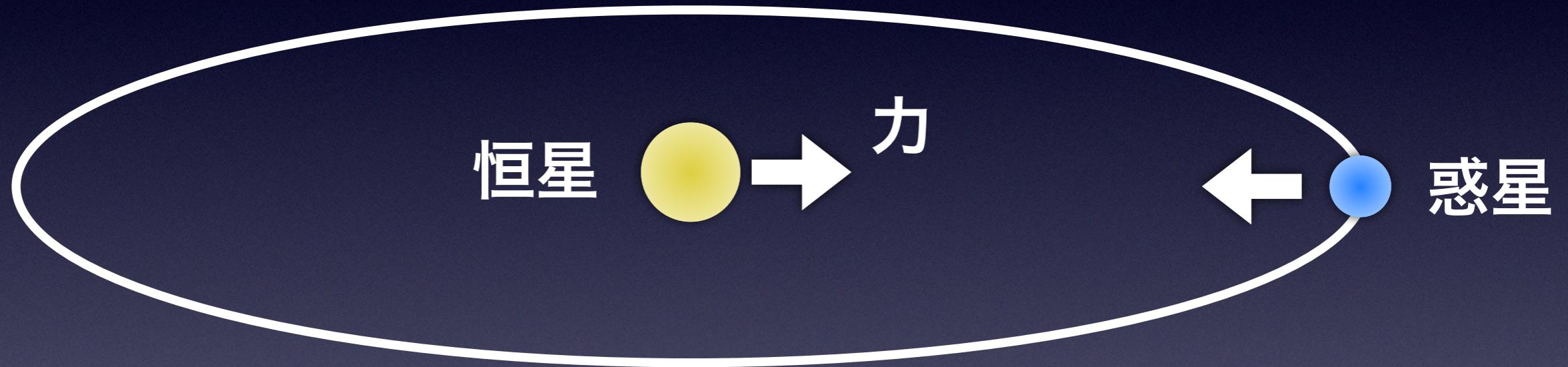


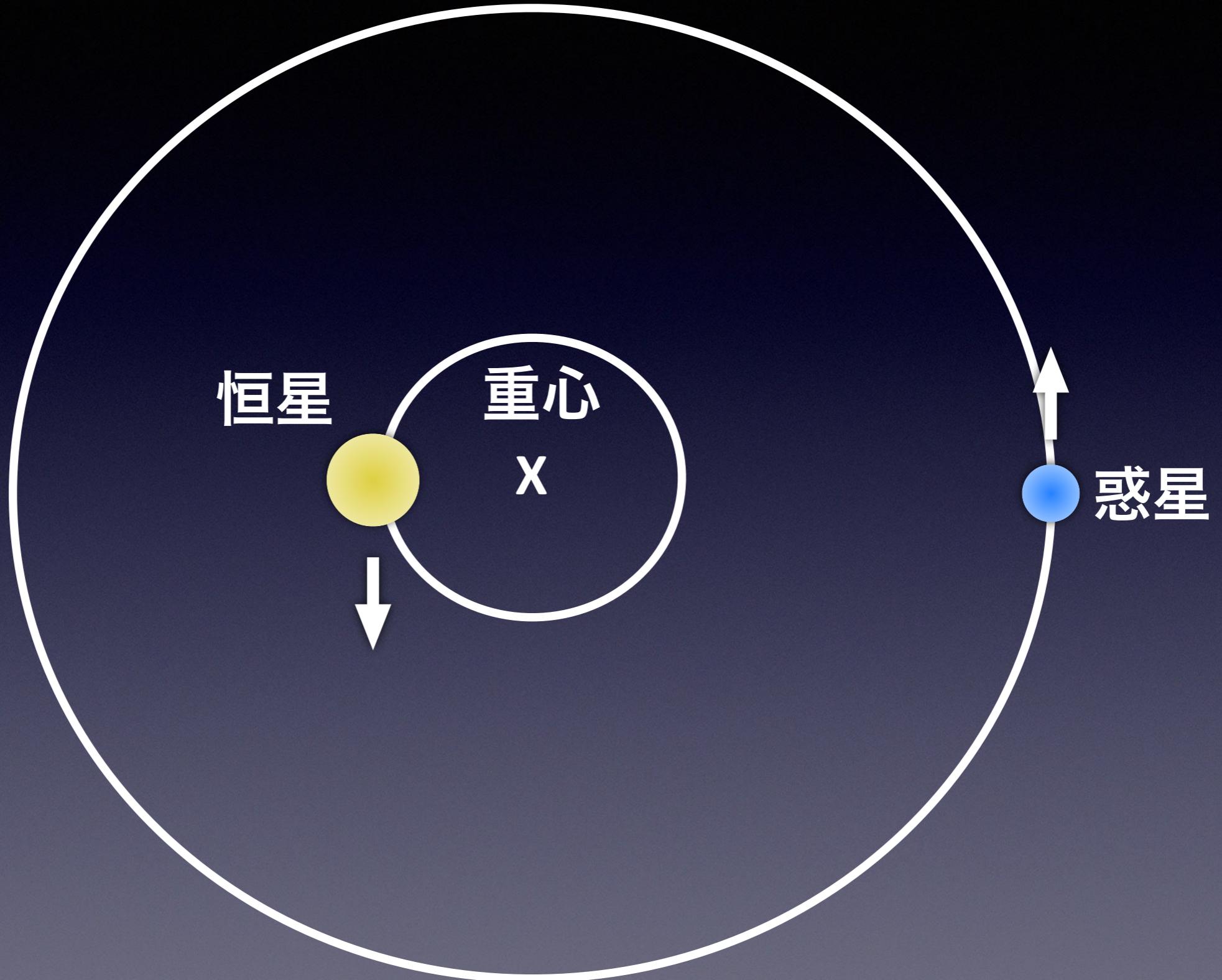
## Section 2. 太陽系外惑星

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)



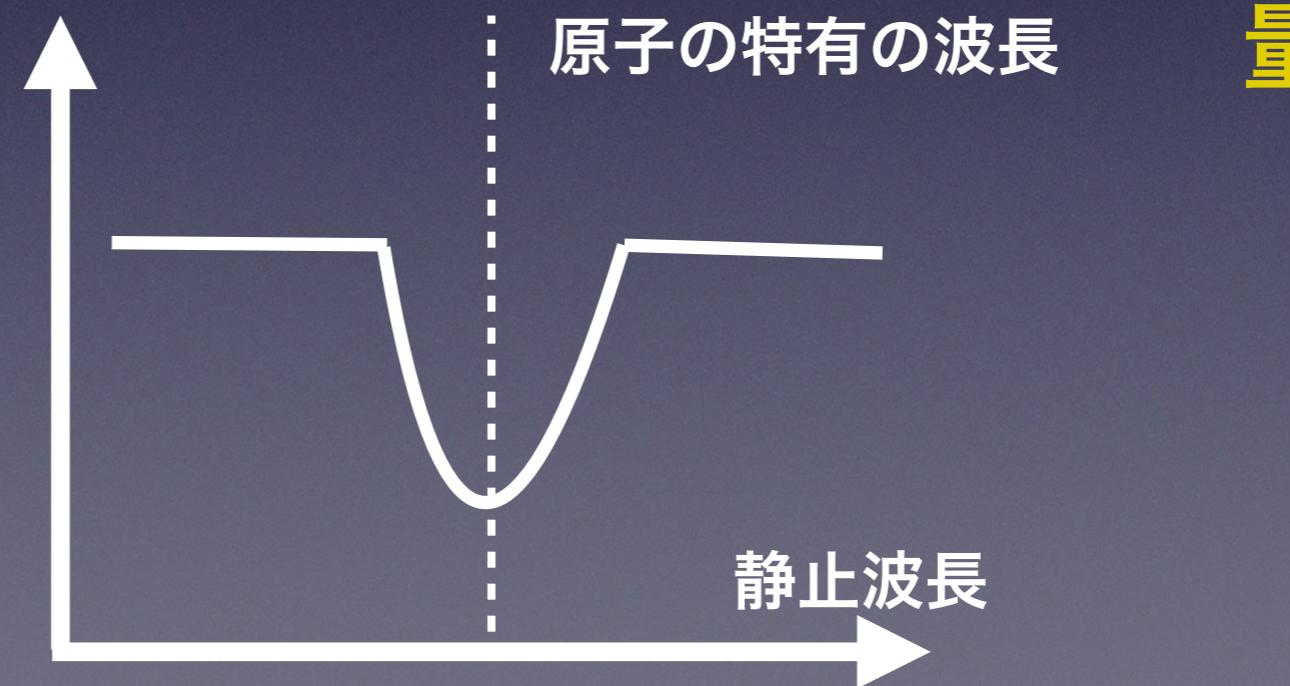
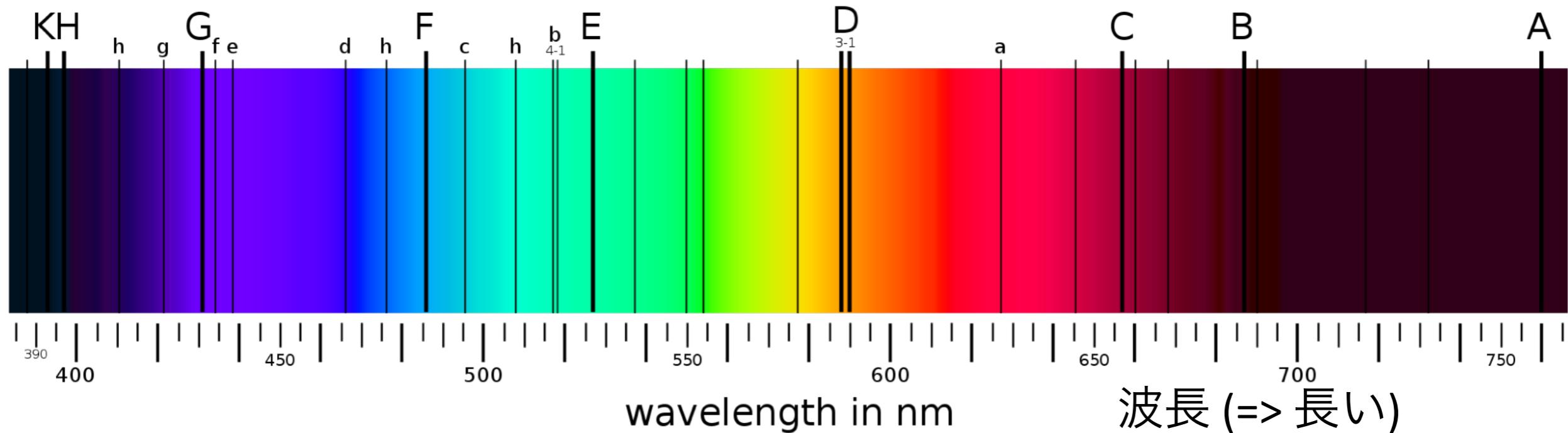




太陽はどれぐらい「振られる」の?  
観測できるの？

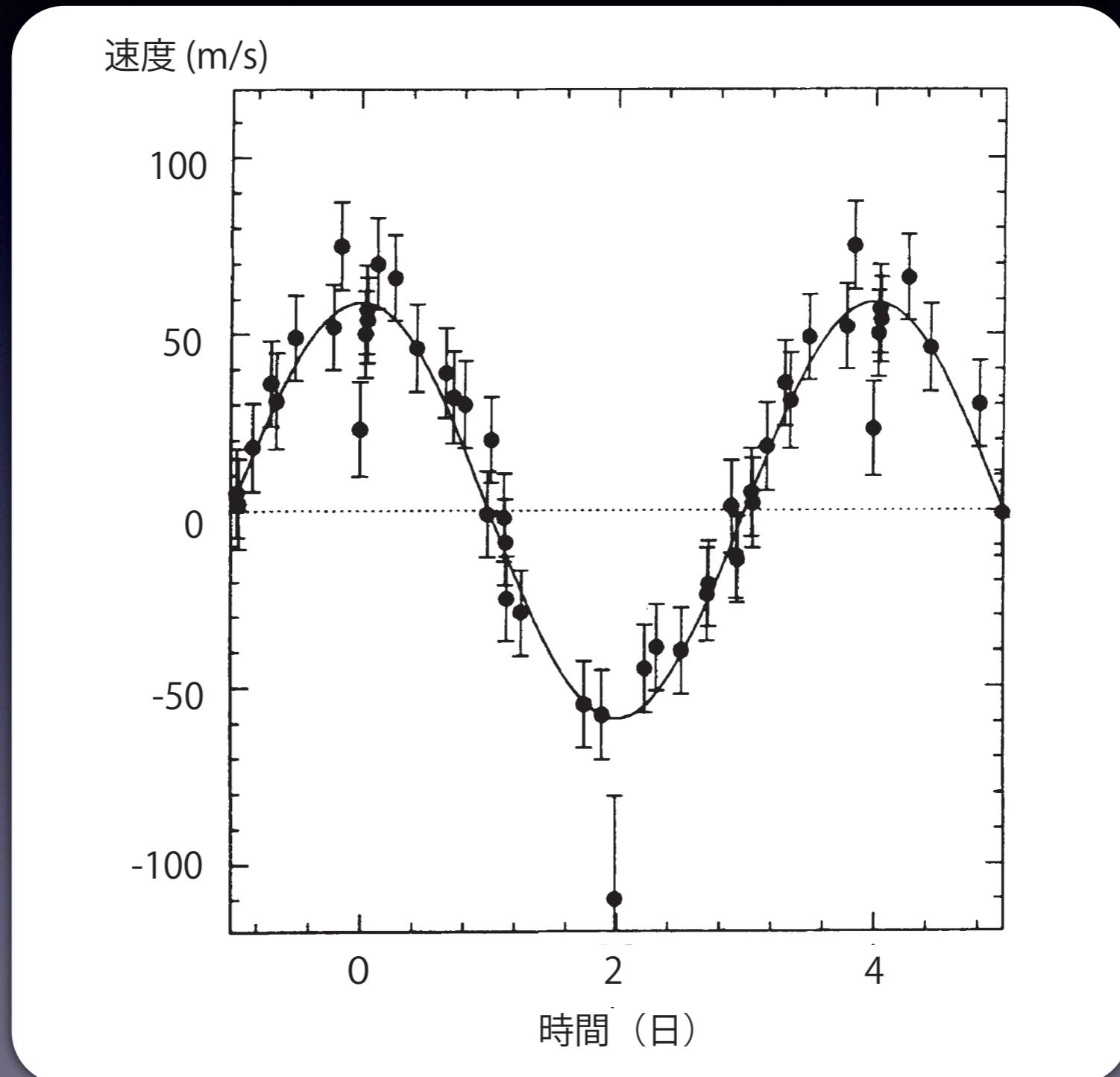
# 恒星のスペクトル

[https://en.wikipedia.org/wiki/Fraunhofer\\_lines](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

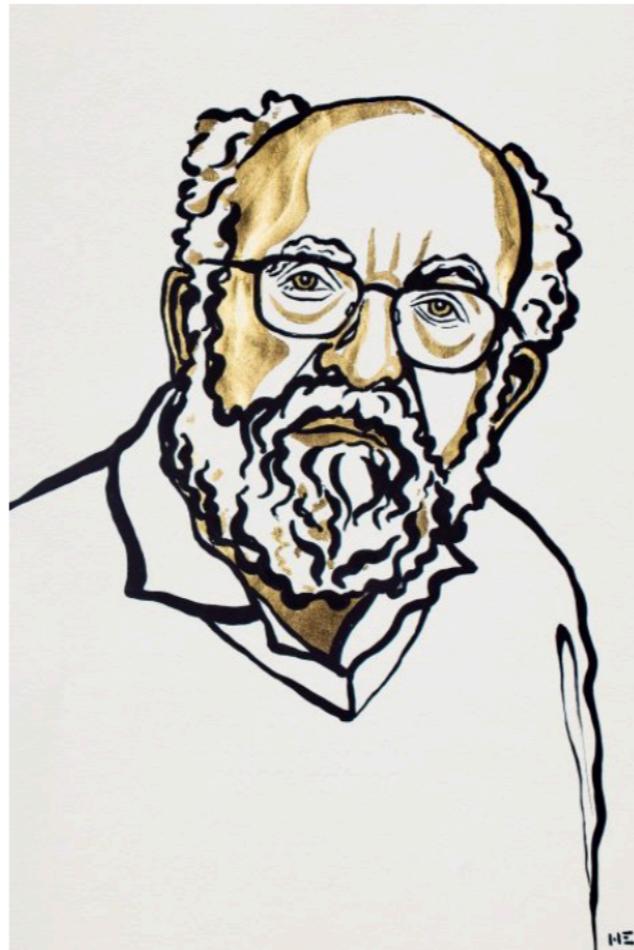
## The Nobel Prize in Physics 2019



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**James Peebles**

Prize share: 1/2



III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Michel Mayor**

Prize share: 1/4

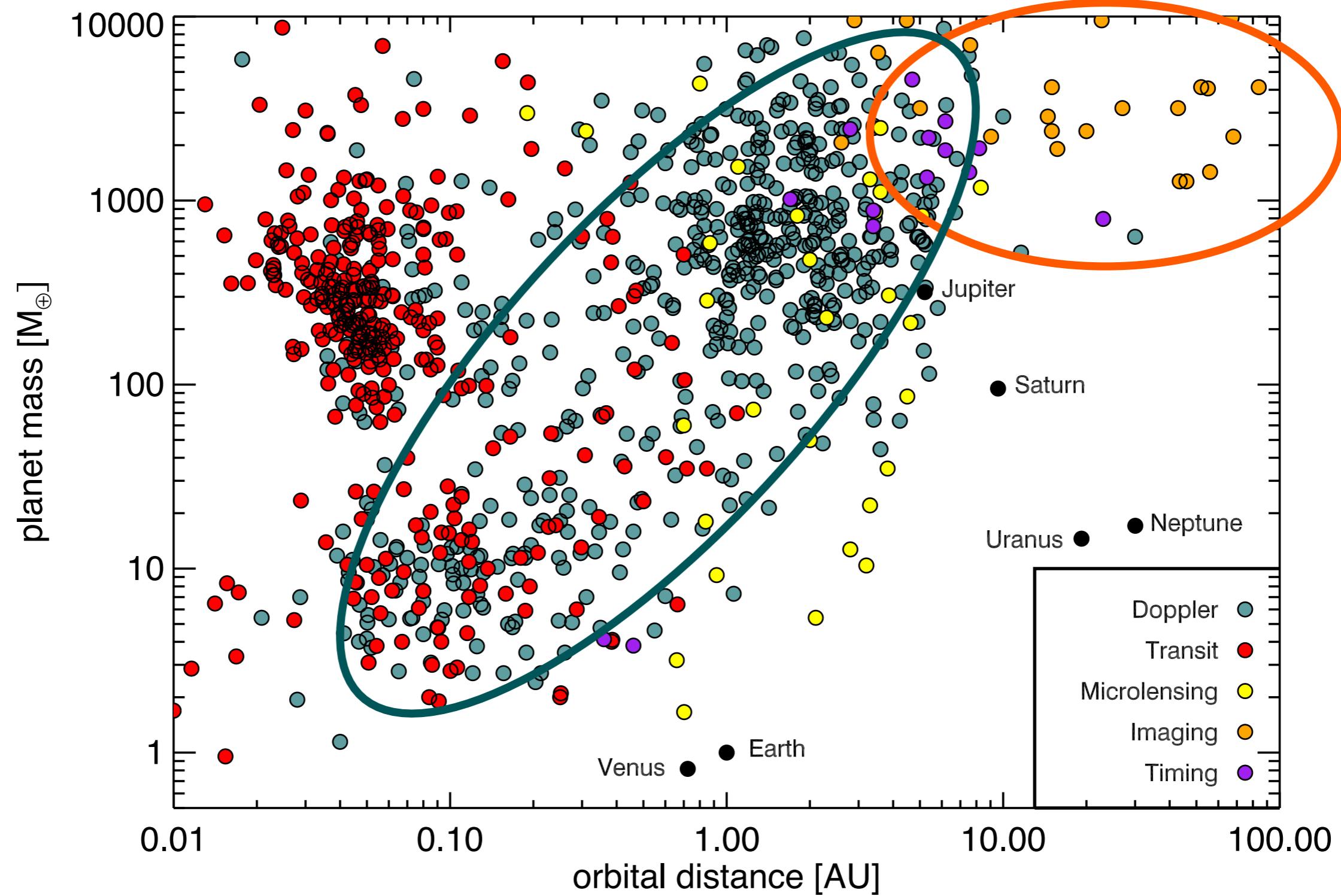


III. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Didier Queloz**

Prize share: 1/4

# 太陽系外惑星 (2014年時点)



## Section 2. 太陽系外惑星

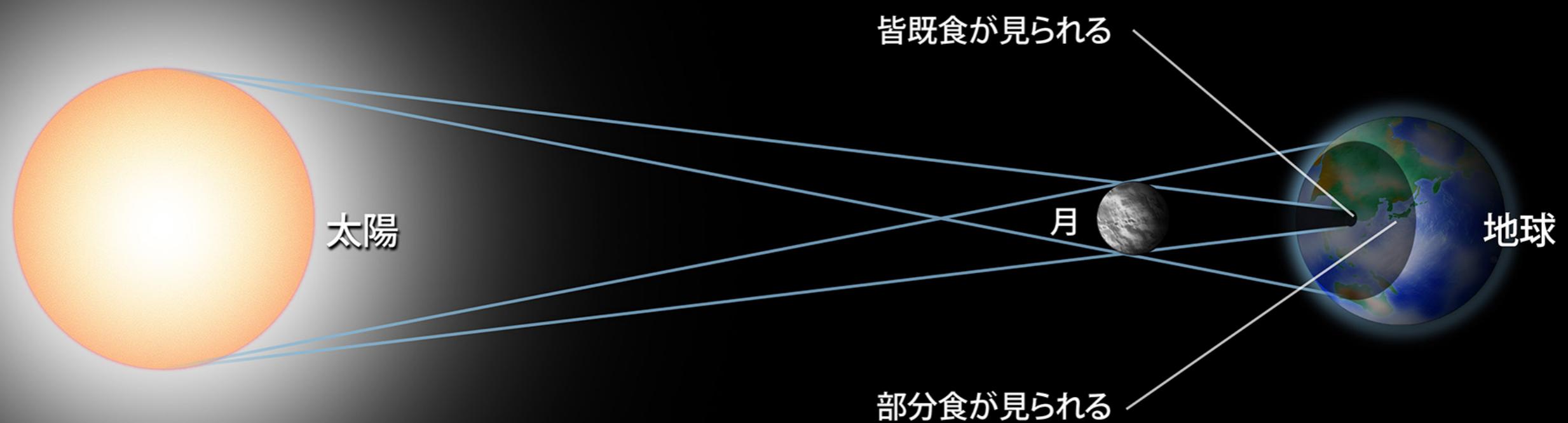
2.1 直接撮像 (写真を撮る)

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



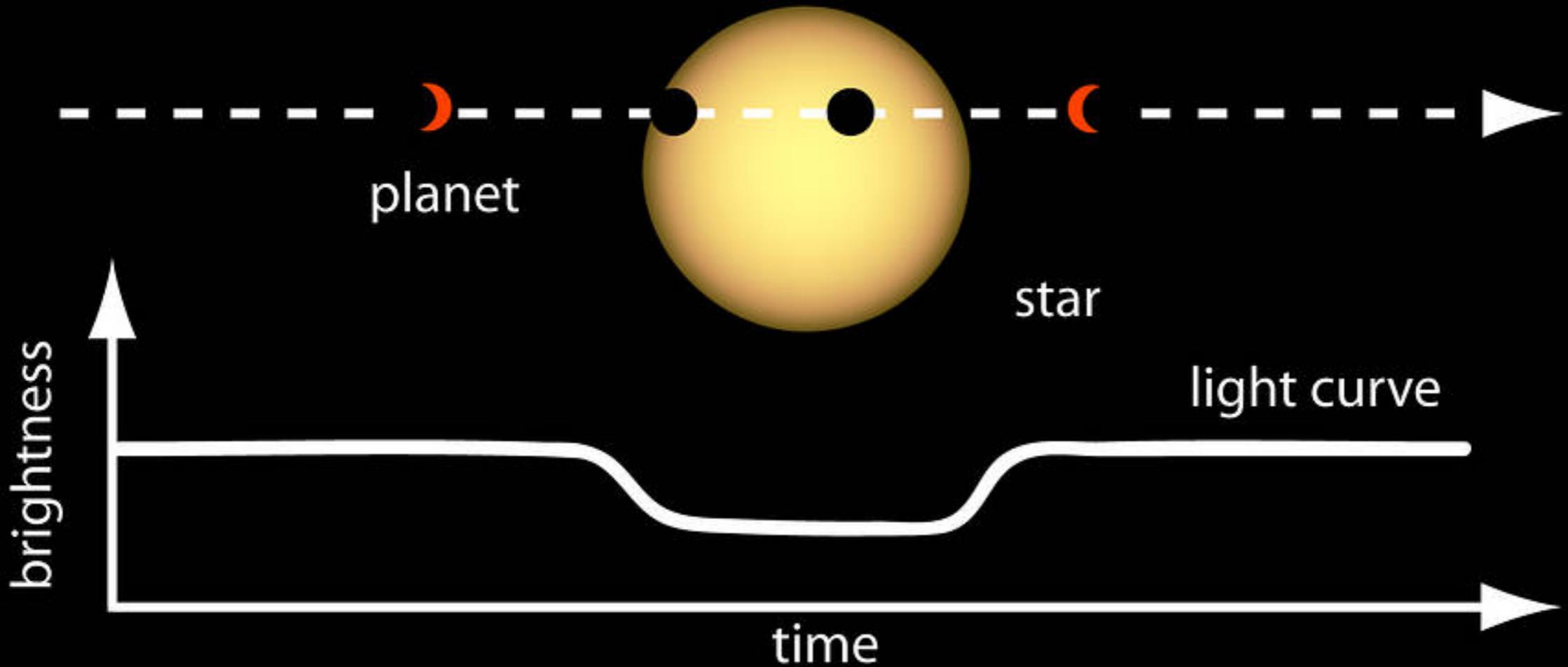
金環食



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

明るさ  $f$  の主星が  $\Delta f$  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](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 navigation menu with links to 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, and links to YouTube, Learn More, Discoveries, and Education. The main content area features a large image of a planet's atmosphere. To the right of the image, there's a section titled "Kepler Legacy Press Kit" with a date of Oct. 30, 2018, and a paragraph of text about the end of the mission. Further down, there's a "More information" link. On the far right, there's a "Tweets by @NASAKepl" section showing a recent tweet from the NASA Kepler and K2 account.

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

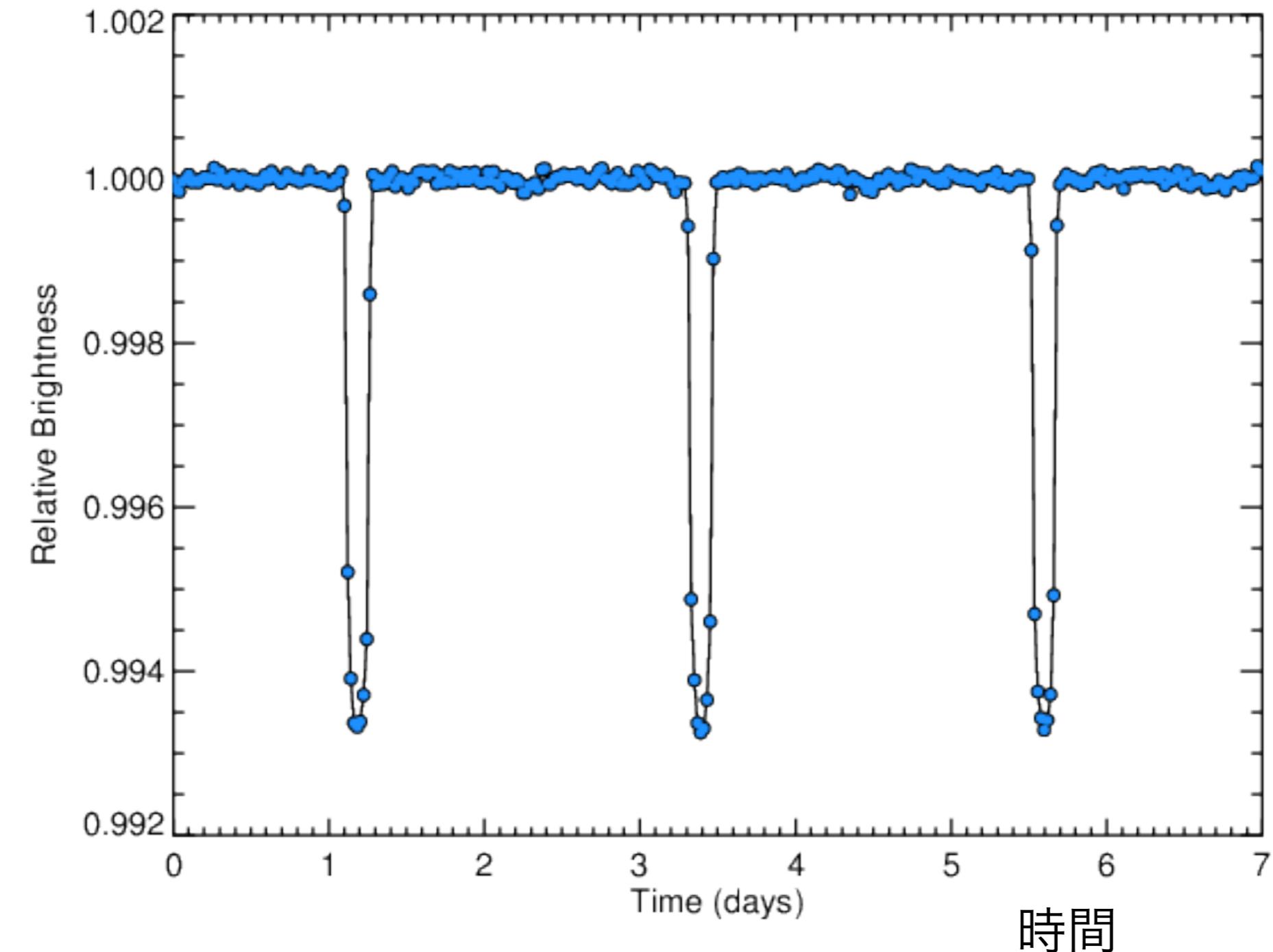
NASA Kepler and K2 Retweeted

NASA @NASA

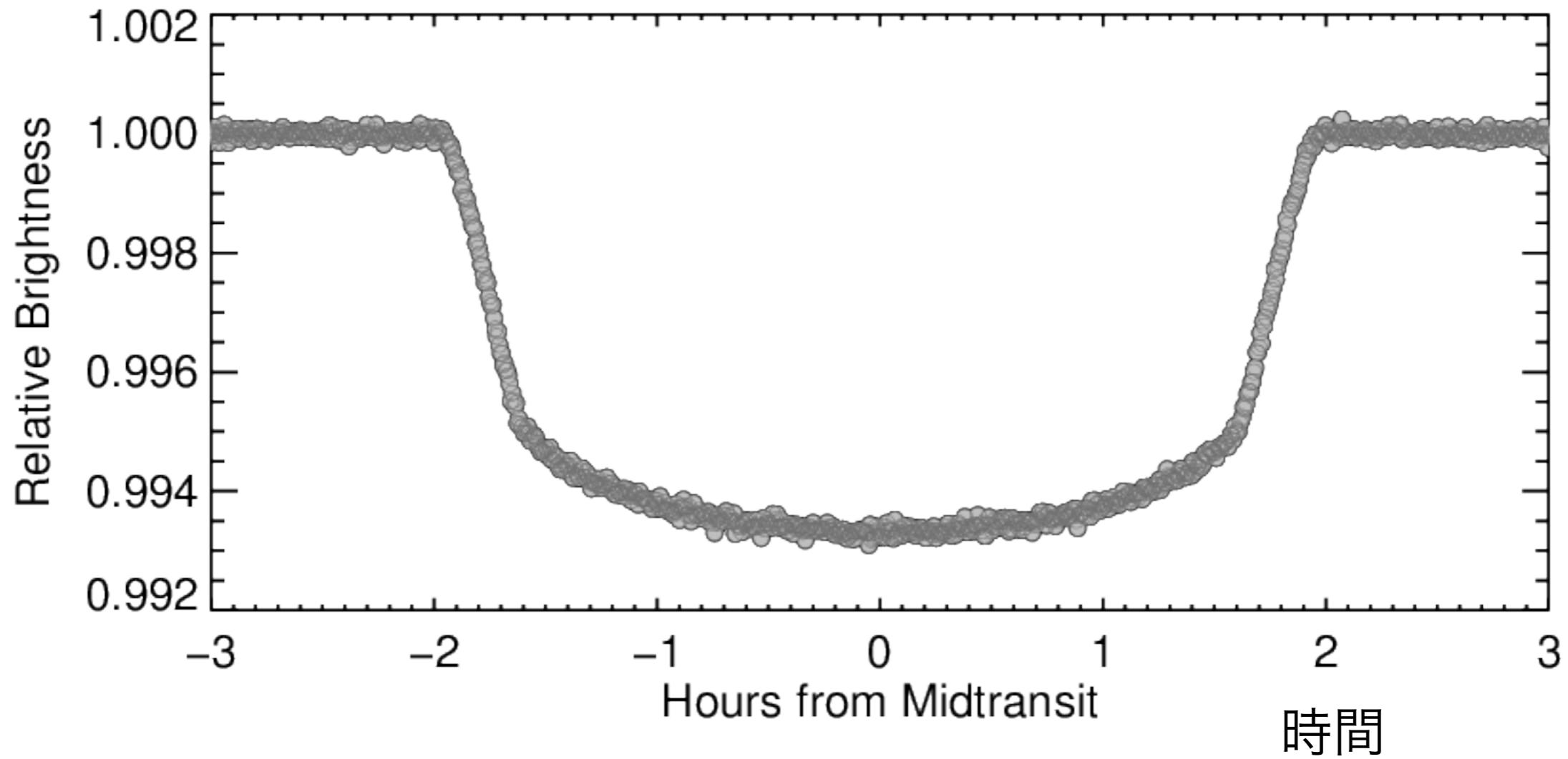
A planetary first! Researchers detected signs of water vapor in the atmosphere of a faraway planet in the "habitable zone," where liquid water could potentially pool.

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

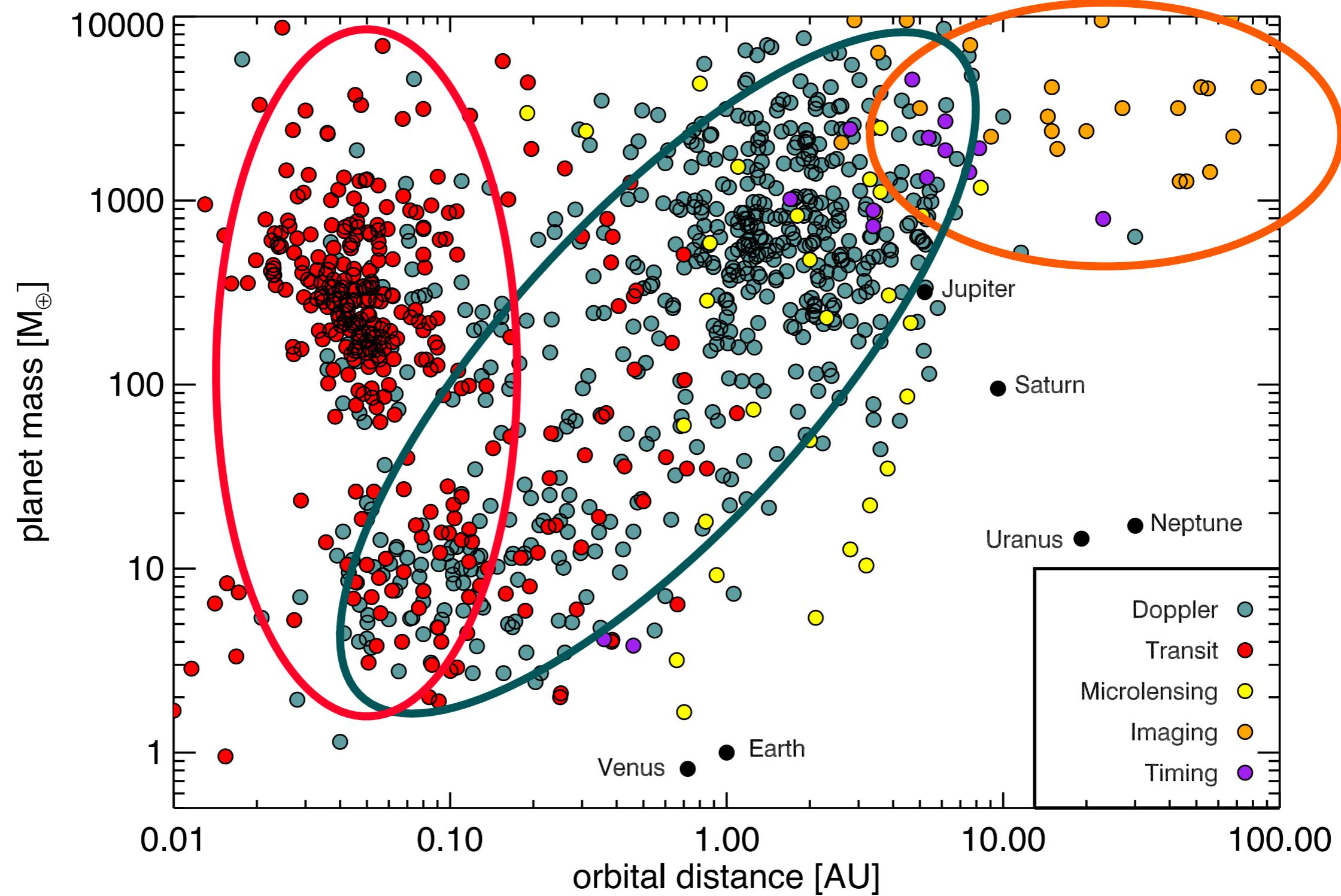
# トランジット法：実際の観測データ



# トランジット法：実際の観測データ

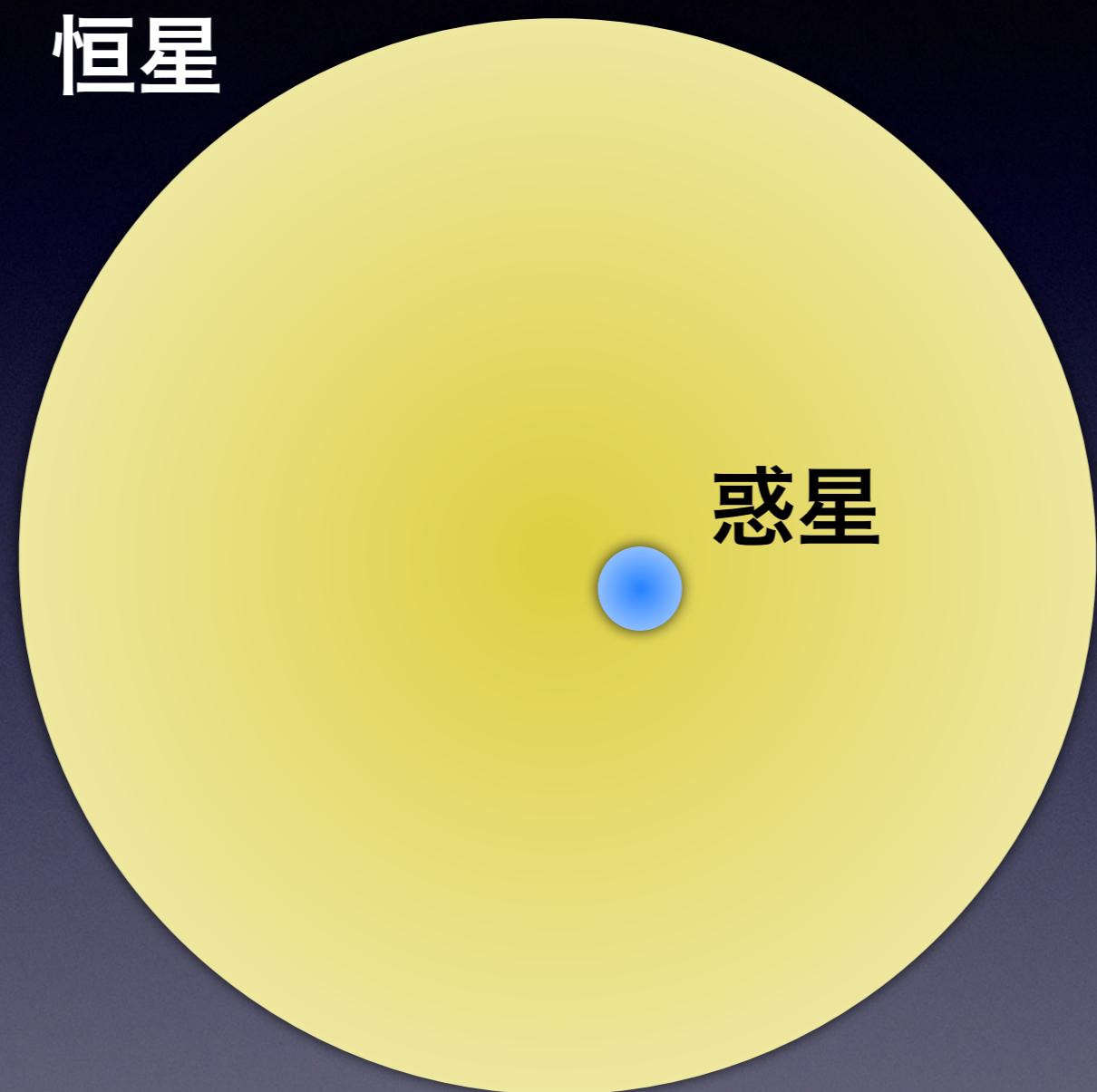


# 太陽系外惑星 (2014年時点)



# 脱線：最新の研究

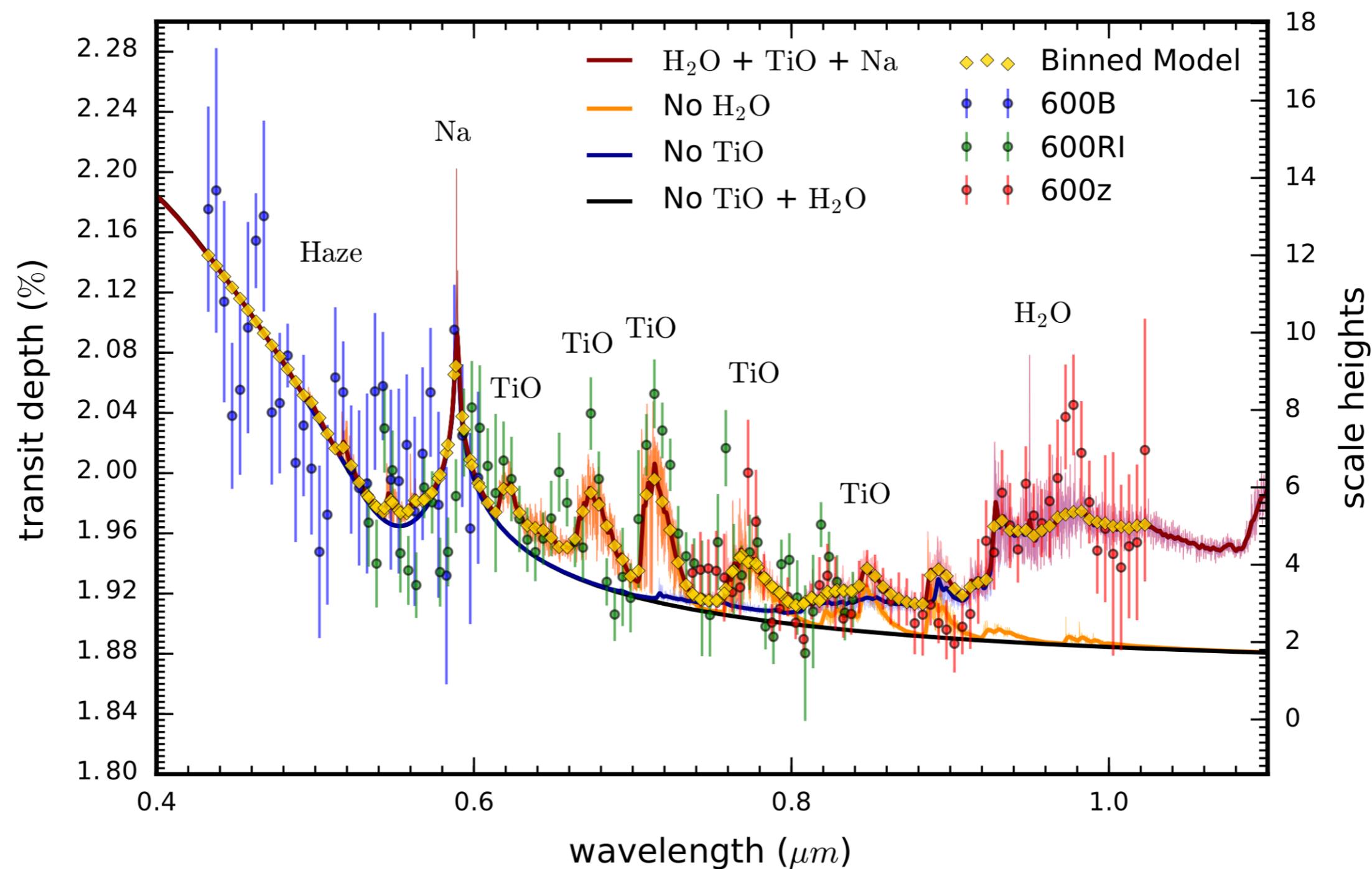
# 系外惑星の大気を調べる



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

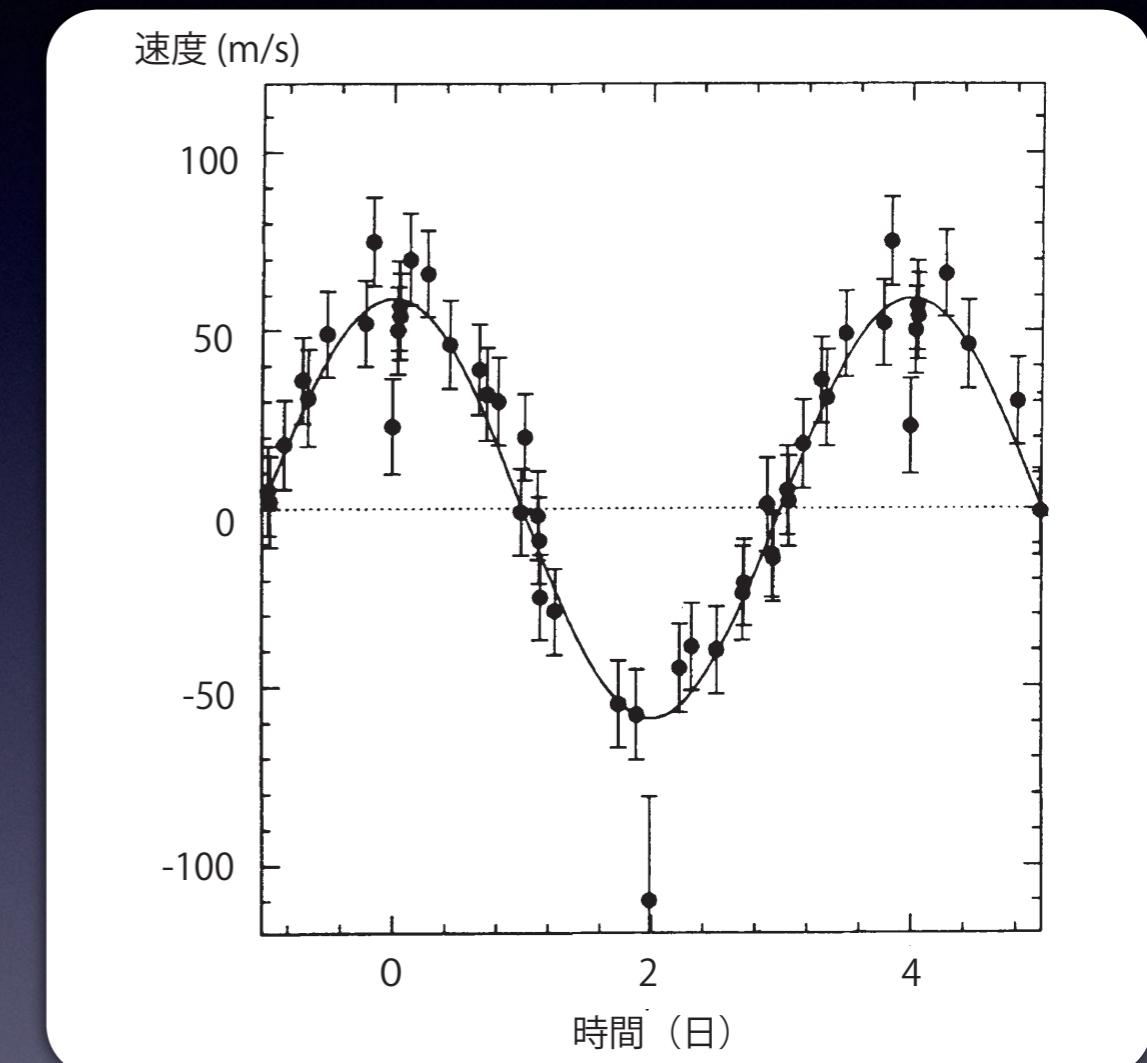
# 発展課題

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