

# Section 2.

## 太陽系外惑星

脱線

# 2020年ノーベル物理学賞

## The Nobel Prize in Physics 2020



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Roger Penrose**

Prize share: 1/2



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Reinhard Genzel**

Prize share: 1/4



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Andrea Ghez**

Prize share: 1/4

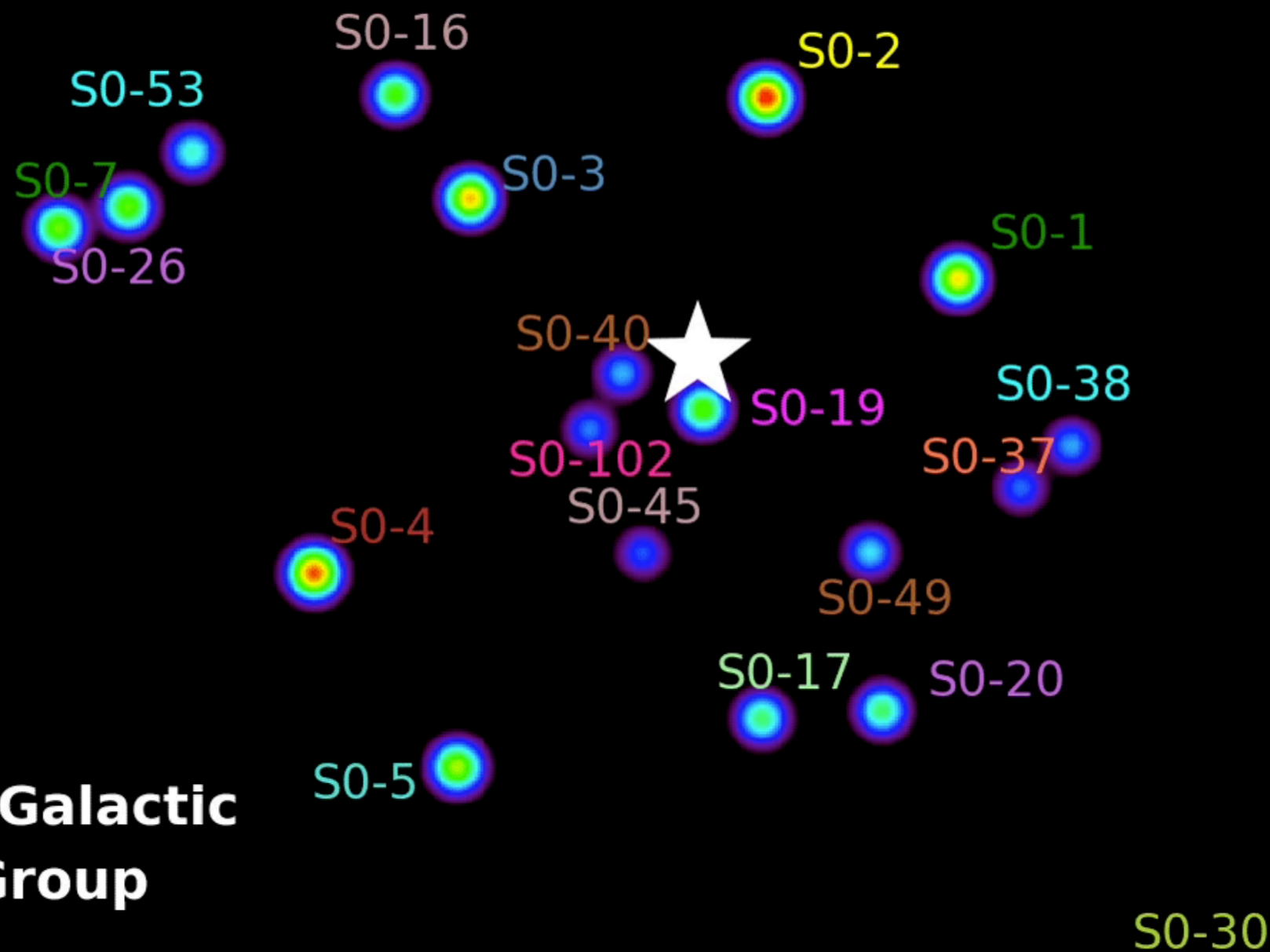
The Nobel Prize in Physics 2020 was divided, one half awarded to Roger Penrose "for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity", the other half jointly to Reinhard Genzel and Andrea Ghez "for the discovery of a supermassive compact object at the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



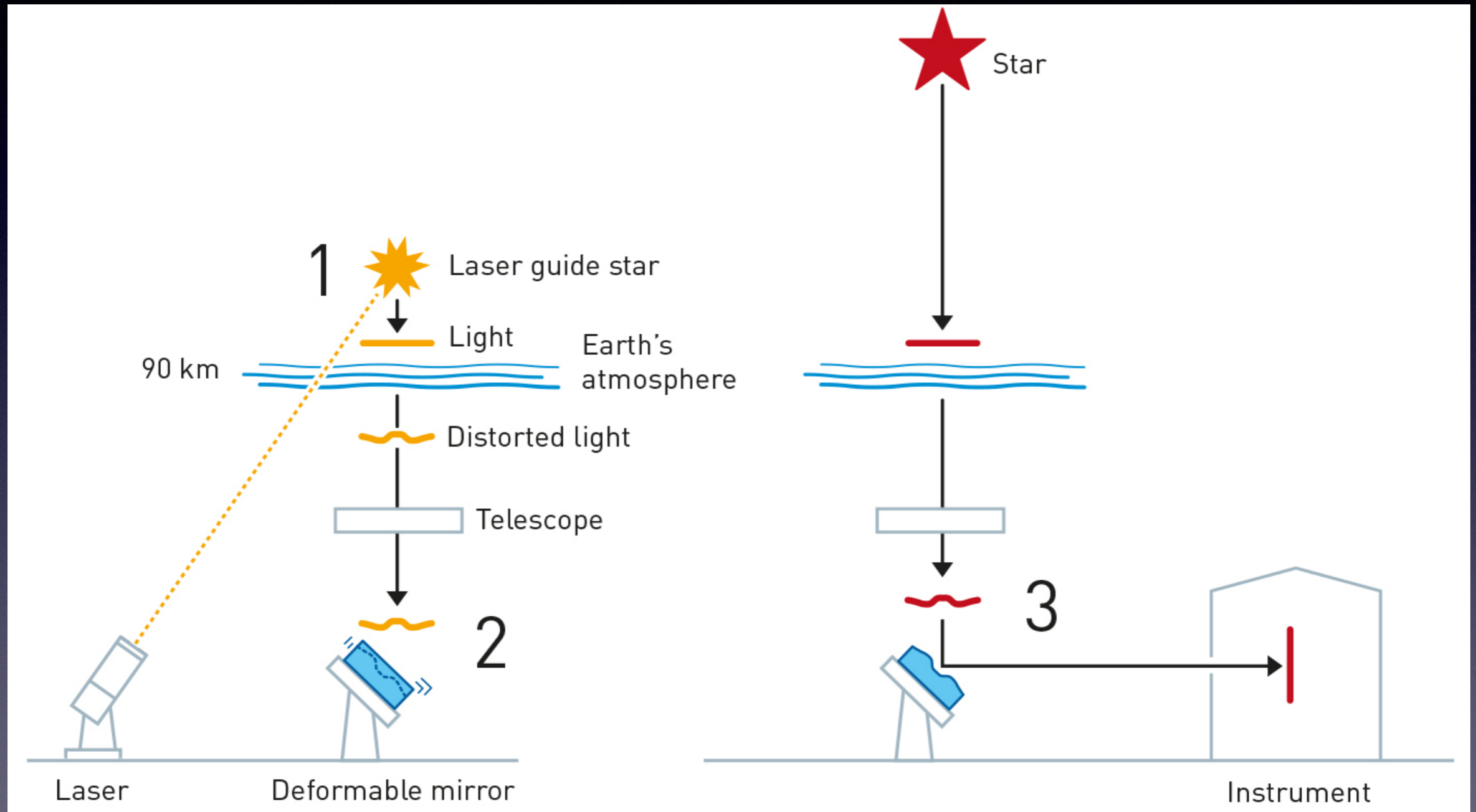
Keck/UCLA Galactic  
Center Group

0.1"

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)

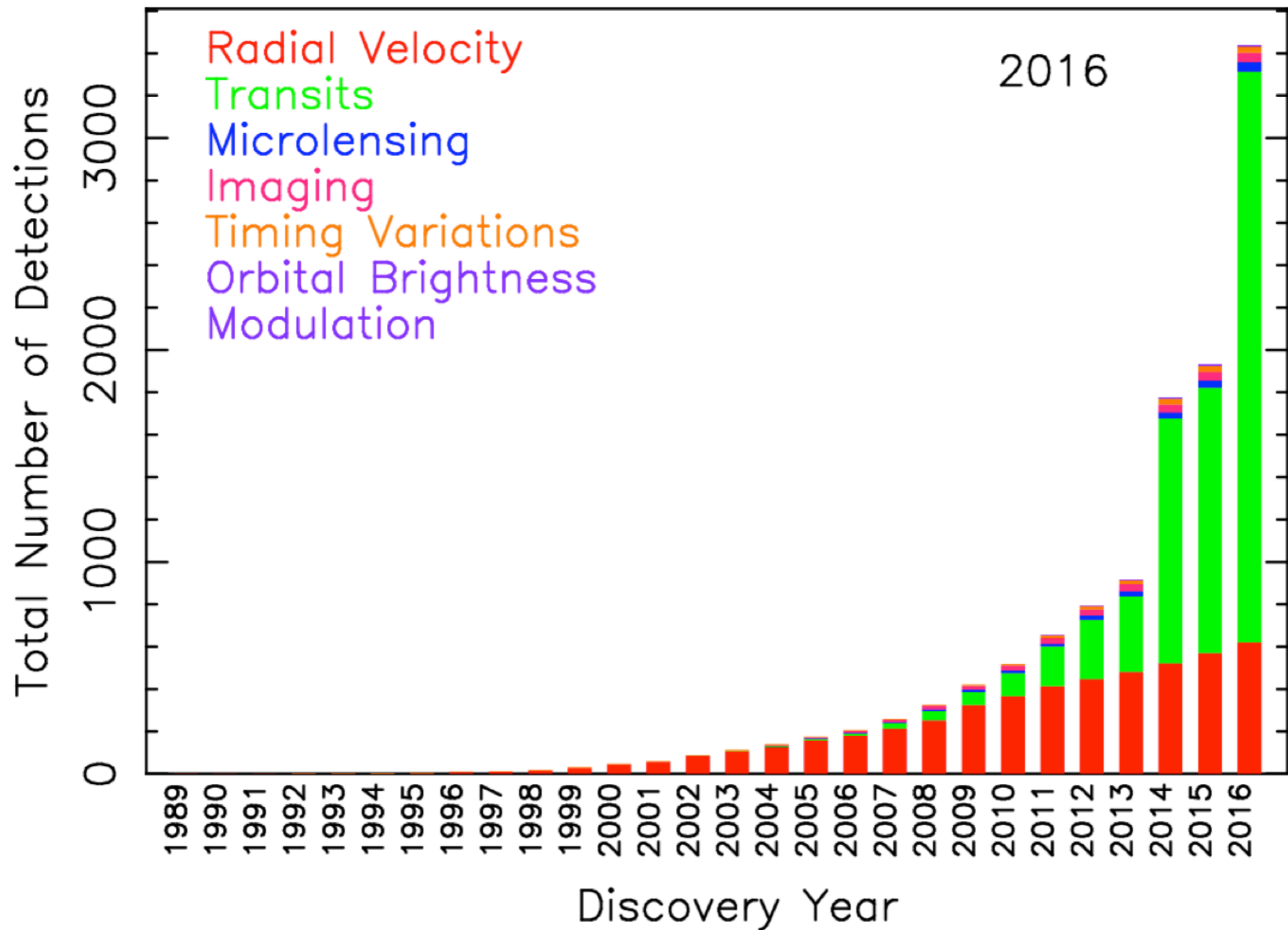
2.3 トランジット法 (食を使う)

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？

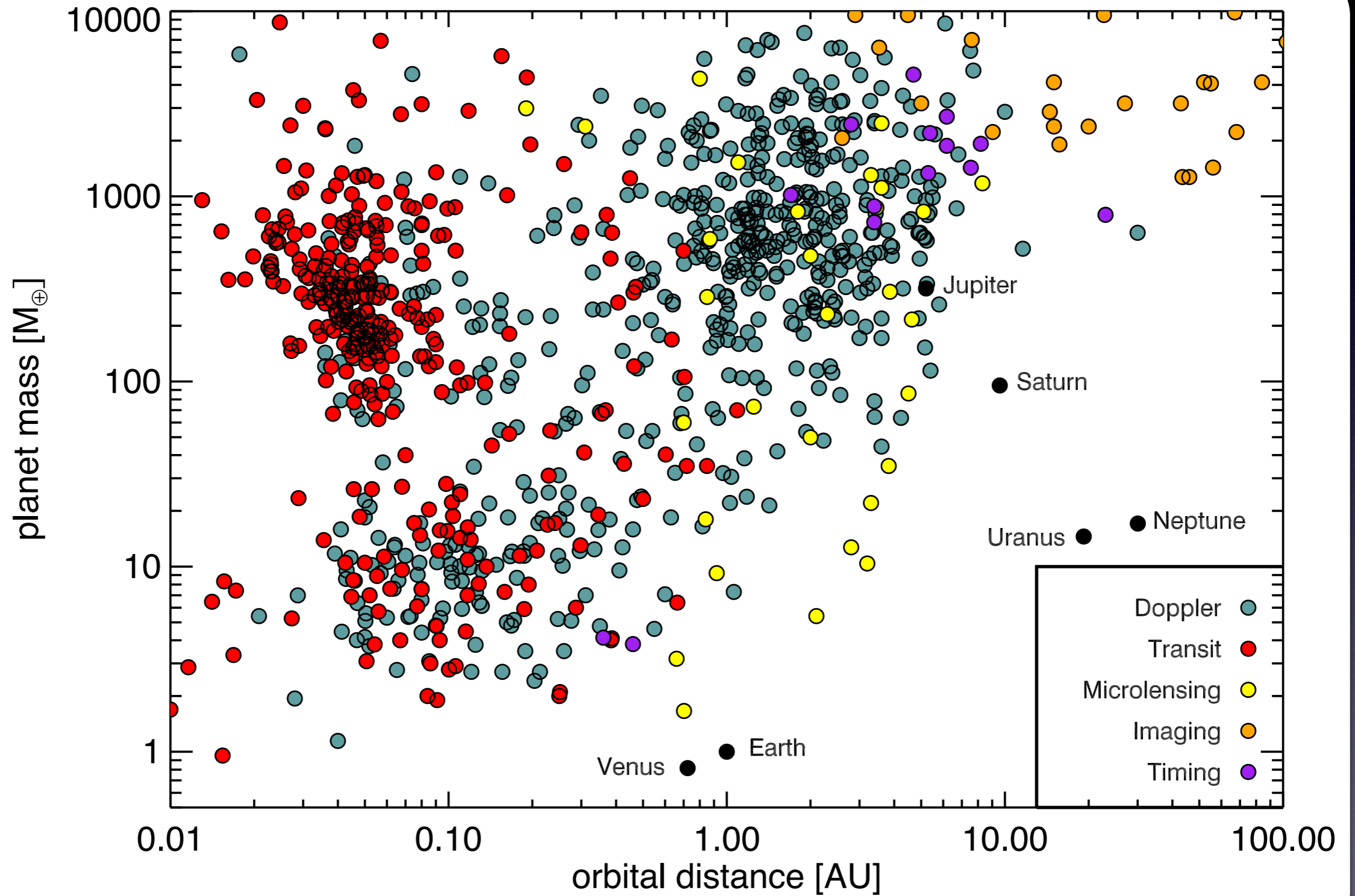
太陽系でない惑星(太陽系外惑星)は  
いくつ見つかっている？



# 系外惑星発見の歴史



# 太陽系外惑星 (2014年時点)



どうやったら発見できるの？  
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？



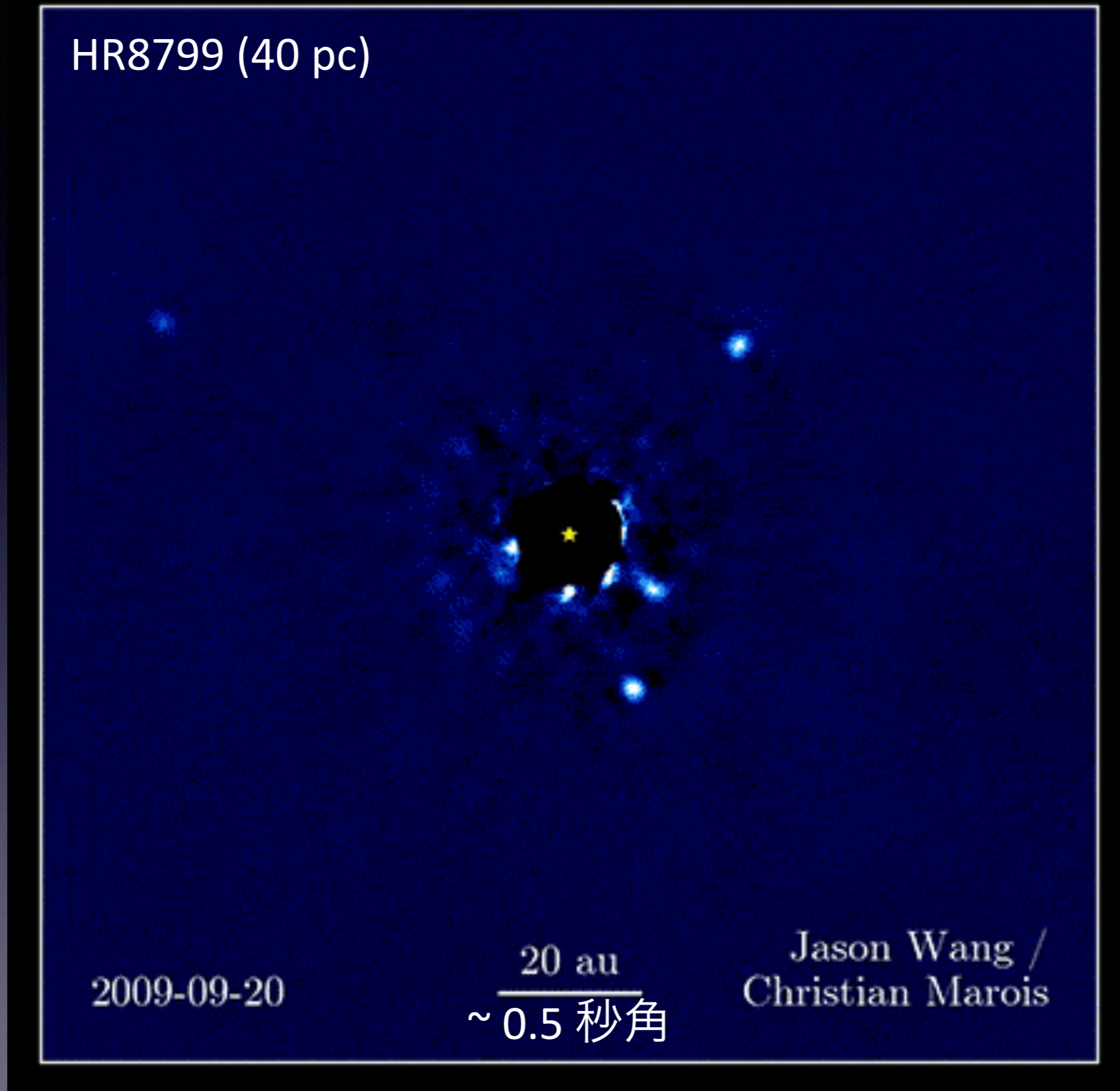
## Section 2. 太陽系外惑星

2.1 直接撮像 (写真を撮る)

2.2 ドップラー法 (速度を使う)

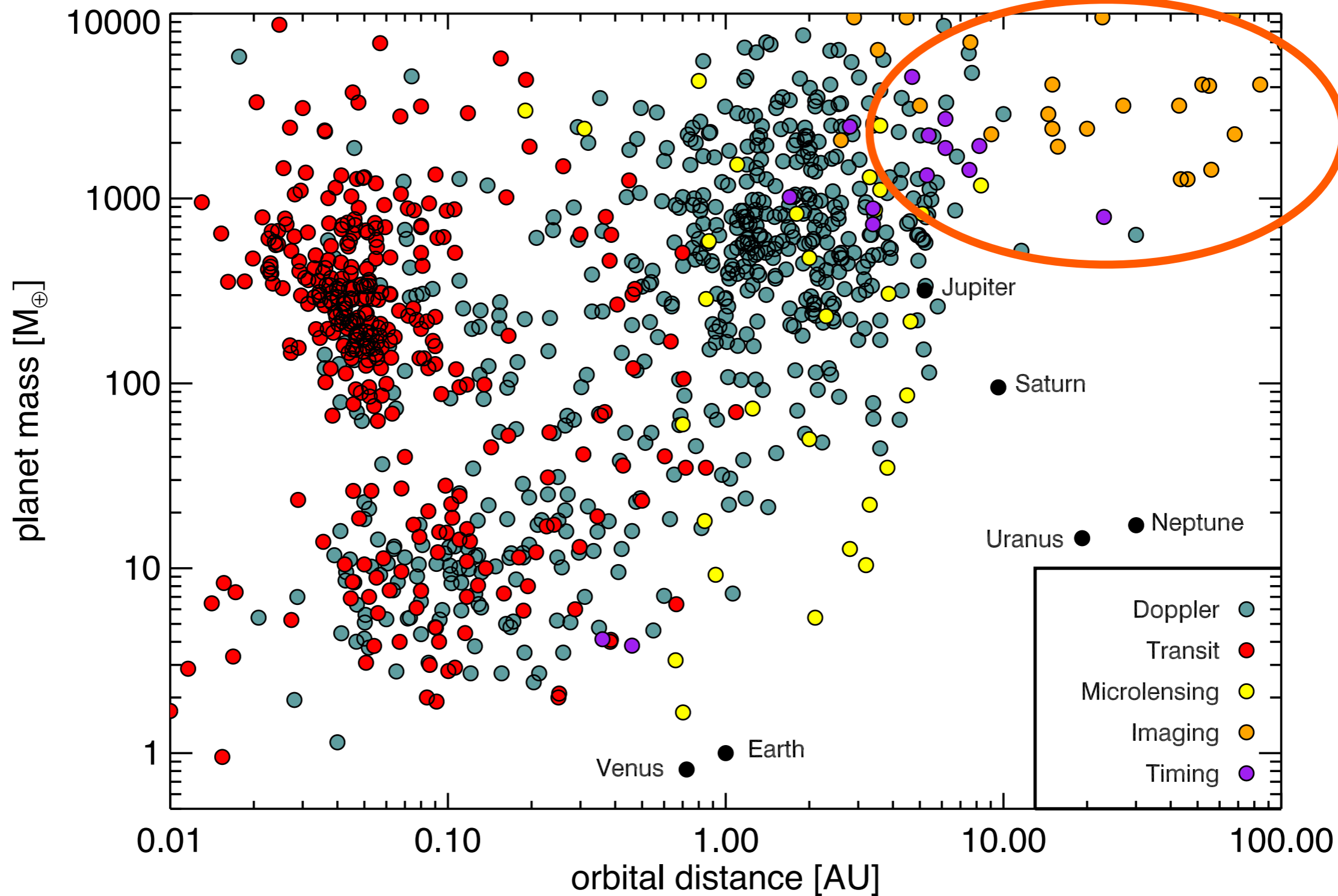
2.3 トランジット法 (食を使う)

# 直接撮像





# 太陽系外惑星 (2014年時点)

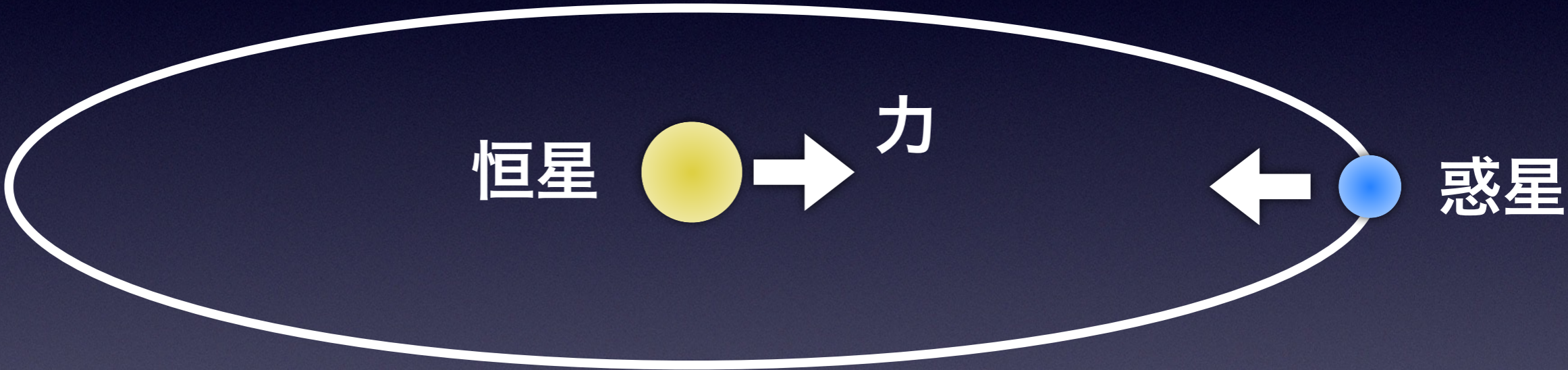


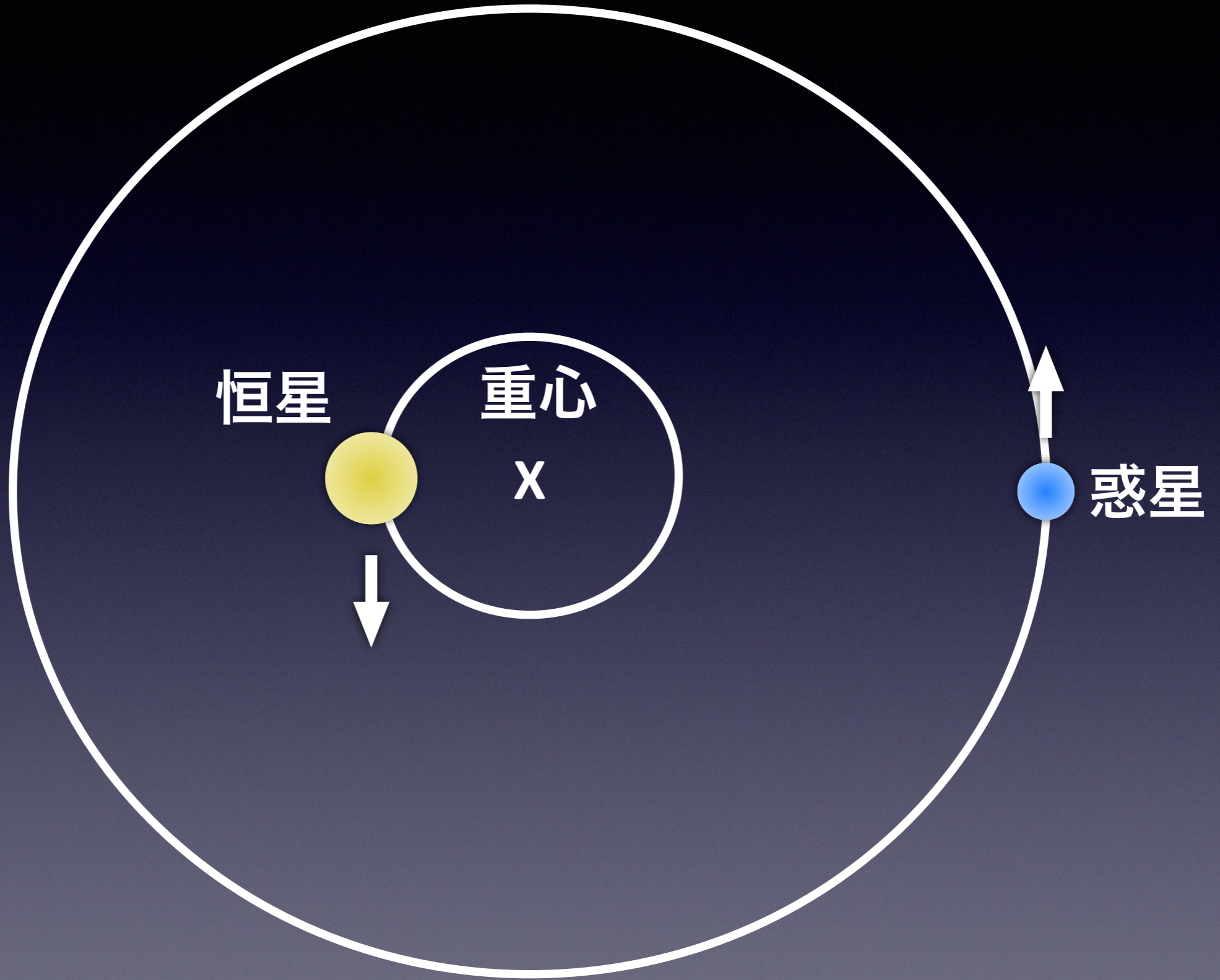
## Section 2. 太陽系外惑星

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)



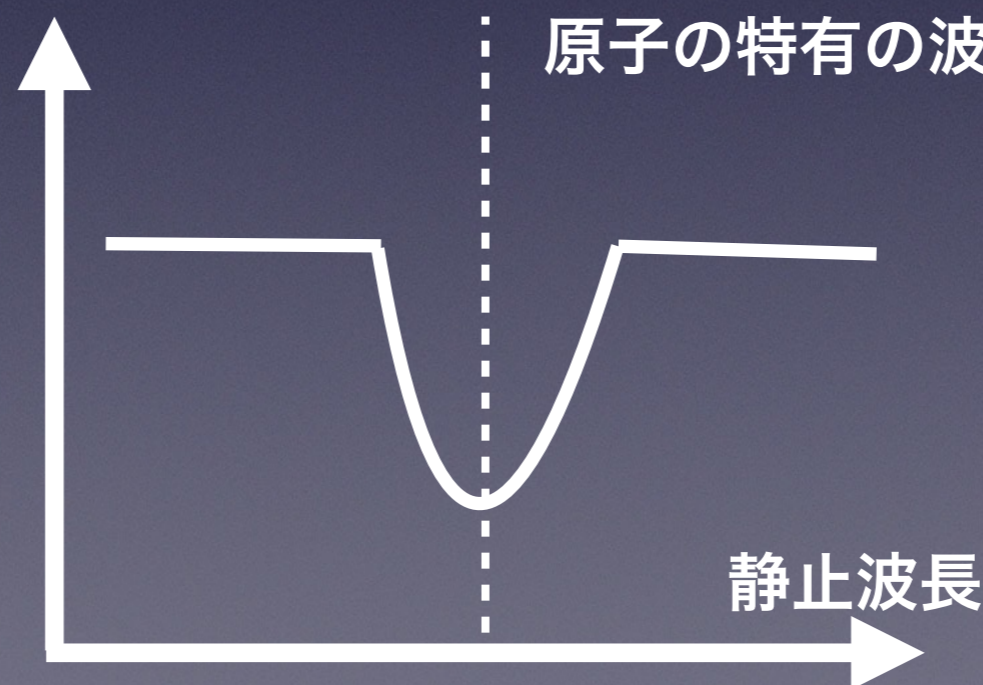
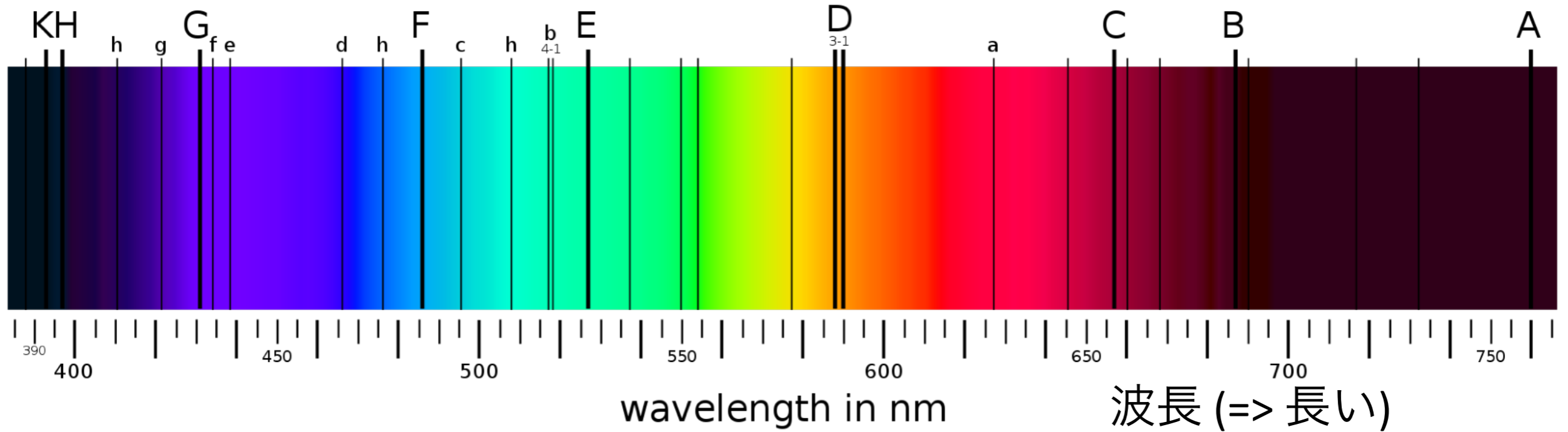




太陽はどれぐらい「振られる」の？  
観測できるの？

# 恒星のスペクトル

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

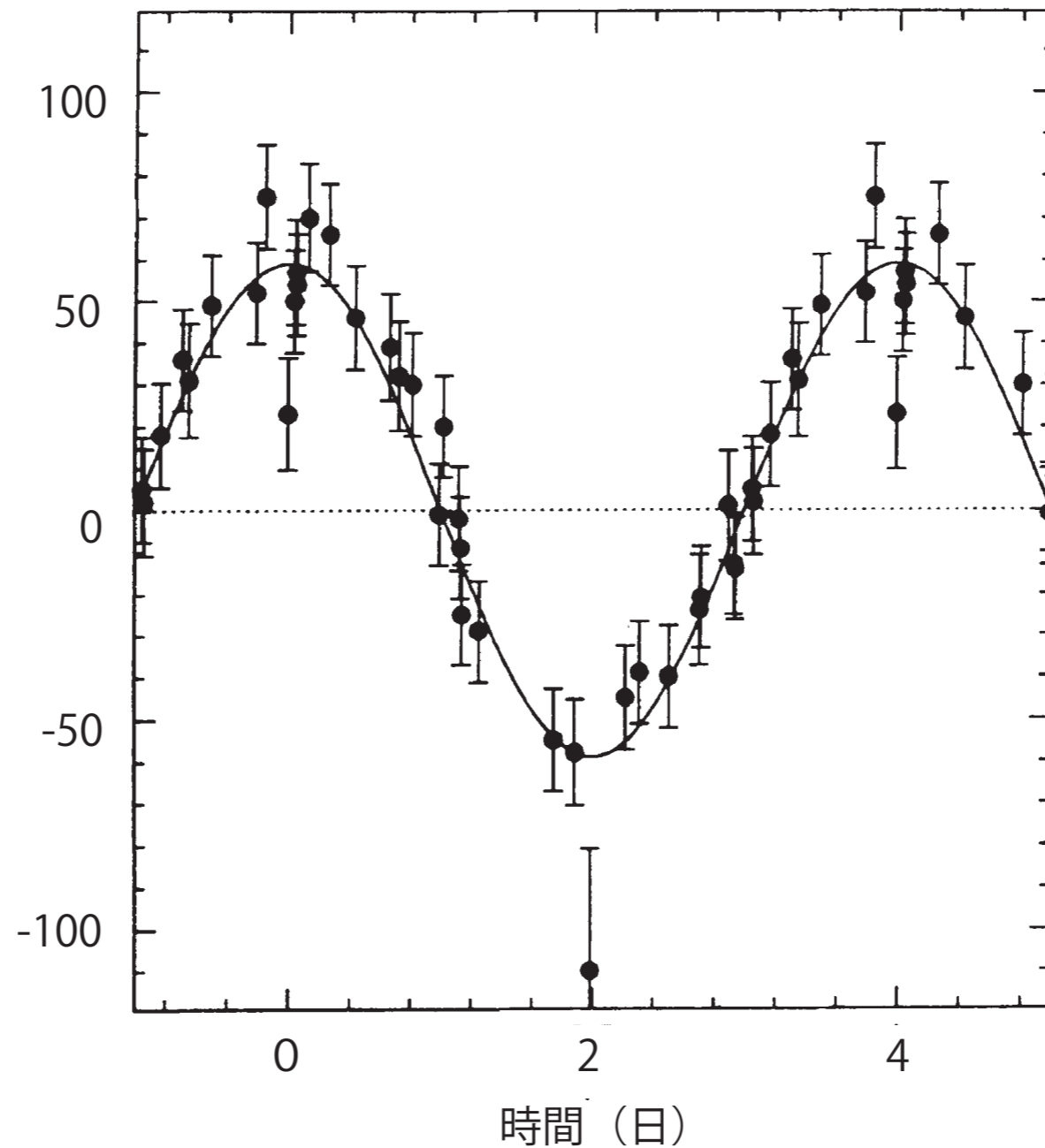


量子力学

# 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)

速度 (m/s)



# 2019年ノーベル物理学賞

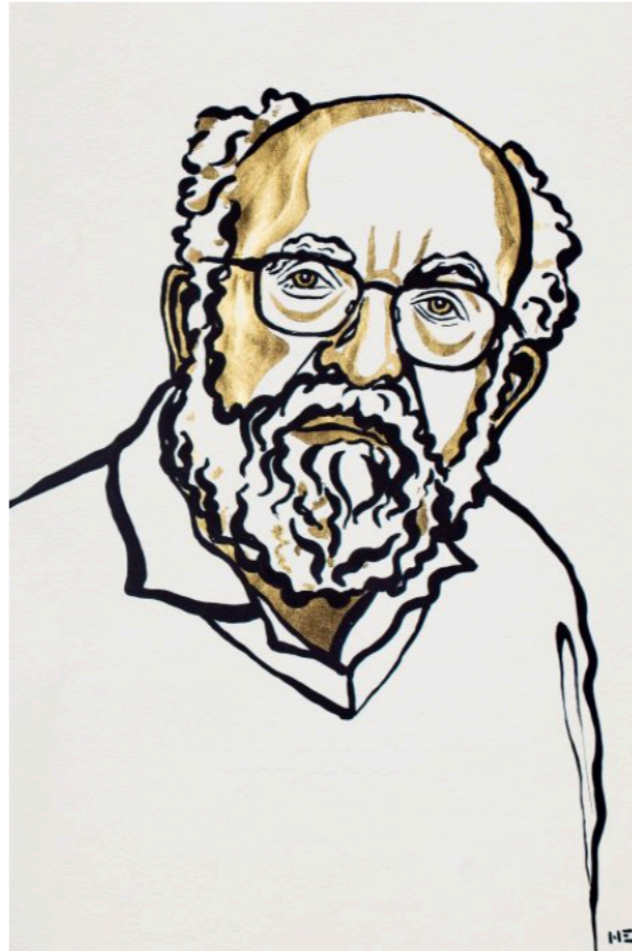
## The Nobel Prize in Physics 2019



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**James Peebles**

Prize share: 1/2



Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Michel Mayor**

Prize share: 1/4



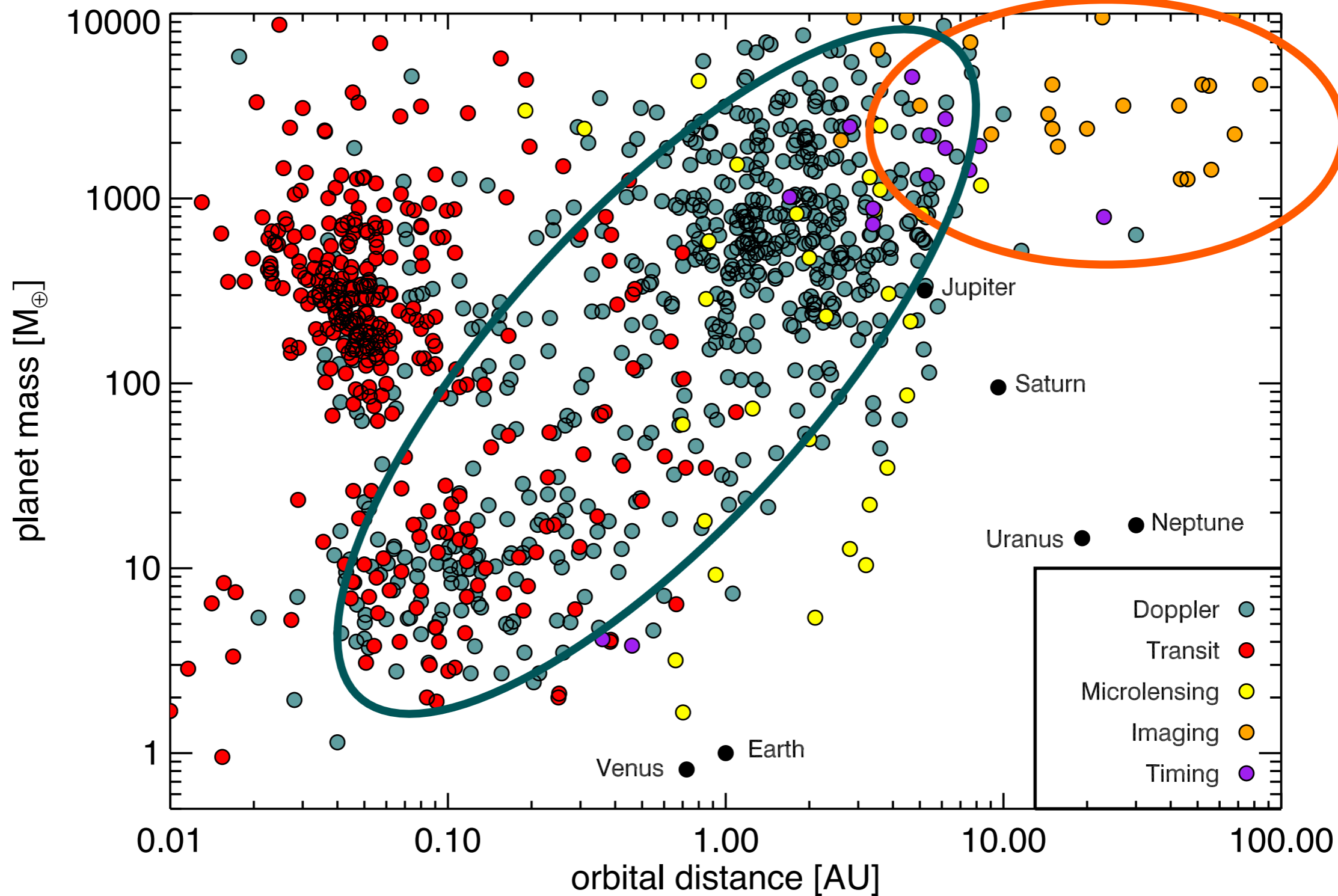
Ill. Niklas Elmehed. © Nobel Media.

**Didier Queloz**

Prize share: 1/4



# 太陽系外惑星 (2014年時点)



## Section 2. 太陽系外惑星

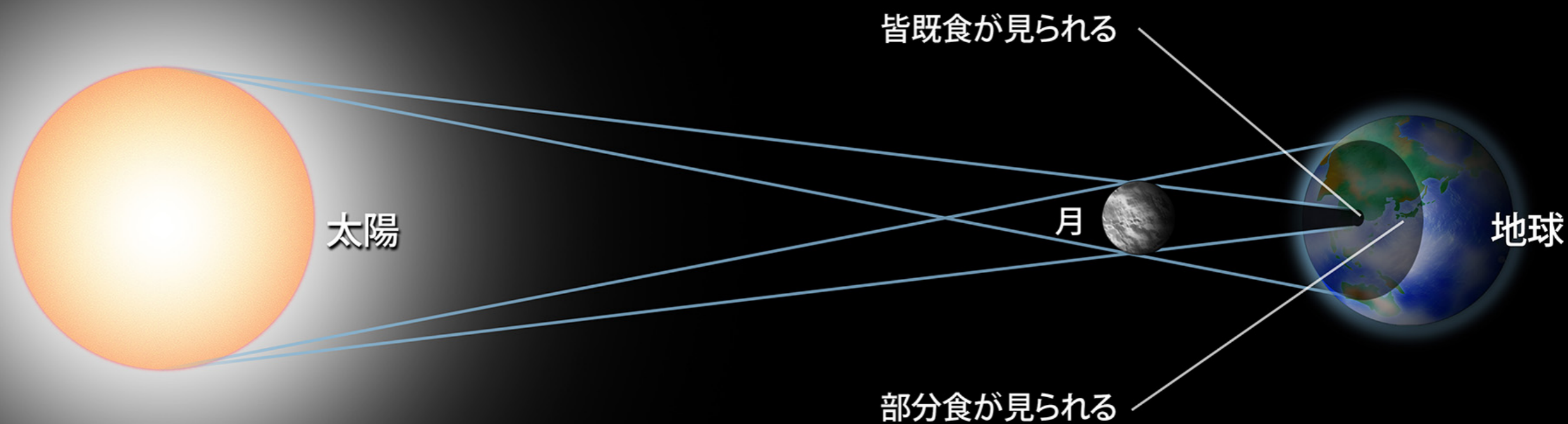
2.1 直接撮像 (写真を撮る)

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）

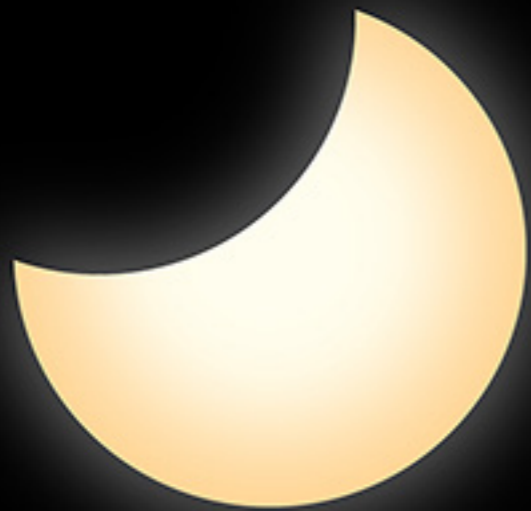
※太陽、月、地球の大きさそれぞれの距離の縮尺は、実際とは異なります。



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



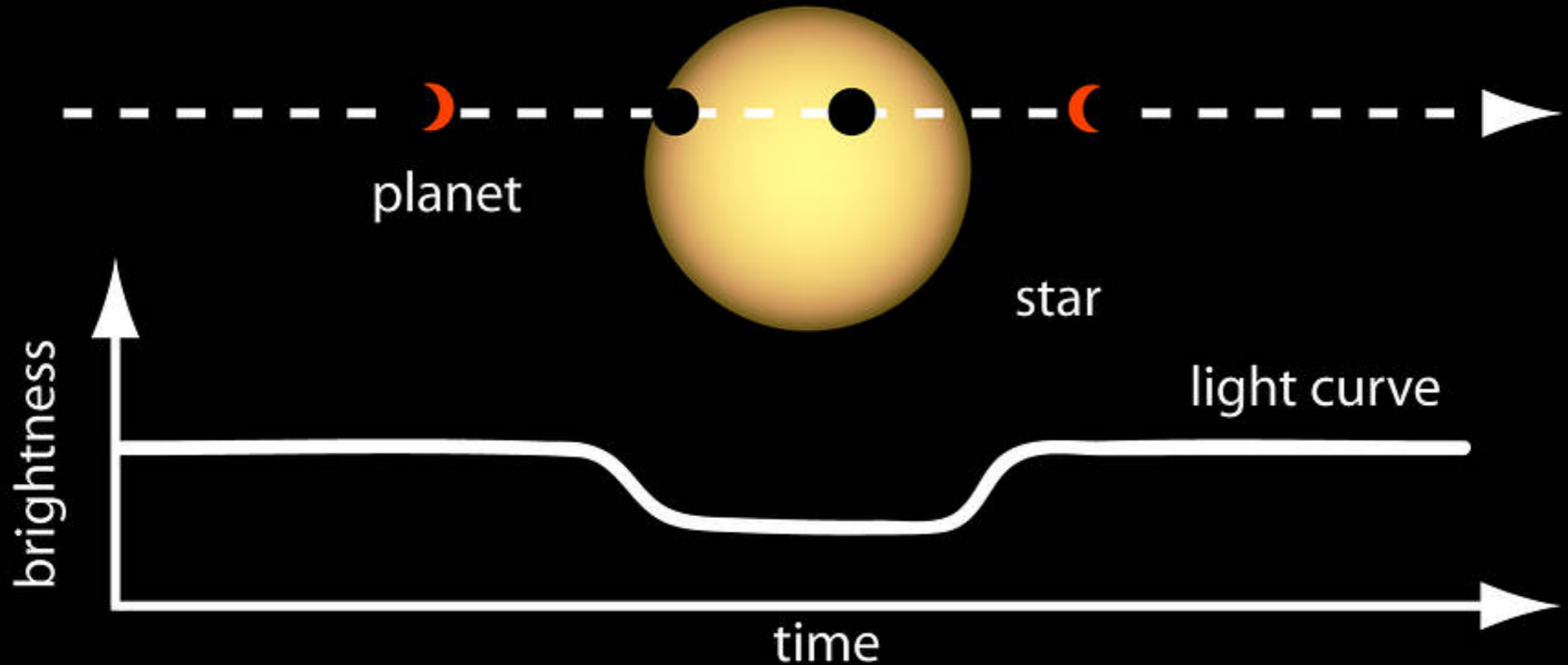
金環食



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)



Topics

Missions

Galleries

NASA TV

Follow NASA

Downloads

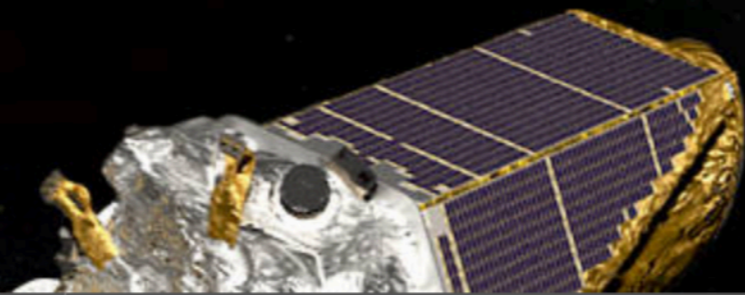
About

NASA Audiences

Search



## Kepler and K2



Kepler and K2

Overview

Images

Videos

Media Resources

Follow



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

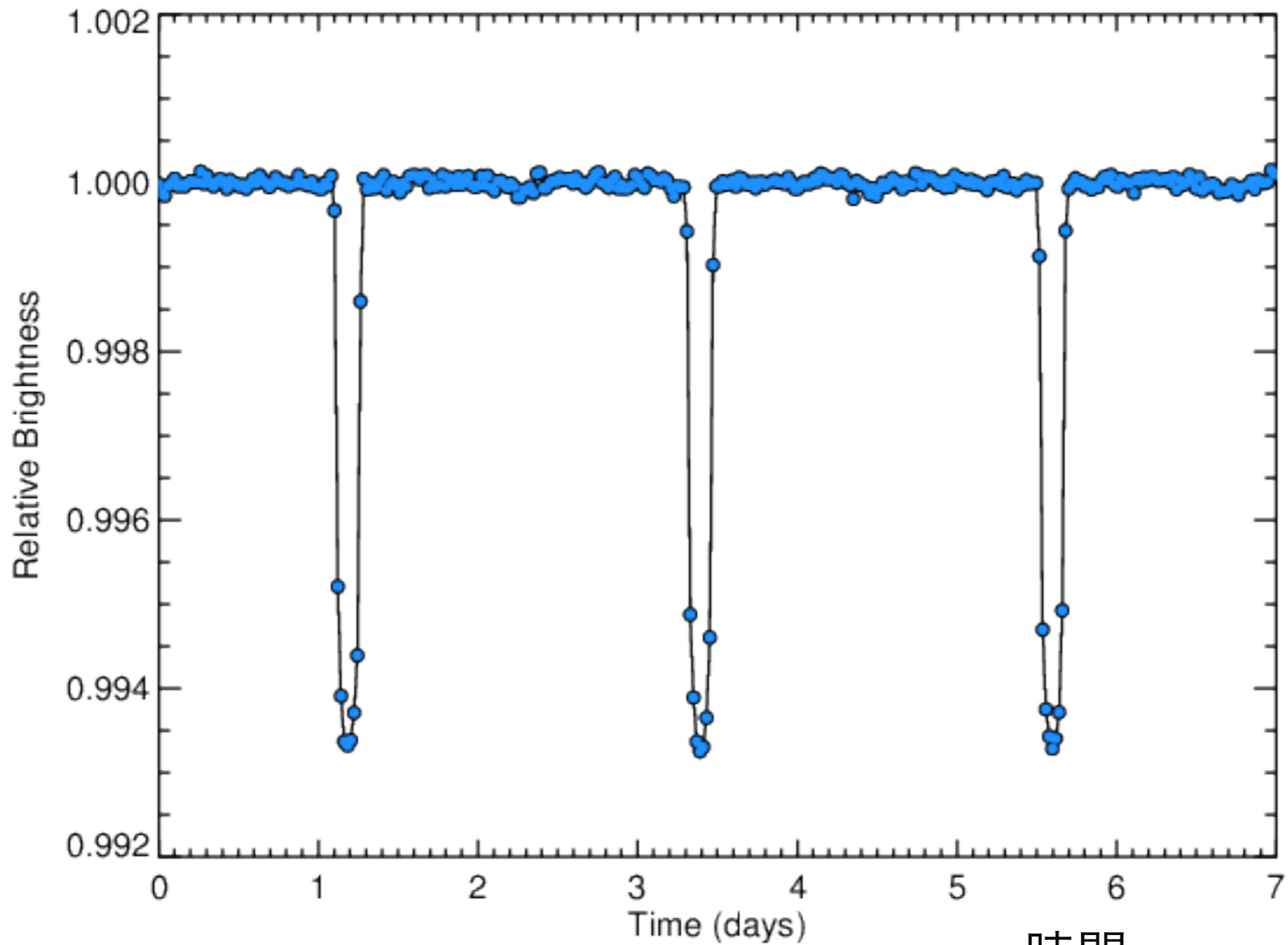


A planetary first! Researchers detected signs of water vapor in the atmosphere of a faraway planet in the "habitable zone," where liquid water could potentially pool.

[Embed](#)

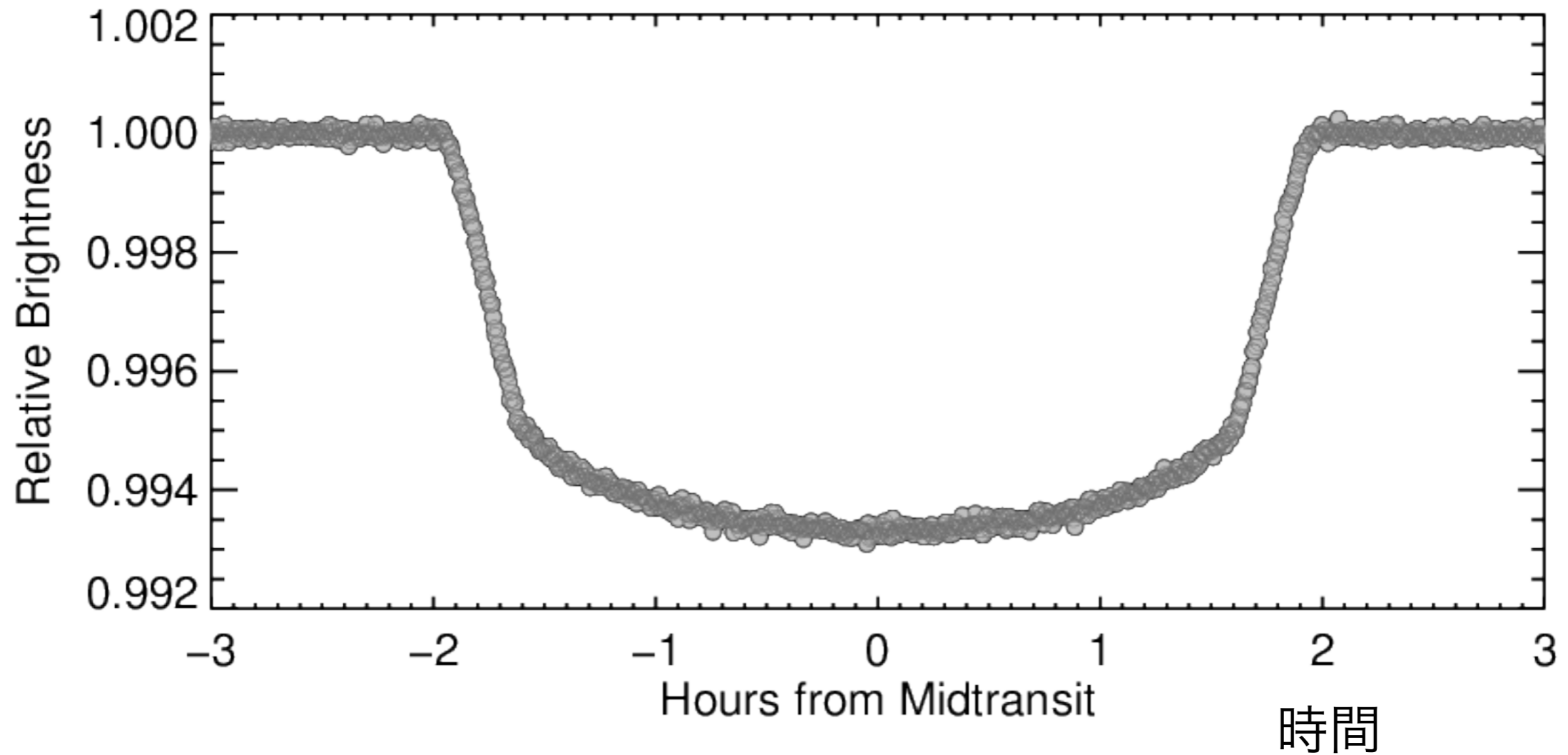
[View on Twitter](#)

# トランジット法：実際の観測データ



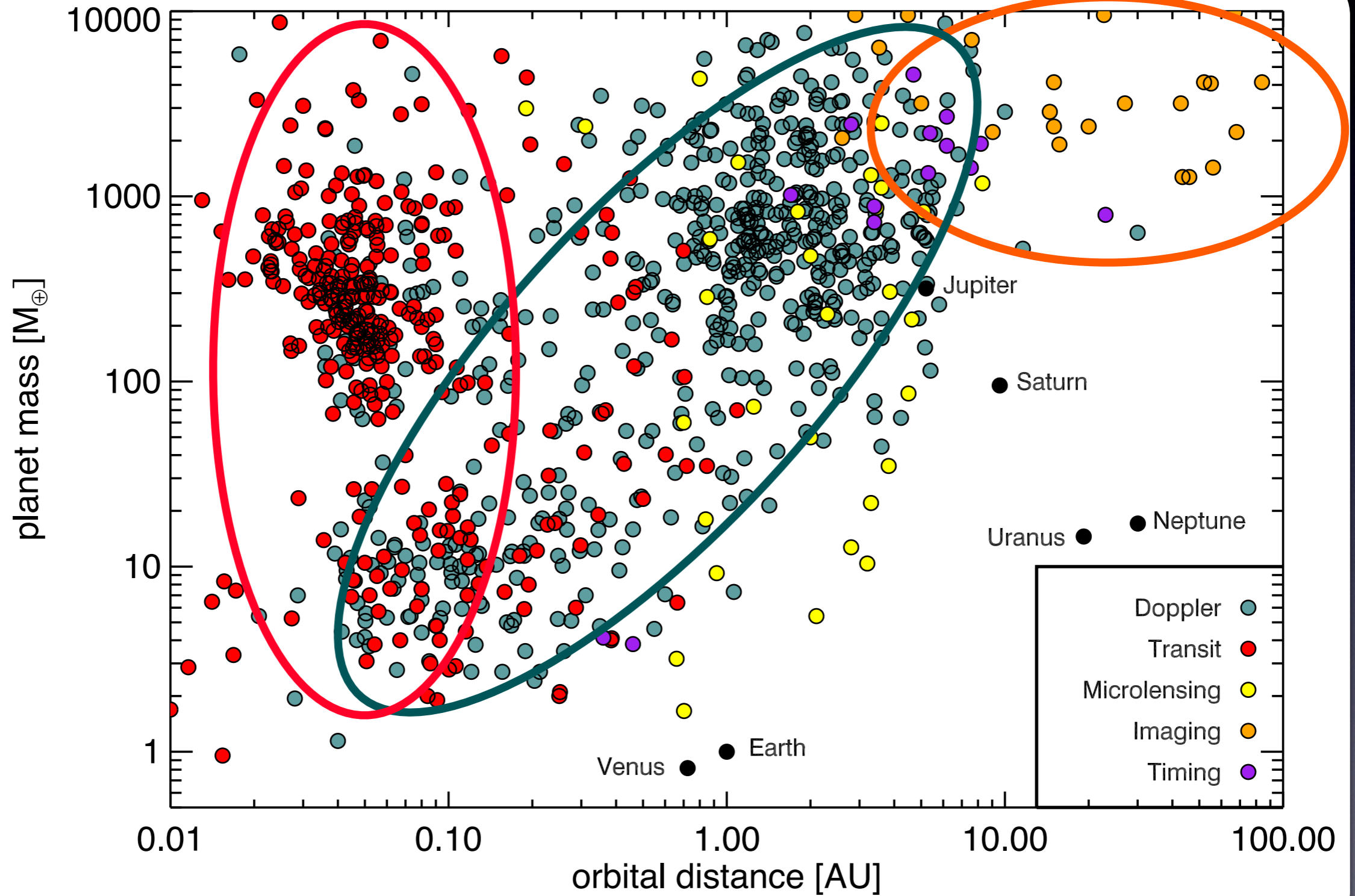
時間

# 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)



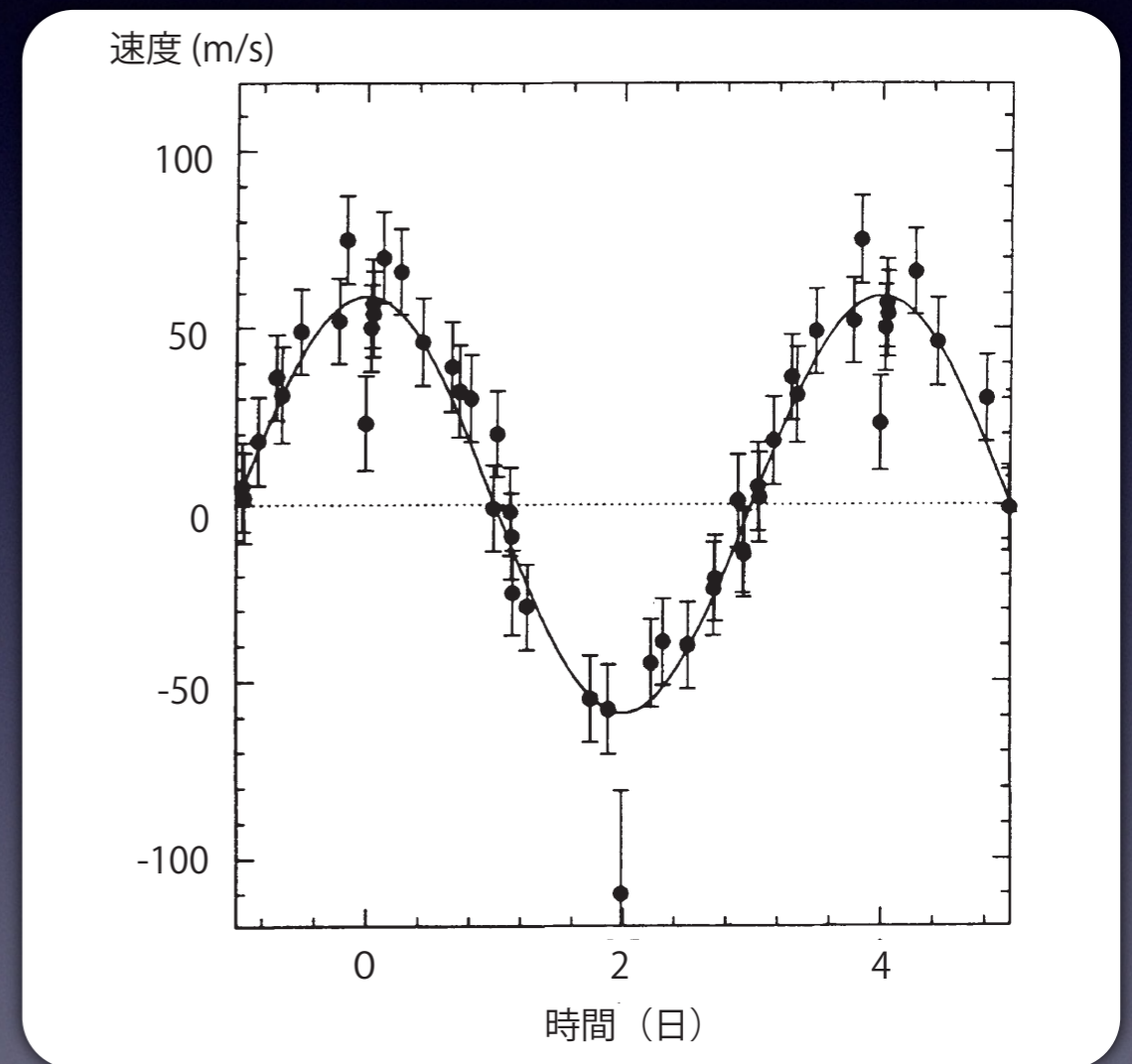
# レポート課題1b

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

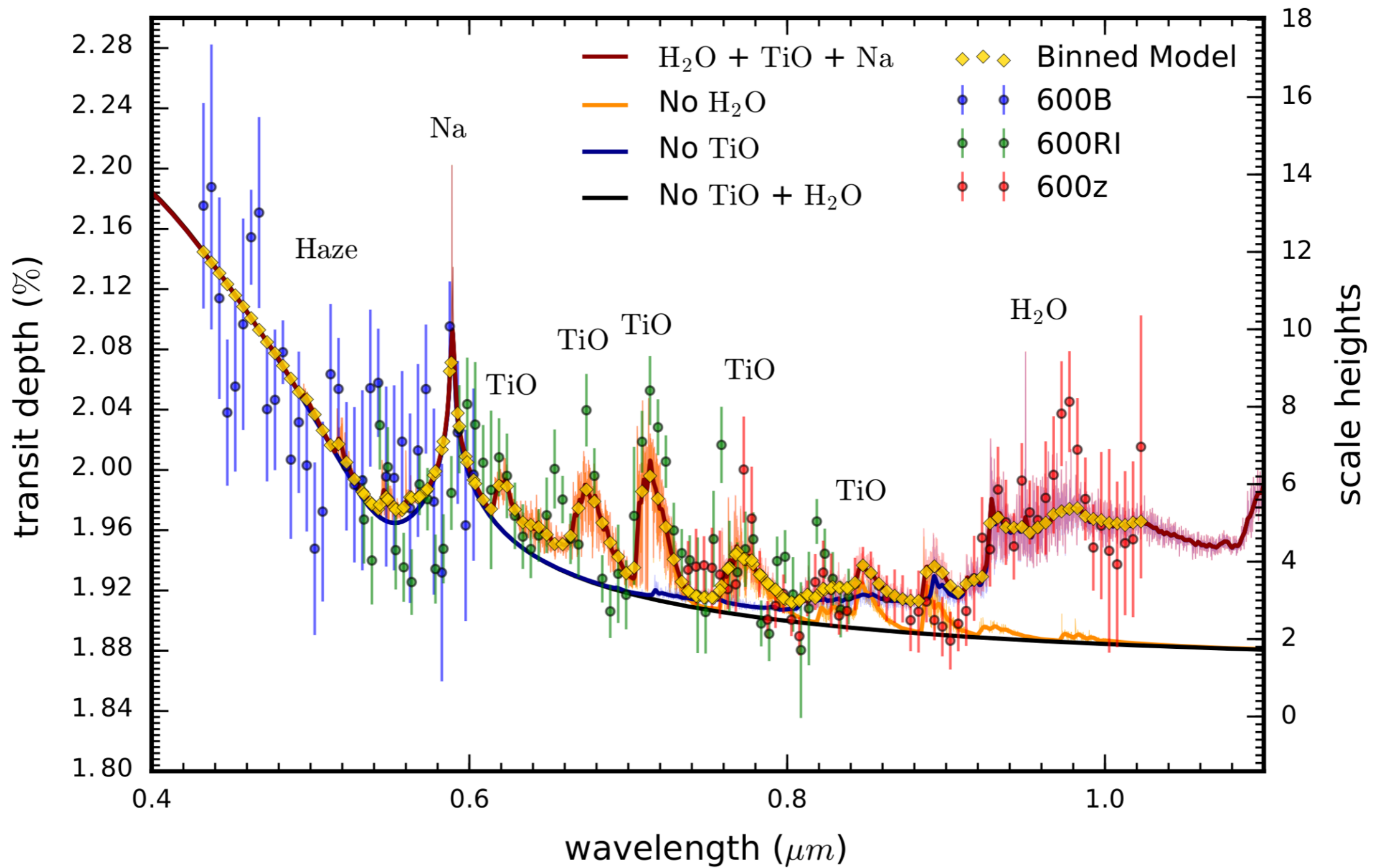
# 系外惑星の大気を調べる



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