

May 31, 2012  
@ 国立天文台



# すばる望遠鏡による観測成果紹介(2)

平野 照幸 (東大宇宙理論研究室・D3)

# Outline

- イントロダクション
- 見つかった系外惑星の分布
- 視線速度法
- トランジット法
- まとめ

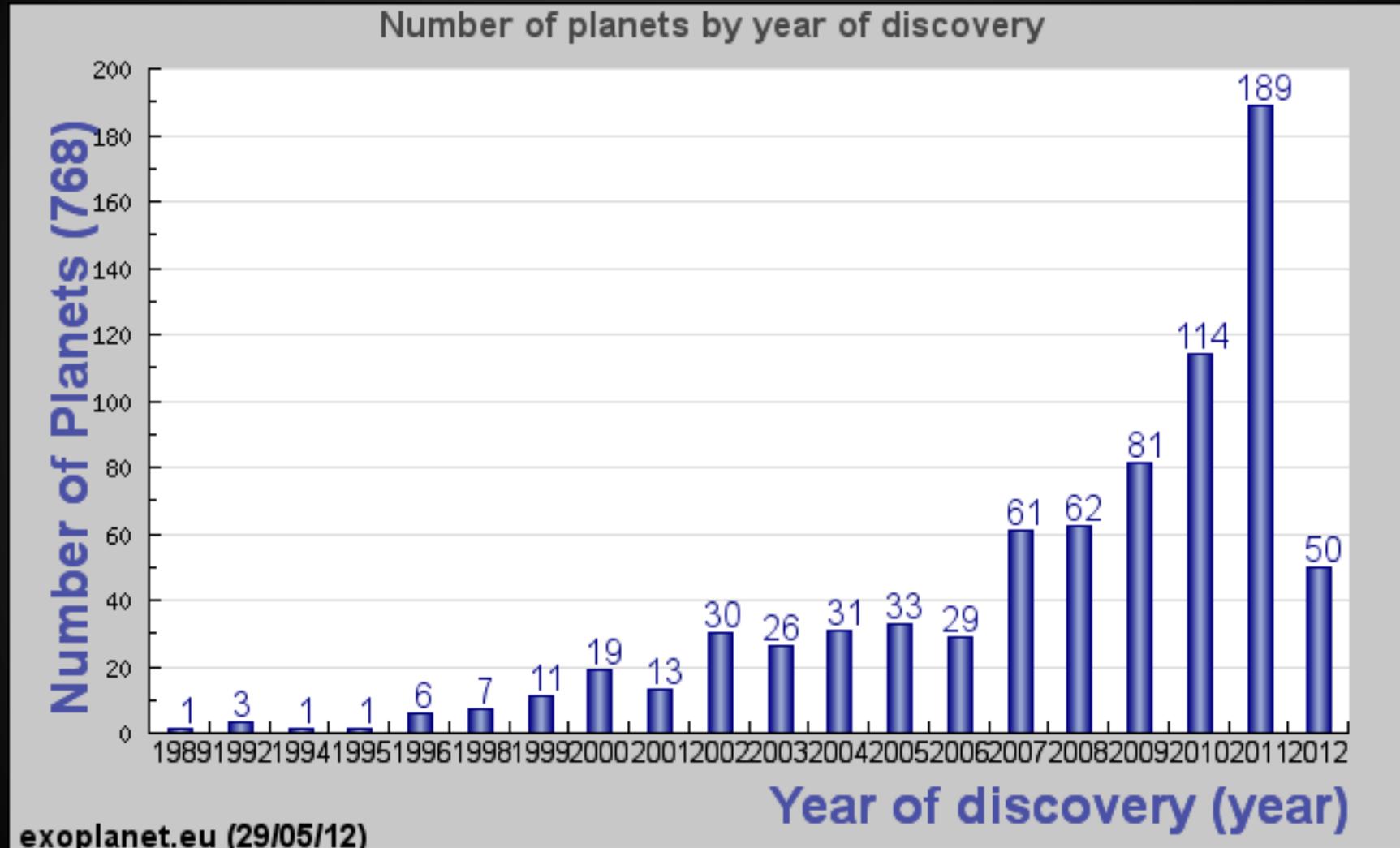
# イントロダクション

- ✓ 最初の(太陽型星周りの)太陽系外惑星は1995年にペガサス座51番星の周りで発見された
- ✓ その後の観測精度の向上で現在では770個程度の惑星が見つかっている
  - 視線速度法 708
  - トランジット法 231
  - 直接撮像 15
  - マイクロレンズ法 31
  - パルサータイミング法 16

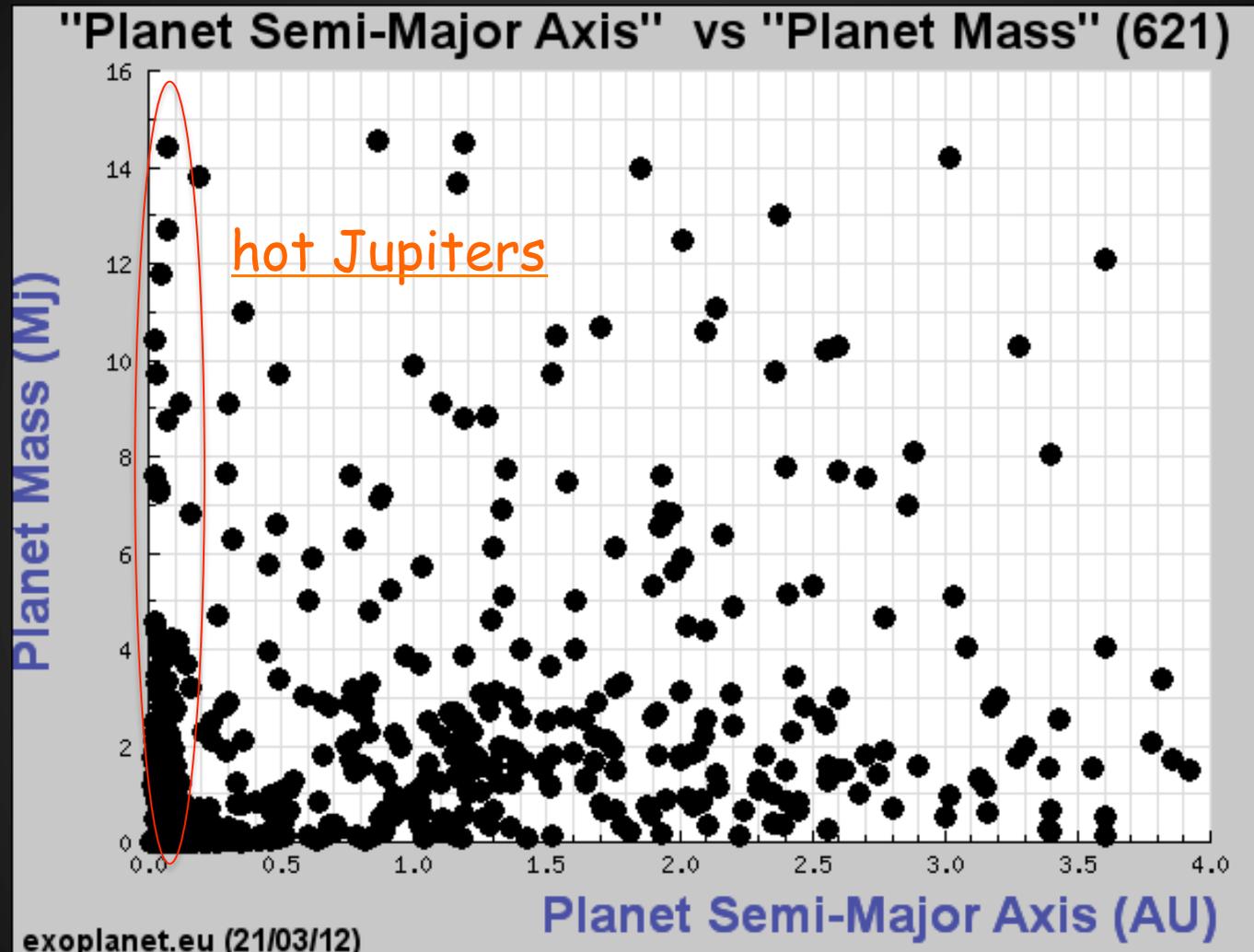
} 平野  
→ 末永氏

2012年5月30日現在

# 惑星の発見数の増加



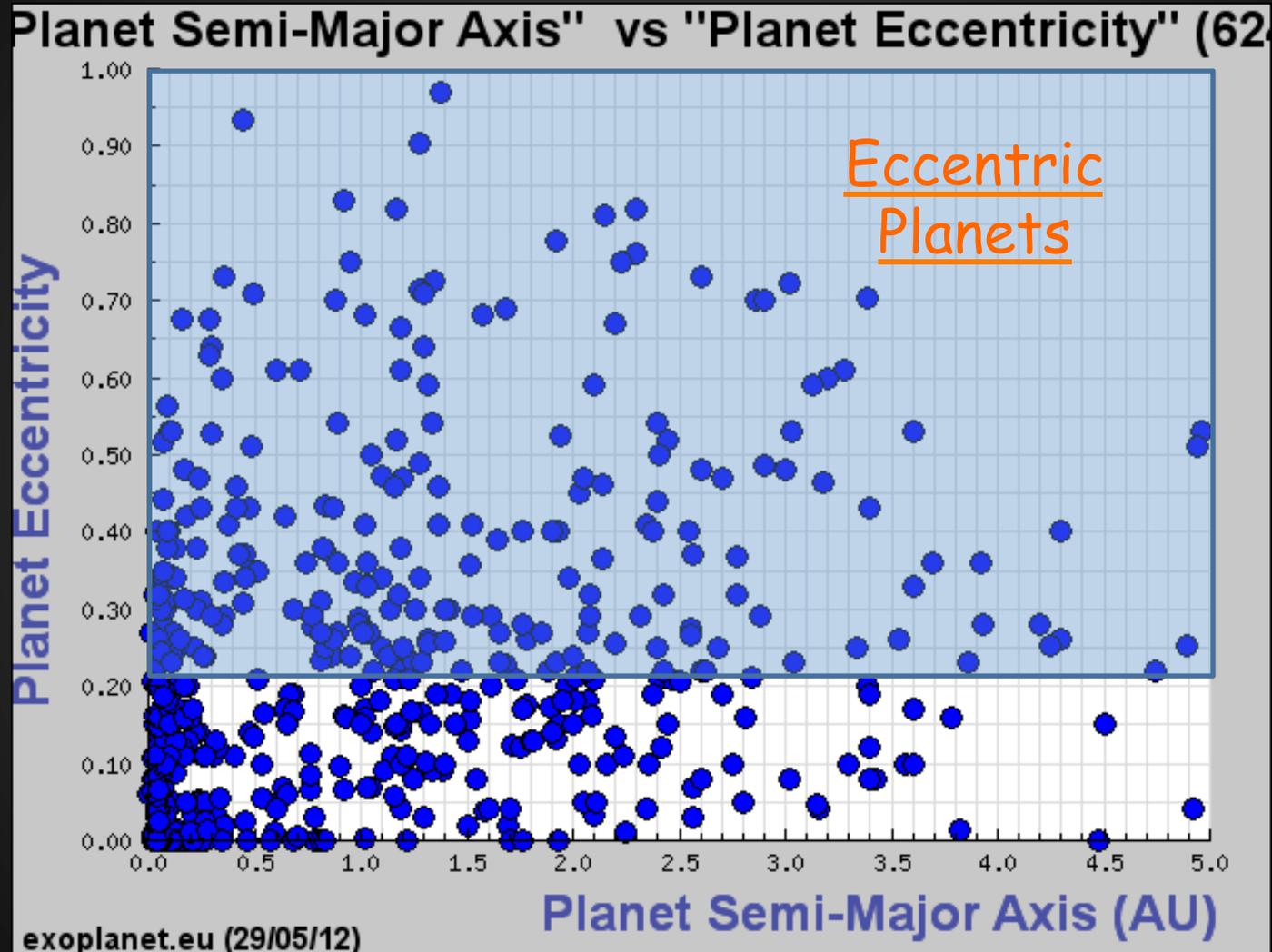
# 系外惑星の質量分布



✓ 100個以上見つかった中心星近傍の**巨大惑星**

→ 惑星は中心星から数AUで形成され、**移動してきた**

# 系外惑星の離心率分布

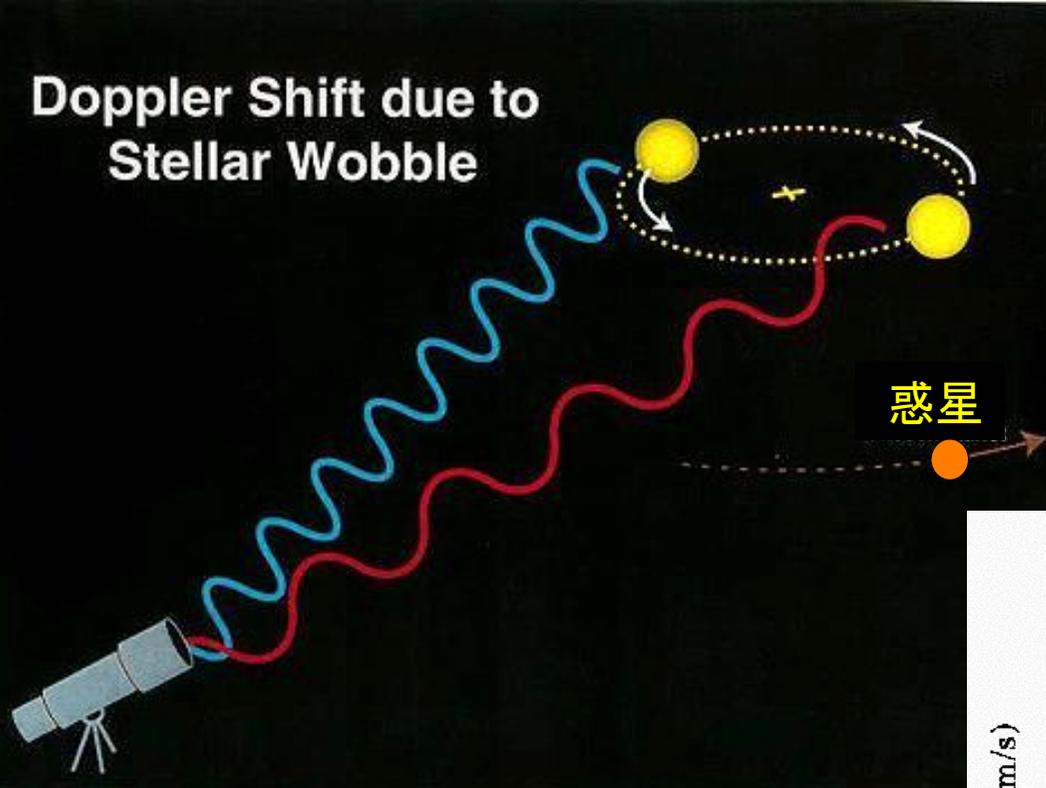


離心率の大きい惑星も数多く見つかった

# 視線速度法

# 視線速度法による惑星の発見

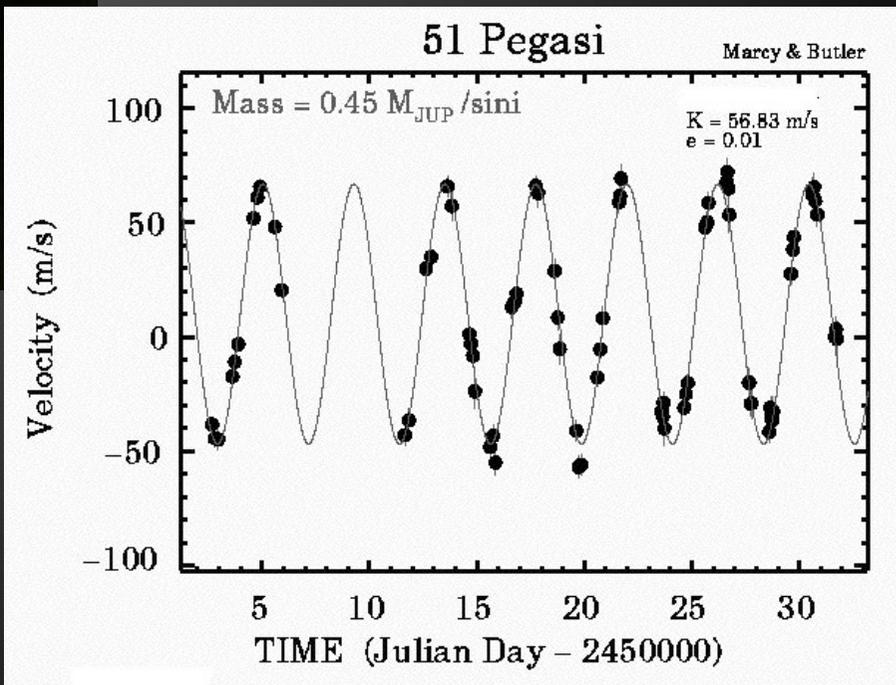
Doppler Shift due to  
Stellar Wobble



惑星の重力で主星がふらつく

→ 星の視線速度が周期的に変化

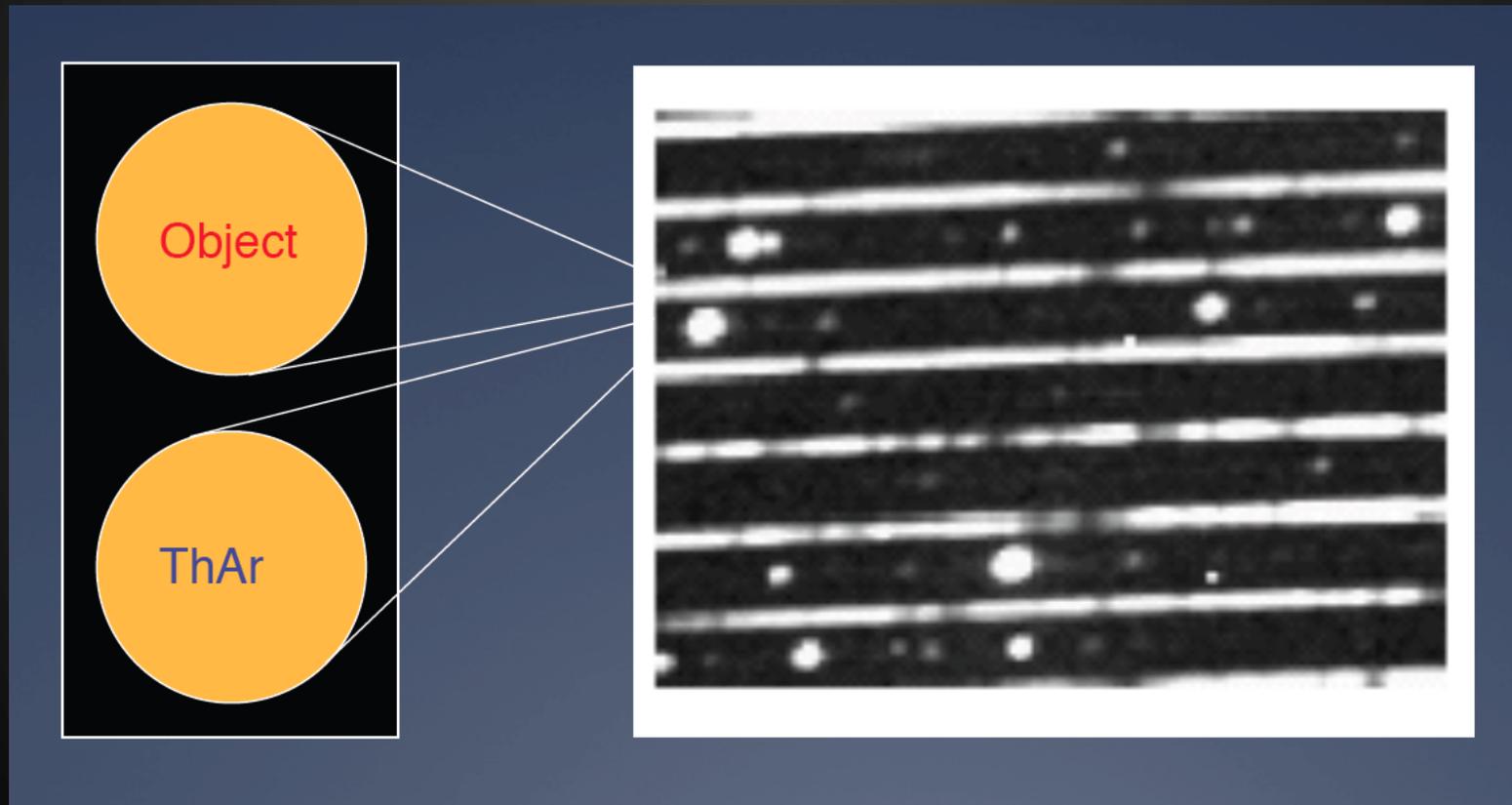
→ 星のスペクトルが周期的に  
ドップラーシフト



# どうやって視線速度を測定するのか

どの方法論を用いて視線速度を測定しようとしても、波長の較正が大変！  
→ 一晩のうちにスペクトルが分光器のCCD上で動いてしまう

a) the simultaneous reference technique



C. Lovis氏の発表より引用

星のスペクトルの干渉縞 ↑

# HARPS型の分光器

$\Delta RV = 1 \text{ m/s}$



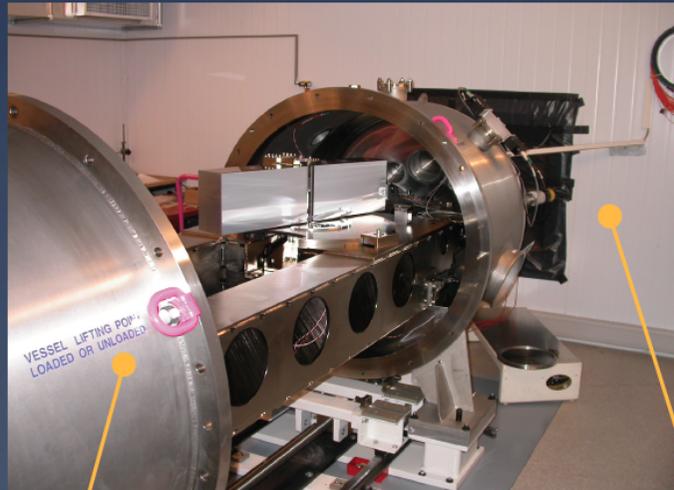
$\Delta \lambda = 0.00001 \text{ \AA}$



15 nm



1/1000 pixel



$\Delta RV = 1 \text{ m/s}$



$\Delta T = 0.01 \text{ K}$



$\Delta p = 0.01 \text{ mbar}$

Vacuum operation

Temperature control

C. Lovis氏の発表より引用

非常に高い精度で分光器の環境をコントロールする事で出来るだけ1夜のうちのスペクトルの変化を抑える

→ 制作費・維持コストが高かつく

# すばるでの視線速度観測

## b) ヨードセル法

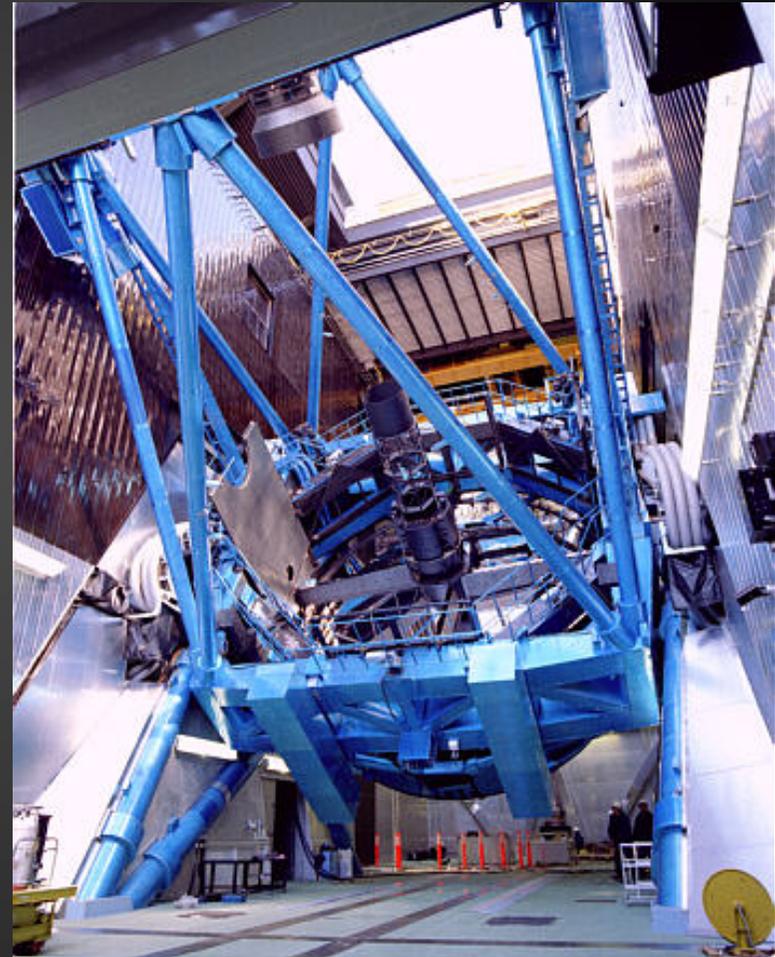
天体からの光が分光器に入る直前にヨウ素のセルを置く

→ 天体のスペクトルにヨウ素の吸収線が入る



ヨウ素の吸収線の位置は分かっているので  
天体のスペクトルの波長較正として使える

→ 比較的安価で出来る



© 国立天文台

# ヨードセル法

分光器の前で星の光をヨードセルに通す

$$I(\lambda) = k [A(\lambda) S(\lambda - \Delta_{\text{doppler}})] * \text{IP}$$

$A(\lambda)$ :ヨードセルの透過スペクトル

$S(\lambda)$ :星のテンプレート・スペクトル

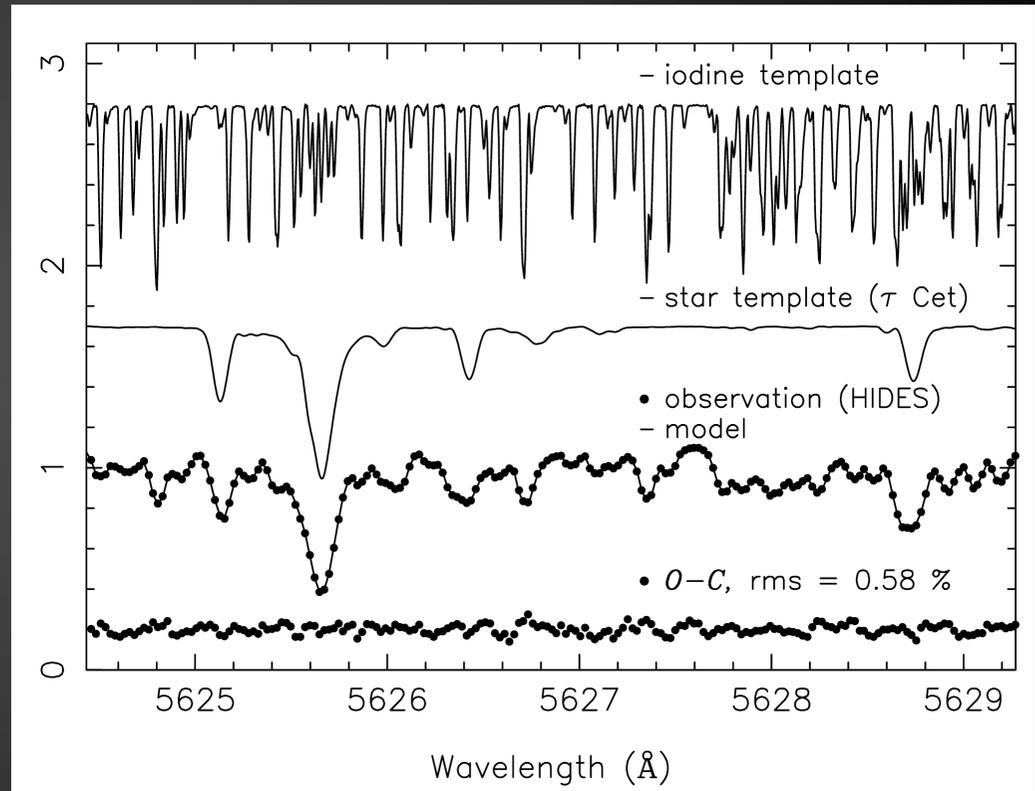
観測されたスペクトル  $I(\lambda)$  を  
右辺のモデルでフィッティング



best-fit な  $\Delta_{\text{doppler}}$  を計算し、視線速度を求める

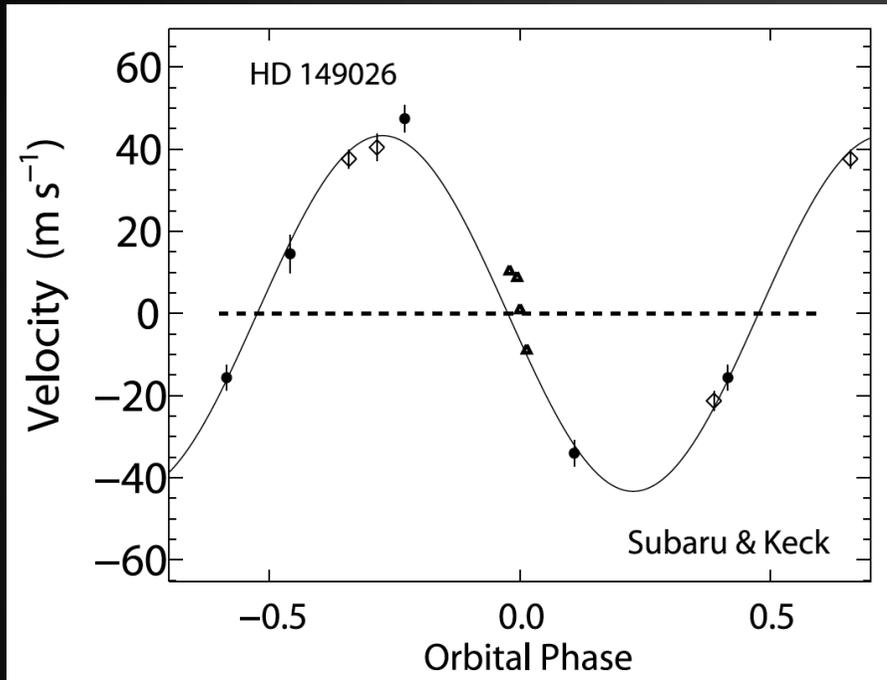
Sato et al. 2002

→ およそ **3 m/s程度**の視線速度決定精度が達成されている



# すばる望遠鏡での成果

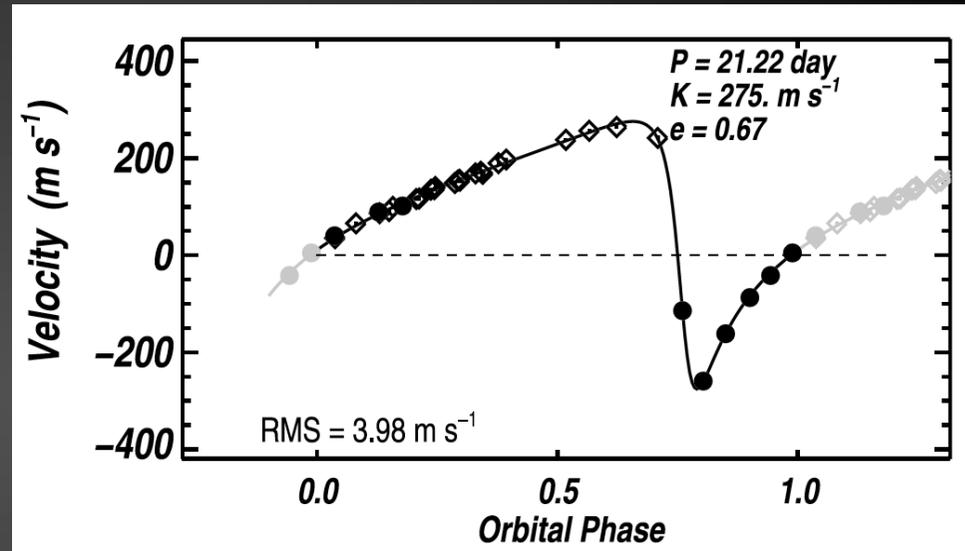
HD 149026



Sato et al. 2005

↑ すばるで見つけた最初の系外惑星

HD 17156



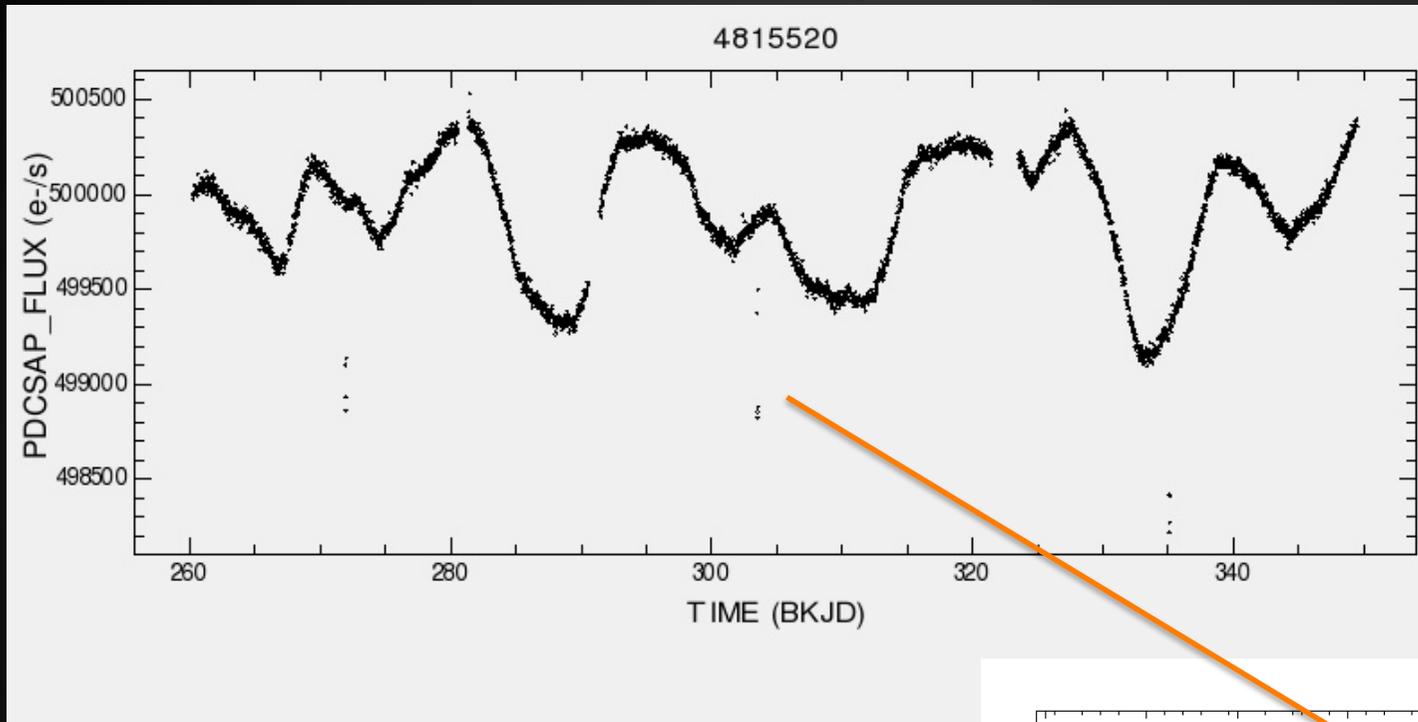
Fischer et al. 2007

↑ すばるで見つけた2番目の系外惑星  
エキセントリック・プラネット

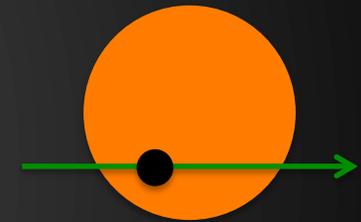
これまで数個の惑星がすばるで検出されている

# トランジット法

# トランジット惑星系

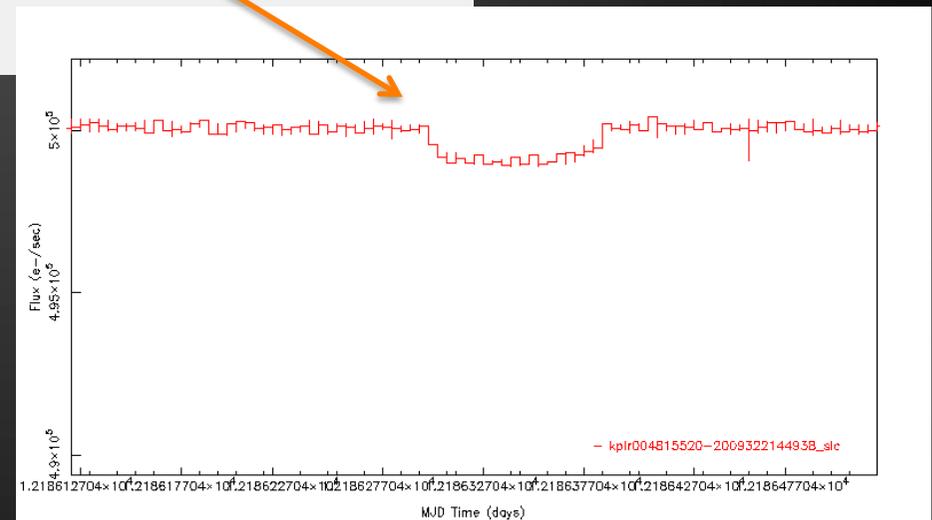


←ケプラーによる測光

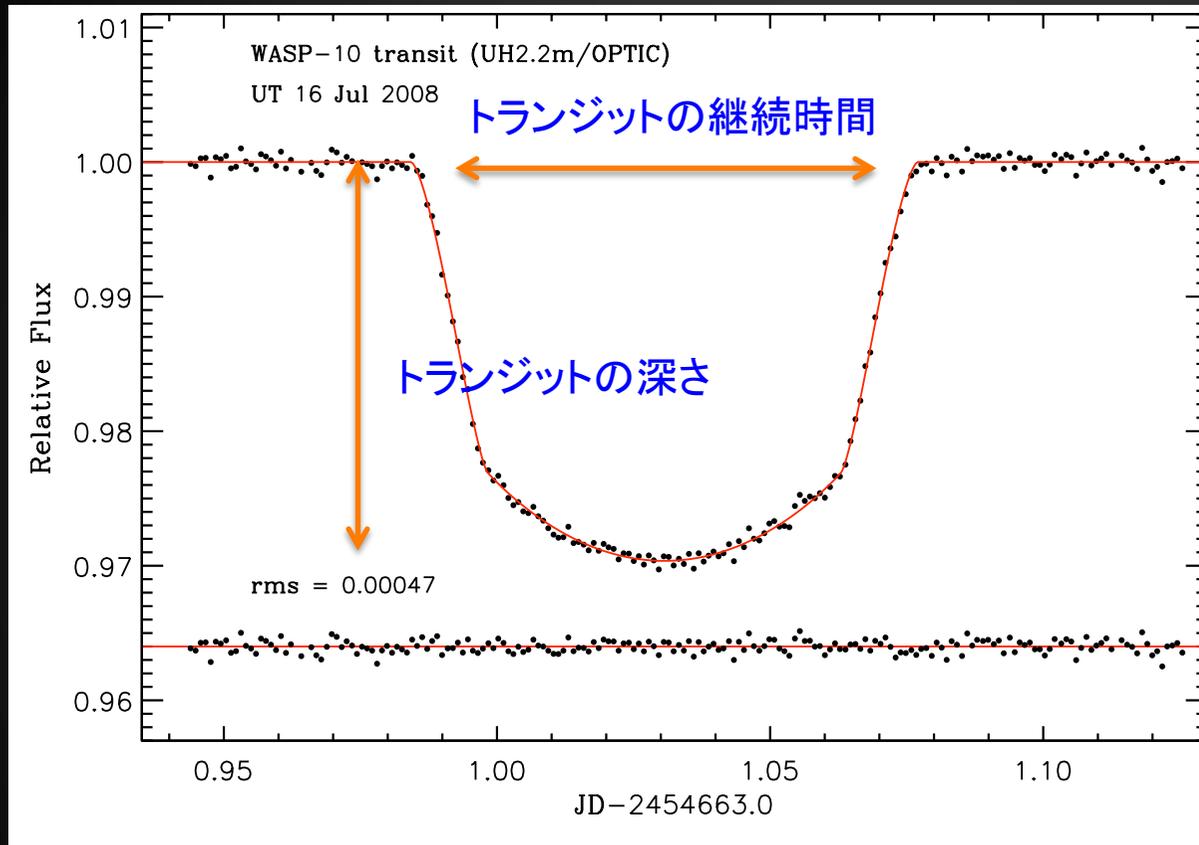


周期的な減光→惑星による恒星の食  
(=トランジット)

ケプラー望遠鏡によるトランジット惑星  
候補の発見 → すでに2000個以上！



# トランジットで分かる量



トランジットから分かる量

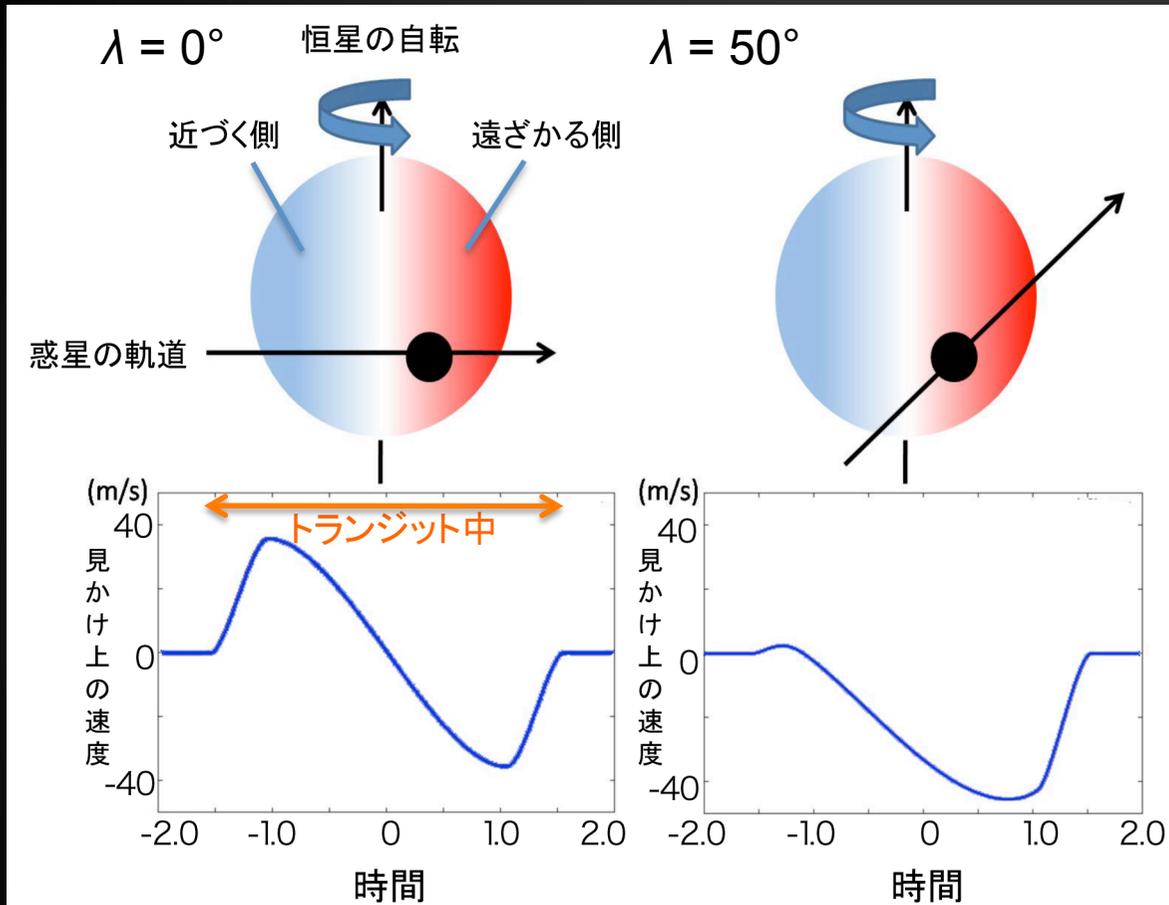
- 惑星の半径
- 軌道傾斜角
- 星の周辺減光
- ...

Johnson et al. 2009

さらに分光観測と組み合わせれば...

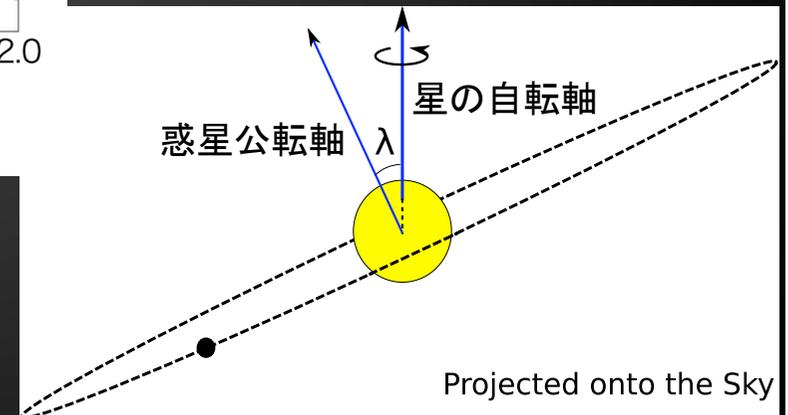
- ✓ ロシター効果 → 惑星系の進化の歴史を調べられる
- ✓ transmission spectroscopy → 惑星の大気組成を調べられる

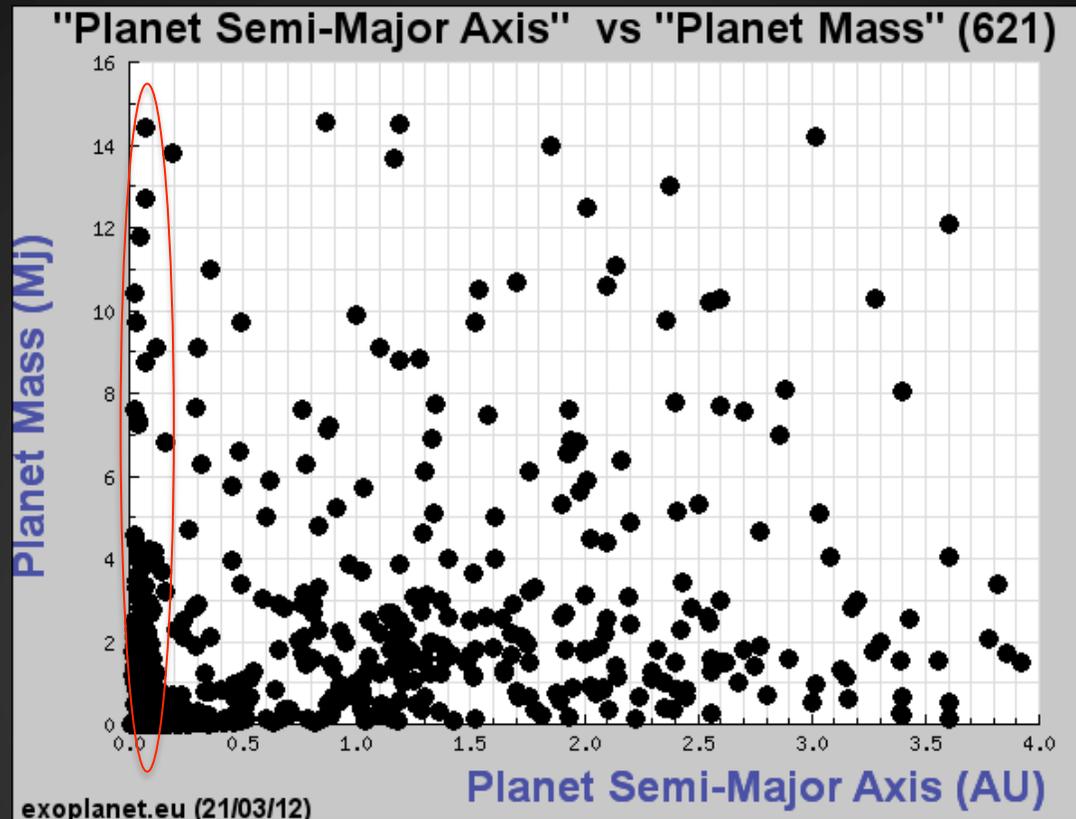
# ロシター効果



←縦軸: 主星の視線速度の  
ケプラー運動からのずれ

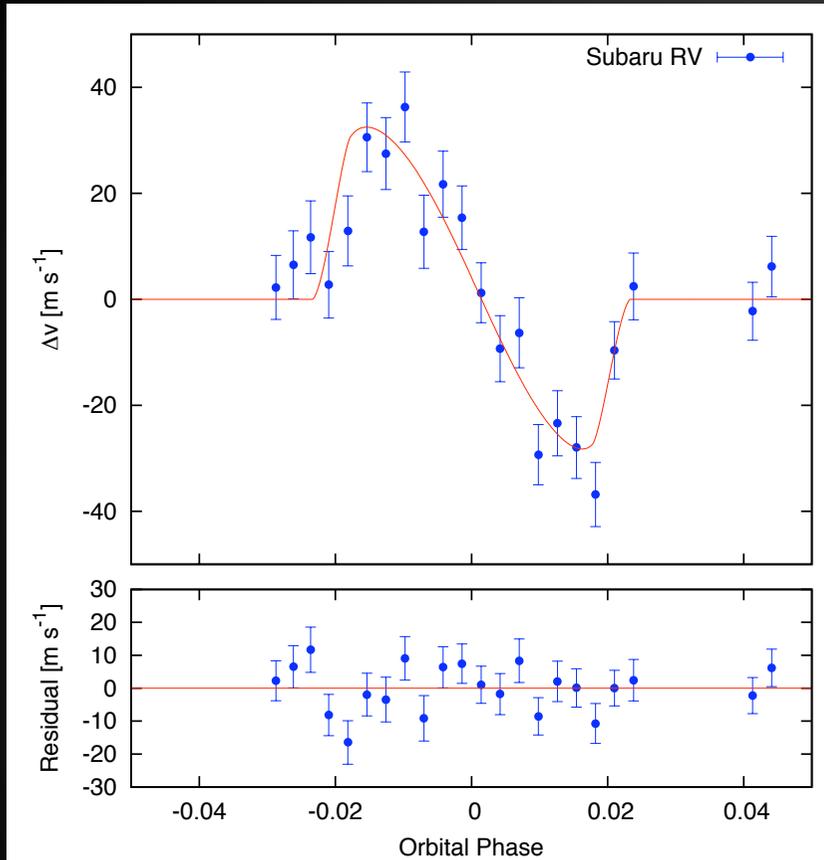
ロシター効果の観測から星の自転軸と惑星の軌道公転軸の関係が分かり、惑星の形成・進化モデルを議論する上で重要な鍵となる。





- ✓ 100個以上見つかった中心星近傍の**巨大惑星**
  - 惑星は中心星から数AUで形成され、**移動してきた**
- ✓ 原始惑星円盤との相互作用による惑星移動(e.g., Lubow & Ida 2010)や、惑星同士の重力散乱モデル(e.g., Nagasawa et al. 2012)などがある
- ✓ 惑星の軌道離心率や、軌道傾斜角はこれらのモデルを区別する上で重要な指標

# ロシター効果の観測結果(1)



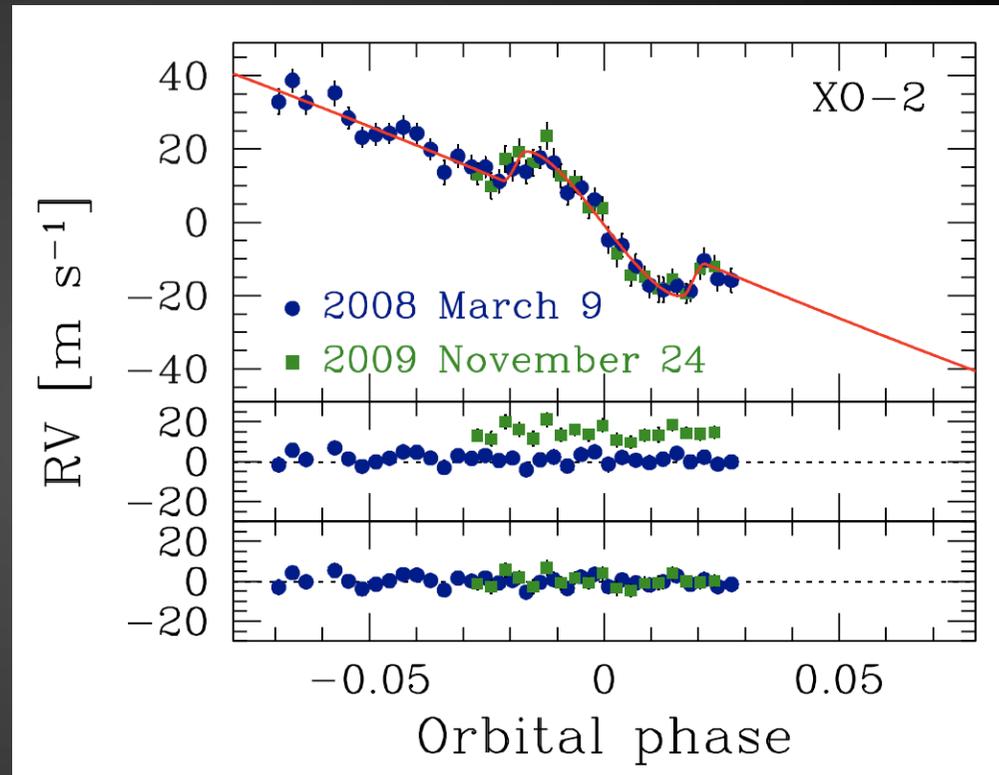
## HAT-P-16:

$T_{\text{eff}} = 6158 \pm 80 \text{ K}$

$\lambda = -8.4^\circ \pm 7.0^\circ$

$v \sin i = 3.9 \pm 0.3 \text{ km/s}$

Hirano et al. in prep.



## XO-2:

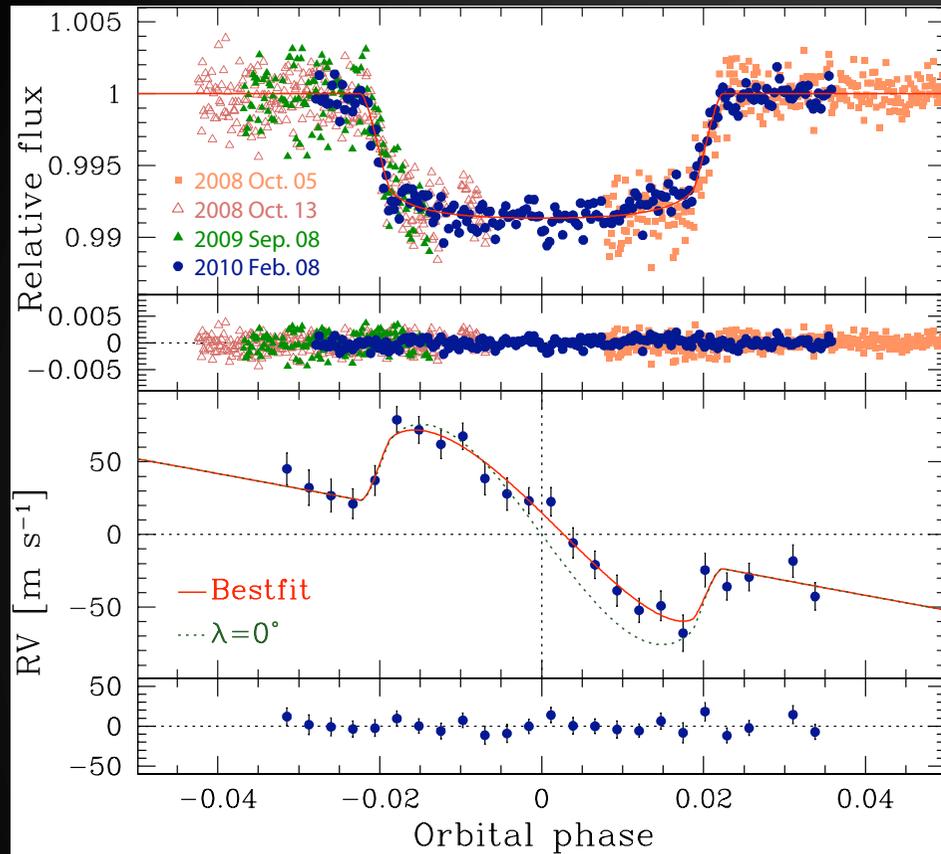
$T_{\text{eff}} = 5340 \pm 32 \text{ K}$

$\lambda = 10^\circ \pm 72^\circ$

$v \sin i = 1.5 + 2.7 - 0.1 \text{ km/s}$

Narita et al. 2011

# ロシター効果の観測結果(2)



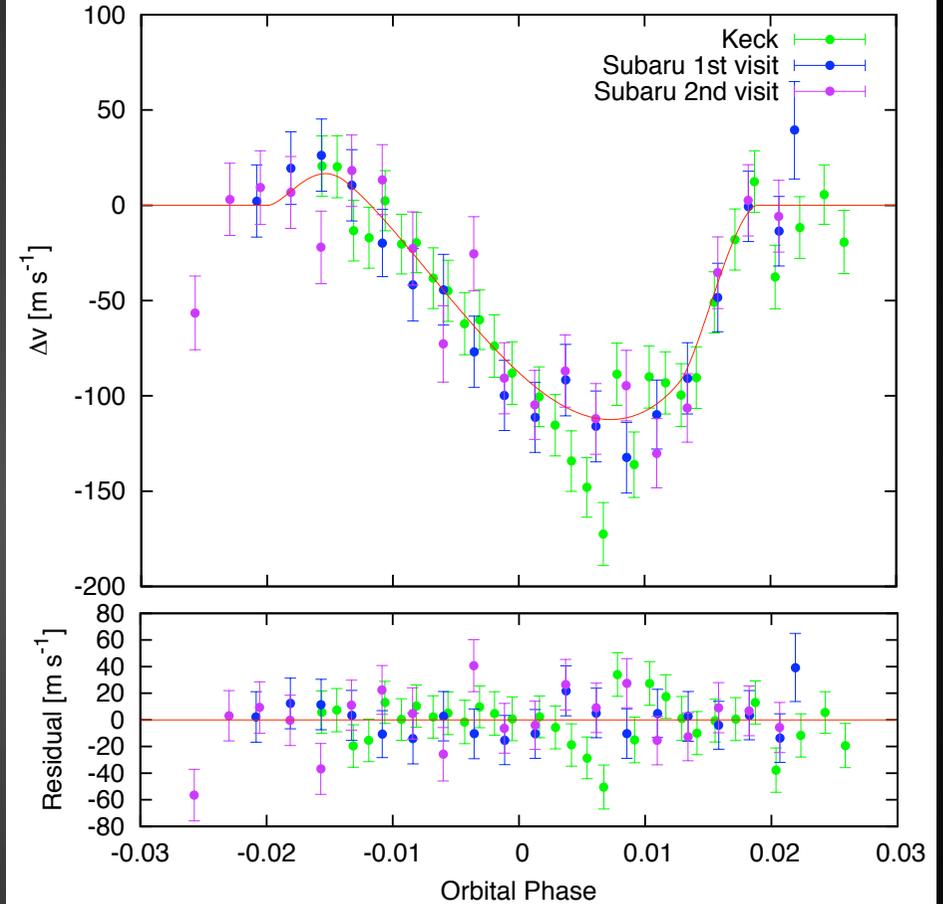
## XO-4:

$$T_{\text{eff}} = 6397 \pm 70 \text{ K}$$

$$\lambda = -46.7^\circ + 8.1^\circ - 6.1^\circ$$

$$v \sin i = 8.7 \pm 0.5 \text{ km/s}$$

Narita et al. 2010, PASJ



## XO-3:

$$T_{\text{eff}} = 6429 \pm 100 \text{ K}$$

$$\lambda = 37.4^\circ \pm 2.2^\circ$$

$$v \sin i = 18.4 \pm 0.8 \text{ km/s}$$

Hirano et al. 2011, PASJ

# まとめ

- これまで、主に視線速度法、トランジット法などによって700個を超える太陽系外惑星が発見されており、その数は日増しに増えている
- すばる望遠鏡では、高分散分光器HDSを用いた視線速度測定を実施する事でこれまでに数個の系外惑星を発見している
- 惑星による主星の食が起こるトランジット惑星系では、惑星の半径など系の重要な情報を得る事が出来る
- トランジットを起こしている系に分光観測を実施すると、**惑星の軌道と主星の時点の関係や惑星の大気**の情報などを知る事が出来る
- 今後はすばるを用いて、より小さな惑星の発見、性質の解明が進むものと期待される

→ IRD, 末永氏の講演参照