



# すばる望遠鏡HDSによる 太陽系外惑星の観測

国立天文台  
太陽系外惑星探査プロジェクト室  
成田憲保

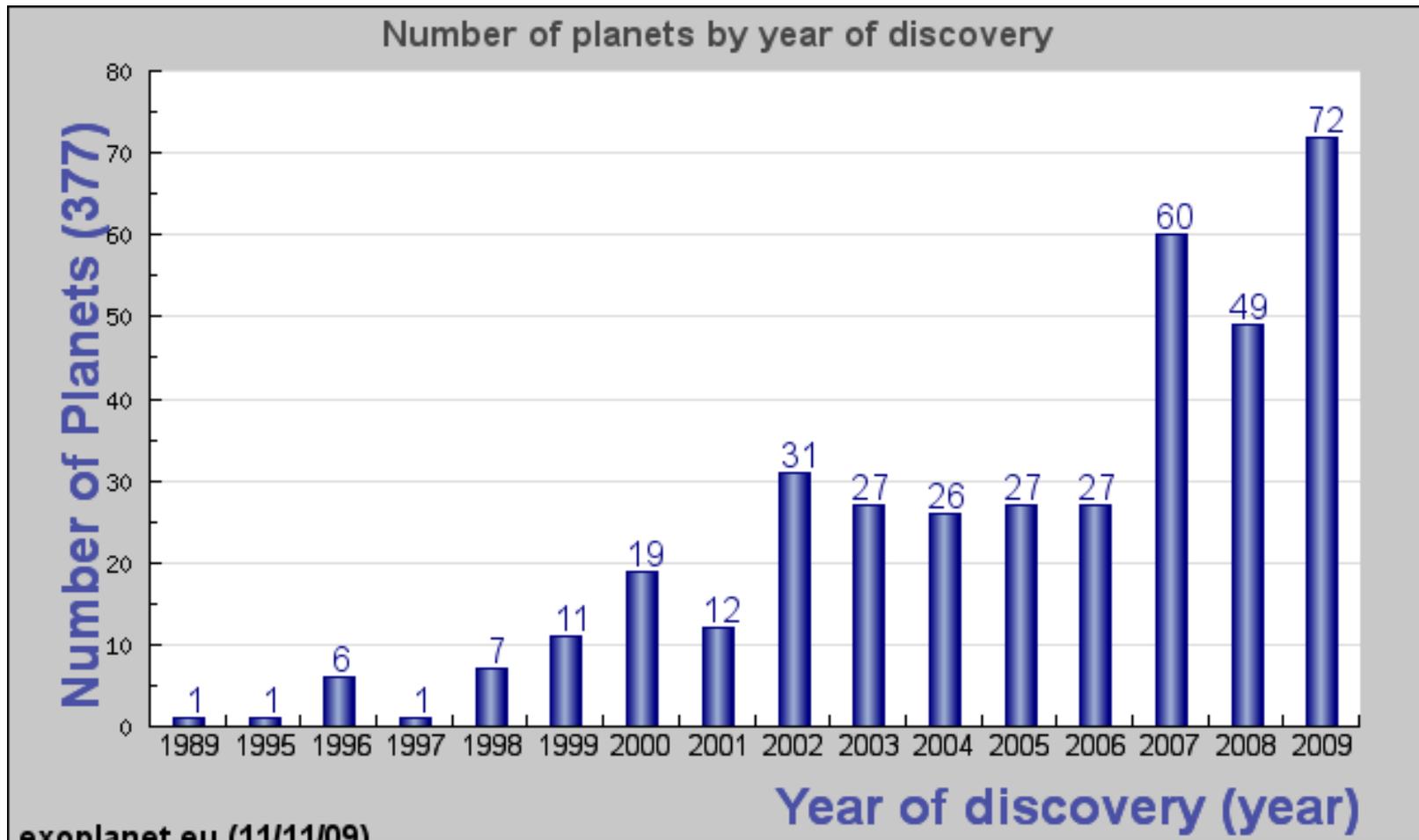
# 目次

- 太陽系外惑星について
  - ✓ 系外惑星の軌道と理論的背景について
- すばる望遠鏡HDSでの太陽系外惑星観測
  - ✓ 系外惑星の軌道から、系外惑星の誕生に迫ろう
- 将来の観測テーマ

# 太陽系外惑星について

- 1995年にスイスの研究者らによって初めて発見された

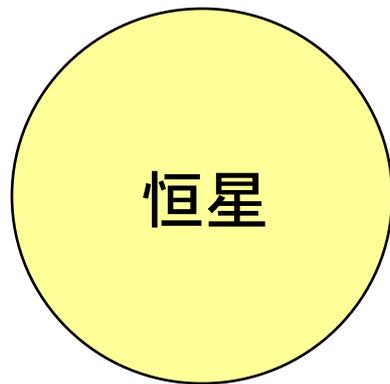
# 系外惑星の発見数



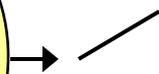
2009年10月までに、400個以上の系外惑星候補が発見されている

# 系外惑星の代表的な探し方

惑星が公転していると、恒星も反動で少しだけ動く



恒星

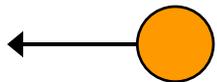


ドップラー効果を使って  
この速度を望遠鏡の装置で測定する

ちなみに

- ・ 太陽は  $\sim 10$  m/s でふらついている
- ・ 世界最高の装置は  $\sim 1$  m/s まで測定可
- ・ 将来は  $\sim 1$  cm/s の測定を目指している

惑星

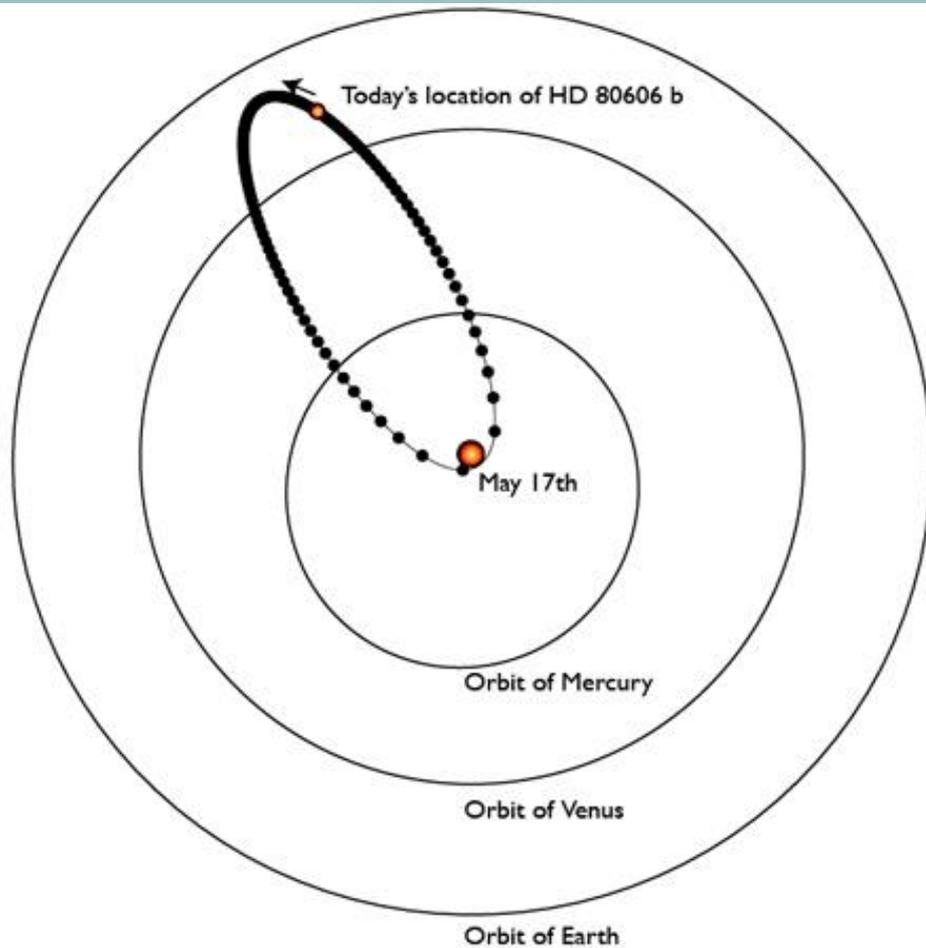


## 最初に見つかった惑星

- ・ 公転周期 ~ 4日! (水星でも88日)
- ・ 恒星(太陽)からの距離  
= 地球と太陽の距離の20分の1
- ・ 表面の温度 ~ 1000度
- ・ 惑星の大きさ → 太陽系の木星サイズ

灼熱の巨大ガス惑星

→ ホットジュピター

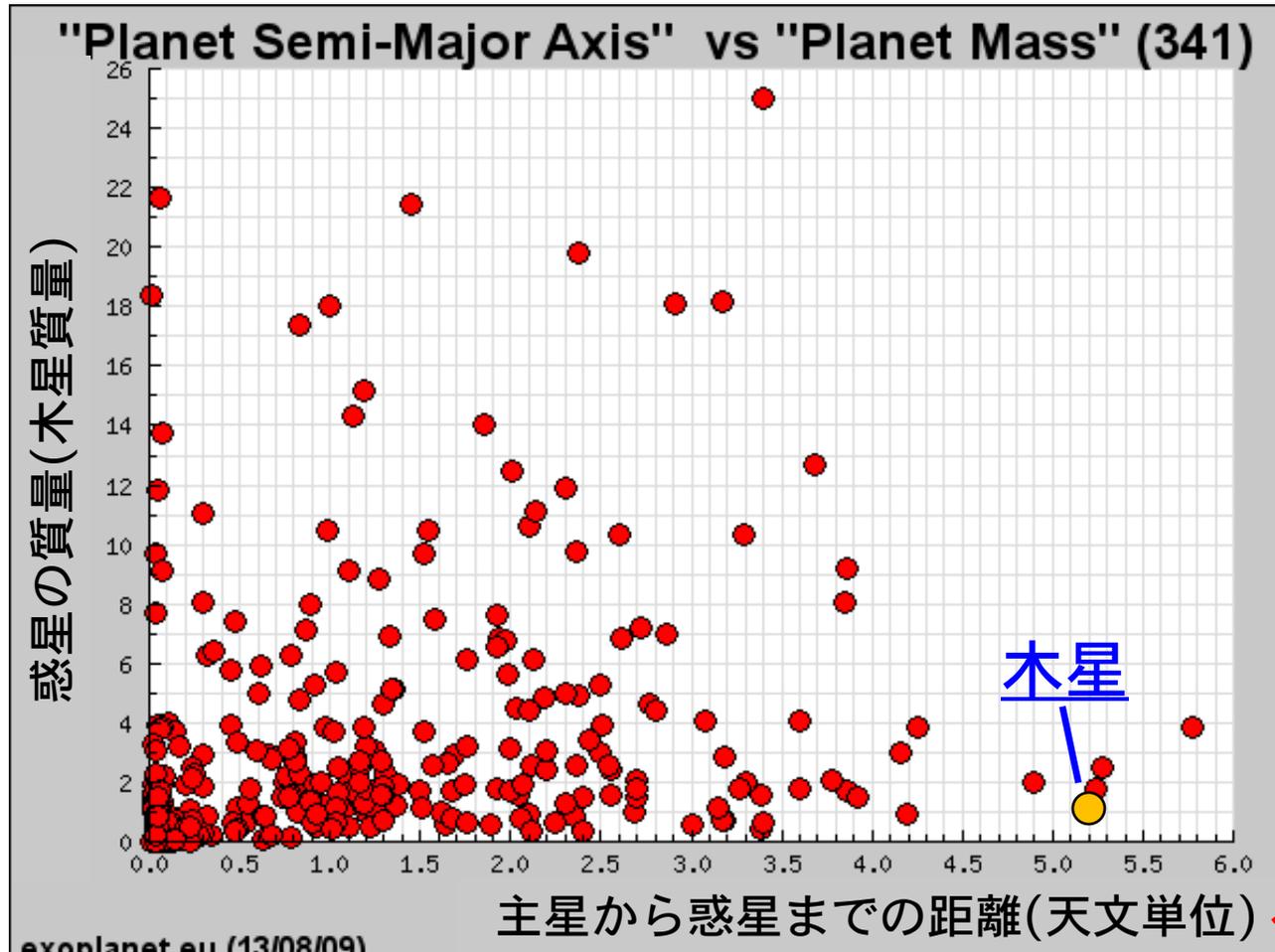


HD80606bという惑星の軌道  
近いところは恒星のすぐそば  
遠いところは地球あたり

軌道が細長いだ円の惑星

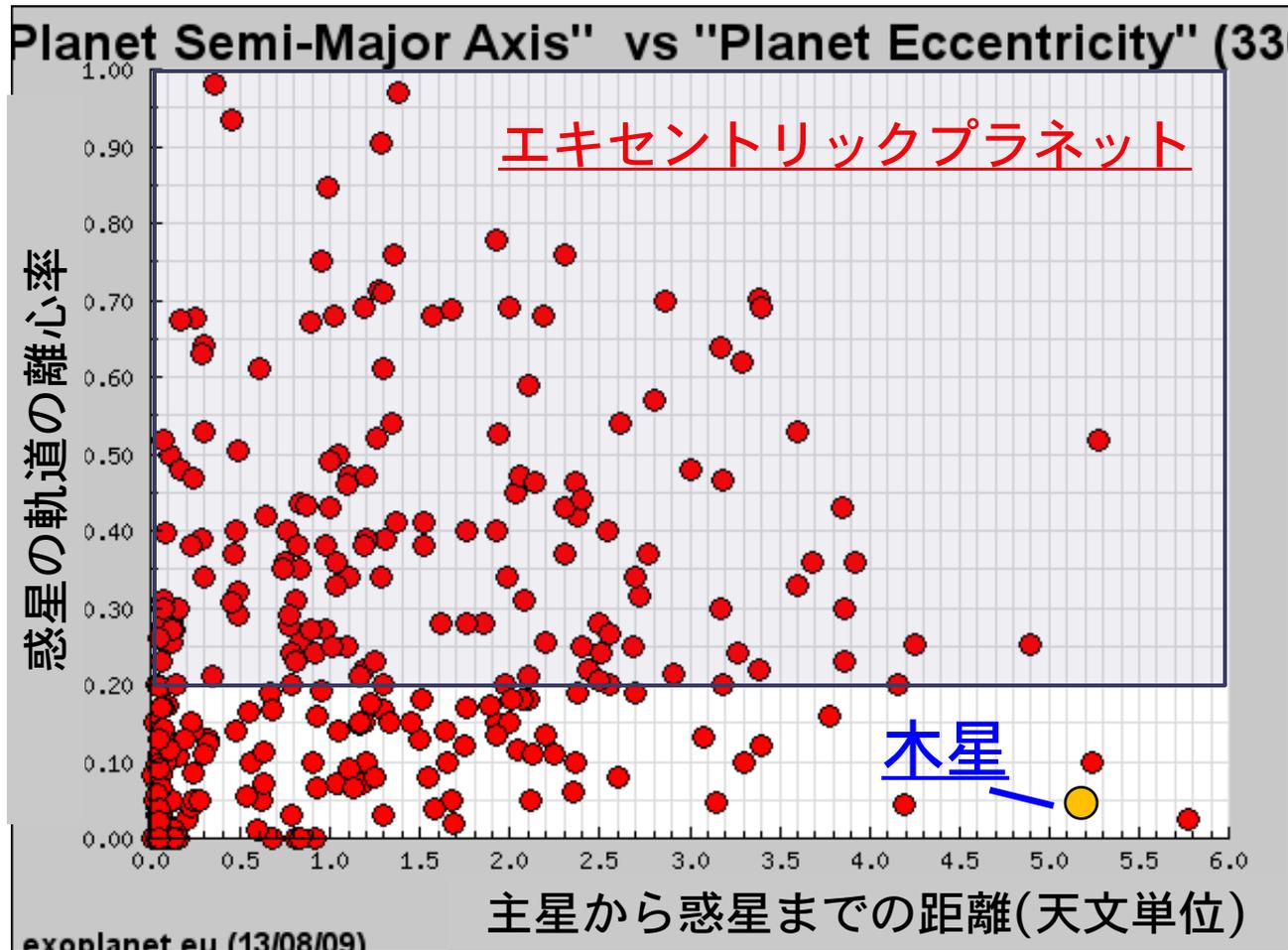
→ エキセントリックプラネット

# 太陽系外惑星の軌道：主星からの距離



木星のような巨大惑星がかなり内側の軌道にある

# 太陽系外惑星の軌道：軌道の離心率

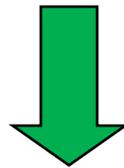


水星よりも細長いような、だ円軌道の惑星が多い

# 系外惑星の発見でわかったこと

宇宙にはさまざまな惑星系がある

- ・ホットジュピター
- ・エキセントリックプラネット



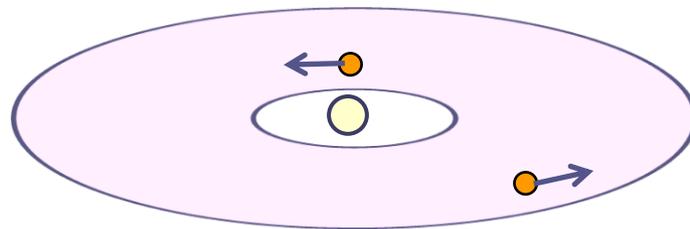
太陽系は宇宙の標準的な惑星系ではなさそう  
(でも特別なのかどうかはまだわからない)

# 太陽系外惑星の軌道の理論的説明

- 太陽系外惑星では太陽系の惑星とは全く異なった軌道の惑星が多い
- しかし、太陽系外でも最初は内側に小さな地球型惑星、外側に大きな木星型惑星ができると予想される
- 惑星が最初に形成された場所から現在の軌道へどうやって移動したのかを説明する理論が提案されてきた
  - ✓ 惑星落下モデル
  - ✓ 惑星散乱モデル
  - ✓ 古在移動モデル

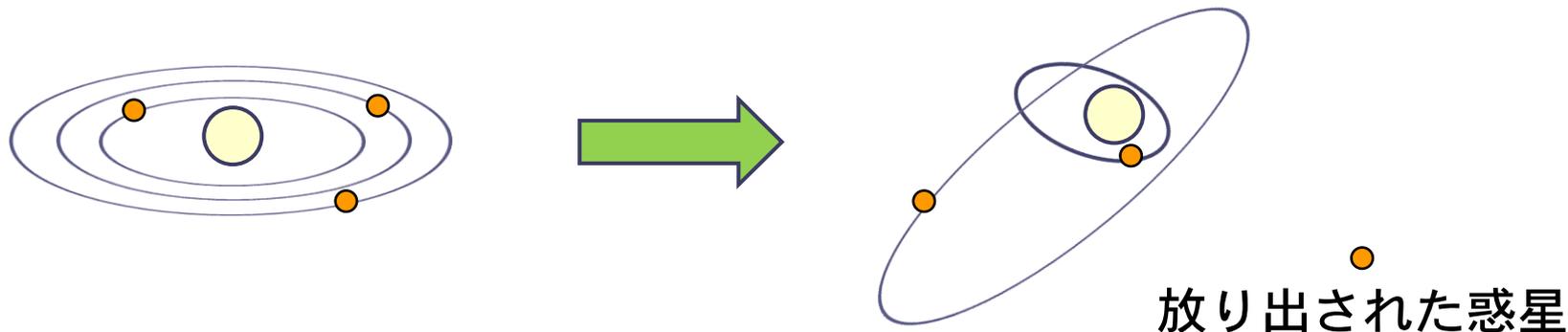
# 惑星落下モデル

- 原始惑星系円盤の中で公転しているうちに、惑星が少しずつ主星に向かって落下していくという移動モデル
- 太陽系のように、ほぼ円軌道の順行惑星ができる
- 太陽系外惑星の主星からの距離の分布を説明できる
- ただ、このモデルだけでは離心率の分布については説明できていない



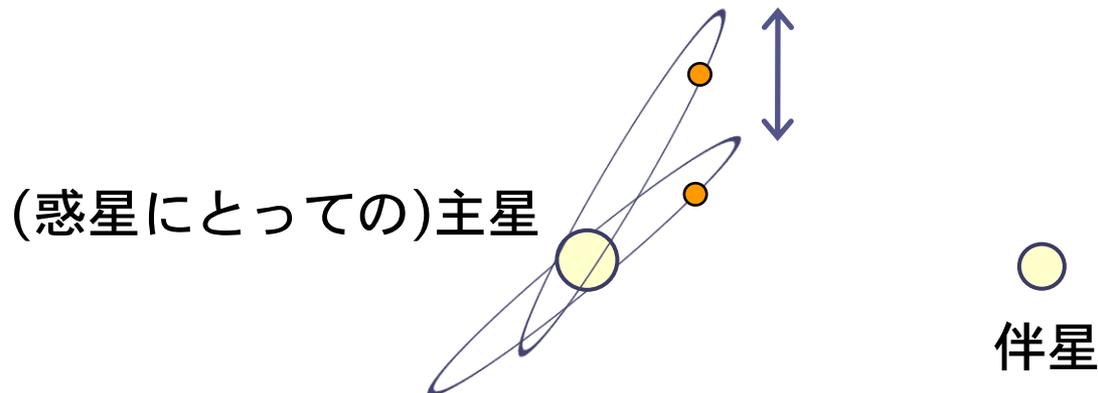
# 惑星散乱モデル

- 3つ以上の巨大惑星ができた場合に、惑星同士が重力でお互いをはじきとばして(散乱して)移動モデル
  - ✓ 2つの巨大惑星でも起こる場合がある
  - ✓ シミュレーション結果では、内側と外側に1つずつ惑星が残り、1つが惑星系から放り出される場合が多い
- 離心率を持った惑星、大きく傾いたり、逆行する惑星を予言



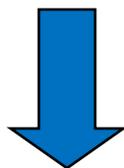
# 古在移動モデル

- 連星(2つの恒星がお互いに公転している)の一方に惑星がある場合、もう一方の恒星(伴星)の影響で惑星の軌道が変化する
  - ✓ 伴星の公転する軸と惑星の公転する軸が傾いている場合に起きる (主星の自転する軸とは無関係)
  - ✓ 惑星散乱モデルと組み合わせたモデルを東工大の長沢特任助教、井田教授らが提案し、大きな反響を得ている
- 離心率を持った惑星、大きく傾いたり逆行する惑星を予言



# 研究のモチベーション

多様な系外惑星がどのようにして誕生したのかを  
実際の観測で明らかにしたい



自分のアイデアをプロポーザルにして  
すばる望遠鏡で観測しよう！

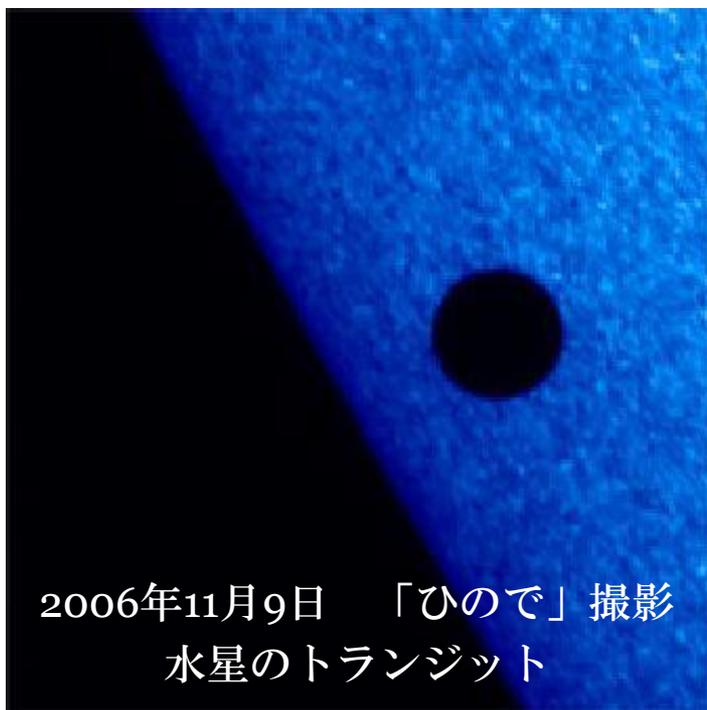
# 観測を提案する時に心がけていること

- 背景となる理論をしっかりと勉強すること
- 観測で何をどこまで明らかにできるのか把握すること
- 観測の実現可能性を検討すること
- 自分でこれは面白いと思えるプロポーザルを書くこと

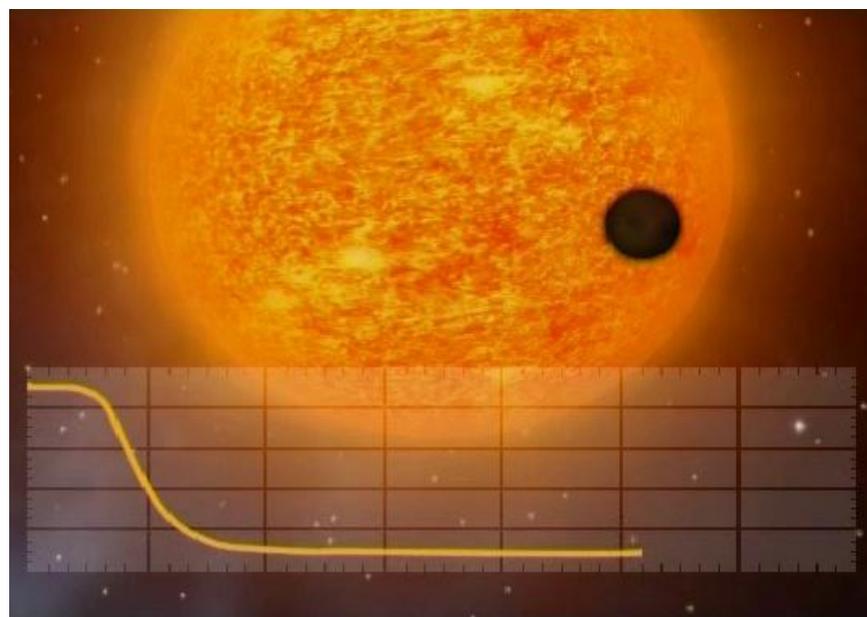
ここでは、そのひとつの結果を紹介します

# 太陽系外惑星のトランジット(食)

太陽系でのトランジット

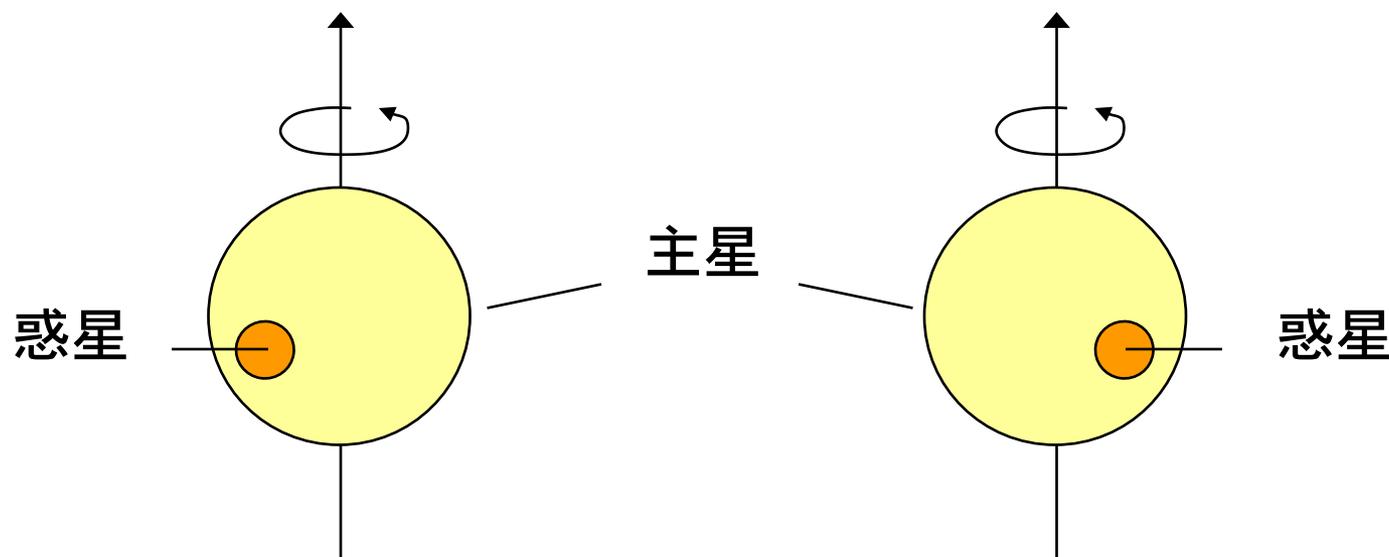


太陽系外惑星のトランジット



惑星が恒星の前を通過する現象

# トランジット惑星のロシター効果

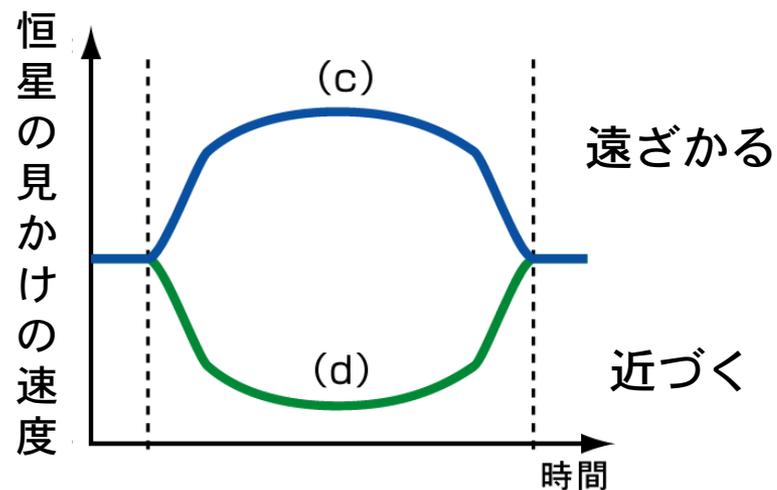
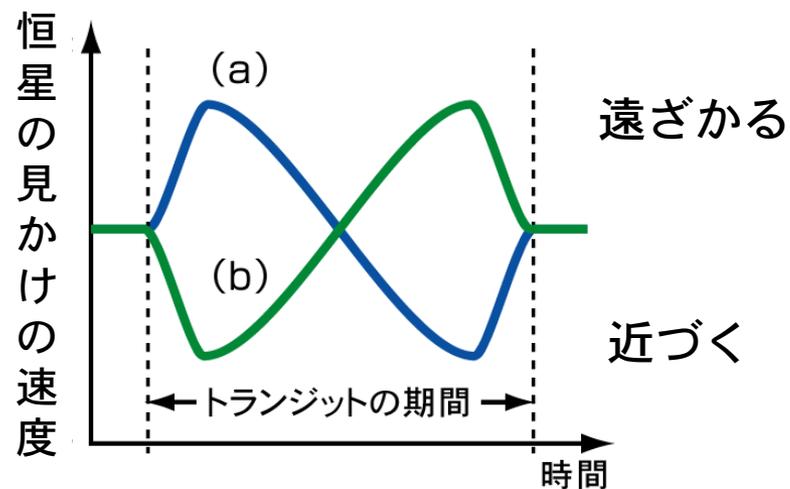
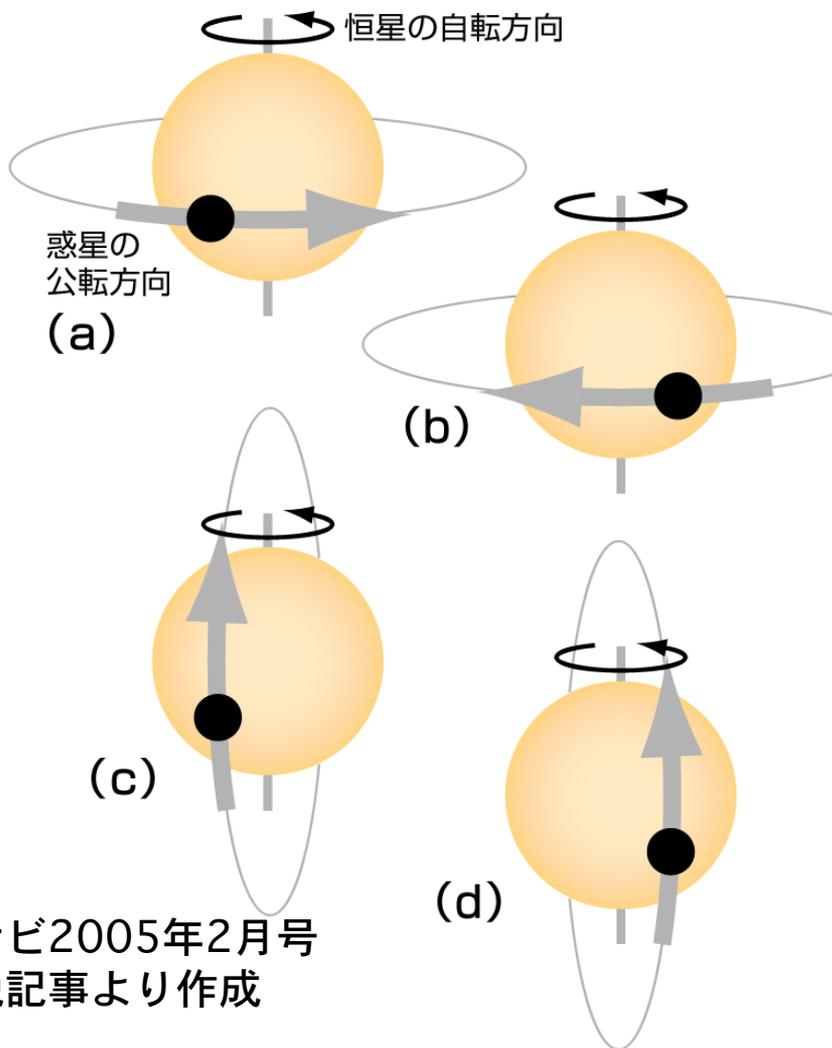


近づく側を隠す  
→ 遠ざかって見える

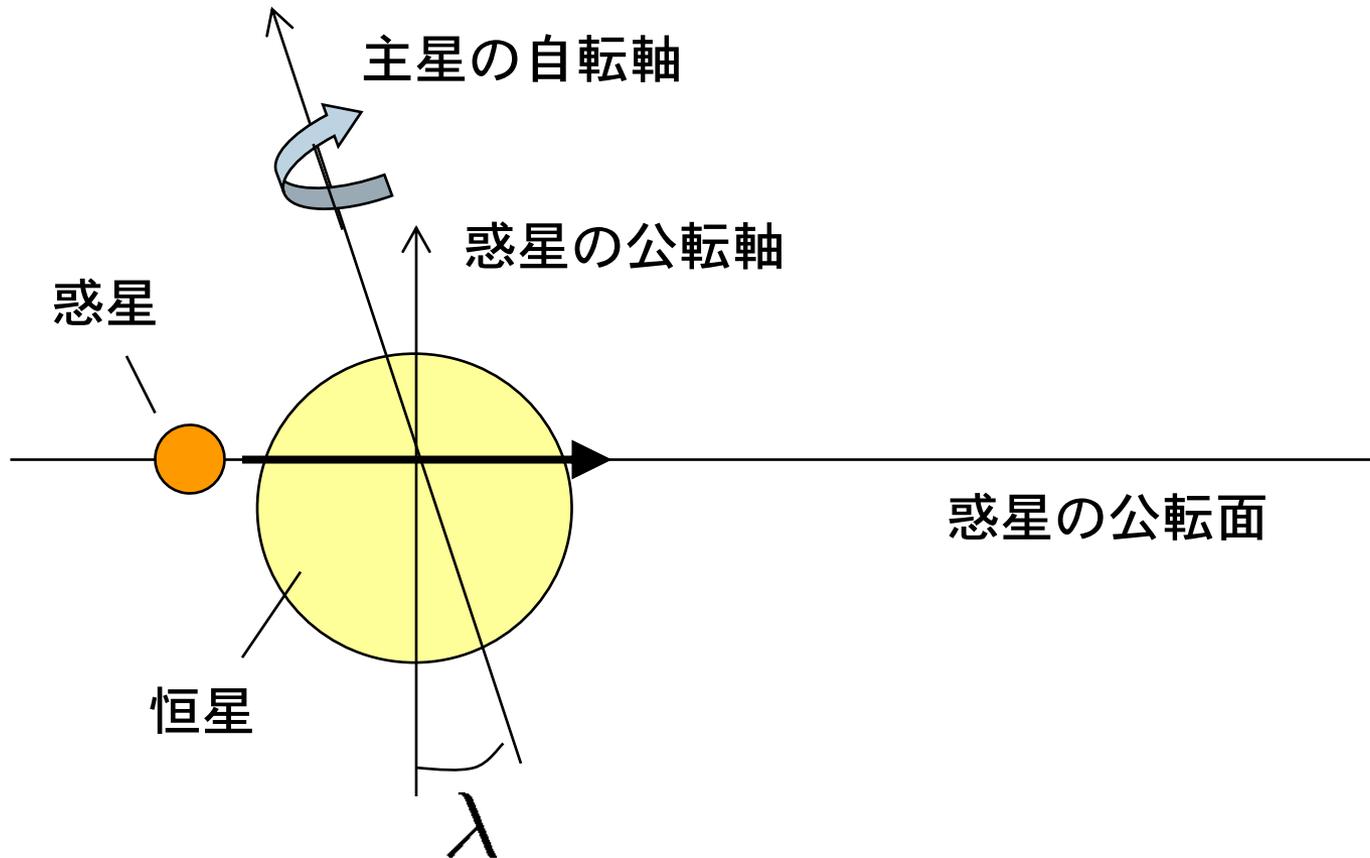
遠ざかる側を隠す  
→ 近づいて見える

この現象を利用して、トランジット惑星がどのような経路を  
主星の前を通過したかがわかる

# 惑星の公転方向とロシター効果の関係



# ロシター効果の観測でわかること

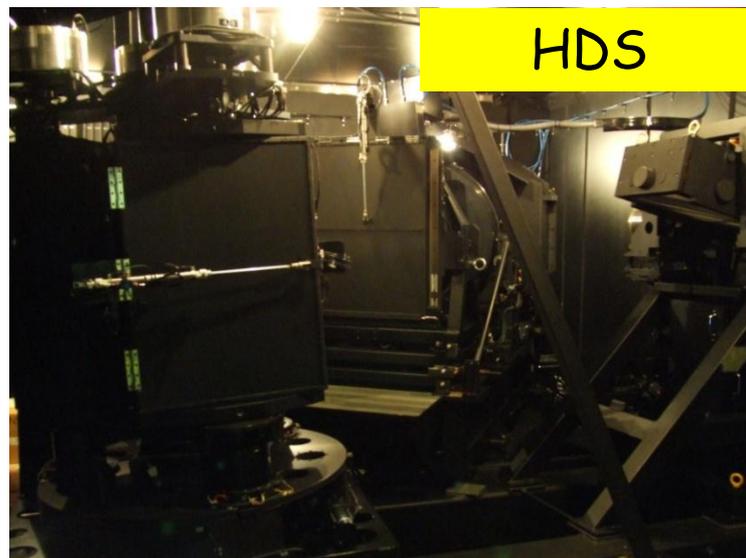
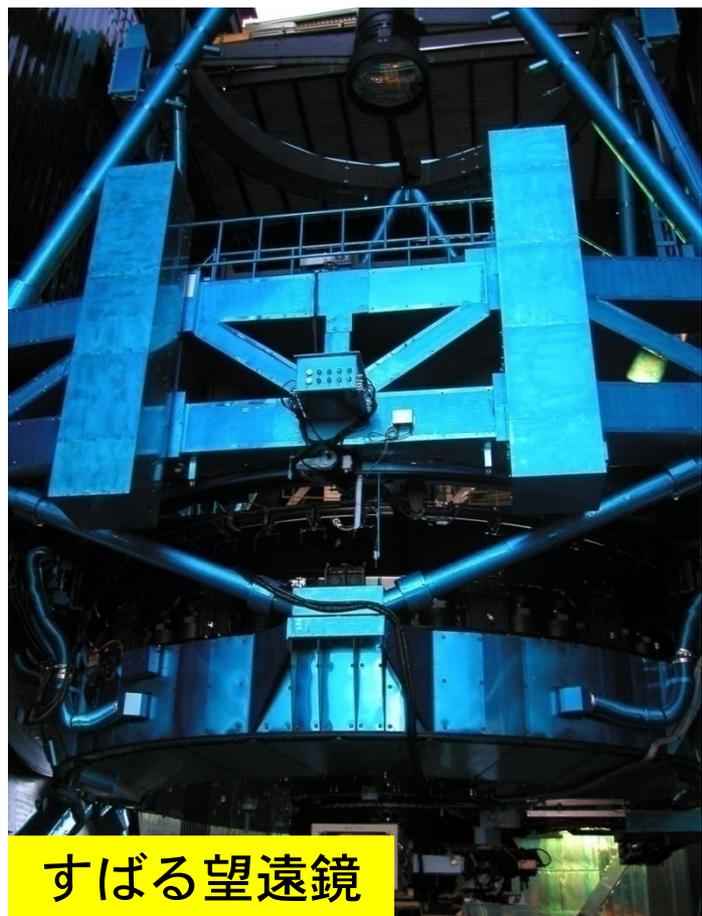


我々(地球)から見た太陽系外惑星の公転軌道傾斜角を測定できる

# プロポーザルに書いたこと

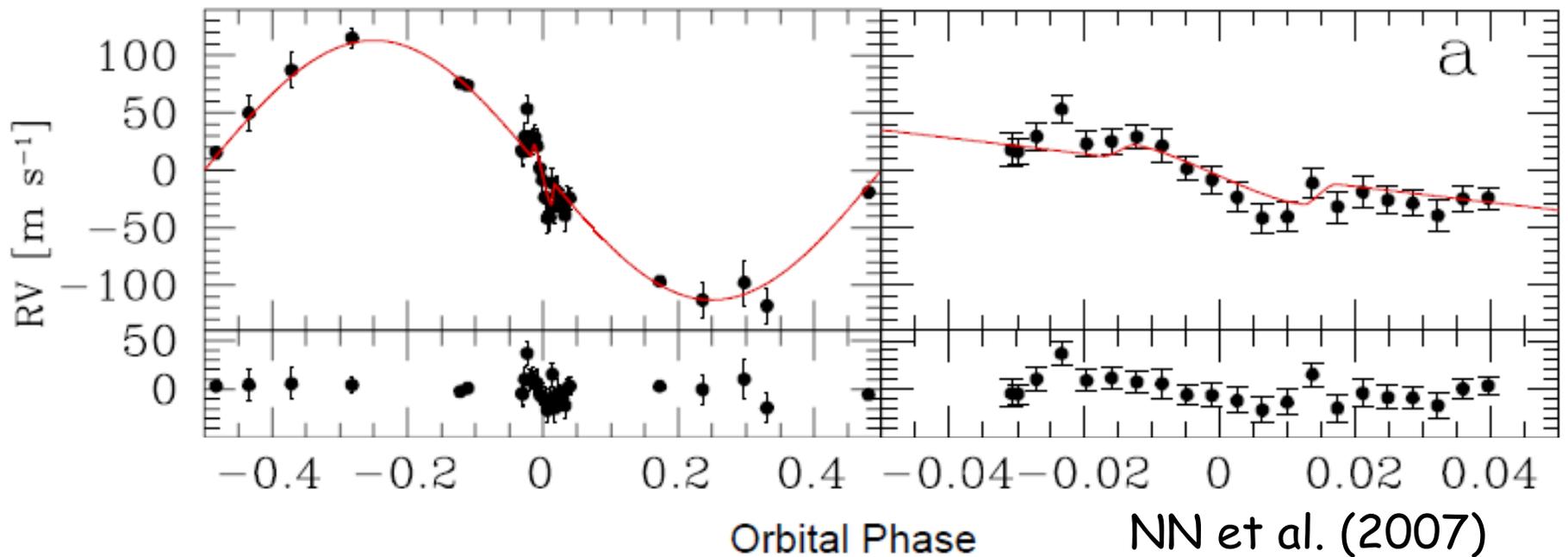
- ロシター効果を使って太陽系外惑星の公転軌道傾斜角を測りたい
- これを測定することで、多様な系外惑星がどうやってできたのかを知ることができる
- 具体的には、惑星移動モデルに対する観測的証拠や制限をつけることができる

# すばる望遠鏡での恒星の視線速度測定



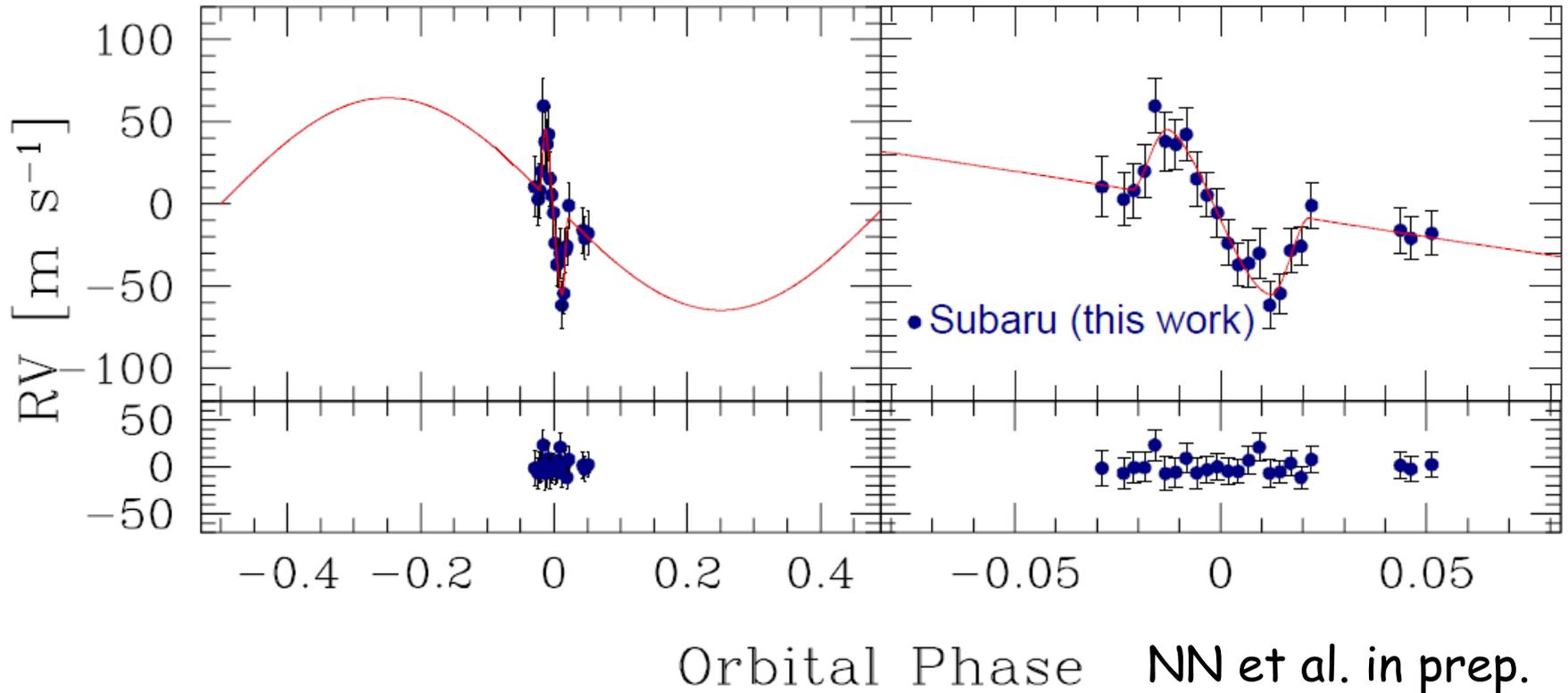
# TrES-1b (ホットジュピター)

## すばる/HDS での最初の観測例



惑星が順行して公転していることを確認 (世界で3例目)

# TrES-4b (連星系のホットジュピター)



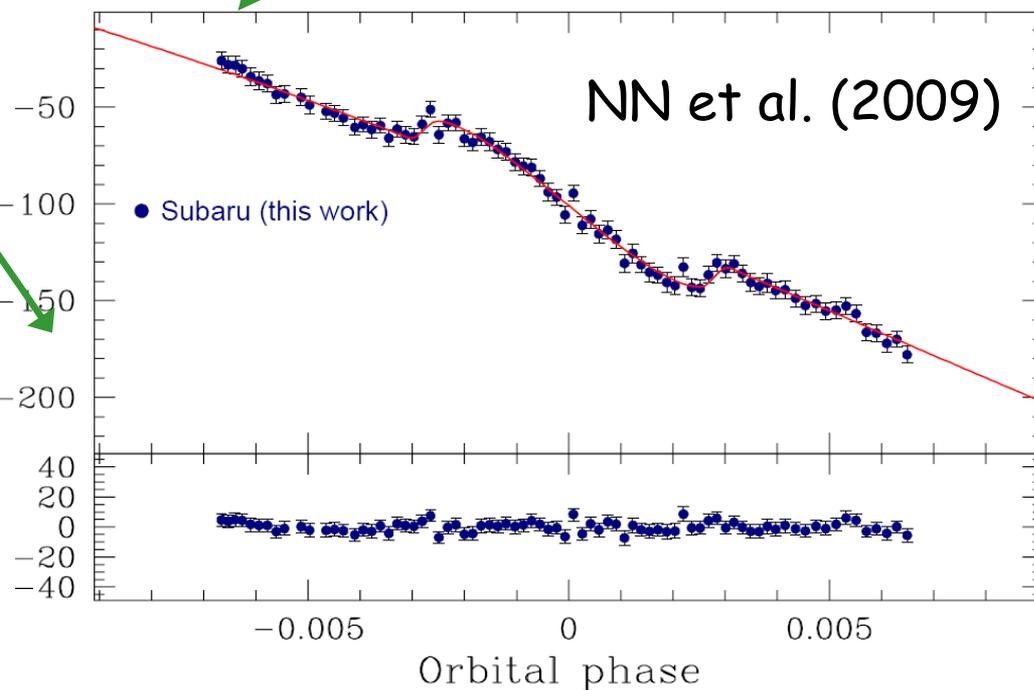
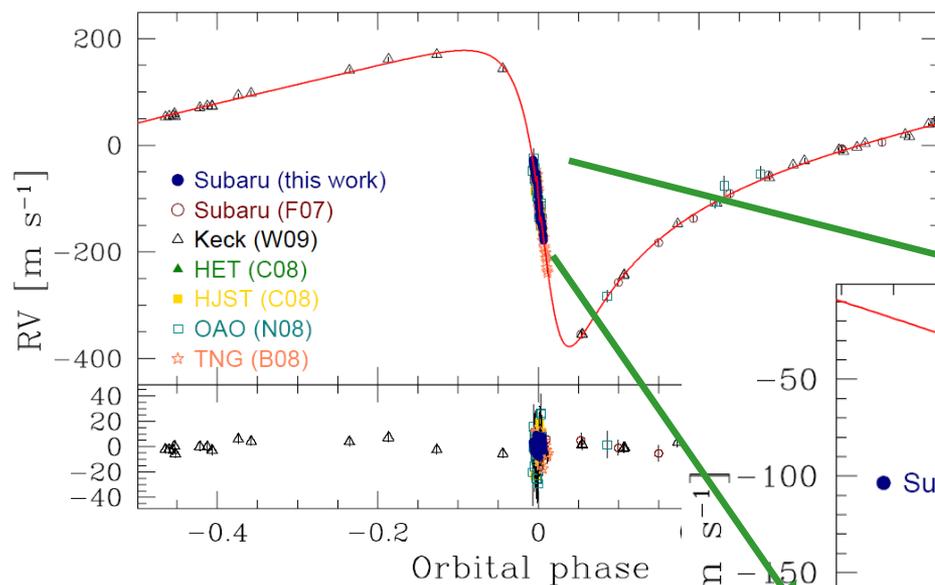
惑星の公転軸が主星の自転軸と非常によく揃っている

# HD17156b (エキセントリックプラネット)

公転周期: 21.2 日

離心率: 0.68

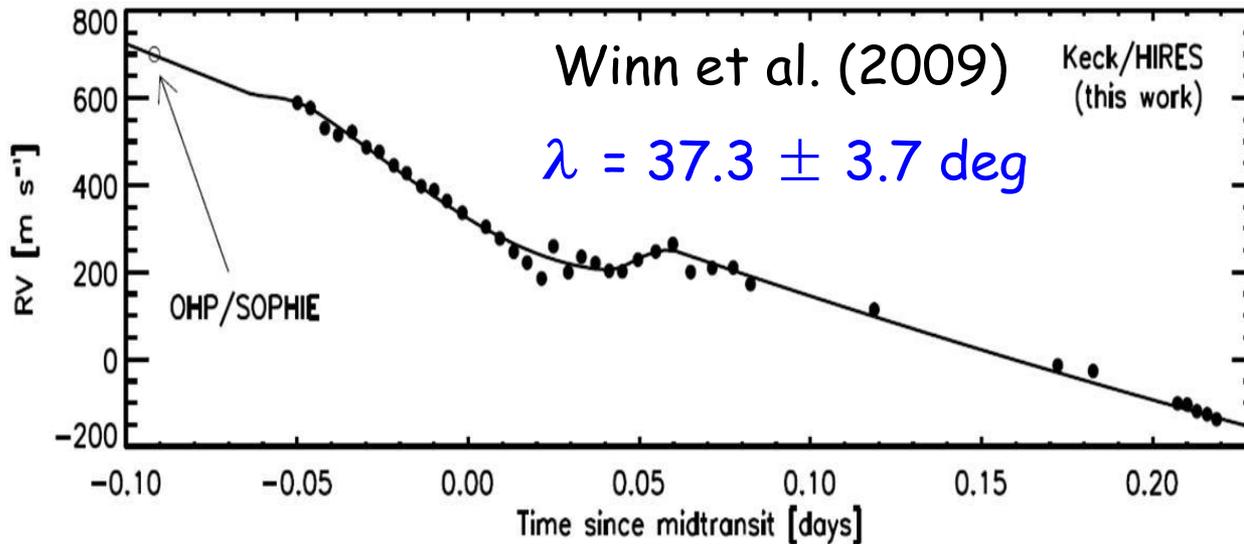
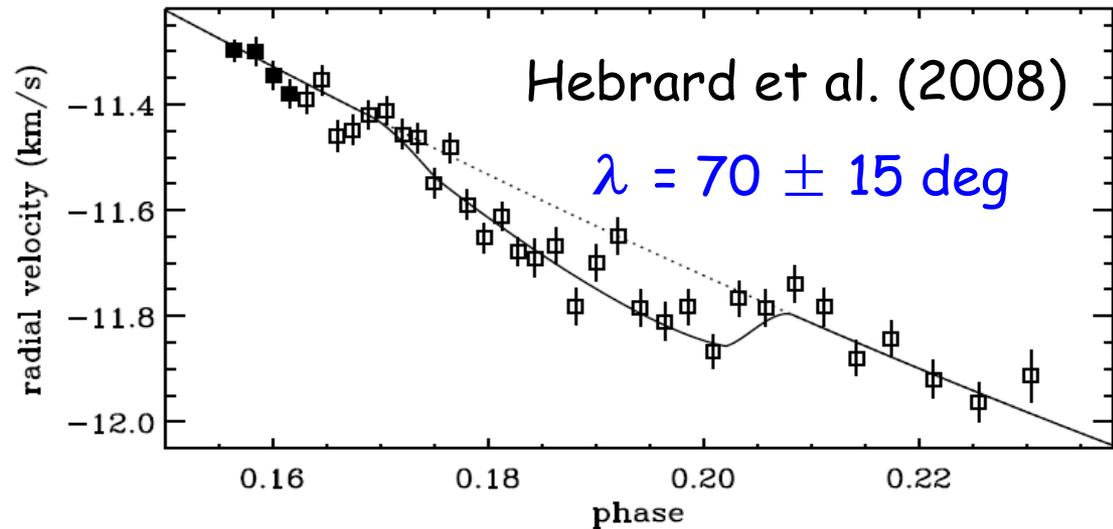
質量: 3木星質量



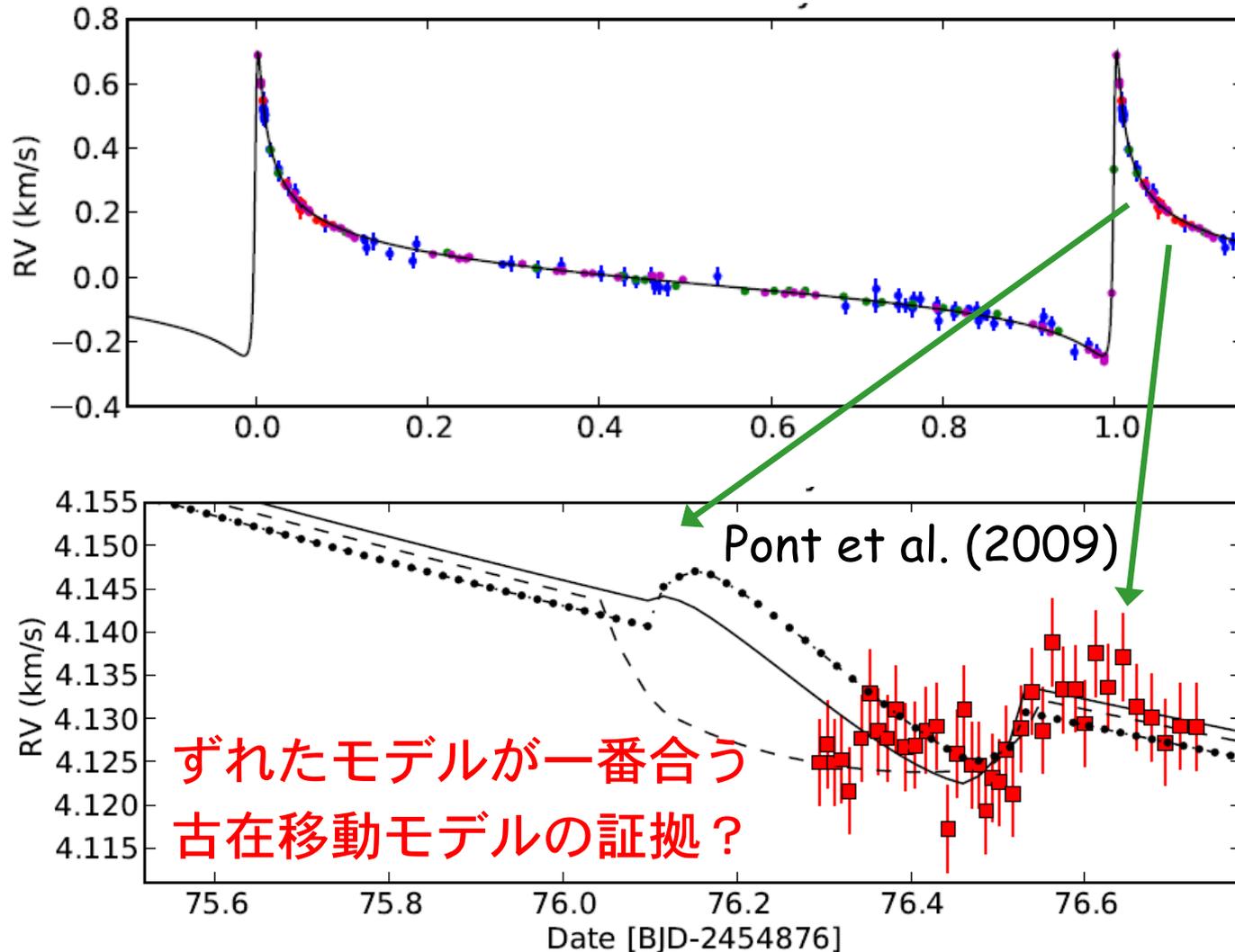
離心率は大きいですが2つの軸は10度程度で揃っている

# XO-3b (別のエキセントリックプラネット)

初めて大きな軌道の  
傾きが発見された



# HD80606b (連星系のエキセントリックプラネット)



# 先週のニュース



カテゴリー一覧  
サイトの登録  
無料ID活用

ウェブ | 登録サイト | 画像 | 動画 | ブログ | 辞書 | 知恵袋 | 地図 | 商品

検索

▶ 松井秀喜の活躍は？ ワールドシリーズ速報中 **NEW!** ▶ ポイント最大15倍、お買い物ならスタークラブ ▶ ハマる海外ドラマをGyaO!でイッキ見

- Yahoo!サービス
- ショッピング
- オークション
- 旅行、出張
- ニュース
- 天気
- スポーツ
- ファイナンス
- テレビ
- GyaO!
- 地図
- 路線
- グルメ
- 求人
- 不動産

## トピックス

経済

エンタメ

スポーツ

その他

11時0分更新

- 首脳会談 普天間先送り伝達へ
- 市橋容疑者 実在男性名を使う
- 建物に衝突 車の男女4人死亡
- 眞子さま、国際基督教大合格
- 「逆回り」太陽系外惑星発見
- WJリーグ速報 松井が先制弾
- 円楽さん通夜 楽太郎涙の対面
- GreeeeN「解散なんかしません」 **NEW!**



攻守にミス響く

11月5日7時1分配信  
スポニチアネックス

今日の話(7件) 一覧

インフルエンザ情報 ワクチンの接種方針ほか最新ニュース

いまGyaO!で人気 「2012」衝撃のロサンゼルス崩壊シーン

11月8日(日)までミスドへ急げ! 急げ  
**ドーナツ 100円セール**  
パイもお得な120円(税込) (税込)  
お店検索&クーポンつきデジタルチラシはココから!  
※一部ショップでは実施していません。  
※一部対象外の商品があります。

## ログイン

IDでもっと便利に[新規取得]

登録情報

メール-メールアドレスを取得

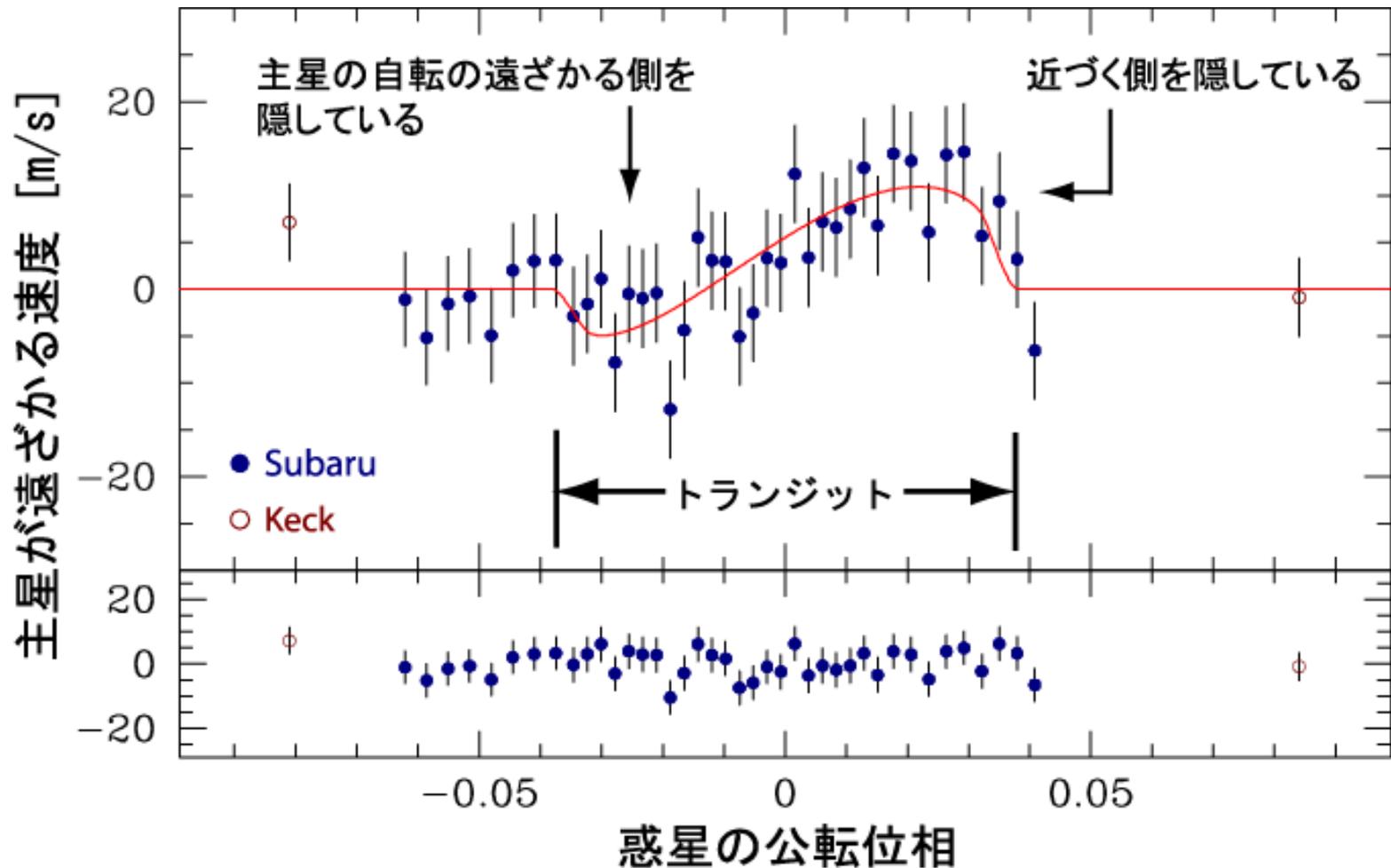
2009年11月5日(木)

今日の天気

☁️ --% | --℃/--℃

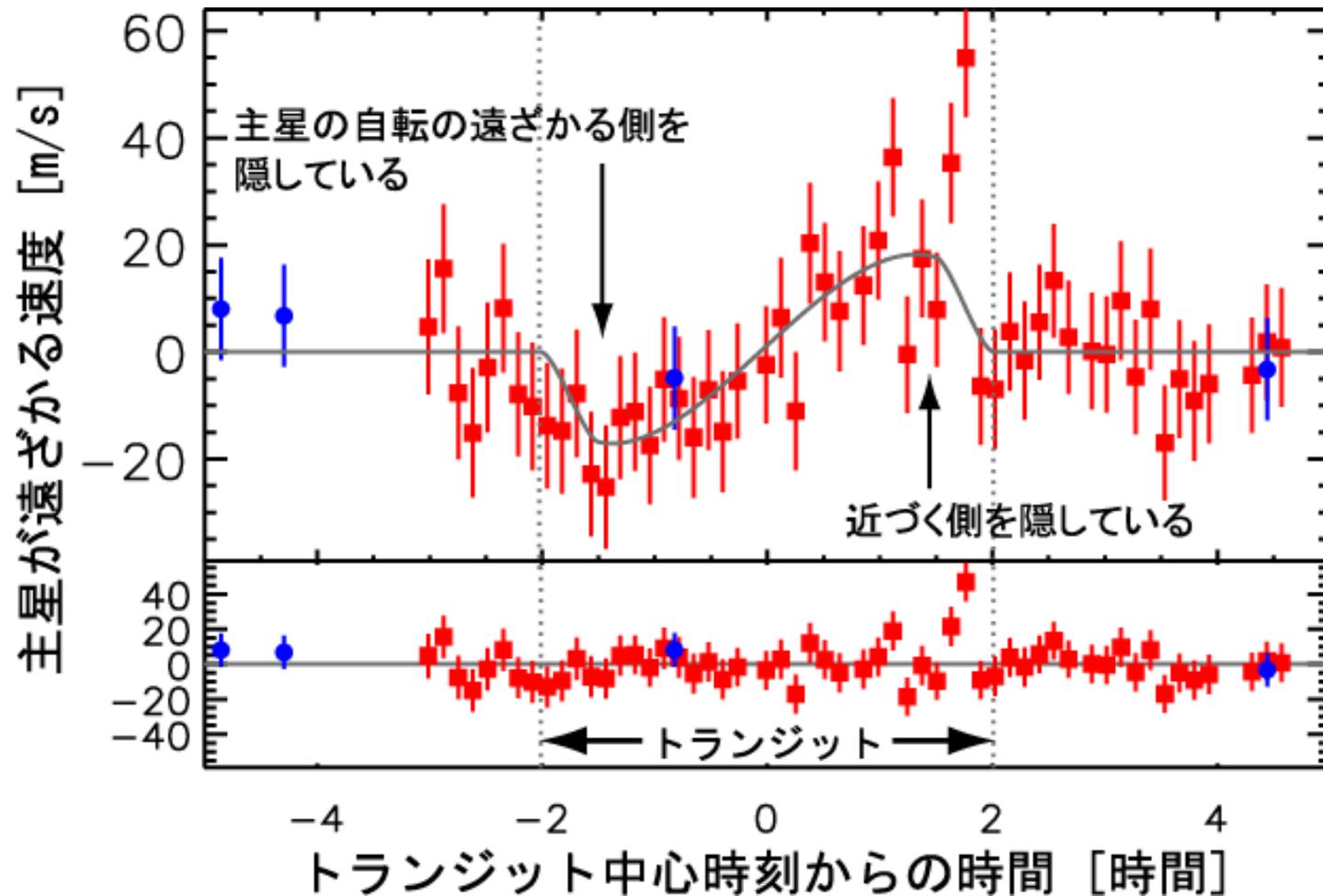
日	月	火	水	木	金	土
25	26	27	28	29	30	31
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14

# HAT-P-7b (地球から見て逆行している系外惑星)



Narita et al. (2009)

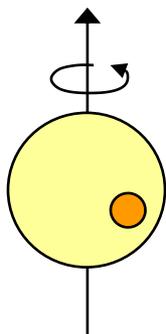
# アメリカグループの観測結果



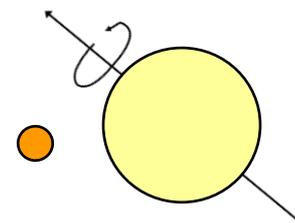
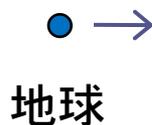
Winn et al. (2009)

# 得られた結果

- 地球から見ると、この惑星は主星の自転に逆行している
- 主星の自転軸が傾いている可能性(下図)まで考慮すると、99.73%の統計精度で86.3度以上の傾き
- (わずかながら非常に傾いた順行の可能性も残っている)
- 主星の自転の傾きを別の方法で測定すれば、傾きの角度を決定できる



地球から見た惑星系



主星の自転軸が傾いている場合

# ロシター効果の観測の現状

- 現在までに**16個**の惑星で観測されている

- ◆ HD209458 Queloz+ 2000, Winn+ 2005
- ◆ HD189733 Winn+ 2006
- ◆ TrES-1 Narita+ 2007
- ◆ HAT-P-2 Winn+ 2007, Loeillet+ 2008
- ◆ HD149026 Wolf+ 2007
- ◆ HD17156 Narita+ 2008,2009, Cochran+ 2008, Barbieri+ 2009
- ◆ TrES-2 Winn+ 2008
- ◆ CoRoT-2 Bouchy+ 2008
- ◆ XO-3 Hebrard+ 2008, Winn+ 2009
- ◆ HAT-P-1 Johnson+ 2008
- ◆ HD80606 Moutou+ 2009, Pont+ 2009, Winn+ 2009
- ◆ WASP-14 Joshi+ 2008, Johnson+ 2009
- ◆ HAT-P-7 Narita+ 2009, Winn+ 2009
- ◆ WASP-17 Anderson+ 2009
- ◆ CoRoT-1 Pont+ 2009
- ◆ TrES-4 Narita+ to be submitted

Red: Eccentric

Blue: Binary

Green: Both

# ロシター効果の観測の現状

- 現在までに**16個**の惑星で観測されている
- そのうち**6個**の惑星で逆行を含む大きな公転軌道傾斜角が報告された
  - ✓ 1個は2008年、5個が2009年夏に報告された
  - 惑星散乱モデルや古在移動モデルの証拠が次々と発見されている
- **惑星の移動過程（惑星系の形成過程）が今まさに明らかになりつつある**

# 今後の展望：新たな観測対象

- これまでのロシター効果の観測は巨大惑星に対してのみ
- 今後は最近発見されつつある**地球型のトランジット惑星**に対しても同様な研究が可能となってくる
- 惑星系の成り立ちを近い将来に解き明かすことができる
- 今後のプロポーザル結果に期待

# 今後の展望：他の研究テーマ

- 系外惑星にはまだたくさんの研究テーマが残されている
- 例えば、惑星の大気を調べたり、温度を測ったり…
- 今後は地球型惑星の観測も現実的になってくる
- **研究したい人はぜひ太陽系外惑星探査プロジェクト室へ**