

# すばるN2Kサーベイのその後

佐藤文衛  
東工大

共同研究者:

原川紘季、井田茂、堀安範(東工大)

大宮正士(KASI)

Debra Fischer(Yale Univ.)

# N2K コンソーシアム

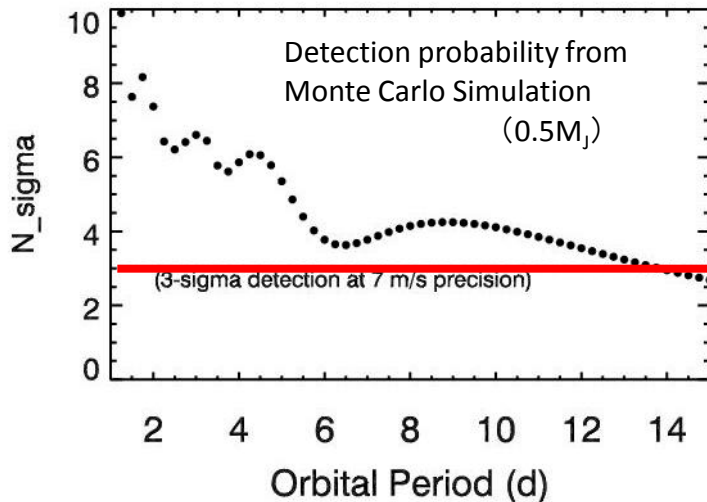
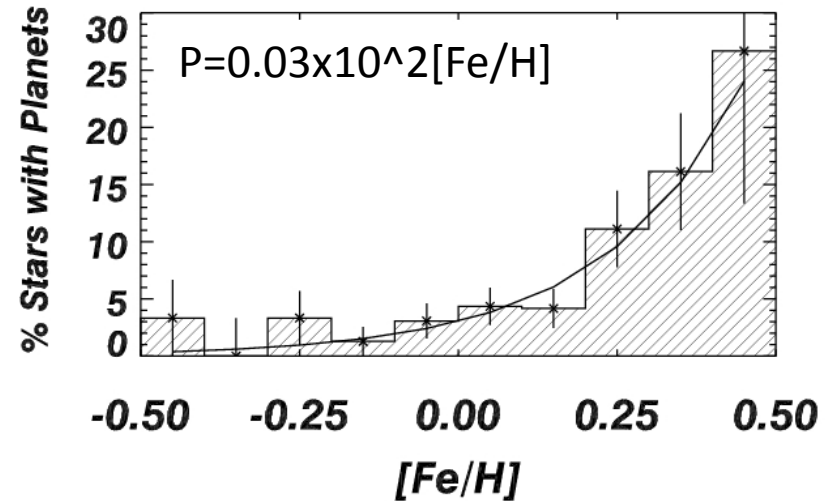
- ケック(アメリカ)、マゼラン(チリ)、すばる(日本)による国際協力
- 新たに**2000個**(Next 2000)の太陽型星で**ホットジュピター**探し
- ドップラー法による惑星探索
- 2004年開始
- 3年間で**60個**のホットジュピター検出、**5~6個**の**トランジット惑星**検出が目標



# Strategy

- 14,000 starsのデータベース
  - $V < 10.5$ ,  $d < 110$  pc, FGK V,IV
  - 金属量, 活動性, 伴星の有無,,,
- 金属量過剰星を重点的に

Fischer & Valenti 2005



- 3+1夜の観測
  - HJを有する候補天体のピックアップ
    - $RMS > 20$  m/s → フォローアップ
  - 1カ月後の観測で分光連星でないかを確認

# N2Kによるこれまでの発見：計22個

ホット・ジューパー  
6個

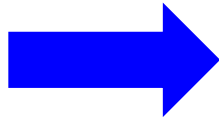
	Period (d)	Msin $i$ (M <sub>JUP</sub> )	a (AU)	e	Observatory	Reference
HD86081	2.14	1.5	0.039	0.008	Keck	Johnson et al. 2006
HD149026	2.88	0.36	0.043	0	Subaru & Keck	Sato et al. 2005
HD88183	3.4	0.22	0.047	0.133	Keck	Fischer et al. 2005
HD149143	4.07	1.33	0.053	0.016	Keck	Fischer et al. 2006
HD109749	5.24	0.28	0.064	0.01	Keck	Fischer et al. 2006
HIP14810	6.67	3.88	0.069	0.143	Keck	Wright et al. 2007
HD179079	14.48	0.08	0.11	0.115	Keck	Valenti et al. 2009
HD33283	18.18	0.33	0.168	0.48	Keck	Johnson et al. 2006
HD17156	21.22	3.2	0.68	0.16	Subaru & Keck	Fischer et al. 2007
HD224693	26.73	0.71	0.233	0.05	Keck	Johnson et al. 2006
HD231701	141.6	1.08	0.53	0.1	Keck	Fischer et al. 2007
HIP14810	147.7	1.28	0.545	0.164	Keck	Wright et al. 2007
HD154672	163.9	5.02	0.6	0.61	Magellan	Lopez-Morales et al. 2008
HD205739	279.8	1.37	0.896	0.27	Magellan	Lopez-Morales et al. 2008
HD75898	418	2.51	1.19	0.1	Keck	Robinson et al. 2007
HD16760	466.5	13.1	1.08	0.084	Subaru & Keck	Sato et al. 2009
HD125612	502	3.2	1.2	0.39	Keck	Fischer et al. 2007
HD5319	675	1.94	1.75	0.12	Keck	Robinson et al. 2007
HD38801	696.3	10.7	1.7	0	Subaru & Keck	Harakawa et al. 2010
HD170469	1145	0.67	2.24	0.11	Keck	Fischer et al. 2007
HD11506	1270	3.44	2.43	0.22	Keck	Fischer et al. 2007
HD73534	1800	1.15	3.15	0.046	Keck	Valenti et al. 2009

トランジット

トランジット

# すばるでの観測

- 2004A (4 nights)
  - 2004B (4 nights)
  - 2005B (5 nights)
- } 惑星を有する候補天体を探す
- 2006A (10 nights)  
6 (Jun.)+4 (Jul.)
  - 2006B (10 nights)  
10 (Dec.)
- } 軌道決定
- 2008AB (1.5 nights)
- } 長周期惑星の軌道決定

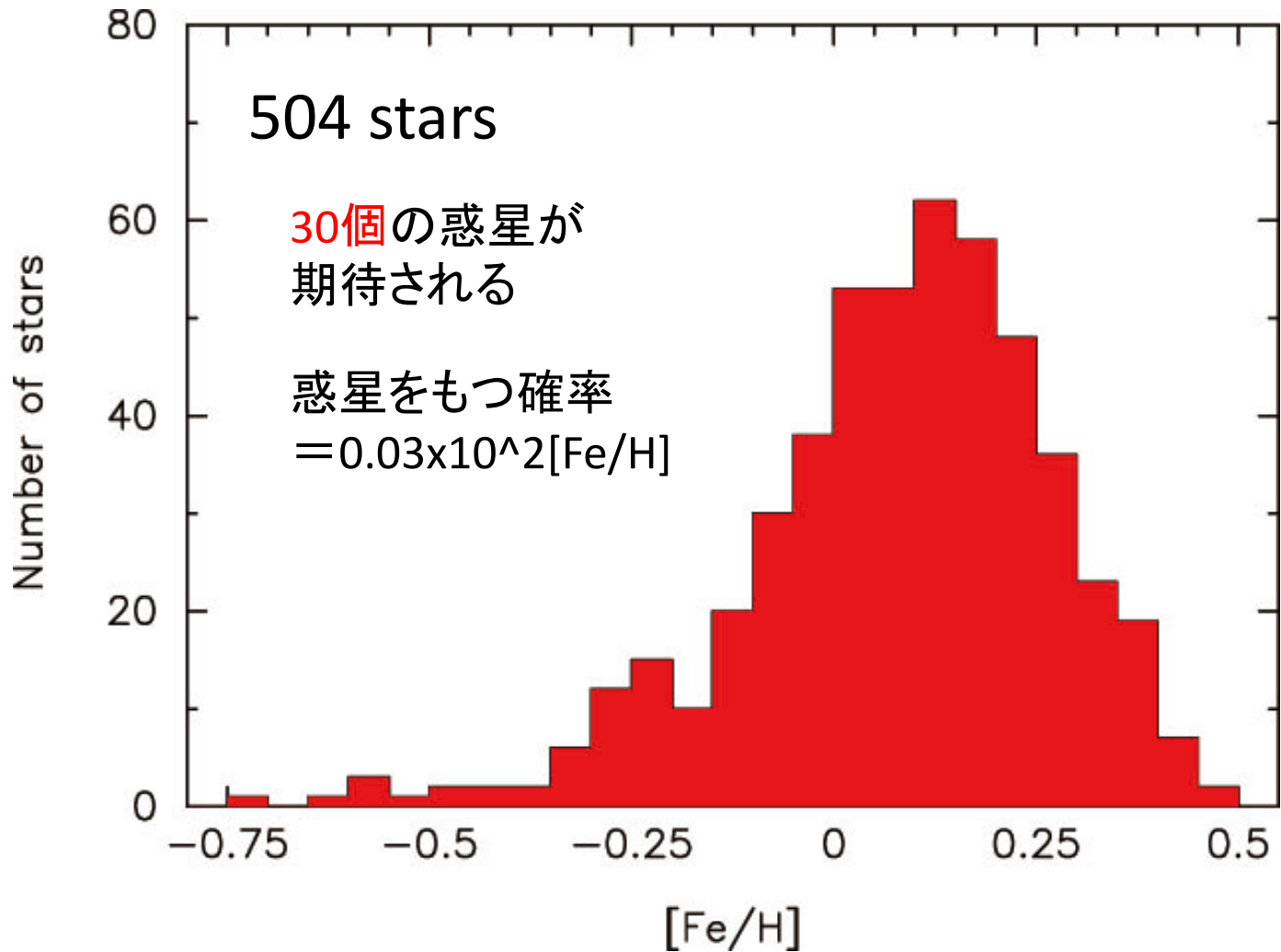


計635 天体

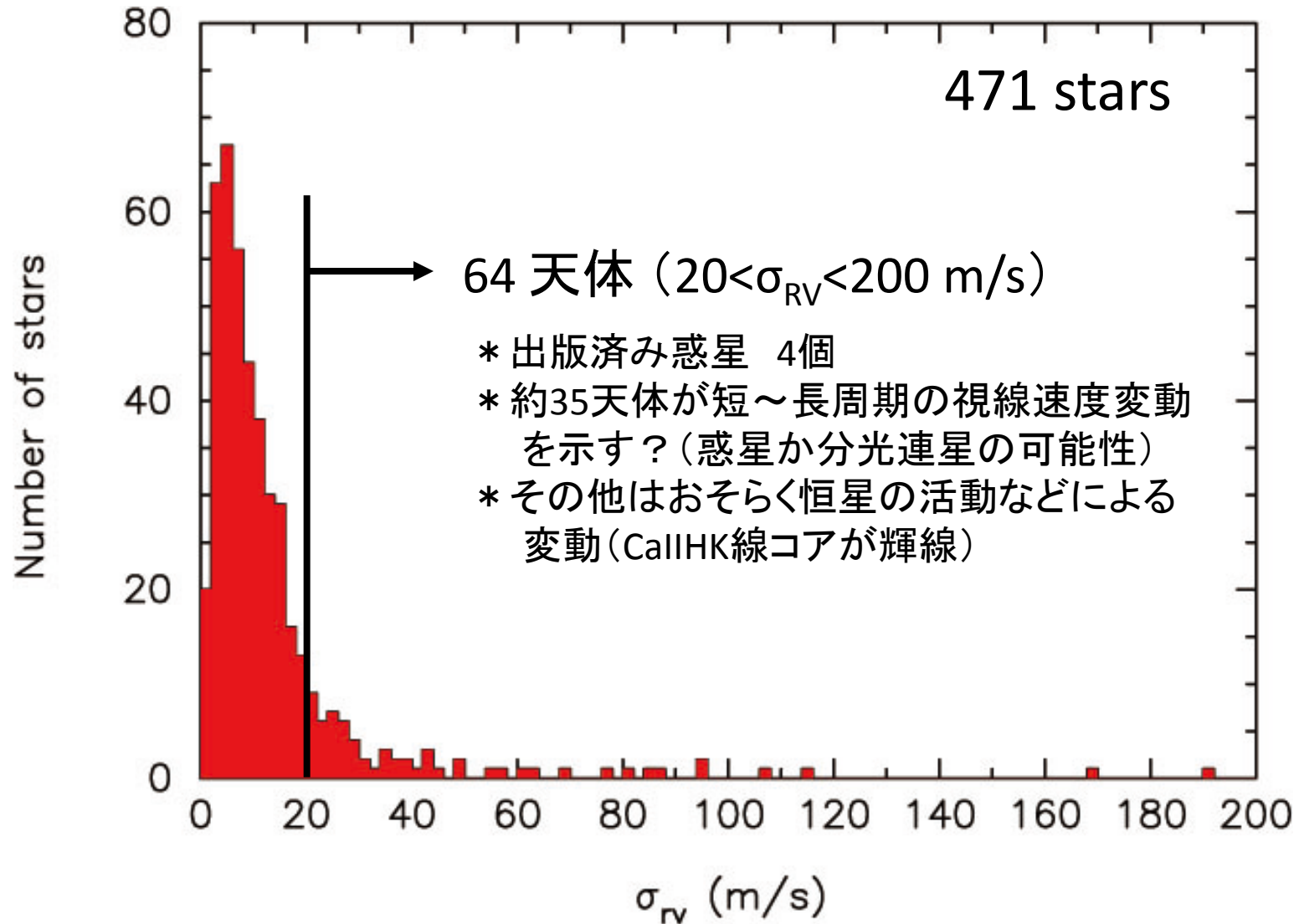
3回以上観測 → 512 天体

2回以下 → 123 天体

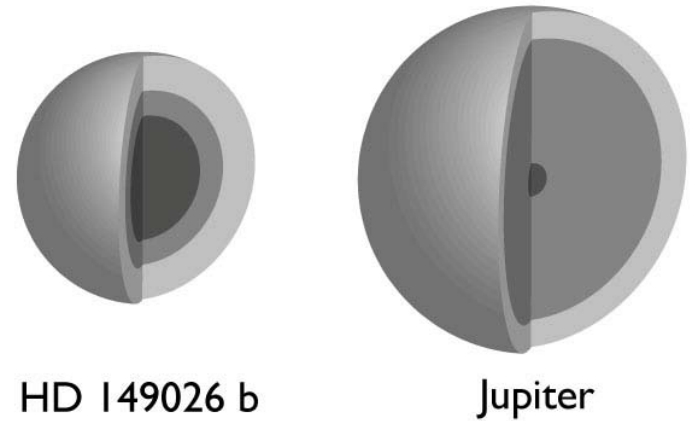
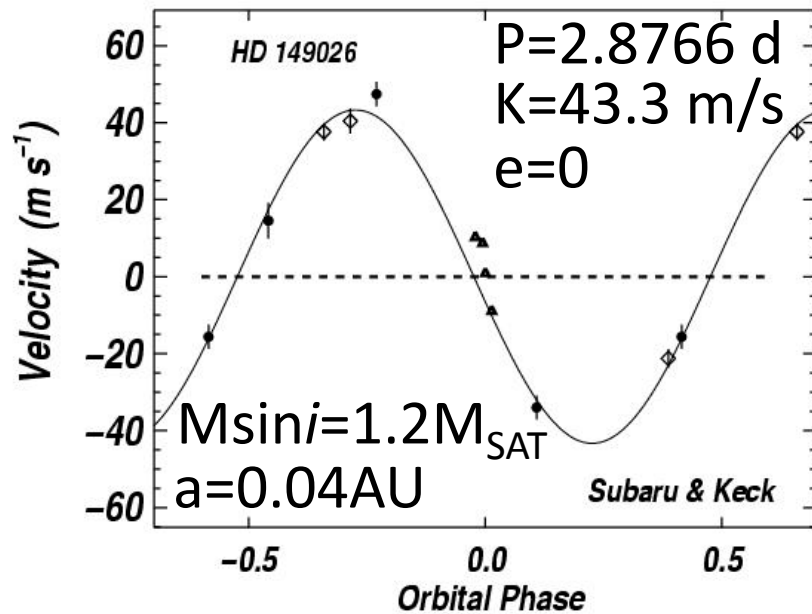
# 金属量



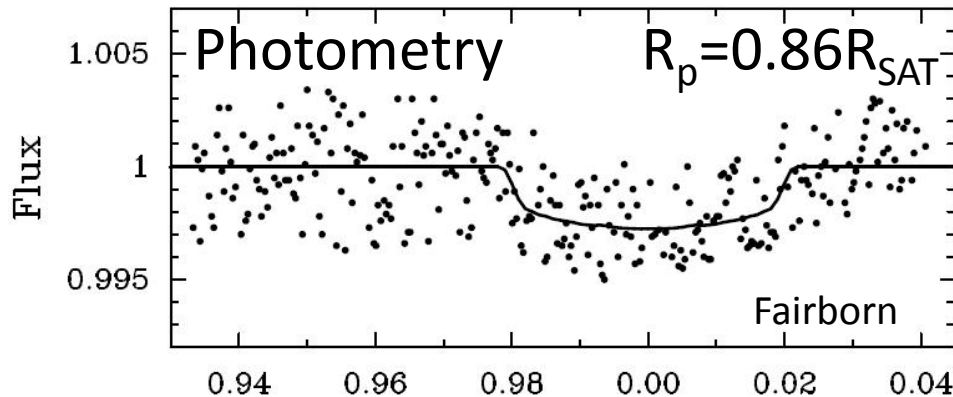
# 視線速度変動



# すばる初の系外惑星: HD 149026 b トランジット惑星系



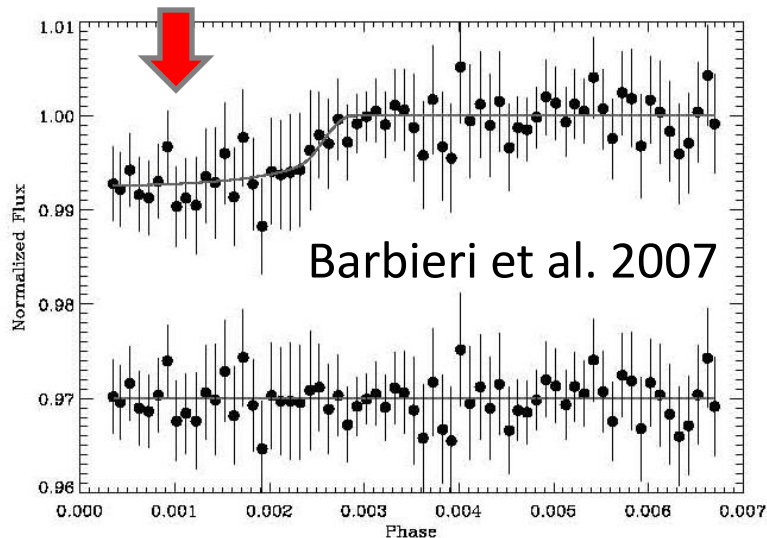
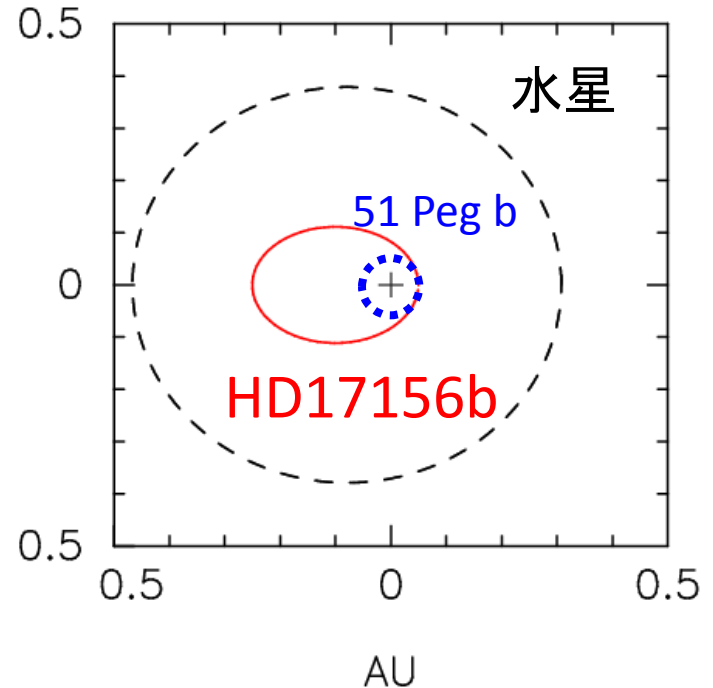
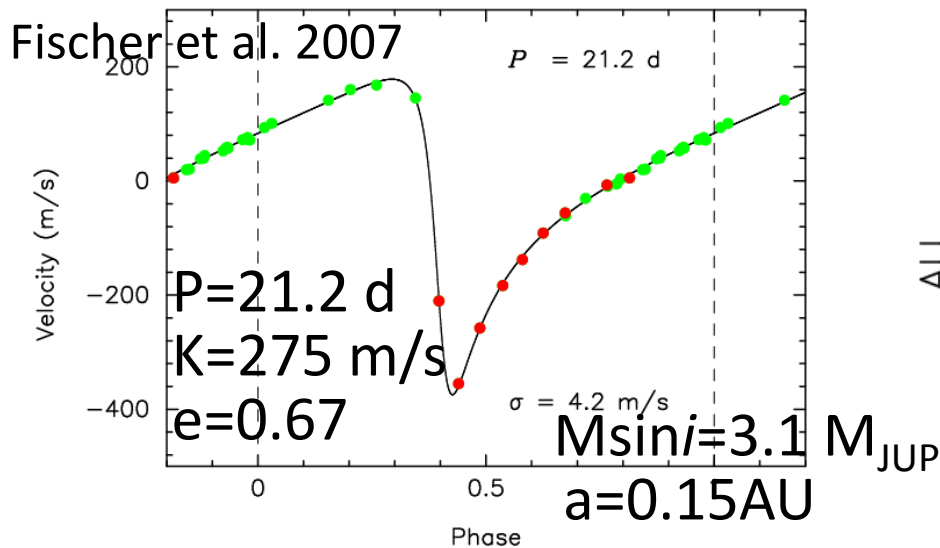
molecular hydrogen and helium  
 liquid metallic hydrogen  
 heavy element core



- 平均密度  $\rho=1.7\rho_{SAT}$
- 金属量過剰
- 70地球質量のコア

コア集積による形成を支持

# 2つ目もトランジット: HD 17156 b

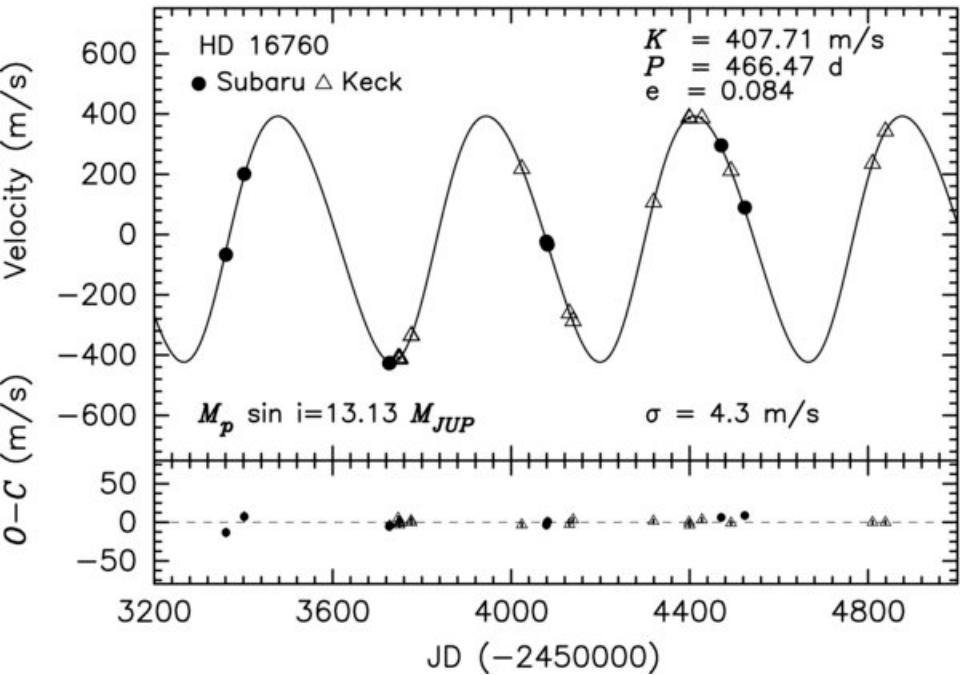


- 短周期にも関わらず大離心率  
( $q = a(1-e) = 0.05 \text{ AU}$ )

ジャンピング・ジュピター？  
他の惑星、伴星による摂動？

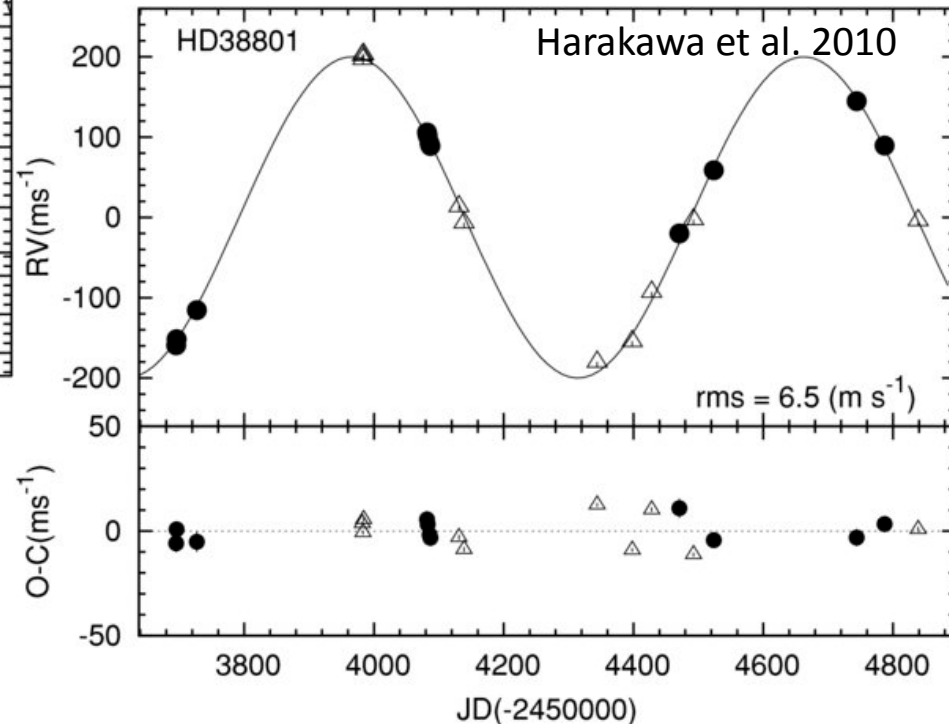
# 長周期円軌道を周回する超巨大惑星

Sato et al. 2009



HD16760 b       $a=1.1\text{AU}$   
 $M \sin i = 13 M_{JUP}$        $e=0.08$

HD38801 b       $a=1.7\text{AU}$   
 $M \sin i = 11 M_{JUP}$        $e \sim 0.0$



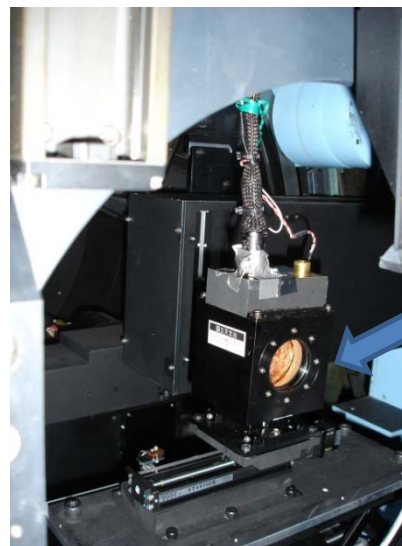
コア集積で形成される巨大惑星の上限？

# すばるHDSによる視線速度精密測定

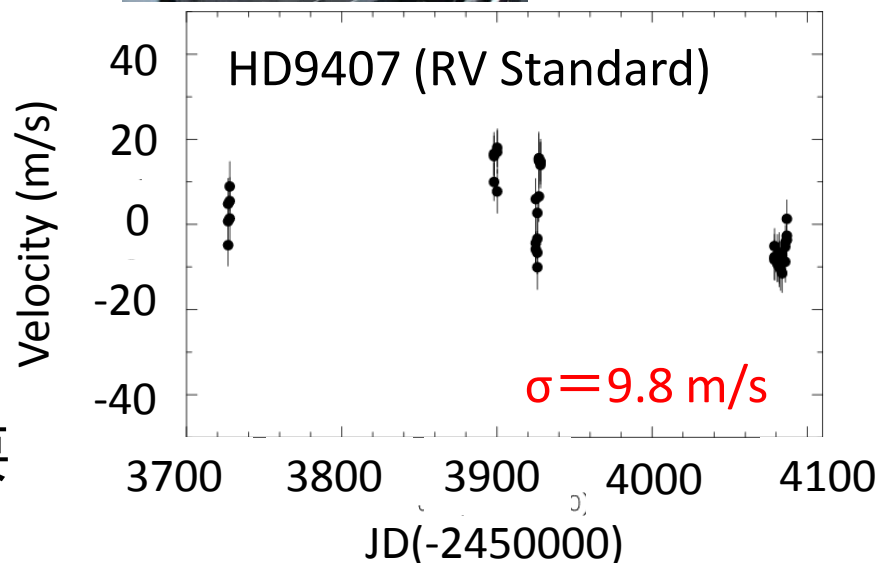
- StdI2b (3500--6100 Å)
- 当初は $R=45,000$  ( $0''.8$  slit)  
途中から $R=60,000$  ( $0''.6$  slit)
- SN $\sim 150$  for  $V\sim 8$  with 80s exp.
- ヨードセル使用
- 精度
  - ✓ Sato et al.(2002)の解析コード
  - ✓  $\sim 4$  m/s (同一ラン内)
  - ✓ 4--**10 m/s** (長期 年スケール)

観測期間毎の系統誤差が  
軌道決定を著しく阻害

→ 長期的測定精度の改善が必要

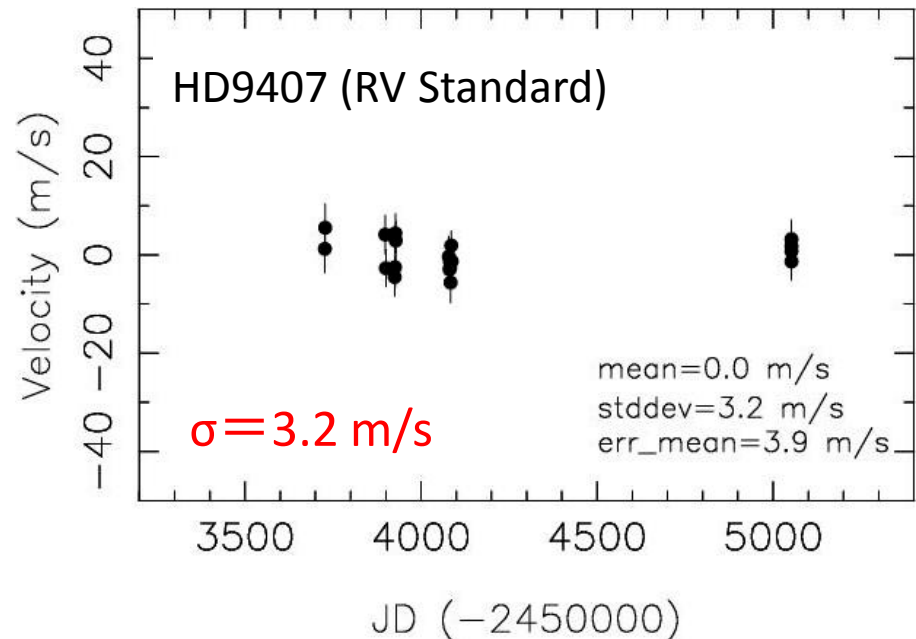
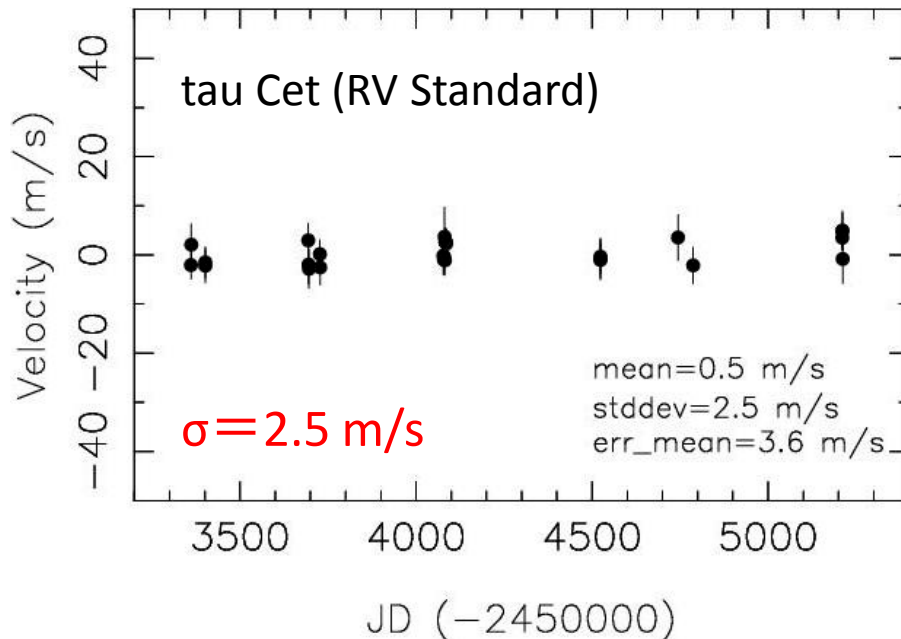


ヨードセル



# 測定精度の改善

- 解析に用いる恒星のスペクトルテンプレートが最も大きな誤差要因だった
  - 解析手順の各部もファインチューニングを試みた
- with 原川(東工大D1)



- ・超高分解能( $R>150,000$ )スペクトルをテンプレートとして用いると約3m/s (上図)
- ・デコンボリューション法の改良により、デコンボリューションしたスペクトルをテンプレートとして用いた場合でも約5m/sは達成できる(以降の解析はこちらを使用)

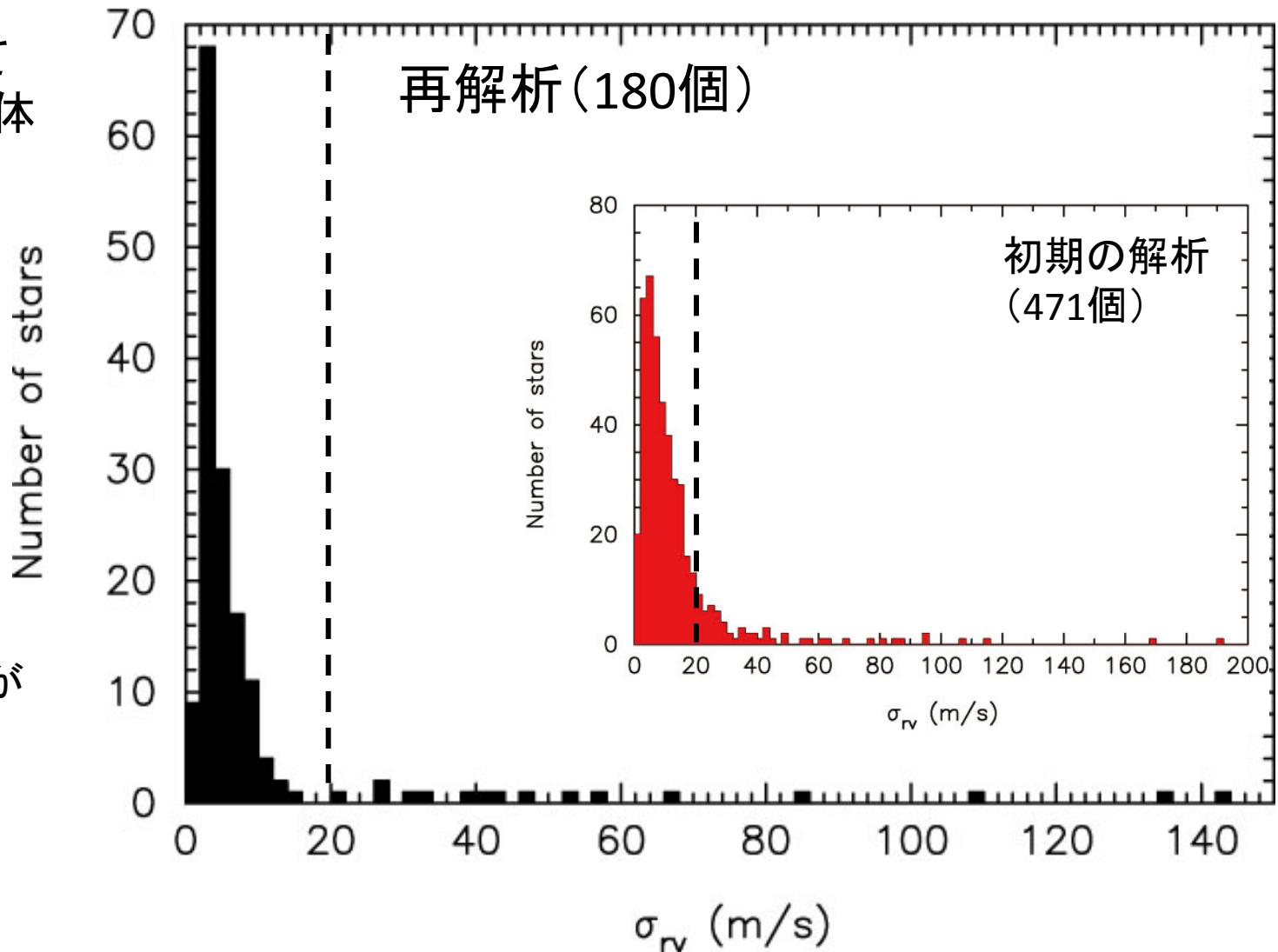
# 再解析

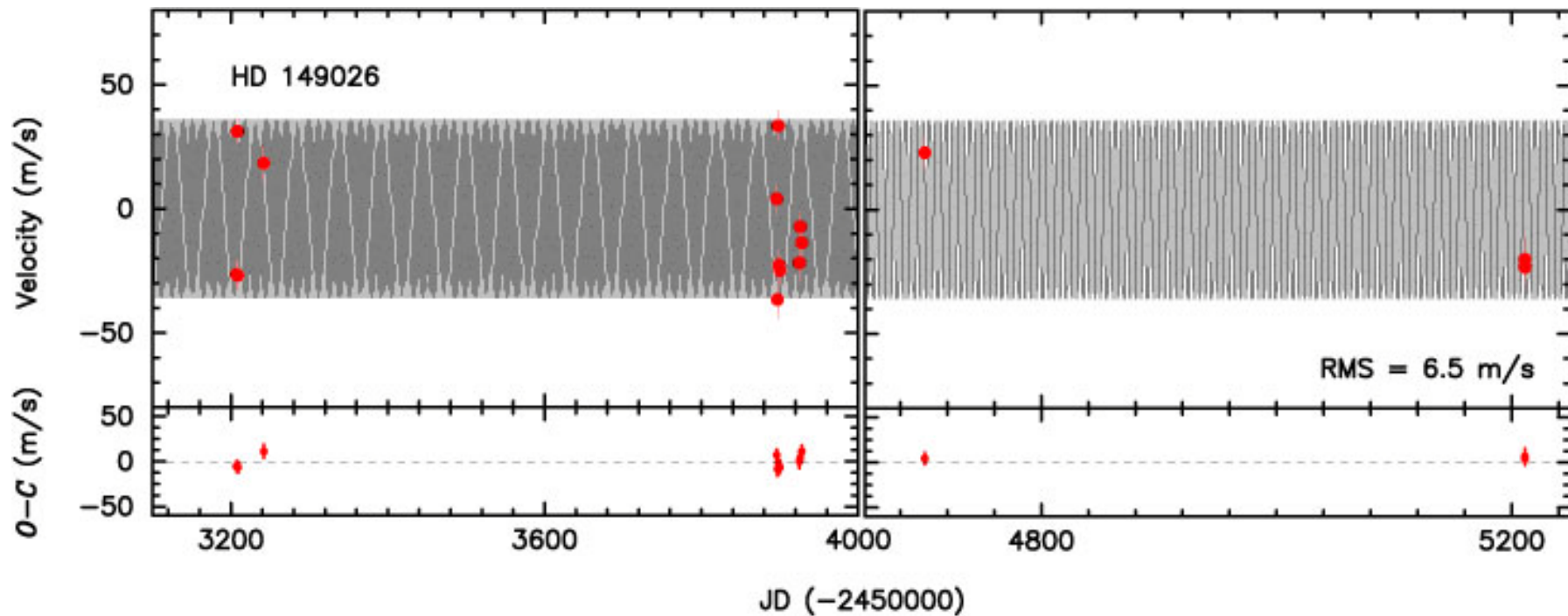
複数期に渡って  
取得した180天体  
を再解析



ほとんどが  
 $\sigma < 20$  m/s

初期の解析には  
やはり系統誤差が  
乗っていた模様



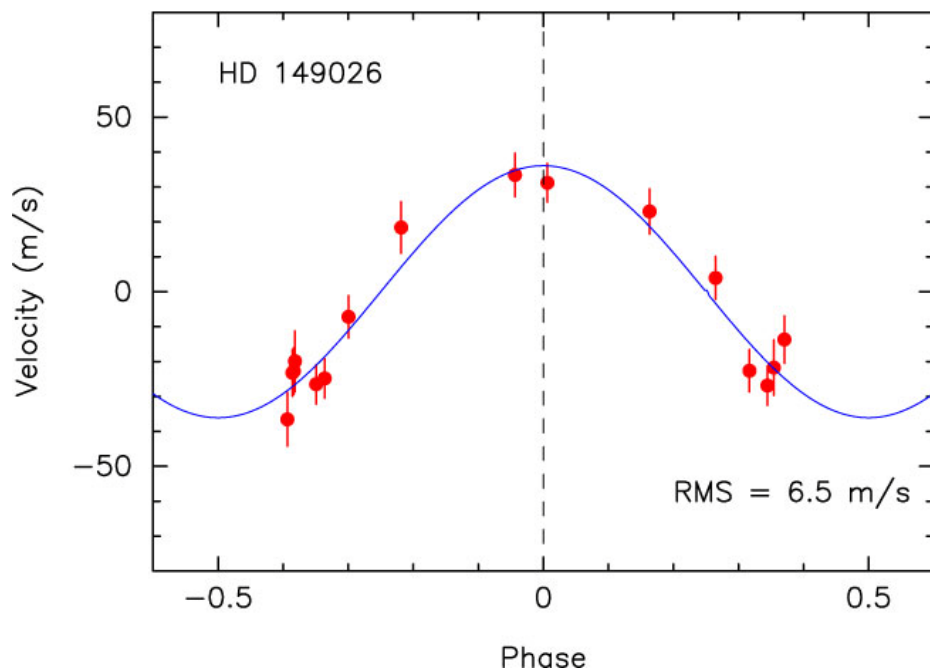


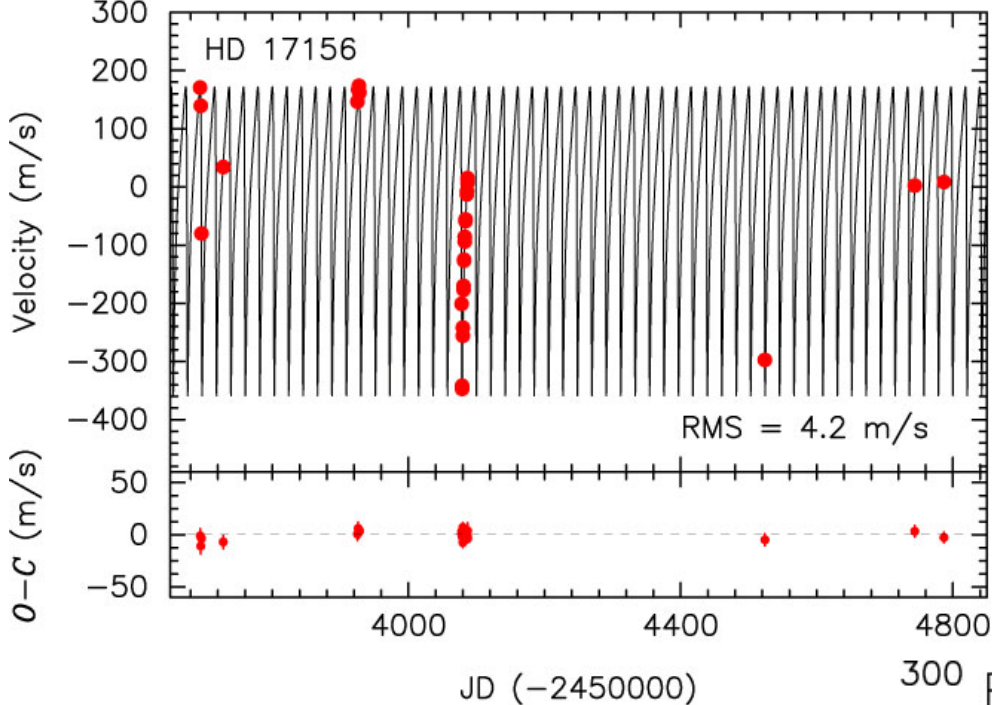
## HD149026

約2000日に渡って一つの周期  
(2.88日)でよくフィットできる

RMS=6.5 m/s

第2惑星の兆候は見えす



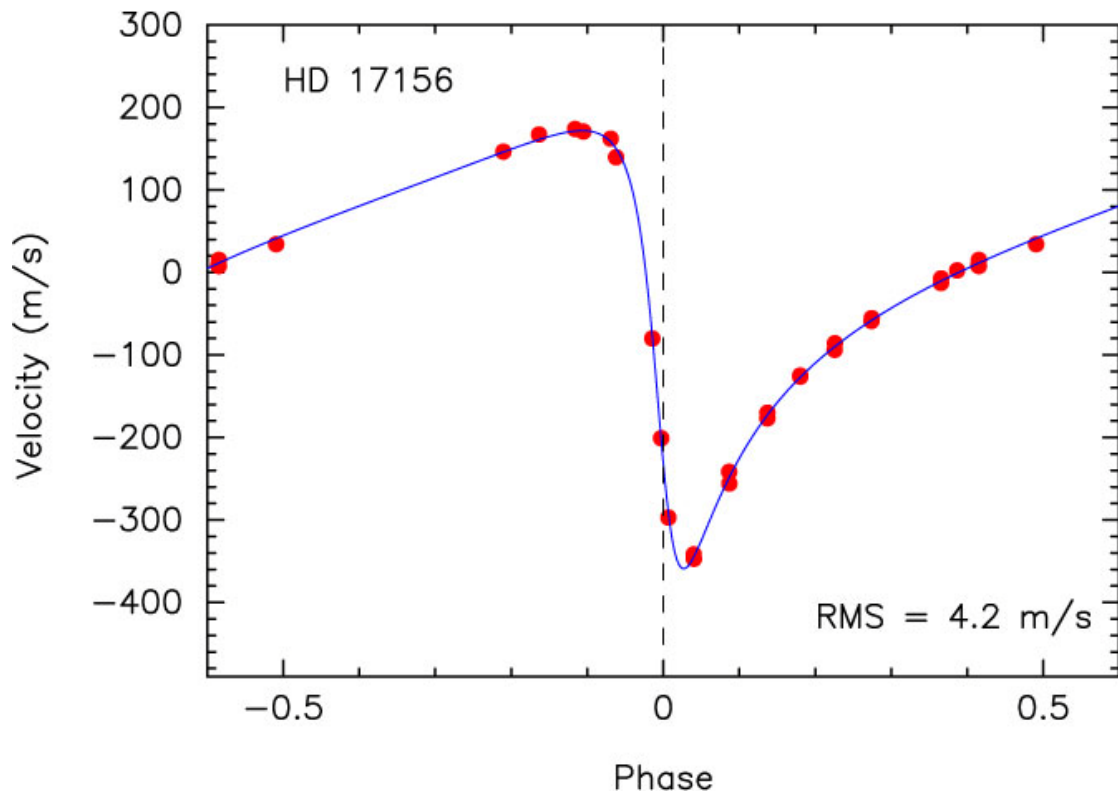


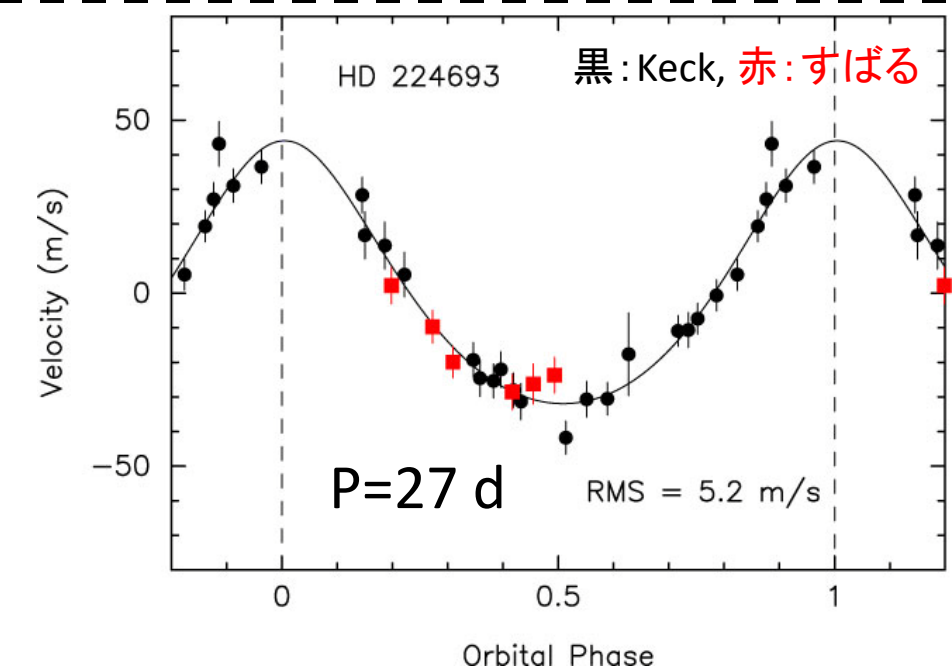
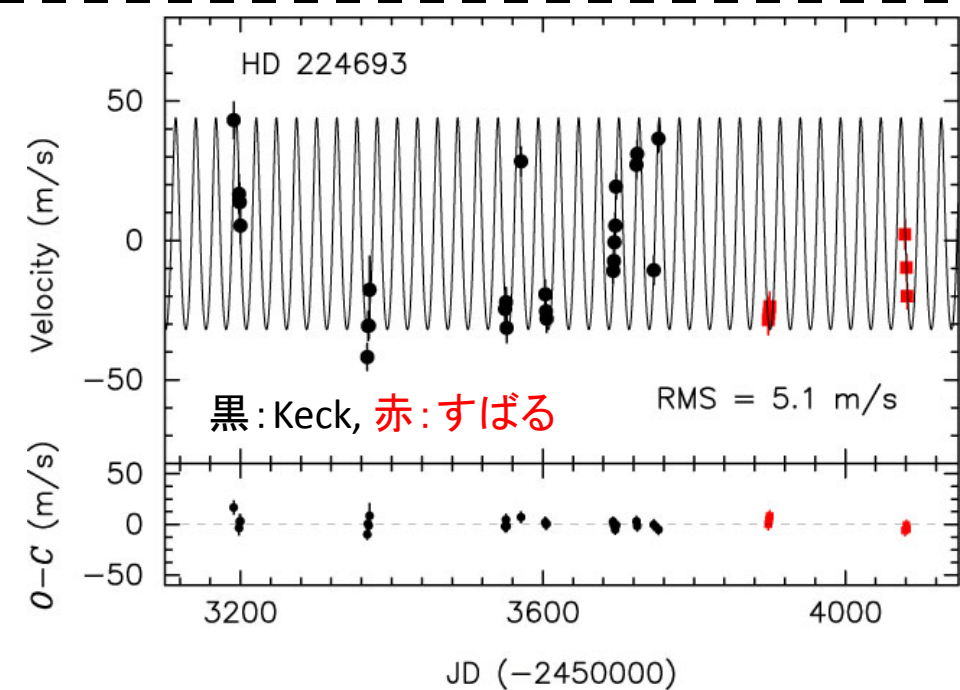
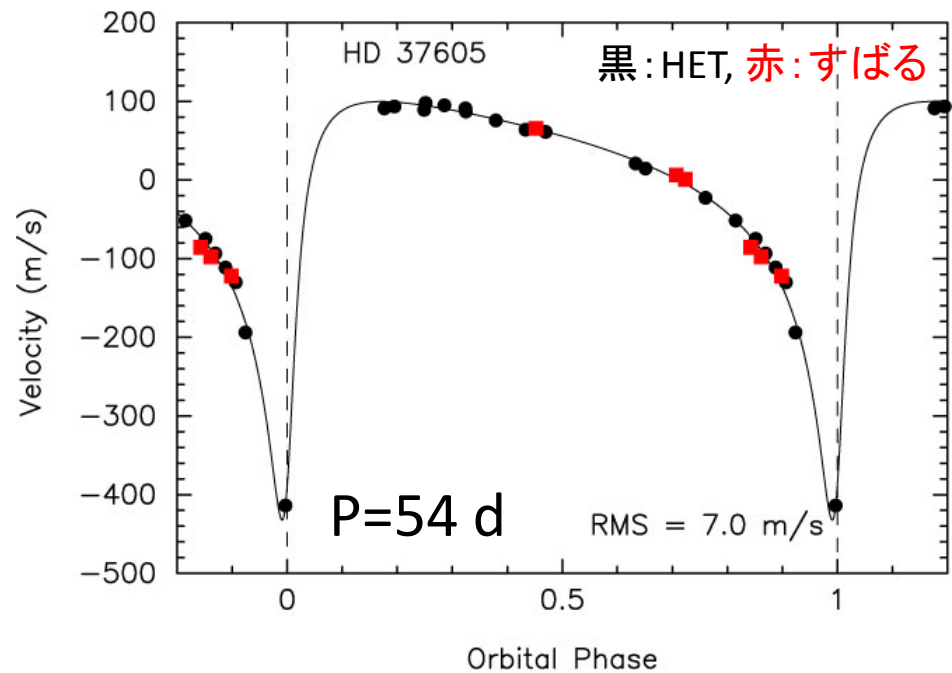
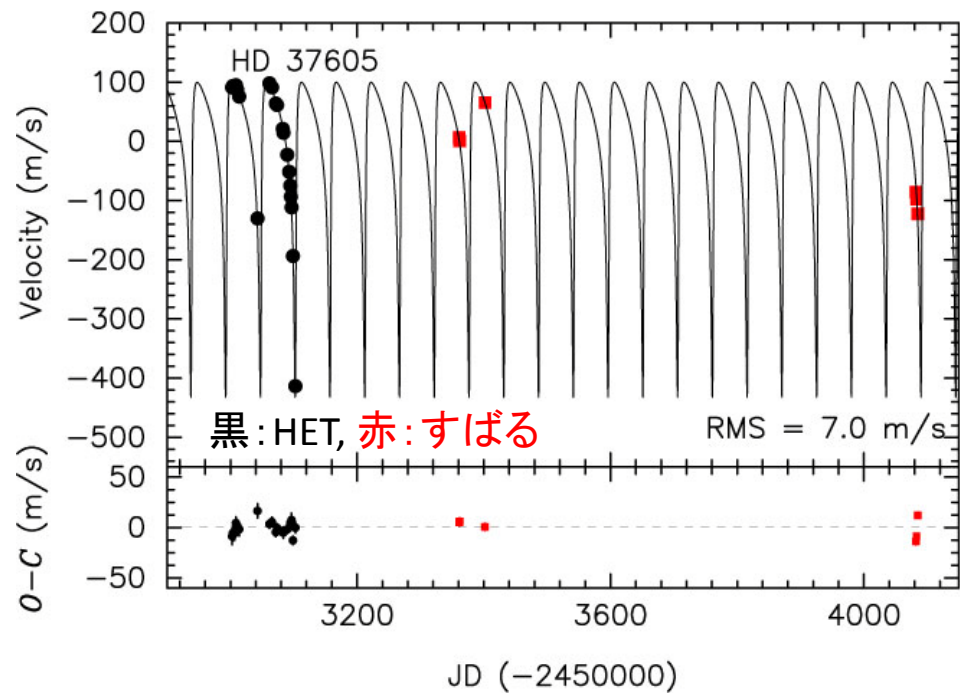
## HD17156

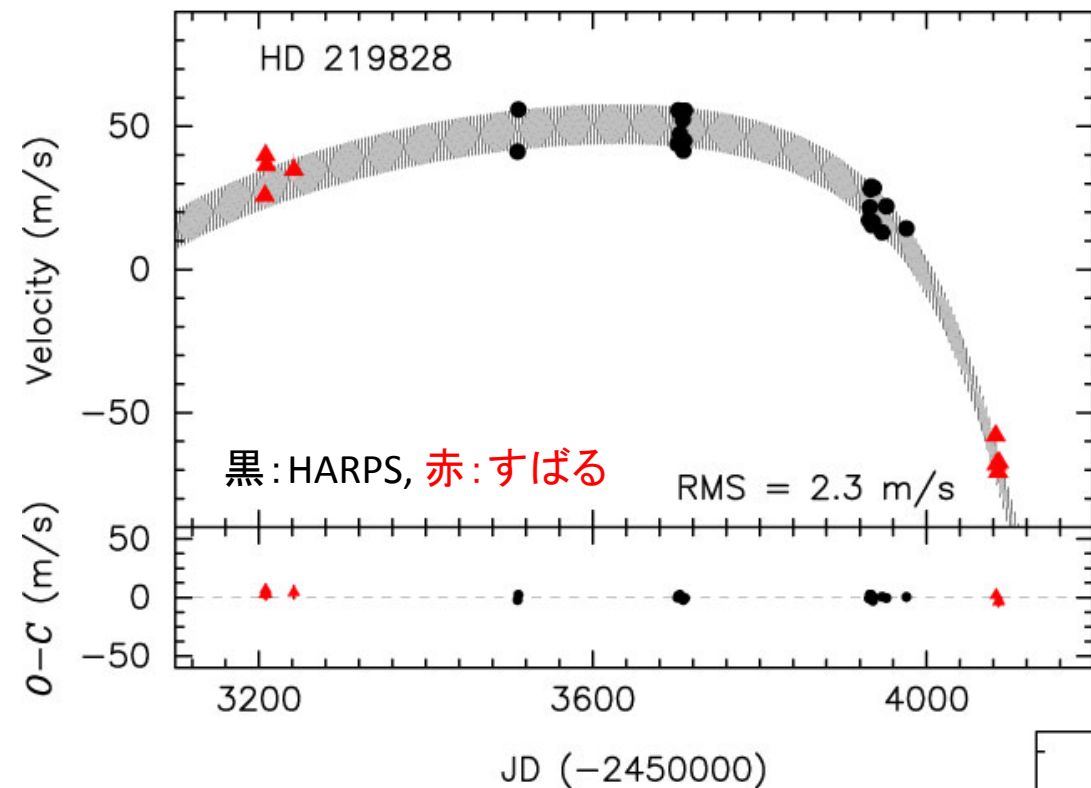
約1000日に渡って一つの周期  
(21.2日)でよくフィットできる

RMS=4.2 m/s

第2惑星の兆候は見えす







## HD219828

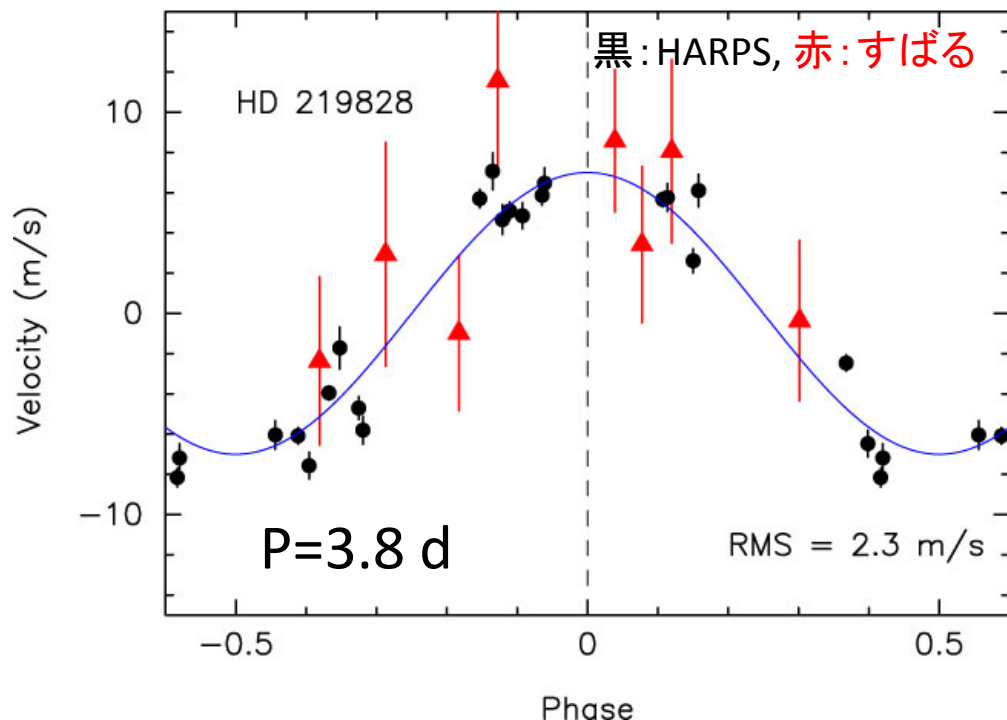
Hot-Neptune (P=3.8d,  $20M_{\text{Earth}}$ )  
+ 長周期惑星or伴星

HARPSによる発見  
(Melo et al. 2008)

3.8日周期の振幅 7 m/s

すばる/HDSの測定精度 3-5 m/s  
(HARPSは数10 cm/s)

HARPSの結果と矛盾は  
していない(右図)



# まとめ

- すばるN2Kからはこれまでに4つの惑星を発表(うち、ホットジュピターは1つ)
  - この他、別グループにより既に発表されている惑星が3つサンプルに含まれていた
  - 確率的には、あと数個ホットジュピターが見つかってほしいはず
- 解析ソフトの改良によって長期的な測定精度が改善
  - 軌道決定、複数惑星検出の信頼度が増す
  - 再解析した180天体から約15個の有望な候補を同定
    - 岡山、ケックで一部追観測中
  - さらなる高精度を追求
- 恒星のテンプレートスペクトルがなく再解析できない天体が約100個残っている
  - すばる(サービス観測)で取得を試みる
  - あわよくば1、2個のホットジュピター
- これらの結果を合わせ、なるべく早くすばるN2Kプロジェクトのまとめの論文を出したい