

視線速度精密測定による G型巨星の惑星サーベイ III.

■2011年後期～2012年前期の報告
(III期は2012年後期で終了)

佐藤文衛¹, 原川紘季¹, 大宮正士¹, Liu Yujuan²,
泉浦秀行³, 神戸栄治³, 竹田洋一⁴, 吉田道利⁵,
伊藤洋一⁶, 安藤裕康⁴, 小久保英一郎⁴, 井田茂¹

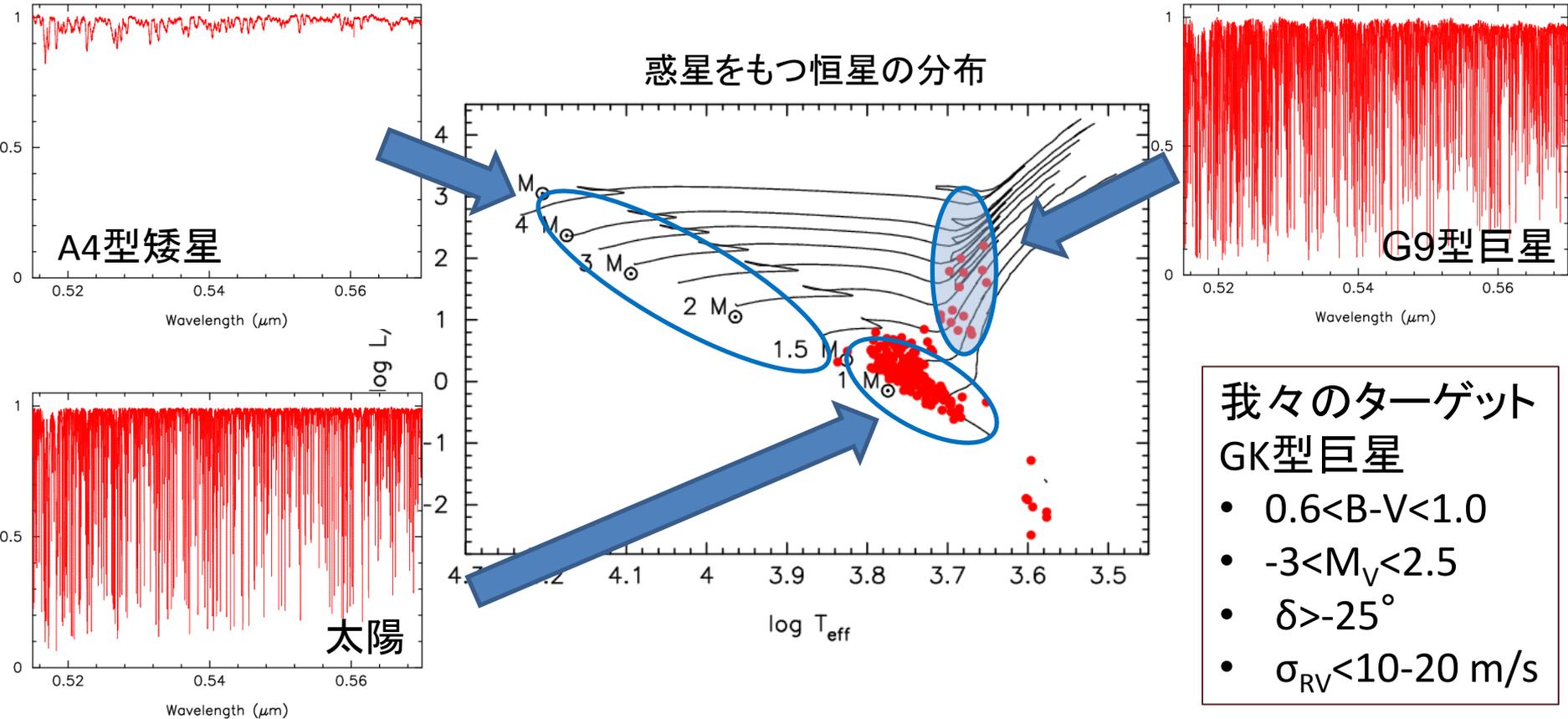
¹東工大, ²NAOC, ³OAO, ⁴NAO, ⁵広島大, ⁶兵庫県立大

G型巨星惑星探索

- 中質量星 ($1.5 \sim 5M_{\odot}$) 周りの惑星探索
 - 早期型主系列星ではドップラー法による惑星検出は困難
 - 太陽型星に比べてサーベイが進んでいない
- 惑星形成の普遍性を探る
 - 原始惑星系円盤をもつ若い中質量星 (Herbig Ae/Be星) は多数見つかっている。最近はやい中質量星で惑星の直接検出もあり。
- 惑星形成の中心星依存性を明らかにする
 - 原始惑星系円盤の質量大 \rightarrow 惑星頻度大? 惑星質量大?
 - 中心星光度大 \rightarrow 固体物質欠乏? 惑星形成阻害?
 - 原始惑星系円盤の寿命短 \rightarrow 惑星形成、移動のタイムスケール?
- 中心星の進化と惑星系の進化
 - 潮汐力により惑星が中心星へ落下
 - 恒星進化の理解

Why G-giants ?

惑星をもつ恒星の分布



我々のターゲット
GK型巨星

- $0.6 < B-V < 1.0$
- $-3 < M_V < 2.5$
- $\delta > -25^\circ$
- $\sigma_{\text{RV}} < 10-20 \text{ m/s}$

晩期G型～早期K型の巨星は、視線速度精密測定による中質量星まわりの惑星探索に適している

第3期プロジェクト観測：目的

■ さらなる時間軸の延長

- 4AU以遠(周期1000日以上)の惑星頻度を明らかにする
- 同時に、低質量惑星($< 2M_{\text{JUP}}$)の検出限界をできるだけ正確に見積もる
- 惑星形成期のスノーラインの位置、惑星形成メカニズムに制限

■ 惑星発見数の増大

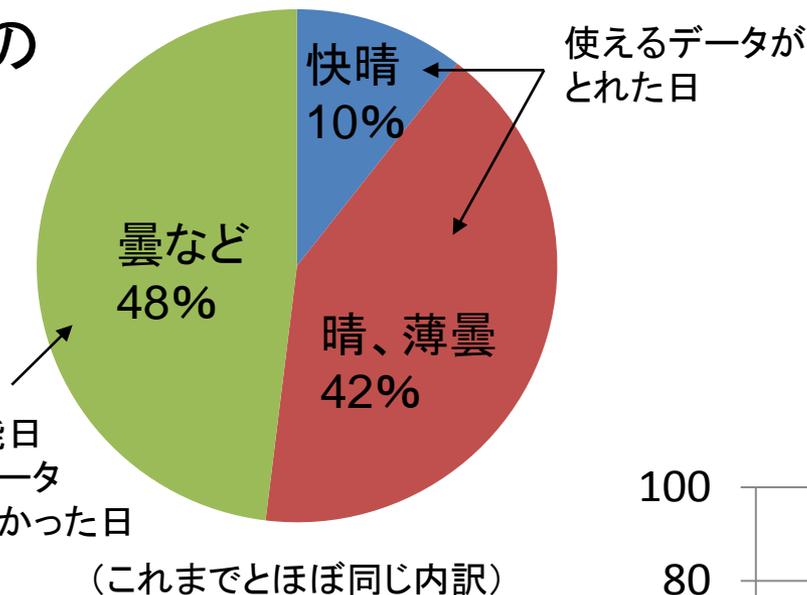
- すばる等で発見した多数の候補天体のフォローアップを継続
- 中心星近傍における惑星欠乏の原因を統計的に議論
- 他の望遠鏡時間の獲得も引き続き推進

第3期プロジェクト観測：計画

- 申請夜数・・・半期40夜(6-7夜×6回)×3年
- 観測対象
 - (A)2001年から継続している岡山オリジナル天体300個
 - (B)すばる他からの要フォローアップ天体48個
- 観測内容
 - ヨードセルを用いた視線速度精密測定 →概ね順調に遂行中
 - 上記(A)について・・・すべてについて最低年4-5回(これまでより多め)
 - 上記(B)について・・・年5-8回程度
 - 視線速度標準星も毎回数個観測
 - 組成解析用スペクトル(兼視線速度解析用テンプレート)の取得
 - 上記(B)のうち半数について取得する必要あり →完了
 - 恒星活動の調査
 - CaIIHK線の強度変化をモニター→HIDESのCCDモザイク化により視線速度データと同時に取得可能(但し効率は低い)
→ある程度使えそうなことが分かった
 - HIDES-Fへの移行に向けた視線速度測定精度の安定性調査
 - 毎回2~3夜程度をHIDES-Fでの観測にあて、視線速度測定精度の長期的な安定性をチェック
 - 高効率を生かした高頻度観測による検出限界の押し下げの試み

観測実績：2011年7月～2012年6月

天候の内訳



割当夜数：合計**75**夜

2011年後期 39夜

2012年前期 36夜

(2012年後期 34夜)

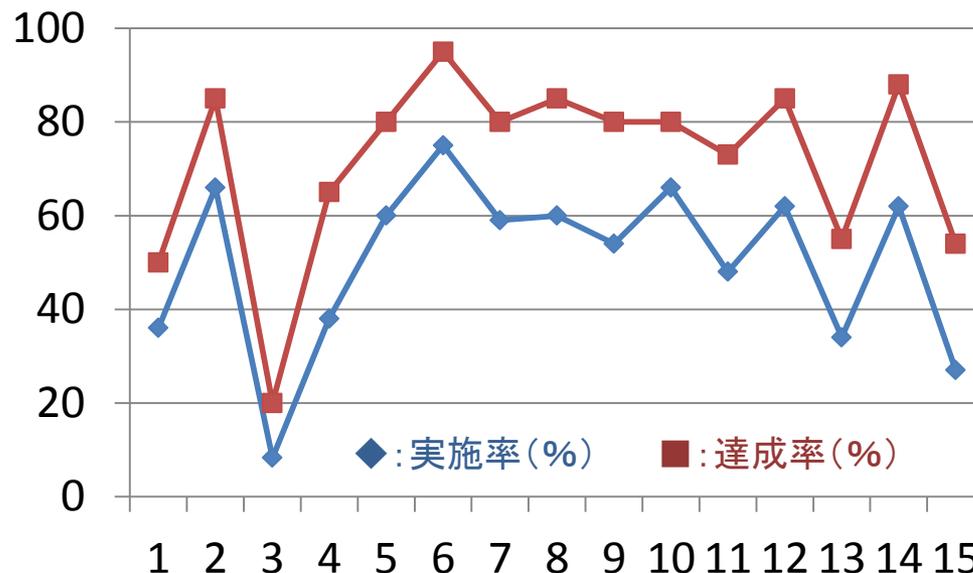
ほぼ希望通りに割り当てて頂いた

観測実施率、達成率

2011年後期：実**52%**、達**72%**

2012年前期：実**47%**、達**71%**

やや天候に恵まれない時期があったが、概ね満足のいく達成率



発表された成果

査読論文(2010年以降)

- **Substellar Companions to Evolved Intermediate-Mass Stars: HD 145457 and HD 180314**
 - Sato et al. 2010, PASJ, 62, 1063
 - すばると岡山による初の惑星、褐色矮星の発見
- **Stellar Parameters and Abundance Analysis of 58 Late G Giants**
 - Liu et al. 2010, PASJ, 62, 1071
 - 興隆(中国)との共同研究。興隆サンプルの物理パラメータ、化学組成解析
- **A Substellar Companion to the Intermediate-Mass Giant HD 175679**
 - Wang et al. 2011, RAA, 12, 84
 - 興隆(中国)との共同研究。日中協力4本目の論文。約 $37M_J$ の褐色矮星候補の発見
- **Substellar Companions to Seven Evolved Intermediate-Mass Stars**
 - Sato et al. 2012, PASJ, in press
 - $3M_{\odot}$ 以上の恒星で見つかった初の惑星、 $\sim 2M_{\odot}$ の恒星で見つかった最も軽い惑星、二重褐色矮星系、などを含む7つの惑星系の発見

NEW!

関連論文

- **Stellar Parameters and Chemical Abundances of G Giants**
 - Wang et al. 2011, PASJ, 63, 1035
 - すばるサンプル100天体についての物理パラメータ、化学組成解析
- **Planet Engulfment by ~ 1.5 -3 Solar-Mass Red Giants**
 - Kunitomo et al. 2011, ApJ, 737, 66
 - 中心星の進化に伴う短周期惑星の軌道進化の理論計算
- **A Planetary Companion to the Intermediate-Mass Giant HD 100655**
 - Omiya et al. 2012, PASJ, 64, 34
 - 日韓協力による惑星発見
- **Extrasolar planet searches at TUG: Test observations and capabilities**
 - Yilmaz, M. et al. 2012, New Astronomy, in press
 - 日土協力初の論文。試験観測とパフォーマンス。

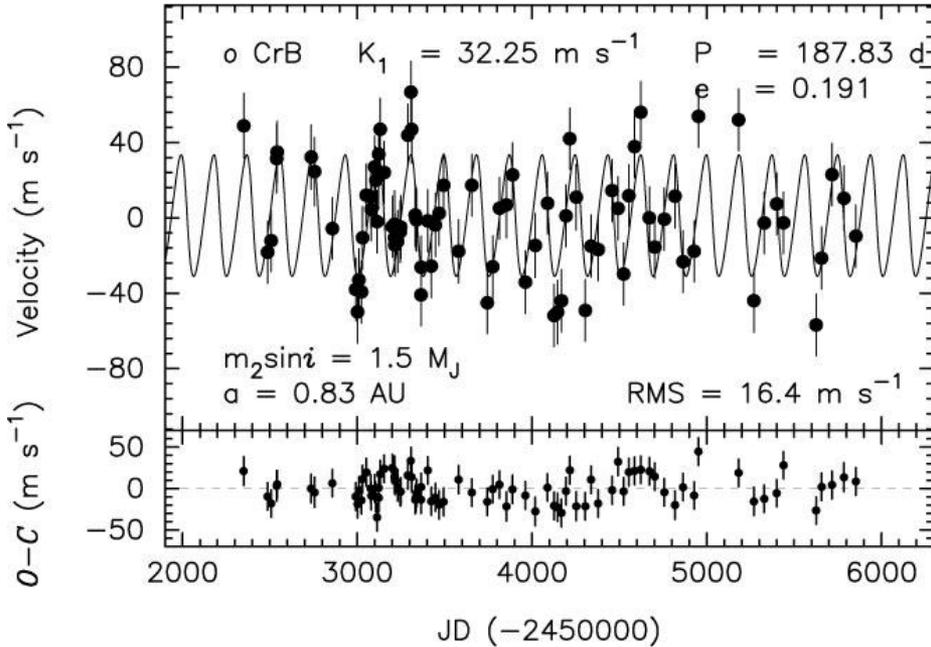
NEW!

NEW!

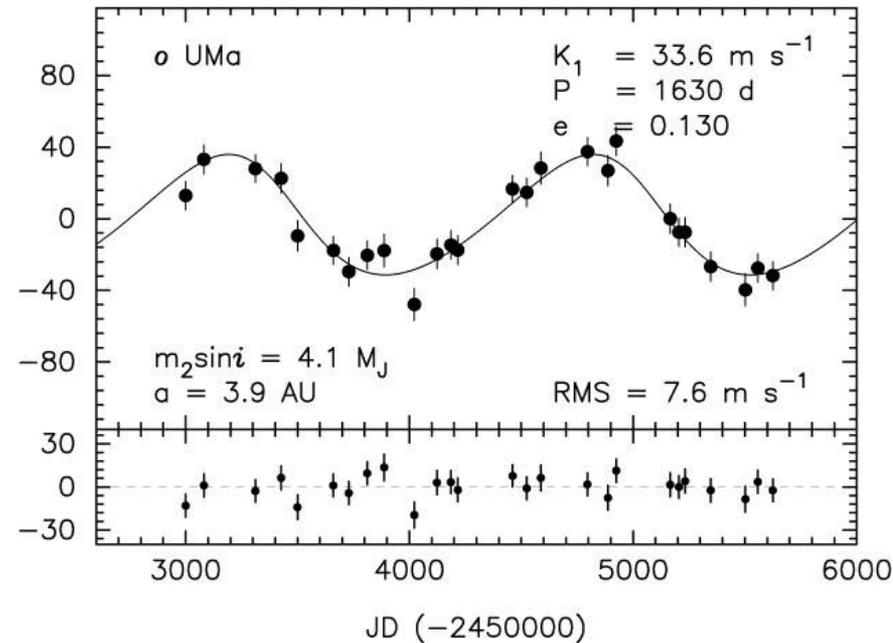
最新の成果

New Discoveries

Sato et al. 2012, PASJ, in press



$M_\star = 2.1 M_\odot$ $a = 0.83 \text{ AU}$
 $M_p \sin i = 1.5 M_{JUP}$ $e = 0.19$

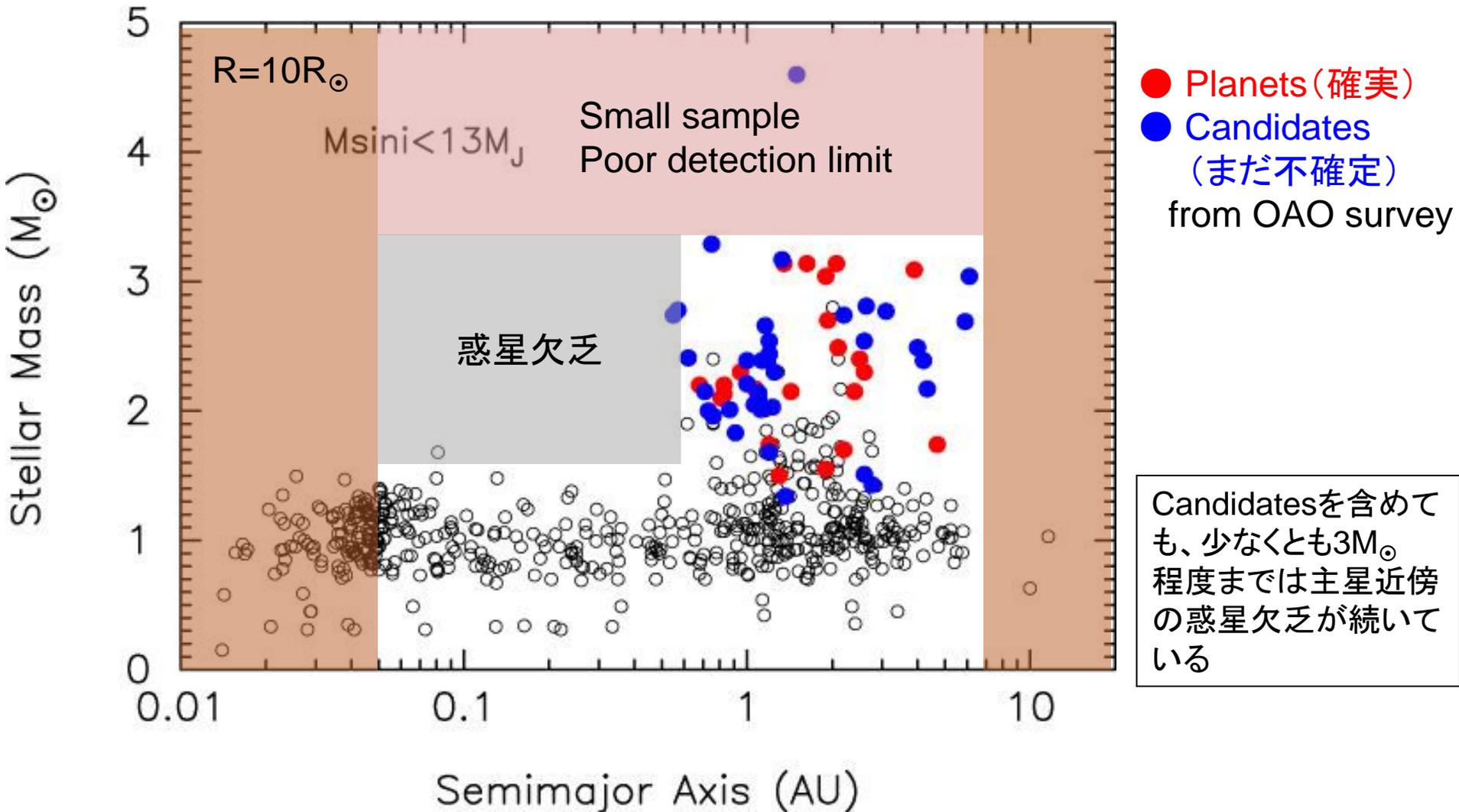


$M_\star = 3.1 M_\odot$ $a = 3.9 \text{ AU}$
 $M_p \sin i = 4.1 M_{JUP}$ $e = 0.13$

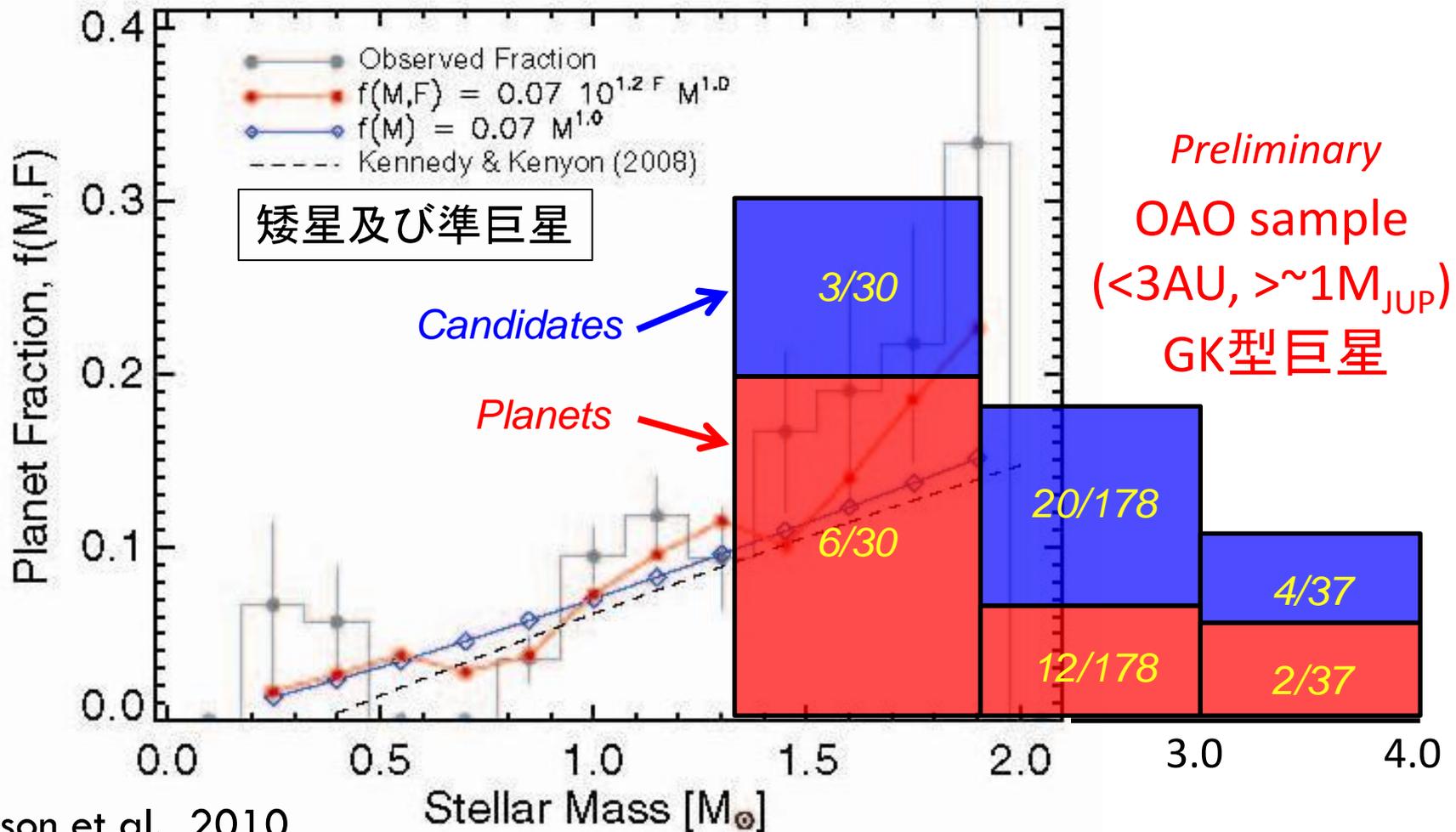
中質量巨星周囲における最軽量惑星の一つ

$M > 3M_\odot$ の星における初の惑星

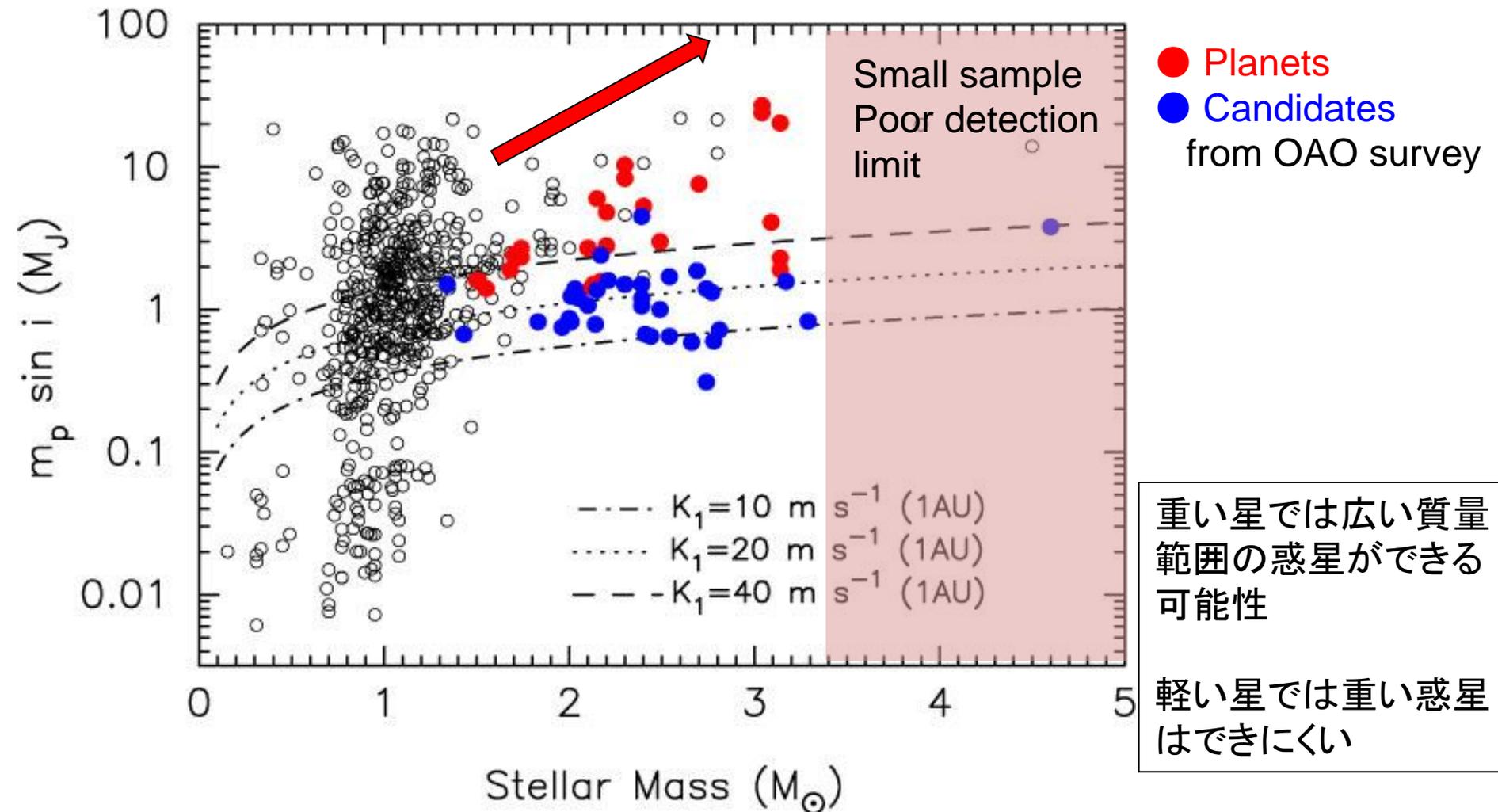
中心星質量 vs. 惑星軌道長半径



巨大惑星の頻度

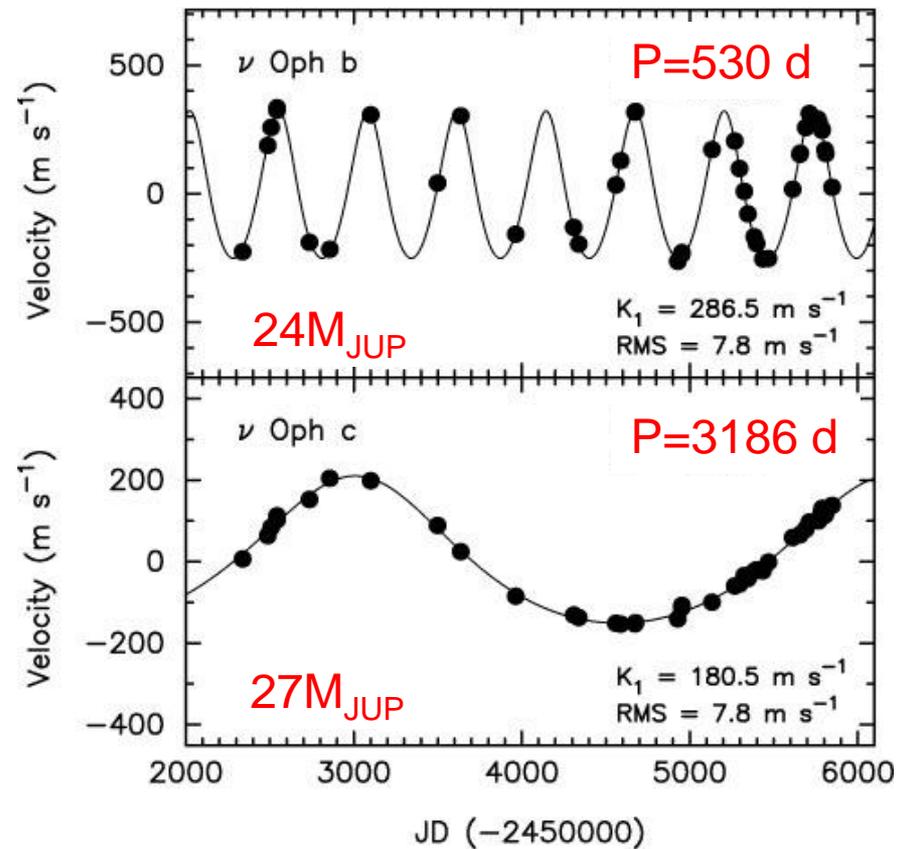
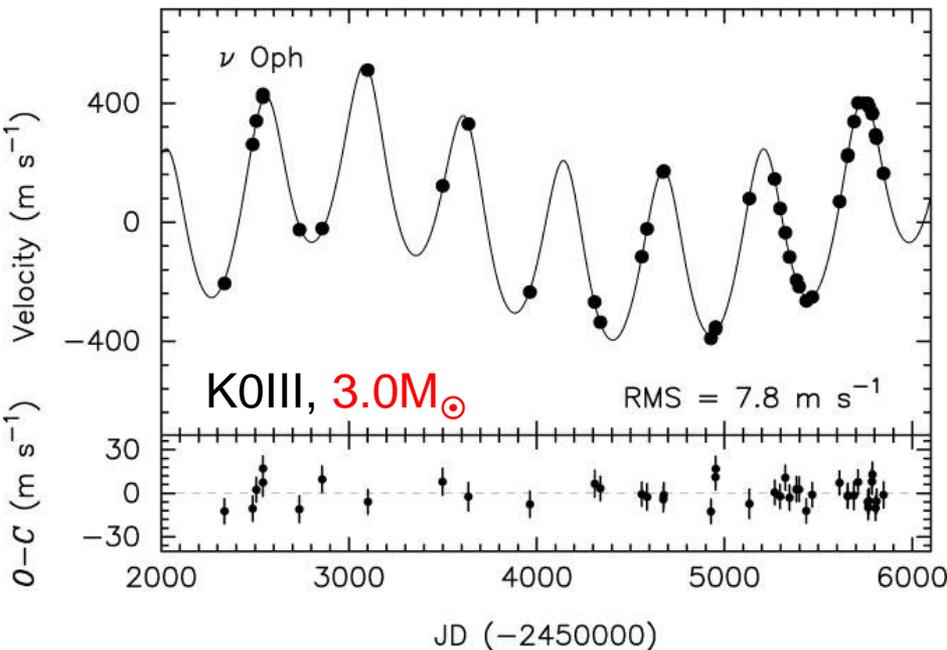


惑星質量 vs. 中心星質量



二重褐色矮星系：平均運動共鳴？

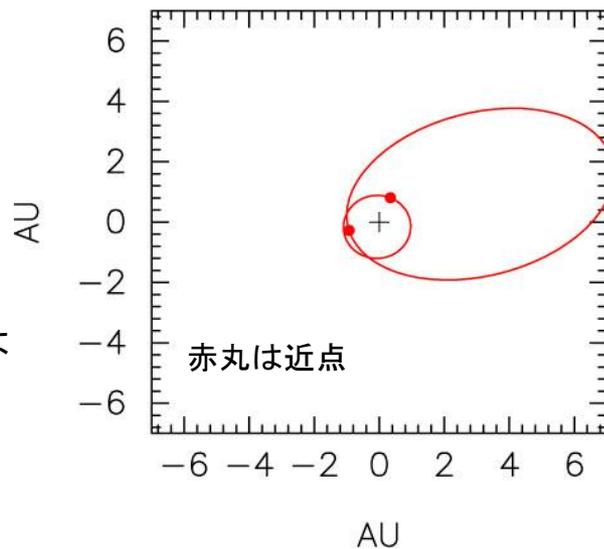
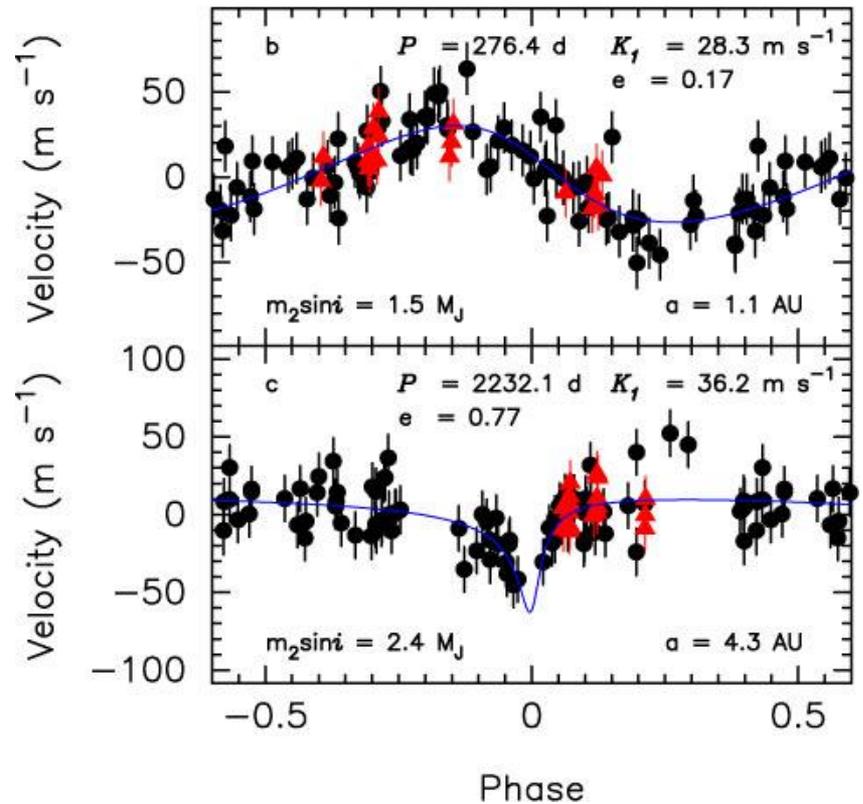
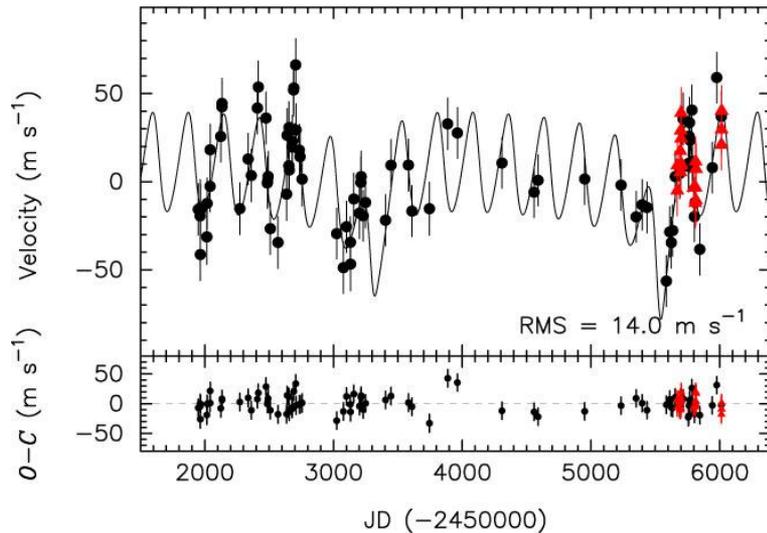
Sato et al. 2012, PASJ, in press



周期比は約6:1

原始惑星系円盤内で形成され、惑星移動が起こったことを示唆

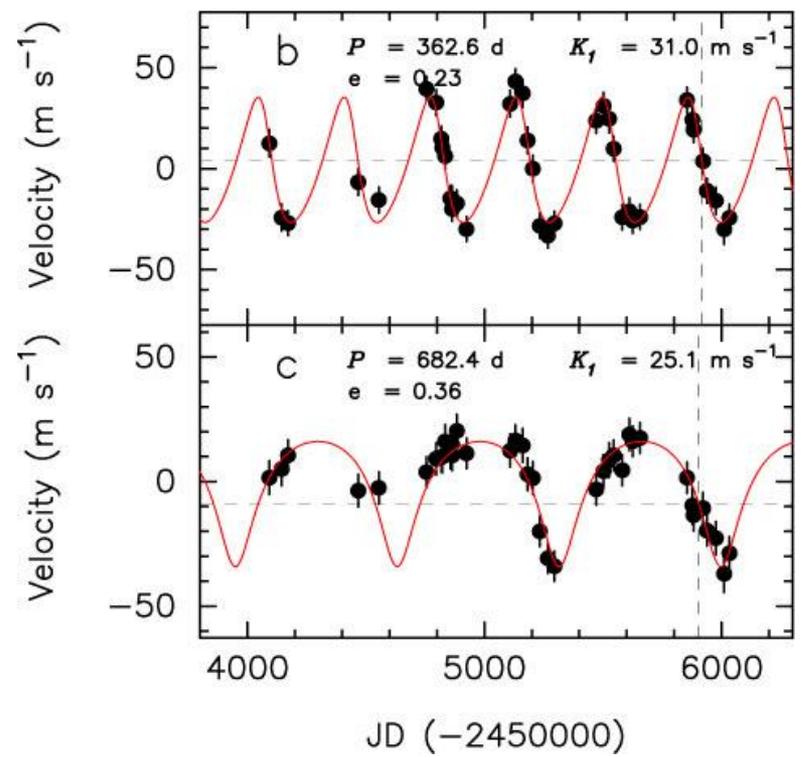
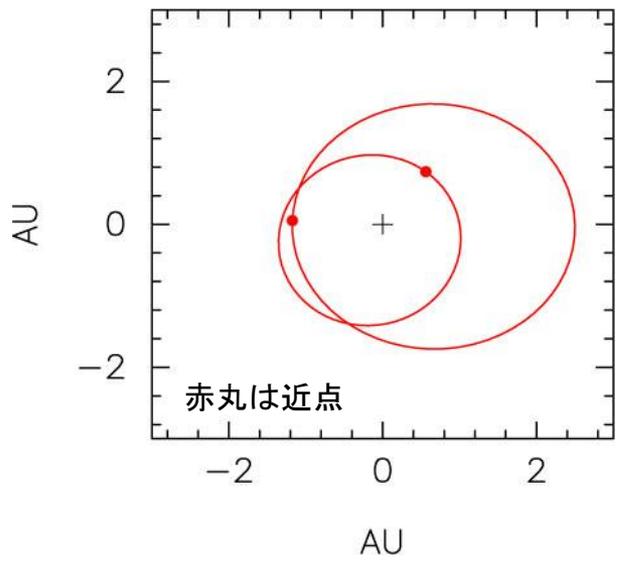
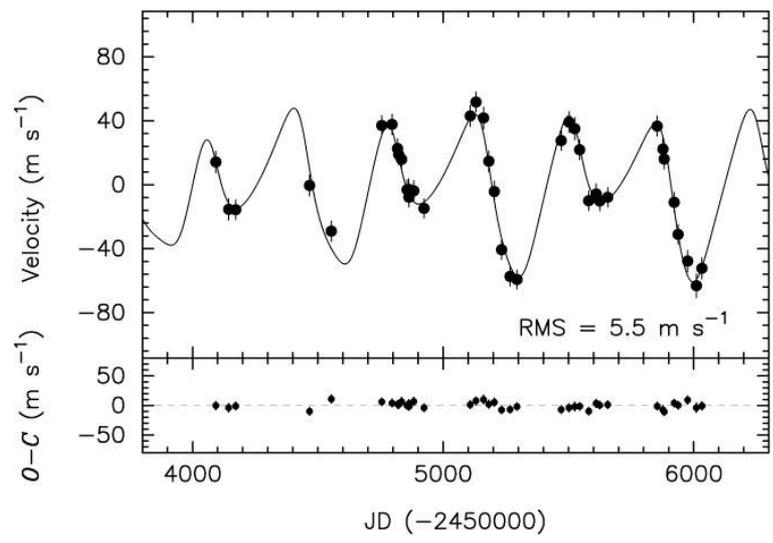
周期比の大きな二重惑星系



cの離心率は
不定性大

周期比は約8:1

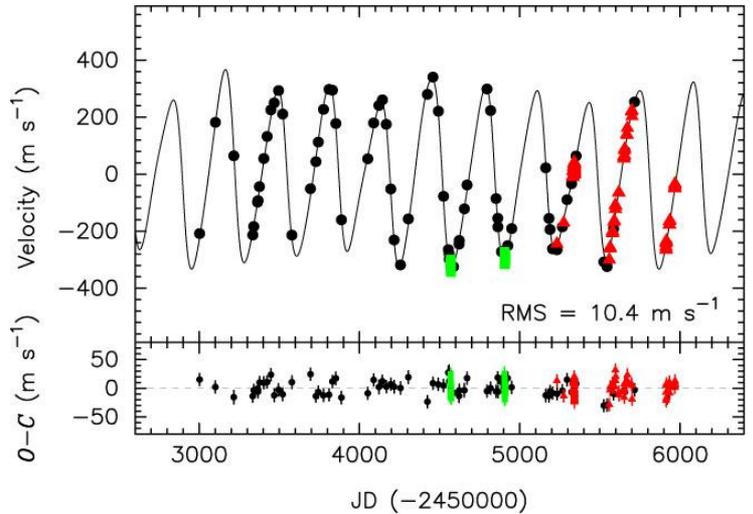
比較的コンパクトな二重惑星系



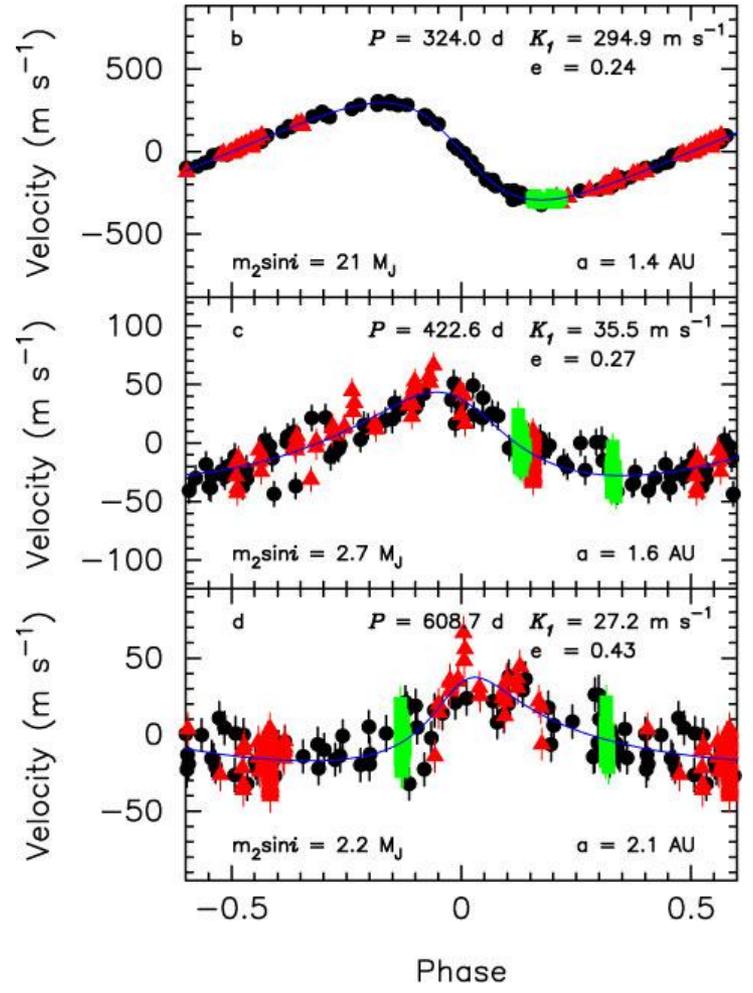
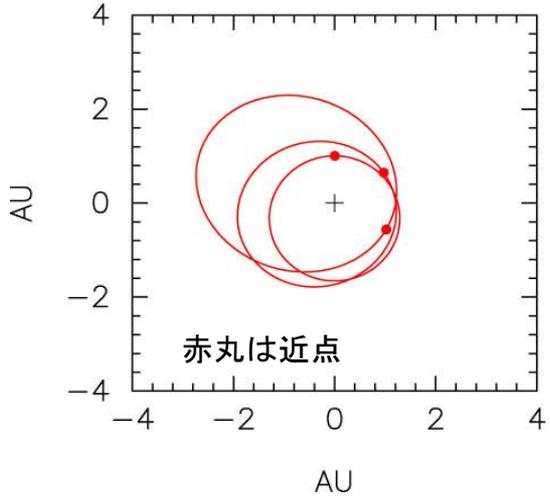
二つの惑星が同一平面上にある
 とすると軌道不安定
 => 軌道がねじれている？

※長沢氏、井田氏(東工大)、小久保氏(NAOJ)を中心に軌道安定性などを解析中

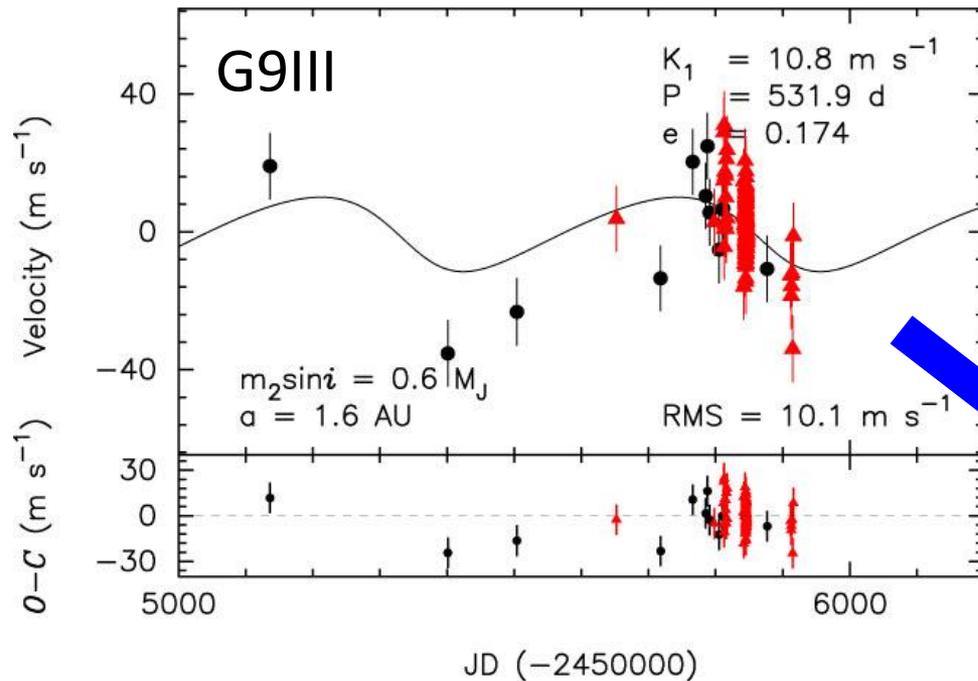
比較的コンパクトな三重惑星系



$$P_b : P_c : P_d = 3 : 4 : 6 ?$$



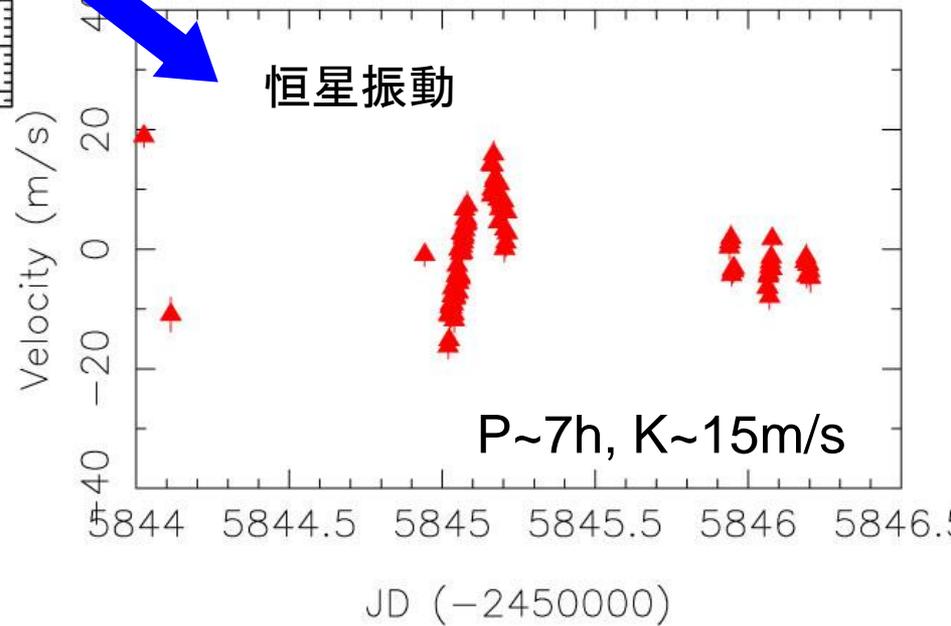
低質量惑星候補



$M_{\star} = 1.9 M_{\odot}$ $a = 1.6 \text{ AU}$
 $M_p \sin i = 0.6 M_{\text{JUP}}$ $e = 0.17$

● : HIDES-S
 ▲ : HIDES-F

低質量($< 2M_{\text{JUP}}$)惑星の検出は脈動による影響のため容易ではないが、
 高頻度観測をすれば可能



EAPSNET現況

■ 中国・興隆

- ✓ 毎年30～40夜の割り当て
- ✓ 2011年5月、新分光器(ファイバーフィード)による試験観測を開始
 - ✓ 測定精度は約8m/s
 - ✓ 効率もどうやら改善された模様→6等星を30分露出でSN>200/pix(2012年6月時点)
 - ✓ ようやくきちんと独立した惑星探しができそう

■ 韓国・普賢山

- ✓ 最近では年間15夜程度の割り当てだが、他の惑星探索プログラムが優先的に走っているため、こちらの望む時間割付が必ずしも実現されない状況
- ✓ 大宮氏(東工大)が主として実行→ポスター講演参照

■ すばる

- ✓ 2006～2008年で計約200天体観測。2009年7月にもサービス観測で130天体について追加データ取得に成功。EAPSNETでのフォローアップ待ち
- ✓ 岡山でのフォローアップは着々と実施

■ トルコ

- ✓ 2008年7月からRTT1.5mで50星のGK型巨星のサーベイを継続
- ✓ 視線速度測定精度～8m/s
- ✓ 惑星をもつ候補天体も見つかりつつあり、重点的にフォローアップ中
- ✓ 長期プログラムとしての採択が終了。今後継続できるかは早期の成果出版にかかっている。

まとめと今後

- プロジェクト観測は順調に進行中
 - 巨大惑星の統計的性質(頻度、質量、軌道長半径分布等)をまとめつつある
 - 低質量惑星($< 2M_{\text{JUP}}$)候補も多数存在
 - $> 2M_{\text{JUP}}$ の惑星と同程度の数
 - 2012年後期からHIDES-Fにより重点的に追観測を実施中
 - 複数惑星系に面白い特徴が見えてきた
 - コンパクトな系と周期比の大きな系(いずれも共鳴に入っている可能性あり)
 - 長期に渡る継続観測の賜物
 - 複数惑星系を検出するには微妙な振幅のゆらぎを検出しなければならない
- EAPSNET
 - 興隆(中国)・新分光器の試験観測開始
 - 精度・効率の向上 → ようやく本格的な惑星探しが可能に
 - 日韓・日土協力、すばる
 - 早期の成果出版に努力

これらの成果・状況を踏まえ、来年以降の展開を検討中