

視線速度精密測定による G型巨星の惑星サーベイ III.

■2010年後期～2011年前期の報告

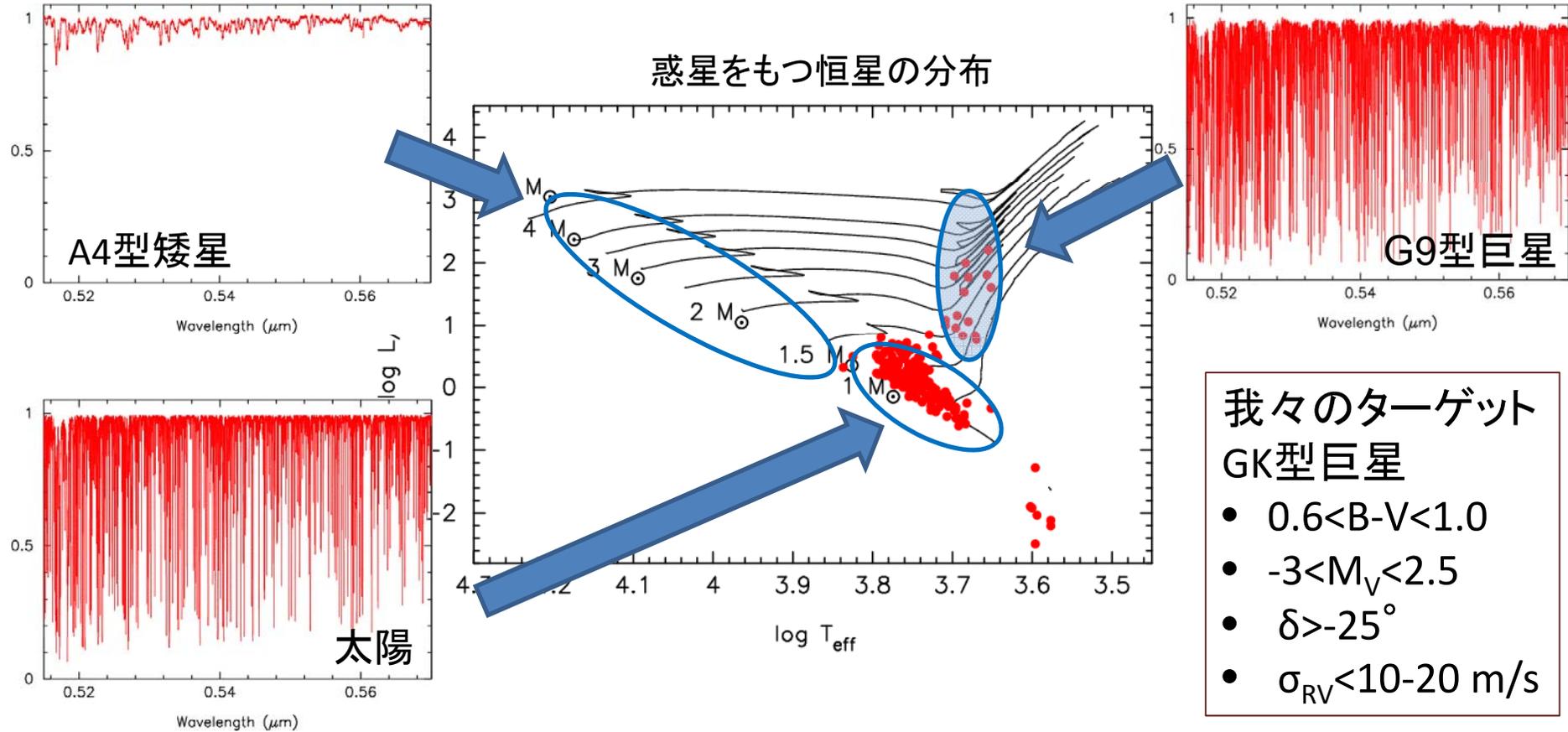
佐藤文衛¹, 原川紘季¹, 大宮正士¹, Liu Yujuan²,
泉浦秀行³, 神戸栄治³, 竹田洋一⁴, 吉田道利⁵,
伊藤洋一⁶, 安藤裕康⁴, 小久保英一郎⁴, 井田茂¹

¹東工大, ²NAOC, ³OAO, ⁴NAO, ⁵広島大, ⁶神戸大

G型巨星惑星探索

- 中質量星 ($1.5 \sim 5M_{\odot}$) の周りの惑星探索
 - 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。最近は若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 ?



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 → 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 → ほぼ完了
 - － 恒星活動の調査
 - 視線速度の周期的変化を示す天体を中心に・・・CaIHK線領域 → 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)
→ 同じく同時に取得できるH α 線が使えないかを調査中
 - － 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

東アジアプラネットサーチネットワーク

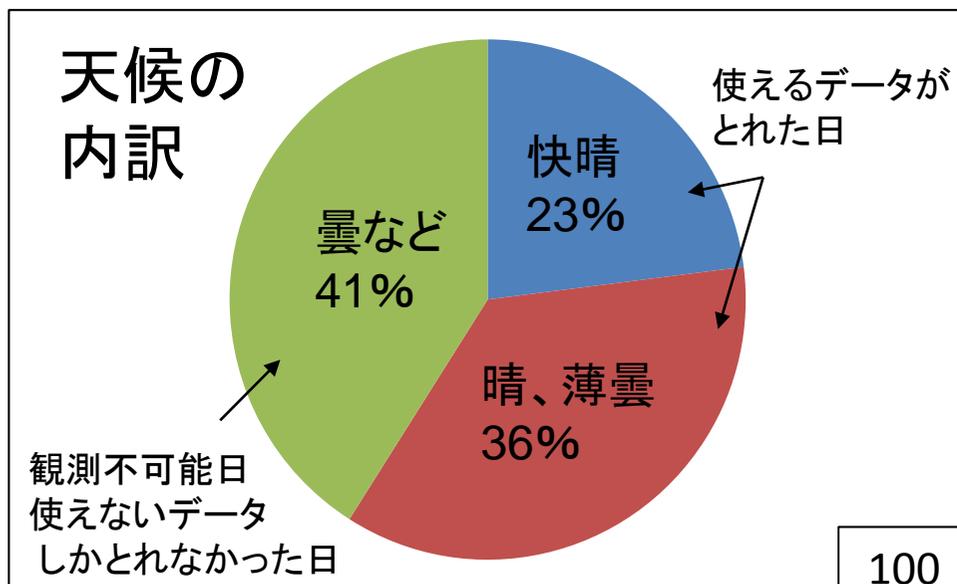
East-Asian Planet Search Network (EAPSNET)

- 岡山プロジェクト:岡山1.88m鏡
 - 300 GK giants ($V < 6$), since 2001
 - 9 planets and 1 brown dwarf
- 日中協力:興隆 2.16m鏡(+岡山)
 - 100 GK giants ($V \sim 6$), since 2005
 - (1 planet and 1 brown dwarf)
 - Liu, Wang, Zhao et al.
- 日韓協力:普賢山1.8m鏡(+岡山)
 - 190 GK giants ($V < 6.5$), since 2005
 - 1 brown dwarf
 - Han, Lee et al.
- すばるプロジェクト:すばる8.2m鏡(+岡山)
 - >200 GK giants ($6.5 < V < 7$), since 2006
 - 1 planet and 1 brown dwarf
- 日土協力:TUBITAK 1.5m鏡
 - 50 GK giants ($V \sim 6.5$), since 2008
 - Selam, Bikmaev, Yilmaz et al.



Goal:
~100 planets
from 1000 stars

観測実績：2010年7月～2011年6月



(これまでとほぼ同じ内訳)

観測実施率、達成率

2010年後期：実56%、達82%

2011年前期：実64%、達87%

ほぼ満足のいく達成率
(観測時間シェアの影響はなし)

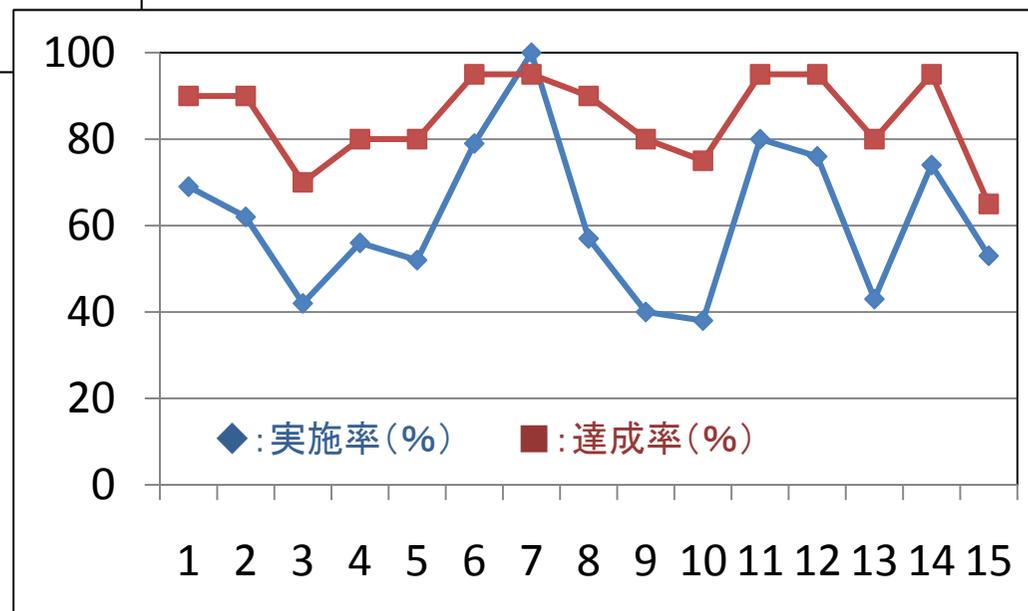
割当夜数：合計77夜

2010年後期 38夜

2011年前期 39夜

(2011年後期 39夜)

ほぼ希望通りに割り当てて頂いた



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

- NEW!** • **A Substellar Companion to the Intermediate-Mass Giant HD 175679**

- Wang et al. 2011, RAA submitted
 - 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

- 関連論文

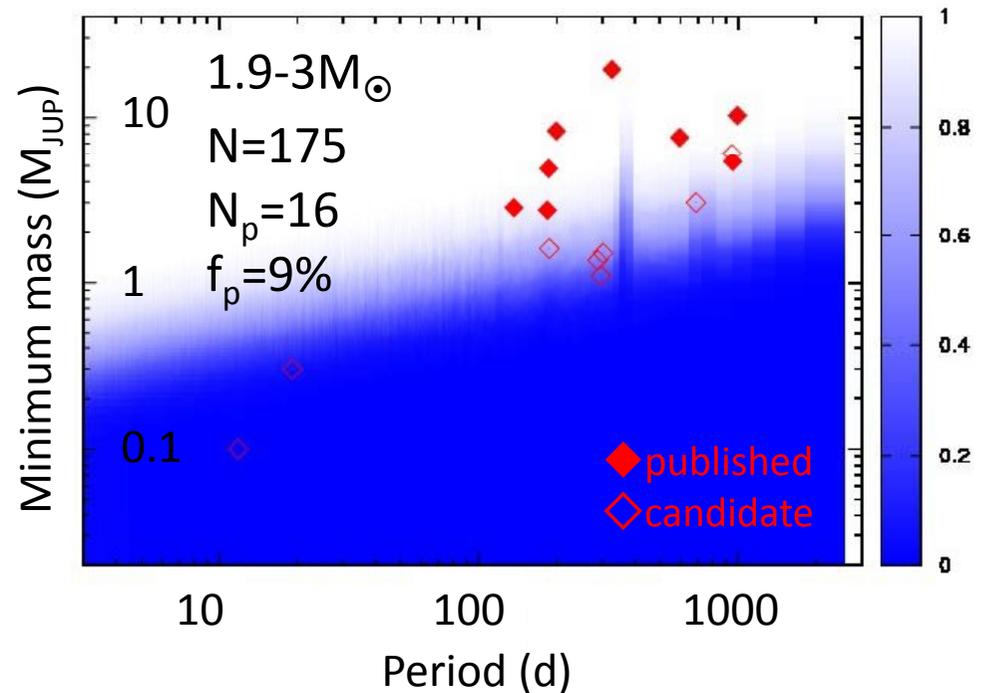
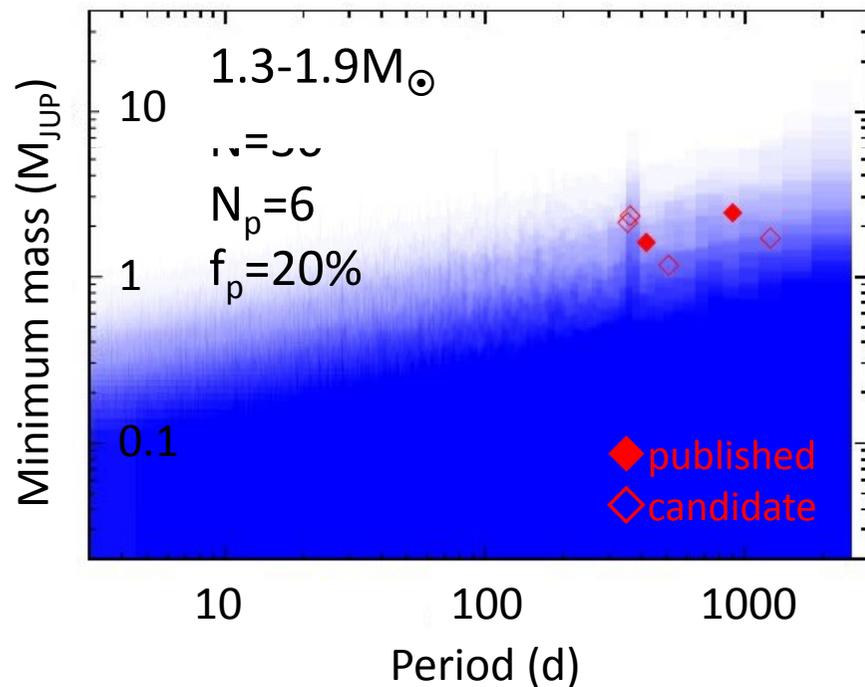
- NEW!** • **Stellar Parameters and Chemical Abundances of G Giants**

- Wang et al. 2011, PASJ in press
 - 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

- NEW!** • **Planet Engulfment by ~1.5-3 Solar-Mass Red Giants**

- Kunitomo et al. 2011, ApJ in press
 - 中心星の進化に伴う短周期惑星の軌道進化の理論計算

最近の進展

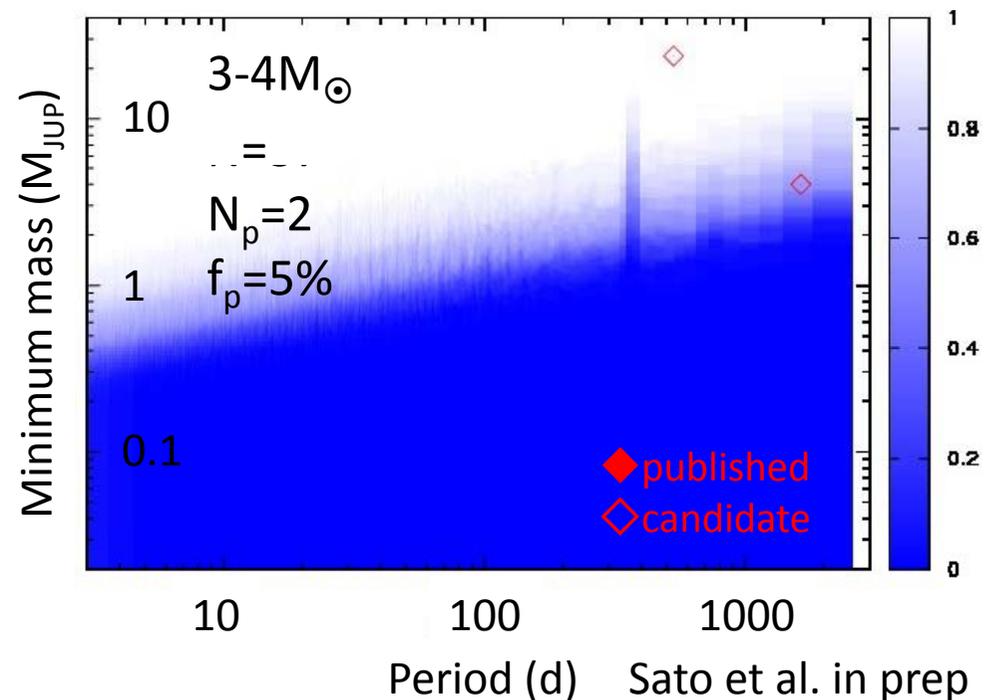


■ Completeness in $a-m_p$ plane

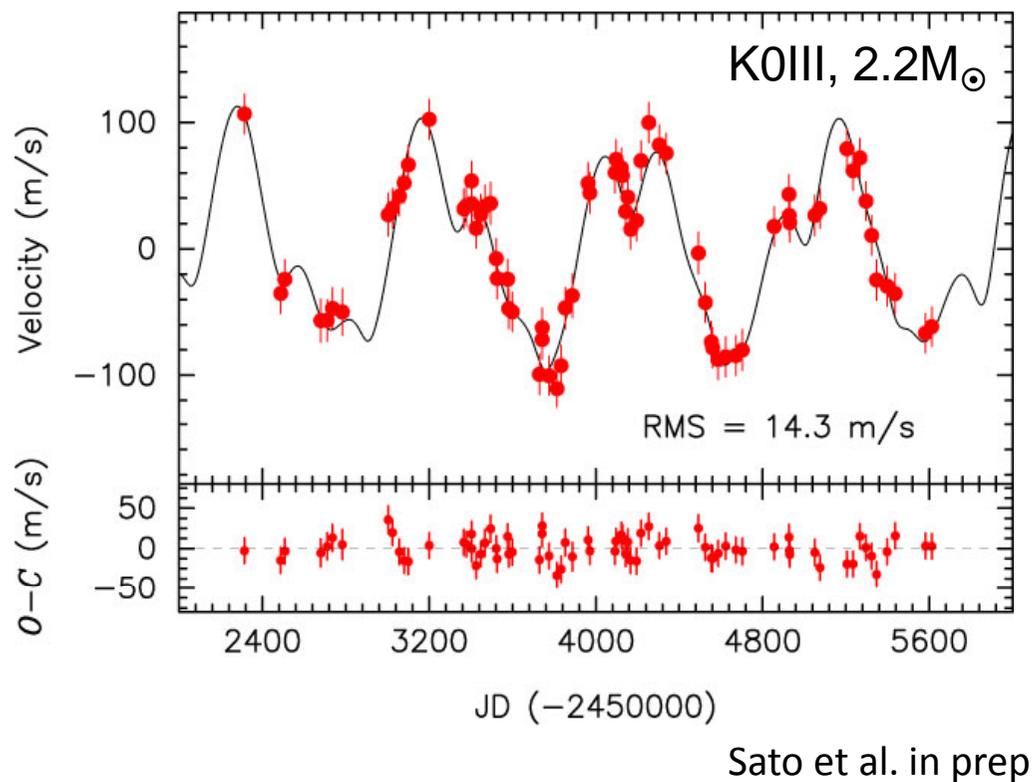
□ $M_p \sin i > 1-2M_J$ かつ $P < 100$ dの惑星がない
 → 短周期巨大惑星の欠乏

□ $2.5M_J$ 以上の惑星は $1.9M_{\odot}$ 以上にのみ存在
 → 惑星質量は中心星質量に依存

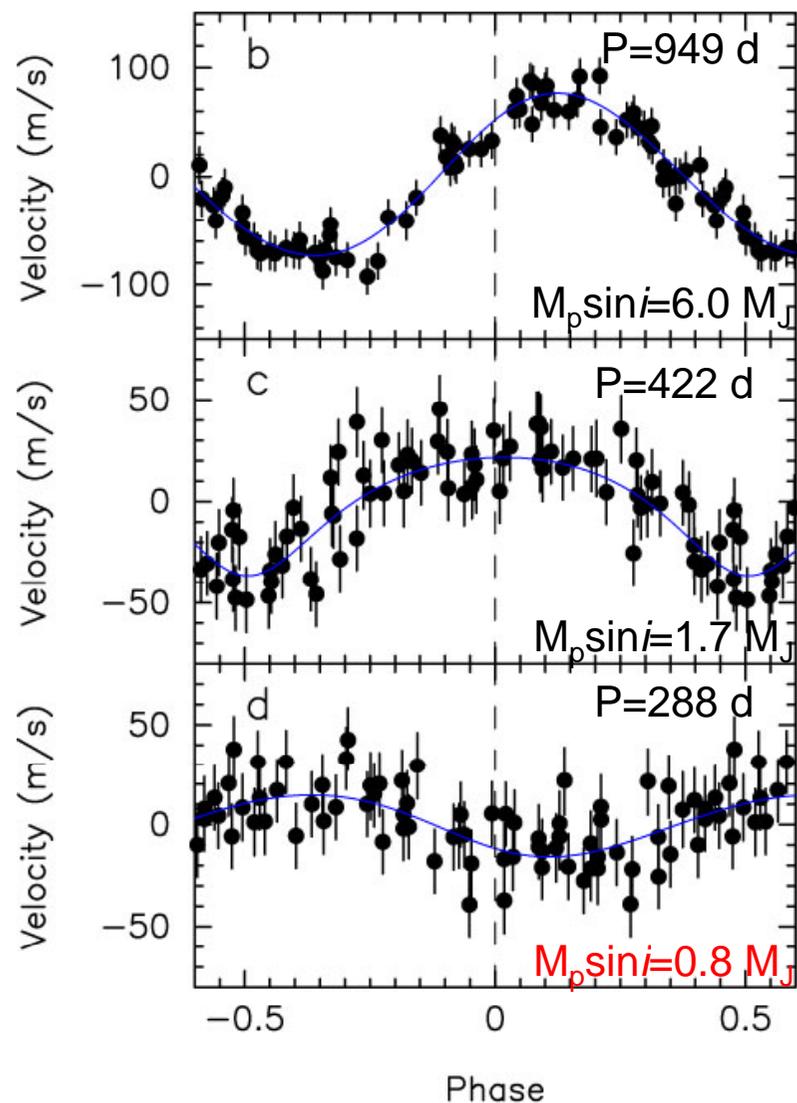
□ ガス惑星の頻度は $1.3-1.9M_{\odot}$ がピーク?
 → しかし、 $M_p \sin i < 1-2M_J$ かつ $P > 100$ dのまだ
 見つかっていない惑星がたくさんありそう



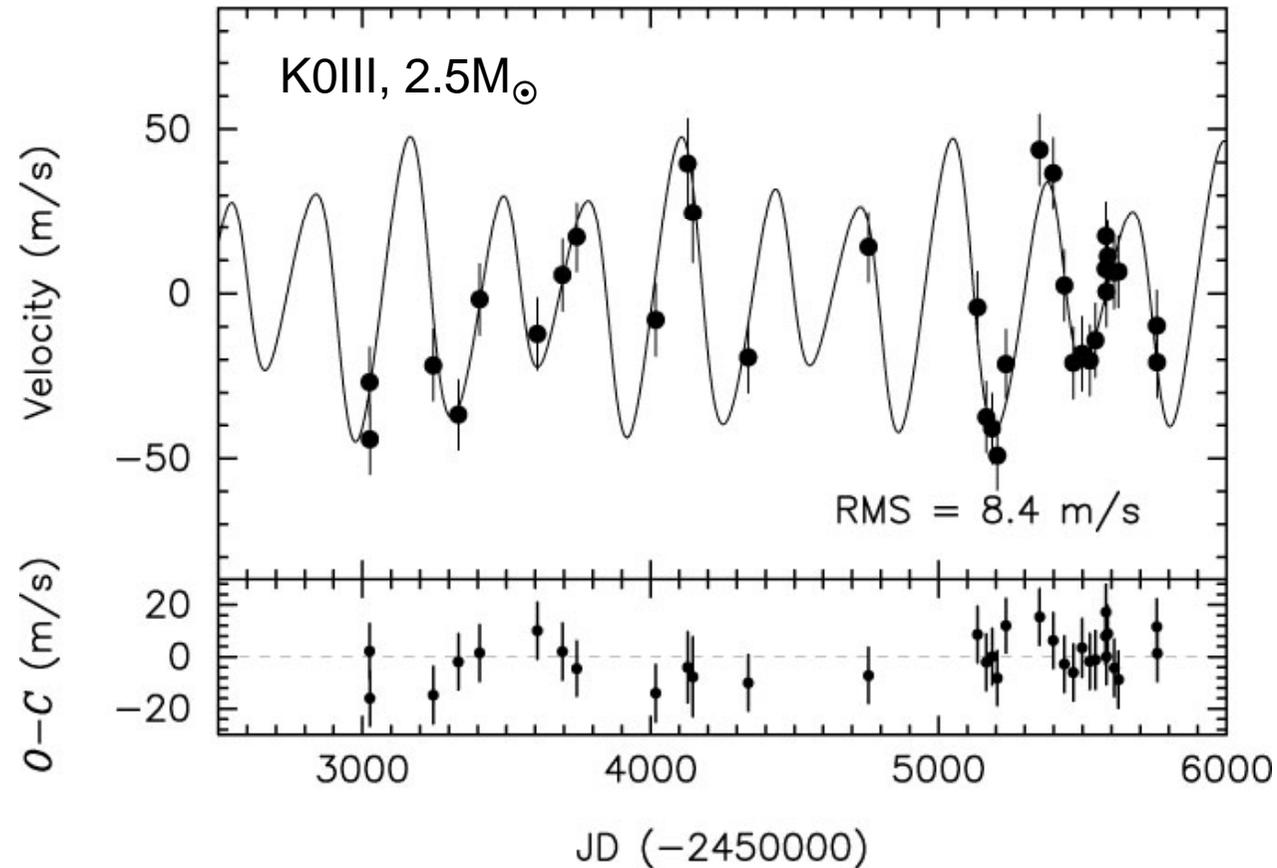
低質量惑星を含む多重惑星系



多重惑星系は重点的に観測しているため
低質量($<1M_J$)惑星にも検出感度がある



平均運動共鳴？



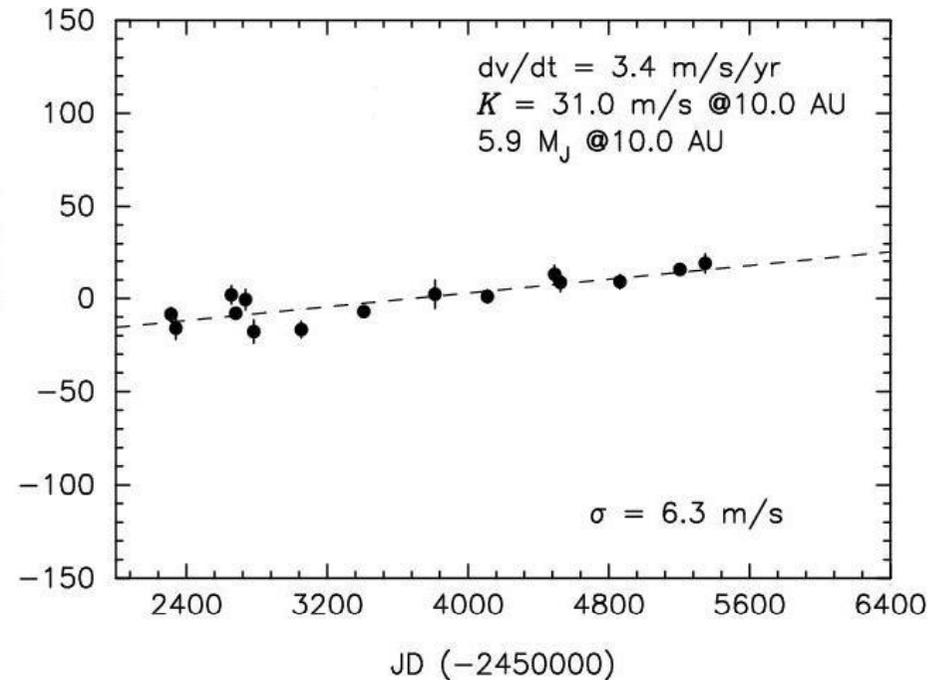
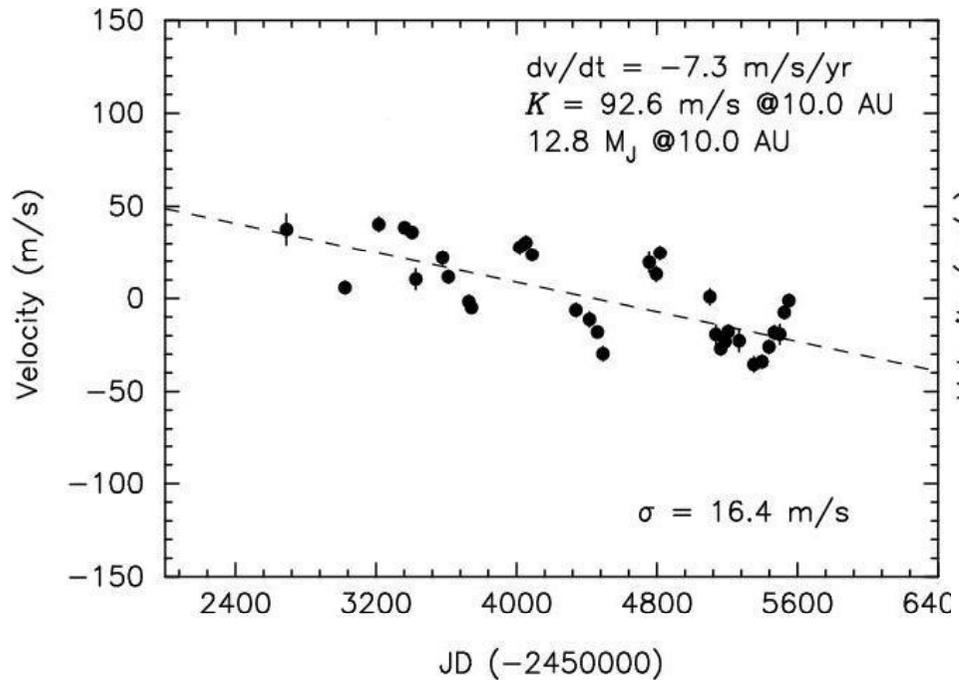
b $P = 314 \text{ d}$
 $M_p \sin i = 2.1 M_J$

c $P = 465 \text{ d}$
 $M_p \sin i = 0.9 M_J$

平均運動共鳴にある系は惑星移動が起こったことを強く示唆

→ 外側領域が惑星形成の主舞台か？落ちてこなかった惑星が多数存在？

Possible Outer Companions

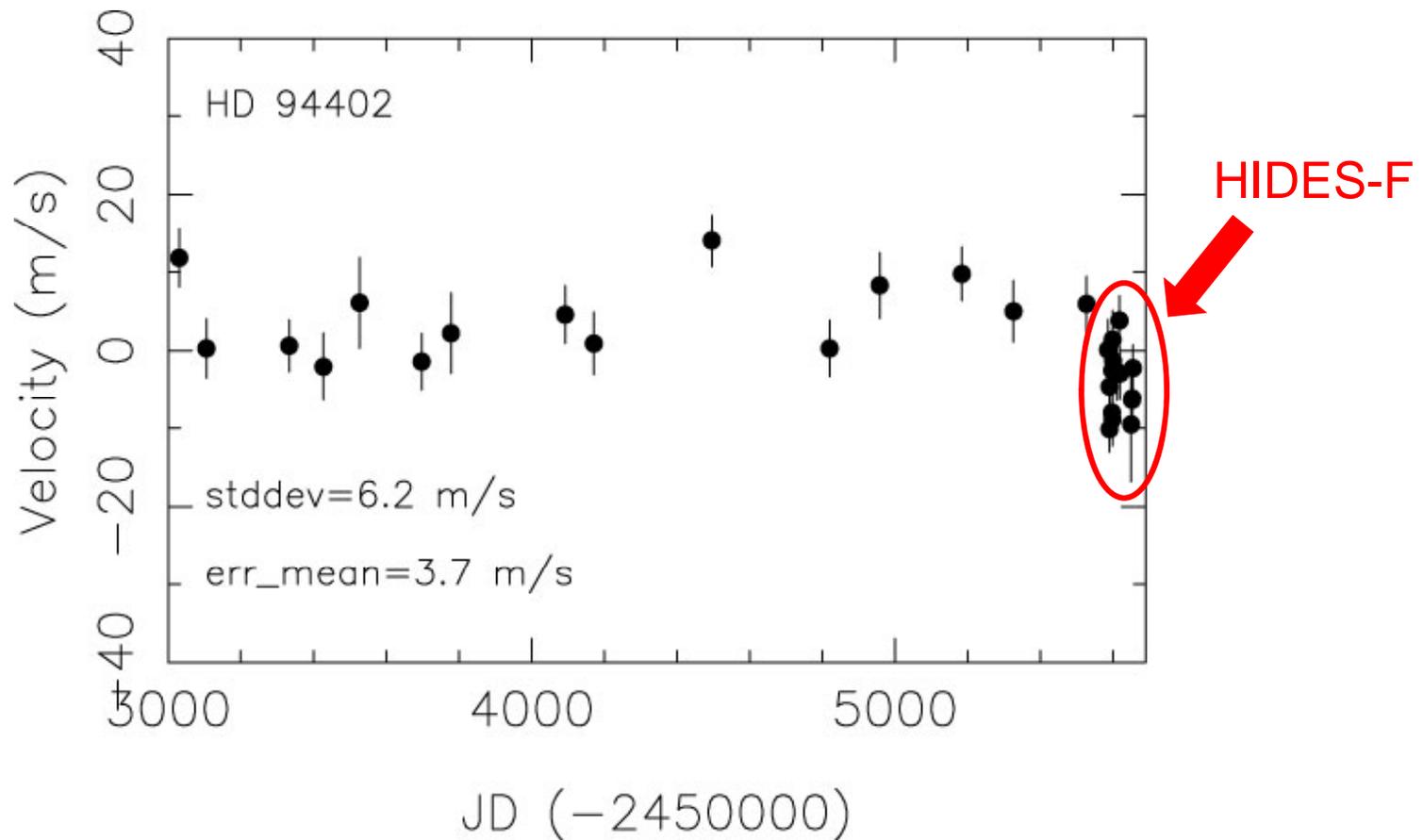


$2K \sim dv/dt \times P/2$ と仮定すると、
10AUに**5-80 M_J** の伴星が存在する
 確率は最大で**10-20%**程度

→ **直接撮像**で伴星質量に制限

Stellar Mass (M_{\odot})	Frequency (%)	
	5-13 M_J	13-80 M_J
1.3-1.9	13	7
1.7-3	11	3
3-4	8	5

HIDES-Fによる観測



スリット観測と共通のテンプレートを用いて解析

現時点で少なくとも**6m/s**程度では接続可能

(若干のオフセットが見られる) => 今後より詳細な解析

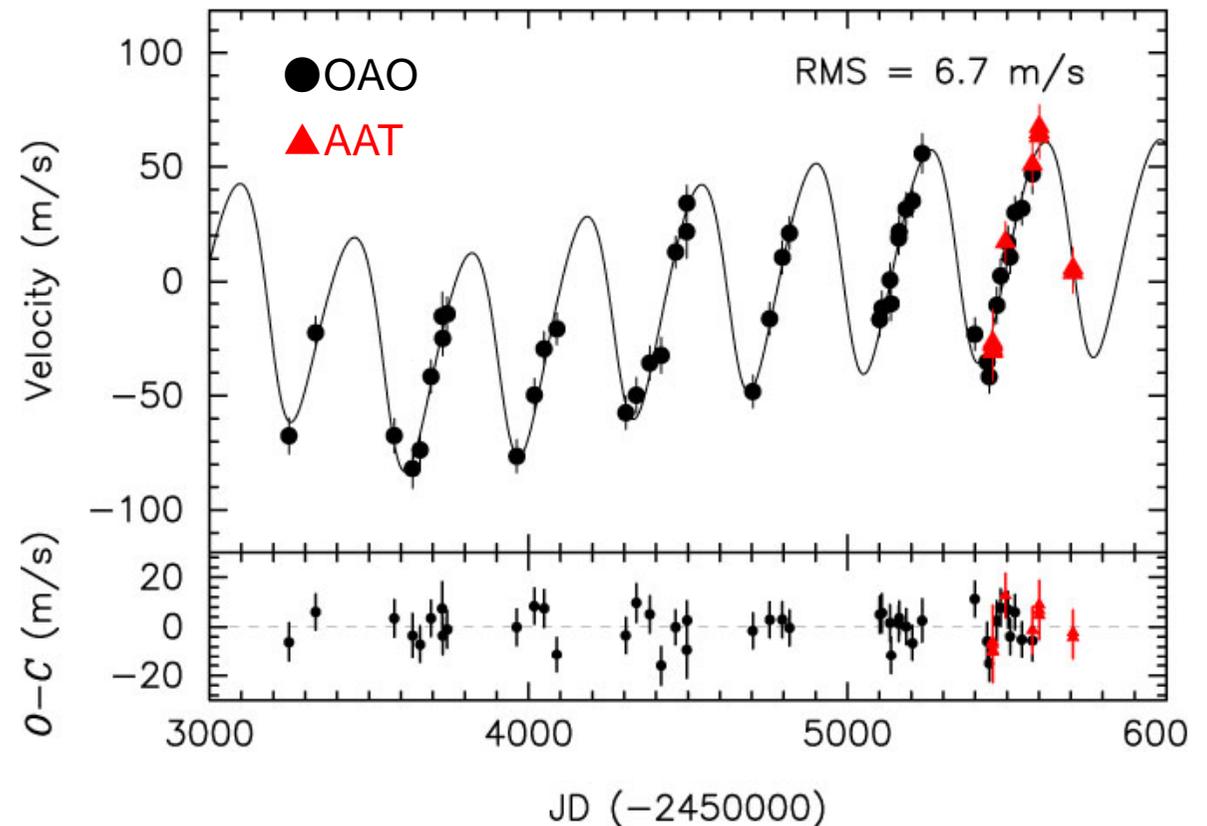
AATとの協力

■変動周期が1年に近く、かつ赤緯が低い($\sim -25^\circ$)ため、岡山からは常に一周期の半分(同じ位相)しか観測できない天体がある

→正確な軌道決定ができない
single or multiple?

■Robert Wittenmyer氏(AAO)に協力を依頼しAATでも観測してもらい、岡山では観測できない位相をカバー

■今後の協力拡大を検討中



EAPSNET現況

■ 中国・興隆

- ✓ 毎年**30~40夜**の割り当て
- ✓ 2009年3月、**CCDをアップグレード**(1Kx1K, 24um/pix→2Kx2K, 13.5um/pix)
 - ✓ 安定して約15m/sを達成→褐色矮星論文(Wang et al. 2011)
 - ✓ しかし効率が悪いという問題は依然として解消されず
 - ✓ **最近**は専ら**少数のすばる候補天体のフォローアップ**
- ✓ 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
 - ✓ 期待される性能が出れば今後大きな武器。ようやく本格的なサーベイが可能に。

■ 韓国・普賢山

- ✓ 最近**は年間30夜**程度の割り当て(以前より増えた)
- ✓ 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からは**新たに2個の惑星**の軌道がまもなく決定
- ✓ すばるでの追観測も検討中

■ 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

まとめと今後

- プロジェクト観測は順調に進行中
 - 統計的性質をまとめつつある。
 - より軽く($<2M_{\text{JUP}}$)、より遠く($>4\text{AU}$)を目指す($\sim 10\text{AU}$ の伴星の兆候)
 - 派生した研究も徐々に展開
 - 直接撮像、ヒアデス早期型星の惑星探索(ポスター参照)、理論 等々
- EAPSNET
 - 日中協力4本目の論文を投稿
 - 興隆(中国)・新分光器の試験観測開始。早期の実戦投入が待たれる。→今後の強力な武器となるはず
 - AATとの協力も試験的に始めた
- HIDES-F
 - 現時点で、スリット観測と 6m/s 程度の精度で接続可能→今後さらに追究
 - 高効率を生かした高頻度観測
 - jitterの見積もりに有効
 - 低振幅変動の検出に一定の効果はありそう
 - 今後、サンプル増 and/or 観測頻度増