

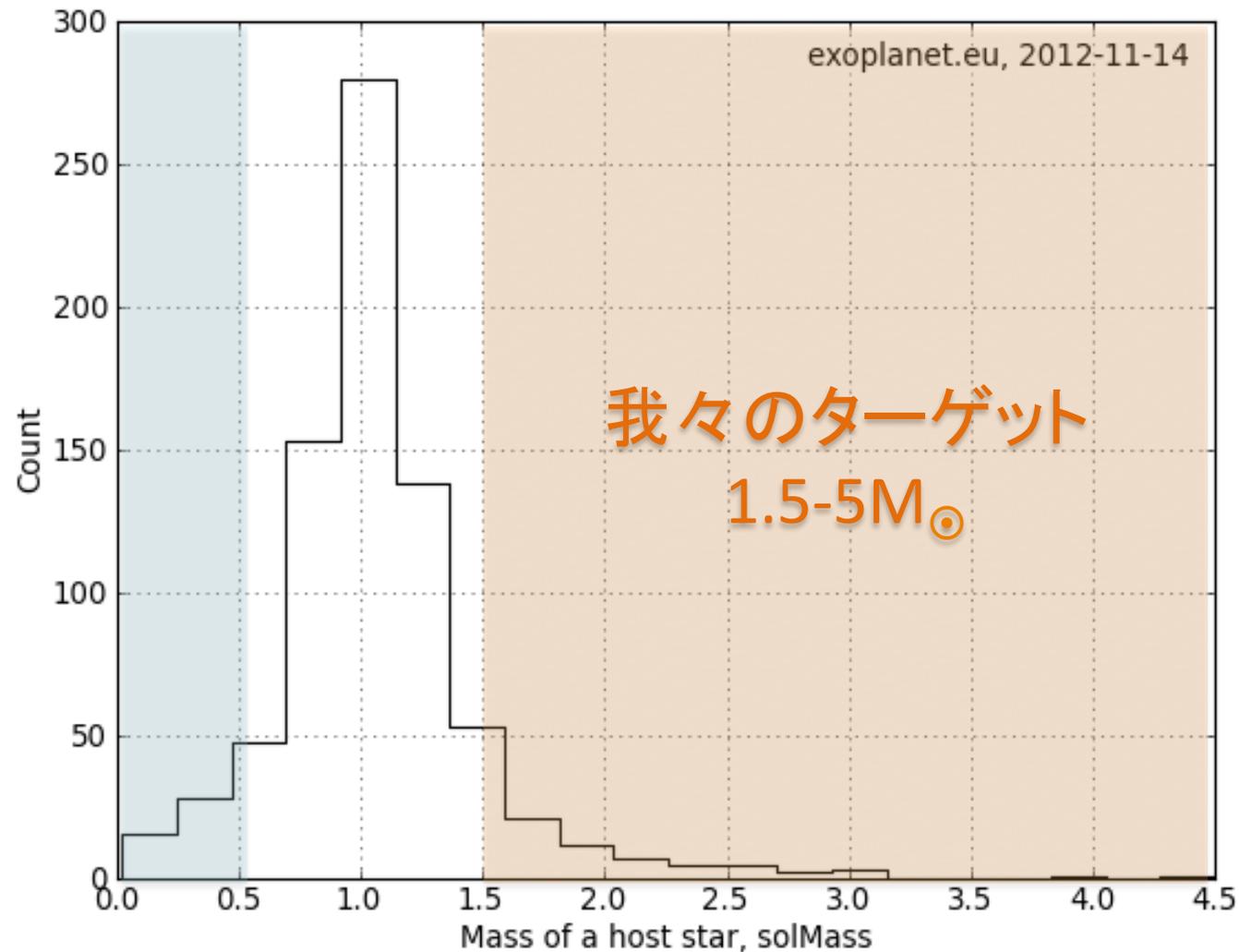
視線速度精密測定による G型巨星の惑星サーベイIV.

- 第3期プロジェクト観測(2012年後期)の実績と最新の成果
- 第4期プロジェクト観測(2013年後期~2016年前期)の概要

佐藤文衛¹, 原川紘季¹, 大宮正士¹,
泉浦秀行², 神戸栄治², 竹田洋一³, 吉田道利⁴,
伊藤洋一⁵, 安藤裕康³, 小久保英一郎³, 井田茂¹

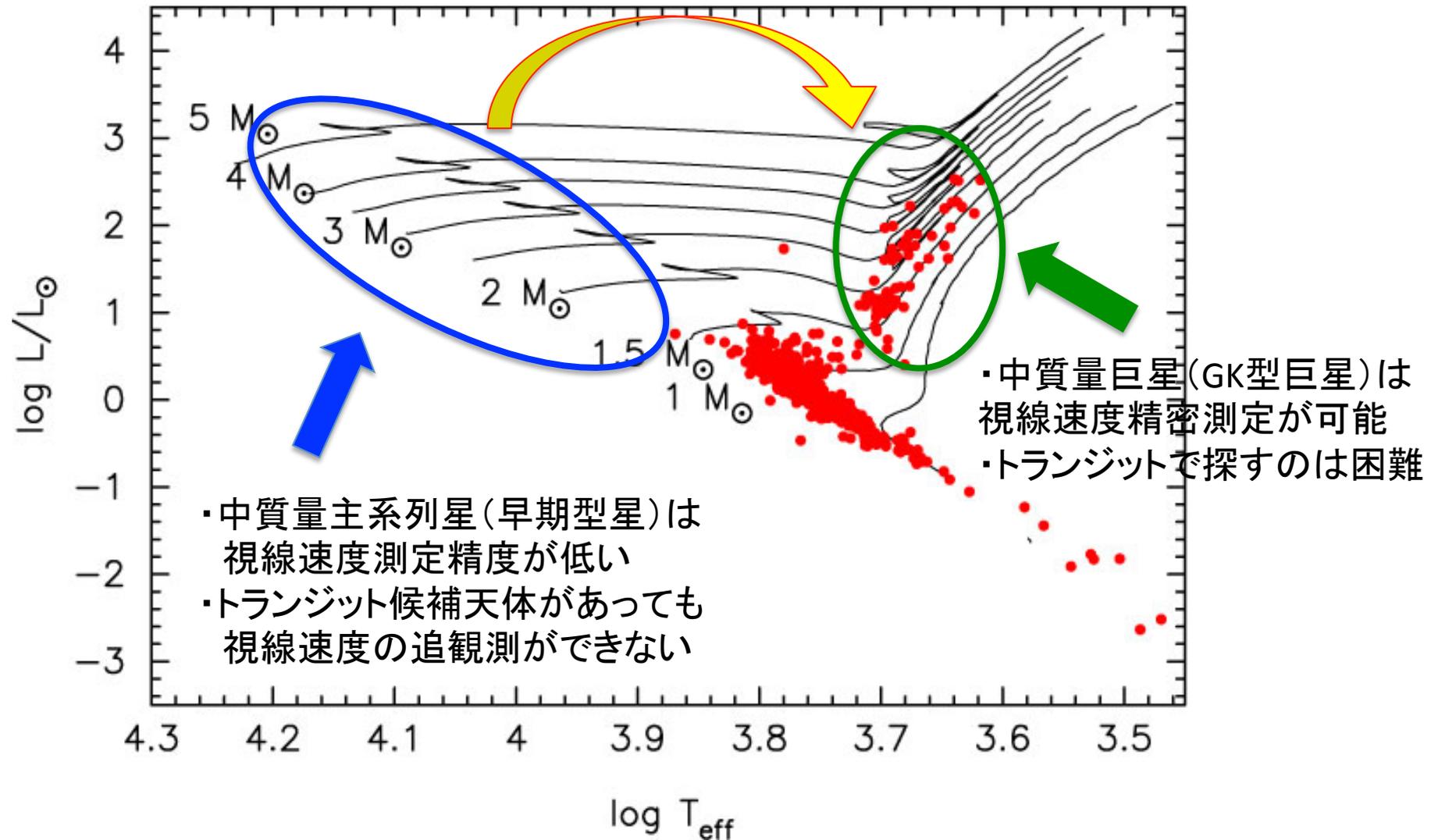
¹東工大, ²OAO, ³NAO, ⁴広島大, ⁵兵庫県立大

惑星をもつ恒星の質量



中質量GK型巨星の視線速度サーベイ

視線速度観測で見つかった惑星をもつ恒星の分布



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

理論的予測

■ 巨大惑星頻度

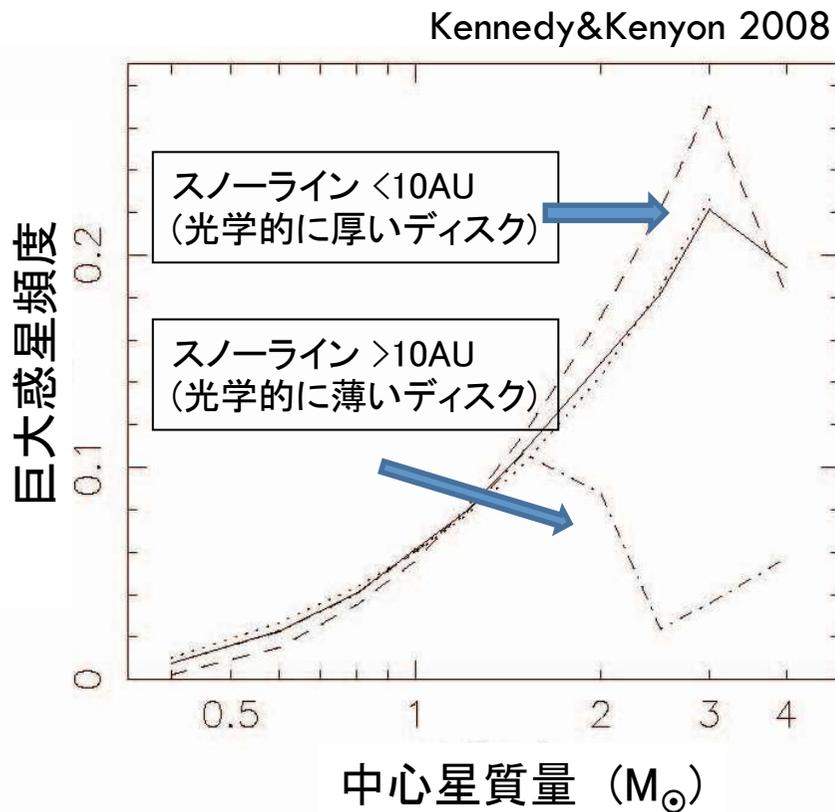
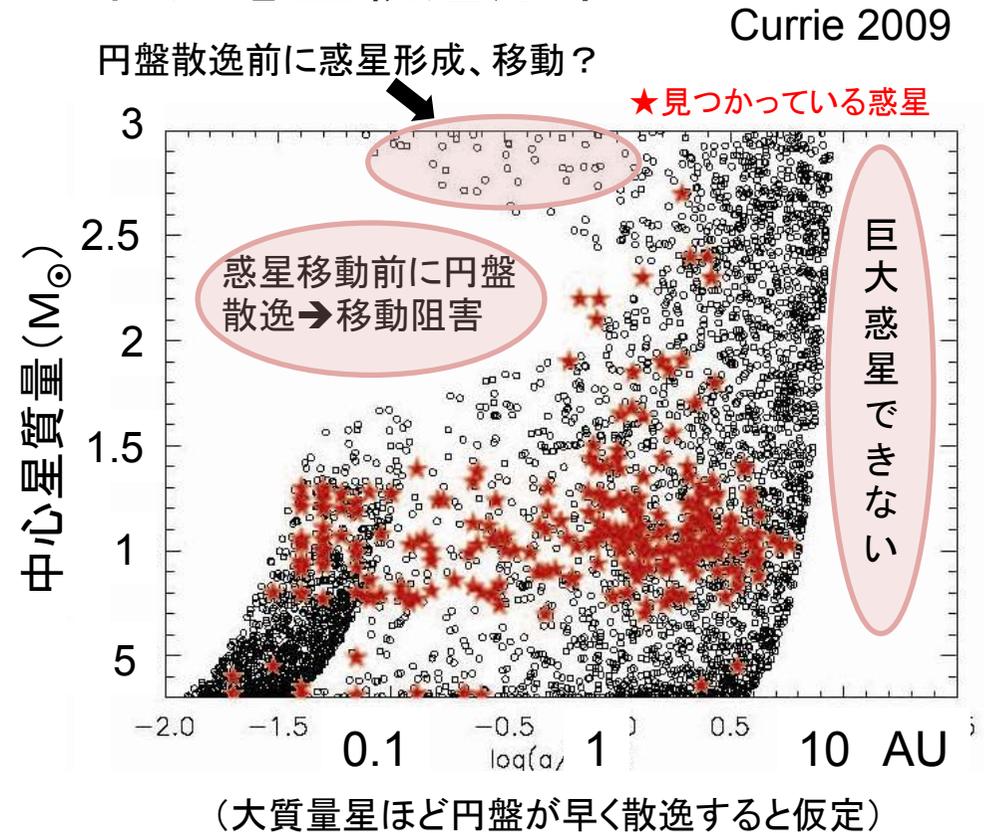


FIG. 7.—Probability of a star harboring at least one gas giant planet as a function of stellar mass for our baseline model (solid line), and $\delta = 1$ and $M_{\text{core}} = 5 M_{\oplus}$ (dashed line). The thin dotted line is a fitted line of constant slope $P_{M_*} = 0.20M_* - 0.06$. The dot-dashed line has $a_{\text{snow}} \propto 2.7M_*^2$ AU for comparison with Ida & Lin (2005). All curves are normalized to 6% at $1 M_{\odot}$ via a straight line fit.

■ 巨大惑星軌道分布



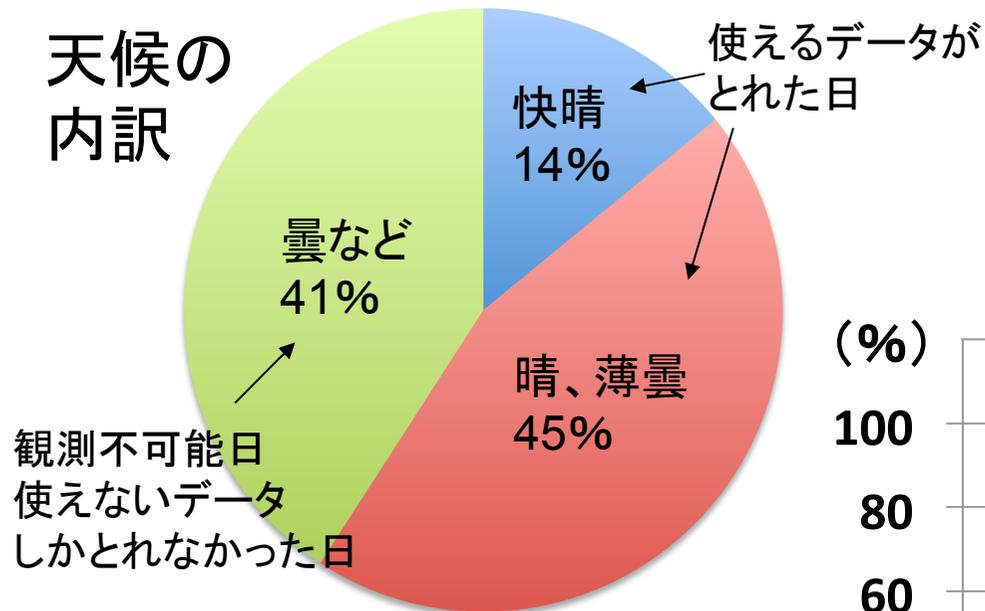
- 内側領域の惑星の分布は、円盤散逸と惑星形成・移動の時間尺度の兼ね合いによる
- コア集積では > 10AU に巨大惑星できにくい

これまでの取り組み

- 一般観測(2001-2003)
 - 中質量G型巨星における初の惑星発見
- プロジェクト観測 I.(2004-2006)
 - 複数の惑星候補の発見
 - 軌道分布などが太陽型星周囲の惑星系とは異なる兆候
 - 東アジア(日中韓)協力によるサンプル増大
- プロジェクト観測 II.(2007-2009)
 - 惑星候補の軌道決定、巨大惑星の統計的性質
 - 東アジア(日中韓)協力によるサンプル増大
- プロジェクト観測 III.(2010-2012)
 - 惑星候補の軌道決定
 - 時間軸延長(>4AU) → スノーライン(~10AU)を目指す
 - 低質量(<2M_{JUP})惑星、複数惑星系探索
 - 東アジア(日中韓)協力によるサンプル増大

東アジア協力を含め、これまでに**約30個**の惑星・褐色矮星を発見
(現在知られている巨星を回る惑星の約半数)

観測実績：2012年7月～2012年12月

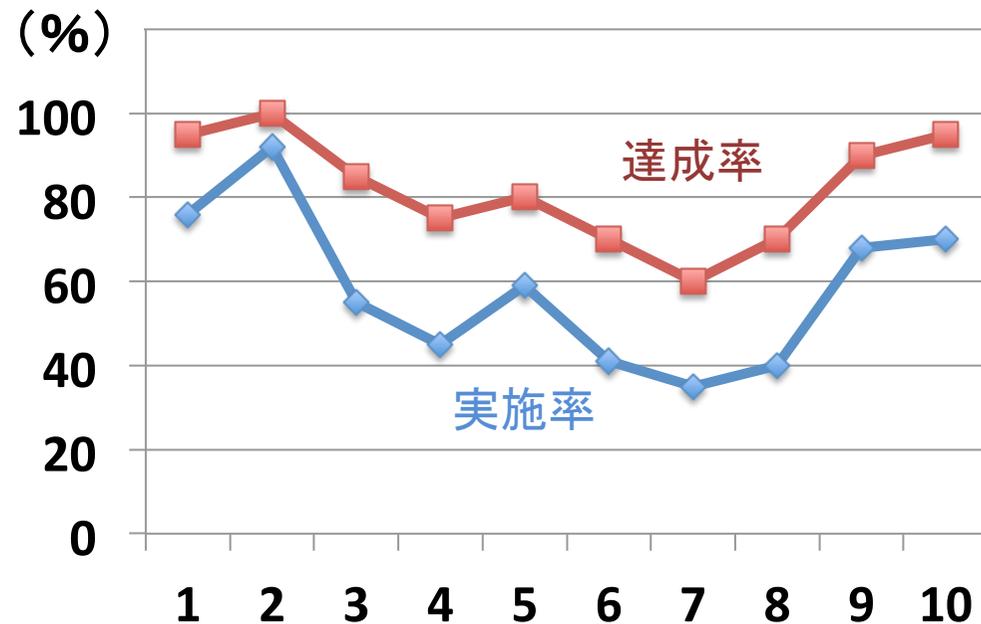


割当夜数：合計**34**夜
ほぼ希望通りに割り当てて頂いた

観測実施率、達成率

2012年後期：実**58**%、達**82**%

ほぼ満足のいく達成率



※2013A期は、一般課題で12夜採択(実施率56%、達成率78%)

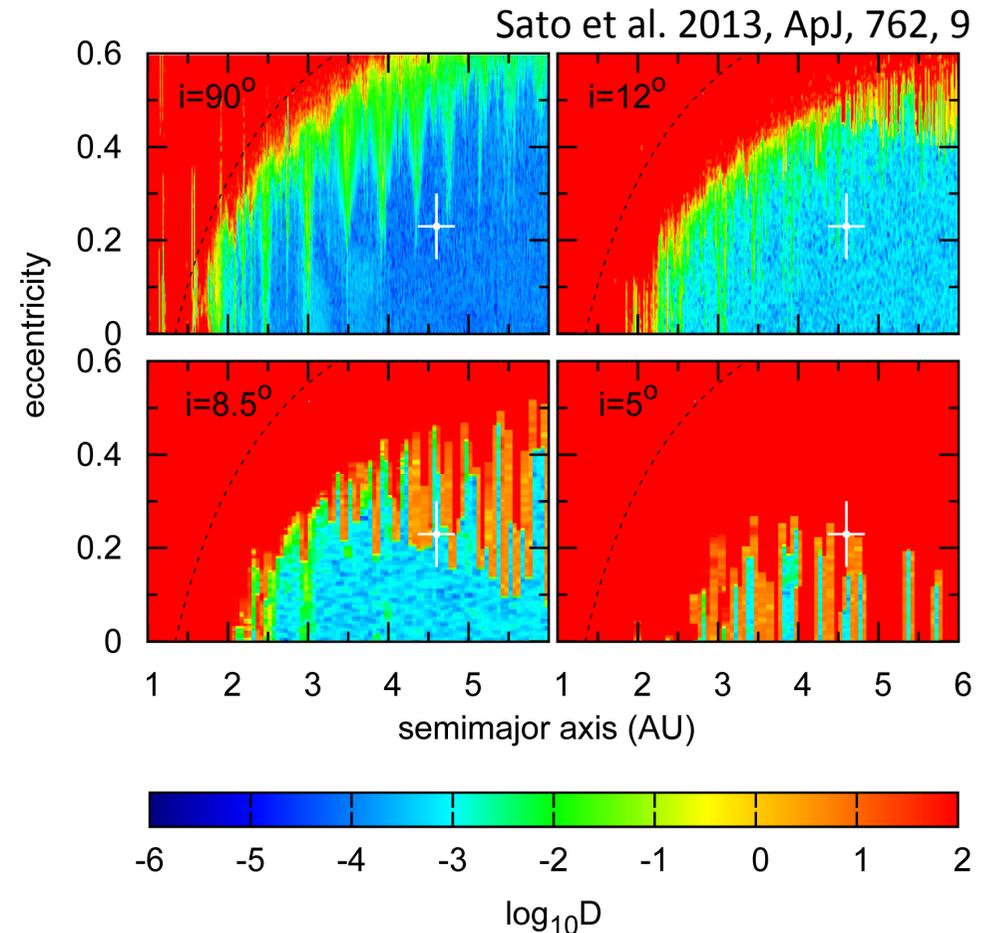
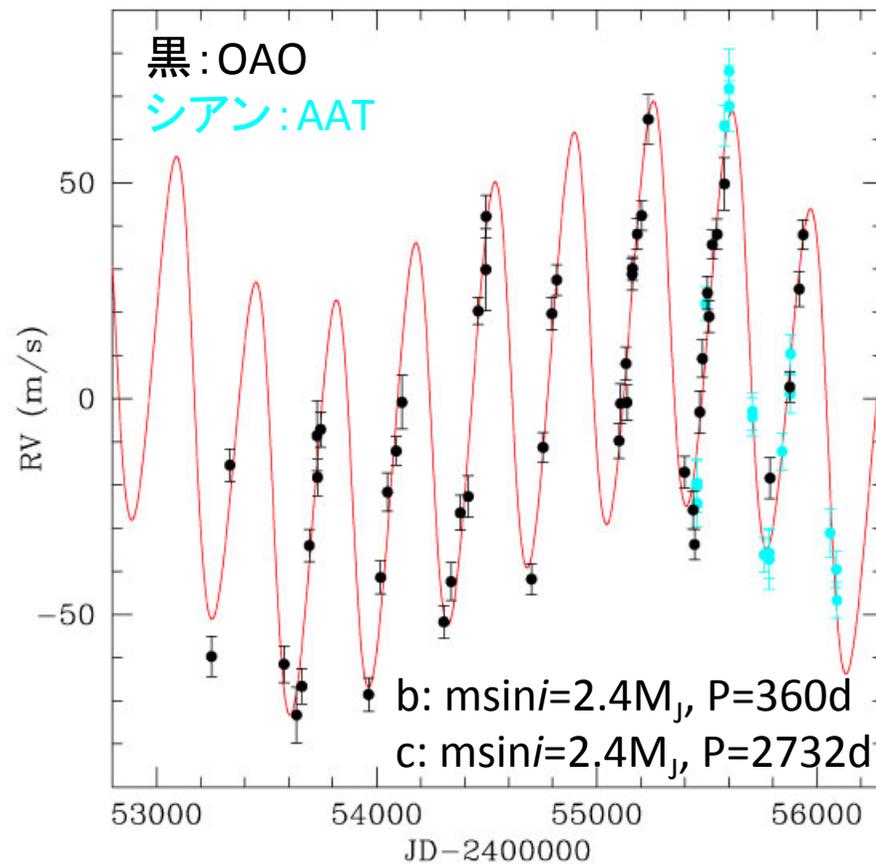
発表された成果

□ 査読論文 (昨年のUM以降)

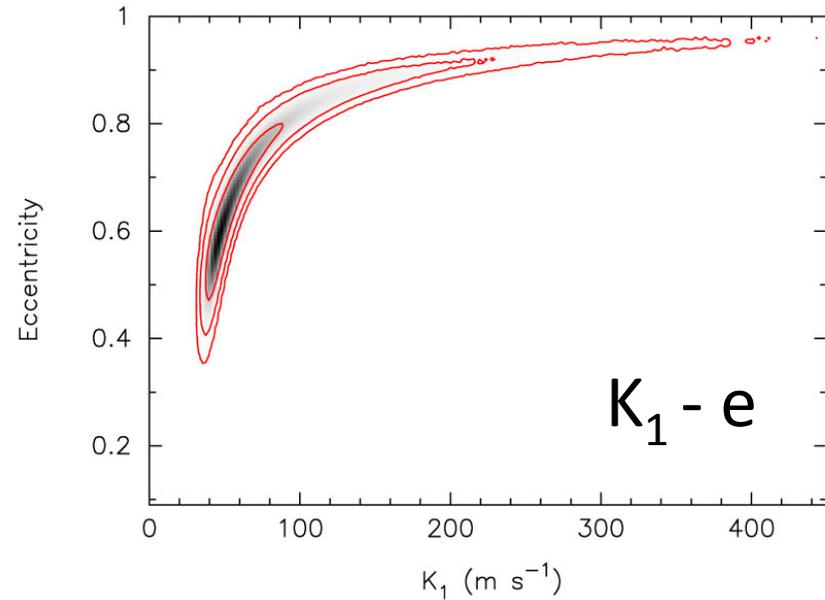
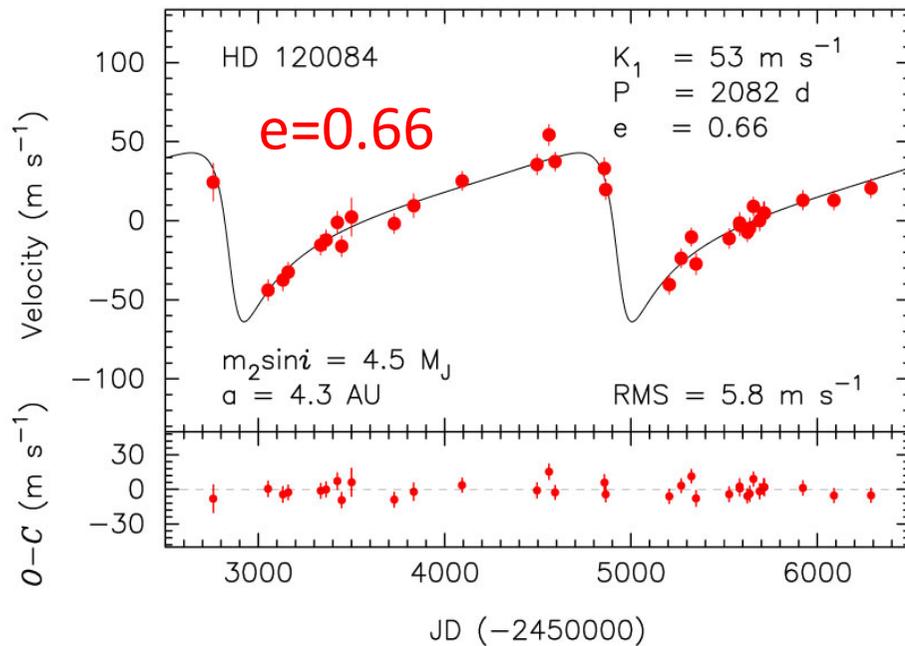
- ✓ **A Double Planetary System around the Evolved Intermediate-mass Star HD 4732**
 - Sato et al. 2013, ApJ, 762, 9
 - AAT(豪)との共同研究。軌道安定性解析から惑星質量に制限。
- ✓ **Planetary Companions to Three Evolved Intermediate-Mass Stars: HD 2952, HD 120084, and ω Serpentis**
 - Sato et al. 2013, PASJ, in press
 - 比較的低質量 ($< 2M_{\text{JUP}}$) の惑星 (HD 2952 b, ω Ser b) と大離心率惑星 (HD 120084 b, $e=0.66$)

複数惑星系: HD4732

- $\delta = -25^\circ$ のためOAOからは限られた時期しか観測できず → AATとの協力
- HD4732cはこれまでに進化した中質量星周りで見つかった最も外側(4.6AU)の惑星
- 軌道安定性解析から惑星質量(軌道傾斜角)に上限(下限) → $m_{b,c} < 28M_{JUP}$ ($i > 5^\circ$)

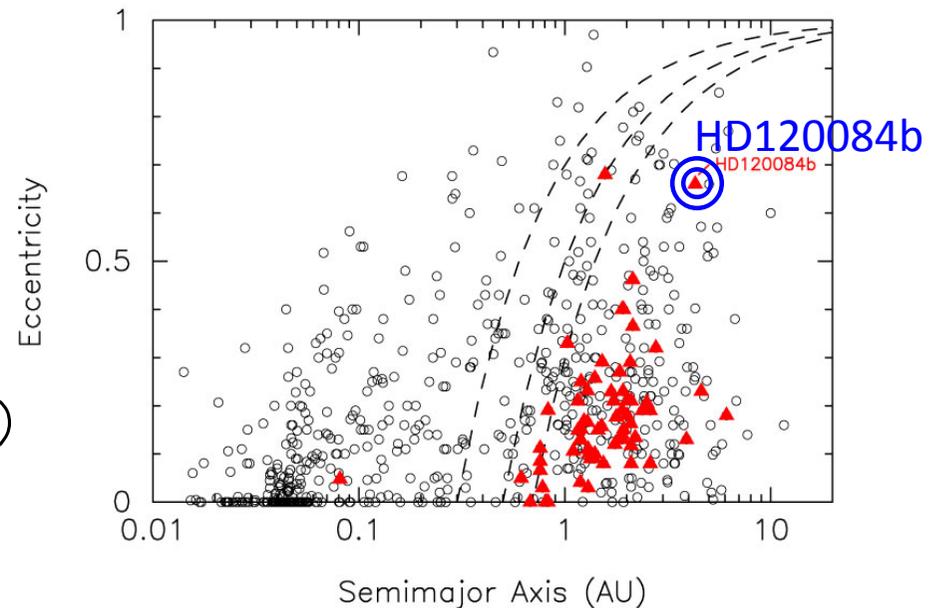


大離心率惑星: HD120084 b



K_1 と e の不定性が大きい(右上図)、
99%の信頼度で $m_2 \sin i < 13 M_{JUP}$

長期トレンドの解析から、
~36AU (~90AU) 以内に $> 13 M_{JUP}$ ($> 80 M_{JUP}$)
の伴星は存在せず



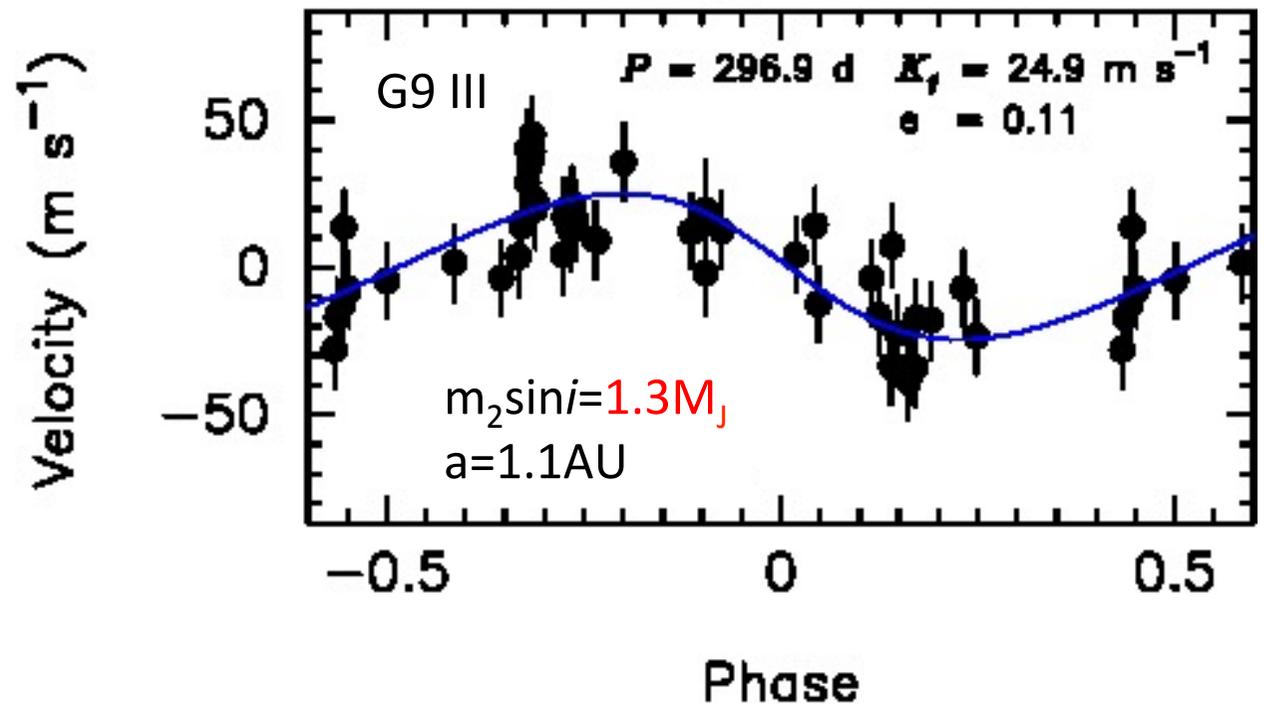
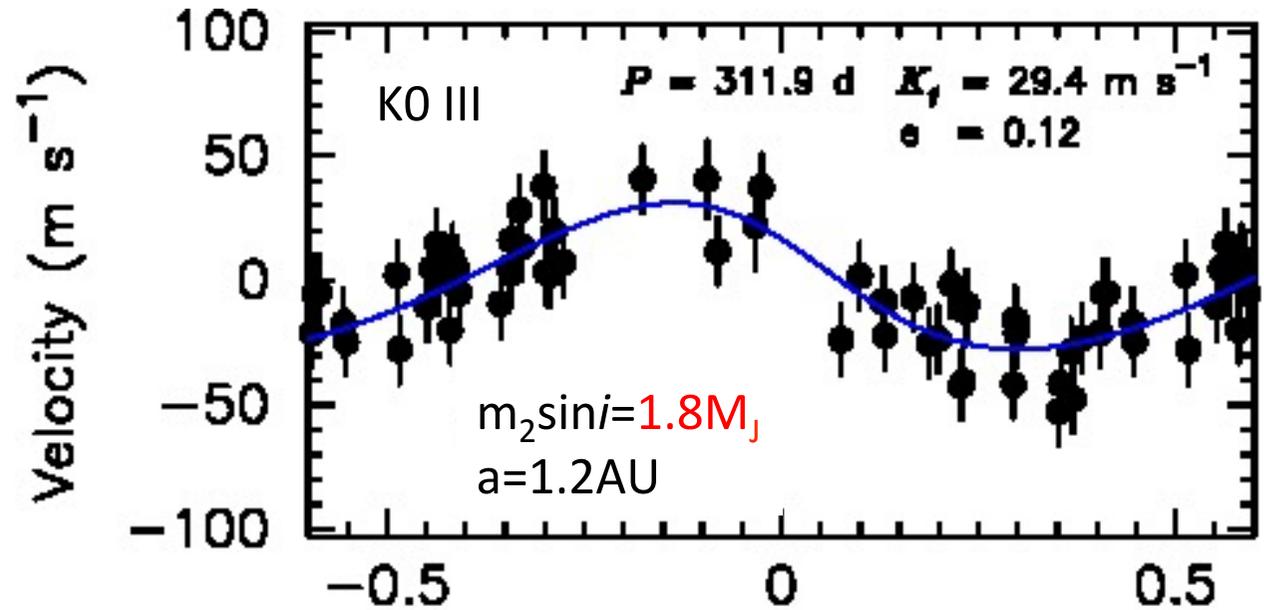
第4期プロジェクト観測へ向けて

最新の成果

低質量惑星 候補

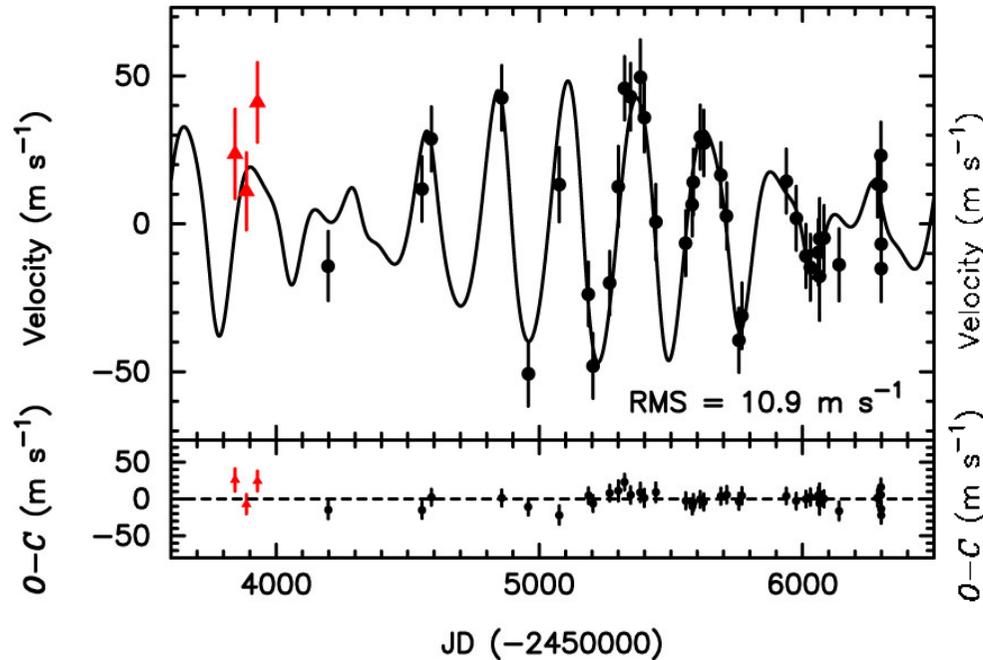
巨星は脈動によるRV変動のため低質量惑星($<2M_{JUP}$)を検出しにくい

多数の密なデータ取得によって巨星周りの低質量惑星領域を新たに開拓
→より正確な巨大惑星頻度の導出

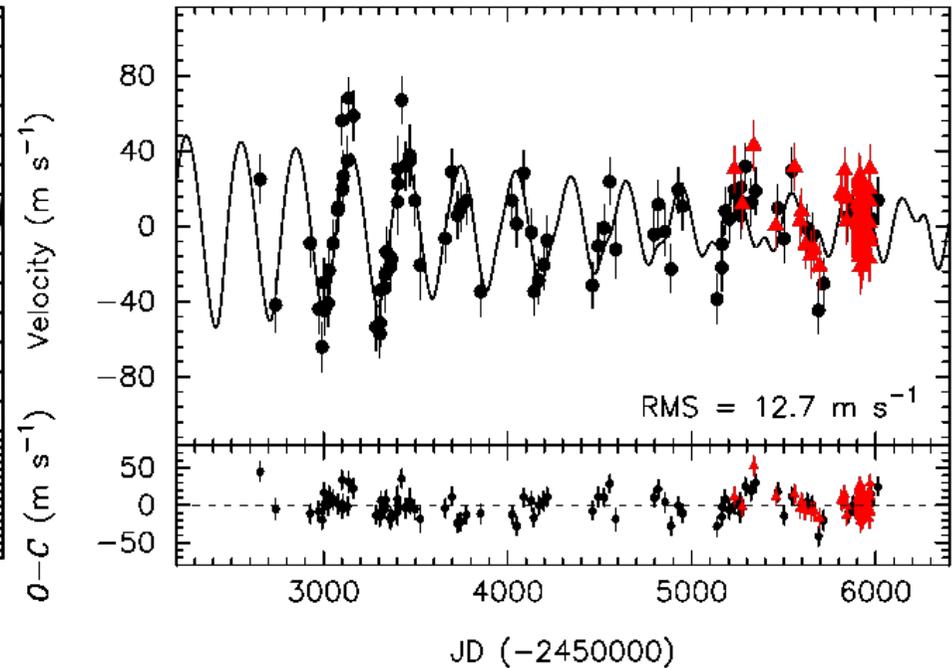


面白い**複数**惑星系候補

P=250 d & 280 d



P=292 d & 298 d

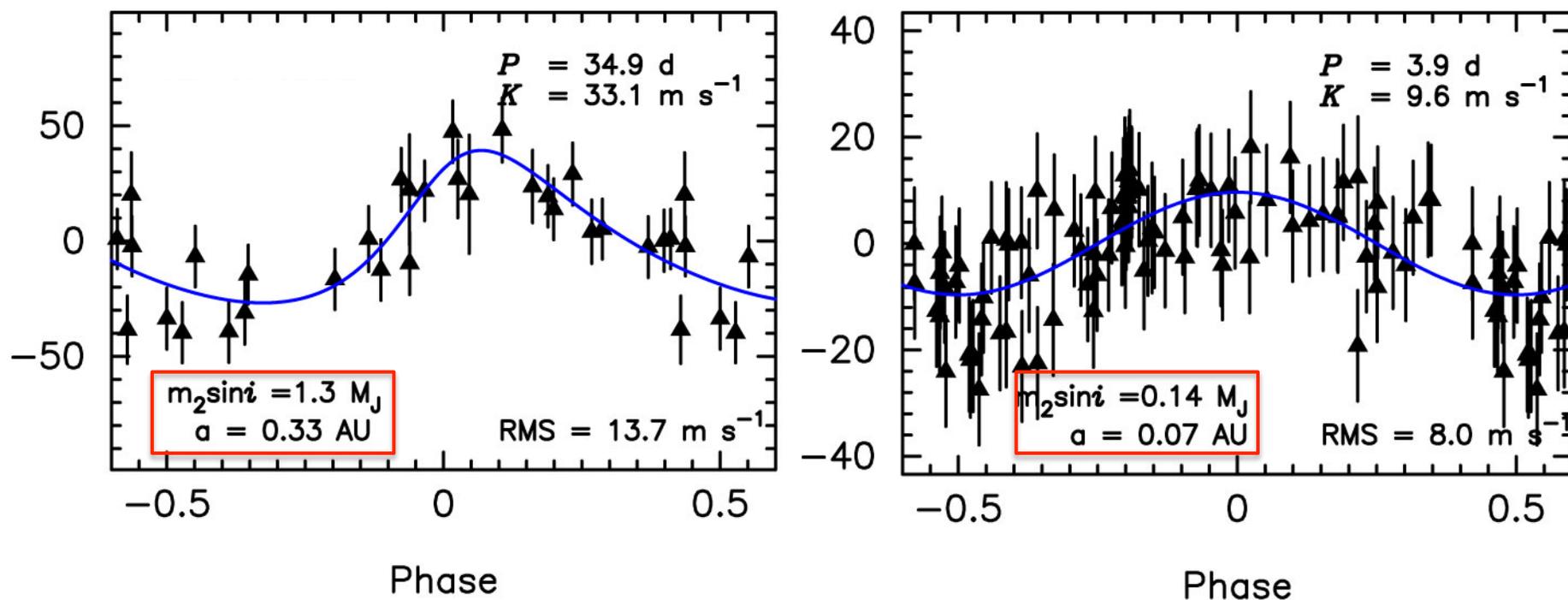


軌道間隔が狭い複数巨大惑星系(太陽型星では見つからない)

→ 振幅の微妙な変化をとらえるため、密な観測を継続

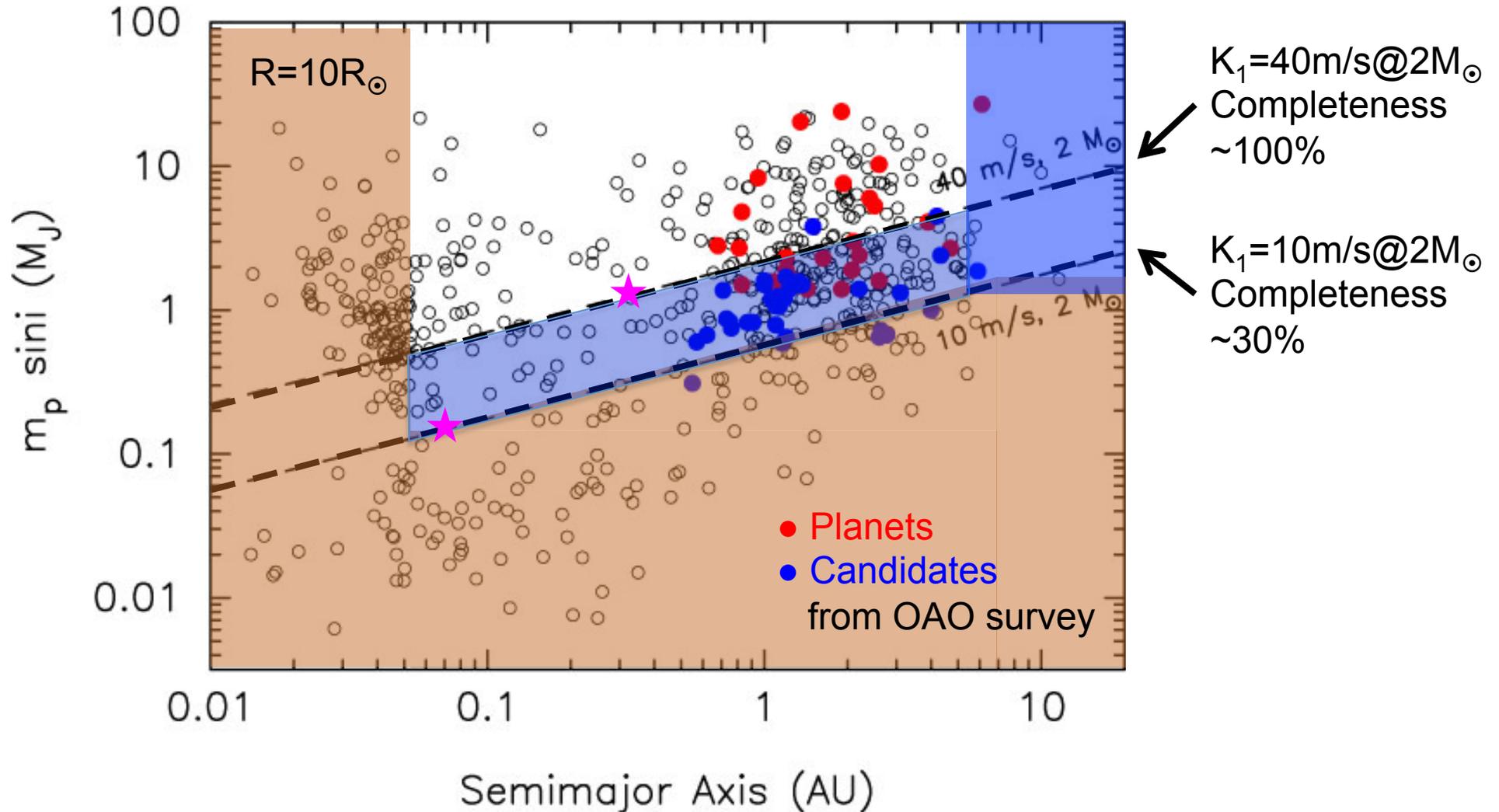
軌道安定性、形成・進化過程の解明が今後の課題

短周期低質量惑星候補

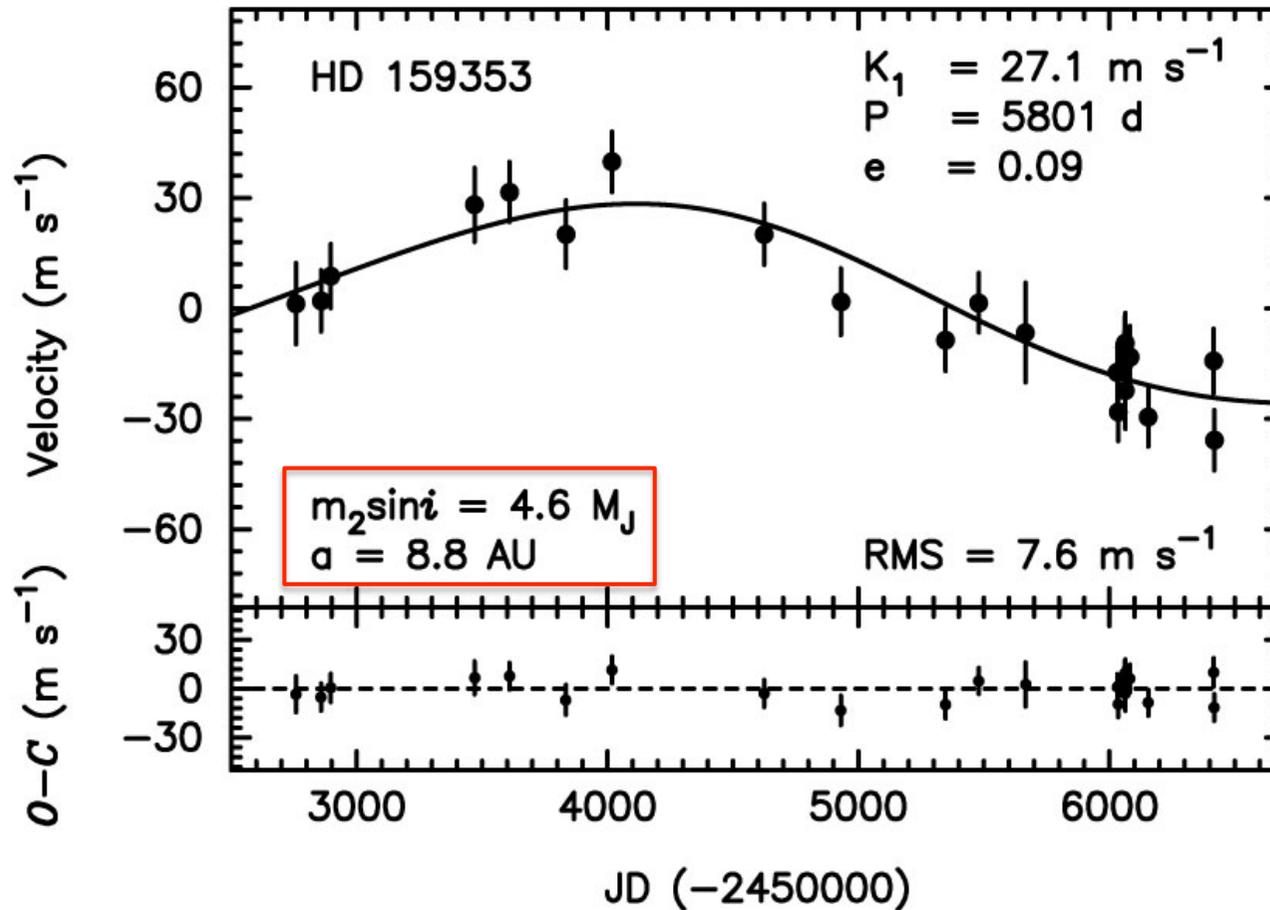


周期約30日以内に低質量惑星($\sim 40M_E - 2M_{JUP}$)が存在する可能性
→集中的に探索

惑星質量vs.軌道長半徑



遠方惑星候補



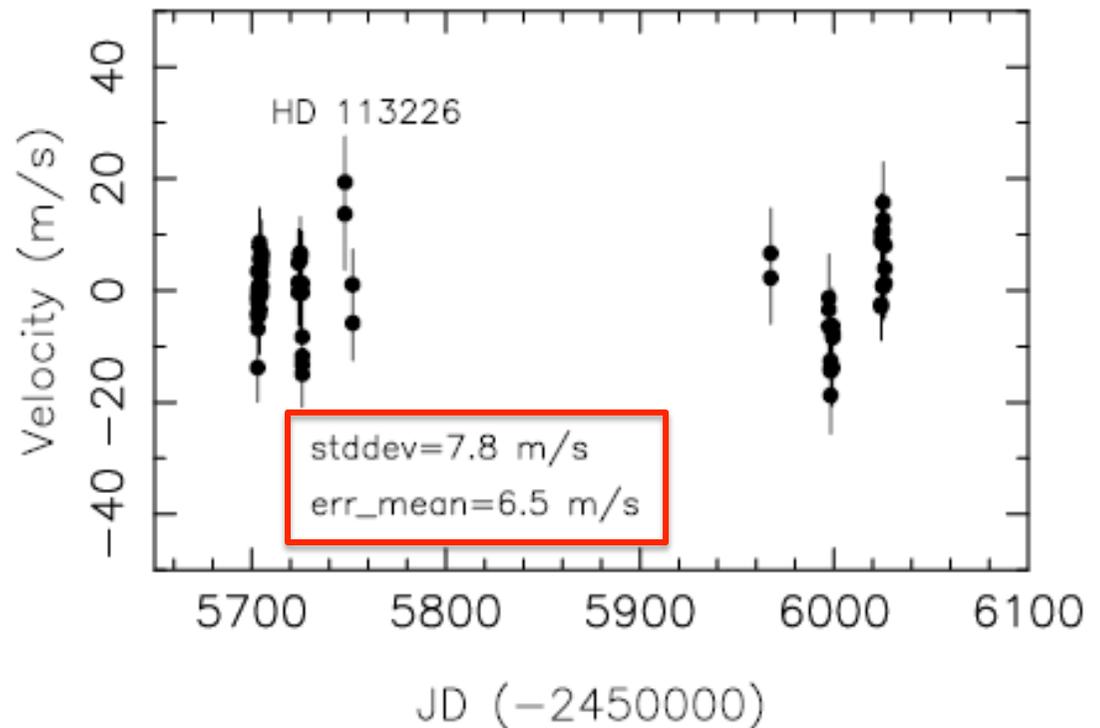
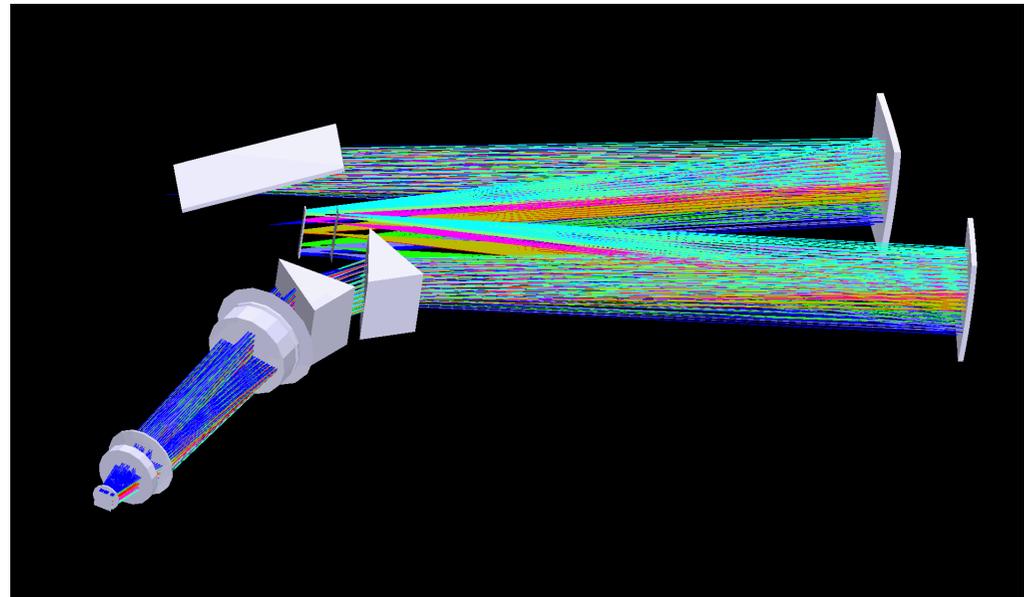
今後は時間に対して軌道長半径はあまり延びていかないので、
データ取得頻度を減らしつつ継続して観測

興隆新分光器

- RV測定精度向上→約7m/s
- 効率改善→
6等星に対し30分以内の
露出でSN>200

- 本格的な惑星探索が可能に

- 2013年から3~5年間、
興隆2.16m鏡のKey Projectに
採択(毎年40夜を確保)



第4期プロジェクト観測申請：目的

- **低質量惑星**
 - 5AU以内、 $\sim 1-2M_{\text{JUP}}$ の惑星候補の確認、軌道決定
 - 5AU以内の巨大惑星の統計を確立
- **複数惑星系**
 - 軌道間隔が近いコンパクトな複数惑星系の確認、軌道決定
 - 軌道安定性、形成・進化過程
- **短周期惑星**
 - 短周期惑星候補の確認、軌道決定
 - 周期約30日以内、 $\sim 40M_{\text{E}}-2M_{\text{JUP}}$ の惑星頻度に初めて制限
- **遠方惑星**
 - $\sim 5-10\text{AU}$ にある巨大惑星、褐色矮星の頻度推定
 - 惑星形成の外側限界への示唆

惑星の探索範囲(質量、周期)を拡大し、新たな発見を目指す

観測対象と観測内容

- 対象: 合計300個 ($V < 6.5$) のGK型巨星
 - 2001年の研究開始以降、岡山で観測したことのある天体
 - 中国・興隆、すばるサンプルだったものも含む
 - 観測期間6年以上
 - 遠方惑星探索に適
 - 単独星、かつ活動性(CaIIHK線強度から推定)が低い
 - 低質量惑星探索に適
 - 上記条件を満たすものから300個を再構成

- 内容: ヨードセルを用いた視線速度精密測定
 - これまでのデータとの連続性を担保しつつ、データ点数を稼ぐため、HIDES-SlitとHIDES-Fiberを併用

観測計画と必要夜数

- **低質量惑星及び複数惑星系の軌道決定・・・年間50夜(採択)**
 - 計約50天体に対し、今後それぞれ数十点のデータが必要
 - 各天体毎回3点以上、1～2ヶ月おきに年間計20点以上
- **短周期惑星の集中探索・・・年間30夜 => 個別課題で再挑戦**
 - HIDESの高い測定精度とプロジェクト観測のまとまった時間を生かした、他ではやられていない新しい試み
 - 手始めに10天体について30日程度以内の惑星を集中探索
 - 各天体30日間(半期15日間ずつ)で60点以上のデータを取得
 - まずは1年目に試験的に行い、その結果をもとに2年目以降の扱いを(プロジェクトとは別途行うことも含め)検討
- **遠方惑星の探索・・・年間15夜 => 個別課題へ？**
 - 全天体に対し、今後3年間で各天体1回程度
 - 2年目以降に開始

実施体制

- 全体統括・・・佐藤
- 観測、データ整約・・・大宮、原川、佐藤、他
- 視線速度解析・・・佐藤他
- 化学組成解析(必要に応じて)・・・竹田他
- 理論などサイエンス・・・安藤、小久保、井田、伊藤、吉田
- 発表、論文化・・・佐藤他、東工大メンバーが中心
- 観測機器の整備、改良・・・泉浦他、岡山メンバーが中心

実働部隊には学生(主に東工大院生)の取り込みが不可欠
引き続き新たなマンパワーの獲得を目指す