

# 中質量早期巨星周りの 惑星サーベイ

**國友 正信**

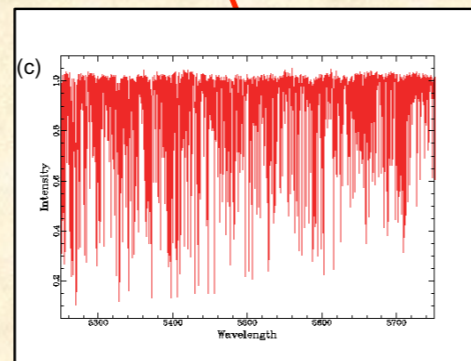
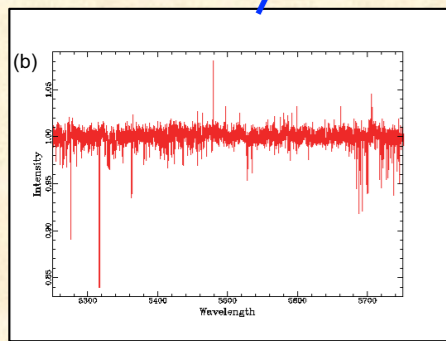
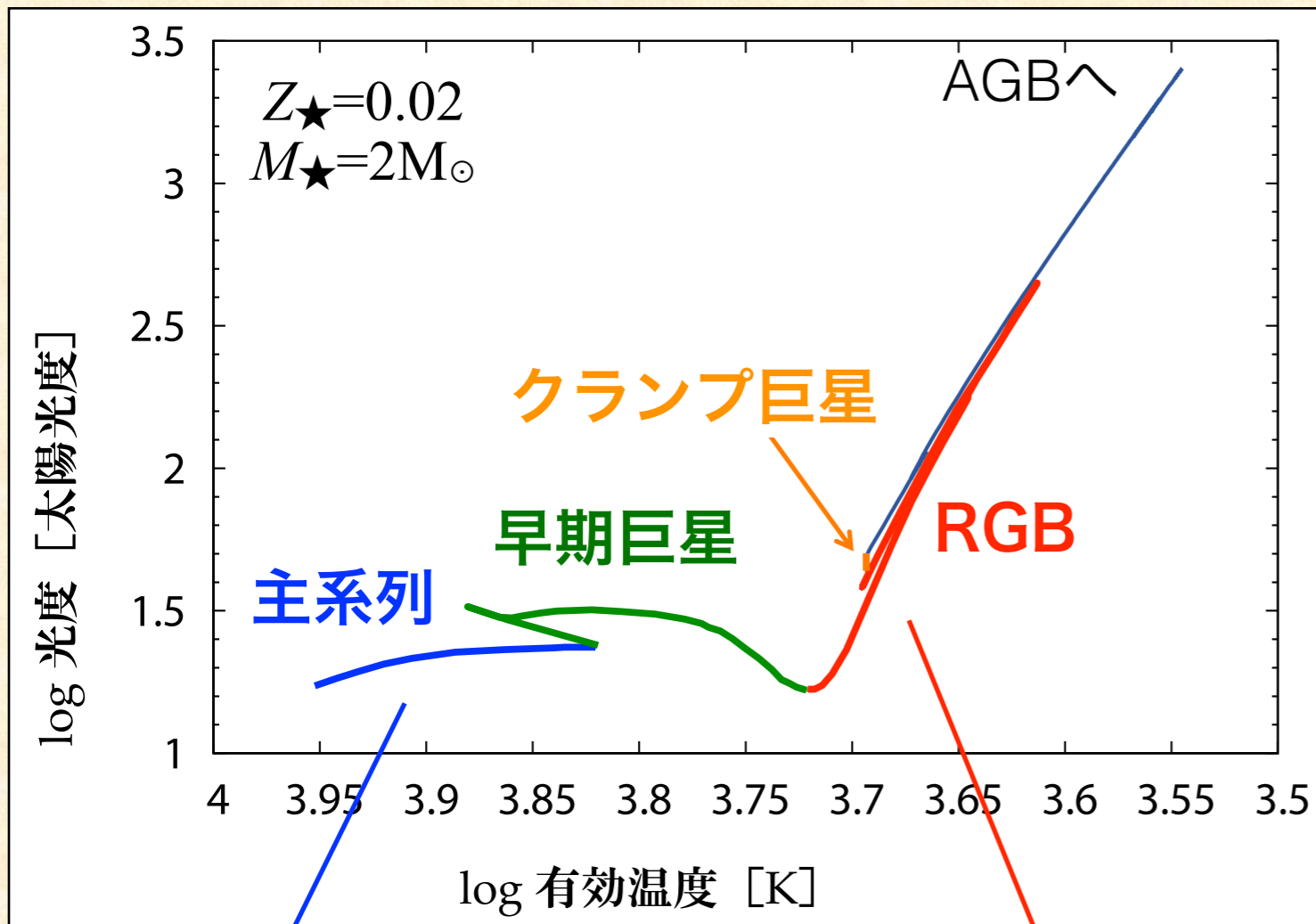
東京工業大学 井田研究室 博士課程3年

# 観測体制

- 國友<sup>1</sup>：統括，観測，一部解析
- 大宮正士<sup>2</sup>：統括，観測，解析
- 佐藤文衛<sup>1</sup>，原川紘季<sup>2</sup>：観測，一部解析
- 堀安範<sup>3</sup>，生駒大洋<sup>4</sup>，井田茂<sup>1</sup>：サイエンス

(1: 東京工業大学, 2: 国立天文台, 3: UCSC, 4: 東京大学)

# 中質量星の進化



## 主系列星

- ▶ 高温・高速自転  
→ 視線速度観測が困難

## 早期巨星 (準巨星)

- ▶ 「主系列後、赤色巨星分枝に到達するまでの星」と定義

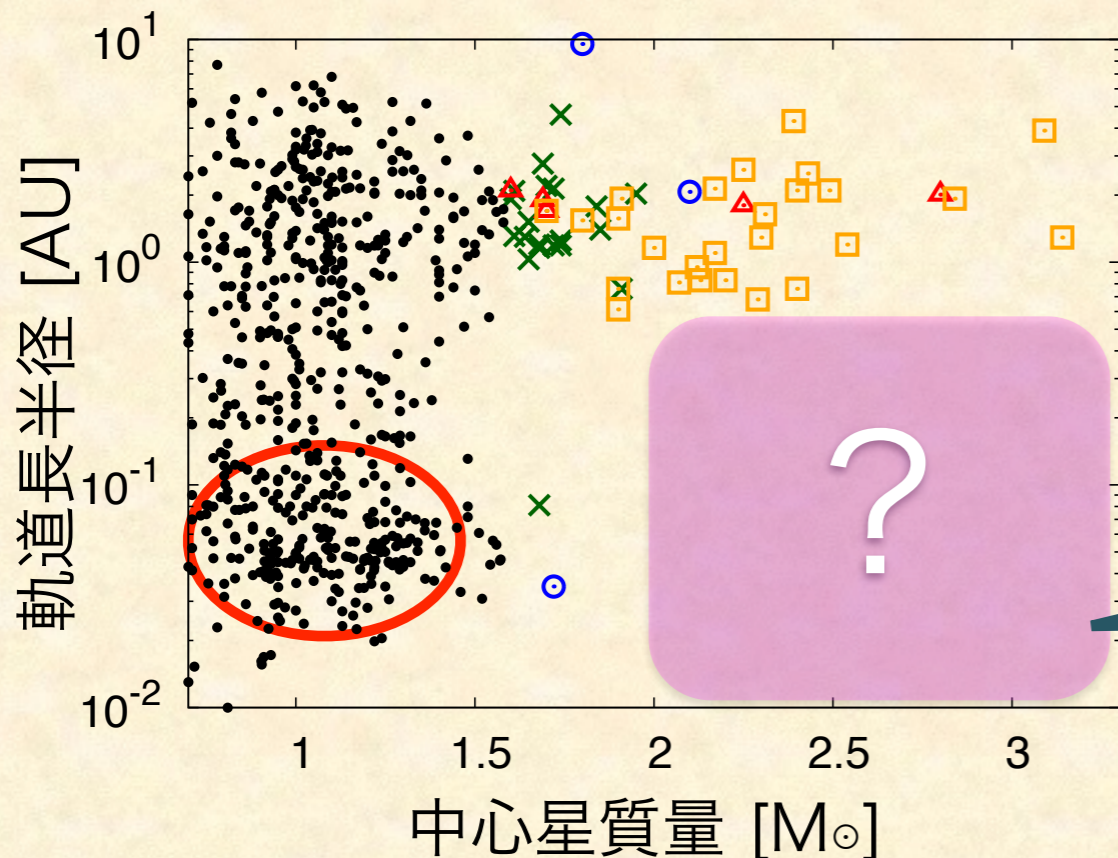
## 赤色巨星分枝(RGB)星

- ▶ 膨張・高い質量損失率

## クランプ巨星

- ▶ 安定したコアHe燃焼段階  
→ 長く続く
- ▶ 低温・低速自転 → 多くの吸収線  
→ 惑星の検出

# 中質量星周りでの惑星探索



データ:

$M_{\star} < 1.6 M_{\odot}$ : "Extrasolar Planets encyclopaedia"

$M_{\star} \geq 1.6 M_{\odot}$ : 論文より取得 (20 $M_J$ までの褐色矮星含む)

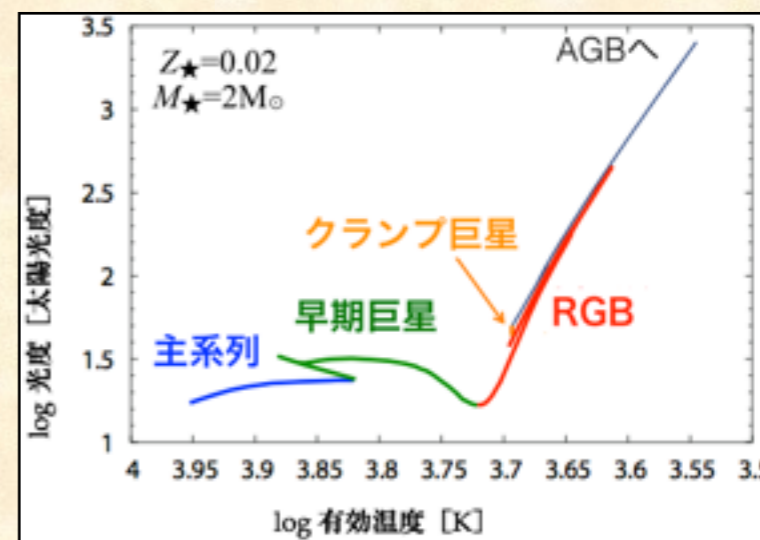
2-3 $M_{\odot}$ の星周りには  
短周期ガス惑星が欠乏 e.g., Sato+08  
( $a < 0.6 \text{ AU}$ )

太陽型主系列星とは大きく異なる特徴

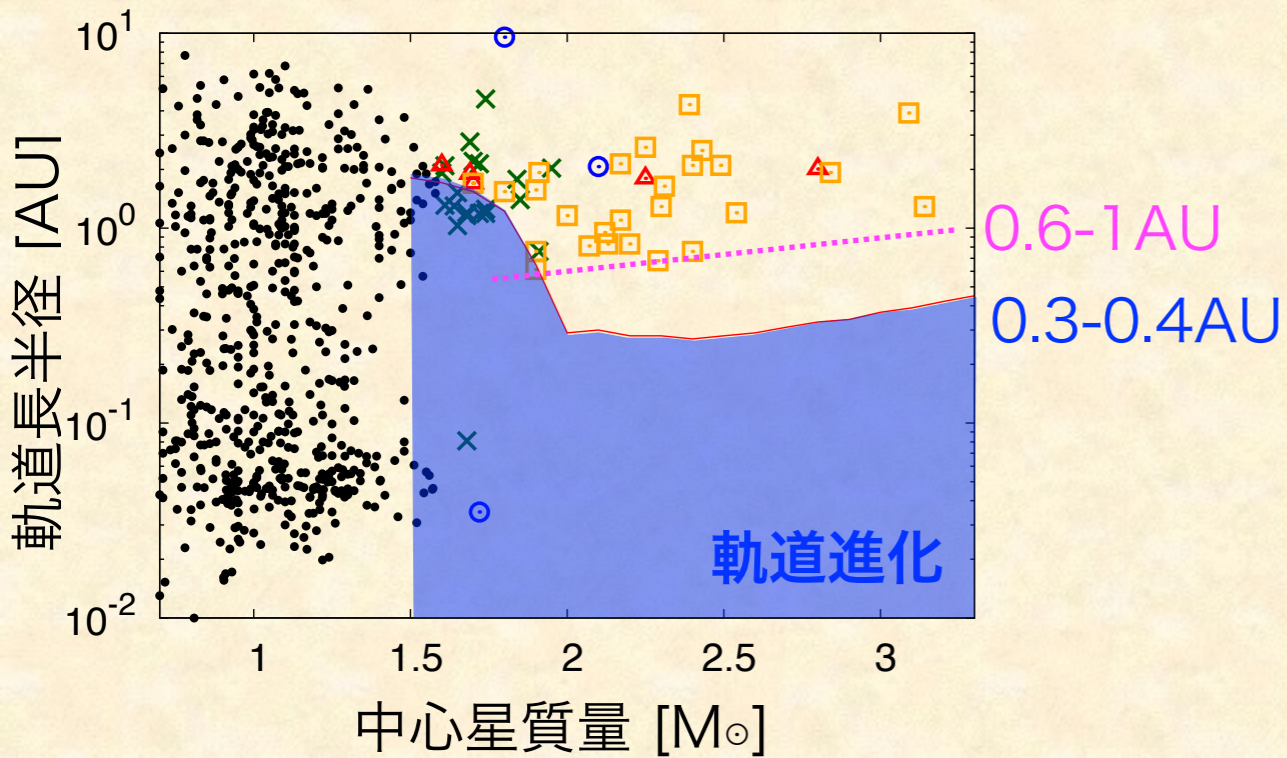
現在,  $M_{\star} \geq 1.6 M_{\odot}$ の周りにも約70個の惑星が検出

- ☉ 主系列星: 直接撮像, トランジット
- ☉ 早期巨星: RV (2 $M_{\odot}$ 以下)
- ☉ RGB星: RV
- ☉ クランプ巨星: RV

→ 中質量かつ進化の進んだ星

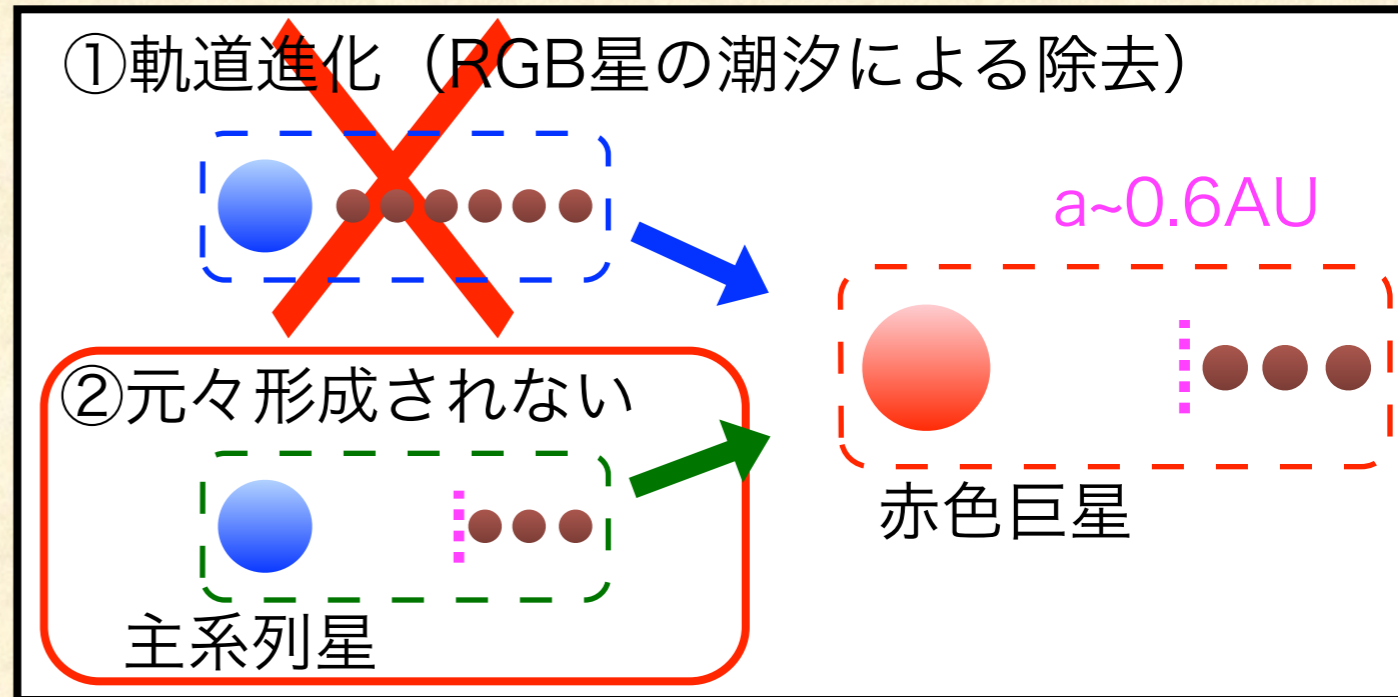


# 中質量巨星周りの短周期ガス惑星欠乏

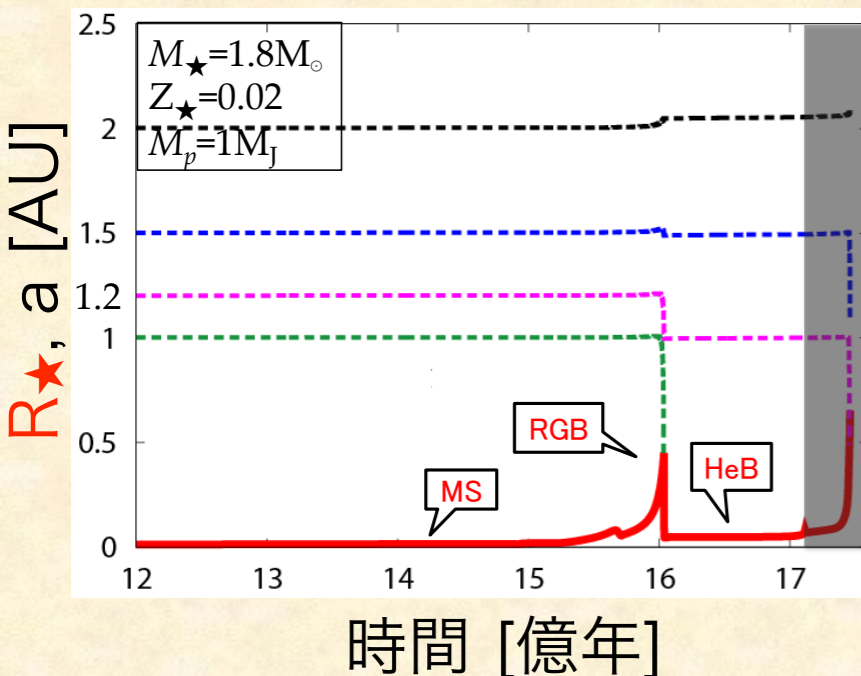


主系列星周りでの惑星の分布は不明  
→2つの可能性

(e.g., Sato+08; Currie09)



Kunitomo+11, 改変



理論計算から,  $2M_{\odot}$ 以上では軌道進化は**0.3-0.4AU**まで  
→**欠乏は先天的**

ただしクランプ巨星周りの観測では, **0.3-0.6AUまでの欠乏か, 0.3AU以内にも形成されないのか**は判別できない

→**まだRGBに達しておらず, かつ視線速度観測可能な早期巨星周りの惑星の観測により検証**

# 本研究の目的

## 惑星検出

- ▶ 2-3M<sub>☉</sub>早期巨星周りの惑星を世界で初めて検出する

## 中質量周りの短周期ガス惑星の頻度を決定

- ▶ まずは0.1AU以内の頻度決定を目指す
- ▶ 太陽型星での短周期ガス惑星の存在率と比較し、中質量星の周りでの惑星形成仮定を探る
- ▶ 100星以上のターゲットが必要

e.g.) ~0.4% (Cumming+08)  
for  $a < 0.1 \text{ AU}$ ,  $M_p > 1 M_J$

e.g.) 0.5-2.3%  
for  $a < 0.1 \text{ AU}$ ,  $1.45-2 M_{\odot}$

(Johnson+10)

## 早期巨星自体の特徴を調査

- ▶ 多数の早期巨星のスペクトルを取得するため、活動度やリチウム存在量など早期巨星の恒星としての特徴を調査

e.g.) 赤色巨星ではリチウム過剰星 ( $A(\text{Li}) > 1.5 \text{ dex}$ ) が**1-2%** : **惑星落下の痕跡?**

→ 惑星の軌道進化が起こっていない早期巨星でのリチウム過剰星の割合の調査

$$A(\text{Li}) = \log \frac{n(\text{Li})}{n(\text{H})} + 12$$

(e.g., Kumar+11, Adamow+14)

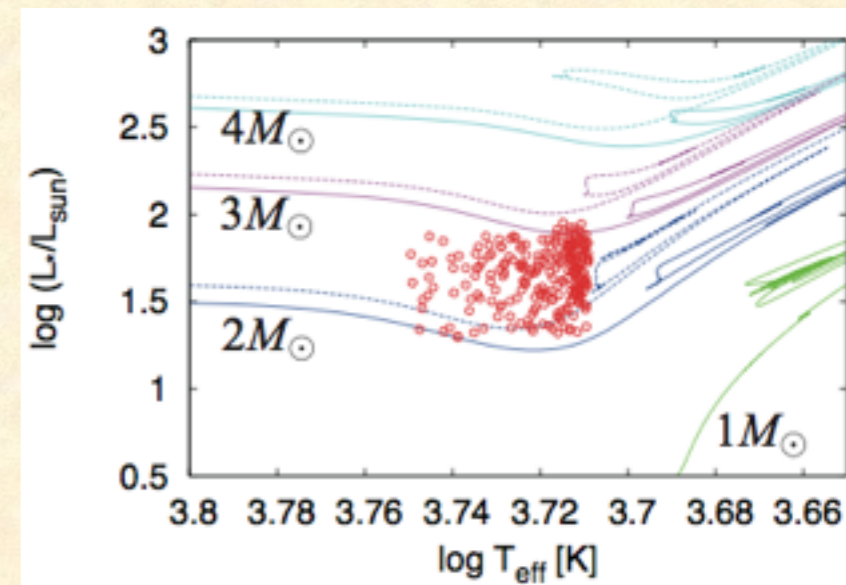
# 観測・解析手順

実線:  $Z=0.02$   
点線:  $Z=0.01$

## 1. ターゲット選定

(1)  $M_V = -0.1 - 1.5$ , (2)  $B-V: 0.65 - 0.85$ , (3)  $V_{\text{mag}} < 8.5$ ,  
(4) 赤緯  $> -25$ , (5) 変光星, 連星を除く

→ **250星** (Hipparcosカタログより抽出)



## 2. スペクトルの取得

→ 恒星のパラメータ決定 (有効温度, 表面重力, 組成, 金属量)  
Call HK線,  $H\alpha$ 線を用いて活動度の確認

## 3. 進化トラックとの比較から, 星の質量, 進化段階を決定

4. 早期巨星であると判明したものに対し視線速度変動の測定

5. 軌道解析により軌道パラメータ, 惑星質量の決定

# 観測

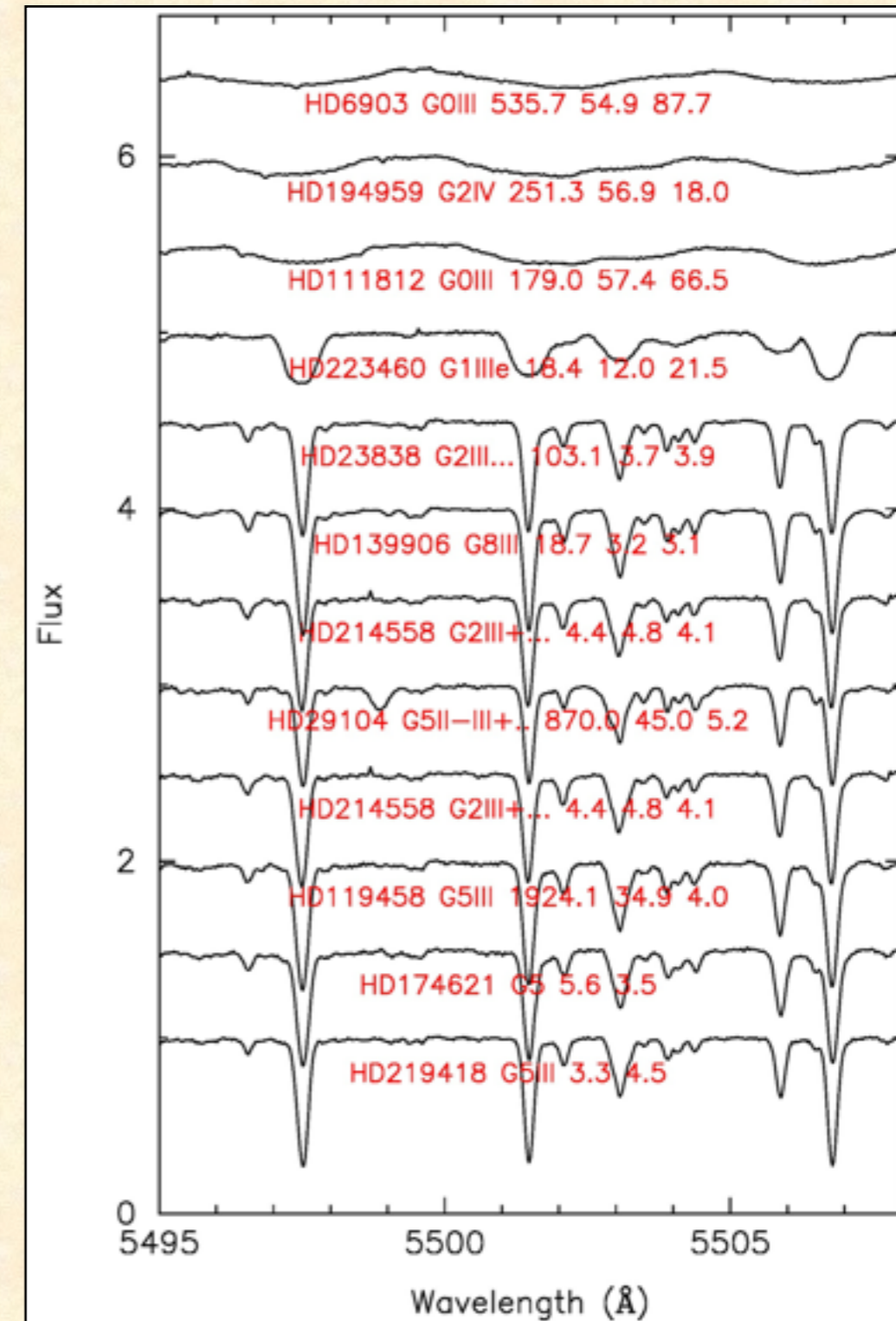
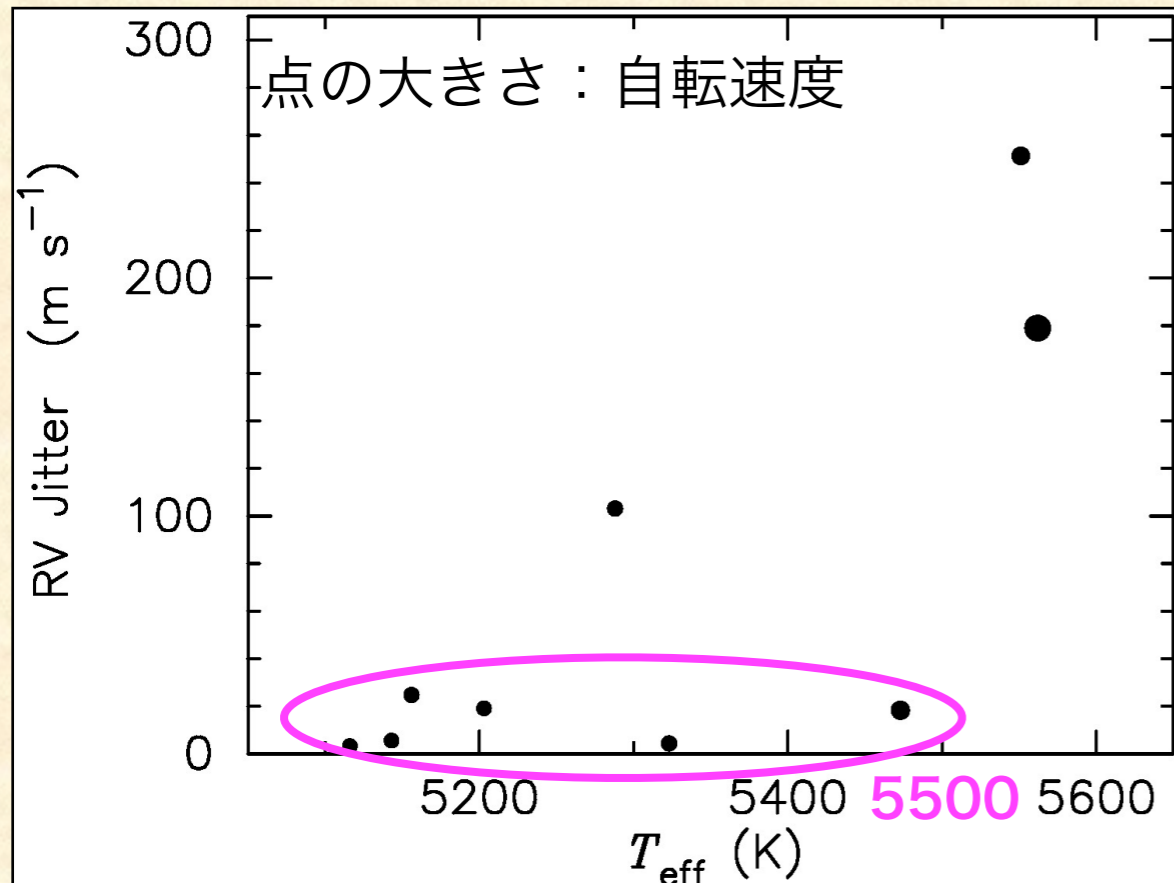
- 装置：OA0188cm 及び HIDES-Fiber
- 波長域：3750-7500Å
- 期間：2013B期から
  - ▶ 割り当て夜数  
**2013B: 3夜, 2014A: 10夜, 2014B: 5夜**
  - ▶ 実施率：**59.1%**
- 観測内容
  - ▶ 2013B (w/o ヨウ素セル) (w/ ヨウ素セル)
    - ・ スペクトルの取得 14星, 視線速度観測 14星
    - ・ 早期巨星に惑星を検出可能か調査
  - ▶ 2014A
    - ・ スペクトルの取得 83星, 視線速度観測 4星
    - ・ 主にスペクトル取得→早期巨星かどうか判定



# 結果

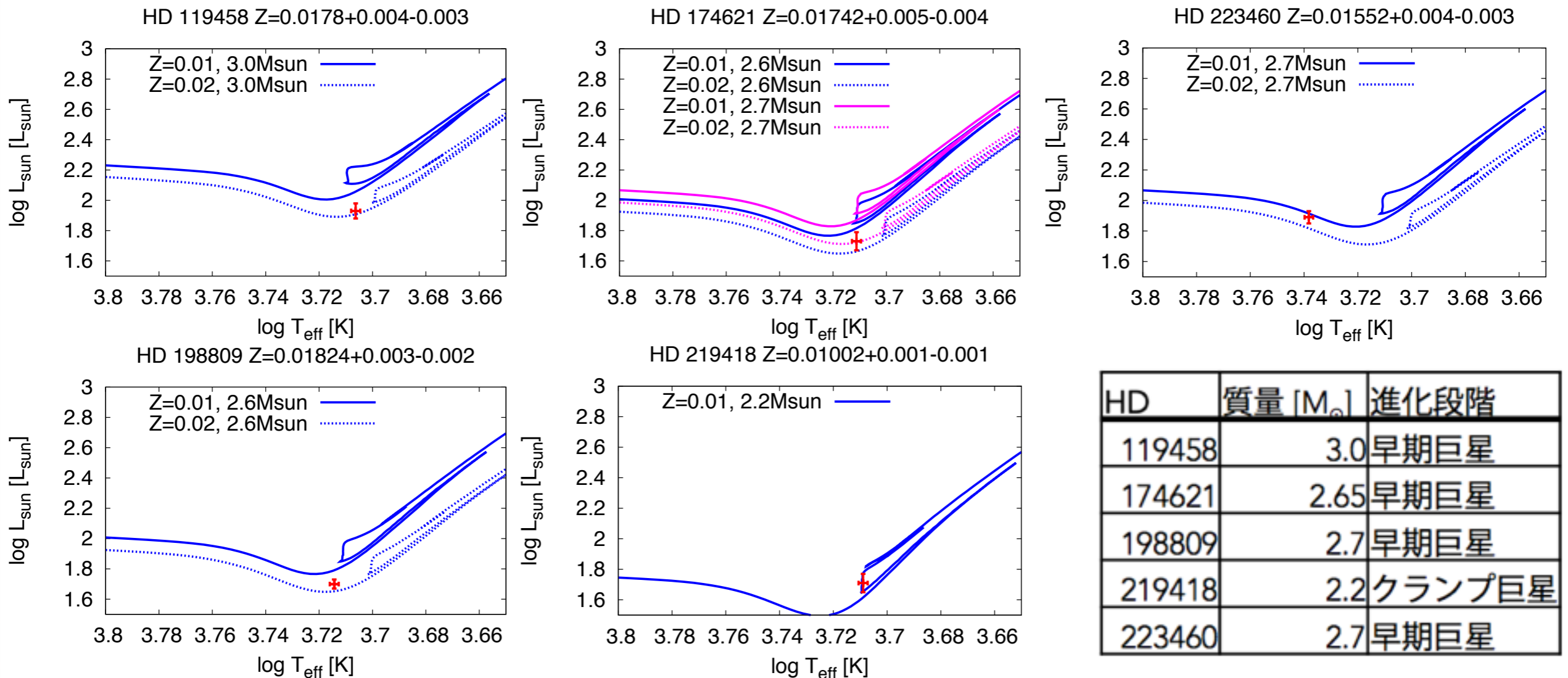
## 惑星検出可能性

- G2型より晩期であれば多くの吸収線  
→惑星の検出に十分な精度が得られる
  - **5500 K 以下であれば jitter < 30m/s**  
⇔短周期ガス惑星の視線速度変動 (~100m/s)  
よりも十分小さい
- G型早期巨星周りに惑星の検出は可能**



# 結果

## ターゲット中の早期巨星の割合



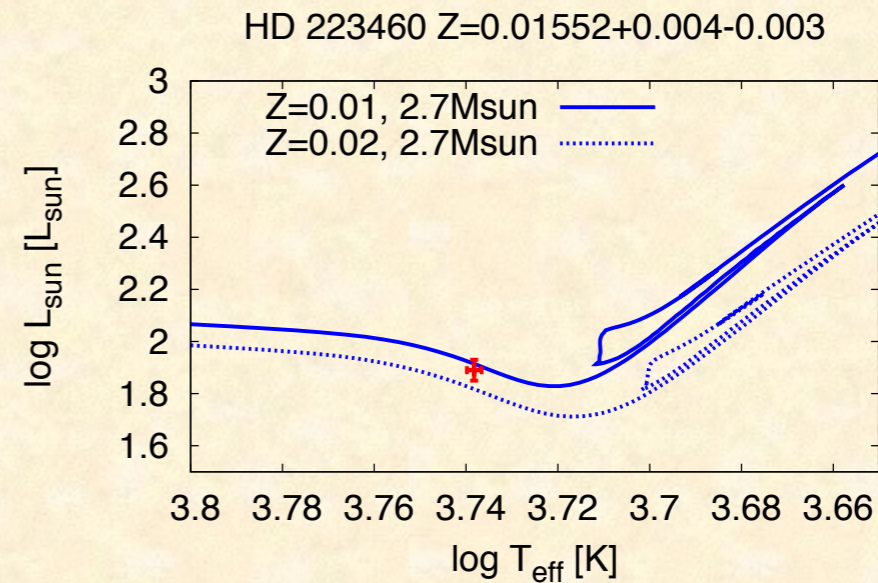
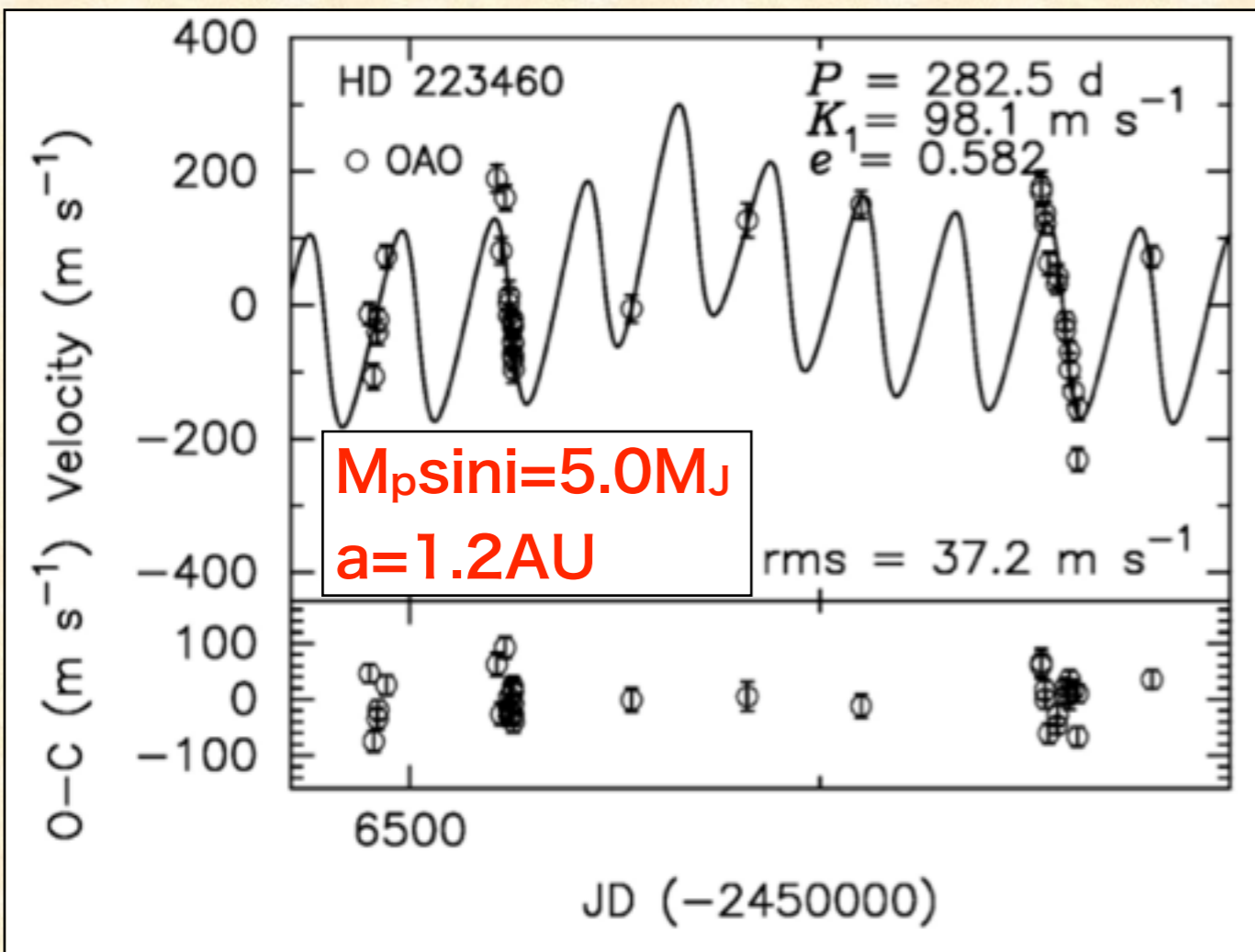
解析済みの5天体中, 4天体が2-3 $M_{\odot}$ 早期巨星

→250天体のターゲット星の中に200天体程度の早期巨星が含まれている  
ことが見込まれる

→惑星頻度の決定まで可能

# 結果

## 惑星候補天体 HD223460 b (予備的)



- $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.11$ ,  $M_{\star} = 2.7 M_{\odot}$ の早期巨星
- $R_{\star} = 9.82 R_{\odot}$

- 視線速度変動を周期23日と283日でフィットできる
- ただし, Hipparcosのデータから23日の光度変化  
→23日の視線速度変動は自転速度による可能性が高い

※Call HK線,  $H\alpha$ 線による  
活動度を確認中

- **1.2AUにガス惑星を1つ持つ系か**  
→**現在観測を進め, 確認を急いでいる**

# まとめ

- 早期巨星のサーベイから中質量星周りの惑星の分布、ひいては惑星形成過程の中心星質量依存性を探ることを目的とする
- これまで敬遠されてきた早期巨星も、G2型までであれば惑星の検出が見込めることがわかった
- ターゲット内に惑星頻度決定まで行える十分な数の早期巨星が含まれていることが見込まれる

## ● 今後

- ▶ 2015A期までに全ターゲットを早期巨星かどうか判定
- ▶ 早期巨星と判明した天体に対して随時視線速度観測を行い、惑星の存在を調査
- ▶ 惑星候補天体の視線速度観測を進め確認を急ぐ