

# 視線速度精密測定による G型巨星の惑星サーベイ V.

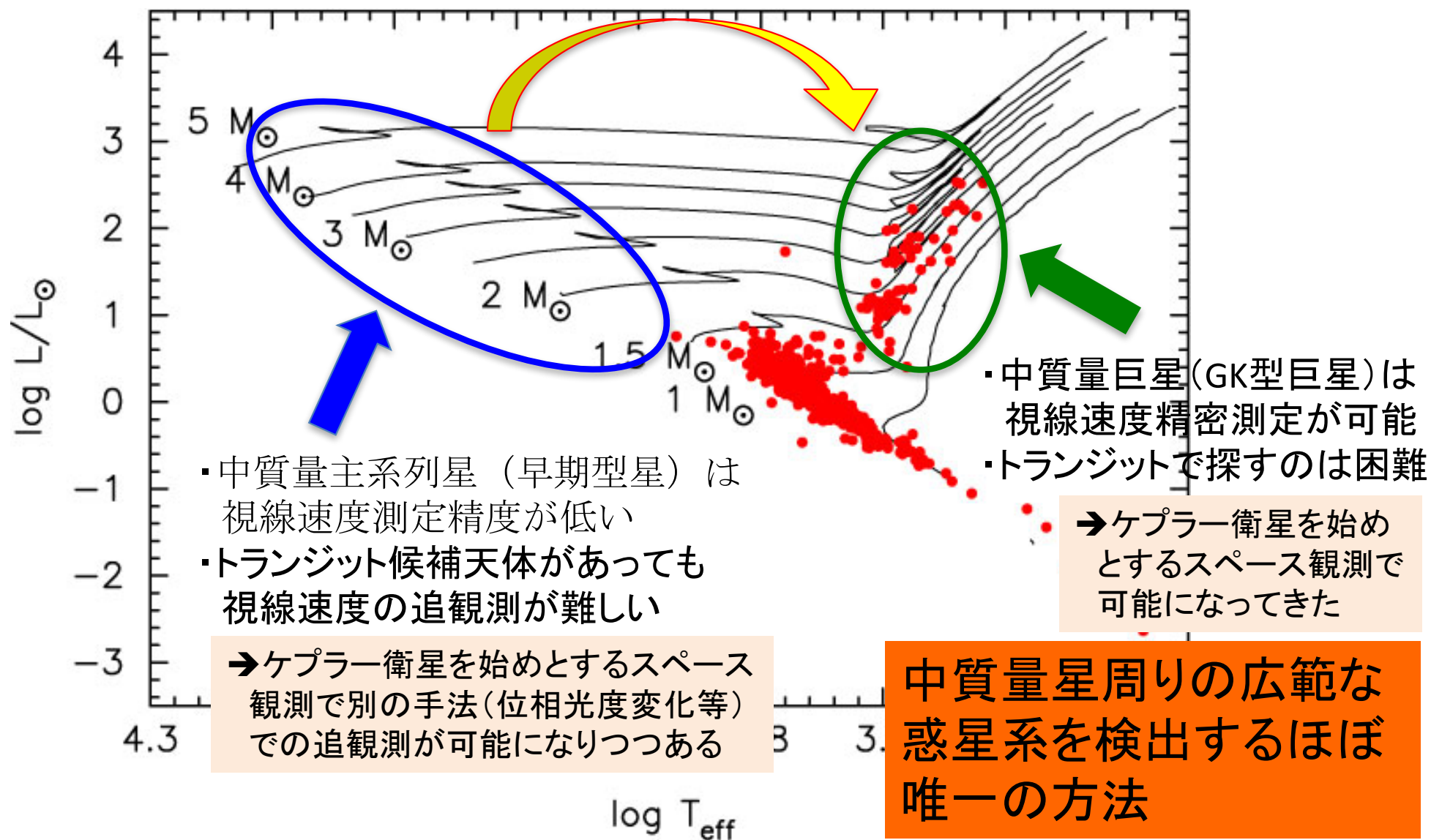
■第5期プロジェクト観測一年目(2016年後期～2017年前期)の報告

佐藤文衛<sup>1</sup>, 宝田拓也<sup>1</sup>, 長谷川棕<sup>1</sup>,  
原川紘季<sup>2</sup>, 大宮正士<sup>2</sup>, 泉浦秀行<sup>3</sup>, 神戸栄治<sup>3</sup>,  
竹田洋一<sup>2</sup>, 吉田道利<sup>4</sup>, 伊藤洋一<sup>5</sup>, 安藤裕康<sup>2</sup>,  
小久保英一郎<sup>2</sup>, 井田茂<sup>1</sup>  
＋長沢真樹子<sup>6</sup>

<sup>1</sup>東工大, <sup>2</sup>NAO, <sup>3</sup>OAO, <sup>4</sup>ハワイ観測所, <sup>5</sup>兵庫県立大, <sup>6</sup>久留米大

# 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



# 第5期プロジェクト観測で目指すこと

## ➤ 複数惑星系

- 軌道間隔が近いコンパクトな複数惑星系の軌道決定
- 既知の惑星系のフォローアップ
- 軌道安定性、形成・進化過程

## ➤ 遠方惑星

- $> 10\text{AU}$ 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

# 観測対象と観測内容

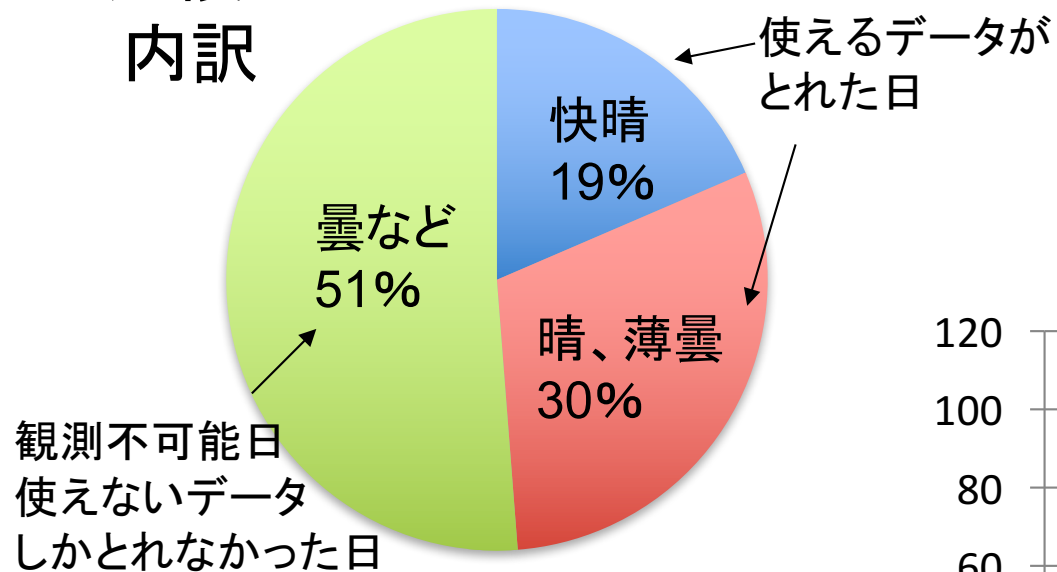
- 対象：合計300個 ( $V < 6.5$ ) のGK型巨星
  - － 2001年の研究開始以降、岡山で観測したことのある天体
    - ・ 中国・興隆、すばるサンプルだったものも含む
  - － 観測期間6年以上
    - ・ 遠方惑星探索に適
  - － 単独星、かつ活動性(CaIIHK線強度から推定)が低い
  - － 上記条件を満たすものから300個
  - － 基本的には第4期と同じ
  
- 内容：ヨードセルを用いた視線速度精密測定
  - － HIDES-Fiberを使用

# 観測計画と必要夜数

- 複数惑星系を含む惑星候補の軌道決定、既知の惑星系のフォローアップ・・・半期12.5夜
  - － 計約50天体に対し、年間15点以上のデータ取得を目標
  - － 1-2ヶ月おきに数回ずつ観測
- 遠方惑星の探索・・・半期12.5夜
  - － 中心星の脈動による変動と同程度のRV変化の検出
  - － 全天体に対し、今後1.5年間で各天体最低3回程度

# 観測実績：2016年7月～2017年6月

## □ 天候の内訳



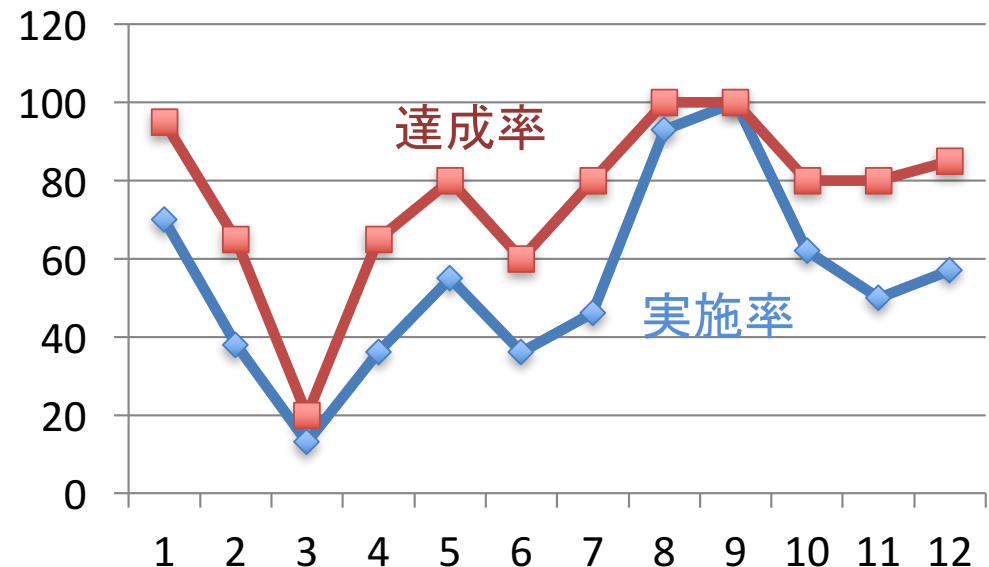
## □ 観測実施率、達成率

実施率**55%**、達成率**76%**

実施率、達成率とも例年通り

## □ 割当夜数：合計**50(+α)**夜

※α：自動観測の試験など



# データ取得状況

□重要天体(惑星をもつ候補星)については継続的に視線速度データがとれている。

✓一回のラン当たりの夜数が3夜以下になると天候の影響を受けやすくなるので、なるべくそれ以上の夜数をまとめて割り当てて頂くようお願いしている。

□約250天体について1年間で3点以上、うち約60天体について1年間で15点以上の視線速度データが取れた。

✓目標「50天体について年間15点以上、全天体に対して1.5年間で各3点以上」は2017Bで達成できる見通し。  
✓自動観測によってデータ取得が格段に楽になった。

# 解析状況

## □視線速度解析

- ✓問題なく進めている

## □吸収線輪郭解析

- ✓ numerical maskに対してスペクトル全体のcross-correlationをとり、平均的な吸収線輪郭を求める手法を継続開発中

## □化学組成解析

- ✓合成スペクトルのフィッティングによる大気パラメータ決定法を調査中(e.g. iSpec)

## □時系列データ解析

- ✓相関ノイズを考慮した解析法(e.g. ガウス過程)を開発中

# 出版状況(昨年のUM以降)

## □査読論文

- ✓なし(投稿準備中1編→予備的結果)

## □関連論文

- ✓ **A Jupiter-mass planet around the K0 giant HD 208897**
  - Yilmaz et al. 2017, A&A, in press
  - 日土露協力による初の惑星発見(プロジェクト観測とは独立)
- ✓ **Sulfur and zinc abundances of red giant stars**
  - Takeda et al. 2016, PASJ, 68, id.81
  - 岡山巨星サンプルの硫黄、亜鉛組成

## □学位論文

- ✓ **測光データを用いた巨星の金属量推定**
  - 工藤正太郎(東工大B4; 東工大2017年卒論)
  - 低金属量(低質量)星を効率的にサンプルから除く試み

日土露協力による初惑星

# HD 208897 b

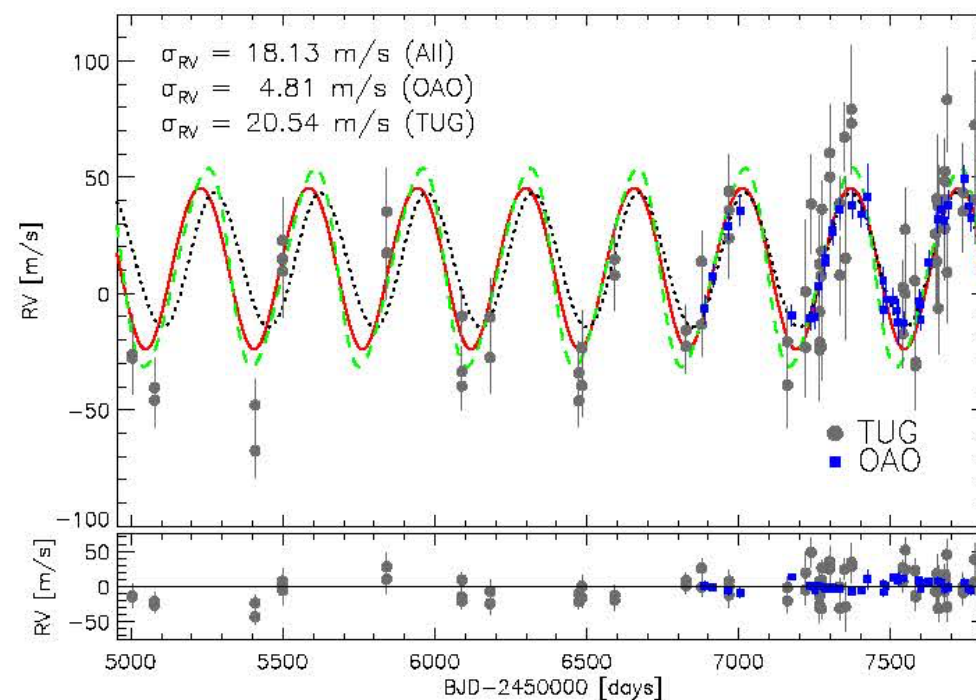
| Parameter                  | This work        | Wittenmyer et al. (2016) |
|----------------------------|------------------|--------------------------|
| Sp. Type                   | K0               |                          |
| V [mag]                    | 6.51             |                          |
| B-V                        | 1.01             |                          |
| $\pi$ [mas]                | $15.46 \pm 0.54$ |                          |
| B.C.                       | -0.392           |                          |
| $M_V$                      | 2.456            |                          |
| $A_V$                      | 0.047            |                          |
| $T_{eff}$ [K]              | $4860 \pm 100$   | 4905                     |
| $\log L_*$ [ $L_\odot$ ]   | $1.09 \pm 0.07$  | 1.09                     |
| $\log g$ [cgs]             | $3.13 \pm 0.14$  | 3.38                     |
| $M_*$ [ $M_\odot$ ]        | $1.25 \pm 0.11$  | 1.31                     |
| $R_*$ [ $R_\odot$ ]        | $4.98 \pm 0.20$  | 4.88                     |
| [Fe/H] [dex]               | $+0.21 \pm 0.15$ | +0.13                    |
| $v \sin i$ [km s $^{-1}$ ] | $3.90 \pm 0.42$  | -                        |
| $V_t$ [km s $^{-1}$ ]      | $1.28 \pm 0.24$  | 1.17                     |

| Parameter                             | TUG+OAO         | OAO             | TUG             |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| P (days) .....                        | $352.7 \pm 1.7$ | $349.7 \pm 3.3$ | $353.6 \pm 2.7$ |
| $K_1$ (ms $^{-1}$ ) .....             | $34.7 \pm 2.2$  | $28.9 \pm 1.2$  | $42.7 \pm 5.5$  |
| e .....                               | $0.07 \pm 0.06$ | $0.04 \pm 0.03$ | $0.15 \pm 0.11$ |
| $\omega$ (deg) .....                  | $167 \pm 83$    | $297 \pm 64$    | $89 \pm 42$     |
| $V_0$ (ms $^{-1}$ ) .....             | $12.1 \pm 1.8$  | $14.1 \pm 0.9$  | $11.2 \pm 3.8$  |
| $T_p$ (BJD-2450000)                   | $5036 \pm 82$   | $6961 \pm 54$   | $4971 \pm 46$   |
| $m_2 \sin i$ ( $M_J$ ) .....          | $1.40 \pm 0.08$ | $1.16 \pm 0.05$ | $1.70 \pm 0.18$ |
| $a$ (AU) .....                        | $1.05 \pm 0.03$ | $1.04 \pm 0.03$ | $1.05 \pm 0.03$ |
| $f_1(m)$ ( $10^{-9} M_\odot$ ) ..     | $1.5 \pm 0.3$   | $0.8 \pm 0.1$   | $1.7 \pm 0.6$   |
| $a_1 \sin i$ ( $10^{-3} AU$ ) ..      | $1.1 \pm 0.1$   | $0.9 \pm 0.2$   | $1.4 \pm 0.3$   |
| $\sigma_{jitter}$ (ms $^{-1}$ ) ..... | 12.0            | 4.0             | 12.0            |
| $\Delta RV$ (ms $^{-1}$ ) .....       | 13.63           | -               | -               |
| $N_{obs}$ .....                       | 107             | 34              | 73              |
| RMS (ms $^{-1}$ ) .....               | 18.13           | 4.81            | 20.54           |
| Reduced $\chi^2$ .....                | 0.95            | 0.96            | 1.01            |



RTT150

Yilmaz et al. 2017



# 予備的結果:

## Possible 7:3 MMR system around a $1.5M_{\odot}$ giant

$P_c/P_b=2.32$  ( $\div 7/3$ )

Planet b

Planet c

|                                   |                        |                           |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|
| $P$ (d)                           | $415.2^{+1.8}_{-1.9}$  | $964.6^{+3.1}_{-3.1}$     |
| $K$ ( $\text{m s}^{-1}$ )         | $22.0^{+2.2}_{-2.2}$   | $73.0^{+2.1}_{-2.1}$      |
| $e$                               | $0.21^{+0.10}_{-0.10}$ | $0.057^{+0.034}_{-0.032}$ |
| $\omega$ ( $^{\circ}$ )           | $187^{+30}_{-38}$      | $146^{+32}_{-43}$         |
| $T_p$ (JD - 2450000)              | $5424^{+36}_{-33}$     | $6512^{+87}_{-110}$       |
| $m_p \sin i$ ( $M_{\text{Jup}}$ ) | $1.02^{+0.14}_{-0.14}$ | $4.58^{+0.45}_{-0.43}$    |
| $a$ (AU)                          | $1.24^{+0.10}_{-0.10}$ | $2.17^{+0.10}_{-0.10}$    |

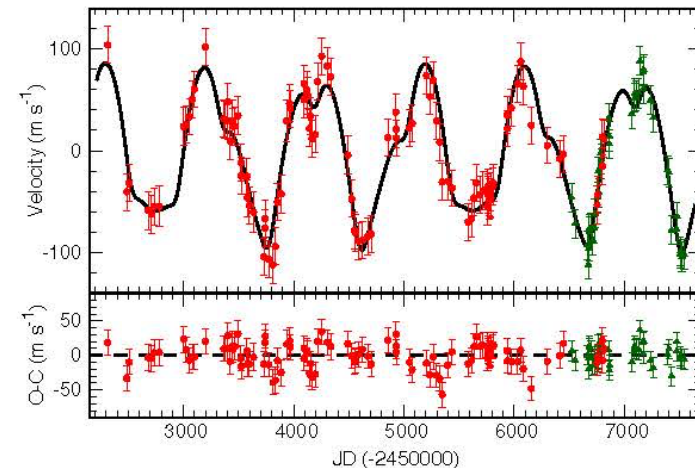
Takarada et al. in preparation

<参考> 公転周期比が7:3に近い巨大惑星系

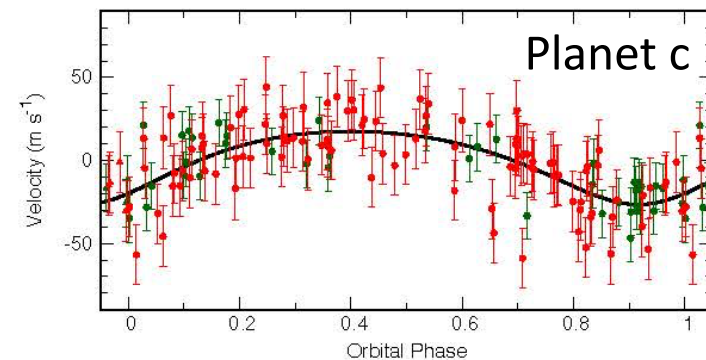
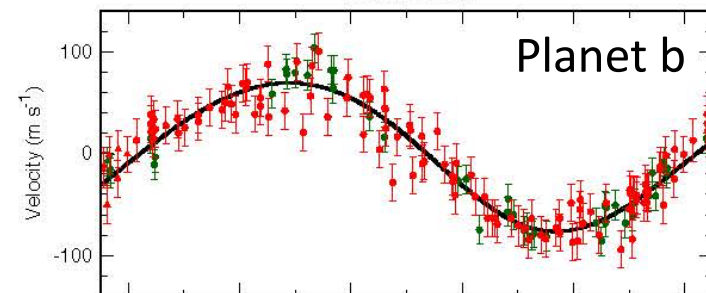
HD181433 c, d (962d, 2172d;  $P_d/P_c=2.26$ )

HIP65407 b, c (28.1d, 67.3d;  $P_c/P_b=2.38$ )

47UMa b, c (1089d, 2594d;  $P_c/P_b=2.38$ )

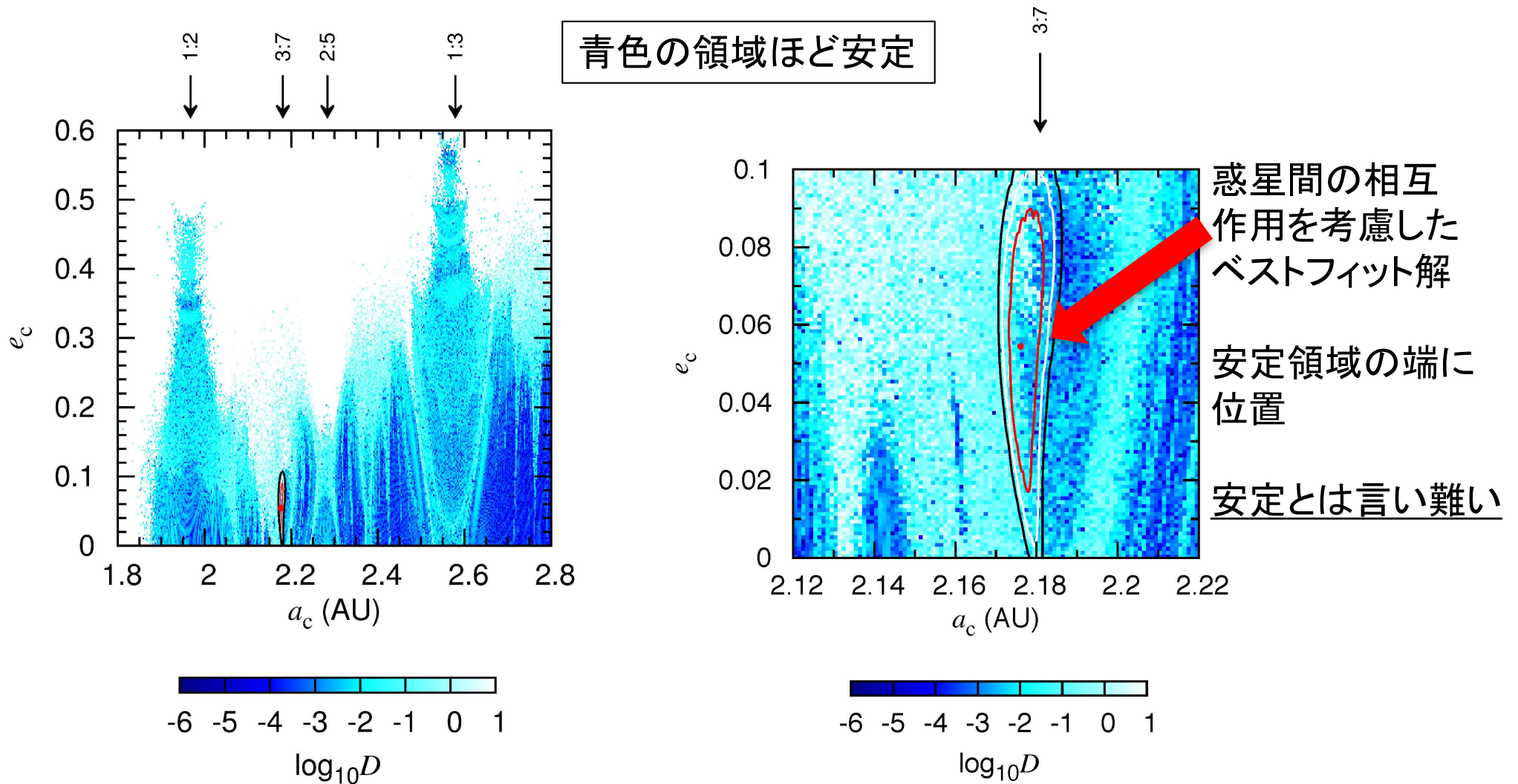


赤:slit  
緑:fiber



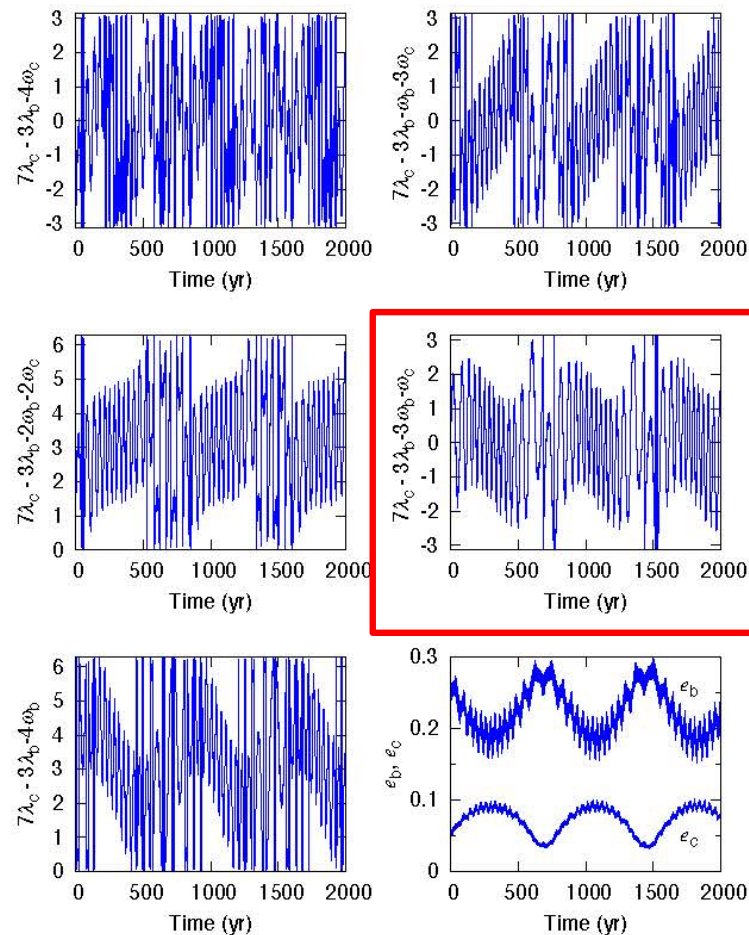
# 軌道の安定性

Calculated by M. Nagasawa

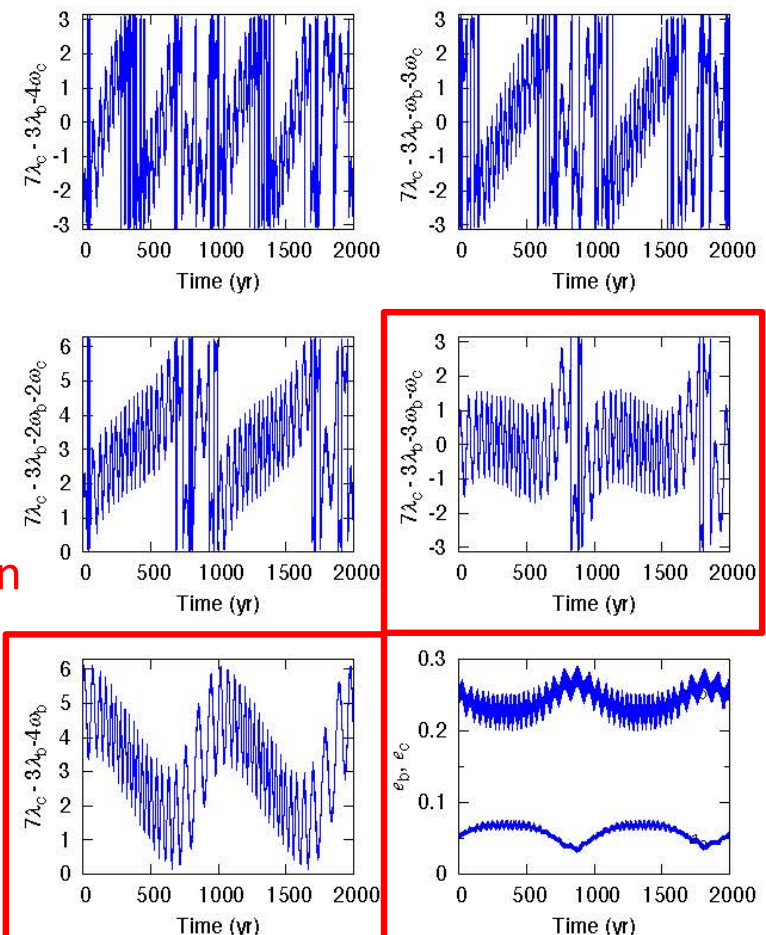


# Resonant angles

ベストフィット解



ベストフィット解から $a_c$ を $3\sigma$ 大きくした場合



真の $a_c$ はベストフィット値から2-3 $\sigma$ 大きく、かつ7:3 MMRにあると思われる

# まとめ

- 第5期プロジェクト観測
  - 特に問題なく進行中
  - 新しい解析手法(吸収線輪郭、主星パラメータ、時系列データ)の開発を継続
  - 最新の成果
    - 7:3MMRの可能性のある2惑星系の発見
- 今後
  - 188cm鏡の共同利用終了とともに、2004年から続く本プロジェクト観測は終了(ノーマルも含めると2001年から)
  - これまでの成果をしっかりとめる
  - 惑星をもつ恒星のモニター観測は何らかの形で継続予定
  - 高質量巨星にバイアスをかけた新しいサンプルに基づく新たなサーベイを実施予定(188cm鏡 and/or 3.8m鏡; 去年のUM集録「HIDESを用いた系外惑星探索の展望と計画(佐藤)」参照)