

G型巨星における惑星系の 日韓共同探査

大宮正士(東海大)、泉浦秀行、吉田道利、神戸栄治(OAO)、
佐藤文衛(東工大)、豊田英里(神戸市青少年科学館)、
浦川聖太郎(日本スペースガード協会)、
増田盛治(徳島県立あすたむらんど)、比田井昌英(東海大)、
Inwoo Han, Kang-Min Kim, Byeong-Cheol Lee
(Korea Astronomy and Science Institute)、
Tae-Seog Yoon (Kyungpook National University)

目次

- 日韓共同探査の概要
- 観測実施状況
- これまでの成果
 - 褐色矮星の発見
 - 惑星候補の検出
 - 候補天体の特徴
- まとめと今後

G型巨星における惑星系探査

- 中質量($1.5 \sim 5M_{\odot}$)の巨星周りの惑星系探査
 - 惑星系形成の中心星依存
 - 中心星の質量、光度、金属量、表面活動、など
 - 中心星進化に伴う惑星系の進化
- 大規模サンプルを用いた惑星系サーベイ
=> 東アジア惑星探索網(EAPS-Net)で協力
- 日韓の研究者の協力で惑星系サーベイ
- より早く、より多いサンプルのサーベイを行う

日韓共同探査 概要 一

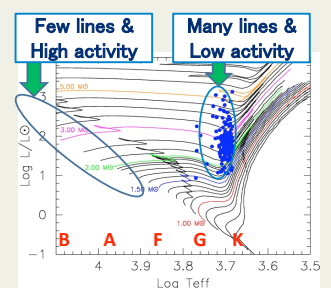
- 精密視線速度(RV)モニター&組成解析
 - @岡山天体物理観測所;OAO(日本) 約18夜/年
 - @普賢山天文台;BOAO(韓国) 約12夜/年
- 視線速度(RV)精密測定(ヨード(I_2)セル使用)
 - 高分散分光観測
 - スペクトルのモデリングとフィット(Sato et al. 2002)
- ターゲット星数:188星(晩期G-早期K型巨星)
 - 岡山惑星探索プロジェクトのターゲットより暗い
 - 188星を日韓両観測所で分担して、RVモニター

日韓共同探査 概要 二

1. 惑星候補天体のサーベイ (3回観測/各星)
 - 目的: 大きなRV変動を示す天体を洗い出す
 - 観測天体: 全ターゲット
2. 候補天体のフォローアップ (1回観測/1-3か月)
 - 目的: 変動の確認と軌道決定
 - 両観測所での、定期的な追加観測
 - 観測天体: 大きなRV変動or周期変動を示す天体
3. 粗いモニター (1or2回観測/1年)
 - 目的: 長期のRV変動をチェックする
 - 観測天体: サーベイで小さなRV変動を示した天体
4. ターゲット星の調査
 - 組成解析(Fe etc)、活動性評価(CaII HK)

ターゲットセレクション

- ターゲット星数:188星
 - $6.2 < V_{\text{mag}} < 6.5$
 - $0.6 < B - V < 1.0$
(晩期G型-早期K型)
 - $-3 < M_V < 2$
($1.5M_{\odot} < M < 5M_{\odot}$, 巨星)
 - $\delta > 25^{\circ}$
 - 連星は除外
 - +2星(プレセペ)
 - $V_{\text{mag}} = 6.6 \& 6.9$



ヒッパルコスカタログより、
上記の条件に合った星を選んだ

BOAO&OAO targets on HR diagram with evolutionary track (Girardi et al.2000, Z=0.019)

観測 @ BOAO & OAO



- BOES: BOhyunsan Echelle Spectrograph
 - 分解能: $R=\lambda/\Delta\lambda\sim 50000$
 - 波長域: 3500~10500Å
 - I_2 セル使用: RV測定用
 - SN: $\sim 150/\text{pix}$ @ ~ 6.5 mag for 20 min. exposure
 - ドップラー精度: $\sim 15\text{ m s}^{-1}$
 - モニター星数: 78星
 - I_2 セル無: 組成解析
- HIDES: High Dispersion Echelle Spectrograph
 - 分解能: $R=\lambda/\Delta\lambda\sim 65000$
 - 波長域: 3750~7500Å
 - I_2 セル使用: RV測定用
 - SN: $\sim 150/\text{pix}$ @ ~ 6.3 mag for 20 min. exposure
 - ドップラー精度: $\sim 6\text{ m s}^{-1}$
 - モニター星数: 110星
 - I_2 セル無: 組成解析

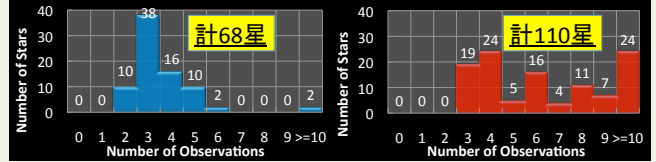
観測実施状況 @ BOAO & OAO

BOAO

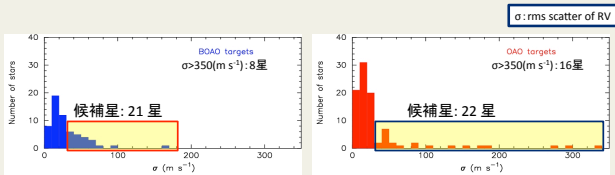
- 割当夜数 56夜 (実施30夜+α)
 - 2005.2-2009.6
- 実施率 約24% (直近一年18%)
- I_2 セル使用
 - 68星を3回以上観測
 - ・ 初期探索終了まで10星
 - 7星のOAO天体: 1~9回追加観測
- I_2 セル無: 23星観測

OAO

- 割当夜数 78夜 (実施58夜+β)
 - 2005.1-2009.6
- 実施率 約43% (直近一年28%)
- I_2 セル使用
 - 110星を3回以上観測
 - ・ 初期探索終了=>モニター観測へ
 - 5星のBOAO天体: 7~23回追加観測
- I_2 セル無: 57星観測



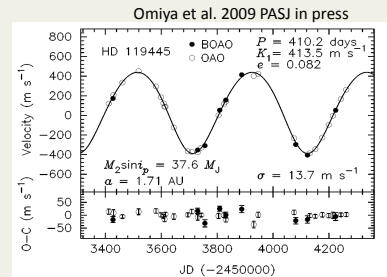
候補天体とRV変動分布



| | BOAO (68星中) | OAO (110星中) |
|-----------|-------------|-------------|
| 周期変動を示す天体 | 計 10星 | 10星 |
| 惑星候補 | 2星 | 6星 |
| 褐色惑星候補 | 0星 | 2星 |

褐色矮星HD 119445 bの発見

- 主星パラメータ
 - Vmag: 6.30
 - Sp.-type: G6III
 - B-V: 0.879
 - [Fe/H]: 0.07
 - 質量 $M: 3.9 M_{\odot}$
- 軌道パラメータ
 - 周期 $P: 410.2$ 日
 - 振幅 $K_1: 413.5\text{ m s}^{-1}$
 - 離心率 $e: 0.082$

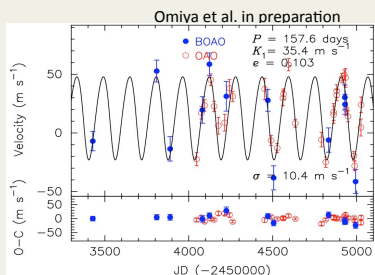


伴星質量下限値: $M_2 \sin i = 37.6 M_J$
軌道長半径: $a = 1.71 \text{ AU}$

● BOAOで観測した点
○ OAOで観測した点
実線 ケプラー運動でフィットした線

惑星候補の検出 (惑星候補A)

- 主星パラメータ
 - Vmag: 6.45
 - Sp.-type: G9III
 - B-V: 1.010
 - [Fe/H]: 0.17
 - 質量 $M: 2.67 M_{\odot}$
- 軌道パラメータ
 - 周期 $P: 157.6$ 日
 - 振幅 $K_1: 35.4\text{ m s}^{-1}$
 - 離心率 $e: 0.103$

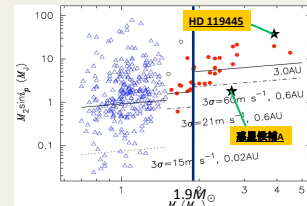


惑星質量下限値: $M_p \sin i = 1.8 M_J$
軌道長半径: $a = 0.79 \text{ AU}$

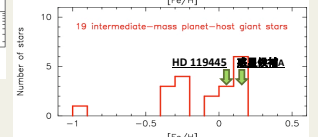
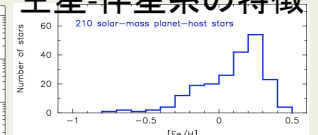
● BOAOで観測した点
○ OAOで観測した点
実線 ケプラー運動でフィットした線

日韓探査で検出した主星-伴星系の特徴

- ★ HD119445b or 惑星候補A
- 重い($>1.5 M_{\odot}$) 矮星の惑星($a < 3 \text{ AU}$)
- 重い($>1.5 M_{\odot}$) 巨星の惑星($a < 3 \text{ AU}$)
- △ 太陽質量星($0.7 \sim 1.5 M_{\odot}$) の惑星($a < 3 \text{ AU}$)



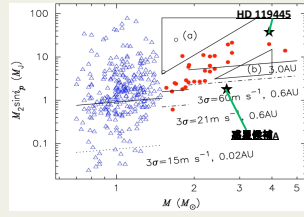
- 2.6 M_{\odot} 以上の重い主星
 - 重い星は惑星の発見数が少
- 1.9 M_{\odot} 以上の星の伴星中で、
 - HD119445b: 最も重い褐色矮星
 - 惑星候補A: 最も軽い惑星



- 主星の金属量が高め
 - HD119445: [Fe/H] = 0.07
 - 惑星候補A: [Fe/H] = 0.17

主星質量-惑星質量関係

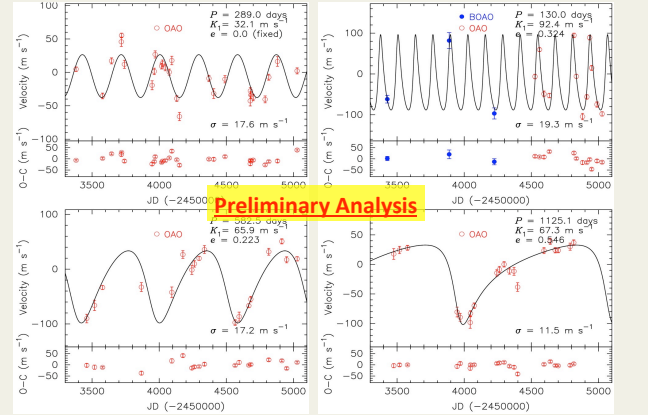
- 領域(a), (b)は空き領域
 - より重い星により重い惑星が存在する(Lovis & Mayor 2007; Hekker et al. 2008)
- 領域(a): 褐色矮星が公転する巨星は2.7 M_{\odot} 以上
 - サーベイされている重い星は少ないが、褐色矮星の発見頻度は高い
 - 星質量が増すと、褐色矮星質量の伴星の割合は増える
- 領域(b): 2.4~4 M_{\odot} の星の周りには、惑星が欠乏?
 - このあたりの天体は、RVの大きな固有変動を持つが、多くの惑星が検出限界の上にあるはす
 - 氷境界の移動を考えたコアアクリションモデルにおける惑星の形成頻度は、3 M_{\odot} でピーク(Kennedy & Kenyon 2008)
 - 中質量星の周りには、1AU付近で効率的に惑星を形成するメカニズムが存在する (Kretke et al. 2009)



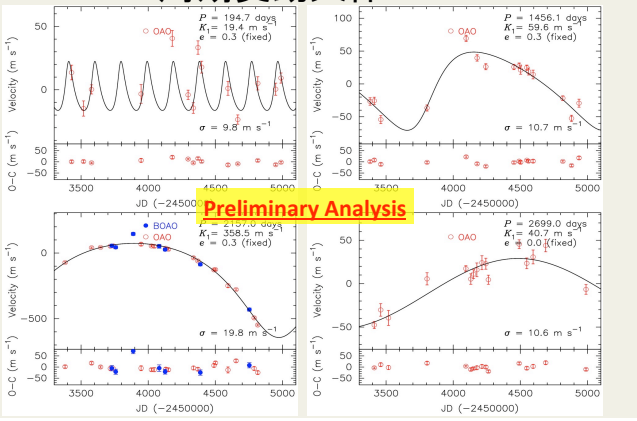
★ HD119445b or 惑星候補A
 ○ 重い(>1.5 M_{\odot}) 矮星の惑星($a < 3AU$)
 ● 重い(>1.5 M_{\odot}) 巨星の惑星($a < 3AU$)
 △ 太陽質量星(0.7~1.5 M_{\odot})の惑星($a < 3AU$)
 点線 $a=0.02AU$, $\sigma=5m s^{-1}$ (矮星)の検出限界
 鎖線 $a=0.6AU$, $\sigma=7m s^{-1}$ (準巨星), $20m s^{-1}$ (巨星)の検出限界
 実線 $a=3.0AU$, $\sigma=5m s^{-1}$ (矮星, 1.5 M_{\odot}), $7m s^{-1}$ (準巨星, 1.5~1.9 M_{\odot}), $20m s^{-1}$ (巨星, <1.9 M_{\odot})の検出限界

これらの傾向を確定するためには、重い星周りの惑星・褐色矮星の発見数を増やしていく必要がある

周期変動天体 一



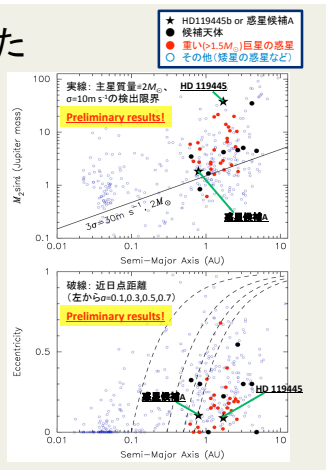
周期変動天体 二



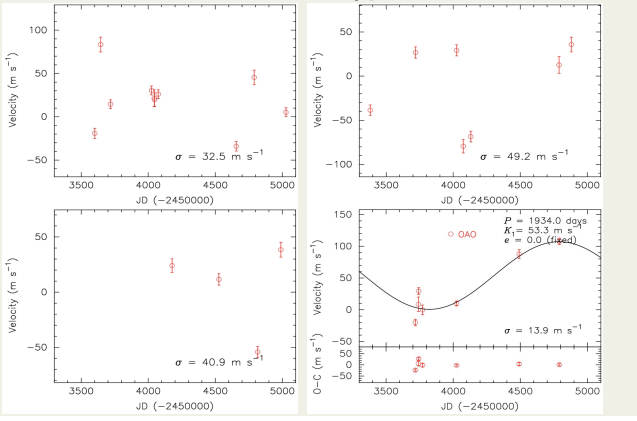
日韓探査で見つかった候補天体の特徴

- 周期変動天体をプロット*
 - 軌道長半径-惑星質量 (右上)
 - 軌道長半径-離心率 (右下)
- パラメータ範囲
 - 周期P: 130~2700日
 - 長周期にも分布** (要追加観測)
 - 振幅K: 19~420 $m s^{-1}$
 - 離心率e: 0(fixed)~0.55
 - 高め(観測数が原因?)
 - 軌道長半径*a: 0.6~5AU
 - 惑星質量 * $M_p \sin i$: 1~6 $M_{木星}$
 - 35 $M_{木星}$ と37 $M_{木星}$ の褐色矮星も

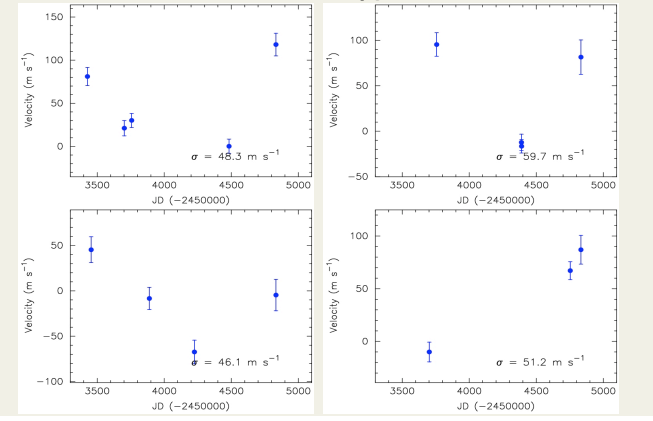
今のところ、重い(>1.5 M_{\odot}) 巨星周りの惑星の分布との大きな違いはみられないが => 確定には、フォローアップ観測が必要



フォローアップ天体 (OAO)



フォローアップ天体 (BOAO)



まとめと今後

- 2005年から、OAOと韓国普賢山天文台で、新たなG型巨星の周りの惑星系探査を進めてきた
- これまでの4.5年 全ターゲット188星中、
 - 粗いサーベイが終了した天体: 178星(残り10星)
 - RV変動が大きい天体($\sigma=30\text{-}350\text{m s}^{-1}$): 43星検出
 - **周期変動天体: 10星検出** (惑星候補8、褐色矮星候補2)
 - 褐色矮星論文出版 (Omiya et al. PASJ in press)
- 今後の1.5年
 - 1、惑星・褐色矮星候補天体のフォローアップ観測
 - => [随時、論文化](#) [今年度1本、来年度1~本執筆予定](#)
 - 2、惑星保持候補天体の探索 ($P<1200$ 日をカバー)
 - 3、ターゲット星のパラメータの決定