

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

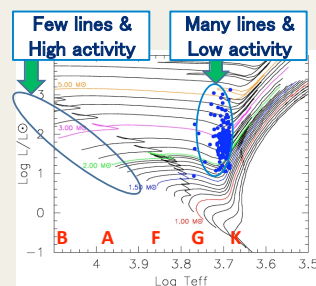
- 精密視線速度(RV)モニター&組成解析
 - @岡山天体物理観測所;OAO(日本) 約18夜/年
 - @普賢山天文台;BOAO(韓国) 約12夜/年
- 視線速度(RV)精密測定(ヨード(I_2)セル使用)
 - 高分散分光観測
 - スペクトルのモデリングとフィット(Sato et al. 2002)
- ターゲット星数:188星(晩期G-早期K型巨星)
 - 岡山惑星探索プロジェクトのターゲットより暗い
 - 188星を日韓両観測所で分担して、RVモニター

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ヵ月)
 - 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: BOHysunsan 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: $\sim 150/\text{pix}$ @ $\sim 6.5 \text{ mag}$ 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

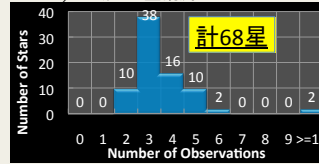


- HIDES: High Dispersion Echelle Spectrograph
- 分解能: $R=\lambda/\Delta\lambda \sim 65000$
- 波長域: 3750~7500Å
- I_2 セル使用: RV測定用
 - SN: $\sim 150/\text{pix}$ @ $\sim 6.3 \text{ mag}$ for 20 min. exposure
 - ドップラー精度: $\sim 6 \text{ m s}^{-1}$
 - モニター星数: 110星
- I_2 セル無: 組成解析

観測実施状況 @ BOAO & OAO

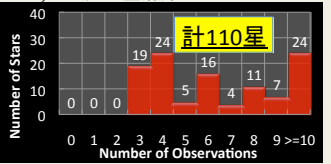
BOAO

- 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

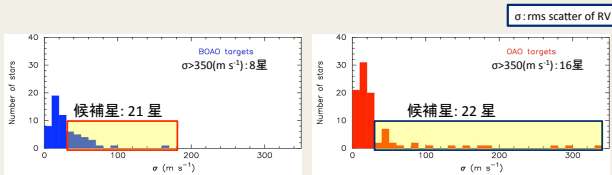


OAO

- 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



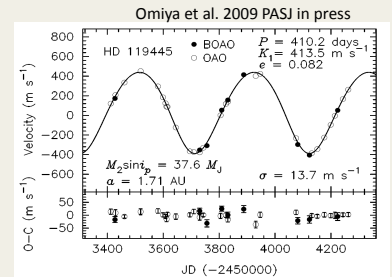
候補天体とRV変動分布



	BOAO (68星中)	OAO (110星中)
周期変動を示す天体	計	10星
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 $e: 0.082$

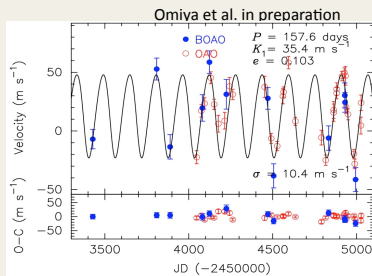


伴星質量下限値: $M_2 \sin i = 37.6 M_J$
軌道長半径: $a = 1.71 \text{ AU}$

● 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 $e: 0.103$

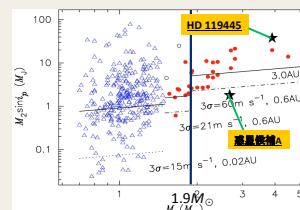


惑星質量下限値: $M_p \sin i = 1.8 M_J$
軌道長半径: $a = 0.79 \text{ AU}$

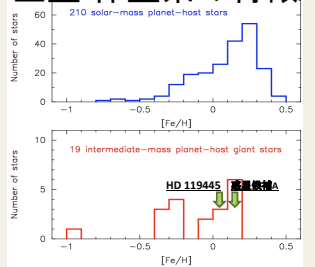
● BOAOで観測した点
○ OAOで観測した点
実線 ケプラー運動でフィットした線

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($>1.5 M_J$) 伴星の惑星($a < 3 \text{ AU}$)
- 重い($>1.5 M_J$) 巨星の惑星($a < 3 \text{ AU}$)
- △ 太陽質量星($0.7 \sim 1.5 M_{\odot}$) の惑星($a < 3 \text{ AU}$)



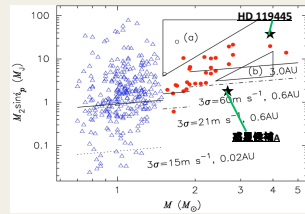
- 2.6 $M_{\odot}$ 以上の重い主星
 - 重い星は惑星の発見数が少
- 1.9 $M_{\odot}$ 以上の星の伴星中で、
 - HD119445b: 最も重い褐色矮星
 - 惑星候補A: 最も軽い惑星



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

主星質量-惑星質量関係

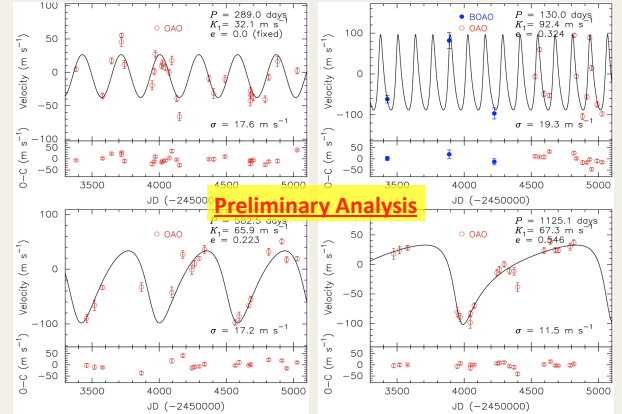
- 領域(a), (b)は空領域
 - より重い星により重い惑星が存在する(Lovis & Mayor 2007; Hekker et al. 2008)
- 領域(a): 褐色矮星が公転する巨星は2.7 $M_{\odot}$ 以上
 - サーベイされている重い星は少ないが、褐色矮星の発見頻度は高い
 - 星質量が増すと、褐色矮星質量の伴星の割合は増える
- 領域(b): 2.4~4 $M_{\odot}$ の星の周りには、惑星が欠乏?
 - このあたりの天体は、RVの大きな固有変動を持つが、多くの惑星が検出限界の上にあるはず



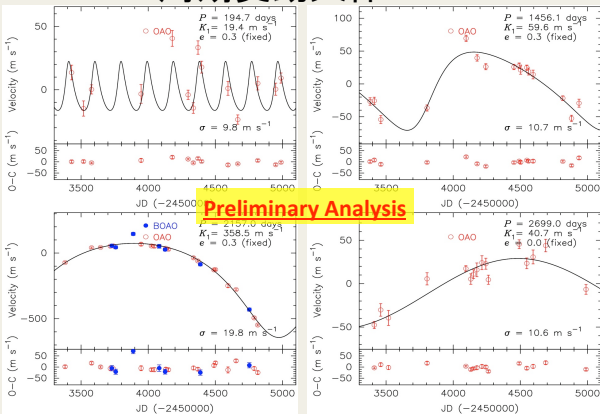
★ HD119445b or 惑星候補A
 ○ 重い(>1.5 $M_{\odot}$) 矮星の惑星($a < 3AU$)
 ● 重い(>1.5 $M_{\odot}$) 巨星の惑星($a < 3AU$)
 △ 太陽質量星(0.7~1.5 $M_{\odot}$)の惑星($a < 3AU$)
 点線 $a = 0.02AU$, $a = 5m s^{-1}$ (矮星)の検出限界
 縦線 $a = 0.6AU$, $a = 7m s^{-1}$ (準巨星), $20m s^{-1}$ (巨星)の検出限界
 実線 $a = 0.0AU$, $a = 5m s^{-1}$ (矮星, <1.5 $M_{\odot}$), $7m s^{-1}$ (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



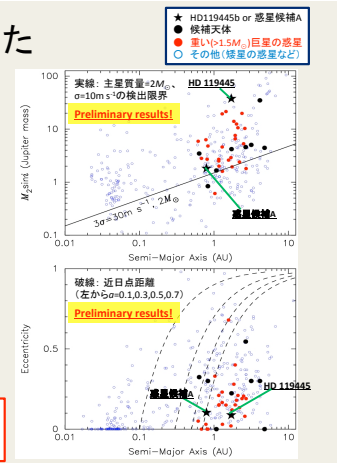
周期変動天体 二



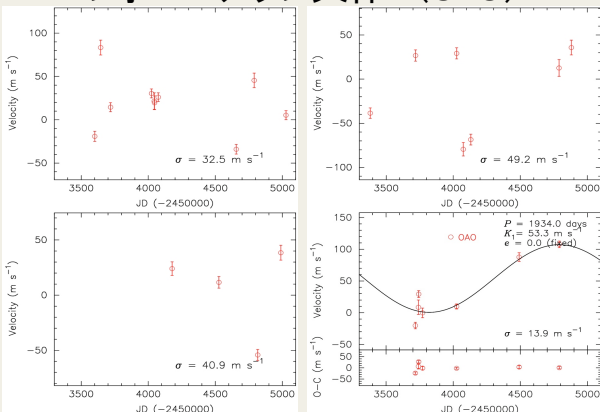
日韓探査で見つかった 候補天体の特徴

- 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
 - ★ 高い(観測数少が原因か?)
 - 軌道長半径a: 0.6~5AU
 - 惑星質量 * $M_p \sin i$: 1~6 M_{Jup} 木星
 - ★ 35 M_{Jup} と37 M_{Jup} の褐色矮星も

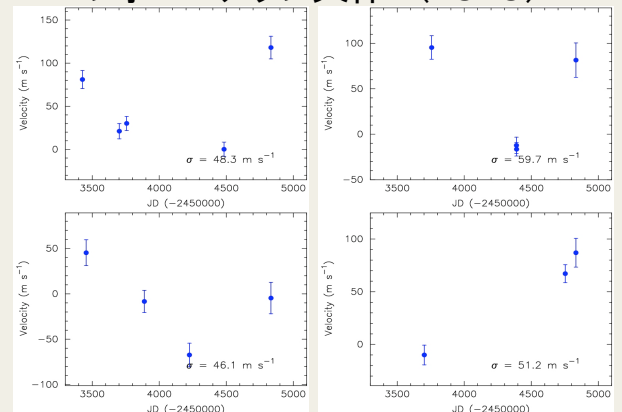
★ 周期変動天体の主星質量を2 $M_{\odot}$ と仮定
 ★ 未発見の長周期天体が多いと予測される
 今のところ、重い(>1.5 $M_{\odot}$) 巨星周りの惑星の
 分布との大きな違いはみられないが
 => 確定には、フォローアップ観測が必要



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索を進めてきた
- 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