G型巨星における惑星系の日韓共同探査

○大宮正士(東京工業大学)、泉浦秀行、神戸栄治(国立天文台)、佐藤文衛(東工大)、吉田道利(広島大)、豊田英里(神戸市立青少年科学館)、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)、Han Inwoo、Kim Kang-Min、Lee Byeong-Cheol (韓国天文研究院)、Yoon Tae Seog (Kyungpook National University)

Abstract

我々は、2005年から6.5年間にわたり岡山天体物理観測所188cm望遠鏡、韓国普賢山天文台180cm望遠鏡とそれぞれの高分散分光器HIDES、BOESを用いた視線速度精密測定観測により、中質量(1.5-5$M_\odot$)をもつG型巨星の惑星探索(探し)を行ってきた。本サーベイは、6.2<V<6.5に分布する約190星を対象としており、他の等級をカバーする岡山惑星探索プロジェクトなど、他のG型巨星の惑星サーベイプログラムと協力して、中質量星における惑星系の姿、ならびに、その形成と進化の理解を目指している。これまで、我々のサンプルに褐色矮星質量天体1個、惑星質量天体1個を発見しているが、有望な候補天体も複数存在している。

Introduction

1. 中質量星の惑星系と本研究の意義

理論: 惑星形成メカニズムが原始惑星系円盤や中心星に依存するため、**太陽型星と中質量星では惑星系の様子が異なると予想される** (e.g. Kennedy+2008, Currie2009)
- --- 巨大惑星の形成頻度は、質量が大きくなるにつれて高くなり、3$M_\odot$付近にピークがある
- --- 惑星の軌道長半径分布は主星質量に依存し、中質量巨星の近傍惑星の欠乏を説明可能

観測: 中質量星の惑星の発見数は太陽型星の惑星の発見数に比べてまだ大幅に少ないが、**中質量星の惑星系には、太陽型星の惑星系の特徴とは異なる特徴が見え始めている**
- --- 中質量星の惑星の質量は、太陽型星の惑星の質量に比べて高い傾向にある
- --- 中質量星のほとんどのsubstellar companionsは、軌道長半径0.6AU以遠に存在する
- --- 惑星を持つ中質量星の多くは金属リッチではない (e.g. [Fe/H]<0.2)

目的: **中質量星の惑星系の調査から、惑星系・惑星形成の主星依存を明らかにする**

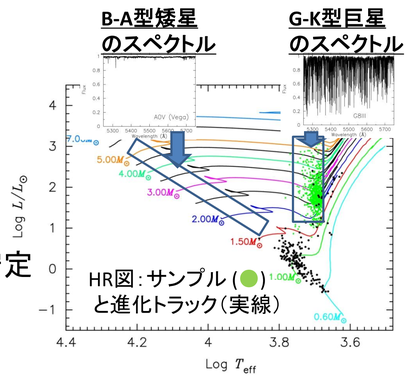
2. なぜG (or K) 型巨星を狙うか？

主系列段階にある中質量星: B or A 型星
- --- スペクトルに吸収線が少ない (高速自転、高温)
- --- 星固有の視線速度変動が大きい

=> **視線速度法による惑星探索は困難**

巨星段階(clump)にある中質量星: G or K 型星
- --- スペクトルに吸収線が多い (自転速度が遅くなる、低温)
- --- 星の脈動と表面活動(e.g. modulation)に対して、比較的安定

=> **視線速度法による惑星探索に適している**



3. 日韓共同探査と東アジア惑星探索網

日韓共同探査: 日本と韓国の研究者の共同惑星探索プログラム since 2005
- --- 岡山惑星探索プロジェクト(Sato et al.)を拡張した惑星探索プログラムであり、東アジア惑星探索網に参加している

目的 --- 東アジア惑星探索網の他のサーベイと協力して中質量星の惑星系の特徴を示す
観測 --- 岡山プログラムより暗い、約190個のGK型巨星の精密視線速度サーベイ

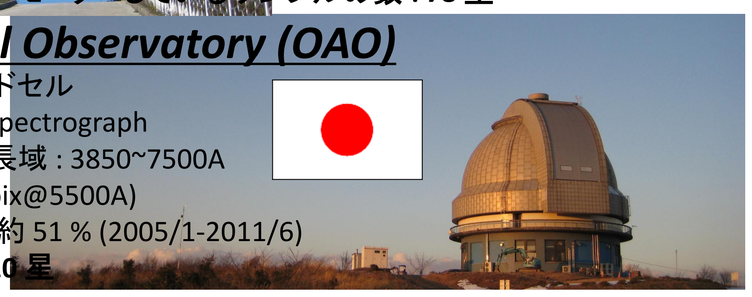
東アジア惑星探索網: An East-Asian Planet Search Network, EAPS-Net; Izumiura 2005
- --- 日本、中国、韓国の観測所における視線速度サーベイでの協力
- --- ネットワーク全体で700個以上のG型巨星のサンプルを観測し、大規模サンプルから中質量巨星の惑星系の特徴を示すことを目指している

Observation & Analysis

1. 望遠鏡とそれぞれの観測所での観測

Bohyunsan Optical Astronomy Observatory (BOAO)

装置 : 1.8m 望遠鏡 + BOES + ヨードセル
BOES: BOhyunsan Echelle Spectrograph
波長分解能 : $R=\lambda/\Delta\lambda$~ 50,000, 波長域 : 3800~9000A
ドップラー精度 : ~15 m/s (S/N~150/pix@5500A)
割当夜数 : 12-20 夜/年, 実施率 : 約28 % (2005/2-2011/6)
モニターしているサンプルの数 : 78 星



Okayama Astronomical Observatory (OAO)

装置 : 1.88m望遠鏡 + HIDES + ヨードセル
HIDES: HIgh Dispersion Echelle Spectrograph
波長分解能 : $R=\lambda/\Delta\lambda$~ 65,000, 波長域 : 3850~7500A
ドップラー精度 : ~5 m/s (S/N~150/pix@5500A)
割当夜数 : 12-18 夜/年, 実施率 : 約 51 % (2005/1-2011/6)
モニターしている サンプルの数 : 110 星

2. 視線速度サーベイ

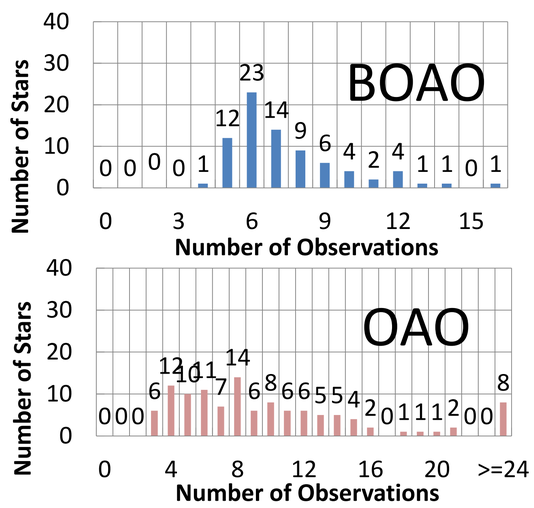
視線速度精密測定: ～5-10 m/sの精度を達成
観測 --- ヨードセル(Kambe +2002,Kim+2002) を使用
解析 --- スペクトルモデリング(Sato+2002)

惑星探索の戦略: 日本と韓国の観測所で視線速度モニター観測を行う
1. 各観測所に割り当てた、サンプルに対して数回のモニター観測を行い、サンプルから大きな視線速度を持つ**候補星を洗い出す**
2. 候補星のフォローアップ観測 in 韓国&日本
   --- 惑星の軌道要素決定を目指す
3. サンプルの長期変動の調査

その他: 主星と惑星の情報・特徴を得る
- --- サンプル星のパラメータ・大気組成を決定
- --- 軌道決定された惑星のパラメータを決定
- --- 表面活動性の調査(惑星起因かどうかを検証)

3. 視線速度観測の進捗状況

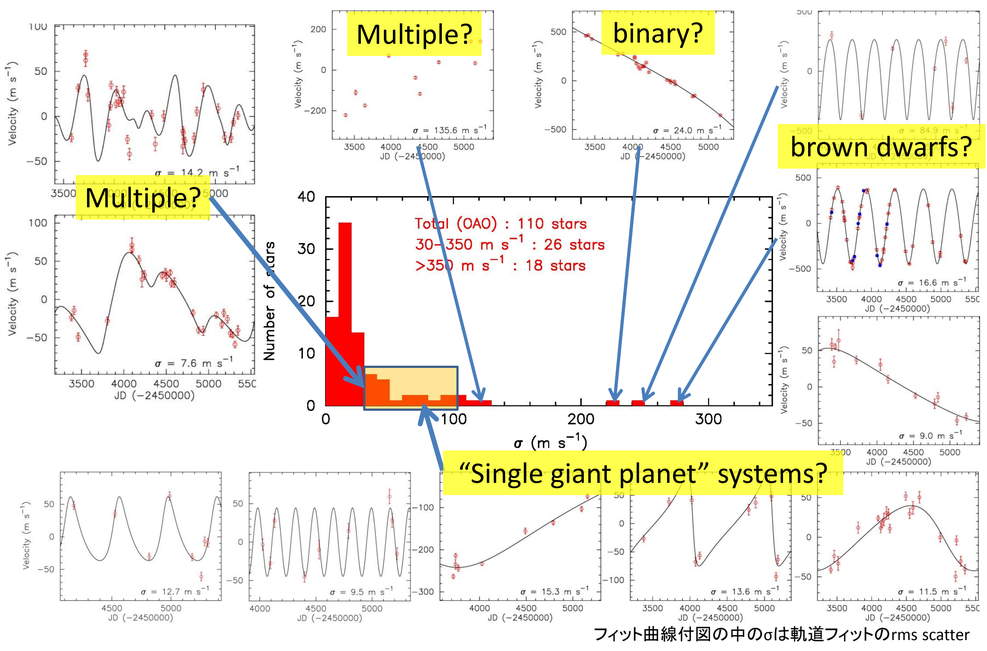
・多くのサンプルを5回以上観測した
・OAOサンプルには、フォローアップが進んでいるもが多い。BOAOは今後に期待



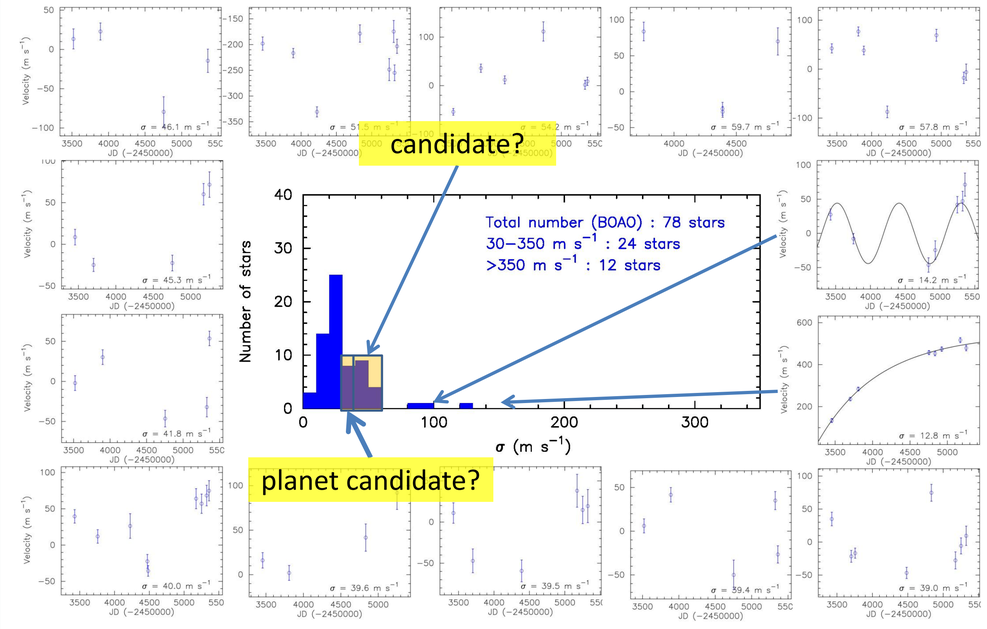
Current Status of Korean-Japanese Planet Search Program

1. サンプル星の視線速度変動

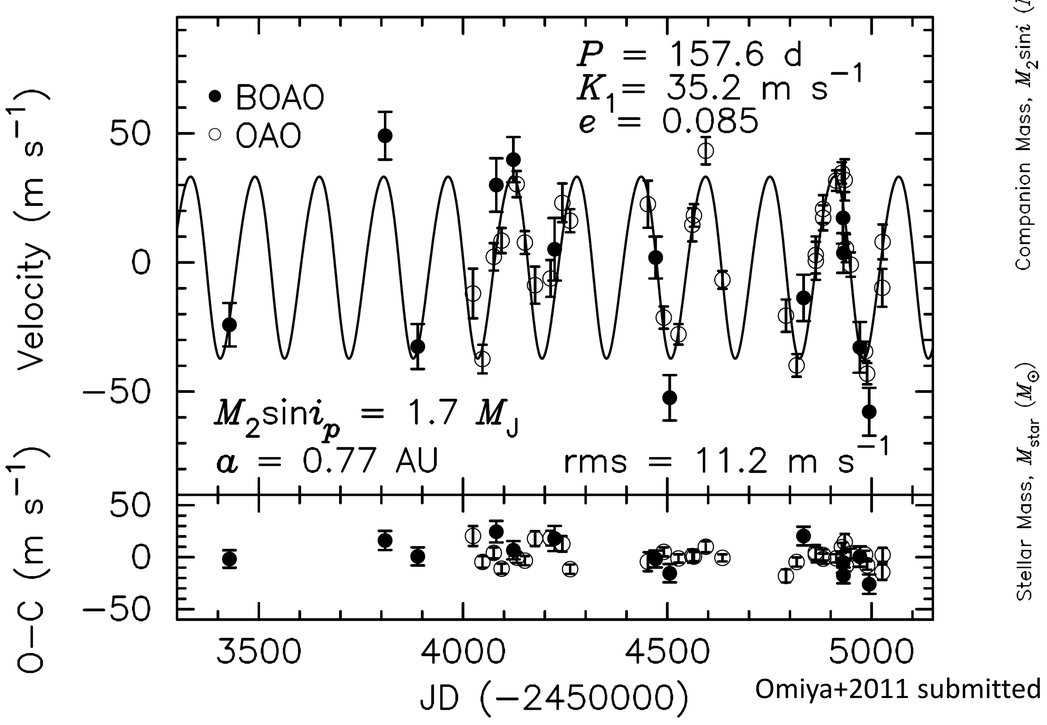
--- OAOサンプルの視線速度変動とその大きさσの分布



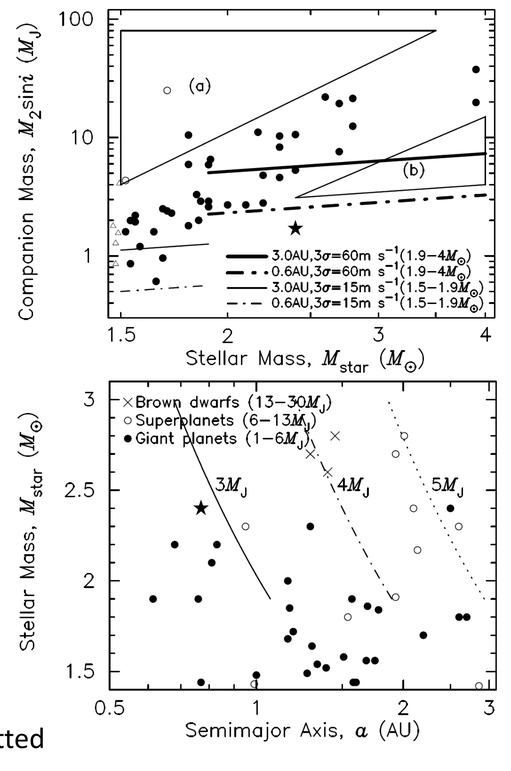
--- BOAOサンプルの視線速度変動とその大きさσの分布



2. 2.4M_{sun}の巨星周りのJovian-mass planet



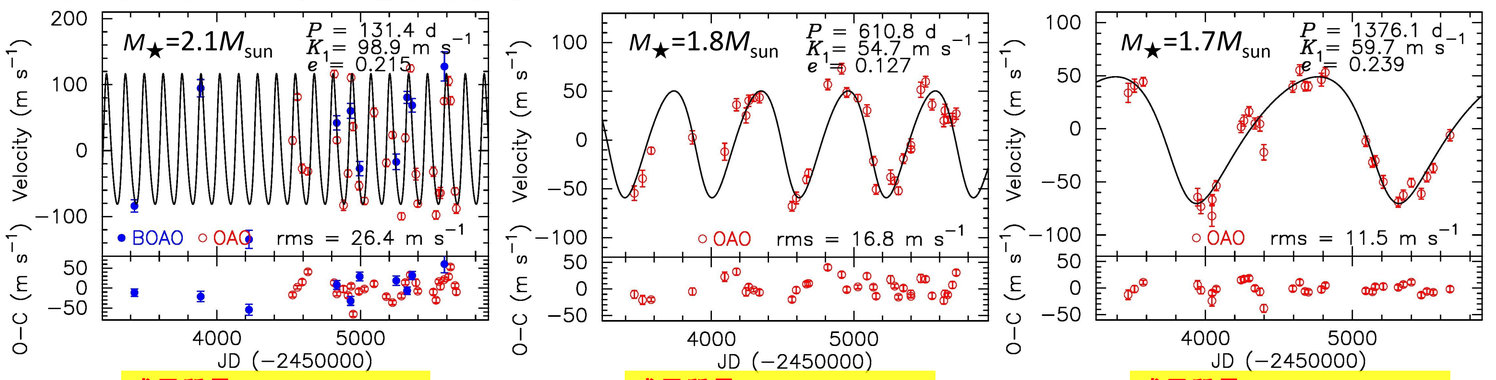
Omiya+2011 submitted



左図:G型巨星の視線速度変動。○●は観測点。実線は軌道フィット曲線。主星質量$M_\star$は2.4(2.0-2.6) M_{sun}
右上図:主星質量と惑星質量。●は中質量巨星の惑星、○は中質量矮星の惑星、★はHD100655を示す。一点破線と実線は、それぞれ、0.6AUと3AUにおける検出限界を表す
右下図:惑星の軌道長半径と主星質量。●と○はそれぞれ1-6M_J、6-13M_Jを持つ惑星、×は13-30M_Jを持つ伴星、★はHD100655を示す。実線、一点破線、点線は、それぞれ3,4,5M_Jの質量をもつ惑星の検出限界を表す

3. 候補天体の視線速度変動

Omiya+ in preparation



惑星質量: $M_P \sin i$ = 3.9M_J
軌道長半径: a = 0.65 AU

惑星質量: $M_P \sin i$ = 3.4 M_J
軌道長半径: a = 1.7 AU

惑星質量: $M_P \sin i$ = 4.4 M_J
軌道長半径: a = 2.9 AU

Summary & Future

- --- OAOと韓国BOAOで、6.5年間にわたり、G型巨星における惑星系の日韓共同探査を進めてきた
  全サンプルの初期調査が終了し、**複数の候補**の検出に成功した
- --- 惑星の軌道決定に十分な数のデータを取得した候補天体もある
  1個の褐色矮星と1個の惑星を検出 ・ **出版準備中の天体が3星**(右上図)
- --- 韓国BOAOサンプルのフォローアップが少ない => 割り当て夜数が増えたので今後に期待
- ---日韓両観測所での惑星サーベイの継続 -- 候補天体のフォローアップを中心に
  韓国BOAOの割り当て夜数が増えたので、韓国サンプルの観測数増大に期待
- --- 3星の惑星候補の出版論文執筆 --出版可能な天体から、随時、進める
- --- OAOサーベイのまとめ --観測点が十分ある天体の観測のまとめとDetectability評価
- --- 全サンプルの組成解析と恒星パラメータの決定 --視線速度変動と星の特徴との関係を示す