

G型巨星における惑星系の日韓共同探査

○大宮正士、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)、浦川聖太郎(日本スペースガード協会)、
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型巨星の惑星探索を行ってきた。本サーベイは、 $V=6.2\sim 6.5$ magの約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、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。これまでに、本惑星探索プロジェクトにおいて、有望な惑星(候補)を10星で確認している。

Introduction

1. 中質量星の惑星系と本研究の目的

理論: 惑星形成過程が原始惑星系円盤や中心星に依存すると考えられるため、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
 --- 軌道長半径分布は主星質量に依存し、中質量星近傍(<0.6AU)の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かなり少ないが、中質量星には、太陽型星の特徴とは異なる特徴が見えてきている
 --- 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 (Lovis&Mayor07)
 --- 中質量星のほとんどのsubstellar companionsは軌道長半径0.6AU以上 (e.g. Johnson+07)
 --- 惑星を持つ中質量星の多くは金属リッチではない (e.g. Takeda+08)

目的: 中質量星の惑星系の調査によって、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

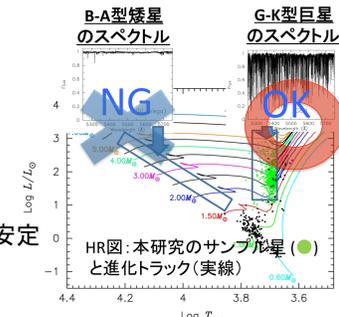
- スペクトルに吸収線が少ない (高速自転、高温)
- 星固有の視線速度変動が大きい

=> 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 (Omiya+09)

- 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($V=6.2-6.5$)、約190個のGK型巨星の視線速度サーベイ

東アジア惑星探索網: An East-Asian Planet Search Network, EAPS-Net; Izumiura 2005

- 日本、中国、韓国で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: $R=\lambda/\Delta\lambda \sim 50,000$, 波長域: 3800~9000Å
 ドップラー精度: ~ 15 m/s (S/N ~ 150 /pix@5500Å)
 割当夜数: 12-20 夜/年, 実施率: 約35% (2005/2-2015/6)
 モニターしているサンプルの数: 78 星+α

Okayama Astronomical Observatory (OAO)

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: $R=\lambda/\Delta\lambda \sim 65,000$, 波長域: 3850~7500Å
 ドップラー精度: ~ 5 m/s (S/N ~ 150 /pix@5500Å)
 割当夜数: 10-18 夜/年, 実施率: 約 50% (2005/1-2015/6)
 モニターしているサンプルの数: 110 星+β

2. 視線速度サーベイ

視線速度精密測定: $\sim 5-10$ m/sの精度を達成

観測 --- ヨードセル(e.g. Kambe+2002, Kim+2002) を使用

解析 --- スペクトルモデリング(Sato+2002, Sato+2012)

惑星探索の戦略: 日本と韓国の観測所でそれぞれのサンプルの視線速度モニター観測を行う

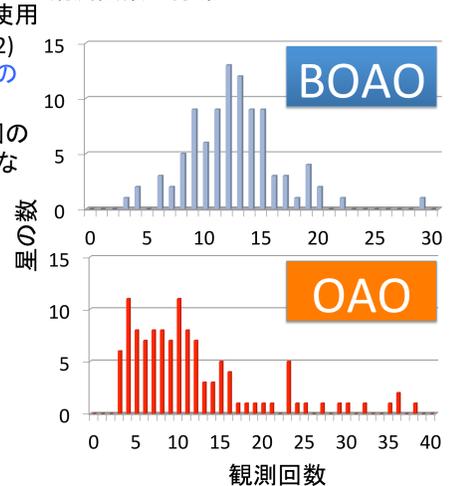
1. 各観測所に割り当てた、サンプルに対して複数回の視線速度モニター観測を行い、サンプルから大きな視線速度を持つ候補天体を洗い出す
2. 候補星のフォローアップ観測 in 韓国&日本
 --- 惑星の軌道要素決定へ
3. サンプルの長期変動の調査

その他: 主星と惑星の情報・特徴の調査

- 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

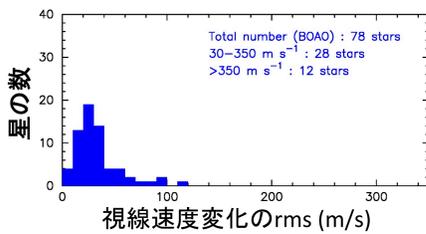
観測回数の分布



Current Status of Korean-Japanese Planet Search Program

1. BOAOサーベイの現状

- 観測実施率は2010年以降改善の傾向(天候含む)
- BOAOサンプルのサーベイが進み、候補天体を複数発見 => OAOでフォローアップ
- 2014年以降は割り当てと天候の都合で思うようにデータが取れていない

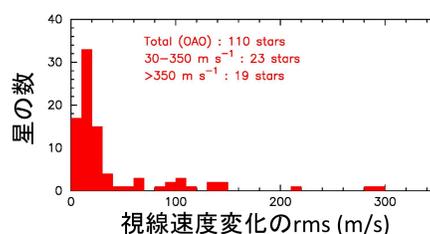


サンプルの視線速度変動(左図):

- 惑星候補: 28星 連星候補: 12星
- 変動が大きいものはフォローアップ
- 有望な候補はOAOでも観測

2. OAOサーベイの現状

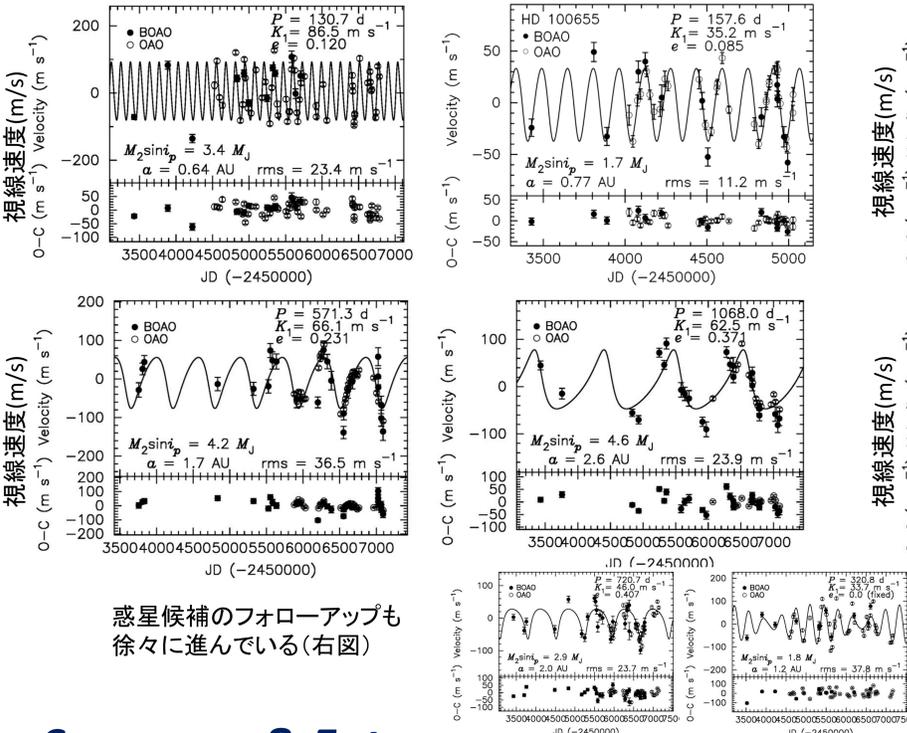
- 2010年以降は、主に候補天体のフォローアップ(1回/2月の頻度)
- 比較的均等な観測(52星), 残りの58星は荒い観測(候補を見つける) => 後半フォローアップ中心
- 2014年以降は天体を絞って有望な候補天体(30個)のフォローアップ観測が中心(1回/1ヶ月の頻度)



サンプルの視線速度変動(左図):

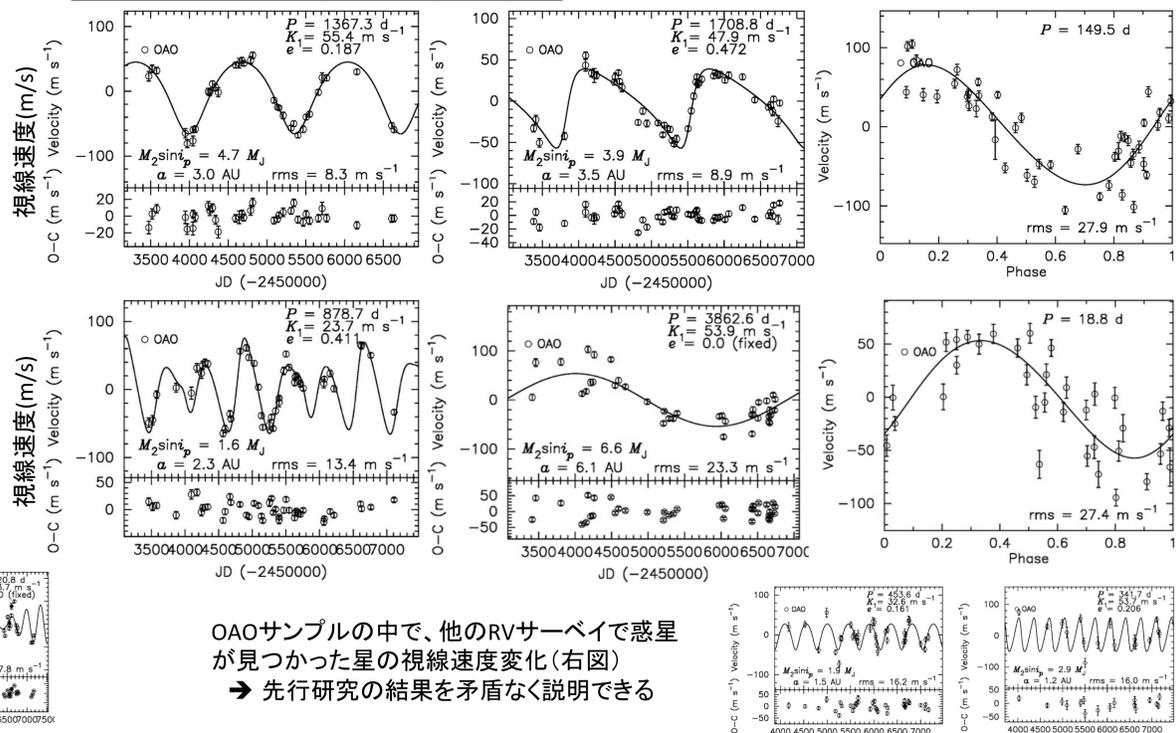
- 惑星候補: 23星 連星候補: 19星
- 候補星に関しては、変化の様子が分かってきた
- 均等に観測してきた52星は、比較的均一な検出限界を達成

共同フォローアップの成果: 惑星(候補) = 4個



惑星候補のフォローアップも徐々に進んでいる(右図)

OAOフォローアップの成果: 惑星(候補) = 7個



OAOサンプルの中で、他のRVサーベイで惑星が見つかった星の視線速度変化(右図)
 => 先行研究の結果を矛盾なく説明できる

Summary & Future

- OAOと韓国BOAOで、10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
- 2012年までに全サンプルの初期調査が終了し、多数の候補天体の検出に成功した
- 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複数ある
- 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7星

- 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に絞っている
- 韓国BOAOサンプルの候補天体の軌道決定を急ぐ
- OAOサーベイのまとめ -- 観測点がある天体の観測のまとめと検出率の評価
- 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