

岡山観測所における太陽系外惑星探索

佐藤文衛

東京工業大学

Quest for Exoplanets at Okayama Astrophysical Observatory

Bun'ei SATO

Abstract

Precise measurement of stellar radial velocity variations is a powerful technique to detect orbiting planets around stars. We can achieve a 2-3m/s precision in stellar radial velocity with High Dispersion Echelle Spectrograph (HIDES) at Okayama Astrophysical Observatory, and we have conducted a Doppler planet-search program targeting GK-type giants since 2001 with use of the technique. The purpose of the program is to uncover properties of planetary systems around intermediate-mass stars, and we have discovered about 30 substellar companions around them so far. We here report our new discovery from the project facilitated by joint observations from Xinglong station in China and Australian Astronomical Observatory; an interesting pair of giant planets around K1III giant HD47366, which may have multiple circular orbits or a mutually retrograde configuration.

Key Words: exoplanets, radial velocity, giant stars, multiple-planet systems

1 中質量星周りの系外惑星探索

過去20年間の精力的な観測によって、約2000個の系外惑星が発見されるに至った。これらは主に太陽型星（FGK型の主系列星）を周回するものであり、同タイプの恒星については惑星の軌道や質量などの統計的分布がかなり明らかになりつつある。一方、太陽型以外のタイプの恒星については依然として惑星探索が不十分であるが（図1）、統一的な惑星形成・進化の理解にはこれらの恒星における惑星探索も必要である。特に、太陽より重い恒星（ここでは1.5~3太陽質量程度の恒星を指す。以下、中質量星と呼ぶ。）は、近年の電波・赤外線観測などによって原始惑星系円盤の質量が大きい一方で¹⁾、その寿命は短い²⁾ことが示唆されており、このような恒星周囲の惑星の質量分布や軌道分布を観測的に明らかにすることによって、惑星形成と移動のタイムスケールに制限をつけることができるという点で重要なターゲットである³⁾。しかし、中質量星は主系列段階（早期型星）では高温のためスペクトルに吸収線が少なく、また、それらは高速自転によって線幅が広がっているため、系外惑星検出の主要な手法である視線速度法による惑星検出は実質的に不可能である。

早期型星に代わって中質量星における惑星探索の対象となっているのが、これらが進化して主系列を離れ、晩期G型~早期K型のスペクトル型になった段階の

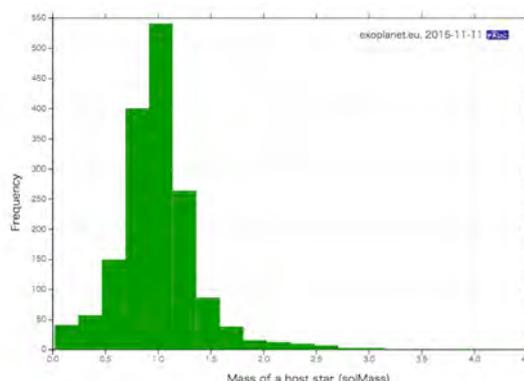


図1：惑星を持つ恒星の質量ヒストグラム（<http://exoplanet.eu>）。1.5太陽質量以上の恒星における惑星発見数は少ない。

準巨星・巨星である。これらは内部で水素殻燃焼またはヘリウム核燃焼が起こっている天体であり、半径は太陽の数倍から20倍程度である。これらの星は膨張して低表面温度・低速自転となっており、スペクトルには視線速度精密測定に適した線幅の細い吸収線が多数存在するため、視線速度測定による惑星検出が可能である。実際、複数の研究グループによってGK型準巨星・巨星を対象とした視線速度法による惑星探索が盛んに行われており、これまでに約120個の惑星または褐色矮星がこれらの周りで発見されている⁴⁾。

2 岡山観測所における系外惑星探索

岡山観測所では、2000年に188cm望遠鏡の可視高分散分光器HIDESに視線速度精密測定用のヨウ素ガス吸収フィルターが導入され、以来約15年間、継続的な技術開発によって現在約2-3m/sという測定精度が実現されている⁵⁾。これは同程度の口径の望遠鏡では世界トップクラスの性能である。

この視線速度精密測定技術を利用して、我々は2001年から約300個のGK型巨星を対象に視線速度法による系外惑星探索を行っている。観測対象は、色指数が $0.6 < B-V < 1.0$ 、絶対等級が $-3 < M_V < +2.5$ の範囲にあり、かつV等級が6等より明るく、岡山から比較的長期間の観測が可能な赤緯 $\delta > -25^\circ$ の天体であり、スペクトル型はおよそG5からK1、質量はおよそ1.5~5太陽質量までを含んでいる。

岡山観測所における巨星を対象とした系外惑星探索は、類似の惑星探索の中では世界的にも最も早くから行われ、かつ現在も続いている長期プロジェクトの一つであり、この間、G型巨星における初の系外惑星⁶⁾、散開星団における初の系外惑星⁷⁾等を含む約30個の系外惑星・褐色矮星を発見している。また、このプロジェクトは中国や韓国、オーストリアの望遠鏡を使った共同研究としても行われている。

3 新たに見つかった惑星系：HD47366系

HD47366はV等級6.11等のK型巨星（K1III）であり、半径、質量はそれぞれ太陽の約7.3倍、約1.8倍、有効温度は約4900Kと推定されている⁸⁾。この恒星に対して、岡山188cm望遠鏡、興隆2.16m望遠鏡（中国）、アングロオーストラリアン3.9m望遠鏡の3つの望遠鏡を用いて合計161点の視線速度データを約7年半に渡って取得した結果、同恒星の周りに二つの巨大惑星を発見した。図2は、観測されたHD47366の視線速度変化である。二つの独立なケプラー運動の重ね合わせから、二つの惑星の質量はそれぞれ約1.8木星質量と約1.9木星質量、軌道長半径は約1.2天文単位と約1.9天文単位、離心率は0.09と0.28と求められた。

この二つの巨大惑星の公転周期の比は2より若干小さく、惑星同士の重力相互作用が強いと考えられるため、数値的に三体問題を計算し軌道の安定性を調べたところ、二つの独立なケプラー運動の重ね合わせで求めた観測データにベストフィットする軌道は不安定であることが分かった。さらに広範囲の軌道要素について安定性を調べたところ、外側の惑星の離心率が約0.15以下であるか、あるいは二惑星が互いに逆向きに公転していれば、少なくとも100万年間は安定である

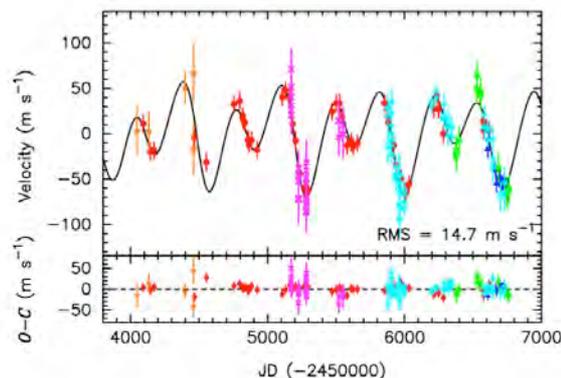


図2：HD47366の視線速度変化

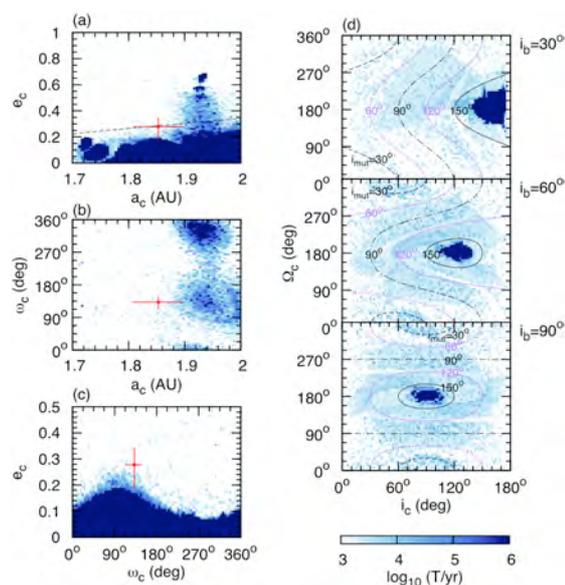


図3：軌道の安定性。内側の惑星（惑星b）の軌道要素はベストフィットの値に固定し、外側の惑星（惑星c）の軌道要素を様々に変化させた。パネルの色の濃い領域が安定なパラメータ領域。+印はベストフィット値。(a)離心率と軌道長半径 (b)近点経度と軌道長半径 (c)離心率と近点経度 (d)昇交点経度と軌道傾斜角（等高線は相互軌道傾斜角を表す）

ことが分かった（図3）。外側の惑星の離心率の観測値は0.28であるが、誤差を考慮すると 1.4σ で離心率0.15と一致するため、現時点ではこの可能性がもっともらしいと考えられる。

お互いに逆行している惑星系は理論的には作るのが困難だが、実は巨星の周りではHD47366系に似た系が他にも見つかっている。BD+20 2457というK型巨星は二つの褐色矮星がその周りを回っているが、視線速度データにベストフィットする軌道はやはり不安定であ

り、お互いが逆行していれば安定という結果が報告されている⁹⁾。観測データがまだ不足している可能性はあるが、HD47366系については、今後さらにデータを蓄積し外側の惑星の離心率の決定精度を上げることによって、上記二つの可能性を区別することができると考えられる。

4 まとめと今後

中質量星の周りの惑星系は太陽型星のそれに比べて未だ発見数が少なく、惑星形成・進化の統一的な理解のためにはその数を増やしていくことが必要である。岡山観測所では、2001年以来約300個の中質量GK型巨星に対して視線速度法による系外惑星探索を続けており、これまでに約30個の惑星・褐色矮星を発見するに至った。今回、岡山、中国、オーストリアの共同探索で新たに発見された系外惑星系であるHD47366系は、二つの巨大惑星からなる複数惑星系であり、軌道安定性解析の結果、二惑星がほぼ円軌道で公転する系か、二惑星がお互いに逆向きに公転する系であれば少なくとも100万年間は安定であることが分かった。

岡山観測所でモニターしているGK型巨星には、この他にも複数惑星系を有する候補天体が存在している。今後もこれらの天体について重点的に観測を行い、中質量巨星における複数惑星系の特徴を明らかにしていきたいと考えている。

謝辞

ここで紹介した成果は、岡山惑星探索プロジェクトと中国国家天文台、ニューサウスウェールズ大との共同研究によって得られたものです。この場を借りて共同研究者の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) Andrews, S.M., Rosenfeld, K.A., Kraus, A.L., Wilner, D.J., 2013, ApJ, 771, id.129
- 2) Ribas, A., Bouy, H., Merin, B., 2015, A&A, 576, id.A52
- 3) Currie, T., 2009, ApJ, 694, L171
- 4) NASA Exoplanet Archive (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/index.html>)
- 5) Kambe, E., et al., 2008, PASJ, 60, 45
- 6) Sato, B., et al., 2003, ApJ, 597, L157
- 7) Sato, B., et al., 2007 ApJ, 661, 527
- 8) Sato, B., et al. 2015, submitted to ApJ
- 9) Horner, J., Wittenmyer, R.A., Hinse, T.C., Marchall, J.P., 2014, MNRAS, 439, 1176

(2016年1月14日受付, 2016年1月30日受理)