

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540263

研究課題名(和文) 視線速度および測光観測による中質量星の惑星系の詳細理解

研究課題名(英文) Detailed studies on extrasolar-planets orbiting intermediate-mass stars based on radial velocimetry and photometry

研究代表者

佐藤 文衛 (SATO, BUNEI)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：40397823

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：中質量星における低質量惑星及び短周期惑星の有無とその性質を明らかにするため、国内外の望遠鏡を用いた視線速度精密測定観測により、中質量巨星及び中質量主系列星を対象とした系外惑星探索を行った。その結果、中質量巨星の周りでこれまでに検出例が少なかった2木星質量以下の惑星を複数発見し、また、星団内の早期型星において惑星候補を同定した。これにより、中質量星における惑星系の質量や軌道の分布に関する新たな知見を得た。

研究成果の概要(英文)：We conducted a planet-search program with a precise Doppler technique targeting in intermediate-mass giants and dwarfs in order to uncover populations of less-massive and short-period planets around such stars. We succeeded in discovering new planets less massive than two Jupiter-mass around intermediate-mass giants, which have rarely been found around them. Also, we identified a planet candidate around an early-type star in an open cluster. The discoveries offer new insight into origins of mass and orbital-period distribution of planets around intermediate-mass stars.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：天文学 視線速度観測 測光観測 太陽系外惑星 中質量星

1. 研究開始当初の背景

1995年の初発見以来、太陽以外の恒星を周回する惑星(系外惑星)の発見数は約500個を数えるまでになった。近年は、太陽類似星だけでなく太陽の2~3倍の質量をもつ比較的重い恒星(中質量星)での惑星探索も我々のグループなどの主導で進み(Sato et al. 2010, PASJ, 62, 1063)、惑星形成の一般的な理解へ向けて理論・観測ともに急速に進展しつつある。特に中質量星の周りでは、太陽類似星よりも高い巨大ガス惑星の存在確率が示唆される一方、軌道半径の小さな短周期惑星が見つかっていない等、興味深い性質が明らかになってきた(Sato et al. 2008, PASJ, 60, 539)。中質量星における惑星系の性質は、惑星形成メカニズムや惑星形成の母体となる原始惑星系円盤のパラメータ(質量、温度構造、円盤散逸の時間尺度等)に敏感に依存するため、観測される惑星系の性質から逆にこれらの未だ不確定なパラメータに強い制約を与えることができる(Currie 2009, ApJ, 694, L171)。しかし、残念ながら現行の惑星探索はこの期待に応えられていない。それは、観測対象が「中質量巨星」、つまり「進化した中質量星」であることに起因する。そもそも、進化の進んでいない中質量主系列星は高温のためスペクトル中に吸収線の数が少なく、系外惑星検出の主力手段である視線速度精密測定法(ドップラー偏移法; 惑星公転による中心星の揺れを、視線方向の中心星放射のドップラー効果として捕える分光観測)による測定精度が出にくいという事情から、これが進化して低温になった巨星が対象とされてきたのだが、巨星は進化によって大きく膨張しているため中心星近傍の短周期惑星は中心星に飲み込まれてしまっており、形成当初の軌道分布を保持していない可能性がある。また、一般に巨星は脈動によって自分自身の視線速度が大きく変化するため(10~20メートル毎秒)木星質量以下の軽い惑星による微小な視線速度変化は検出しにくく、ゆえに正確な惑星存在確率を導くことが難しい(注:太陽類似星では木星質量以下の惑星が大部分を占める)。このように、「低質量惑星」と「短周期惑星」を如何に探索するかということが、中質量星の惑星探索における重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、中質量星において未だ明らかにされていない「低質量惑星」と「短周期惑星」の存在について、今後3年間で以下の知見を得ることを目的とする。

(1) 我々の過去10年に及ぶ観測によって、中質量巨星における数木星質量以上の惑星の存在確率は少なくとも5%程度であることが分かっている。仮に惑星の質量分布が太陽

類似星の場合と同様に低質量側に向かって増加しているとすれば、土星~木星質量程度の低質量惑星の存在確率は約20%に達することになる。これを検証するため、現在我々が観測しているサンプルから新たに100個程度のサブサンプルを作り、高頻度の視線速度観測を行う。なるべく中心星近傍の分布まで明らかにするため、中心星の進化に伴う軌道変化の影響が少ない2.5~3太陽質量の天体を選びサンプルを構成する。国内外の望遠鏡を用いて、3年間の観測で中質量星の周り約3天文単位以内における低質量惑星の存在確率、および軌道分布を初めて明らかにする。

(2) 約2太陽質量の中質量主系列星のサンプルを新たに作り、短周期惑星の存在を調べる。太陽類似星の場合、短周期惑星の存在確率は1%程度であり、これを中質量星において検証するためにはやはり100個程度のサンプルが必要となる。このサンプルを対象に国内外の望遠鏡を用いた超高SN比の視線速度測定観測を行い、短周期惑星の存在を調査する。このタイプの恒星についてはこれまで木星質量の数倍以上の比較的重い惑星の存在確率についてさえ明らかになっていないので、予想より多少測定精度が悪くても観測を試み、検出限界を従来のもより下げることに意義がある。また、中質量主系列星にも脈動を示す天体が存在するが、その場合は巨星の場合と同様に高頻度観測を行う手法が適用できる。さらに、視線速度観測と合わせて測光観測によるトランジット検出も試みる。我々のこれまでの調査により、中質量主系列星でもトランジット法による惑星検出に必要な測光精度が達成できることが分かっている。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では以下の方法によって研究を実施する。

(1) 中質量巨星の高頻度視線速度観測

国立天文台岡山天体物理観測所 1.88m 望遠鏡、同ハワイ観測所 8.2m 望遠鏡(すばる望遠鏡)、中国国家天文台興隆観測所 2.16m 望遠鏡を中心に、合わせて100天体について高頻度視線速度モニター観測を始める。この中で中心となるのは岡山と中国であり、それぞれ20天体ずつを観測する。この両観測所においては、今後3年間ある程度の観測時間(毎月数日~1週間)を確保できる見通しは立っている。韓国普賢山天文台、すばる望遠鏡の他、オーストラリアのアングロ・オーストラリアン天文台や他の海外施設にも観測申請を行い、観測時間の確保に努める。仮にこれらの天文台で観測時間の確保に失敗したとしても、岡山と中国で計40天体について観測できれば低質量惑星の存在確率を

数%以下の精度で推定することができるので研究目的は達成できる。また、仮に中国での観測が予定通りにいかなかった場合は、岡山で各天体の観測期間を半分にし、代わりに天体数を倍にすることによって、約1天文単位以内の低質量惑星の存在確率を同じく数%以下の精度で明らかにする。

(2) 中質量主系列星の超高 S/N 比視線速度観測

岡山、すばる、オーストラリア等に観測申請を行い、合わせて 30~40 天体について観測を開始する。短周期惑星が主なターゲットとなるので、各天体について毎月数日間の連続観測を1年間行う。これにより、周期数日から1年程度の惑星の存在を調査する。この観測には、特に大口径の望遠鏡もしくは高効率の分光器が必要なため、当面のターゲットは上記3観測所である。また、中国興隆観測所で来年予定されている新分光器の導入がうまくいけば同観測所も候補となる。観測時間が思うように確保できない場合は、先に述べた中質量巨星の高頻度観測を優先する。一方、測光観測によるトランジット観測は視線速度観測とは独立に行えるので、視線速度観測による候補天体の提供を待たずに並行してトランジット観測による惑星探索を進める。この目的には東工大と岡山観測所に我々が独自に設置した2台の口径30cm望遠鏡を自由に使える。また、中国興隆観測所と山東大学・威海観測所に測光観測に精通した共同研究者があり、これらの観測所との協力も検討する。

4. 研究成果

(1) 中質量巨星における低質量惑星の発見

岡山天体物理観測所における高頻度精密視線速度観測によって、中質量巨星を周回する2木星質量以下の低質量惑星を4つ発見した(図1; HD5608 b, CrB b, HD2952 b, Ser b)。これらの惑星の質量は約1.4木星質量から1.7木星質量、軌道長半径は約0.83天文単位から1.9天文単位に分布しており、中質量巨星周囲で発見された最も軽い惑星に属する。一般に巨星は太陽型星に比べて脈動の振幅が大きく約2木星質量以下の惑星はこれまでほとんど見つかっていなかったが、今回のように密に多数(50-100点)のデータを取得することによってそのような惑星の検出が実際に可能であることが示された。

また、これら以外にも公転周期45日以下のもの3つを含む2木星質量以下の惑星候補が約20個見つかった。現時点ではまだデータ数が十分ではないためこれらの候補全てが真に惑星であるとは限らないが、候補天体は1.5太陽質量から3太陽質量の中心星の周りにほぼ万遍なく分布しており、少なくとも3太陽質量程度までは太陽型星からの延長で

惑星形成を捉えることができる可能性を示唆している。

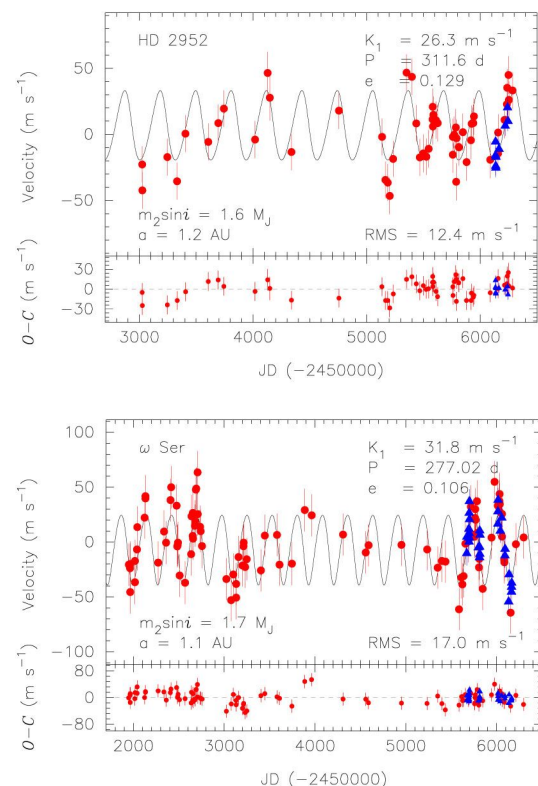


図1: 岡山観測所における観測で発見された低質量惑星を有する中質量巨星 HD2952 (上) と Ser (下) の視線速度変化。これらの天体の周りを約1.6木星質量と約1.7木星質量の惑星が周期約312日と約277日でそれぞれ周回していることを示している (Sato, B. et al. 2013, PASJ, 65, 85)。

(2) ヒアデス星団の早期型星における系外惑星探索

中質量主系列星における惑星探索として、ヒアデス星団に属するF型矮星(約1.4-1.7太陽質量)約20天体に対して岡山観測所にて高S/N比視線速度観測を行った。このテーマについては当初予定していたほど多くの観測時間を確保することができなかったため、対象を素性のよく分かっている散開星団内の天体に設定し、また、天体数も約20個に絞って集中的な探索を行った。

その結果、約70日の公転周期をもつ2.5木星質量の惑星候補を一つ同定した(図2)。主星に対する測光モニター観測も実施したが、同周期の有意な明るさ変動は見られなかった。公転周期100日以下の惑星はこれまで中質量星周囲ではほとんど見つかっておらず、今後の追観測で確認されれば惑星形成・進化過程に重要な制約を与えるものとなる。

今回の観測では、約半数の対象天体において軌道長半径0.1天文単位における惑星検出

限界は約1木星質量であった。これは、もしこれらの天体にホットジュピターが存在すれば十分検出可能であったことを意味している。また、これらの天体は3天文単位での検出限界が7木星質量以下となっている。ヒアデス星団のより質量の大きな巨星で過去に同様の惑星(7木星質量、2天文単位)が発見された確率は25%であるので、もし今回の天体と同じ確率で惑星が存在していれば発見できたはずである。これらの結果から、今回観測した質量範囲(1.4-1.7太陽質量)の矮星に大質量惑星が存在する確率は約10%以下であると推定され、中心星質量と惑星質量との相関が改めて示唆される結果となった。

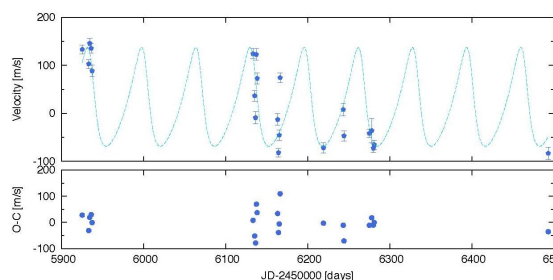


図2: ヒアデス星団のF6型星で検出された周期約70日の視線速度変化。公転する惑星候補の質量下限値は約2.5木星質量に相当する(Sato, M., 2013, Master thesis)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

Sato, B., Omiya, M., Harakawa, H., Liu, Y.-J., Izumiura, H., Kambe, E., Takeda, Y., Yoshida, M., Itoh, Y., Ando, H., Kokubo, E., Ida, S., Planetary Companions to Three Evolved Intermediate-Mass Stars: HD 2952, HD 120084, and Serpentis, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 65, Article No. 85, 2013 (査読有)
DOI:10.1093/pasj/65.4.85

Sato, B., Omiya, M., Wittenmyer, R.A., Harakawa, H., Nagasawa, M., Izumiura, H., Kambe, E., Takeda, Y., Yoshida, M., Itoh, Y., Ando, H., Kokubo, E., Ida, S., A Double Planetary System around the Evolved Intermediate-mass Star HD 4732, The Astrophysical Journal, Vol. 762, article id. 9, 2013 (査読有)
DOI:10.1088/0004-637X/762/1/9

Sato, B., Omiya, M., Harakawa, H., Izumiura, H., Kambe, E., Takeda, Y., Yoshida, M., Itoh, Y., Ando, H., Kokubo, E., Ida, S., Substellar Companions to Seven Evolved Intermediate-Mass Stars, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 64, Article No. 135, 2012 (査読有)

DOI:10.1093/pasj/64.6.135

Wang, L., Sato, B., Zhao, G., Liu, Y.-J., Noguchi, K., Ando, H., Izumiura, H., Kambe, E., Omiya, M., Harakawa, H., Liu, F., Wu, X.-S., Takeda, Y., Yoshida, M., Kokubo, E., A possible substellar companion to the intermediate-mass giant HD 175679, Researches in Astronomy and Astrophysics, Vol. 12, pp. 84-92, 2012 (査読有)

DOI:10.1088/1674-4527/12/1/007

[学会発表](計2件)

佐藤文衛、大宮正士、原川紘季、長沢真樹子、Robert Wittenmyer、Liu Yujuan、泉浦秀行、神戸栄治、竹田洋一、安藤裕康、小久保英一郎、吉田道利、伊藤洋一、井田茂、中質量 GK 型巨星を周回する新たな惑星系の発見: HD 4732, HD 2952, HD 120084, Serpentis, 日本天文学会秋季年会、2013年9月11日、東北大学
佐藤文衛、大宮正士、原川紘季、泉浦秀行、神戸栄治、竹田洋一、安藤裕康、小久保英一郎、吉田道利、伊藤洋一、井田茂、岡山/HIDESによる中質量 GK 型星を周回する新たな惑星系の発見、日本天文学会秋季年会、2012年9月20日、大分大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 文衛 (SATO BUNEI)

東京工業大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 4 0 3 9 7 8 2 3

(2)連携研究者

泉浦 秀行 (IZUMIURA HIDEYUKI)

国立天文台・岡山天体物理観測所・准教授

研究者番号: 0 0 2 1 1 7 3 0

神戸 栄治 (KAMBE EIJI)

国立天文台・岡山天体物理観測所・特任助教

研究者番号: 8 0 4 3 5 5 1 0

安藤 裕康 (ANDO HIROYASU)

国立天文台・光赤外研究部・名誉教授

研究者番号: 9 0 1 1 1 5 5 9

竹田 洋一 (TAKEDA YOICHI)

国立天文台・光赤外研究部・准教授
研究者番号：5 0 3 7 3 1 8 9

野口 邦男 (NOGUCHI KUNIO)
国立天文台・光赤外研究部・教授
研究者番号：1 0 1 1 1 8 2 4

吉田 道利 (YOSHIDA MICHITOSHI)
広島大学・宇宙科学センター・教授
研究者番号：9 0 2 7 0 4 4 6

生駒 大洋 (IKOMA MASAHIRO)
東京大学・理学系研究科・准教授
研究者番号：8 0 3 9 7 0 2 5

井田 茂 (IDA SHIGERU)
東京工業大学・地球生命研究所・教授
研究者番号：6 0 2 1 1 7 3 6