

機関番号：12608

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20740101

研究課題名 (和文) 視線速度および測光観測に基づく中質量星の惑星系の研究

研究課題名 (英文) Studies on exoplanets around intermediate-mass stars based on precise spectroscopic and photometric observations

研究代表者

佐藤 文衛 (SATO BUNEI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40397823

研究成果の概要 (和文)：

中質量星における惑星系の特徴を明らかにするため、国内外の望遠鏡を用いて中質量G型巨星の視線速度観測による系外惑星探索を行った。この中で、新たな惑星及び褐色矮星を複数発見し、中質量星における惑星形成過程に対する知見を得た。また、巨星では中心星に飲み込まれてしまっていて見つけることのできない短周期惑星を検出するため、中質量A型主系列星におけるトランジット現象の検出可能性を小口径望遠鏡による測光モニター観測によって調査し、相対測光精度約0.2%以下が達成可能なことを示した。

研究成果の概要 (英文)：

We carried out a Doppler planet search program targeting intermediate-mass G-type giant stars in order to uncover properties of planets around intermediate-mass stars. From the program we discovered some new planets and brown dwarfs around them, which give us insight into formation and evolution of planets. In addition, we investigated detectability of short-period planets around intermediate-mass A-type dwarfs based on photometric transit observations by using the 30cm telescope installed at Tokyo Institute of Technology. We showed that we can achieve a differential photometric precision of less than 0.2% for such stars.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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250個を数えるまでになった。この中には、中心星の至近距離を周期数日で公転する巨大惑星

や楕円軌道をもつ巨大惑星など、太陽系の惑星とは大きく性質の異なるものが多数含まれており、太陽系をもとに構築された惑星系形成理論をより一般的な理論へと発展させる試みがなされている。しかしながら、発見

された系外惑星の多くは太陽類似星を周回するものであり、それ以外の恒星における惑星系の様子はまだよく分かっていない。特に太陽より重い恒星では、観測的な制約、つまり、重い主系列星（A、B型主系列星）は高温のためスペクトル中に吸収線の本数が少なく、高速自転によってその幅が大きく広がっているため、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）による精度が出にくい、という理由から惑星探索がほとんど行われてこなかったのである。

2. 研究の目的

このような状況を打破すべく、以下の二つの観測手法によって、中質量星における惑星系を発見しその性質を明らかにすることを目的とする。

(1) G型巨星の視線速度観測

AB型主系列星が進化して低温かつ低速自転になった中質量G型巨星（太陽質量の1.5~5倍）を対象にすることによって、ドップラー偏移法による中質量星周りの惑星探索を行う。代表者らは平成13年度から既にこの種の観測を行い複数の惑星を発見しているが、今回さらに規模を拡大し多数の惑星を発見することによって、中質量星周りの惑星系の統計的な性質を明らかにする。

(2) AB型主系列星のトランジット観測

上記のようにG型巨星は中質量星の惑星探索において有用だが、一つの欠点は、巨星であるが故に短周期惑星は膨張した中心星（約10太陽半径=0.05天文単位）に飲み込まれてしまっていることである。この問題を解決するための一つの方法として、トランジット法によるAG型主系列星周りの短周期惑星の検出可能性について調査する。

3. 研究の方法

本研究では、中質量星における惑星系の特徴をより一層明らかにすることを目指し、

(1) 中質量G型巨星を対象とした視線速度観測を継続するとともに、(2) 新たに小口径望遠鏡を用いた中質量A型主系列星の測光モニター観測を始める。

(1) 国立天文台岡山天体物理観測所、及び中国天文学会興隆観測所を中心に国内外の望遠鏡を用いて数百個のG型巨星に対する視線速度モニター観測を行う。特に興隆観測所には年数回程度定期的に赴き、現地の共同研究者と協力して観測を進める。これらの観測によって新たな惑星系を発見し、惑星の頻度、軌道パラメータの特徴などを明らかにする。

(2) 口径30cm望遠鏡とCCDカメラを東工大に設置し、トランジット観測システムを新たに

立ち上げる。惑星によるトランジットを検出するためには恒星自身の明るさが最低1%以下で安定していることが必要なので、約50個のA型主系列星について測光モニター観測を行って光度安定性を調査し、トランジット惑星の検出可能性を評価する。

4. 研究成果

(1) G型巨星HD173416における惑星の発見

中国興隆観測所と岡山観測所における惑星探索により、G型巨星HD173416（約3太陽質量）を周回する惑星を発見した。これで我々のグループによる巨星を周回する惑星の発見数は合計11個となり、この分野では世界をリードしている。今回見つけた惑星は木星の約3倍の質量をもち、軌道長半径約1天文単位を周回する巨大惑星である。中心星の金属量は太陽に比べてやや欠乏している。これらの性質は、これまでに知られている他の巨星を周回する惑星の性質と合致しており、巨星の周りの惑星は太陽類似星の惑星とは性質が異なるという最近の観測結果を支持するものとなった。

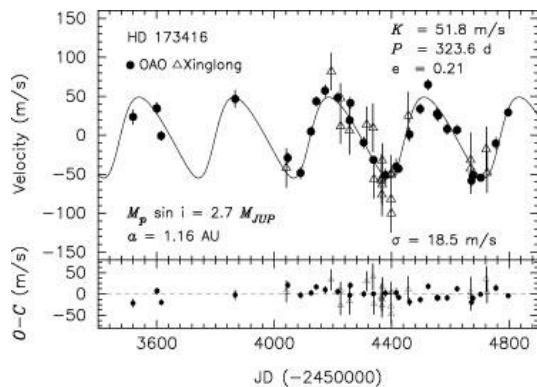


図1：G型巨星HD173416の視線速度変化。この天体の周りを約3木星質量の惑星が周期約330日で周回していることを示す(Liu et al. 2009, RAA, 9, 1)。

(2) G型巨星HD145457とHD180314における惑星及び褐色矮星の発見

岡山観測所とハワイ観測所（すばる望遠鏡）における惑星探索により、G型巨星HD145457（約2太陽質量）を周回する惑星とHD180314（約3太陽質量）を周回する褐色矮星を発見した。前者の惑星は約3木星質量、公転周期約176日であり、これまでに巨星の周りで見つかった惑星のうち最も軌道周期の短いものの一つである。後者の褐色矮星は約22木星質量、公転周期約396日であり、巨星の周りで見つかった7つ目の褐色矮星候補である。

伴星として存在する褐色矮星の形成過程については諸説提唱されているが、HD180314を含めこれまでに褐色矮星が見つかってい

る中心星の金属量が比較的幅広い範囲に分布していることから、金属量にあまり依存しないメカニズムによって形成された可能性があることが示唆された。

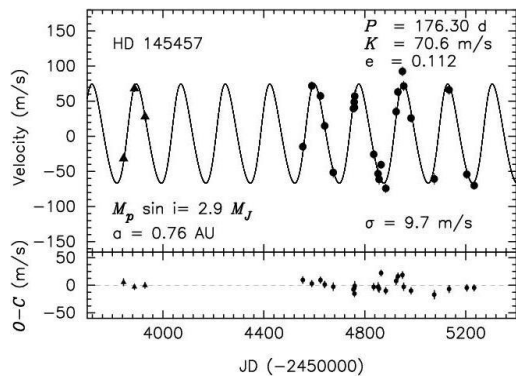


図 2 : G 型巨星 HD145457 の視線速度変化。この天体の周りを約 3 木星質量の惑星が周期約 176 日で周回していることを示す (Sato et al. 2010, PASJ, 62, 1063)。

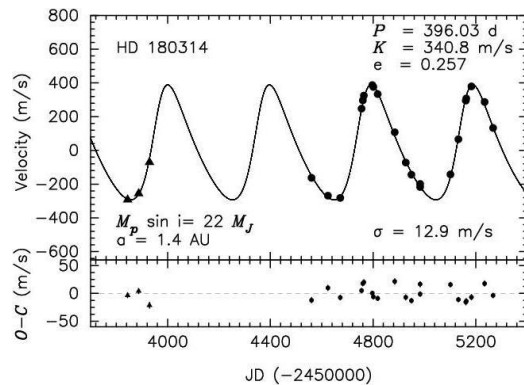


図 3 : G 型巨星 HD180314 の視線速度変化。この天体の周りを約 22 木星質量の惑星が周期約 396 日で周回していることを示す (Sato et al. 2010, PASJ, 62, 1063)。

(3) 東工大石川台望遠鏡の立ち上げ及び A 型主系列星の観測

東工大石川台キャンパス 2 号館の屋上に口径 30cm の反射望遠鏡を設置した。1K×1K のフォーマットをもつ CCD カメラを搭載し、口径比 10 で約 30 分角×30 分角の視野を撮像することができる。試験観測の結果、最高で約 0.2% の相対測光精度を達成することができ、明るい天体で適切な比較星が視野内にあれば、東工大近辺の明るい空の下でもトランジット観測が十分可能であることが示された。

図 5 は、このシステムを用いて観測した A 型主系列星 WASP33 におけるトランジットの様子である。この恒星はトランジットを起こ

す惑星を有することが既に知られているが、我々の観測からも先行研究と矛盾しない観測結果が得られ、A 型主系列星においてトランジットによる惑星検出が可能であることが示された。

第 3 項にあるように、当初は約 50 個の A 型主系列星についてモニター観測を行う予定であったが、観測システムの立ち上げが遅れ、この予定を消化することは残念ながらできなかった。しかし、先に述べたように数個の天体の試験観測を通じて観測システムの安定性、到達精度、A 型主系列星でのトランジット検出の可能性については評価することができたので、初期の目的は最低限果たすことができた。

今後は、このシステムを用いて本格的な観測を行っていきたい。

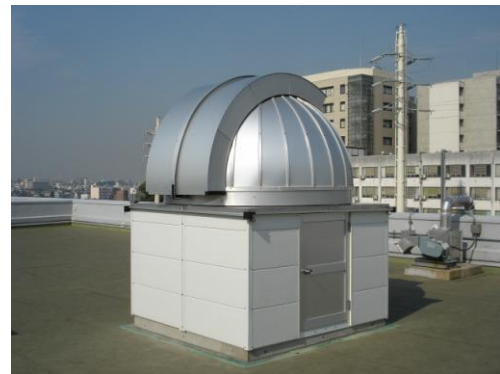


図 4 : 東工大石川台キャンパス 2 号館屋上に設置された口径 30cm 反射望遠鏡ドーム

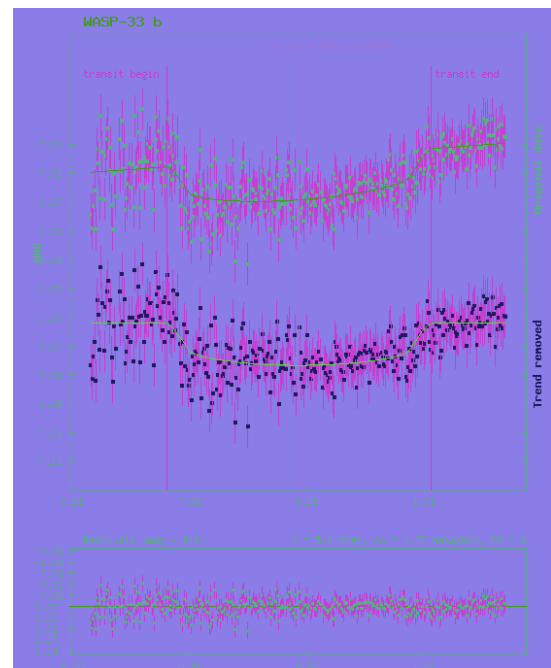


図 5 : 東工大石川台望遠鏡を用いて観測した

A型主系列星 WASP33 のトランジットの様子。
トランジット予想時刻 (図中赤線) 前後の恒星の減光がきちんととらえられていることが分かる。一番下は理論的な光度曲線と実際の測定データの差を表す。光度曲線のフィッティングには Exoplanet Transit Database (<http://var2.astro.cz/ETD/index.php>) のツールを使用。

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :

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3件)

- ① Sato, B., et al., Substellar Companions to Evolved Intermediate-Mass Stars: HD 145457 and HD 180314, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 62, pp. 1063-1069, 2010 (査読有)
- ② Liu, Y.-J., Sato, B. et al., Stellar Parameters and Abundance Analysis of 58 Late-G Giants, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol. 62, pp. 1071-1084, 2010 (査読有)
- ③ Liu, Y.-J., Sato, B., Zhao, G., and Ando, H., A Planetary Companion orbiting the intermediate-mass G Giant HD 173416, Research in Astronomy and Astrophysics, Vol. 9, pp. 1-4, 2009 (査読有)

[学会発表] (計2件)

- ① 大貫裕史、佐藤文衛、東工大石川台望遠鏡による系外惑星トランジット観測、日本天文学会春季年会、2011年3月18日、筑波大学
- ② 佐藤文衛他、すばる/HDS、岡山/HIDESを用いたドップラー法による中質量K型巨星を周回する惑星及び褐色矮星の発見、日本天文学会秋季年会、2010年9月23日、金沢大学

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 文衛 (SATO BUNEI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号 : 40397823

(2) 研究分担者