

燃え尽きた星をめぐる無傷の巨大惑星候補の発見

1. 発表者：

成田 憲保（東京大学大学院総合文化研究科附属先進科学研究機構 教授）
福井 暁彦（東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 特任助教）

2. 発表のポイント：

- ◆宇宙望遠鏡と地上望遠鏡による多色トランジット観測（注 1）により、恒星が寿命を迎え、燃え尽きた後に残される「白色矮星」（注 2）を周期 1.4 日で公転する初めての巨大惑星候補を発見した
- ◆白色矮星のそばでも惑星が破壊されずに存在している場合があることを実証した
- ◆この無傷の惑星の発見は、白色矮星周りの生命居住可能惑星の存在可能性にも光を当てる

3. 発表概要：

東京大学大学院総合文化研究科附属先進科学研究機構の成田憲保教授、大学院理学系研究科地球惑星科学専攻の福井暁彦特任助教らの参加する国際研究チームは、2018 年 4 月に NASA が打ち上げたトランジット惑星探索衛星 TESS（注 3）と、2020 年 1 月に退役した NASA の Spitzer 宇宙望遠鏡、そして成田教授と福井特任助教らが開発した多色同時撮像カメラ MuSCAT2（注 4）などを用いた多色トランジット観測により、白色矮星を公転する初めての巨大惑星候補（※）を発見しました。

太陽系から約 80 光年の距離にある白色矮星 WD1856+534（以下 WD1856：注 5）の周りを公転するこの天体 WD1856 b は、周期 1.4 日で公転しており、半径はほぼ木星と同じで、質量は木星の約 14 倍以下であることがわかりました。白色矮星の周りでは、惑星が破壊された後の残骸と考えられる「微惑星」が公転している例はこれまでも発見されてきましたが、破壊されていない無傷の巨大惑星候補が発見されたのは初めてとなります。今回の発見は、白色矮星のそばでも系外惑星が破壊されずに存在できることを初めて実証したこととなります。

本研究成果は 2020 年 9 月 17 日、国際科学雑誌「Nature」にオンライン掲載されました。

※通常、木星の 13 倍以下の質量の天体を惑星と呼び、13 倍を超える天体は褐色矮星と呼ぶため、褐色矮星の可能性もまだ残されているという意味で、本発表では巨大惑星候補と記載しています。

4. 発表内容：

<本研究の背景>

太陽の 8 倍程度より小さな質量を持つ恒星は、年老いて中心部での水素の核融合が終わると、水素でできた外層が地球の軌道あたりまで大きく膨らんだ「赤色巨星」という天体になります。そして最後に外層を放出し、後に残される「恒星の燃えかす」が白色矮星です。現在までに、太陽以外の恒星を公転する系外惑星は 4,000 個以上も発見されていますが、恒星が寿命を迎えた後に残る白色矮星の周りでは、惑星が破壊された後の残骸と考えられる微惑星が発見された例はあるものの、破壊されていない無傷のままの惑星はまだ発見されていませんでした。

<本研究の内容>

現在、系外惑星の研究分野では、主に太陽系の近くにある恒星の周りの惑星を発見することを目指して、「トランジット」という現象を使いほぼ全天で系外惑星を探す NASA のトランジット惑星探索衛星 TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) による系外惑星探査が行われています。TESS は 4 台の超広視野カメラで 24 度×96 度の領域 (セクターと呼ばれる) を 27.4 日ずつ観測し、惑星が主星の前を通過する際に起きる周期的な減光 (暗くなること) を探しています。

TESS が 2 年目に行ったセクター 19 の観測で、研究チームは太陽系から約 80 光年のところにある白色矮星 WD1856 を含む領域 (注 6) の明るさが、約 1.4 日の周期で減光していることを発見しました。当初、TESS チームが使っている系外惑星発見のための自動判別プログラムは、この減光のシグナルを「惑星によるものではない」と判断しました。これは自動判別プログラムが恒星の周りの惑星のみを想定していて、白色矮星周りの惑星を想定していなかったためです。具体的には、恒星の周りのトランジット惑星であれば、トランジットによる減光が 30 分以上は続くはずなのに、この減光は約 8 分しか継続しなかったため、惑星ではないと判断されました。しかし、研究者が全ての減光のシグナルを目で確認するという過程で、白色矮星周りの惑星かもしれないと気づき、トランジット惑星候補として選び出されました。

TESS で発見されたトランジット惑星候補に対しては、それが本物の惑星かどうかを確認するための追加の観測が行われます。この確認観測では、減光を起こしているのが本当に WD1856 かどうかと、WD1856 の減光量が可視光から赤外線全ての波長で同じかどうかを調べる「多色トランジット観測」が行われました。これは、惑星は自ら光を放っていないため、どの波長でも惑星が隠した白色矮星の面積の割合だけ減光するためです。この確認観測は、Spitzer 宇宙望遠鏡 (この観測後の 2020 年 1 月に退役) と地上望遠鏡によって行われました。日本のチームは、自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターの支援のもとで開発された多色同時撮像カメラ MuSCAT2 を用いて多色トランジット観測を行いました (図 1 参照)。

この追加の多色トランジット観測の結果、減光しているのは確かに WD1856 であり、観測された全ての波長で減光率がほぼ同一であることが確認されました。そして、WD1856 b は木星とほぼ同じ大きさを持ち、木星の 13.8 倍より質量が小さい巨大惑星候補である (褐色矮星である可能性を完全には否定できないものの、巨大惑星である可能性が高い) という結論が得られました。

これまで白色矮星の周りでは、惑星が破壊された後の残骸と考えられる「微惑星」が公転している例は発見されてきました。しかし、破壊されていない無傷の巨大惑星候補が発見されたのは初めてとなります。今回の発見は、白色矮星のそばでも系外惑星が破壊されずに存在する可能性があることを初めて実証したこととなります。

WD1856 b の発見は、ひとつの面白い可能性を示唆します。それは白色矮星の周りにも無傷の生命居住可能惑星 (表面に液体の水を保持できるような岩石惑星) が存在できる可能性です。もし岩石惑星が WD1856 b のように破壊されずに白色矮星の近くの「ちょうど良い」軌道に形成されることができたなら、その惑星は数十億年にわたって生命の生存に適した環境を得ることができると考えられます (注 2 参照)。

さらに、実は白色矮星周りの生命居住可能惑星は、トランジットの際に惑星の大気を透過してくる光を観測することで、生命の兆候が存在するかどうかを調べるのに適したターゲットであることも知られています。具体的な見積りでは、WD1856のような白色矮星の周りに生命居住可能惑星があったとすると、2021年に打ち上げられる予定のNASAのジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡（JWST）で5回トランジットを観測すれば、その惑星の大気中に水蒸気と二酸化炭素の分子を検出でき、25回トランジットを観測すれば、酸素、オゾンなどの生命の兆候と呼べるような分子も検出できると見積もられています。

実際に白色矮星周りの生命居住可能惑星が発見されるかはこれからの探査次第ですが、今回のWD1856 bの発見はそのような惑星の可能性に光を当てるものと言えるでしょう。

本研究は、科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業 さきがけ 研究領域「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」における研究課題「多色同時撮像観測と高精度解析による第二の地球たちの探査」（研究者：成田 憲保、課題番号：JPMJPR1775）の支援を受けています。

5. 発表雑誌：

雑誌名：*Nature*

論文タイトル：“A Giant Planet Candidate Transiting a White Dwarf”

著者(*が責任著者)：

Andrew Vanderburg*, Saul Rappaport, Siyi Xu, Ian Crossfield, Juliette Becker, Bruce Gary, Felipe Murgas, Simon Blouin, Thomas Kaye, Enric Palle, Carl Melis, Brett Morris, Laura Kreidberg, Varoujan Gorjian, Caroline Morley, Andrew Mann, Hannu Parviainen, Logan Pearce, Elisabeth Newton, Andreia Carrillo, Ben Zuckerman, Lorne Nelson, Greg Zeimann, Warren Brown, Rene Tronsgaard, Beth Klein, George Ricker, Roland Vanderspek, David Latham, Sara Seager, Joshua Winn, Jon Jenkins, Fred Adams, Björn Benneke, David Berardo, Lars Buchhave, Douglas Caldwell, Jessie Christiansen, Karen Collins, Knicole Colon, Tansu Daylan, John Doty, Alexandra Doyle, Diana Dragomir, Courtney Dressing, Patrick Dufour, Akihiko Fukui, Ana Glidden, Natalia Guerrero, Kevin Heng, Andreea Henriksen, Chelsea Huang, Lisa Kaltenegger, Stephen Kane, John Lewis, Jack Lissauer, Farisa Morales, Norio Narita, Joshua Pepper, Mark Rose, Jeffrey Smith, Keivan Stassun, Liang Yu

DOI 番号：10.1038/s41586-020-2713-y

アブストラクト URL：<https://www.nature.com/articles/s41586-020-2713-y>

6. 問い合わせ先：

(研究に関すること)

東京大学大学院総合文化研究科附属先進科学研究機構 教授
科学技術振興機構 さきがけ研究者（兼任）
自然科学研究機構アストロバイオロジーセンター 客員教授
成田 憲保（なりた のりお）

(JST事業に関すること)

科学技術振興機構 戦略研究推進部 グリーンイノベーショングループ
嶋林 ゆう子（しまばやし ゆうこ）

7. 用語解説：

注1：多色トランジット観測

恒星の前を惑星が通過する、いわゆる「食」の現象のことを「トランジット」と言います。これは太陽系外惑星の軌道がたまたま主星の前を通過するような軌道の時に起こります。トランジットをする惑星を「トランジット惑星」と呼びます。そして、トランジットを複数の光の波長帯で観測することを、多色トランジット観測と呼びます。多色トランジット観測は、トランジット惑星の候補が本物の惑星かどうかを判別する方法として知られており、成田憲保教授はJST さきがけの支援を受けて、多色トランジット観測により太陽系外の地球型惑星の探索を行なっています。

注2：白色矮星

太陽の8倍程度より小さな質量を持つ恒星は、中心部での水素の核融合が終わると、水素でできた外層が地球の軌道あたりまで大きく膨らんだ「赤色巨星」という天体になり、最後に外層を外に放出します。白色矮星はその後に中心部に残される天体です。白色矮星はとても高密度な天体で、質量は太陽くらいあるのに対し、大きさは地球くらいしかありません。

白色矮星は、できたばかりの頃は表面温度が10万度にもなる高温の天体ですが、その後は約20億年かけて太陽のような恒星と同じくらいの絶対温度6,000度程度（摂氏5,700度程度）になり、それから約80億年かけて絶対温度が4,000度程度にまでゆっくりと下がります。

白色矮星は地球くらいの大きさしかないため、恒星くらいの表面温度でも放出する光のエネルギーは恒星に比べてとても小さく、白色矮星周りの生命居住可能惑星の公転周期は10時間程度より短くなります。そのため、白色矮星の周りの公転周期10時間程度より内側の軌道に岩石惑星が存在したとすると、その惑星は生命居住可能惑星として数十億年の時間を過ごすことができるのです。

注3：トランジット惑星探索衛星 TESS

マサチューセッツ工科大学が中心となって進めているNASAの衛星計画。2018年4月18日に打ち上げられ、2年間でほぼ全天のトランジット惑星を探索するという計画を実施してきました。2年間の観測で2000個以上のトランジット惑星候補を発見しています。現在は延長計画が認められ、3年目の観測が行われています。

注 4 : MuSCAT2

自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターの支援のもと、成田教授と福井特任助教らが開発した多色同時撮像カメラ。スペインのテネリフェ島のテイデ観測所にある口径 1.52m のカルロス・サンチェス望遠鏡に設置されています。青い光 (400nm-550nm)、赤い光 (550nm-700nm)、近赤外線 の 2 つの波長帯の光 (700nm-820nm、820nm-920nm) の計 4 色で天体を同時に観測することができ、TESS で発見されたトランジット惑星候補が本物の惑星かどうかを判別する観測に用いられています。

注 5 : WD1856 (WD1856+534)

WD1856 は、りゅう座の方向、太陽系から約 80 光年の距離にある白色矮星で、2 つの赤色矮星 G 229-20 A と G 229-20 B とともに 3 重連星系を成しています。3 重連星系としての年齢は正確にはわかっていませんが、WD1856 は現在の年齢から逆算して、約 60 億年前に白色矮星になったと見積もられています。

WD1856 は表面温度が摂氏 4,400 度程度で、質量は太陽の半分程度なのに対し、大きさは地球の 1.4 倍程度 (太陽の 80 分の 1 程度) しかありません。白色矮星が発する光のエネルギーはとても小さいため、周期 1.4 日にある WD1856 b の表面温度は摂氏マイナス 110 度程度と、太陽系の木星のような低温になっていると考えられます。

注 6 : WD1856 を含む領域

ここで領域と言っているのは、TESS は超広視野であるがために、検出器の 1 ピクセルがカバーする視野が広く、同じピクセルの中に他の明るい恒星も混ざってしまっていたため、WD1856 が減光しているとは断定できなかったためです。

8. 添付資料：

図1：WD1856 b が惑星であることを確認するための多色トランジット観測の結果。見やすくするため異なる望遠鏡・波長ごとに縦方向にずらしています。下から 3-6 番目のデータが MuSCAT2 の観測データ。全ての望遠鏡・波長で減光が同じ深さとなっていることがわかります。（Nature 誌掲載論文の図を一部日本語に改変して引用）

