

令和元年6月24日現在

機関番号：62616

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13791

研究課題名（和文）低温度星周りの生命居住可能惑星における光合成の実験的検証

研究課題名（英文）Experimental verification of photosynthesis on a habitable planet around low mass stars

研究代表者

日下部 展彦（Kusakabe, Nobuhiko）

国立天文台・光赤外研究部・特任専門員

研究者番号：40647385

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：低温度星周りの系外惑星において光合成が可能であるか、生物学的な反応を考慮した上で成果をまとめ、論文を発表した。これにより、地球とは異なる光環境においても、同様の光合成システムをもつ植物が存在する新たな可能性を示唆することができた。

四色同時撮像装置MuSCAT2を完成させ、スペインのカナリア天体物理観測所1.5m望遠鏡に搭載した。MuSCAT2と系外惑星探査衛星TESSとの連携により系外惑星を発見した。また、最終年度だけでも関連論文が3編発表された。

これらの光合成と低温度星周りの系外惑星に関わる議論を、他分野の若手研究者が集まり継続的に情報交換を行い分野融合的な研究を推し進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽系外惑星が多く見つかった中、その中での生物の可能性を探ることは一般的な興味関心も高い。一方で、系外惑星の地表のサンプルを取得することも現時点では不可能である。そのため、外から観測することで得られる情報として、生命に関わる情報を取得できる可能性のあるものの一つが植物である。

しかし、天文学者だけでは植物の生物学的な反応の詳細がわからないため、生物学の研究者との連携が必要不可欠であった。今回、天文学と生物学が融合することにより、宇宙における生命発見に向けた新しい可能性を、太陽系の近くにある低温度星周りの系外惑星に見いだすことができた。

研究成果の概要（英文）：We published a paper that a possibility of photosynthesis on exoplanet around low mass stars, considered with biological reactions. This research indicates that even if their light environment is different from Earth, their plants have same photosynthesis system as that of Earth's plant.

Our team developed a four-color simultaneous imaging camera named MuSCAT2 for the 1.52-m Telescopio Carlos Sanchez at the Teide Observatory, Canaries, Spain. The instrument aims to find a large number of transiting exoplanets, including Earth-like habitable planets orbiting stars near the Sun, in collaboration with NASA's Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) launched in April 2018. And we have already published three MuSCAT2 related papers.

We had held some cross-disciplinary workshop for young researchers. We discussed and had some information exchange. The member has made a young Astrobiologist network.

研究分野：天文学

キーワード：系外惑星 光合成 低温度星 赤色矮星 アストロバイオロジー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

太陽系外惑星探査衛星ケプラーなどの活躍により、系外惑星の発見数は1000個以上見つかっていた。さらに、ケプラーの後継機である全天系外惑星探査衛星 TESS などの打ち上げ予定も近づいており、太陽近傍にある地球型系外惑星が今後多数見つかってくるであろうことが予測された。地球型の系外惑星が多数発見されることから、その惑星における生命への期待が高まりつつある一方、何を見つければ生命の存在を突き止められるかについて、単純な類推しかない状況であり、地球型系外惑星を想定した天文学と生物学を融合させる科学的知見はまだなかった。

2. 研究の目的

このような背景の中、本研究では、太陽系外惑星の大気研究についての調査を国内外の望遠鏡を用いて観測的研究を進める。それに並行して、太陽近傍に存在する太陽より温度の低い低温度星まわりという、地球とは光環境の異なる惑星において光合成が可能か、その光合成はどういったシステムである可能性があるかなどを生物学の研究者と協力し学際的な研究を推進する。

3. 研究の方法

(1) 天文学的な側面からは、主に太陽系外惑星探査を行う。そのために、国内外の望遠鏡に系外惑星の恒星面通過(トランジット)観測に特化した観測装置を共同で開発・設置し、系外惑星探査を進める。さらに、多波長で観測することで、惑星大気の情報に迫る。

(2) 生物学的側面からは、地球上の光合成反応を起こすクロロフィルの光反応系を精査し、低温度星の光環境の場合でも光合成が可能かを検討する。また、地球とは異なる環境を、地球上の極限環境の植生を調べることで検討を進める。

(3) アストロバイオロジーという分野融合的研究を推進するため、興味のある若手研究者とワークショップを行い、今後の学際的研究を推進するためのネットワークを形成する。

4. 研究成果

(1) 天文分野では、岡山にある188cm望遠鏡に搭載された三色同時撮像装置 MuSCAT による系外惑星探査を進め、共同開発した四色同時撮像装置 MuSCAT2 をスペイン・カナリア諸島のカナリア天体物理研究所(IAC)の1.5m望遠鏡へ設置した。IACのテイデ観測所は晴天率70%の天文好適地であり、現地の研究者との国際協定により年間162夜を系外惑星観測のために確保した。

MuSCAT シリーズは、系外惑星のトランジット観測に特化した観測装置であり、太陽系外惑星探査のためには、少なくとも1%の明るさの変化を検出できる測光精度が必要になる。今回開発した MuSCAT2 においても、2018年4月に打ち上げられた TESS で検出される太陽近傍の低温度星(赤色矮星)を公転する第2の地球たち(生命居住可能惑星:ハビタブル惑星)の発見確認を行うことが可能な精度を達成した(図1)。太陽と同じような明るさの星や、その周囲を周回する地球型の系外惑星は、比較的太陽系から遠くにあり、それと比較すると低温度星の方が太陽近傍に数多く存在するため、最初の有力なハビタブル惑星は低温度星周りに発見される見通しがあり、実際にすでにいくつか候補天体が発見された。我々の研究チームは、そのようなハビタブル惑星の発見確認や、惑星大気における制限をつけることができ、系外惑星の環境への示唆をすることが可能な装置を開発することができた。

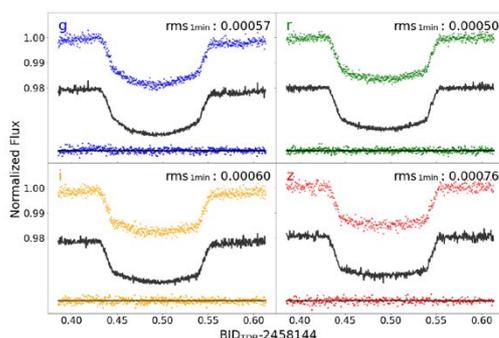


図1: MuSCAT2 で観測したトランジット観測データ。左上(青)、右上(緑)、左下(橙)、右下(赤)の順に400-550nm(g)、550-700nm(r)、700-820nm(i)、820-920nm(z)による明るさ(縦軸)の変化。横軸が時間であり、凹んでいるところが主星の前を惑星が通過することによる減光(トランジット)。それぞれの右上にあるのが測光誤差であり、全ての波長で1%を区別できる精度がある。

(2) 生物分野では、系外惑星探査の側面からも注目をされている低温度星における、生命が存在する兆候として、外から観測の可能性があり、惑星大気にも影響を及ぼし得る植生に着目した。地球における陸上の植生には、可視光では光を効率的に利用するため吸収し、波長が $0.7\mu\text{m}$ より長い波長では反射する大きなギャップがある、これが「レッドエッジ」と呼ばれる特徴的な反射スペクトルを形成する。レッドエッジは、植生が光合成に利用する光の波長によって決まるため、これまでは主星が照射する光のスペクトルによって、レッドエッジの位置(波長約 $0.7\mu\text{m}$)が変化すると考えられていた。

今回、生物分野から、光合成の研究者と共同研究を行い、低温度星周りのハビタブル惑星を想定した場合、レッドエッジが現れる波長はどこになるのかを、光合成機構の観点から理論的に検

討した。その結果、低温度星周りであっても、水中で発生・進化して最初に上陸する光合成生物は、赤外線が水中では大きく吸収されるため、地球上と同じ位置にレッドエッジが現れる可能性が高いことを初めて提唱した(図2)。本研究により、将来の系外惑星における生命探査観測において、重要な鍵となる生命の兆候を示す重要な指針となった。

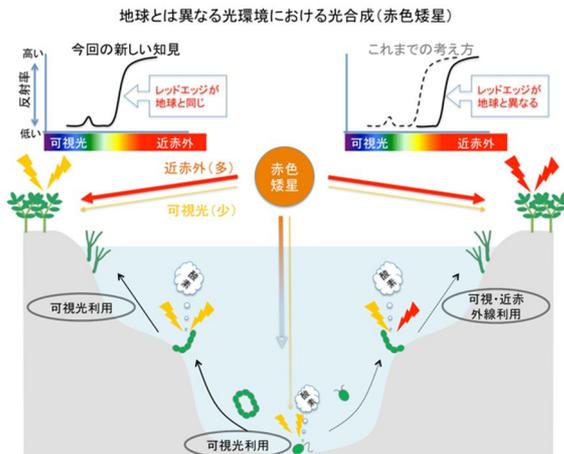


図2: これまでは、レッドエッジは主星のスペクトルに依存すると考えられていた(右上)。しかし赤外線が多い低温度星(赤色矮星)周りのハビタブル惑星を想定した場合、水深1以下では赤外線が激減するが可視光は届くため、そこで誕生した光合成生物は可視光を利用していると考えられる。その後、進化の過程で赤外線を利用するための新たな仕組みを獲得するより、既存の可視光のみを利用するほうが、陸上への速やかな移行が可能になると考えられる。その場合、レッドエッジは地球の植生と同じ場所に現れると予測できる(左上)

(3) 分野間連携のため、太陽系外惑星探査の最先端と、これまで主星のスペクトルに依存すると考えられていたハビタブル惑星における光合成の可能性など、一見全く異なる分野に見える研究に興味のある若手研究者と議論をすすめ、アストロバイオロジーにおける若手のネットワークを形成した。その中で、低温度星のスペクトルの大部分を占める赤外線の観点から、近赤外線を吸収する色素分子の研究や、系外惑星という「地球にとっては極限的な環境の生命」という観点から、地球の極限環境の一つである南極湖沼における光合成の研究など、生物や化学にとどまらない学際的な共同研究のネットワークを形成することができた。

<引用>

- ・ 第二の地球を発見するための新しい多色同時撮像カメラが完成
http://abc-nins.jp/press/20181217/20181217_Narita.html
- ・ 地球とは異なる光環境における光合成
http://abc-nins.jp/press/20170808_RedEdge.html

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8件)

1. Alsubai, K., et al. (21人中20番目), Qatar Exoplanet Survey: Qatar-7b-A Very Hot Jupiter Orbiting a Metal-rich F-Star, AJ, 157, 2019, 査読有
 DOI: 10.3847/1538-3881/aaf80a
2. Narita, N., et al. (22人中3番目), MuSCAT2: four-color simultaneous camera for the 1.52-m Telescopio Carlos Sánchez, JATIS, 5, 2019, 査読有
 DOI: 10.1117/1.JATIS.5.1.015001
3. Hirano, T., et al. (41人中26番目), Exoplanets around Low-mass Stars Unveiled by K2, AJ, 155, 2018, 査読有
 DOI:10.3847/1538-3881/aaa9c1
4. Uyama, T. et al. (59人中9番目), Subaru/HiCIAO HK s Imaging of LKHa 330: Multi-band Detection of the Gap and Spiral-like Structures, AJ, 156, 2018, 査読有
 DOI: 10.3847/1538-3881/aacbd1
5. Onitsuka, M., Fukui, A., Narita, N., Hirano, T., Kusakabe, N., Ryu, T., Tamura, M. Multi-color simultaneous photometry of the T-Tauri star with planetary candidate, CVSO 30, PASJ, 69, 2017, 査読有
 DOI: 10.1093/pasj/psx004
6. Narita, N. et al. (20人中15番目), The K2-ESPRINT project. VI. K2-105 b, a hot Neptune around a metal-rich G-dwarf, PASJ, 69, 2017, 査読有
 DOI:10.1093/pasj/psx002
7. Takizawa, K., Minagawa, J., Tamura, M., Kusakabe, N. & Narita, N. Red-edge position of habitable exoplanets around M-dwarfs, Scientific Reports, 7, 2017, 査読有
 doi:10.1038/s41598-017-07948-5
8. Fukui, A., Livingston, J., Narita, N., Hirano, T., Onitsuka, M., Ryu, T., Kusakabe, N. Ground-based Transit Observation of the Habitable-zone Super-Earth K2-3d, AJ, 2016, 152, 査読有
 DOI:10.3847/0004-6256/152/6/171

〔学会発表〕(計 7件)

1. Nobuhiko Kusakabe, Outreach activities of Astrobiology Center of Japan, XXX IAU General Assembly (国際学会), 2018
2. 滝澤謙二、成田憲保、日下部展彦, “地球とは異なる光環境における光合成”, 第59回日本植物生理学会年会, 2018
3. 日下部展彦, “アストロバイオロジーセンターの広報活動”, 日本天文学会2018年春季年会, 2018
4. 小杉 真貴子, “恒星の光特性が生物進化に与える影響を光合成効率の波長依存性から推測する。”, H28年度 第5回宇宙における生命ワークショップ, 2017年3月
5. 成田憲保、福井暁彦、日下部展彦、ほか, “新しい四色同時撮像カメラ MuSCAT2の開発”, 日本天文学会2017年秋季年会, 2017年
6. 福井 暁彦, “近傍地球型惑星の観測に向けた新多色カメラ MuSCAT-IIの開発”, H28年度 第5回宇宙における生命ワークショップ, 2017年
7. Norio Narita, “TRAPPIST-1 and Future Surveys of Habitable Transiting Earth-like Planets”, AstroBiology Center International Workshop in Hiroshima, (招待講演)(国際学会), 2017年

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

- ・ 生命がいるかもしれない惑星の ” 影 ” の観測に成功 ~ 将来の地球外生命探索への重要な足がかり ~
<http://www.oao.nao.ac.jp/public/research/k2-3d/>
- ・ 灼熱の海王星型惑星 K2-105b を発見 ~ 第2の地球探しへの足がかり ~
<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2017/5270/>
- ・ 地球とは異なる光環境における光合成: 系外惑星における生命探査の指標となる波長の新たな予測
http://abc-nins.jp/press/20170808_RedEdge.html
- ・ 第二の地球を発見するための新しい多色同時撮像カメラが完成
http://abc-nins.jp/press/20181217/20181217_Narita.html

6. 研究組織

(1)研究分担者: なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 成田 憲保, 福井 暁彦, 滝澤 謙二, 小杉 真貴子

ローマ字氏名: Narita Norio, Fukui Akihiko, Takizawa Kenji, Kosugi Makiko

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。