

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔令和5（2023）年度 中間評価用〕

令和5年3月31日現在

研究期間：2021～2025
課題番号：21H04998
研究課題名：Mapping Habitable Planetary Environments
with Exoplanet Imaging
研究代表者氏名（ローマ字）：Guyon Olivier
所属研究機関・部局・職：国立天文台・ハワイ観測所・RCUH職員
研究者番号：90399288

研究の概要：

多くの恒星は、巨大ガス惑星と小さな岩石惑星を含む複数の太陽系外惑星を持つと考えられている。我々は、すばる望遠鏡を用いて、この太陽系外惑星を直接撮像し、特徴を明らかにする観測装置を開発中である。また将来、口径30メートル望遠鏡（TMT）を用いて、生命が存在可能なハビタブルゾーン内にある惑星を撮像し、大気における生命の痕跡を探る技術開発も進めている。

研究分野：天文学

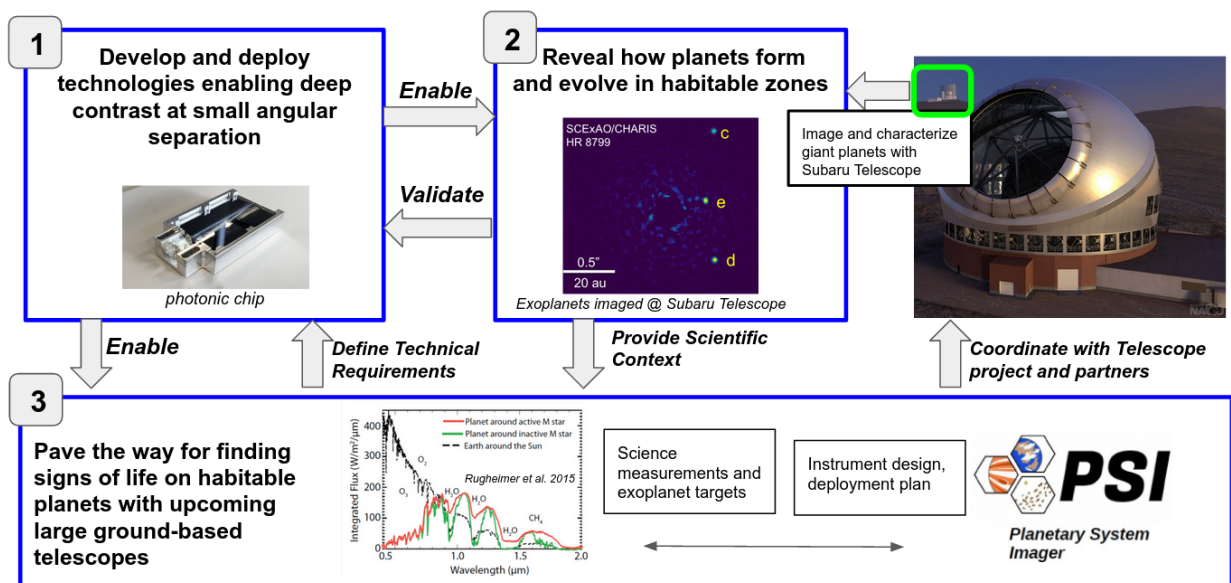
キーワード：太陽系外惑星、恒星、望遠鏡

1. 研究開始当初の背景

多くの恒星は多様な惑星系を持つと考えられている。これまでに発見された系外惑星の大部分は、トランジット法や視線速度法などの間接的な方法で発見されており、惑星と恒星を空間的に分離してそのイメージを取得する、直接撮像法で見つかっているものはまだ数が少ない。一方、直接撮像法は、系外惑星の光を分光して、その大気について詳細に調べるための鍵となる手法である。しかし惑星は恒星よりもはるかに暗く、恒星との明るさの比が極端に大きいため、直接撮像による惑星発見は技術的に非常に難しく、これまで見つかっているのは、恒星からかなり遠く離れた位置にいる若い惑星のみである。

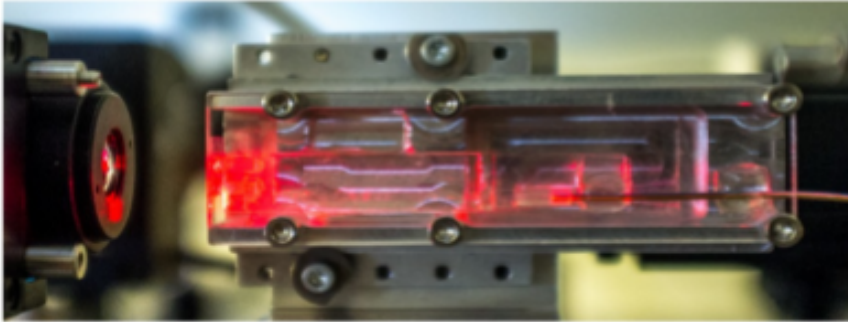
2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 主星からの見かけの角度が非常に小さい系外惑星を撮像するための先進的な技術を開発し、(2) これらの技術を用いてすばる望遠鏡で巨大惑星を観測し、(3) 口径30メートル望遠鏡（TMT）を用いて、ハビタブルゾーン内にある系外惑星に生命の痕跡を探すための観測装置の設計を進める、というものである。



3. 研究の方法

これまでより主星の近くに存在する系外惑星の直接撮像を実現するために、我々は4つの技術を組み合わせる。(1) 地球大気の揺らぎをリアルタイムで補正する先進的な補償光学 (2) 微弱な惑星光を、非常に明るい主星の光と分離するための、干渉計で主星の光を打ち消すフォトニクス技術を用いた光学素子の開発 (3) 消しきれない主星の光を、データ処理によって数値的に除去する画像処理技術、(4) 系外惑星の光を分光し、大気の化学組成を明らかにするための技術、である。これらの技術をすばる望遠鏡用の装置として結合し、近傍の星の周りの系外惑星の直接撮像を進める。



ナール干渉計を備えた光学素子 Photonic Nulling Chip (PNC) を使用し、惑星の光を明るい星の光から分離する。PNC は、光を処理する電子回路のように働き、このチップ内で恒星の光は打ち消し合う干渉により弱められる。

4. これまでの成果

これまでの2年間で、大気揺らぎを測定し補正するための新しい高速・高感度波面センサーなどのコアとなる技術開発を行ってきた。Photonic Nulling Chip (PNC) の主要な構成要素のプロトタイプを作成し、実験室で性能の検証を行った。また惑星光を分析する分光器の開発も行い、これらをすばる望遠鏡の機器として統合するための準備が整ったと考えている。また、既存の直接撮像技術とデータ解析方法を発展させ、2つの新しい惑星を発見した。一つは AB Aur の原始惑星系円盤から、ガスが降着中の若い惑星 AB Aur b と、巨大惑星である HIP 99770 b であり、後者は宇宙望遠鏡による位置天文観測と、地上望遠鏡の直接撮像を組み合わせた方法で初めて発見されたものである。

5. 今後の計画

本研究で開発中の系外惑星直接撮像の鍵となるコンポーネントは、今後1つの観測装置として統合され、すばる望遠鏡による系外惑星の撮像と分光能力を劇的に向上させる。今後はこれを用いて近傍の恒星の調査を行い、巨大惑星を発見しその質量、軌道、および大気組成を明らかにする。また観測装置のアップグレードを行う際は、すばる望遠鏡の全てのユーザーが系外惑星と円盤観測に利用できるようにする予定である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

査読付きジャーナルでは：

“Auto-Differentiable Spectrum Model for High-Dispersion Characterization of Exoplanets and Brown Dwarfs”, Hajime Kawahara, Yui Kawashima, Kento Masuda, Ian J. M. Crossfield, Erwan Pannier, Dirk van den Bekerom, The Astrophysical Journal Supplement Series, Volume 258, Issue 2, id.31, 21 pp (2022)

“Images of Embedded Jovian Planet Formation At A Wide Separation Around AB Aurigae”, T. Currie, K. Lawson, G. Schneider, W. Lyra, J. Wisniewski, C. Grady, O. Guyon, M. Tamura, T. Kotani, H. Kawahara, +23 authors, Nature Astronomy volume 6, pages 751–759 (2022)

“Direct Imaging and Astrometric Detection of a Gas Giant Planet Orbiting an Accelerating Star”, T. Currie, G. Brandt, T. Brandt, B. Lacy, A. Burrows, O. Guyon, +28 authors, accepted for publication in Science (2023)

“Combining EFC with spatial LDFC for high-contrast imaging on Subaru/SCExAO,” Kyohoon Ahn, O. Guyon, Julien Lozi, Sebastien Vievard, Vincent Deo, Nour Skaf, Jennifer C. Bragg, Sebastiaan Y. Haffert, Jared R. Males, and Thayne Currie, A&A accepted (2023).

7. ホームページ等

<https://www.naoj.org/Projects/SCExAO/>

<https://subarutelescope.org/en/results/2022/04/04/3039.html>