

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成29年度研究進捗評価用〕

平成26年度採択分
平成29年3月9日現在

すばる望遠鏡及び TMT 望遠鏡を用いた
ハビタブルゾーン内に存在する太陽系外惑星の直接撮像
Imaging Habitable Zone Planets with Subaru Telescope
and TMT

課題番号：26220704

ギュヨン オリビエ (Guyon Olivier)

国立天文台ハワイ観測所 RCUH 職員



研究の概要

本研究の目的は、すばる望遠鏡で木星型惑星の反射光を直接撮像可能な高コントラスト撮像装置を開発することである。個々の光子計測と波面測定を同時に行うことが可能な、マイクロ波力学インダクタンス検出器(MKIDs)を備えた近赤外線カメラを新規開発し、すばる望遠鏡用極限補償光学システム(SCExAO)に搭載することで実現を目指す。

研究分野：天文学

キーワード：太陽系外惑星、高コントラスト装置

1. 研究開始当初の背景

現在、多数の太陽系外惑星が発見されており、ここ最近では統計的研究ができるほど数が増えてきている。しかし、これまでに最も成功している探査法は視線速度法やトランジット法といった間接的手法が主である。今後惑星の表面や大気組成といった重要な情報を知るためには「直接的な撮像観測」が必ず必要となる。特に我々の太陽系外の生命活動の証拠を発見するといった長期的目標のためにも、直接撮像観測は欠かせない状況である。

2. 研究の目的

上記背景の元、本基盤研究では、この系外惑星を直接撮像法で検出できる強力な探査装置の開発を主としており、世界で最初に巨大惑星表面からの反射光を捕らえることを目標としている。この10年以内に開発された革新的な技術を組み合わせて太陽系外惑星の直接撮像に挑む。1つ目の目的は現在も使用中の極限補償光学装置(SCExAO)の改良と高速・高感度検出器(MKIDs)の開発である。この装置は現在既にすばる望遠鏡に搭載されており、MKIDsを加えてさらに改良を加えることでハビタブルゾーン(生命居住可能領域)内の巨大系外惑星の撮像し、その特徴を探ることを目指す。2つ目は将来30m望遠鏡(TMT)に向けた装置開発の準備である。現行のコロナグラフシステムの改良や、光学的なノイズを減らす制御系の改善も進め、将来TMTで狙うハビタブルゾーン内の

惑星の反射光の直接撮像を可能にする高コントラスト技術、及び高速動作の実証に挑む。

3. 研究の方法

個々の光子計測と波面測定を同時に行えるマイクロ波力学インダクタンス検出器(MKIDs)を備えた近赤外線カメラを新規開発し、すばる望遠鏡用極限補償光学システム(SCExAO)に搭載することで、系外惑星の直接撮像を目指す。検出性能を満たす技術的なハードウェアの構築を行うとともに、高精度波面コントロール用の新規開発カメラを使ったアルゴリズム開発やコロナグラフの設計を進めていく。現行のすばる望遠鏡、補償光学装置 AO188、SCExAO、そして新規開発中の MKIDs カメラを統合して観測を進め、技術的・科学的成果の創出を狙う。また、分光学の専門家とも協力し、将来の太陽系外惑星の大気分光学の検討も進めていく。本研究チームは高コントラスト撮像技術において、国際的に5つの先端分野から成り立っている。オランダのライデン大学(コロナグラフ開発)、オーストラリアのシドニー大学(干渉計撮像技術と偏光分光)、ハワイ大学(検出器開発)、フランスパリ大学(干渉計)と、コートダジュール観測所(波面制御)を含め、これらの分野の最先端グループであるカリフォルニア大学サンタバーバラ校とも協力して進めていることが、我々のチームの強力な点である。

4. これまでの成果

MKIDS 本体の製作作業と平行し、ハワイ大学から高速カメラを借りて、実際の観測に対応したスペックル制御の技術的テストを行っている。ハワイ大学のカメラは MKIDS ほどの性能は無いにせよ、観測に沿ったいくつかの高速制御アルゴリズムの確認には十分使用可能であり、これまで以下の 5 つの新技術の確立に成功している。

① 大気分散の新測定方の確立

大気による分散の影響は色(波長)に依存して画像上伸びて見える。そのため、高いパフォーマンスを有するコロナグラフを実現するには、高精度でこの大気分散を補正しなくてはならない。我々は、大気分散を測定する新しい技術を開発し、この結果は既に論文として出版済みである。

② 新設計のコロナグラフ開発

焦点面における新設計コロナグラフを開発した。これは色(波長)と角分解能のサイズ両方を最適化できる新しいアプローチのマスクであり、実験的にも高いパフォーマンスを有している。本結果はまもなく論文文化される予定であり、実際のマスク製作も既に開始している。

③ 乱流予測に関する新アプローチ

装置内の波面センサーを用いたリアルタイムでの大気揺らぎ予測アルゴリズムを開発した。シミュレーションでは今までの約 10 倍程度のパフォーマンス改善を達成している。既に論文は投稿済み(Guyon et al. in preparation)であり、この新しいテクニックは現在 SCEXAO 波面制御ソフトウェアに組み込まれている。

④ 新しいスペックル制御技術の確立

新開発カメラによるスペックルノイズ低減のためのコヒーレント光差分撮像と、線形補償による暗領域制御方法の確立にむけた検討を進めている。

⑤ 波面制御ソフトウェアの開発

強力で、かつ汎用性に富む、高コントラスト撮像に特化した波面制御ソフトウェアパッケージを開発中である。本ツールは他のグループでも使用可能であり、将来 TMT30m 望遠鏡やマゼラン望遠鏡の極限補償光学システム、ケック望遠鏡の近赤外線補償光学システムにも応用できる。なお、このソフトウェアはオンラインで利用可能にしてある。

5. 今後の計画

新カメラである MKIDS の開発、テスト、移送が 2017 年夏に完了し、既存の SCEXAO 装置と組み合わせる予定ある。既に MKIDS に合わせた SCEXAO システムの再構築が済んでいるため、迅速に行うことが可能である。搭載後は、人工光源を用いて、ハードウェア、ソフトウェア双方のシステム最適化を進める。MKIDS カメラを用いた試験観測の開始は、2017 年秋ころを予定している。そして、引き続き、我々はより高度なコロナグラフ開発と波面コントロール技術の開発も継続していく。MKIDS は SCEXAO での波面制御構築のカギとなる予定であり、太陽系外惑星の直接撮像に向けたより深いコントラストの達成に繋がるはずである。実際のサイエンス観測は 2017 年度中を予定している。

2018 年度には、MKIDS カメラによるフルシステムがサイエンス観測で使用される予定である。我々は太陽系外惑星の直接撮像に向けたほぼすべての候補天体の観測を試みる(目標は惑星からの反射光を捉えること)。この MKIDS カメラはすばる望遠鏡のすべてのユーザーが使用できるようになる。2018 年度中も多数の惑星撮像に向けて、波面制御アルゴリズムの改善と新コロナグラフの開発を含めたシステムのパフォーマンス向上も継続していく予定である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- "Subaru/SCEXAO First-Light Direct Imaging of a Young Debris Disk around HD 36546", Thayne Currie, Olivier Guyon, et al., *The Astrophysical Journal Letters*, 836, L15, pp. 1-6 (2017)
- "Closed-loop focal plane wavefront control with the SCEXAO instrument", Frantz Martinache, Nemanja Jovanovic, Olivier Guyon, *Astronomy & Astrophysics*, 593, A33, pp. 1-8 (2016)
- "Artificial Incoherent Speckles Enable Precision Astrometry and Photometry in High-contrast Imaging", N. Jovanovic, O. Guyon, F. Martinache, P. Pathak, J. Hagelberg, T. Kudo, *The Astrophysical Journal Letter*, 813, L24, pp. 1-5 (2015)

ホームページ等

<http://www.naoj.org/Projects/SCEXAO/>