

氏 名 Ananya SAHOO

学位(専攻分野) 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第 2175 号

学位授与の日付 2020 年 9 月 28 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Precision Photometric and Astrometric Calibration for
Exoplanet Imaging

論文審査委員 主 査 准教授 早野 裕
教授 大石 雅壽
助教 西川 淳
教授 成田 憲保
東京大学 大学院総合文化研究科
助教 河原 創
東京大学 大学院理学系研究科

Summary of Doctoral Thesis

Ananya Sahoo

Title Precision Photometric and Astrometric Calibration for Exoplanet Imaging

With the development of high contrast imaging techniques, direct imaging at a small angular separation from stellar host is now viable. In order to constrain the properties of companions, photometric and astrometric calibration has to be done very precisely. Often coronagraphs are used to occult the on-axis starlight so as to image faint companions. Performing relative photometry and astrometry of the companion with respect to the host star is difficult in post coronagraphic images as central starlight cannot be directly used as a photometric and astrometric reference. Our approach is to add fiducial incoherent copies of the host star in the image plane and alternate the pattern of these copies between exposures. Subtracting two frames with different calibration patterns helps in removing static and slowly varying incoherent speckle halo components without losing calibration references for each frame. We implemented this on-sky by modulating the deformable mirror of the Subaru Coronagraphic Extreme adaptive optics instrument at high speed to generate artificial incoherent speckles. The photometric and astrometric stability of these artificial speckles for 10s second frame-exposures were measured to 5% and 20mas (angular separation) precision respectively over a cadence of 30 seconds. The measurements do not show correlated residuals, indicating that residual noise averages as the inverse square root of number of exposures in longer time series.

博士論文審査結果

Name in Full
氏名 Ananya SAHOO

Title
論文題目 Precision Photometric and Astrometric Calibration for Exoplanet Imaging

太陽系外惑星はすでに 1000 以上発見されてきた。しかし間接的な方法による発見が多く、直接撮像による発見数はまだ少ない。太陽系外惑星の直接撮像においては、主星（惑星系中心の恒星）の光を低減させるステラーコロナグラフを用いて、桁違いに暗い惑星の検出を可能にする。一方、コロナグラフによって主星光を低減させてしまうため、主星に対する系外惑星の位置や光度の測定精度に限界がある。本研究では、太陽系外惑星の直接撮像における測光精度と位置精度をより一層向上させる新しい観測方法を提案し、すばる望遠鏡の太陽系外惑星に特化した極限補償光学系（Subaru Coronagraph Extreme Adaptive Optics、SCExAO）という観測装置にその機能を組み込み、天体を用いた性能実証評価を行い、測光精度が従来法の 3% から 1%、位置精度が従来法の 10mas から 5mas (1mas = 1×10^{-3} arcsecond) を達成可能であることを確認した。

出願者は、太陽系外惑星観測に特化した極限補償光学系の可変形鏡に、周期的に変調した光の位相パターンを与えて、主星の光によるスペックル対を人工的に生成し、次に周期的な変調の向きを 90° 回転させて、スペックル対の位置を直交方向に切り替えて、それぞれの差分を取り、スペックルノイズなどのバックグラウンドノイズをキャンセルする、Alternating Satellite Speckle 法を新たに提案した。従来の、スペックルを一对しか使わない時には、バックグラウンドノイズとなる背景スペックル光の校正精度が悪いため、スペックル対を基準とした測光精度や位置精度に限界があり、その点を著しく改善する画期的な提案だと言える。

この提案を実現するために、出願者は、国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡の太陽系外惑星観測に特化した極限補償光学系（SCExAO）、近赤外線撮像分光装置（Coronagraphic High Angular Resolution Imaging Spectrograph、CHARIS）の検出器という既存の観測システムに Alternating Satellite Speckle 法を用いたデータ取得システムを追加した。SCExAO の校正用人工光源を用いて、大気揺らぎのない理想的な条件で Alternating Satellite Speckle 法が有効であることを実験的に明らかにした。

次に、実際の星を使った実証実験を行った。 β Leo と θ Hya をそれぞれ観測し、スペックル対の光度比や相対間隔の安定性を評価した。 θ Hya の観測データを用いて、10 秒積分のスペックル対の画像を複数、統計処理することで、測光精度 1%（従来 3%）、位置精度 5mas（従来 10mas）が達成可能であることを示した。

以上のように、出願者が提案した Alternating Satellite Speckle 法を SCExAO と CHARIS という観測システムに実装し、天体による性能評価を実施し、この方法の有効性を明らかにした点は高く評価できる。

以上により、審査委員会は、本論文が学位の授与に値すると判断した。