

修士論文

ハレアカラ観測所 T60/DIPOL-2 を用いた
系外惑星の偏光観測

Polarimetry of exoplanets using T60/DIPOL-2
at the Haleakala observatory

東北大学大学院理学研究科
地球物理学専攻

前田東暁

指導教官：坂野井健 准教授

要旨

1995年に最初に系外惑星が発見されて以降、近年でより多くの系外惑星が新たに発見され、かつ観測の詳細化がすすんでいる。系外惑星には様々な観測方法があるが、本研究では特に系外惑星の偏光観測に着目する。主星を光源とし、系外惑星の大気で散乱されて観測者に届く光は、系外惑星の公転に伴い、周期的な偏光の変動を生じる。従って、偏光の変化の向きや位相、振幅、波長依存性などから、系外惑星の軌道要素や、散乱する大気の情報を得ることが期待できる。また、偏光計測の原理に基づけば、地球大気による光量の変化の影響をうけない、光子雑音限界に近い観測が期待できる。

2000年以降、世界中の複数の研究グループが系外惑星の偏光観測を試みてきた。これらの結果から見積もれた系外惑星による偏光度の変化は 10^{-4} 以下とごくわずかで、2017年現在その検出の成否についての見解は分かれている。このような背景の下、我々はハワイ・ハレアカラ観測所の T60 望遠鏡に設置された偏光観測装置 DIPO-2 を用いた観測と解析手法を確立し、検出限界を明らかにすることを目的として系外惑星の偏光検出を厳密に検証した。

観測される偏光状態は、系外惑星の偏光に観測機器の持つ固有の偏光（機器偏光）が加わったものとなる。従って、機器偏光を決定して観測データを校正しなければ、系外惑星の偏光の絶対値を求めることはできない。また、系外惑星の偏光の変動幅に対して機器偏光の変動が大きければ、系外惑星の偏光の変動を捉えることはできない。従って、機器偏光を厳密に導出した結果とその安定性を検証するために、二通りの無偏光標準星の観測をおこなっ

た。一つは、合計 44 個の無偏光標準星の観測であり、もう一つは無偏光標準星 HD142373 の連続観測である。

多数の無偏光標準星の観測は、2015 年 5 月から 2016 年 11 月の期間の合計 90 日に行われた。合計 39 個のデータから、T60 望遠鏡と DIPOL-2 の合計の機器偏光は、ストークスパラメータ $Q = 1.20 \times 10^{-5}$ 、 $U = 2.63 \times 10^{-6}$ と求められた。

一方で、無偏光標準星 HD142373 の連続観測を 2016 年 8 月に行った。得られた 8 つの観測データの測定誤差の最大値と観測データのばらつき（標準偏差）から、期間中の機器偏光の時間変化の下限値を決定した。観測期間中の機器偏光の変動の標準偏差の下限値は、 $Q = 1.0 \times 10^{-5}$ 、 $U = 8.8 \times 10^{-6}$ と求められた。この結果から、系外惑星観測の際においても、少なくとも $Q = 1.0 \times 10^{-5}$ 、 $U = 8.8 \times 10^{-6}$ の機器偏光が、観測データに加わっていると評価される。

これらの無偏光標準星観測と平行し、系外惑星の観測検討を進めた。まず、既存の系外惑星カタログに基づく公転周期、軌道長半径、惑星半径（あるいは質量）、主星の明るさの情報をもとに、期待されるストークスパラメータの振幅と S/N を推定した。これにより、3 つの系外惑星 HD189733 b、 τ Boo b、 υ And b を選択し、これらについて T60 と DIPOL-2 を用いて偏光観測を行った。

系外惑星 HD189733 b について、24 個のデータ解析結果から、先行研究 (*Berdugina et al., 2011*) で示された 1.0×10^{-4} 程度の振幅の、惑星公転に伴う周期的な偏光の変動は検出されなかった。また、測定誤差と機器偏光のみのデータのばらつきと、実際の HD189733 b の観測データのばらつきの違いは、Q について 16% 程度、U について 2 パーセント程度であり、系外惑星の偏光が含まれるかどうかの判定は困難な結果となった。

系外惑星 τ Boo b の観測データ解析の結果、測定誤差と機器偏光のみから推測されるデータのばらつきよりも、実際の τ Boo b のデータのばらつきが Q、U についてそれぞれ 65%、128% 程度大きくなった。惑星公転に伴う周期性は見られないものの、これは観測された偏光の変動の中に、系外惑星による変動が含まれている可能性が高い。

系外惑星 υ And b の観測データ解析の結果について、 τ Boo b と同様に、測定誤差と機器偏光のみから推測されるデータのばらつきよりも、実際の υ And b のデータのばらつきが Q、U についてそれぞれ 20%、39% 程度大きくなった。 υ And b と同様に公転による周期性は見られないものの、観測された偏光の変動の中に、系外惑星による変動が含まれている可能性が高いと結論付けられる。

以上をまとめると、本研究においては 3 つ系外惑星偏光のうち 2 つについては有意な振幅の増大が確認されたが、系外惑星の公転運動に伴う偏光の周期性は検出できなかった。この理由は、系外惑星のストークスパラメータの振幅に比べ、機器偏光の変動や測定誤差が大きく、校正の精度が不十分であったためと考えられる。今後の系外惑星の偏光観測のためには、天体高度、観測時の温度などの周辺環境が与える機器偏光への影響を詳細に検証し、機器偏光の変動要因を特定することで、精密な校正を行う必要がある。

