

DIPOL-2による系外惑星の偏光観測

前田 東暁 [1]; 坂野井 健 [2]; 鍵谷 将人 [3]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

Observation of exoplanets by polarimetry using DIPOL-2

Haruaki Maeda[1]; Takeshi Sakanoi[2]; Masato Kagitani[3]

[1] PPARC, Tohoku Univ.; [2] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [3] PPARC, Tohoku Univ

We present observational results of exoplanets using a double image high precision polarimeter (DIPOL-2, Pirola et al. 2014) attached Tohoku 60-cm telescope (T60) at Haleakala observatory in Hawaii during January 2015 through July 2016. Light from a primary star reflected or scattered at surface of exoplanets varies periodically with changes in orbital phases of exoplanets. Precise polarimetry of light from the exoplanets in addition to light from the primary star enables us to investigate atmospheric composition and distribution of atmosphere as well as orbital elements of exoplanets even if they do not transit the primary star.

We have investigated maximum degree of linear polarization (DoLP) about well-known 2000 exoplanets in accordance with their orbital elements and planetary radii. Our simple investigation shows HD 189733 b has the tenth largest amplitude of DoLP variation among known exoplanets. Previous observation and modeling study (Berdugina et al., 2008, Berdugina et al., 2011) indicate DoLP of HD 189733 b varies with the amplitude of 1×10^{-4} . So we suppose to achieve precise polarimetry with accuracy of 1×10^{-5} to examine variation of polarization on exoplanets. DIPOL-2 can achieve photon-noise limited polarimetry in principle though, we focus on development and on validation of procedure deriving polarization from DIPOL-2 measurements.

To achieve precise polarimetry with accuracy better than 10^{-5} , we need to determine intrinsic polarization from the instrumentations including the telescope and to confirm their stability during observing periods. We have made polarimetry of 59 non-polarized stars (< 20 Pc from the Earth) during January 2015 through July 2016 for the purpose of calibrating instrumental polarization. Measured DoLP from non-polarized stars are less than 10^{-4} . The result indicates that the instrumental polarization in addition to small polarization from non-polarized stars is less than 1×10^{-4} . We also found there is no seasonal variation on the instrumental polarization exceeding over 1×10^{-4} . Based on our analysis method of DIPOL-2 data, accuracy of polarimetry is 2-3 times as much as that expected only from photon-noise assuming the A/D conversation unit of 1 photon/count.

In addition to measurement of non-polarized standards, we made polarimetry of exoplanets, HD 189733 b and tau Boo b during the same observing period. We could not find any periodic variations of polarization exceeding 1×10^{-4} . We will also present results from recent observation will be made during August through September, 2016.

今回我々は、ハワイ・ハレアカラの口径 60cm 望遠鏡 (T60) の偏光観測装置 DIPOL-2 (a double image high precision polarimeter, Pirola et al., 2014) を用いて行われた、系外惑星の偏光の 2015 年ࣘ2016 年の観測成果を報告する。主星を光源とし、惑星大気により散乱反射されて観測者に届く光は、公転に伴い周期的な偏光の変化を生じる。これを主星からの光 (無偏光と仮定) と合わせて偏光測定することにより、トランジット天体に限定することなく、惑星の軌道要素、大気組成ならびにその分布についての情報を引き出すことも可能と考えられる。

我々は既知の系外惑星約 2000 個について、軌道要素と質量から想定される惑星直径をもとに、想定される偏光度の最大振幅を見積もった。その結果、HD189733 b は 10 番目に偏光度変化の振幅が大きいと期待される系外惑星である。先行研究の観測報告や、より詳細なモデル計算の結果 (Berdugina et al., 2008, 2011) では、この振幅は 1×10^{-4} であると報告されている。したがって、HD189733 b の振幅を検出する上では 10^{-4} より数倍高精度な偏光観測 (目安として 10^{-5} オーダー) を行うが必要である。DIPOL-2 を用いた偏光測定においては、45 度で交差する直線偏光成分を同時に測定することができるため、雲の通過等による減光が生じたとしても、導出される直線偏光の大きさと向き (ストークス Q/I と U/I) には原理的に影響しない。偏光測定の偶然誤差は主に光子雑音に制約されると期待されるため、大口径化の容易な地上観測に適した観測手法であると言える。しかし、過去の研究で偏光観測に成功したのは 1 天体にとどまる。本研究では初段階の目的として、上記の系外惑星の偏光観測のメリットを踏まえ、偏光測定の光子雑音限界を達成する観測・解析方法の確立を目指している。

系外惑星の観測をおこなうための目安となる偏光観測精度 10^{-5} を達成するためには、望遠鏡を含む観測機器固有の偏光 (機器偏光) の校正と、その時間安定性の検証が不可欠である。我々は、DIPOL-2 と T60 の機器偏光を明らかにするために、2015 年 1 月から 2016 年 7 月にかけて重複する天体も含み、合計 59 個の無偏光標準星 (地球近傍 20Pc 以内) の観測を行った。解析の結果、測定された無偏光標準星の偏光度は、 10^{-4} 以下に収まっていることが分かった。しかしこの値は、機器偏光値、無偏光標準星がわずかにもつと考えられる偏光値、宇宙空間を伝搬する際の影響を受けた偏光値、これらの合計値である。多くの系外惑星を観測する上では、固有偏光の貢献値を決定し、さらに精度を上げる必要がある。また、観測は年間を通じて複数の期間に分けて行われたが、季節による 10^{-4} 以上の機器偏光の変動も無いことが分かった。今後、2016 年 8-9 月に予定されている無偏光標準星の観測を行うことで、系外惑星の偏光変動の検出に必要とされる 10^{-5} の精度で、機器偏光を決定する予定である。無偏光標準星の各データのノイズは光子雑音から推定されるノイズの 2~3 倍となった。これは、解析時におけるフォトンを取り方による誤差、リードアウトノイズ、天候が影響を及ぼしているなどといった要因に起因するものであると推測される。

無偏光標準星の観測と並行して、2つの系外惑星 (HD189733 b, tau Boo b) の偏光観測も行った。これらの天体につ

いて現状の精度では公転周期での 10^{-4} 以上の変動を見出すことはできなかった。今回の発表では、以上の結果とそれを踏まえた今後の観測方針について発表する。