

R009-P13

ポスター 2 : 9/25 AM1/AM2 (9:00-12:30)

水星の日中連続観測などに向けたハワイ・ハレアカラ東北大 60cm 望遠鏡に搭載する補償光学装置の開発

#吉野 富士香¹⁾, 鍵谷 将人¹⁾, 笠羽 康正¹⁾

⁽¹⁾ 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター,⁽²⁾ 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター,⁽³⁾ 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター

An adaptive optics system of Tohoku 60cm telescope at Haleakala observatory for daytime monitoring of Mercury's sodium exosphere

#Fujika Yoshino¹⁾, Masato Kagitani¹⁾, Yasumasa Kasaba¹⁾

⁽¹⁾ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University,⁽²⁾ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University,⁽³⁾ Planetary Plasma and Atmospheric Research Center, Graduate School of Science, Tohoku University

We report on the development of a visible adaptive optics (AO) instrument for Tohoku 60cm telescope (T60) at Haleakala Observatory in Hawaii. The current goal is to join the ground-based support observation for the ESA-JAXA joint Mercury mission BepiColombo on the orbit in 2025~2028.

The summit of Haleakala on Maui island (3,040 m) is one of the suitable site for monitoring the variable solar-system bodies due to clear sky and good seeing. T60 is equipped with a fiber-field-integrating instrument and a visible high-dispersion spectrograph with a wavelength resolution of 50,000, and contributes to continuous observations of solar-system objects mainly by remote control. Mercury, one of the targets of this development, has an exospheric atmosphere due to alkali metals. The resonant scattering emission of sodium D-lines (589.0 nm and 589.6 nm) is particularly bright and its distribution and velocity field can be observed from the ground by high dispersion spectroscopy. In the Mercury's magnetosphere the typical time scale of the variability expected from the interaction with the solar wind is as short as a few minutes. Ground-based observations have shown that the north-south ratio of the Na exospheric emission has a time scale of several tens of minutes, which is consistent with the time scale of the emission response due to the sputtering of magnetospheric particles, one of the factors that generate the Na exospheric atmosphere. There are also several global-scale emission patterns in the Na exosphere, but with previous observations using a slit scanning technique, it takes about an hour of scan data is required to create a global Mercury emission distribution. Therefore, observations that capture spatial variations on the scale of several tens of minutes have not been performed. Therefore, we are aiming to obtain global areal spectroscopic data with an integration time of about 5 minutes by using the high-resolution spectrograph ($R=50,000$) with an integral fiber unit installed on T60. However, for Mercury, which is an inner most planet with a maximum separation angle of only about 20 degrees from the Sun, we can only observe Mercury from the ground after sunset or before sunrise for a maximum of about one hour. In order to capture spatial-temporal variations of a few tens of minute time-scale, we need stable continuous observations that can resolve the disk not only at low altitudes just after sunset and just before sunrise, but also during the daytime when atmospheric fluctuations near the ground surface are large (seeing 2''~5'') due to surface heating caused by solar radiation, although at high altitude. Continuous observation is needed to enable disk decomposition even during the daytime.

Our visible AO system for T60 consists of a 12x12 140-element MEMS deformable mirror (Boston Micromachine) and a Shack-Hartmann wavefront sensor (TIS DMK33UX287 and Thorlabs MLA300-7AR). The size of each AO element is 12 cm on the primary mirror, which divide the primary mirror into 5x5. The test system has been installed at the Cassegrain focus of T60 in March 2022, and we developed and evaluated the AO control software remotely from Japan. The method for wavefront compensation calculation is mode-specific control by expanding the wavefront into Zernike modes. In this method, stable closed-loop AO control at 900 Hz was achieved for natural stars up to 4.4 mag. In a nighttime test observation of a 1.0-mag star, an FWHM of 1.4'' was achieved under natural seeing of 2.9''. In a daytime test observation of a 1.0-mag star, an FWHM of 3.2'' was achieved under natural seeing of 4.3''. In order to achieve a spatial resolution of 1'', the wavefront sensor will be refurbished to increase the number of specular divisions for the purpose of sensing wavefront errors on a smaller spatial scale in June 2023.

In this presentation, we will report on the results, evaluation, and prospects of these test observations, including those after the refurbishment.

東北大ハワイ・ハレアカラ観測所 60cm 望遠鏡 (T60) に搭載する可視補償光学 (AO) 装置の開発状況について報告する。本開発は、日欧合同 BepiColombo 水星探査機の周回観測 (2025~2028) に対する地上観測支援を直近の目標としている。

マウイ島ハレアカラ山頂 (海拔 3,040m) は、晴天率が比較的高くシーイングもよいため、連続的なモニター観測を要請される太陽系天体の変動観測に適した観測所のひとつである。ここに設置された T60 はファイバー視野集積装置と波長分解能 50000 の可視高分散分光器を備え、遠隔操作によって主に太陽系天体の継続的観測に寄与している。本開発の適用対象の1つである水星は、アルカリ金属による外圏大気が存在が知られ、特に中性ナトリウムの共鳴散乱発光 (589.0

nm および 589.6nm) が明るく地上からの高分散分光によりその分布と速度場の観測が可能である。地球と比較して小さい水星磁気圏では、太陽風との相互作用により期待される変動の典型的な時間スケールが数分程度と短い。地上観測により、Na 外気圏の発光の南北比が数 10 分の時間変動をすることがわかっており、これは Na 外気圏大気の生成要因の一つである磁気圏粒子のスパッタリングによる放出応答時間のスケールと一致している。また Na 外気圏にはいくつかの全球規模の発光パターンがあるが、これまでの地上観測のスリットを用いた分光観測では、水星全球の発光分布を作成するには 1 時間ほどのスキャンデータの積分が必要になる。そのため、数 10 分スケールの全球規模の空間変動をとらえた観測は行われてない。そこで我々は T60 のファイバー視野集積装置と高分散分光器を用いることで、積分時間 5 分ほどで全球の面分光データを取得することを目指している。しかし、内惑星で太陽最大離角が 20 度程度の水星では、日没後・日出前に地上から観測できる時間は最大でも 1 時間程度で、低空ないし日中に観測するためシーイングが大きく、全球平均での議論に留めざるを得ない。数 10 分程度の時空間変動をとらえるには、日没直後・日の出直前の低高度に加え、高高度ではあるが日照による地表加熱に伴って地表面付近の大気ゆらぎが大きい(シーイング 2''~5'') 日中でもディスク分解できるような安定した連続観測が必要である。日中の荒れたシーイングを補正しうる補償光学(AO)を、高時間分解能で長期モニタリング可能な T60 へ適用することは、BepiColombo 探査機との協調観測において重要なポイントとなる。本開発は、昼間の水星に対して空間分解能 1'' を達成するような AO を実現することを目指している。

開発中の T60 用可視 AO システムは、12x12 の 140 素子の MEMS 可変型鏡(Boston Micromachine 社)と Shack-Hartmann 波面センサ(TIS 社 DMK33UX287 と Thorlabs 社 MLA300-7AR)を用いた構成をとり、Windows PC を用いて最大 900 Hz の閉ループ制御を実現した。波面センサのサブ開口は 60cm 主鏡上で 12 cm であり、主鏡を 5x5 に分割する。昼間の水星(視直径 5''-12'')に適応させるため、波面センサのサブ開口は視野角 32''とし、隣り合うサブ開口の背景光が重ならないように視野絞りを設置した。

このシステムを 2022 年 3 月からハワイ現地の T60 のカセグレン焦点に設置し、遠隔制御により AO 制御ソフトの開発と評価を行ってきた。波面補償計算には、波面センサの出力から Zernike モード 15 項に展開した波面誤差を導出し、事前に校正した可変型鏡出力を制御する手法を用いた。夜間では、4.4 等級までの対象で安定した閉ループ制御を実現しており、1.0 等級の恒星に対する試験では波長 590 nm でシーイング 2.9''(FWHM)の条件下で AO 動作時 1.4''を達成した。背景が明るくまたシーイングが厳しい昼間では、同じく 1.0 等級の恒星を対象にしたとき、シーイング 4.3''の条件下で AO 動作時に 3.2''を達成している。2023 年 6 月には、空間分解能 1''を目指すため、波面センサの鏡面分割数を 15x15 に増やす改装を行う。60cm の主鏡上で 4cm になる。これにより、より小空間スケールの波面誤差センシングが可能となるが、スポットの SN が下がるというデメリットもある。その上で、7 月以降には水星をターゲットとした試験観測を行う想定である。本講演では、この改装後を含む試験観測の結果・評価および今後の展望を報告する。