

惑星高分散エシェル分光器 ESPRIT の開発と近赤外撮像装置 TOPICS の初期観測報告

#木下 凌太¹⁾, 坂野井 健¹⁾, 永田 和也¹⁾, 大友 綾¹⁾, 鍵谷 将人¹⁾, 平原 靖大²⁾, 高木 聖子³⁾, 齊藤 大晶³⁾, 内藤 博之⁴⁾

(¹⁾ 東北大理, (²⁾ 名古屋大環境, (³⁾ 北海道大理, (⁴⁾ なよろ市立天文台)

Development of the infrared echelle spectrograph ESPRIT and initial results of the first light of TOPICS

#Ryota Kinoshita¹⁾, Takeshi Sakanoi¹⁾, Kazuya Nagata¹⁾, Aya Otomo¹⁾, Masato Kagitani¹⁾, Yasuhiro Hirahara²⁾, Seiko Takagi³⁾, Hiroaki Saito³⁾, Hiroyuki Naito⁴⁾

(¹⁾Tohoku University, (²⁾Nagoya University, (³⁾Hokkaido University, (⁴⁾Nayoro Observatory)

We report on the first light of the near-infrared imaging system TOPICS (Tohoku Planetary near-Infrared Camera System) using the Pirka telescope at Astronomical Observatory, Faculty of Science, Hokkaido University, and the current status of development of the near-infrared echelle spectrograph ESPRIT (Echelle Spectrometer for Planetary Research In Tohoku University). TOPICS and ESPRIT are being developed to be installed on the telescopes dedicated to planetary observation at the Haleakala summit (3055m), Hawaii. Concerning Jupiter, the largest giant planet in the solar system, plasma originating from Io volcanoes is dominant and accelerated in the co-rotating magnetosphere which causes auroral emission at high-latitudes through ionosphere-thermosphere coupling processes. Therefore, understanding the relationship between Jupiter's aurora, plasma supplied from Io, and plasma transport in the magnetosphere is essential for understanding Jupiter's magnetospheric variability.

TOPICS is a monochromatic imager with an InSb 256 x 256 array detector sensitive to 1-5 μm , and its development was almost completed at the end of FY2022. The first-light observation was carried out from February 14 to 27, 2023 (Sakanoi et al., see presentation at this conference). On the evening of 26th, K-band (2.2 μm and 2.3 μm) and L-band (3.4 μm and 3.9 μm) observations of Venus ($V_{\text{mag}}=-3.9$) and Jupiter ($V_{\text{mag}}=-2.0$) were successfully made, and Jupiter and Europa were imaged in K-band, indicating that they can be observed well even in Japan. On the other hand, in the L-band, the TOPICS 3.4 μm narrow-band filter observation had a strong background sky emission of about 6,000 counts in a 10-second exposure. Therefore, the Jupiter's H3+ aurora was not detected from the data analysis of images with an exposure of about 10 minutes. In addition, oblique noise pattern in the image, which was not seen in the laboratory tests, was confirmed, suggesting that noise countermeasures for the driving circuit system are necessary. We plan to perform another observation with TOPICS and the Pirka telescope in the summer of 2023, and we will install TOPICS on the T60 telescope at Haleakala in the winter of 2023. Since the sky background is low at Haleakala even in the L-band, observations of Jupiter's H3+ aurora and thermal radiation from Io volcano are expected to be obtained. We also make simultaneous visible observations (S+673nm and Na589nm) to monitor the gas transport in the vicinity of Io to the magnetosphere.

In parallel, we are developing the near-infrared spectrograph ESPRIT ($R\sim 20,000$) covering a wide wavelength range of 1-4 μm . This adopts a common detector and driver circuit system with TOPICS. Mounting on the Haleakala T60 telescope (F12), the plate scale is 0.3"/pixel and the slit length is 50". With this long slit and wavelength resolution, the entire Jupiter will be captured to derive the Doppler velocity of the H3+ auroral emission lines simultaneously in the northern and southern hemispheres. The echelle grating is Newport #53*453 (braze angle 71 degrees, groove 31.6/mm, effective size $W=130\text{mm} \times D=23\text{mm}$). The vacuum chamber consists of an InSb detector (30-35 K), collimator-camera mirrors, and several mechanisms, such as, a two-stage filter turret mechanism (16 positions, including order sorters), a slit exchange mechanism, an image-spectral exchange mechanism, and a grating angle adjustment mechanism. The picomotor of grating angle adjustment mechanism is installed outside the radiation shield because of its specifications. This adjustment mechanism can change the angle of echelle grating with respect to the incident light from 60 to 75 degrees. The required accuracy is an absolute repeatability of less than 0.4 degrees and a stability of less than 1 arcsec/5 minutes (the physical length in the push/pull direction is 0.65 μm , corresponding to a plate scale of 1/10 pixel, and the Doppler shift of the mission line is 0.5 km/s). A slit viewer camera, a gas lamp for wavelength calibration, and a blackbody for intensity calibration will be mounted outside the vacuum chamber. The dimensions are $\sim 800 \times 500 \times 400$ mm and it weighs about 150 kg.

Currently, the optical system of ESPRIT has been completed and its performance has been demonstrated using visible laser light. The cooling system has also been completed by Kambara (2020) et al. using oxygen-free copper mesh (wire diameter ϕ 0.23 mm, density 50 mesh/inch), and both the radiation shield (90 K) and detector box (30 K) have been confirmed to be sufficiently cooled. We will carry out tests to verify the operation of the mechanisms mentioned above in the air and cooled vacuum conditions. Further, we plan to perform electrical tests with the InSb detector, and then transfer it to the Haleakala telescope.

究院附属天文台ピリカ望遠鏡によるファーストライト報告と、近赤外高分散エシェル分光撮像装置 ESPRIT (Echelle Spectrometer for Planetary Research In Tohoku University) の開発現況について報告する。これまで、ハワイ・ハレアカラ山頂観測所 (3,055 m) の惑星専有望遠鏡を用いて惑星の連続観測を可能とするために、TOPICS と ESPRIT の開発を実施してきた。特に、太陽系最大の巨大惑星木星では、イオ火山を起源とするプラズマは共回転型磁気圏で加速され、電離圏-熱圏結合を通じて極域オーロラ発光を引き起こす。そのため、木星オーロラとイオからのプラズマ供給、ならびに木星磁気圏でのプラズマ輸送との関係を知ることは、木星磁気圏変動現象の理解に本質的である。

TOPICS は、1 - 5 μm に感度をもつ InSb256 \times 256 アレーを検出器とする単色イメージャーである。2022 年度末にほぼ開発が完了し、2023 年 2 月 14 - 27 日までピリカ望遠鏡に設置してファーストライト観測を実施した (坂野井他、本学会発表参照)。特に 26 日の晩では、金星 ($V_{\text{mag}}=-3.9$) と木星 ($V_{\text{mag}}=-2.0$) の K バンド (2.2 μm , 2.3 μm)、および L バンド (3.4 μm , 3.9 μm) の観測に成功し、K バンドで木星およびエウロパが撮像され、国内でも十分に観測可能なことが分かった。一方 L バンドでは、TOPICS の 3.4 μm 狭帯域フィルター観測の場合、背景スカイ発光が 10 秒露出で約 6000 カウントあった。このため、木星観測では露出約 10 分の画像の解析では H3+ オーロラは検出されなかった。また、東北大の実験室では見られなかった画像中の斜めノイズが確認され、駆動回路系のノイズ対策が必要であることがわかった。今後、TOPICS は、2023 年夏にピリカ望遠鏡による木星赤外観測を再度実施し、2023 年冬にハレアカラの T60 望遠鏡に設置する計画である。ハレアカラでは、L バンドにおいてもスカイ背景光は低いため、木星 H3+ オーロラ発光や、イオ火山火口の熱輻射の観測の実現が期待される。これとほぼ同時の可視観測 (S+673nm, Na589nm) からイオ近傍~磁気圏のガス輸送を捉え、イオ火山ガスが木星磁気圏に及ぼす影響を明らかにする。

これと並行して、近赤外分光器 ESPRIT の開発を進めている。ESPRIT は、TOPICS と検出器と駆動回路が共通のエシェル分光器 (分解能は 20,000) であり、1-4 μm の広波長範囲をカバーする。ハレアカラ T60 望遠鏡 (F12) に取り付けられた場合、プレートスケールは 0.3"/pix、スリット長は 50"である。この広視野スリットと波長分解能により、木星全体を同時に捉え、南北半球の H3+ オーロラ発光のドップラー速度を導出する。エシェル回折格子は Newport #53*453 (ブレイズ角 71 度、溝 31.6/mm、有効サイズ $W=130\text{mm} \times D=23\text{mm}$) である。真空チャンバ内には、InSb 検出器 (30-35K)、コリメーター-カメラミラー、2 段フィルターターレット機構 (16 ポジション、オーダーソーター含む)、スリット交換機構、画像-分光切り替え機構、グレーティング角度調整機構が設置されている。この機構のうち、グレーティング角度調整機構に使用するピコモーターのみ、要求仕様のために冷却部外に設置される。この調整機構により、入射光に対するエシェルの角度を 60 度から 75 度まで変えることができる。これに要求される精度は、絶対繰返し精度 0.4 度以下、安定度 1arcsec/5 分以下 (プッシュ/プル方向の物理的長さが 1/10 ピクセルのプレートスケールに相当する 0.65 μm 、これに対応する輝線のドップラーシフトは 0.5km/s) である。また、真空チャンバ外には、スリットビューワーカメラと波長校正用ガスランプ、および強度校正用黒体炉が搭載される。装置の寸法は 800x500x400 mm、重さは約 150kg である。

現在、ESPRIT は、光学系が完成し、可視レーザー光を用いて性能が実証されている。また、冷却系についても Kambara(2020) らにより、無酸素銅メッシュ (ワイヤー径 ϕ 0.23 mm、密度 50 mesh/inch) を用いて自作した熱パスが完成し、ラジエーションシールド (90K)、検出器ボックス (30K) とともに十分冷却することが確認されている。今後の試験により、2 段フィルターターレット機構、スリット交換機構、画像-分光切り替え機構、グレーティング角度調整機構の大気中および真空中冷却時の試験を行い、動作を検証する。この後、TOPICS の電気系回路を用いた検出器駆動試験を実施し、ハレアカラ望遠鏡に移設する計画である。