

R009-P10

ポスター 4 : 11/26 AM1/AM2 (9:00-12:00)

木星衛星圏での物質輸送過程の解明に向けたガリレオ衛星におけるナトリウム輝線の分光観測

#長谷川 龍¹⁾, 佐川 英夫¹⁾, 木村 淳²⁾, 高木 聖子³⁾, 窪田 暉¹⁾

¹⁾京産大, ²⁾阪大, ³⁾北海道大学

Toward an understanding of material transport in the Jovian moons: Observation of sodium emissions in the Galilean moons

#Ryu Hasegawa¹⁾, Hideo Sagawa¹⁾, Jun Kimura²⁾, Seiko Takagi³⁾, Hikaru Kubota¹⁾

¹⁾Kyoto Sangyo University, ²⁾Osaka University, ³⁾Hokkaido University

When discussing habitability in space, it is important to consider not only an environment that holds liquid water, but also what kind of materials, especially those containing essential elements for life, are present in that environment. In the solar system, the existence of subsurface oceans in the interior of the icy moons of the Jovian system (i.e., Europa, Ganymede, and Callisto) has been suggested, and the importance of investigating the materials that exist in these environments has increased in recent years. Another unique feature of the Jovian system is the presence of Io. It is known that active volcanic eruptions of Io release large amounts material into space. Whether or not Io-derived materials are continuously transported to other Jovian satellites is one of the important research subjects of the Jovian system as it directly leads to the discussion of the possibility that the material transport from Io affects the formation of habitability in Jovian icy moons. In this study, we focus on sodium, one of the elements essential for life on Earth, among the materials released from Io, and aim to observationally constrain the presence of material transport processes in the Jovian moons.

In the Jovian moons, sodium is known to be spread in cloud-like distributions (sodium clouds) around Io and Europa, but no such distribution has been found on Ganymede and Callisto (e.g., Brown, 1997). Leblanc et al. (2005) showed that the variability of sodium clouds around Europa can be explained to most extent by variations in solar radiation and the Jovian magnetospheric particle fluxes to Europa. However, it is also suggested the possibility that the sodium clouds around Europa may be influenced by Io when Io and Europa are in a particular position. To quantitatively verify such a possibility, it is necessary to understand the spatial and temporal variation of sodium distributions in the Jovian moons with respect to its positional relationship with other satellites.

We have carried out continuous ground-based observations of sodium in the Jovian moons since 2023. Observations are made using the high-resolution spectropolarimeter VESPoLA (Arasaki et al., 2015), which is attached to the Araki Telescope (diameter of 1.3 m) at the Koyama Astronomical Observatory of Kyoto Sangyo University. The instrument is capable of acquiring spectra at 577-780 nm wavelengths at once, and can simultaneously acquire emission lines of potassium at 766.48 and 769.89 nm, in addition to the D-lines of sodium at wavelengths of 588.99 and 589.59 nm. In the 2023 season, data were obtained for 6 nights (11/28, 12/13, 12/20, 12/28, 01/09, 01/11). As an initial result of the analysis, we are able to detect significant sodium emission lines at Io, and have confirmed that the intensity of the emission lines varies from day to day. In this presentation, we will discuss the temporal variation of the observed sodium emission and its correspondence to the volcanic distribution on Io's surface, the results of the potassium analysis, and comparison with the observations of other icy moons.

宇宙におけるハビタビリティを議論する際に重要となるのは、液体の水を保持する環境の有無に加え、その環境にどのような物質、特に、生命必須元素を含んだ物質が存在するかという点である。太陽系内では木星系の氷衛星（エウロパ、ガニメデ、カリスト）において、その内部に長期安定的な地下海の存在が示唆されており、そこに存在する物質の調査の重要性が近年より一層増している。また、木星系の特徴として、衛星イオの存在が挙げられる。イオには太陽系内で最大規模の火山が多数存在しており、その噴火によってイオ由来の物質が宇宙空間に大量に放出されている。イオ由来の物質が他の木星衛星にも継続的に輸送されるか否かは、木星氷衛星におけるハビタビリティの形成にイオからの物質輸送が影響している可能性を議論することに直結し、木星衛星圏研究において欠かせないテーマの一つである。本研究では、イオから放出されている物質のうち、地球上の生命における必須元素の一つでもあるナトリウムに着目し、木星衛星圏での輸送過程の有無を観測的に制約することを目標としている。

木星衛星圏において、ナトリウムはイオおよびエウロパの周囲に雲状（ナトリウム雲）に広がっていることが知られているが、ガニメデおよびカリストではそのような雲状の分布は見つかっていない (e.g., Brown, 1997)。近年、エウロパ表面に塩化ナトリウムの存在も検出されている (Trumbo et al., 2019)。その分布が地下海からの物質が表出しやすいと考えられる地形に対応していたことから、この塩化ナトリウムはエウロパの地下海の成分が表面に出てきたものと考察されている。その一方で、エウロパにおけるナトリウムが外的な起源を持つとする考えもいくつか示されており (e.g., Brown & Hill, 1996)、この考えは未だ完全には棄却されていない。Leblanc et al. (2005) では、エウロパ周辺におけるナトリウム雲の変動が、日射量や木星磁力線のエウロパへの接し具合の変動を理由としてある程度は説明できることが示されてい

る。しかし、その中でも、イオおよびエウロパが特定の位置になった際に、エウロパ周辺のナトリウム雲がイオからの影響を受けている可能性が言及されている。この可能性を定量的に検証するためには、木星衛星圏におけるナトリウムの存否だけでなく、その空間分布や他衛星との位置関係に着目した時間変動を理解する事が必要である。

こうした観点から、本研究では地上望遠鏡を用いた木星衛星ナトリウム輝線の継続観測を2023年度より実施している。観測は、京都産業大学神山天文台の荒木望遠鏡(口径1.3 m)に取り付けられている可視分光器 VESPolA(Arasaki et al., 2015)を用いている。この装置は、波長577-780 nmの分光スペクトルを一度に取得できる装置であり、波長588.99 および589.59 nmに存在するナトリウムのD線以外にも、766.48 および769.89 nmに存在するカリウムの輝線を同時取得することができる。波長分解能は $\lambda/\Delta\lambda=8000$ と20000の二つのモードがあり、本研究では主に $\lambda/\Delta\lambda=8000$ のモードを利用した。また、VESPolAは1/2波長板を回転させることで偏光度を測定できるが、本研究ではその機能は利用していない。2023年度シーズンの観測では、木星が前半夜に見える2023年11月から2024年1月の期間で、イオやエウロパが木星やお互いに近接し過ぎないタイミングのうち天候が良かった6晩(11/28, 12/13, 12/20, 12/28, 01/09, 01/11)のデータが取得できている。現在、観測データの解析を進めているが、初期解析結果としてイオにおけるナトリウム輝線を有意に検出できている。輝線強度が日によって変化している事が確認できている。講演では、観測されたナトリウム輝線強度の時間変動とイオ表面の火山分布との対応や、カリウムの解析結果、そしてエウロパ、ガニメデの観測結果との比較などを議論する。