

## ALMA アーカイブデータ解析による木星衛星イオの二酸化硫黄大気火山噴火成分の検出

# 古賀 亮一 [1]; 鈴木 達也 [2]; 平原 靖大 [3]; 土屋 史紀 [4]; 鍵谷 将人 [5]; 坂野井 健 [6]

[1] 東北大・理・地物; [2] 名大・環; [3] 名大・院・環境・地球惑星; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [6] 東北大・理

### Detection of the volcanic component of Jupiter moon Io's atmosphere by analyzing ALMA archive data

# Ryoichi Koga[1]; Tatsuya Suzuki[2]; Yasuhiro Hirahara[3]; Fuminori Tsuchiya[4]; Masato Kagitani[5]; Takeshi Sakanoi[6]  
[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Earth Sciences, Nagoya Univ.; [3] Earth&Planetary Sciences, Nagoya Univ.; [4] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [5] PPARC, Tohoku Univ.; [6] Grad. School of Science, Tohoku Univ.

Jupiter's moon Io is the most volcanically active body in the solar system, and it has SO<sub>2</sub> dominated thin atmosphere whose surface pressure is several nbar. Io's SO<sub>2</sub> atmosphere is mainly created by direct input from volcanoes, and by sublimation of the surface frost. SO<sub>2</sub> in the atmosphere are dissociated within ~30 hours, and sulfur and oxygen atoms in the atmosphere are partly escaped from Io's gravity by elastic collision with ions in Io plasma torus (atmospheric sputtering). Recently, the observations when Io was in Jupiter eclipse showed the sublimation is the dominant process which creates Io's atmosphere [Tsang et al., 2016]. However, the enhancement event of escape gasses of O and Na from Io's gravity was also reported [Yoneda et al., 2015; Koga et al., 2018]. The mechanism which increases the escape rate of the neutrals is not understood. The possible trigger is the increase of the exobase caused by the direct input from volcanoes, and the area where atmospheric sputtering occurs. To consider this hypothesis, it is important to detect the emission of atmospheric SO<sub>2</sub> which is ejected from Io's volcanoes.

ALMA (Atacama Millimeter/submillimeter Array) is the radio interferometry which has high spatial and wavelength resolutions. In the observation of Io in 2017, it achieved the beam size of 0.36 arcsec (Io's apparent size is about 1.0 arcsec) and the resolution of 0.21 km/s. We analyzed the ALMA archive data (project code: 2017.1.00670.S) several minutes before Io entered the Jupiter eclipse at 10:02-10:09 UT on March 20, 2017. If Io's atmosphere was created only by sublimation, SO<sub>2</sub> should concentrate only around the equator, where the solar zenith angle is large and the surface temperature is high. However, the actual spectral map shows SO<sub>2</sub> was not only concentrated around the equator (Region 1), but also distributed at high latitude in the northern hemisphere (Region 2). In Region 1, the spectral shape is symmetric and line width is narrow (Full width with half maximum (FWHM) = 0.57 km/s). In Region 2, the spectral shape is asymmetric and line width is broad (FWHM = 0.93 km/s). When we assume the line width is only determined by Doppler broadening because of the thin atmosphere, the atmospheric temperatures was 445 K in Region 1 and 950 K in Region 2. Both temperatures are much higher than sublimation atmosphere temperatures estimated by previous studies (130-180 K). The components in the line of sight of the large-scale atmospheric dynamics driven by pressure gradient broadened the line widths. However, we can not explain the difference of the temperature between Region 1 and 2 only by atmospheric dynamics. Therefore, we considered the atmosphere in Region 2 is composed of the low velocity component which include the sublimation atmosphere and high velocity component emitted directly from volcanoes. We fitted the composited Gaussian function which has two peaks to the observed spectral in Region 2. Difference between low and high velocity components is 0.58 km/s, the ratio of integrated line intensity is 6:1. Line widths (FWHM) of low and high velocity components are 0.76 km/s and 0.42 km/s. The possible reasons that the width of the low velocity component in Region 2 is broader than that in Region 1 are that gases emitted by volcanic input heat the outer atmosphere, and that pressure gradient and wind velocity around hot spot is larger than that around the equator without active volcanic input.

木星衛星イオは太陽系で最も火山活動が活発な天体であり、SO<sub>2</sub>を主成分とした数 nbar の希薄大気を形成している。イオの大気の生成は主に火口から直接噴出すること、及び表面に降り積もった SO<sub>2</sub> 霜が太陽の光で温められて昇華することが考えられている。SO<sub>2</sub> 大気は 30 時間程度で解離し、イオトーラスのプラズマと弾性衝突することで一部がイオの重力圏外へと散逸する (大気スパッタリング)。これまでは木星影をイオが横切るときの観測 [Tsang et al., 2016] 等によって、イオの大気形成は昇華が支配的とされていた。一方、2015 年にイオ重力圏外への散逸した Na や O の増加のイベントが報告されている [Yoneda et al., 2015; Koga et al., 2018]。この散逸ガスを増やすメカニズムはまだ未解明であるが、イベントを引き起こした要因として火口からの直接噴出による外気圏高度の上昇と、それに伴う大気スパッタリングが起こる面積の拡大が考えられる。この仮説の検証において、噴火で放出された大気成分を直接検出することは重要である。

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) は高空間・波長分解能をもつ電波干渉計であり、2017 年のイオ観測時ではビームサイズ約 0.36 秒角 (イオは約 1.0 秒角)、波長分解能 0.21 km/s を達成している。本研究では、2017 年 3 月 20 日のイオが木星陰に入る直前 (10:02-10:09) の観測のアーカイブデータ (project code: 2017.1.00670.S) を解析した。もし、イオの大気が昇華のみで生成されている場合、太陽天頂角が高く表面が温まりやすい赤道周辺のみ SO<sub>2</sub> は集中するはずである。しかし、観測結果のマップ (添付図) から、SO<sub>2</sub> は赤道周辺だけでなく、北半球の高緯度にも分布することが分かった。また、赤道周辺の領域のスペクトルはピークに対称な形をして、線幅が狭かった (半値全幅 0.57 km/s)。一方、高緯度の領域のスペクトルはピークに非対称で、線幅が広い (半値全幅 0.93 km/s) 特徴があった。イオの大気は十

分薄いため、スペクトルの線幅がドップラー広がり起因するとすると、赤道周辺の  $\text{SO}_2$  大気の温度は 445 K、高緯度で 950 K となった。これらの温度は過去の観測で推定されている昇華大気温度 (130-180 K) と比べて有意に高い。大気の圧力勾配力による視線方向に垂直な速度成分の大気の大規模運動が線幅を広げていると考えられる。しかし、この運動では赤道周辺と高緯度の温度の違いを説明できない。本研究では高緯度の領域の大気は昇華大気を含んだ低速の成分と高速で火口から噴出される成分で構成されていると考え、二つのピークをもつガウス関数で観測スペクトルをフィッティングした。その結果、低速成分と火山噴出成分の速度差は 0.58 km/s、発光強度比は 6:1 であった。また、線幅はそれぞれ半値全幅 0.76 km/s, 0.42 km/s であった。高緯度の領域の低速成分の線幅が赤道周辺の線幅より広い理由として、火口からの直接噴出ガスが周辺の大気を温めていること、火口周辺の方が赤道周辺より大気の密度勾配が大きく、風速が大きくなっていることが考えられる。

