

木星広域ナトリウム雲の変遷  
-Junoの木星探査期間の大規模変動-  
米田瑞生<sup>1,2</sup>, 土屋史紀<sup>2</sup>, 鍵谷将人<sup>2</sup>, 坂野井健<sup>2</sup>

1: 山陽学園大学地域マネジメント学部

2: 東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ大気・研究センター

## 1. 要旨

木星の衛星イオは、地球以外で初めて火山活動が確認された天体である。その火山活動の発見は、1979年のVoyager1探査機によるものであり、以後、探査機やIRTFやKeckに代表される大型望遠鏡を用いて、その火山活動度が計測されてきた。ところで、イオの火山性ガスは、イオの重力圏を脱出して、木星の周囲に広く分布している。イオの火山性ガスを起源としているナトリウム原子が、木星の周囲に分布し、ナトリウムD線の波長で発光している。この木星ナトリウム雲の発光強度を、我々の研究チームは、1999年以来継続的に地上観測している。中でも、2018-2019年の観測では、ナトリウム雲に複数回の増光が観測された。これは、NASAのJuno探査機の木星探査期間に生じたイベントである。

本研究により、Juno探査機の活動期間中に、イオの火山活動が変動し続けていたものの、過去20年の観測データと比較すると、大規模な火山活動があったとは言えないことなどが、分かった。その詳細を報告する。

## 2. 背景

イオの火山から生じるガスは、地球のそれと同様に、SO<sub>2</sub>などを主とする。この火山性ガスは、磁気圏粒子によるスパッタリングで流出する他、電離・解離の後、木星の共回転磁場によるピックアップで、木星内部磁気圏へと流出する。イオンとして流出した粒子は、共回転磁場により捕捉され、その速度は木星の共回転速度（イオ起動で74km/s）に達する。このうち、電子との結合などで中性化して発生した原子は、木星の共回転速度を保っているため、高速中性粒子として、木星の重力圏外へと脱出することになる。

上記と同様のプロセスで、イオ火山を起源とする中性ナトリウム原子も、イオ・木星の重力圏を脱出する速度を経て、木星の周囲に広く分布している。これらのナトリウム原子は、太陽光をナトリウムD線波長(598nm)で共鳴散乱していて、地上からでも観測することができる。木星の周囲10°という広い領域で発光している様子は、Mendillo et al (1990)により初めて確認された。このナトリウム雲の発光強度は、イオの火山活動に応じて変化していることが確実である。

我々のグループも、この木星ナトリウム雲の発光を継続的に観測してきた。例えば、

2015年2月、我々の観測により、木星ナトリウム雲に大規模な増光が確認された。(Yoneda et al., 2015, Fig. 1)。この観測結果は、ひさき衛星が、木星の磁気圏を紫外線分光観測していたキャンペーン期間中に発生したイオの火山爆発の証拠として、多数の研究に用いられた。

我々の観測研究は、その後も継続している。本研究では、NASAのJuno探査機が木星探査を行っていた期間に得られた観測データに着目する。

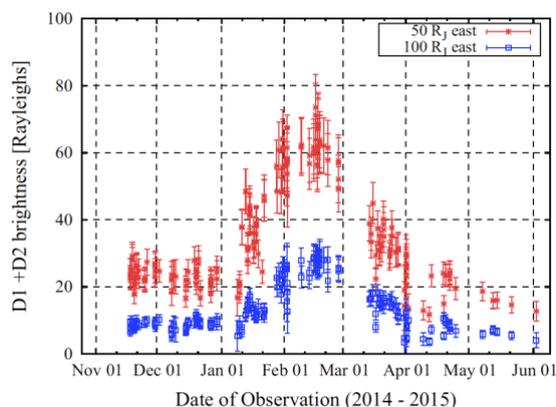


Fig. 1. 木星の東側 50R<sub>J</sub>、及び 100R<sub>J</sub> で計測された木星ナトリウム雲のナトリウム D 線波長での発光強度。Yoneda et al. (2015) より。

### 3. 観測

観測は、東北大学大学院理学研究科惑星プラズマ・大気研究センターが、標高 3,050m のマウイ島ハレアカラ山山頂で運用するハレアカラ高高度観測所で行っているものである。口径 10cm の屈折望遠鏡に、ナトリウム D 線発光を観測するための狭帯域干渉フィルターや、木星の散乱光を防ぐためのオカルテーションマスクを搭載した装置を用いている。観測の詳細は、Yoneda et al. (2009) に詳しい。

### 4. 結果

観測結果を、Fig. 2. に示す。2017年7月から2019年10月までの木星から 50 及び 100R<sub>J</sub> (R<sub>J</sub> は、木星半径=71,400km), 木星の東側でのナトリウム D 線波長での発光強度をプロットしたものである。

2018年4月にナトリウム雲に増光が発生していたことが分かる。このイベントについては、先行研究である Morgenthaler et al. (2019) により、既に報告されている。しかし、このイベントに続いて2019年7月に新たなイベントが発生している。Morgenthaler et al. (2019) の観測は、2019年7月以前に終了していて、イベントが継続的に発生していたことは、我々の研究によって初めて明らかになった。

また、2019年にもイベントが複数回発生している様子が分かる。2019年7月に発生しているイベントは、増光傾向が見られるが、ピークを迎える前に観測が終了しているため、本イベントの規模については、わからない。

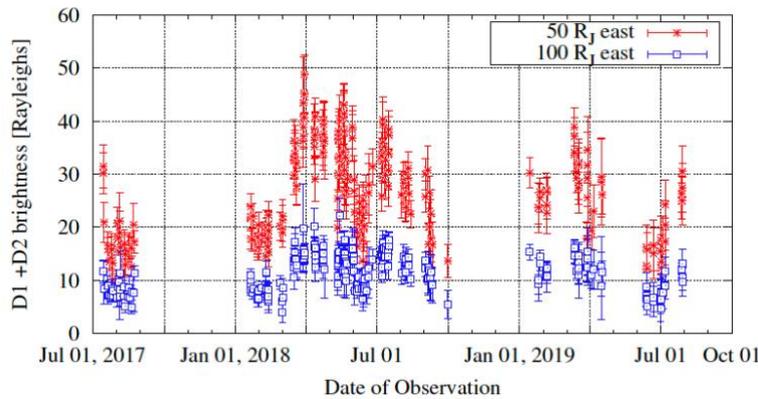


Fig. 2. 2017年7月から2019年9月にかけて観測された、木星の東側50R<sub>J</sub>、及び100R<sub>J</sub>での木星ナトリウム雲のナトリウムD線波長の発光強度。

## 5. 考察

Morgenthau et al. (2019)は、2018年4月イベントについて、Yoneda et al. (2015)が、2015年2月前後に観測したイベントよりも、1.3倍程度明るいものであったと推測している。しかし、Morgenthau et al. (2019)は木星から20R<sub>J</sub>で、Yoneda et al. (2015)は50R<sub>J</sub>で計測しているため、両者の厳密な比較は難しい。一方、本研究は、Yoneda et al. (2015)同様、50R<sub>J</sub>で計測しているため、直接の比較が可能となった。2015年のイベントは、2018年のそれよりも、1.5倍程度明るいという、Morgenthau et al. (2019)とは逆の結果が得られた。

2018年以降の観測データについて、特徴的なのは、発光強度そのものが大きいとは言えないものの、非常に変化に富んでいることである。Fig. 1. に代表されるように、増光イベントが発生しているとき以外、木星ナトリウム雲の発光強度の時系列データは、フラットな様子を見せることがほとんどである(Yoneda et al, 2009, Yoneda et al, 2010, Yoneda et al, 2015)。一方、Fig. 2. で示されているように、2018年以降の発光強度は、変化に富んでいる。これは、イオの火山で発生している噴出(plumes)が変化していることを示していると推測できる。

Fig. 3. には、我々の研究グループが、1999年より蓄積する全データをプロットする。木星の東側50及び100R<sub>J</sub>で計測された、木星ナトリウム雲のナトリウムD線波長での発光強度である。本研究で対象とした2018年以降に観測された増光イベントの発光強度は、2015年はもとより、1999年及び2009年から2012年にかけて計測されたそれよりも、1桁小さいことが分かる。

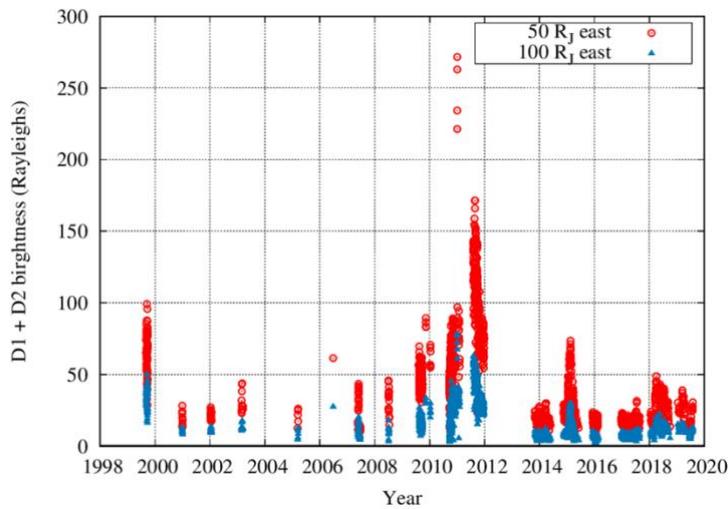


Fig. 3. 1999年7月から2019年にかけて観測された、木星の東側50R<sub>J</sub>、及び100R<sub>J</sub>での木星ナトリウム雲のナトリウムD線波長の発光強度。

## 6. 結論

東北大学惑星プラズマ・大気研究センターが、マウイ島ハレアカラ高高度観測所で行なってきた、木星ナトリウム雲の発光強度の継続観測により、NASAの探査機Junoの木星探査期間である2018年以降に、複数の増光イベントが確認された。これらは、イオの火山爆発イベントが生じたことを示唆する。

これらのイベントにより達成された木星ナトリウム雲の、ナトリウムD線波長での発光強度は、2015年に観測されたイベントや、2009年から2012年に観測されたイベントよりも小さく、特に大規模な火山性イベントがイオで発生したわけではないことが分かる。

また2018年以降、木星ナトリウム雲の発光強度が大きいとは言えないものの、変化に富んでいる様子が確認された。イオの火山性噴出(plumes)の活動が、変化している様子は示唆された。

## 7. 参考文献

- Mendillo, M., Baumgardner, J., Flynn, B., et al. 1990. *Nature* 348, 312
- Morghenthaler, J. P., Rathbun, J. A., Schmidt, C. A., et al. 2019. *ApJ*, 871, L23
- Wilson, J. K., Mendillo, M., Baumgardner, J., et al. 2002. *Icarus*, 157, 476
- Yoneda, M., Kagitani, S., Okano, S. 2009. *Icarus*, 204, 589-596
- Yoneda, M., H. Nozawa, H. Misawa, et al. 2010. *Geophys. Res. Lett.*, 37, 11202-11206
- Yoneda, M., H. Nozawa, H. Misawa, M. et al. 2015. *Icarus*, 261, 31-33