

R009-07

Zoom meeting D : 11/1 AM2 (10:45-12:30)

11:00-11:15

## 宇宙空間へつながる木星大気の屋根を探る -- 「COMICS 最終観測」を含むすばる望遠鏡観測成果

#笠羽 康正<sup>1)</sup>, 北 元<sup>2)</sup>, 埜 千尋<sup>3)</sup>, 坂野井 健<sup>1)</sup>, 佐藤 隆雄<sup>4)</sup>, 藤吉 拓哉<sup>5)</sup>, Sinclair J.A.<sup>5)</sup>, Orton G.S.<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>東北大・理, <sup>2)</sup>東北工大, <sup>3)</sup>情報通信研究機構, <sup>4)</sup>北海道情報大, <sup>5)</sup>国立天文台

### Exploring the roof of Jovian atmosphere by Subaru telescope including last day COMICS run

#Yasumasa Kasaba<sup>1)</sup>, Hajime Kita<sup>2)</sup>, Chihiro Tao<sup>3)</sup>, Takeshi Sakanoi<sup>1)</sup>, Takao M. Sato<sup>4)</sup>, Takuya Fujiyoshi<sup>5)</sup>, J.A.

Sinclair<sup>5)</sup>, Orton G.S.<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Tohoku Univ., <sup>2)</sup>Tohoku Inst. Tech., <sup>3)</sup>NICT, <sup>4)</sup>HIU, <sup>5)</sup>NAOJ

Planet do not have their roofs. Their atmospheres are unstable area connected to outer space. This report introduces the two recent Subaru observations around this region on Jupiter, including the last day observations of COMICS (mid-IR imager and spectrometer) which open-use is terminated in July 2020.

(1) Emission from the thermosphere: Jupiter's intense magnetic field captures electrons and ions with orders of magnitude and energy higher than Earth. These enter into the thermosphere (altitude: ~200-1000s km), hit and heat the dilute atmosphere, producing strong aurora emissions. On the dayside seen from the earth, this emission is buried in the cloud reflection light. However, in UV and near IR light, the reflection light is suppressed by the CH<sub>4</sub> absorption in the stratosphere (altitude: <~200 km), and thermospheric emission can be seen. In near IR, H<sub>3</sub><sup>+</sup> emission is evident. This emission was discovered by T. Oka and is bright in interstellar molecular clouds with energetic particles. Jovian thermosphere has a similar environment. The distribution of this emission was observed by Subaru/IRCS. Using Galilean satellites for AO188, we achieved the spatial resolution of ~250 km (0.1"). The strong emission spreads in an altitude of 500-1,000 km and the temperature reaches ~1,000 K or more. The atmosphere in higher altitude has a non-equilibrium state and is easier for escape. The spatial distribution was slightly strange. The H<sub>3</sub><sup>+</sup> emission is maximum in the UV aurora oval, which is consistent with H<sub>3</sub><sup>+</sup> molecule formations enhanced by energetic electrons. On the other hand, H<sub>2</sub> emission fills the polar cap. This region is not bright in UV, but is known for X-ray emission by higher energy particles. This region is connected to the solar wind boundary region by a magnetic field, and the generation mechanism of high-energy particles here is one of the main targets of NASA Juno mission.

(2) Variation of hydrocarbons in the stratosphere, the mezzanine of Jupiter: High-energy particles that produce H<sub>2</sub> emission in the polar cap can penetrate into the stratosphere. Up to this region, CH<sub>4</sub> rises from the lower layer, and high-energy particles create more complex hydrocarbon molecules. These C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> molecules have a lot of absorption and emission in the mid IR. The distribution and variations of these molecular emission was observed by Subaru/COMICS. Large sized aperture is important for the spatial decomposition. Other capability is only provided by the VLT. The stop of COMICS operation in July 2020 is disappointing. (We will be the final observer of this instrument.) In Jan and May 2017, we observed the distribution and variation of CH<sub>4</sub> emissions covering the entire polar region as well as near IR H<sub>2</sub> emission. It is shown that the precipitating high-energy particles can fluctuate the atmospheric temperature even in a short time scale, about one day, and progress to the production of complex hydrocarbons. It was also found that this fluctuation correlates with the solar wind pressure. It suggests that the influence of outer space can reach below than the thermosphere.

惑星に屋根はなく、その大気は宇宙空間へ地続きでつながる不安定な領域である。本稿は、太陽系最大の惑星・木星でこの領域を巡る直近の Subaru 観測成果 2 つを、共同利用が終了する中間赤外線観測器 COMICS による最終観測成果を含めて紹介する。

(1) 木星の屋根裏、熱圏大気の発光を捉える：木星は、巨大な磁場によって地球とは桁違いの量・エネルギーの電子・イオンを捉えている。これらが熱圏域(高度 200~数千 km)へ進入し、希薄大気を叩いて加熱し強力なオーロラ発光を生み出す。地球から見える昼間側では雲反射光に埋もれてこの発光は本来見えない。しかし、紫外・近赤外光では成層圏(高度約 200 km 以下)のメタン吸収によって雲反射光が抑制され、熱圏発光が顔を出す。近赤外では H<sub>3</sub><sup>+</sup> が明るく光る。この分子発光は岡武史先生により発見されたもので、高エネルギー粒子が降り注ぐ星間分子雲、そして似た環境にある木星熱圏を捉えるのに適する。この発光分布を Subaru/IRCS で捉えた。ガリレオ衛星を AO188 で捕捉し、空間分解能~250 km (0.1") を達成した。高度 500~1,000 km に強発光域が広がり温度約 1,000 K 以上に達すること、より高高度では衝突減により非平衡状態となり、宇宙空間へ流出しやすいことを示した。やや不思議なのは空間分布である。H<sub>3</sub><sup>+</sup> 発光は、南北磁極をリング状に囲む紫外オーロラ域で最大となる。これは高エネルギー電子が H<sub>3</sub><sup>+</sup> 分子生成を引き起こすことと整合する。一方、H<sub>2</sub> 発光は極冠域を埋め尽くす分布となった。この領域は紫外線では暗いが、より高いエネルギーの粒子による X 線発光で知られる。この領域は太陽風境界域と磁場でつながっており、ここでの高エネルギー粒子の生成機構は木星周回中の NASA Juno 探査機の主観測テーマの 1 つである。

(2) 木星の中二階、成層圏大気の炭化水素の変動を捉える：極冠域の H<sub>2</sub> 発光をもたらし高エネルギー粒子は成層圏まで進入しうる。ここまでは下層から CH<sub>4</sub> が上昇し、高エネルギー粒子が衝突してより複雑な炭化水素分子を作り出す。これら C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> 分子は中間赤外域で多くの吸収・発光をもつ。この分子発光の分布・変動を Subaru/COMICS

で捉えた。この空間分解には 8-m の大口径が重要である。同等の能力を持つ大口径鏡は他に欧 VLT しかなく、2020 年 7 月末の COMICS 停止は残念である（我々が最終観測者となった）。2017 年 1 月・2 月・5 月の観測では、近赤外 H<sub>2</sub> 発光と同様に極域全体を覆う CH<sub>4</sub> 等発光の分布と変動を捉えた。降下高エネルギー粒子が 1 日程度の短時間でも大気温度を変動させ、また複雑な炭化水素の生成へ進行させることを示す。この変動が太陽風圧と関連することも判明した。熱圏より深い高度まで宇宙空間の影響が及びうることを示唆する。2020 年 8 月以降、Subaru は中間赤外線観測能力を喪失するが、2022 年頃に稼働する東京大アタカマ 6.5-m 望遠鏡による観測能力実現に期待する。本稿の主題である木星系では、NASA/Juno と JAXA/Hisaki 紫外線望遠鏡衛星が現主役で、2020-30 年代を目指して NASA/Europa Clipper、ESA/JUICE が開発中である。私たちは Hisaki 開発に参加し、JUICE 観測装置の開発中でもある。とはいえ、惑星探査機群は重量制約が厳しく万能観測手段ではない。地球からの望遠鏡観測はより地味ではあるが、より継続的な観測によってこれらを支える。また、JAXA-ESA で開発途上にある赤外線天文衛星 SPICA、そして Hisaki 紫外線極端紫外線望遠鏡衛星の後継機開発にも参加貢献し、戦力増大を図る。