

すばる望遠鏡補償光学系で観測された木星極域のパッチ状赤外オーロラ

渡辺 はるな [1]; 笠羽 康正 [2]; 坂野井 健 [3]; 鍵谷 将人 [4]; 北元 [5]; 埜 千尋 [6]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気研究センター; [5] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [6] 情報通信研究機構

IR patch-like aurora in Jupiter's polar region observed with SUBARU adaptive optic system

Haruna Watanabe[1]; Yasumasa Kasaba[2]; Takeshi Sakanoi[3]; Masato Kagitani[4]; Hajime Kita[5]; Chihiro Tao[6]

[1] Geophysics, Tohoku Univ.; [2] Tohoku Univ.; [3] Grad. School of Science, Tohoku Univ.; [4] PPARC, Tohoku Univ.; [5] Tohoku Univ.; [6] NICT

The observations of Jovian auroras in the UV and IR range have revealed the morphology and their dynamics. Compared to main oval and satellite footprint mapping to (sub-)corotation region in Jupiter's magnetosphere, polar emissions are more variable in time and morphology, and they exhibit generally strong local time effects. Polar emissions are of great interest because their mapping to Jupiter's outer magnetosphere. It is suggested that the polar emissions in UV and IR show similar morphology in general [Radioti et al., 2013]. Jupiter's UV aurora is result of emission from excited atomic and molecular hydrogen, as precipitated electrons excite these species, occurring over a timescale of 10^{-2} sec. On the other hand, Jupiter's IR aurora emission is from H_3^+ . In upper atmosphere H_3^+ is produced through ionization of H_2 and some ion chemistry, and thermalized in the neutral atmosphere, and then produces infrared ro-vibrational emission. So the timescale of IR auroral emission is longer than that of UV. The ion chemistry have a time scale of $10^{-2}\sim 10^4$ sec, and could play a key role to determine the total timescale of IR emission [Tao et al., 2012].

In the past imaging observation of Jupiter's IR aurora, the time resolution was ~ 25 -30 min [Satoh and Connerney, 1999], and the spatial resolution was ~ 1 arcsec. Therefore, none of the observed aurora has significant variations on timescales less than 30 min and they are stable over ~ 90 min [Stallard et al., 2016]. But the auroral variability with shorter timescale may occur on the model calculation [Tao et al., 2012]. So the ground observation could image continuously for a long time with higher time resolution and spatial resolution should be realized.

In this study, we performed the Jovian IR auroral observation with IRCS (Infrared Camera and Spectrograph) attached on the SUBARU telescope at Mauna Kea, Hawaii on 25 May 2016 (3:16-9:56 UT). We took image data of the Jovian H_3^+ lines near 3.4 μm using the H3P narrow-band filter. The time resolution was $45\sim 110$ sec. The Adaptive Optics instrument (AO188) attached to SUBARU provided us a high spatial resolution image of Jovian IR aurora with ~ 0.1 arcsec. The observation of Jovian IR aurora like this, in high spatial resolution and time resolution, is the first trial. Primary data reduction (dark, flat, sky) were finished and we calculated the absolute value of radiance using standard star ksi Vir. The emission intensity, there was brightness profile along the main oval, was $\sim 5\text{-}9 \times 10^5$ $\text{W/m}^2/\text{str}$. Radioti et al. (2013) used the data observed by NSFCAM/IRTF and calculated the intensity. Compared to it, our result is larger in nearly one order. To determine the center of Jovian disc, we detected the duskside limb, observed clearly than dawnside because of the Sun direction, by fitting to curved line of Jovian disk limb estimated with plate scale. The error of fitting was estimated to be smaller than ± 2 pixels (0.106 arcsec). Then we calculated geographical longitude and latitude corresponding to each pixels and made the polar projection image. The location of main oval corresponded with the VIP4 30 R_j oval (magnetic coordinates). Additionally, from analysis of the data observed from 6:53 to 8:03, the emission patches were found in dayside polar region. The size of patches was ~ 3600 -6000 km for latitudinal direction, and ~ 2800 -4400 km for longitudinal direction. They blink in a few minutes and with amplitude of $\pm 15\%$, and are seen to move anti-rotation direction. The speed of moving was ~ 5.3 -8.0 km/s. Considering that the timescale of change in thermospheric temperature or H_3^+ dynamic transport are 10^4 - 10^5 sec, these blinking emission corresponded to H_3^+ density change by particle precipitation. In this presentation, we report the detailed analysis results, and the study of observed polar emission using auroral emission model of Tao et al. [2011].

木星オーロラは、これまでのハッブル宇宙望遠鏡等による紫外観測や地上大型望遠鏡の赤外観測によってその分布や発光強度が明らかにされてきた。木星磁気圏プラズマの共回転および準共回転領域に起源を持つメインオーバルや衛星フットプリントのオーロラに比べて、ポーラーキャップの発光は時間・空間変化に富みローカルタイム依存性が見られる領域である。ポーラーキャップは $30R_j$ 以上の外部磁気圏或いは太陽風と接続した磁力線に繋がっていると考えられる。また、木星オーロラは紫外と赤外でおおよそ同じ分布が見られている [Radioti et al., 2013]。紫外オーロラは磁気圏から降り込む電子が木星 H_2 大気と衝突することによる直接励起による発光であり、電子の降りこみに対する応答は早く、 10^{-2} 秒程度である。一方赤外オーロラについては、電子の降りこみ等によって H_3^+ が生成され、さらに大気と降りこみ粒子の衝突やジュール加熱等で高温となっている H_2 大気中で H_3^+ が熱励起されることにより起こる発光であることから、電子降りこみに対する応答は紫外発光に比べてゆるやかである。その過程の中でも発光タイムスケールを大きく左右するのが化学反応であり、そのタイムスケールは $10^{-2}\sim 10^4$ 秒である [Tao et al., 2012]。

今までの赤外オーロラの撮像観測は、紫外オーロラの観測に比べて時間・空間分解能ともに粗いものであった (撮像の場合の時間分解能はおおよそ 25-30 分 [Satoh and Connerney, 1999]、空間分解能は 1 秒角程度)。それゆえ 30 分よりも短いタイムスケールでの赤外オーロラの変動の研究成果はほとんどなく、主に 90 分以上の長時間変動が報告されている [e.g.,

Stallard et al., 2016]。しかし、極域の紫外発光は数秒~数分スケールの変化が見られており、モデル計算から 30 分よりも短いタイムスケールの変動が起こる可能性が指摘されている [Tao et al., 2012]。赤外発光やそれが反映する大気は、紫外発光の短時間変動に対応して変化するのかについて、より高時間・高空間分解能で連続観測が可能な地上赤外観測が必要とされている。

我々は 2016 年 5 月 25 日 (3:16-9:56 UT) にハワイ・マウナケア山頂のすばる望遠鏡赤外分光撮像装置 IRCS で木星赤外 H_3^+ オーロラの観測を行った。H3P narrow-band filter を用いて、 H_3^+ イオンの輝線が含まれる 3.4 μm 付近の波長域で撮像した。時間分解能は 45~110 秒であった。本研究の特長として、補償光学装置 AO188 を用いることにより、今まで行われてきた赤外オーロラ撮像よりも高い空間分解能 (~0.1 秒角) を実現することができた。これほどの高い分解能および短い時間間隔での木星赤外撮像は初の試みであり、赤外オーロラの微細構造や時間変化を初めて観測することができた。観測データの一次処理 (ダークノイズ除去、フラット補正、スカイ成分差し引き) を行った。さらに標準星 ksi Vir を用いて、絶対光強度を求めた。メインオーバルの明るさは場所によって異なり、 $5\text{-}9 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2/\text{str}$ であった。Radioti et al. (2013) では、NFSCAM/IRTF による観測データ (フィルター中心波長は同じく 3.4 μm) から絶対強度を求めており、それと比較すると桁 1 つに満たない程度、私たちの結果のほうが明るかった。次に、太陽光に照らされてディスクの夕方側リムを、プレートスケールから見積もられた木星ディスク曲線をリムにフィッティングすることで検出し、ディスク中心を定めた。フィッティングの誤差は +/-2 ピクセル (0.106 秒角) 以下であることを確認した。次に、ディスク上の各画素の地理緯度経度を算出し、極座標マッピングを行った。これに VIP4 磁場モデルに基づく磁気座標を重ねた結果、メインオーバルの位置が VIP4 モデルの $30R_j$ に対応していることが確認された。また 6:53 - 8:03 (UT) の画像データの解析から、昼側ポーラーキャップ領域にパッチ状の発光が存在することが分かった。パッチは緯度方向に ~3600-6000km、経度方向には大きいもので ~4400km、小さいもので ~2800km 程度の広がりをもって見えていた。それらは数分のタイムスケール、および +/-15% の振幅で明滅し、昼側から夕方側ポーラーキャップ領域へと移動した。移動速度は ~5.3-8.0 km/s 程度であった。熱圏の温度変化や H_3^+ 輸送の時定数は、 $10^4\text{-}10^5$ 秒と長いことから、今回観測された赤外の明滅発光変動は、オーロラ電子降り込みによる H_3^+ の密度変化に応答したものと考えられる。本発表では詳細な解析結果と、オーロラ発光モデル (Tao et al., 2011) を用いて、発光強度変動をもたらした降りこみ粒子や木星大気の変化について考察した結果を述べる。