

R006-07

B会場：11/26 PM3 (16:40-18:25)

16:40~16:55:00

ハイパースペクトルカメラ (HySCAI) による N₂ 1PG の回転温度子午線分布の観測

#居田 克巳¹⁾, 吉沼 幹朗¹⁾, 海老原 祐輔²⁾

⁽¹⁾ 核融合研, ⁽²⁾ 京大生存圏

Observation of rotational temperature meridian distribution of N₂ 1PG using hyperspectral camera (HySCAI)

#Katsumi Ida¹⁾, Mikirou Yoshinuma¹⁾, Yusuke Ebihara²⁾

⁽¹⁾National Institute for Fusion Science, ⁽²⁾Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

A hyperspectral camera for auroral imaging (HySCAI) has been installed at the KEOPS (Kiruna Esrange Optical Platform Site) of the Swedish Space Corporation (SSC) in Kiruna, Sweden, and observations have been underway since 2023. HySCAI features two gratings: one with 500 grooves per millimeter (mm) covering a broad spectral range of 400 – 800 nm with a spectral resolution of 2.1 nm (full width at half maximum, FWHM), and another with 1,500 grooves per mm capable of covering a narrow spectral range of 123 nm with a high spectral resolution of 0.73 nm.

We focused on the auroral breakup that began around 17:30 UT on January 1, 2025. This breakup was associated with a large substorm with minimum SML index exceeding -2000 nT, and is characterized by intense red color. During this breakup, HySCAI measured the red region (620 – 720 nm), including the OI (1D) 630.0 nm line, which is the cause of the red aurora, and the vibrational-rotational levels of the N₂ 1PG molecule at the following bands: (8,5) 646.7 nm, (7,4) 654.5 nm, (6,3) 662.6 nm, (5,2) 670.1 nm, (4,1) 679.0 nm, (3,0) 687.6 nm, and the Meinel system (3,0) 685 – 690 nm, (4,1) 705 – 710 nm. HySCAI can distinguish them individually. In the red region, prior to the breakup of the red aurora (approximately 6 minutes before), an increase in N₂ 1PG was observed. During the breakup of the red aurora, the OI (1D) 630.0 nm line was much brighter than N₂ 1PG. This aurora breakup with intense red color lasted approximately 50 minutes. The ratio of each band of the molecular vibrational-rotational levels of N₂ 1PG was not constant during this period, and a clear temporal variation was observed. From the spectral shapes of each band of the molecular vibrational-rotational levels of N₂ 1PG during the red aurora breakup, the meridional distribution of nitrogen's rotational temperature was obtained.

The figure shows (a) the nitrogen spectrum observed at zenith angles of -56° (south) and 41° (north), (b) the nitrogen spectrum calculated using rotational temperature and vibration temperature as parameters, and (c) the meridional distribution of rotational temperature. The shape of the spectrum changes with rotational temperature, becoming upward-sloping at low rotational temperatures but flattening or downward-sloping as rotational temperature increases. By comparing with model calculations, rotational temperatures can be estimated at each point. As a result, significant differences in rotational temperature were observed, with a minimum of 340 K on the south side and a maximum of 570 K on the north side. Subsequently, this temperature difference decreased over time, and during the latter half of the breakup, the distribution of rotational temperatures became nearly flat.

オーロラ観測用ハイパースペクトルカメラ (Hyperspectral Camera for Auroral Imaging: HySCAI) をスウェーデンのキルナにある SSC (スウェーデン宇宙公社) の KEOPS (キルナ・エスレンジ・オブティカル・プラットフォーム・サイト) に設置、2023 年から観測を行っている。HySCAI には 2 つのグレーティングがあり、1 つは 500 溝/mm で 400-800 nm の広いスペクトルを 2.1 nm のスペクトル分解能 (FWHM) でカバーし、もう 1 つは 1500 溝/mm で 0.73 nm の高いスペクトルを 123 nm の狭いスペクトルでカバーすることができる。

2025 年 1 月 1 日 17:30 UT 頃に始まったオーロラのブレイクアップに着目する。このブレイクアップは SML 指数が -2000 nT を超える大規模なサブストームに伴うもので、赤色が強いという特徴が見られた。このとき、HySCAI はオーロラの赤色光領域 (620 – 720nm) を計測した。この波長領域には OI (1D) 630.0nm のライン、N₂ 1PG の分子の振動回転準位の各バンド (8,5) 646.7nm, (7,4) 654.5nm, (6,3) 662.6nm, (5,2) 670.1nm, (4,1) 679.0nm, (3,0) 687.6nm および Meinel system の (3,0) 685-690nm, (4,1) 705-710nm が含まれ、HySCAI はこれらを分離計測できる。赤色光領域において、オーロラのブレイクアップの直前 (6 分前) では N₂ 1PG が先行して強くなり、ブレイクアップ中では OI (1D) 630.0nm のラインが N₂ 1PG よりもはるかに強く光っていた。この赤色が強いオーロラのブレイクアップは約 50 分程度続いた。N₂ 1PG の分子の振動回転準位の各バンドの比は、その間一定ではなく明瞭な時間変化が観測された。赤いオーロラのブレイクアップ中の N₂ 1PG の分子の振動回転準位の各バンドのスペクトル形状から窒素の回転温度の子午線分布を得た。

図は、天頂角-56度 (南側) と 41度 (北側) において (a) 観測された窒素のスペクトル、(b) 回転温度・振動温度をパラメータとして計算した窒素のスペクトル、(c) 回転温度の子午線分布である。スペクトルの形状はその回転温度によって変化し、回転温度が低い場合には右肩上がりとなるが、回転温度が上昇するとフラットまたは右肩下がりになる。モデル

計算と比較することで、各点での回転温度を評価することができる。その結果、回転温度は南側では最低 340K, 北側では最高 570K と大きな差が観測された。その後、時間と共にこの温度差は小さくなって、ブレークアップ後半では、回転温度の分布はほぼフラットになることが観測された。

