

高エネルギー電子降下による cosmic noise absorption(CNA)の変動とオーロラの形態変化

宮本 太志朗 [1]; 大山 伸一郎 [2]; 小川 泰信 [3]; 細川 敬祐 [4]; 栗田 怜 [2]; 三好 由純 [2]; 宮岡 宏 [3]; 片岡 龍峰 [3]; Raita Tero[5]

[1] 名大・宇地研; [2] 名大 ISEE; [3] 極地研; [4] 電通大; [5] SGO

Variations of cosmic noise absorption (CNA) by energetic electron precipitation (EEP) and changes of the auroral morphology

Taishiro Miyamoto[1]; Shin-ichiro Oyama[2]; Yasunobu Ogawa[3]; Keisuke Hosokawa[4]; Satoshi Kurita[2]; Yoshizumi Miyoshi[2]; Hiroshi Miyaoka[3]; Ryuho Kataoka[3]; Tero Raita[5]

[1] ISEE,Nagoya Univ.; [2] ISEE, Nagoya Univ.; [3] NIPR; [4] UEC; [5] SGO

Temporal and spatial variations of the aurora morphology in association with substorm have been studied for more than half century. In this study we focus on pulsating aurora, which is characterized by quasi-periodic oscillations in the emission intensity at periods of a few to tens of seconds, and auroral patches observed embedding in the pulsating aurora. Both types of aurora are known as typical phenomena at the recovery phase of substorm, especially from midnight to dawn. It is known that these types of aurora are often accompanied by energetic electron precipitation (EEP) exceeding several hundreds of keV [Miyoshi et al., 2015]. Elucidation of causality to produce pulsating aurora and EEP is an important theme to understand relationships between the radiation belt and upper-middle atmosphere of the earth. Analyzing measurements from satellite observations and ground-based optical/radio technique observations, the generation mechanism is thought to be mainly attributed to wave particle interactions due to plasma wave and electrons in the magnetosphere. In this study, we study relationships between auroral morphological changes, in particular spatiotemporal evolutions of patches and coinciding precipitations of the energetic electron.

Some previous studies have presented changes in morphology from diffuse aurora to finger like structures and dependence of magnetic local time of EEP [Shiokawa et al., 2014; Hosokawa and Ogawa, 2015]. The wave-particle interaction has been widely accepted with experimental evidences to support generation of pulsating aurora and EEP [Miyoshi et al., 2015; Kasahara et al., 2018]. However, our understanding has not yet reached its maturity of presenting spatiotemporal evolutions of auroral morphology and associated electron precipitation. Oyama et al. [2017] presented enhancements of cosmic noise absorption (CNA) coinciding with appearance of the patch structure but with only two events and the horizontal area to be analyzed was relatively narrow with several hundred kilometers. In this study, we conducted observations to capture simultaneously time evolutions and spatial distributions of auroral morphology and EEP by utilizing a network of Electron Multiplying Charge Coupled Device (EMCCD) cameras operated by Japan and riometers operated by Finland in Scandinavia.

This study will present two events (March 6-7 and 29-30, 2017) with pulsating aurora and auroral patches. For the camera count of the portion where the overlapping the EMCCD camera and the field of view of the riometer, running average processing is performed to remove the luminance fluctuation with a period of 40 seconds or more. After that, frequency analysis is performed, and spectra at each time are calculated. Among the frequency components, the spectrum of the emission intensity around the main pulsation was extracted by removing the frequency component from 1 to 5 Hz corresponding to the internal modulation of the pulsating aurora, and was integrated in the frequency direction. The results were compared with the CNA. From the transmission characteristics of the optical filter attached to EMCCD, the aurora measured by EMCCD camera is considered to be emission layer around 100 km altitude represented by molecular nitrogen emission. On the other hand, although the sensitivity characteristic of the riometer has a gradual dependence on the altitude, it may be considered that the measured CNA fluctuates in accordance with the variations of the electron density around the altitude of 90 km. Thus, although the altitude represented by each device is different, the relationship between the CNA and the intensity of the main pulsation has a linear relationship of similar inclination before and after changes aurora morphology. This result indicates that the main pulsation synchronized with the precipitating electrons of several tens of keV changes the CNA.

サブストームに関連したオーロラの形態の時間変化や空間分布は半世紀以上にわたり研究されてきた。比較的明るく、東西方向に伸展した形状をしたディスクリットアークや、それよりは輝度が低く、しかしかなりの広範囲に分布するディフューズオーロラなど、様々なオーロラの種類が知られている。そのなかでも、数秒から数十秒の周期で輝度が明滅する脈動オーロラや、その周辺に出現するパッチ状のオーロラは、サブストームの回復相、特に、真夜中から明け方にかけて現れ、数百 keV を超える高エネルギーの電子降下 (Energetic Electron Precipitation) を伴っていることが知られている。脈動オーロラと高エネルギー電子降下の発生メカニズムの解明は、放射線帯と地球超高層・中層大気との関係を知る上で重要なテーマであり、あらせ衛星を始めとする衛星観測や、地上光学・電波観測による研究の結果、磁気圏のプラズマ波動と電子による波動粒子相互作用が主要因と考えられている。本研究では、地上から観測された脈動オーロラ、特に、空間構造がパッチ状に変化していく過程と、高エネルギー降下電子の時間・空間発展との関係に着目する。

ディフューズオーロラがあるときを境に構造を細分化させ、所謂、指状構造へと遷移する現象 [e.g., Shiokawa et al., 2014] や、高エネルギー降下電子の磁気地方時依存性 [e.g., Hosokawa and Ogawa, 2015] が報告されている。また、脈動オーロラや EEP の生成機構として、波動粒子相互作用が広く受け入れられている [Miyoshi et al., 2015; Kasahara et al., 2018]。

しかし、我々の理解はまだオーロラの形態やそれに関連する電子降下の時空間的發展について十分ではない。Oyama et al. [2017] では、パッチ構造の出現に合わせ、CNA (cosmic noise absorption) が増加することを示したが、2例のみの事例解析結果であり、解析対象の空間領域が水平数百 km と、比較的狭かった。そこで本研究では、北欧に日本が展開した EMCCD (Electron Multiplying Charge Coupled Device) カメラと、フィンランドが運用するリオメータのネットワークを活用し、オーロラ形態と高エネルギー降下電子の時間發展と空間分布を同時にとらえる観測実験を実施した。

本研究ではソダンキュラ上空で脈動オーロラとオーロラパッチが出現した2イベント (2017年3月6-7日、3月29-30日) を解析しその結果について報告する。EMCCD カメラとリオメータの視野が重複する部分のカメラカウント値に対し、走査平均処理を行うことで40秒以上の周期の輝度変動を取り除いた後、周波数解析を行い、各時刻におけるスペクトルを計算した。周波数成分の内、脈動オーロラの内部変調に相当する1-5Hzの周波数成分を取り除いた、主脈動を中心とした発光強度のスペクトルを抽出し、それを周波数方向に積分した。この計算結果とソダンキュラのリオメータが観測したCNAとの比較を行った。EMCCDに取り付けられた光学フィルターの透過特性から、本EMCCDカメラが測定したオーロラは、窒素分子発光 (例: 427.8 nm) に代表される高度100km付近の発光と考えられる。一方、リオメータの感度特性は高度に対して緩やかな依存性があるものの、測定されるCNAは高度90km付近の電子密度の変動に順じて変動すると考えてよい。このことから、EMCCDカメラとリオメータは、異なる高度の電離と励起を代表する、すなわちEMCCDカメラのカウント値の方がリオメータ測定のCNAよりも、低いエネルギーの降下電子に応答する傾向があると言える。このように各装置が代表する高度が違うにも関わらず、CNAと主脈動の強度の関係は、オーロラの形態変化の前後で同様の傾きの線形関係となった。この結果は、光で見る脈動と同期する数十keVの電子の降込みが、CNAの変動、つまり高度約90kmのD領域の電子密度を変動させることを示している。またスカンジナビア半島のカメラネットワークを使用することでさらに広範囲の数十keVのEEPの時間的發展や空間分布を観測するための手段として發展していくことが期待される。