

R006-21

A 会場 : 11/27 AM2 (10:30-12:00)

11:45~12:00

リオメータとカメラ観測による磁気嵐時の降下電子エネルギーの推定

#高野 向陽¹⁾, 細川 敬祐¹⁾, 大山 伸一郎^{2,3)}, 田中 良昌³⁾, Kero Antti⁴⁾, 三好 由純²⁾, 小川 泰信³⁾, 吹澤 瑞貴³⁾, 栗田 怜⁵⁾

¹⁾ 電通大, ²⁾ 名大 ISEE, ³⁾ 極地研, ⁴⁾ ソダンキラ地球物理観測所, ⁵⁾ 京都大学 生存研

Estimation of energy of precipitation electrons during magnetic storms by riometer and camera observations

#Koyo Takano¹⁾, Keisuke Hosokawa¹⁾, Shin ichiro Oyama^{2,3)}, Yoshimasa Tanaka³⁾, Antti Kero⁴⁾, Yoshizumi Miyoshi²⁾, Yasunobu Ogawa³⁾, Mizuki Fukizawa³⁾, Satoshi Kurita⁵⁾

¹⁾The University of Electro Communications, ²⁾Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University, ³⁾National Institute of Polar Research, ⁴⁾Sodankylä Geophysical Observatory, ⁵⁾Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

Auroras are broadly classified into two categories: discrete auroras, which have clear and distinct shapes, and diffuse auroras, which have vague and blurred shapes. Among diffuse auroras, those that exhibit quasi-periodic brightness modulations are known as "Pulsating Aurora (PsA)." The appearance of PsA is often accompanied by a large-scale wavy auroral structure called the "omega band." Recent studies have shown that highly energetic electrons of radiation belt origin sometimes precipitate into the atmosphere during the appearance of PsA. To further investigate this phenomenon, we examine the correlation between auroral emission intensities and Cosmic Noise Absorption (CNA). Additionally, by using an atmospheric model to quantitatively calculate CNA and the absorption spectral index, we will explore the relationship between the index, the energy of precipitating electrons, and the ionization altitude. Through this approach, we aim to estimate the energy of precipitating electrons at riometer observation sites, using CNA as a proxy, and then visualize the characteristics of the energy of precipitating electrons in a two-dimensional fashion within the observation area where cameras can detect emission intensity during the occurrence of omega bands.

In this study, we investigated the spatiotemporal variations of CNA associated with substorms that occurred during a geomagnetic storm by combining observations from high-speed EMCCD all-sky cameras installed at four locations in Scandinavia (Tromsø, Tjautjas, Sodankylä, and Kevo) and spectral riometers located at five stations in the same region (Abisko, Kilpisjärvi, Sodankylä, Kevo, and Oulu). Specifically, we analyzed two substorms that occurred during a Coronal Mass Ejection (CME) type large geomagnetic storm on March 23-24, 2023. We found that the torch structures of the omega bands drifted eastward quasi-periodically across the cameras' fields of view of the cameras. A comparison between the temporal variations in CNA and optical data indicated that CNA significantly increased when the torch structures passed through the riometers' sensing areas. Additionally, by directly comparing the spatial structure of the omega bands with CNA variations at the five locations, we discovered that CNA increased not in regions of discrete auroras along the omega band's edge, but within and outside the torch structures filled with diffuse auroras. Furthermore, during the substorm on the 24th, ground-based observations from the European Incoherent Scatter radar (EISCAT) revealed stepwise variations in the altitude distribution of electron density, suggesting the presence of high-energy electron precipitation causing ionization at lower altitudes. In the presentation, we will focus on the latitudinal distribution of auroras during geomagnetic storms, with a particular emphasis on omega bands, through visualizing them through wide-area imaging, and highlighting the increase in CNA observed during such events. Additionally, using the GLOW model, we will theoretically calculate CNA and derive the absorption spectral index in relation to characteristic energy, thereby clarify the relationship between the absorption spectral index, the specific energy of precipitating electrons, and the ionization altitude caused by these electrons. Finally, we will estimate the energy of precipitating electrons based on observation data from multiple riometers and discuss its validity as well as its relationship with the spatial structure of auroras.

オーロラは、明瞭な形をしたディスクリートオーロラと、曖昧な形をしたディフューズオーロラに分類される。ディフューズオーロラの中でも準周期的に明滅を繰り返すものを「脈動オーロラ (Pulsating Aurora: PsA)」と呼ぶ。PsA の出現に伴い「オメガバンド」と呼ばれる波状のオーロラ構造が見られることがある。近年の研究によって、PsA の発生に伴って PsA を光らせる電子だけでなく、放射線帯に起源を持つ高エネルギー電子が降下していることが明らかとなった。しかし、これまでの研究では、オメガバンド発生時の放射線帯電子降下のエネルギーや時空間分布が十分に明らかとなっていないとは言えない。本研究では、2023 年 3 月に発生した大規模な磁気嵐時に観測されたオメガバンドについて、スペクトルリオメータを用いた銀河電波吸収 (Cosmic Noise Absorption: CNA) の同時観測を行い、カメラによって観測された発光強度との相関を調査する。また、大気モデルを用いて、CNA および吸収スペクトル指数を定量的に算出することにより、指数と降下電子エネルギー、電離高度の関係を検討する。これにより、CNA を仲介とすることでリオメータ設置地点における降下電子のエネルギーを推定し、オメガバンド発生時にカメラが発光強度を検出できる観測領域の降下電子のエネルギー特性を二次元的に可視化することを目的とする。

本研究では、北欧の 4 地点 (Tromsø, Tjautjas, Sodankyla, and Kevo) に設置されている EMCCD 高速撮像全天カメラと、同じく北欧の 5 地点 (Abisko, Kilpisjarvi, Sodankyla, Kevo, and Oulu) に設置されているスペクトルリオメータの観測

を組み合わせることによって、磁気嵐時に発生したサブストームに伴う CNA の時空間変動を調べた。具体的には、2023 年 3 月 23-24 日にかけて発生したコロナ質量放出 (Coronal Mass Ejection: CME) 型の規模の大きい磁気嵐の主相から回復相にかけて発生した二つのサブストームの事例について解析を行った。まず、真夜中から明け方のローカルタイムにかけて、オメガバンドを構成するトーチ構造が準周期的に発生し東向きにドリフトしていたことが分かった。EMCCD 全天カメラによって得られた全天画像から作成したケオグラムとスペクトルリオメータから得られた CNA 強度の時間変化を比較した結果、トーチ構造がリオメータの観測領域を通過するタイミングで CNA が顕著に増大していたことが明らかになった。また、オメガバンドの空間構造と 5 地点で得られた CNA 観測データを直接的に比較することにより、観測領域の低緯度側は高緯度側に比べ CNA の増強が激しいことが分かった。さらに、3 月 24 日に発生した二つ目のサブストームでは、欧州非干渉散乱レーダー (European Incoherent SCATer rader: EISCAT) による地上観測から、電子密度の高度分布の段階的な変動が確認された。これは、低高度で電離を引き起こす高エネルギー電子降下の存在を示唆する。発表では、磁気嵐発生時のオーロラの緯度分布を、オメガバンドに焦点を当てながら広域撮像により可視化し、イベント中に発生する CNA の増大現象との関連について報告する。また、多流体発光計算モデル (GLOW モデル) を用いて CNA を理論的に算出し、特性エネルギーと吸収スペクトル指数の関係を導出することにより、吸収スペクトル指数と降下電子の具体的なエネルギー、降下電子が引き起こす電離高度の関係を示す。それらに基づいて、多地点リオメータの観測データから降下電子エネルギーを推定し、その妥当性やオーロラの空間構造との関係性について議論する。