

磁気嵐中に発生したオメガバンドオーロラに伴う放射線帯電子降下の時空間変動: 多周波リオメータ, EMCCD 全天カメラによる同時観測

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

(¹⁾ 電通大, (²⁾ 名大 ISEE, (³⁾ 極地研, (⁴⁾ Sodankylä Geophysical Observatory, (⁵⁾ 京都大学 生存研

Energetic electron precipitation associated with omega-band auroras during a magnetic storm

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

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

Auroras are classified into two broad categories: discrete auroras, which have a clear and distinct shape, and diffuse auroras, which have a vague and blurred shape. Most diffuse auroras show quasi-periodic brightness modulations, which are known as "Pulsating Aurora (PsA)". Along with the appearance of PsA, a large-scale wavy auroral structure called the "omega band" is often identified. Recent studies have demonstrated that highly energetic (sub-relativistic) electrons of radiation belt origin sometimes precipitate into the atmosphere during appearance of PsA and omega band. To date, however, the spatial distribution of such electron precipitations during omega bands has not yet been clarified in detail. In particular, characteristics of electron precipitation during a storm-time omega band has not been investigated due to a lack of good examples during large geomagnetic storms. One of the possible methods to reveal this issue is to visualize the spatial distribution of ionization in the lower ionosphere by combining optical data from ground-based all-sky cameras and the Cosmic Noise Absorption (CNA) measurements by riometers.

In this study, we investigated the spatiotemporal variations of CNA associated with omega bands that occurred during a geomagnetic storm by combining the observations of high-speed EMCCD all-sky cameras with a temporal resolution of 100 Hz, installed at four locations in Scandinavia (Tromsø, Tjautjas, Sodankylä, Kevo), and spectral riometers installed at seven stations in the same region. Specifically, we examined an event of omega bands during a Coronal Mass Ejection (CME) type geomagnetic storm on March 23-24, 2023. By combining the optical data from the four EMCCD cameras, it was found that the torch structures of the omega bands drifted eastward quasi-periodically across the fields-of-view of the cameras. A comparison between the temporal variations of CNA and optical data indicated that the CNA significantly increased when the torch structures passed through the sensing areas of the riometers. Furthermore, by directly comparing the spatial structure of the omega bands and the CNA variations at the seven locations, we found that the CNA increased not in a region of discrete aurora along the edge of the omega band, but in regions inside and outside of the torch structure that was embedded in diffuse auroras. This suggests that harder electron precipitations, probably of radiation belt origin, occurs in the regions inside and outside the omega band structure where the morphology of aurora is more characterized by diffuse structures. In the presentation, we will discuss the spatial/temporal relationship between the storm-time aurora including the omega bands visualized by the wide-area imaging with the EMCCD cameras, and the synchronizing enhancements of CNA, as well as their relationship with magnetic field variations at the magnetospheric counter part responsible for the particle precipitation.

オーロラは、明瞭な空間構造を持つディスクリットオーロラと、曖昧な空間構造を持つ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 やオメガバンドの発生に伴って、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 (準相対論的電子) が降下していることが示唆されている。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時空間分布が十分に明らかとなっていない。特に、規模の大きい磁気嵐中に発生するオメガバンドに伴う降下電子の時空間変動は、観測事例が少ないために未だに明らかになっていない。本研究では、2023年3月に発生した磁気嵐時に観測されたオメガバンドについて、銀河電波吸収 (Cosmic Noise Absorption: CNA) を同時に観測することによって、磁気嵐時のオメガバンドに伴う下部電離圏の電離の二次元空間分布の動的特性を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, Sodankylä, Kevo) に設置されている100 Hzの時間分解能を有するEMCCD高速撮像全天カメラと、同じく北欧の7地点に設置されている多周波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オメガバンドに伴う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) 型の磁気嵐の主相から回復相にかけて発生したオメガバンドの事例について解析を行った。まず、北欧4地点のEMCCDカメラ群による光学観測データを結合することによって、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多周波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 7 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って、オメガバンドや、オメガバンドに内包される PsA のどの領域で放射線帯電子の降下が顕著であったかについても解析を行った。その結果、ディスクリートオーロラで構成されるオメガバンドの輪郭部分ではなく、ディフューズオーロラによって構成されるトーチ構造の内側や外側において CNA が増大していたことが分かった。このことは、オーロラの形態がよりディフューズになるオメガバンド構造の内外の領域において、放射線帯電子の降下が多いことを示唆する。発表では、広域撮像によって可視化されたオメガバンドを含む磁気嵐時に特徴的なオーロラ、およびそれに伴って発生した CNA 増大現象の緯度分布を示し、オメガバンドの構造と CNA の空間分布、粒子降下をつくりだす磁気圏側の磁場の変動の関連性について議論する予定である。