

脈動オーロラ OFF 時の輝度値の極端減少に関する統計解析

岸山 泰輝¹, 細川敬祐¹, 野澤悟徳², 小川泰信³, 大山伸一郎², 三好由純², 宮岡宏³, 藤井良一⁴

¹電気通信大学, ²名古屋大学宇宙地球環境研究所

³国立極地研究所, ⁴情報システム研究機構

Over-darkening pulsating aurora in OFF-time: statistical analysis

Taiki Kishiyama¹, Keisuke Hosokawa¹, Satonori Nozawa², Yasunobu Ogawa³, Shinichirou Oyama², Yoshizumi Miyoshi², Hiroshi Miyaoka³, Ryouichi Fujii⁴

¹UEC, ²ISEE, ³NIPR, ⁴ROIS

Pulsating aurora is a phenomenon during which the upper atmosphere at ~100 km altitude pulsates with a period ranging from a few to a few tens of second by quasi-periodic precipitation of high energy electrons from the magnetosphere. It has been suggested that the interaction between the chorus waves and energetic electrons near the equatorial plane of the magnetosphere has a potential to cause of luminosity modulation of pulsating aurora. This hypothesis is supported by the existence of one-to-one correspondence between quasi-periodic variations in the luminosity of pulsating aurora and intensity of chorus wave. Recent analyses of high time resolution ground-based optical observations has reported that the brightness of pulsating aurora decreases below the diffuse background level immediately after the switch-off of the main optical pulsation (e.g., Kataoka et al. [2012], Dahlgren et al. [2017]). To date, however, the statistical properties of such “over-darkening pulsating aurora” have not been investigated in detail; thus, the origin of this phenomenon is still unclarified.

In this paper, we derive the characteristics of the over-darkening pulsating aurora by performing a statistical analysis using several ground-based/satellite observations, and then try to understand whether this phenomenon is directly associated with the fundamental characteristics of chorus waves. The optical instruments employed in this study are the 5-channel photometer and an EMCCD all-sky camera in Tromsø, Norway (69N, 19E, 66MLAT) which have been operative since last winter season. The field-of-view of the 5-channel photometer is directed along the local magnetic field line and it measures the emission intensity of aurora/airglow at 5 wavelengths (427.8, 557.7, 670, 777.4, 844.6 nm) with a temporal resolution of 20 Hz. The EMCCD all-sky camera captures auroral emission with a temporal resolution of 100 Hz. In addition to these instruments, the wave instruments onboard the THEMIS spacecraft are used for analyzing the chorus wave with a temporal resolution of 1 Hz. In the analysis, we made simple time-series plots of data from the 5-channel photometer, EMCCD camera, and computed the occurrence frequency of the over-darkening pulsating aurora. The statistical analysis using data from one winter season indicates that ~15% of all the ON/OFF pairs of pulsating aurora over-darken immediately after their ON phase. Interesting point is that we have identified at least one over-darkening pulsating aurora during all the intervals analyzed so far, which means that over-darkening is a common characteristic of pulsating aurora.

An additional analysis using the THEMIS satellites indicates that similar characteristics are sometimes seen in the time-series of the chorus wave amplitude. However, their occurrence frequency is likely to be smaller than that seen on the ground. In the presentation, we discuss the origin of over-darkening of pulsating aurora based on the statistical results, and suggest a model explaining their generation mechanism.

脈動オーロラは、磁気圏から高エネルギーの電子が準周期的に降り込むことによって、高度 100 km 付近の超高層大気が数秒から数十秒の周期で明滅する現象である。脈動オーロラの明滅を作り出す電子の降下は、準周期的に強度が変動する磁気圏コーラス波動との相互作用（ピッチ角散乱）によって生じると考えられている。特に、脈動オーロラの準周期的な輝度変化とコーラス波動の強度変化の間に 1 対 1 対応があることが示されており、脈動オーロラと磁気圏における波動粒子相互作用の間に密接な関連性があることが指摘されている。近年の高時間分解能光学観測データの解析から、脈動オーロラの主脈動が ON から OFF、または OFF から ON に切り替わる時に、発光強度が背景の発光強度のレベルよりも低くなる事例が報告されている (e.g., Kataoka et al. [2012], Dahlgren et al. [2017])。しかし、コーラス波動と脈動オーロラの対応関係を研究する際に、このような「OFF の間に暗くなりすぎる」傾向に着目してデータが解析されたことは無く、その原因については未だに明らかにされていない。

本研究は、脈動オーロラの明滅が「OFFの間に暗くなりすぎる」事例について、地上光学観測の統計解析を行うことで、発生頻度などの性質を明らかにすることを目的とする。また、衛星によるコーラス波動の観測データについても解析を行い、暗くなりすぎる性質がコーラス波動そのものの性質に起因するのかどうかを検討する。本研究で用いる地上観測装置は、ノルウェー・トロムソ（緯度:69°，経度:19°，磁気緯度:66°）において今年の冬期シーズンから稼働を開始した5チャンネルフォトメータと電子倍増型 CCD (EMCCD) 全天カメラである。5チャンネルフォトメータは磁力線方向を 20 Hz の時間分解能で観測しており、オーロラの発光強度を 5 つの波長 (427.8, 557.7, 670, 777.4, 844.6 nm) に分けて計測している。また、EMCCD 全天カメラは、オーロラ発光を 100 Hz という高い時間分解能で撮像している。これらに加え、NASA の THEMIS 衛星によって 1 秒の時間分解能で取得された電磁界波動を用いることで、コーラス波動の解析も行う。

まず、5チャンネルフォトメータが稼働を開始したあとに観測された全 18 晩分の脈動オーロラの実例について、OFFの間に減りすぎる事例がどの程度の頻度で発生しているかを調べた。その結果、検出された全ての ON/OFF ペアのうちの約 15% が、OFF 時に輝度が背景よりも減りすぎる傾向を示していることが分かった。また、これまでに解析を行った計 18 晩（総観測時間 95 時間）については、OFF 時に輝度が減りすぎる事例が見られない晩は存在しなかった。これらに加える形で、THEMIS 衛星によって得られたコーラス波動の強度変動の時系列データを解析したところ、地上光学観測と類似の OFF 時に電磁界強度が減りすぎる傾向が見られていることが分かった。但し、その頻度は、地上光学観測で見られているものよりも低いことが明らかになりつつある。今後、地上、衛星双方の観測について 1 シーズン分のデータを用いた統計解析を行うことでこの傾向を確認する予定である。また、OFF 時に減りすぎるという性質がどのような条件のもと（輝度、MLT など）で発現するのかについても調べる予定である。発表では、脈動オーロラの発光強度が OFF の時に減りすぎるという性質が、コーラス波動そのものの性質によるものなのか、波動粒子相互作用によって散乱を受ける電子のピッチ角分布によるものなのかを議論し、その発現メカニズムに関するモデルを提案する。