

R006-04

A 会場 : 9/25 PM1 (13:45-15:30)

14:30~14:45

脈動オーロラの空間構造と降下電子エネルギーの制御に関するコーラス波ダクト伝搬の役割

#伊藤 ゆり¹⁾, 細川 敬祐¹⁾, 小川 泰信^{2,5)}, 三好 由純³⁾, 土屋 史紀⁴⁾, 吹澤 瑞貴²⁾, 村瀬 清華⁵⁾, 大山 伸一郎^{2,3)}, 中村 紗都子³⁾, 笠原 禎也⁶⁾, 松田 昇也⁶⁾, 笠原 慧⁷⁾, 堀 智昭³⁾, 横田 勝一郎⁸⁾, 桂華 邦裕⁷⁾, 篠原 育⁹⁾
(¹⁾ 電通大, (²⁾ 極地研, (³⁾ 名大 ISEE, (⁴⁾ 東北大学, (⁵⁾ 総研大, (⁶⁾ 金沢大学, (⁷⁾ 東京大学, (⁸⁾ 大阪大学, (⁹⁾ 宇宙研/宇宙機構

Possible roles of ducted propagation of chorus waves in controlling the characteristics of pulsating aurora

#Yuri Ito¹⁾, Keisuke Hosokawa¹⁾, Yasunobu Ogawa^{2,5)}, Yoshizumi Miyoshi³⁾, Fuminori Tsuchiya⁴⁾, Mizuki Fukizawa²⁾, Kiyoka Murase⁵⁾, Shin ichiro Oyama^{2,3)}, Satoko Nakamura³⁾, Yoshiya Kasahara⁶⁾, Shoya Matsuda⁶⁾, Satoshi Kasahara⁷⁾, Tomoaki Hori³⁾, Shoichiro Yokota⁸⁾, Kunihiko Keika⁷⁾, Iku Shinohara⁹⁾

(¹⁾UEC, (²⁾NIPR, (³⁾ISEE/Nagoya Univ., (⁴⁾Tohoku Univ., (⁵⁾SOKENDAI, (⁶⁾Kanazawa Univ., (⁷⁾Univ. of Tokyo, (⁸⁾Osaka Univ., (⁹⁾ISAS/JAXA

Most of the diffuse auroras are known to show a quasi-periodic luminosity modulation called pulsating aurora (PsA). Magnetospheric electrons causing PsA are generally scattered through wave-particle interactions with whistler-mode chorus waves in the magnetosphere and precipitate into the ionosphere, being referred to as "PsA electrons". Previous studies clarified that sub-relativistic electrons originating from the radiation belt also precipitate down to lower altitudes together with PsA electrons, and strongly ionize the middle atmosphere [Miyoshi et al., 2015]. Recent numerical simulations suggested that precipitation of PsA electrons having an energy of tens of keV to sub-relativistic range require chorus waves to propagate to higher magnetic latitudes (MLAT) of ~20 deg and to resonate with the trapped highly energetic electrons [Miyoshi et al., 2015, 2020]. However, there have been no simultaneous observations of PsAs and chorus waves showing such propagation to high latitudes; thus, we still do not quite well understand under what conditions PsA electrons become harder and precipitate down to lower altitudes.

To address this issue, we have investigated a PsA event from 02:10 to 04:15 UT on January 12, 2021, during which simultaneous observations with the Arase satellite, ground-based all-sky imagers and the European Incoherent SCATter (EISCAT) radar were conducted. Analyzing the simultaneous measurements, we tried to clarify the relationship between the morphology of PsA and the energy of PsA electrons, and then to understand what factors control the relationship. One of the main results is that, when the shape of PsA was patchy, the energy of the corresponding PsA electrons exceeded tens of keV. In addition, during this interval of relatively harder precipitation, chorus waves were observed by PWE/OFA on-board Arase at MLAT higher than 20 deg. Furthermore, 1) the energy flux of scattered electrons obtained by Medium-Energy Particle Experiments – Electron Analyzer: MEP-e onboard Arase, 2) the filling ratio of loss cone at the satellite location, and 3) the energy flux of PsA electrons estimated from EISCAT showed similar temporal variations. On the basis of these observational results, we hypothesize that the spatial structure of PsA and the energy of PsA electrons are controlled by the existence of "density ducts," which are tube-like regions where the electron density is lower or higher than the surrounding area. Those structures guide chorus waves along the magnetic field, allowing them to propagate to higher MLAT. In order to test this hypothesis, we compared the irregularity of the background electron density measured by Arase in the magnetosphere with the emission intensity of PsA patches at the spacecraft's footprint. The irregularity of ~2–18% in the electron density possibly due to the existence of ducts show a good spatiotemporal correspondence with the emission intensity of PsA patches, which supports the above-mentioned hypothesis. However, the current hypothesis was proposed based on a single case study, and its universality, the background parameters and the physical process have not yet been understood well. To further test the hypothesis, we conducted a similar comparison using waves/particle data in the magnetosphere and the ionization profiles and optical data in the ionosphere obtained during other conjugate observations of PsA. In the presentation, we will show the observational results from multiple event analyses and discuss the background parameters of the ducts, the formation process, and the validity of the ducts as one of the factors controlling the morphology of PsA and the energy of the PsA electrons.

ディフューズオーロラの多くは、脈動オーロラ (Pulsating Aurora: PsA) と呼ばれる準周期的な輝度変調を示すことが知られている。PsA の発光をつくり出す磁気圏電子は、一般に磁気赤道面付近で発生する自然電磁波「ホイッスラーモードコーラス波」との波動粒子相互作用によって散乱され電離層に降下し、「PsA 電子」と呼ばれる。これまでの研究によって、放射線帯を起源とする相対論的な電子も PsA 電子とともに低高度まで降下し、中層大気を強く電離することが明らかにされている (Miyoshi et al., 2015)。近年の数値シミュレーションでは、数十 keV を超える準相対論的なエネルギーを持つ PsA 電子の降下には、コーラス波動が磁気緯度 (MLAT) ~20° の高緯度まで伝搬し、磁気圏に捕捉されている高エネルギー電子と共鳴することが必要であることが示されている (Miyoshi et al., 2015; 2020)。しかし、PsA とコーラス波動の同時観測で、このような高緯度への伝搬を示す事例はなく、どのような条件下で PsA 電子のエネルギーが準相対論的になり、低高度まで降下するかは明らかになっていない。

この問題を解決するために、あらせ衛星・地上光学・EISCAT レーダーによる PsA の同時観測が成立し、PsA の形態遷移が顕著であった 2021 年 1 月 12 日 02:10–04:15 UT の事例について解析を行なった。これにより、磁気圏と電離圏で得られたデータの総合的な解析を通じて、PsA の形態と PsA 電子のエネルギーの関係を明らかにし、さらにその関係を制御する要因の解明を試みた。主な結果の一つは、PsA パッチ状の空間構造を持つ場合、対応する PsA 電子のエネルギーが数十 keV を超え 100 keV に近い値（準相対論的）となっていたことである。また、この比較的高いエネルギーを持った PsA 電子が降下していた時間帯において、あらせ衛星は高磁気緯度（MLAT >20°）でコーラス波を観測していた。さらに、1) あらせ衛星の中間エネルギー電子分析器（MEP-e）によって得られた磁気圏電子のエネルギーフラックス、2) 磁気圏電子のロスコーン充填率、3) EISCAT レーダーによる電離分布から推定された PsA 電子のエネルギーフラックスの間には、時間変動に良い相関が確認された。これらの観測結果から、PsA の空間構造と PsA 電子のエネルギーは「密度ダクト（電子密度が背景密度よりも数 % から数十 % 高い、あるいは低い管状の領域）」の存在によって制御されているという仮説を立てた。磁気圏における電子密度のダクト構造は、コーラス波が磁場に沿ってより高い磁気緯度へ伝搬することを可能にすると考えられている。この仮説を検証するために、あらせ衛星から得られた電子密度の不規則性と、電離圏高度 100 km の衛星のフットプリントにおける PsA の発光強度を比較したところ、密度ダクトの存在に起因すると考えられる電子密度の不規則性（～2–18%）と PsA パッチに対応した発光強度の時空間変動が良く対応しており、上記の仮説を支持する結果が得られた。しかし、この「密度ダクト仮説」は単一の事例から提唱されたものであり、その普遍性、および背景パラメータに対する依存性や物理過程は十分に理解されていない。そこで、他の PsA の地上-衛星同時観測イベントについても同様に、磁気圏の波動や電子のデータ、電離圏の電離高度分布、PsA パッチに対応した発光強度の比較・解析を実施した。本発表では、その具体的な観測結果を示しながら、PsA の形態と PsA 電子のエネルギーを支配する要因の一つと考えているコーラス波ダクト伝搬の背景にある磁気圏や電離圏におけるパラメータや物理過程、およびその妥当性について議論する予定である。