

宇宙空間のプラズマ波動の源を可視化する 「リング状に拡大する脈動オーロラ」を世界で初めて発見

【ポイント】

- * わずか数秒の間に、全方位へ急速に拡大してリング状の構造を形成する特異なオーロラを北欧に設置された高速カメラと、宇宙空間を飛翔する探査衛星「あらせ」(ERG)によって世界で初めて観測
- * 地上から観測されたオーロラの拡大と、衛星が捉えたプラズマ波動(コーラス波)の検出タイミングが一致したことから、コーラス波の波源が拡大していることを発見
- * 地上で観測されるオーロラの形状変化が、宇宙空間のプラズマ波動発生源の時空間変化をスクリーンのように映し出していることを示唆

【概要】

電気通信大学大学院情報理工学研究科情報・ネットワーク工学専攻/宇宙・電磁環境研究センターの細川敬祐教授と、名古屋大学、国立極地研究所、京都大学、金沢大学、東北大学などを中心とする国際共同研究グループは、フィンランドのソダンキュラに設置されている全天型オーロラ撮像装置と、地球磁気圏を観測する探査衛星「あらせ」(ERG) (※1)による観測によって、これまでに報告例のない「リング状に急速拡大する脈動オーロラ (※2)」の観測に成功しました。宇宙や地上からの観測を統合的に解析することによって、この巨大なリング状のオーロラは、宇宙空間で発生する自然のプラズマ波動である「コーラス波 (※3)」の波源領域そのものが急速に拡大することによってつくられたものであることを突き止めました。また、地上からの高時間分解能光学観測によって、オーロラの拡大とコーラス波の検出タイミングの遅延が一致することも明らかにしました。この現象は、宇宙空間のコーラス波の発生源の時空間変動をスクリーンのように映し出している可能性があり、脈動オーロラを地上から観測することが、宇宙空間のプラズマ変動のイメージングに繋がることが期待されます。

この研究成果は、2026年6月に、学術論文誌「AGU Advances」のオンライン版に掲載されました。

【背景】

脈動オーロラは、極域においてオーロラサブストーム(オーロラ爆発)の回復相に現れる、数秒から数十秒の周期で明滅を繰り返すパッチ状のオーロラです。この脈動オーロラは、地球の磁気圏赤道面付近の宇宙空間で発生する「コーラス波」と呼ばれる自然のプラズマ波動が、高いエネルギーを持った電子を散乱させ、大気へと降下させることによって発生します。これまで、脈動オーロラの時間変化については多くの研究が行われてきましたが、空間的な形状がどのように変化するか、またそれを決定づける宇宙空間の要因が何なのかについては十分に解明されていませんでした。

【手法】

本研究は、フィンランド北部のソダンキュラで運用されている高感度・高時間分解能の電子増倍型 CCD (EMCCD) 全天カメラ (図 1) と、同時刻に磁気圏を飛翔していた「あらせ」の観測データを組み合わせることによって実施されました。EMCCD 全天カメラは、コンピュータによる自動制御によって連続的に観測が行われていますが、本成果は、2017 年 3 月に「あらせ」がカメラの視野内において観測を実施した際に得られたデータを解析することによって得られました。



図 1: フィンランドのソダンキュラにおいて運用されている EMCCD 全天カメラ (中央部分)。
1 秒間に 100 枚のオーロラ画像を取得することができます。

【成果】

全天カメラの画像から、パッチ状オーロラが放射状に全方位へ拡大した直後に中心に暗い穴（ダークホール）が現れ、細いリング状の構造を形成する未知の脈動オーロラを撮像することに世界で初めて成功しました（図 2）。このリングの拡大プロセスは非常に速く、わずか 10 秒間の間に完了しており、電離圏高度における拡大速度は秒速数十キロメートル以上に達していました。このような短時間でのオーロラの形状変化の可視化は、高感度カメラによって 1 秒間に 100 枚の画像を取得する世界最速のオーロラ観測によって、初めて達成されました。

リング状脈動オーロラの形成プロセス（7 秒間の連続画像）

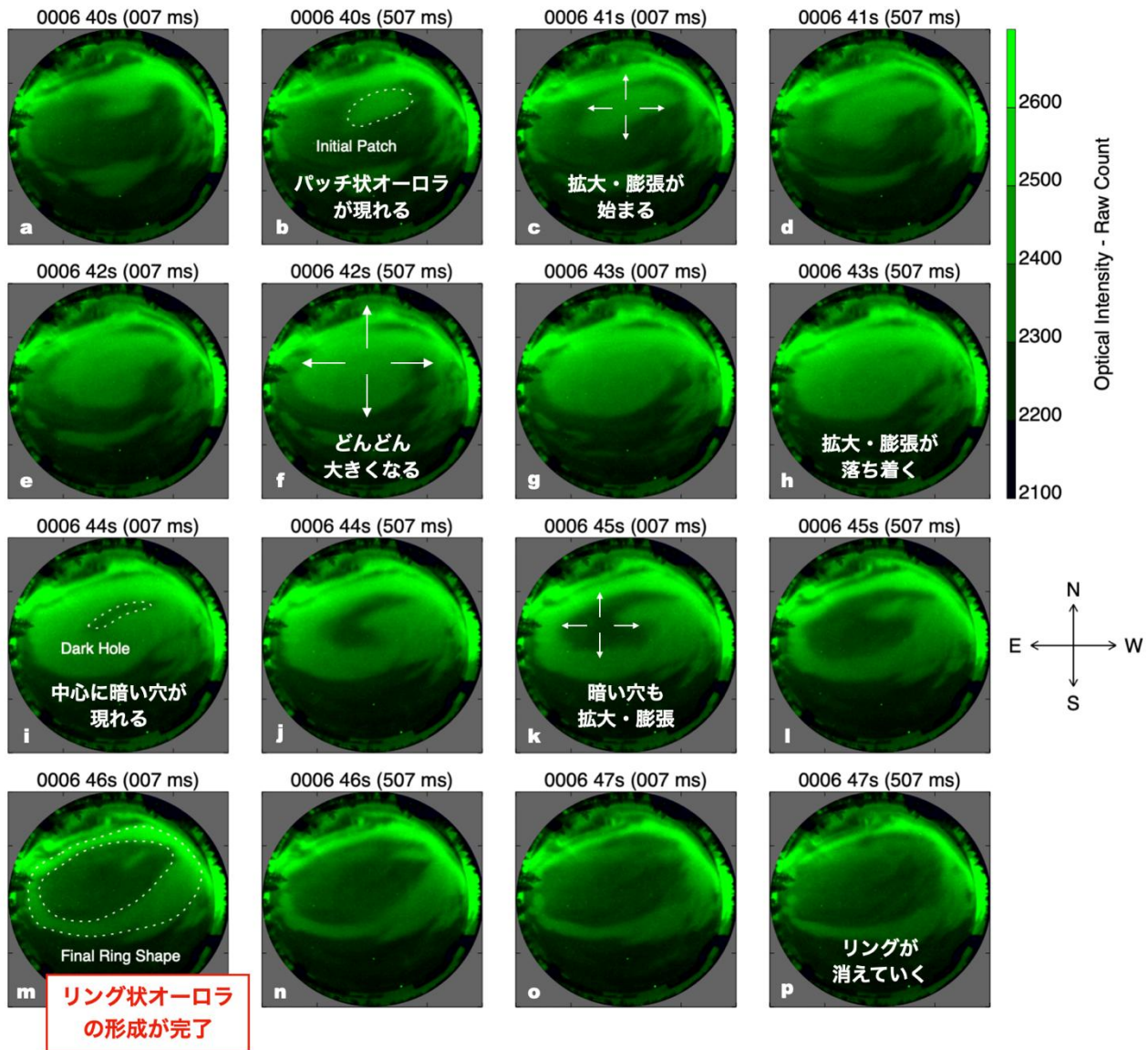


図 2: 500 ミリ秒毎に取得されたオーロラの連続画像。パッチ状のオーロラが出現し、円弧状に拡大しながら、最終的にはリング状の構造になる様子を示しています。

また、「あらせ」の観測データでは、コーラス波の連続的な強度上昇が記録されており、図3に示すように、パッチ状オーロラを中心から少し離れた領域に位置していた「あらせ」が、リングの拡大に一致するように、数秒の時間遅れをもって、コーラス波の強まりを検出していたことが確認されました。このことは、パッチ状脈動オーロラの拡大プロセスが、宇宙空間におけるコーラス波の波源領域そのものの急速な拡大を反映していたことを示しています。さらに、本研究グループは、この急速な波源の拡大を引き起こす要因として、プラズマ中を伝わる磁気流体力学波動の一種である「速進磁気音波（ファストモード波）」が関与している可能性を提唱しました。

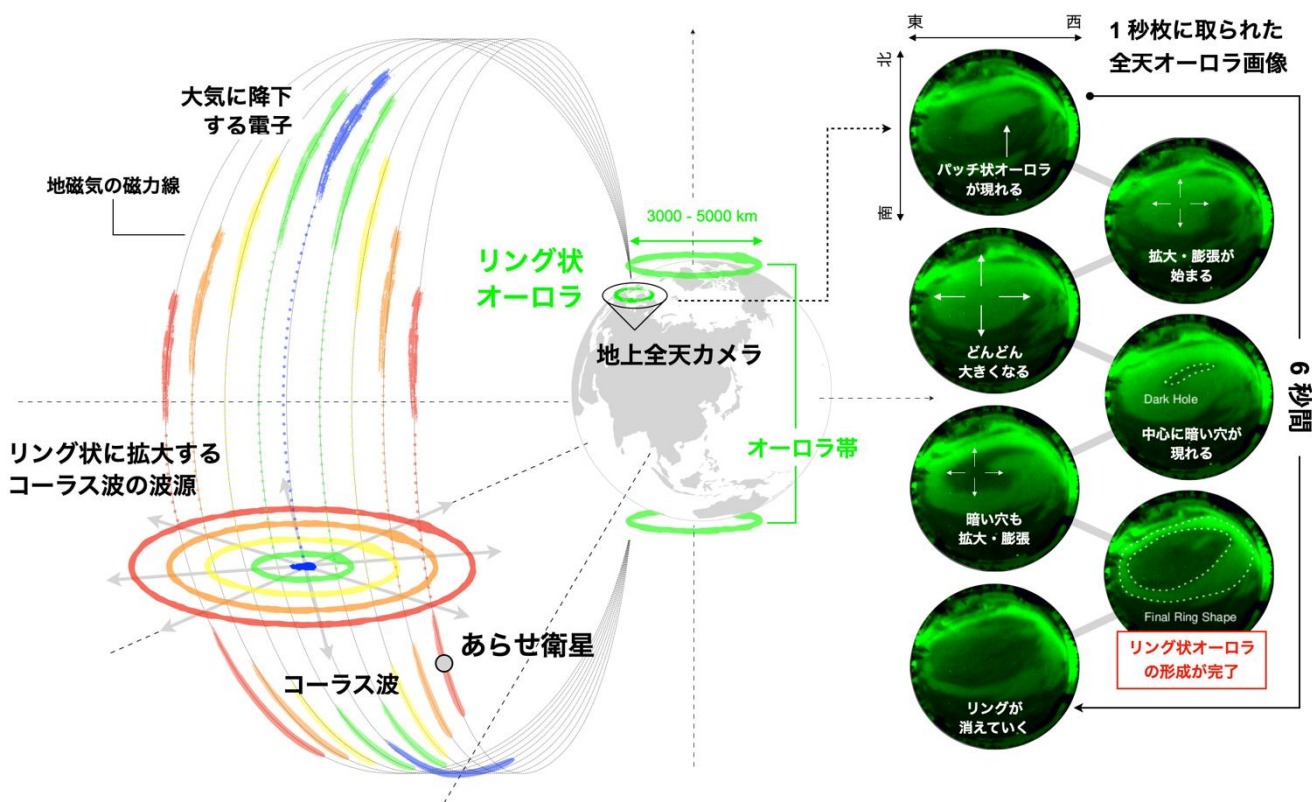


図3: 円弧状に拡大するオーロラの発現メカニズムの概略図。宇宙空間（磁気圏）において、コーラス波の波源が円弧状に拡大し、そこから発生した波動が電子を散乱することで、オーロラがリング状の空間構造を持つようになることを示しています。

【今後の期待】

本研究によって、地上からの高解像度の観測によって、磁気圏におけるプラズマの擾乱が波動を通じて急速に伝播し、それが超高層大気で観測されるオーロラの形状を直接的に制御していることが明らかにされました。これにより、地上に設置したカメラによる広域のオーロラ観測網を用いることで、地球周辺の放射線帯などにおける高エネルギー電子のダイナミクスを遠隔からモニター（可視化）する新しい手法への応用が期待されます。また近年、木星探査機によって木星の極域オーロラでも同様の円状に拡大する構造が発見されており、本研究のアプローチは他の惑星におけるオーロラの構造形成メカニズムの理解にも繋がることを期待されます。

【共同研究グループ】

- 細川 敬祐 電気通信大学大学院情報理工学研究科／宇宙・電磁環境研究センター 教授
栗田 怜 京都大学生存圏研究所 准教授
三好 由純 名古屋大学宇宙地球環境研究所 教授
大山 伸一郎 名古屋大学宇宙地球環境研究所 講師
小川 泰信 情報・システム研究機構 国立極地研究所 教授
尾崎 光紀 金沢大学理工研究域電子情報通信学系／先端宇宙理工学研究センター 准教授
笠原 禎也 金沢大学学術メディア創成センター／先端宇宙理工学研究センター 教授
笠羽 康正 東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻 教授
八木谷 聡 金沢大学理工研究域電子情報通信学系／先端宇宙理工学研究センター 教授
松田 昇也 金沢大学理工研究域電子情報通信学系／先端宇宙理工学研究センター 准教授
土屋 史紀 東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻 教授
熊本 篤志 東北大学大学院 理学研究科 地球物理学専攻 准教授
松岡 彩子 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター 教授
今城 峻 京都大学大学院理学研究科附属地磁気世界資料解析センター 助教
Tero Raita オウル大学ソダンキラ地球物理観測所 研究員
Esa Turunen オウル大学ソダンキラ地球物理観測所 名誉所長
高島 健 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 教授
篠原 育 宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 教授
藤井 良一 情報・システム研究機構 国立極地研究所 特任教授（名古屋大学 名誉教授）

【論文情報】

論文雑誌名 : AGU Advances

タイトル : Circularly expanding ring-shaped pulsating aurora visualizing the source of plasma waves in space

著者 : K. Hosokawa, S. Kurita, Y. Miyoshi, S.-I. Oyama, Y. Ogawa, M. Ozaki, Y. Kasahara, Y. Kasaba, S. Yagitani, S. Matsuda, F. Tsuchiya, A. Kumamoto, A. Matsuoka, S. Imajo, T. Raita, E. Turunen, T. Takashima, I. Shinohara, R. Fujii

DOI : 10.1029/2026AV002300

【外部資金情報】

本研究は 日本学術振興会科学研究費補助金（15H05747, 21KK0059, 21H04526, 22H00173, 22KK0046, 23H01229）の補助により行われました。

【用語説明】

※1：「あらせ」(ERG: Exploration of energization and Radiation in Geospace)

地球の放射線帯（ヴァン・アレン帯）の高エネルギー電子の生成・消失プロセスの解明を目的とした、日本のジオスペース探査衛星。

※2：脈動オーロラ

極域においてオーロラサブストームの回復相に現れ、数秒から数十秒の周期でパッチ状に明滅を繰り返すオーロラ。

※3：コーラス波

地球の磁気赤道面付近の宇宙空間で発生する自然の電磁気的なプラズマ波動。高エネルギー電子を散乱させ、降下させる役割を持つ。