

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分
平成30年3月15日現在

極限時間分解能観測によるオーロラ最高速変動現象の解明

The quest for the ultimate production mechanism of pulsating auroras with extremely high time resolution and coordinated observations from space and ground

課題番号：15H05747

藤井 良一 (FUJII RYOICHI)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・名誉教授



研究の概要

北極域に展開した高感度カメラネットワークによるオーロラの高速撮像、「あらせ」衛星による磁気圏観測、レーダーによる電離圏観測、観測ロケットによるオーロラ降下電子観測、それらを融合する数値シミュレーションのチームが連携して研究を行い、脈動オーロラと呼ばれる明滅型オーロラが内包する高速変動メカニズムの解明を目指す。

研究分野：超高層物理学

キーワード：脈動オーロラ、高速変動、衛星一地上同時観測

1. 研究開始当初の背景

超高層大気の高高度100 km付近に出現するオーロラは、多様な時空間変動を内包するダイナミックな現象である。その変動特性を理解するためには、衛星やロケットによる宙空における計測と地上からの観測、数値シミュレーションを組み合わせた統合的な研究を行う必要がある。しかし、これまでの研究では、観測サイトにおける時間分解能の制限のために、オーロラが示す秒以下のオーダーの高速変動現象を制御するメカニズムを理解することに限界があった。

2. 研究の目的

本研究は、オーロラが示す最高速の時間変動現象の解明を目指す。特に、脈動オーロラと呼ばれる、数ミリ秒から数100ミリ秒の高速変動を内在しつつ、数秒から数十秒で準周期的に明滅するオーロラが持つ時空間変動の起源を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

北極域に展開する高感度カメラネットワークによるオーロラの高速撮像、2016年に打ち上げられた科学衛星ERG（「あらせ」衛星）による磁気圏の「その場」観測、観測ロケットによる脈動オーロラ降下電子の直接計測、そしてそれらの観測によって得られたデータによって駆動されるシミュレーションを行うチームが、密に連携しながら研究を進めている。

4. これまでの成果

地上光学観測については、複数台の高感度全天カメラを北欧に設置し、面的な観測を行う体制を構築し、100 Hzおよび10 Hzの時間分解能で多波長撮像を行っている。このような高速撮像に特化したオーロラ観測ネットワークは世界に類を見ないものであり、本研究によって初めて整備されたものである。このカメラネットワークと、2016年12月に打ち上げられた「あらせ」衛星との連携観測を実施し、脈動オーロラの主脈動と呼ばれる数秒周期の変動、また内部変調と呼ばれる1秒以下の高速変動と、「あらせ」衛星が観測したコーラス波動がきわめてよく対応することを見出した。また、「あらせ」衛星搭載の電子観測器によって、脈動オーロラを起こしている変調電子を磁気圏で初めて特定し、Natureに報告し、新聞等で広く報道された。

欧州非干渉散乱レーダー(EISCAT)と光学観測、「あらせ」衛星との連携観測を進め、脈動オーロラ発生時に、熱圏だけではなく、中間圏高度にまで電子の降り込みが起きていることを明らかにした。この結果と米国の人工衛星による磁気圏の観測、またシミュレーションとを組み合わせた研究により、磁力線方向にホイッスラーモード波動が伝搬することによって、広いエネルギー帯の電子の降下が起きている可能性を始めて指摘した。また、このような高いエネルギーを持った電子の降り込みは、中間圏領域の化学組成を変えながら、

オゾン層を破壊する可能性があることがシミュレーションから示唆されており、脈動オーロラが中層大気に及ぼす影響という新たな科学課題が創出されつつある。

シミュレーション研究については、低高度衛星「れいめい」の観測とシミュレーションを比較することによって、脈動オーロラの主脈動、内部変調、背景の降り込みが、それぞれ lower-band chorus バースト、lower-band chorus エlement、upper-band chorus に対応することを実証した。この成果は、新聞等で広く報道されるとともに、地球電磁気・地球惑星圏学会の田中館賞(研究分担者 三好由純、2017年10月)の受賞対象ともなった。

なお、地上光学機器の設置や運用を通じて、フィンランドの SGO 及び FMI、スウェーデンの IRF、ロシアの PGI などの研究機関との間に MOU を結び、緊密かつ持続的な協力体制を構築することができた。本プロジェクトの推進がきっかけとなり、海外および国内の研究機関や大型計画と積極的に連携することができ、成果をより確実かつ大きなものにする可能性が開けている。また、このような取り組みは現地メディアにもとりあげられ、国際協力の好例となっている。

地上観測によって得られたデータは、本研究計画によって導入された大規模ストレージにデータベースとして整備され、ERG サイエンスセンター (<http://ergsc.isee.nagoya-u.ac.jp/>) と連携することによって、その全てを世界のコミュニティに公開している。データの保存形式として、現在広く用いられている Common Data Format を採用し、さらに解析を行うためのソフトウェアも全て公開している。これにより、本計画のメンバーだけでなく、広く世界の宇宙科学コミュニティの研究者がデータを解析できる仕組みが構築され、多くの研究者の解析による成果拡大の努力も行っている。

脈動オーロラに伴って降下する高エネルギー電子の計測に特化した観測システムを検討し、JAXA や NASA のロケット実験公募に応募してきた。その結果、NASA のロケット実験プログラムである RockSat-XN プログラムに採択された。また、NASA の別のロケット実験公募に対しても応募を行い、採択された (LAMP 計画)。これにより、脈動オーロラをターゲットとしたロケット実験を 2 度にわたって行う機会が得られ、脈動オーロラ降下電子を直接計測できるチャンスが大きく広がっている。

ERG 衛星に搭載された波動粒子相関解析装置 (S-WPIA) の機上ソフトウェアを開発し、波動粒子相互作用の直接観測に必要とされる高相対時刻精度を実現した。プラズマ波動計測について、ERG 衛星による観測を継続するとともに、世界で初めてとなるエネルギー交換量の計測に向けて解析を進めている。

5. 今後の計画

光学観測を、北極域の多点に展開された観測網において継続し、ERG 衛星や EISCAT レーダーとの同時観測を実施する。平成 30, 31 年度冬季に、ノルウェー、アラスカにおいてロケット実験を実施し、脈動オーロラ降下電子とオーロラの明滅の関連性を明らかにする。これらに加え、国際共同で計画推進中の EISCAT_3D レーダーも部分的に用いる形で平成 31 年度に人工衛星、ロケット、地上光学/レーダー観測によるキャンペーン観測とモデルデータの比較研究を実施することで、成果をさらに拡大することを予定している。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

- ✓ Kasahara, S., Y. Miyoshi, S. Yokota, T. Mitani, Y. Kasahara, S. Matsuda, A. Kumamoto, A. Matsuoka, Y. Kazama, H.U. Frey, V. Angelopoulos, S. Kurita, K. Keika, K. Seki, and I. Shinohara, Pulsating aurora from electron scattering by chorus waves, *Nature*, 554, 337-340, doi:10.1038/nature25505, 2018
- ✓ Oyama, S., A. Kero, C. J. Rodger, M. A. Clilverd, Y. Miyoshi, N. Partamies, E. Turunen, T. Raita, P. T. Verronen, and S. Saito, Energetic electron precipitation and auroral morphology at the substorm recovery phase, *Journal of Geophysical Research*, 122, 6508-6527, doi:10.1002/2016JA023484, 2017
- ✓ Kitahara, M., and Y. Katoh, Method for direct detection of pitch angle scattering of energetic electrons caused by whistler-mode chorus emissions, *Journal of Geophysical Research*, 121, 5137-5148, doi:10.1002/2015JA021902, 2016
- ✓ Turunen, E., A. Kerro, P. T. Verronen, Y. Miyoshi, S. Oyama, and S. Saito, Mesospheric ozone destruction by high-energy electron precipitation associated with pulsating aurora, *Journal of Geophysical Research*, 121, doi:10.1002/2016JD025015, 2016
- ✓ Miyoshi, Y., S. Saito, K. Seki, T. Nishiyama, R. Kataoka, K. Asamura, Y. Katoh, Y. Ebihara, T. Sakanoi, M. Hirahara, S. Oyama, S. Kurita, and O. Santolik, Relation between fine structure of energy spectra for pulsating aurora electrons and frequency spectra of whistler-mode chorus waves, *Journal of Geophysical Research*, 120, 1-9, doi:10.1002/2015JA021562, 2015

ホームページ等

<http://www.psa-research.org>

受賞等

三好由純 (地球電磁気・地球惑星圏学会 田中館賞、2017年)