

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24540478

研究課題名(和文) 脈動オーロラが起こす熱圏風速変動の解明

研究課題名(英文) Study of thermospheric wind variation during pulsating aurora

研究代表者

大山 伸一郎(Oyama, Shin-ichiro)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号：20444424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、オーロラ爆発と呼ばれるサブストームの最終相に当たる回復相に着目し、その時間帯に現れる脈動オーロラと極域熱圏の風速変動との関係を調査した。回復相に磁気圏から極域熱圏に流入するエネルギーは風速変動を起こすほど大きくないと従来考えられてきた。しかしノルウェーのトロムソに設置した高感度光学測器を用いた我々の観測研究により既知の物理機構では説明できないほど大きな振幅を持つ風速変動を発見した。2009年1月以降のデータを用いた解析により、この風速変動は回復相の後半に現れる斑模様(パッチ状)のオーロラの明暗境界あるいは暗部に限定的に出現することが判明した。

研究成果の概要(英文)：We investigated polar thermospheric wind variations during pulsating aurora with focus on recovery phase of the auroral substorm. For many years, it had been considered that amount of the energy dissipation at the recovery phase was too small to generate wind variations in the polar thermosphere. However, our observational activities with high-sensitive optical instruments at Tromsø, Norway found larger amplitudes than the predicted by the present theory. Analysis using data since January 2009 showed that the wind variations had a tendency to appear in the darker area and the edge of the auroral patch at the recovery phase.

研究分野：超高層物理学

キーワード：オーロラ 熱圏 電離圏 磁気圏 光学観測

1. 研究開始当初の背景

地球周辺の宇宙空間である磁気圏には数十 keV を超える高エネルギー電子が存在する。この高エネルギー電子は、宇宙空間のプラズマが振動してできる波との相互作用によって地球方向へと降下する軌道を持ち、熱圏の下端である下部熱圏やさらに低高度まで到達する。その時、中性大気粒子は励起・電離され、輝度が周期的に明滅する脈動オーロラや $10^{12} \text{ (m}^{-3}\text{)}$ を超える高い電子密度が発生することが知られている。中性大気粒子の励起・電離機構とその結果生じる現象について多くの研究結果が報告されているものの、中性大気粒子の運動に関する報告はほとんどない。以下に研究開始当初における本研究に関する背景をまとめる。

(1) オーロラ爆発と呼ばれるサブストームが発生するとその 30-40 分後に脈動オーロラと呼ばれる明滅するオーロラが出現する。その変動は 10 秒程度の脈動で構成され、その中に 3 ヘルツ程度で振動する変調を内包する。発生領域は東西方向に数百～数千 km に渡る。出現から数時間後には明暗境界がはっきり識別できる斑模様（パッチ状）のオーロラが現れ、形を維持しながら主に東方向に電離圏対流に沿って移動する。脈動オーロラやオーロラパッチの出現する時間帯をサブストーム現象の時間発展過程では回復相と呼ぶことがある。

(2) 脈動オーロラは 10 keV クラスの高エネルギー降下電子を伴い、そのフラックスの増減がオーロラ輝度の明滅を作る。この降下電子は磁気圏赤道面におけるプラズマ波動と粒子との相互作用によって生成される。

(3) 回復相の極域下部熱圏に着目した研究発表はほとんどなかった。オーロラ帯での観測結果を報告した唯一の例が Oyama et al. (2010; 以降「論文 1」と省略する)であり、オーロラパッチが現れている下部熱圏をノルウェー・トロムソにあるファブリペロー干渉計(FPI)で測定し風速変動が存在するイベントを 2 例報告した。その 2 例共にオーロラパッチの中で周辺より暗い部分に風速変動が限定的に存在していた。

2. 研究の目的

本研究では 2 つの事象を理解することを目的とした。サブストームの回復相に現れるオーロラパッチと極域下部熱圏の風速変動について論文 1 で幾つかの特徴が報告された。しかしそれらは 2 例のケーススタディーだけであり、見出された特徴が一般的であるとまではまだ言い難かった。そこで観測を継続し、より多くのイベントを収集・解析することによって論文 1 で指摘した特徴の一般性を評価することを一つ目の目的とした。

このオーロラパッチはサブストームが発

生する度に発生し、回復相の後半に必ず現れる現象であることが知られていた。その背景には磁気圏-電離圏結合の根幹に関係する普遍的物理機構があるはずである。これまでの長いサブストーム研究によりオーロラ形態の水平空間発達やオーロラ電流の空間分布の成長はかなりわかってきた。しかし電離圏物理量の変動、特に高度依存性はあまり分かっていない。そこで欧州非干渉散乱(EISCAT)レーダー測定値を用い、サブストームオンセット前後における電離圏変動の理解を二つ目の目的にした。

3. 研究の方法

我々はノルウェー・トロムソにある EISCAT レーダー観測所に別予算で開発された FPI と全天カメラを 2009 年 1 月に設置し、本研究に必要な電離圏・熱圏物理量を測定できる体制を整えた。本研究ではこれらの装置を用いた観測実験を実施し、サブストーム回復相におけるオーロラ形態と熱圏・電離圏変動との関係に着目した解析を行った。

観測対象のオーロラパッチは形状をほぼ維持しながら東へ移動することが知られている。この特性を利用しオーロラ画像と比較することで、固定方向測定で得られた時間変動を空間分布に置き換え、オーロラパッチに対する風速変動の空間構造を調査した。図 1 にオーロラパッチに対する FPI 視野の分布例を示す。このように天頂を中心とした計 5 方向の測定を行った。

FPI 固定方向測定値の空間分布への置換精度を向上させるために、本観測実験では測定間隔を従来の約 1/4 に短縮し、5 点すべての測定を 165 秒毎に行った。



図 1: FPI の観測領域（白丸で囲まれた 5 点）と観測対象のオーロラパッチ（黄線は他装置から照射されたレーザー光）

4. 研究成果

2010 年 11 月から 2012 年 1 月までの冬期観測データの中からオーロラパッチとの FPI 風速同時測定が成立した 5 イベントに着目し解析を行った。オーロラパッチには明部と暗部がある。これが FPI 測定領域を通過していく様子をケオグラムと呼ばれる処理画像で確

認したところ、FPI 風速の変動はオーロラパッチの暗部あるいはその縁の部分に局在化していることが分かった。図 2 は 2010 年 11 月 15 日の観測例であるが、この場合にもその特徴がはっきりと確認できる。

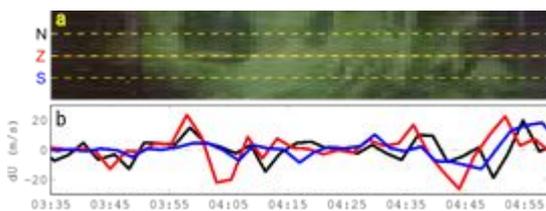
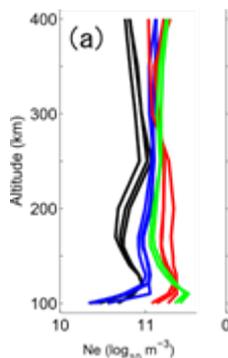


図 2: ケオグラム(オーロラカメラ画像の中心を通る南北線を抜き取り、時間毎に並べた図)と FPI が測定した風速の時間変動。パネル b の線の色は FPI 視線方向を表す(黒:北、赤:天頂、青:南)。

サブストームオンセット前後の電離圏変動を理解するために 2006 年から 2010 年の EISCAT レーダーデータを用いた統計解析を行った。サブストームオンセットは急激なオーロラの増光と電離圏密度の増加を伴う。この急激な変化を指標に基準時間を定め、その前後 1 時間のデータを用いて superposed epoch 解析を行った。その電子密度の結果を図 3 に示す。電子密度の極大値はオンセットの 30-60 分後に高度 100km 付近に現れ、その時には高度 300km 付近も極大値を持つことが分かった。高度 100km 付近の電子密度ピークは 10keV クラスの比較的高いエネルギーを持つ降下電子の存在を示す。それとともに数百 eV の比較的低いエネルギーの降下電子も付随することが高度 300km 付近の電子密度の存在によって初めて明らかにされた。図 1 に示すようなオーロラパッチが発生している時間帯の電子密度構造は図 3 の緑線に類似した構造だと考えられる。

図 3: 統計解析によって得られたサブストームオンセットの前後 1 時間の電子密度の高度分布の時間変化。-60 分から 30 分毎に黒青赤緑で表示している。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

Oyama, S., T. Watanabe, R. Fujii, S. Nozawa, and T. T. Tsuda, Estimation of the

layered ionospheric conductance using data from a multi-wavelength photometer at the European Incoherent Scatter (EISCAT) radar site, Antarctic Record, 57(3), 339-356, 2013.

Oyama, S., Y. Miyoshi, K. Shiokawa, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and B. J. Watkins, Height-dependent ionospheric variations in the vicinity of nightside poleward expanding aurora after substorm onset, J. Geophys. Res., 119, doi:10.1029/2013JA019704, 2014.

Shiokawa, K., A. Hashimoto, T. Hori, K. Sakaguchi, Y. Ogawa, E. Donovan, E. Spanswick, M. Connors, Y. Otsuka, S. Oyama, S. Nozawa, and K. McWilliams, Auroral fragmentation into patches, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, 8249-8261, doi:10.1002/2014JA020050, 2014.

Miyoshi, Y., S. Oyama, S. Saito, S. Kurita, H. Fujiwara, R. Kataoka, Y. Ebihara, C. Kletzing, G. Reeves, O. Santolik, M. Cliverd, C. J. Rodger, E. Turunen, and F. Tsuchiya, Energetic electron precipitation associated with pulsating aurora: EISCAT and Van Allen Probe observations, accepted for publication in J. Geophys. Res. Space Physics, doi:10.1002/2014JA020690, 2015.

Ieda, A., S. Oyama, H. Vanhamäki, R. Fujii, A. Nakamizo, O. Amm, T. Hori, M. Takeda, G. Ueno, A. Yoshikawa, R. J. Redmon, W. F. Denig, Y. Kamide, and N. Nishitani, Approximate forms of daytime ionospheric conductance, J. Geophys. Res. Space Physics, 119, pages 10,397-10,415. doi:10.1002/2014JA020665., 2015.

[学会発表](計 42 件)

大山伸一郎, 野澤 悟徳, 塩川 和夫, 栗原 純一, 津田 卓雄, 家田 章正, 藤井 良一, 高橋 透, オーロラ発生時の極域電離圏・熱圏におけるエネルギー収支の理解に向けた研究, 札幌, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2012 年 10 月.

Oyama, S., J. Kurihara, T. T. Tsuda, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, and B. J. Watkins, Height-dependent ionospheric responses around auroras associated with substorm onset measured with the EISCAT UHF radar, the International CAUSES-II Symposium, November, 2013.

大山伸一郎, 栗原純一, 津田卓雄, 塩川和夫, 三好由純, Brenton J. Watkins, FPI と IS レーダーで観測された脈動オーロラ中の熱圏風速変動, 日本地球惑星科学連合大会, 横浜, 2014 年 4 月.

Oyama, S., K. Hosokawa, Y. Miyoshi, K. Shiokawa, J. Kurihara, T. T. Tsuda, and B. J. Watkins, A proposal to the dissipated energy budget in the auroral ionosphere at the substorm recovery phase: Challenge from

thermospheric wind variations in the
pulsating aurora, AGU Fall Meeting,
December 2014.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.soyama.org/#!/data/cwr8>

6. 研究組織

(1)研究代表者
大山伸一郎(OYAMA, Shin-ichiro)

研究者番号：20444424

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：