

新開発偏光分光イメージャによる酸素原子 630nm オーロラの偏光観測 Observation of 630 nm auroral polarization with a newly-developed imaging spectrograph

高崎 慎平^{1*}; 坂野井 健¹; 鍵谷 将人¹
TAKASAKI, Shimpei^{1*}; SAKANNOI, Takeshi¹; KAGITANI, Masato¹

¹ 東北大学・惑星プラズマ大気研究センター
¹PPARC, Tohoku University

近年の直線偏光子とフォトメータを組み合わせた極冠域 (磁気緯度 75 度) ポーラーレイン降下電子による酸素原子 630nm のオーロラ発光の観測結果から磁力線平行方向に 2-7 % 程度の直線偏光が生じていることが示唆された [Lilensten et al., 2013]。しかしながら、この研究は高緯度地域の十数例の限られた観測である。一方、理論的にも降下電子エネルギーやピッチ角分布に対応し、630nm 発光が最大で 17 % 偏光する可能性が示唆されている [Bommier et al., 2011]。オーロラ偏光観測をオーロラ帯やサブオーロラ帯における活発なオーロラの偏光特性を調べることを目的とし、我々はオーロラ偏光度を直線偏光 1% 程度の精度で測定することを可能とする装置を開発した。我々は今年の観測データから、磁力線平行方向に 2-4% の直線偏光が生じ、偏光度は視線が磁力線に対し垂直方向で最も大きく平行方向で最も小さいという結果が得られた。しかしながら、この観測では 10cm 口径と比較的小口径のガラスドームを用いたためゴーストが生じこれによる偏光度の誤差を取り除くことが困難であった。よって今回の観測では 45cm 口径のアクリルドームを用いた。しかし、アクリルドームはガラスに比べて温度変化によって変形しやすく、ドームは固定されているため加わる応力が増加することによって、偏光特性が非一様に変化し、無視できない誤差を生む要因となりうる。また、オーロラのような比較的微弱光に対し、直線偏光 1% の高精度で行うためには、ドームだけでなく光学パス内のすべてのユニット、すなわち装置内部の光学系の偏光校正を厳密に行う必要がある。

そこで、今回の観測装置については、装置の偏光特性を取り除くために 630nm オーロラだけでなく、四重極放射であり偏光されていないとされる 557.7nm オーロラを同時に観測でき、かつ磁力線との角度依存性も同時に捉えられるように、磁気子午線に沿った視野を持つ分光イメージャを新たに開発した。この装置の視野は 130 度、波長範囲は 420nm-680nm である。偏光については直線偏光子をステージに装着し回転させる機構を使用して偏光特性を得ている。

この新開発の偏光分光イメージャは、2013 年 11 月末にアラスカ・ポーカーフラットの設置され、それ以降 2014 年 4 月はじめまで連続自動運用されている。設置時に行った偏光キャリブレーションについて、先述のドームに起因する偏光特性の変化を取り除くため、気温や風速が異なる様々な状況下で LED と直線偏光子を組み合わせた偏光度 100 % の光を異なる 7 方向からドームに入射することでドームの偏光特性を調べた。その結果、偏光度はほとんど変化せず、変更方向も測定誤差程度の変化しか生じなかった。よって偏光特性は気温や圧力の変化に対してほとんど依存しないことが確認された。

これまでの観測データから、630nm のオーロラに対して、偏光度 10 % 程度の偏光を得ることができた。また、偏光度・偏光方向どちらにも角度依存性が存在することが確認された。しかし、偏光されていないはずの 557.7nm のオーロラについても同様に 7% 程度の偏光が得られた。こちらに関しても 630nm のオーロラと同様の角度依存性が確認できた。このことから、発光領域から観測されるまでの経路上で、大気中の粒子による散乱をはじめとした、共通の偏光過程を経ている可能性が示唆される。本発表では、今回の観測で得られたこれらの結果を報告する。

キーワード: オーロラ, 偏光観測
Keywords: aurora, polarimetry

偏光観測装置の開発と酸素原子 630nm オーロラ偏光分布の観測 Development of polarization photometer and observation of OI 630 nm auroral polarization

門司 浩幸^{1*}; 鍵谷 将人¹; 坂野井 健¹
MONJI, Hiroyuki^{1*}; KAGITANI, Masato¹; SAKANOI, Takeshi¹

¹ 惑星プラズマ大気研究センター, 東北大学
¹PPARC, TOHOKU Univ.

速度異方性を持つ降下電子との衝突によるオーロラ発光の場合、四重極放射である酸素原子 557.7nm のようなある特定の遷移に制限されたものを除き、偏光することが示唆されている [Lilensten et al., 2006]。ただし、オーロラ発光領域は完全衝突大気ではなくかつ無衝突大気でもない中間衝突状態であるため、発光の偏光を理論的に見積もることが困難であった。近年の地上観測から、酸素原子 630nm オーロラ発光が 1-4 %の直線偏光度を示し、その値がオーロラ活動とともに変動していること、視線方向と磁力線との角度が垂直な向きで、最大の直線偏光度が観測されることが示された [Lilensten et al., 2008, Barthelemy et al., 2011]。これは、オーロラ偏光から新たな物理量推定 (降下電子の速度異方性等) ができる可能性を示唆している。

本研究はオーロラ偏光度を測定する観測装置を新たに開発し、校正方法を含めた偏光観測の手法を確立させ、観測的にオーロラの偏光度の分布を導出することを目的とする。

本研究では、回転ステージにマウントされた水晶 5 / 8 λ 波長板と偏光ビームスプリッターを用いて偏光の成分 (ストークスベクトル) を測定する偏光フォトメータを開発した。波長選択は固定で、630nm 狭帯域干渉フィルターにより酸素原子 630nm 発光輝線のみ測定した。視野は約 3 度である。酸素原子 630nm オーロラの偏光観測は米国アラスカ州ポーカーフラットにて 2013 年 1 月に約 3 週間実施された。実際の観測時には、一つの水晶波長板のポジションで 2s の露出を行い、これを 9 ポジション行って 1 つの偏光データセットを得た。したがって、時間分解能は約 30 秒である。また、ポーカーフラットにおいて、直線偏光子と LED 光源を組み合わせた校正光源をもちいたキャリブレーションを実施した。この 1 偏光データセットと校正光源データを組み合わせ、酸素オーロラ発光の直線偏光成分と円偏光成分を見積もった。とくにオーロラの円偏光成分の導出は世界で初めてである。

この結果、1 月 17 日では 14:00 UT 付近で全天に広がるオーロラを観測し、オーロラ偏光度の磁力線との角度の依存性が明らかになった。すなわち、視線が磁力線と平行な向きで偏光度が大きくなるという結果が得られた。これは過去の研究成果と異なる結果であり、現在解釈を進めている。一方、1 月 18 日には、オーロラの強度が上昇した 11:30 UT 付近で、直線偏光度が 4% から 8% に突然上昇するイベントを観測した。このことは、オーロラ活動に伴い降下電子速度異方性が変化したことを示唆する。

キーワード: オーロラ地上観測, 偏光

Keywords: aurora ground observation, polarization

昼間電離圏の電気伝導度比 Approximate formula of daytime ionospheric conductance ratio

家田 章正^{1*}; 大山 伸一郎¹; 藤井 良一¹; 中溝 葵²; 堀 智昭¹; 吉川 顕正³; 西谷 望¹
IEDA, Akimasa^{1*}; OYAMA, Shin-ichiro¹; FUJII, Ryoichi¹; NAKAMIZO, Aoi²; HORI, Tomoaki¹; YOSHIKAWA, Akimasa³
; NISHITANI, Nozomu¹

¹ 名古屋大学 太陽地球環境研究所, ² Finnish meteorological institute, ³ 九州大学
¹ STEL, Nagoya University, ² Finnish meteorological institute, ³ Kyushu University

本研究では、地球の昼間電離圏における、高度積分した電気伝導度の、太陽天頂角 (SZA) 依存性を調べた。特に、ペダーセン伝導度に対するホール伝導度の、比について近似式を理論的に得た。式の検証には、トロムソ (67 MLAT) の EISCAT レーダー観測を用いた。観測は、地磁氣的に静穏な、2012年3月30日に行われた。

電気伝導度は電子密度に依存している。昼間の電離圏電子は、太陽の極端紫外線による、中性大気の電離を生成源としている。このような電子の密度は、特に E 層では Chapman 理論により近似されることが多い。従って、電気伝導度のモデルには、Chapman 理論が何らかの形で含まれていることが自然である。しかし、過去の研究においては、伝導度の SZA 依存性が、Chapman 理論による最大電子密度とコンシステントなモデルや、矛盾するモデルの両方が提唱されている。

本研究では、ペダーセン伝導度は、Chapman 理論を修正すれば、観測とコンシステントであることを見出した。そのような修正は、E 層の topside では垂直方向に電子密度が一様であると近似すること、また、中性大気温度が高高度ほど高くなる効果を取り入れることである。SZA が大きくなるほど、つまり夜に近づくほど、伝導度は小さくなるが、この変化は、ペダーセン伝導度よりも、ホール伝導度の方が大きかった。これは、SZA が大きいほど、ホール層が薄くなるからであると理解される。このために、SZA が大きいほど、ペダーセン伝導度に対するホール伝導度の比は小さくなる。この効果を、Chapman 理論における最大電子生成高度により表現し、電気伝導度比の近似式を作成した。

キーワード: 電離圏電気伝導度, 電離圏, 電気伝導度, 欧州非干渉散乱レーダー

Keywords: ionospheric conductivity, ionosphere, conductance, EISCAT, incoherent scatter radar

EISCAT レーダーを用いた電離圏トラフ境界周辺の電子密度の時間変動の研究 Temporal variation of electron density in the vicinity of the ionospheric trough

石田 哲朗^{1*}; 小川 泰信²; 門倉 昭²; 細川 敬祐³; 大塚 雄一⁴

ISHIDA, Tetsuro^{1*}; OGAWA, Yasunobu²; KADOKURA, Akira²; HOSOKAWA, Keisuke³; OTSUKA, Yuichi⁴

¹ 総合研究大学院大学, ² 国立極地研究所, ³ 電気通信大学, ⁴ 名古屋大学

¹The Graduate University for Advanced Studies, ²National Institute of Polar Research, ³The University of Electro-Communications, ⁴Nagoya University

本研究の目的は、トラフ内部や境界付近で観測される電子密度の時間変動を調査し、地磁気活動度の違いによる特徴の変化やその原因を理解することである。

Basu et al. [2008] は、磁気嵐の主相に Subauroral Polarization Stream (SAPS) が中緯度トラフの赤道側境界付近で強まり、同時にトラフが経度方向に拡大する様子を GPS-TEC map により観測的に示した。また、このような状況でトラフ内外に形成されるイレギュラリティにより GPS 衛星の測位精度が落ちることが知られている。

本研究では、数分程度の時間スケールの電子密度の構造を研究することにより、トラフ内外に形成されると考えられるイレギュラリティについて理解を深める。そのために、2013 年 10 月～12 月にかけて EISCAT の特別実験（1 スキャン 60 秒～80 秒の磁気子午面の高速スキャン観測）を実施し、SAPS 等の対流の効果によりトラフの電子密度が変化すると考えられている夕方側から夜側の時間帯（1630-2030 MLT）のトラフを観測した。この特別実験により、擾乱時のイベント 2 つと静穏時のイベント 7 つの合計 9 つのイベントを取得した。

本研究では、上記の特別実験で得られた計 9 イベントについて、（1）トラフの内部と外側では電子密度の変動にどのような違いがあるか、（2）トラフの境界付近の電子密度の変動にどのような特徴があるか、に着目し解析を進めている。初期解析の結果明らかになった特徴を以下にまとめる。当日は、以下の事柄を踏まえて新たに分かったトラフの特徴を紹介する予定である。

1. トラフの外側では 5～40 分の準周期的な変動が確認できた。この準周期的な変動は時間や高度により変化することが分かった。一方で、トラフの内側では準周期的な変動はほとんど見られなかった。これら特徴は地磁気活動度によらないことも分かった。

2. トラフの境界付近で観測された 5～10 分の準周期的な変動は、静穏時では高度方向に周期性が保たれるが、擾乱時では周期性が保たれないことが分かった。

キーワード: 電離圏, トラフ
Keywords: ionosphere, trough

SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーで観測されたサブオーロラ帯高速流の分類及び発生特性 Classification and occurrence characteristics of subauroral rapid plasma flows observed by SuperDARN Hokkaido HF radar

永野 浩貴^{1*}; 西谷 望¹; 堀 智昭¹
NAGANO, Hiroki^{1*}; NISHITANI, Nozomu¹; HORI, Tomoaki¹

¹ 名大 STE 研

¹STEL, Nagoya Univ.

オーロラ発光領域の低緯度側で発生する高速電離圏対流は一般的に Sub-Auroral Polarization Stream(SAPS) と呼ばれている。SAPS についての先行研究として、Kataoka et al. (Ann. Geophys., 2009) では、北海道-陸別 HF レーダーで 2006 年 12 月から 2008 年 4 月までの期間に観測したサブオーロラ帯高速流について発生特性を議論している。Ebihara et al. (J. Geophys., 2009) では静止衛星によって観測したプラズマシートの密度の変化と SAPS の発生の関係性をシミュレーションを用いた結果との比較により述べている。しかしながら、ストームやサブストームがどの程度強く影響するか等、SAPS の発生特性の詳細については現在においてもいまだに明らかにされていない。

我々は 2006 年 11 月より稼働している SuperDARN 北海道-陸別 HF レーダーを用いて、サブオーロラ帯高速流イベントの発生状況・特性と SYM-H、AL 指数、IMF Bz 等との関連性を調査している。現状では、SAPS はサブストームの回復相によく見られるということや、発生する緯度は Dst 指数の増減に依存しているという傾向が明らかになっているが、上記レーダーは稼働開始以来連続して稼働しており、長期にわたるデータ解析が可能である。また、西向きフローを同定する条件で用いた発生磁気緯度や、西向きの速度についても従来の研究より広くとることで、より広い意味でのサブオーロラ帯西向きフローについての調査を行った。フローにはオーロラ帯のものとサブオーロラ帯のものがあるが、NOAA 衛星の TED データと比較することにより明確にサブオーロラ帯にあるフローを選別し、解析を行った。その結果、緯度と SYM-H の関係において西向き速度 150m/s~200m/s を閾値として区切ることで 2 つの異なる性質を持つ集団を区別することが出来た。閾値より速いものは発生緯度と SYM-H の増減に依存性が見られ、閾値より遅いものは依存性が見られなかった。AL 指数と発生緯度の関連性についても同様に速度によって区切ることで依存性の有無があるという結果が得られた。

本講演においては、サブオーロラ帯高速流の緯度、速度と AL 指数や Dst 指数との依存性の調査をフェーズ別で行うなど、各パラメータとの関連性のより詳細な解析結果並びにその解釈について報告する予定である。

キーワード: SAPS, SuperDARN

上部電離圏における MF/HF 帯電波放射帯域の磁気緯度・磁気地方時依存性
Magnetic latitude and MLT dependence of the bandwidth of MF/HF auroral radio emissions in the topside ionosphere

酒井 将隆^{1*}; 熊本 篤志¹; 加藤 雄人¹; 佐藤 由佳²
SAKAI, Masataka^{1*}; KUMAMOTO, Atsushi¹; KATOH, Yuto¹; SATO, Yuka²

¹ 東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻, ² 国立極地研究所
¹Department of Geophysics, Tohoku University, ²National Institute of Polar Research

In the ionosphere, auroral radio emissions are generated by precipitating auroral particles. Previous studies reported that the MF/HF auroral radio emissions emitted from the bottomside ionosphere were observed on the ground. The narrowband emissions are called auroral roar, and the broadband emissions are called MF burst. On the other hand, Sato et al. [2010] showed the spectrum and polarization of two events of MF/HF radio emissions observed in the topside ionosphere by the Akebono satellite. Based on the event studies, they suggested that the observed narrowband emissions are generated by the mode conversion of UHR waves enhanced in the auroral ionosphere where the upper hybrid frequency matches the harmonics of the electron cyclotron frequency as suggested for generation mechanism of the auroral roar observed on the ground [Weatherwax et al., 1995; Yoon et al., 1998; Weatherwax et al., 2002].

In this study, we have focused on broadband emissions observed in the topside ionosphere which are similar with broadband MF burst observed on the ground. We analyzed MF/HF broadband emissions (with wider bandwidth of >0.5 kHz) observed by the Akebono satellite. Because it is difficult to observe broadband emissions on the ground and in the topside ionosphere at the same time, we have performed statistical analysis. We found that the bandwidth of the MF/HF emissions was larger in the high latitude and in the dusk side. The bandwidth of the MF/HF emissions was greater than 1 MHz in higher geomagnetic latitude than 70 degree in the sector from 12 to 24 MLT. Previous studies suggested that the MF bursts observed on the ground were generated by the mode conversion of upper hybrid waves stimulated by the energetic auroral electrons [e.g. Sato et al., 2008]. Therefore, we can expect that the bandwidth of MF bursts depend on the generation processes of upper hybrid waves, mode conversion processes of upper hybrid waves, and propagation processes of converted electromagnetic waves in the auroral ionosphere.

CIR 通過に伴う Pc 5 波動特性の時間変動 Time Variability of Characteristics of Pc5 during Passage of CIRs

北村 健太郎^{1*}; 才田 聡子²; 田中 良昌³; 門倉 昭³; 山岸 久雄³
KITAMURA, Kentarou^{1*}; SAITA, Satoko²; TANAKA, Yoshimasa³; KADOKURA, Akira³; YAMAGISHI, Hisao³

¹ 徳山工業高等専門学校, ² 統計数理研究所, ³ 国立極地研究所

¹Tokuyama college of Technology, ²The Institute of Statistical Mathematics, ³National Institute of Polar Research

In this study, we analyzed the magnetic data observed at the high-latitude magnetic stations in Antarctica, H057 (-66.42, L=6.25), and Skallen (-66.42) to compare with the >2MeV electron flux observed by GOES 10 satellite. The pair of stations is located at the same latitude and within 1.7 degrees in longitude, which are quite suitable to estimate the azimuthal wave number.

We statistically analyzed the wave characteristics of the Pc5 pulsations by the superposed epoch (SPE) analysis for 14 magnetic storm events caused by the passage of CIRs (Corotating Interaction Region). The epoch time is defined as days from the passage of the stream interface (SI) of the CIR. The Pc5 power suddenly increases at 3-6 MLT sector from 0 day which is much stronger than that at dusk sectors. During 1-2 days, which is correspond to the recovery phase of the storms, the Pc5 power at the afternoon sectors (12-21 MLT) increases with the peak frequency of 2.5-3 mHz, whereas the Pc5 power at the morning sector does not become stronger.

On the other hand, the phase delay between the Pc5s at H057 and SKAL also shows the local time dependence especially during the epoch time of 1-2 day. At the noon and afternoon sectors, the Pc5 shows the eastward propagation and the phase lags between H057 and SKAL are less than 5 seconds. In contrast, at the morning sector, the Pc5 shows westward propagation with small azimuthal wave numbers.

These features indicate that the sources and generation mechanisms of Pc5 in the two periods (0-1 day and 1-2 day) are quite different. The premiere intensification of the Pc5 corresponds to the main phase of the moderate magnetic storm and can thought to be the forced oscillation caused by the strong disturbance of the solarwind dynamic pressure. In this case, the local time dependence of the phase structure does not show the obvious regularities. In the latter intensification of the Pc5 corresponds to the recovery phase of the storm (1-2 days). The westward (eastward) propagation at the morning (afternoon) sector and local time distribution of the Pc5 power could well correspond with the previous perception which could explain the Pc5 pulsations caused by the KH instability on the magnetopause.

The present result implies that the difference of the wave characteristics of Pc5s closely related the drift bounce resonance with the relativistic electrons. The drift bounce resonance might occur at the afternoon sector during the recovery phase of the moderate magnetic storm by the KH instability due to the passage of the high speed solar wind.

キーワード: 放射線帯, ULF 波動

Keywords: Raadiation Belt, ULF wave