

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 9 月 17 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540524

研究課題名(和文) 衛星直接観測と地磁気逆計算法によるオーロラ電流系の解明

研究課題名(英文) Study of auroral current system using satellite observations and a magnetic inversion method

研究代表者

家田 章正 (Ieda, Akimasa)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号：70362209

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)：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。電気伝導度は電子密度に依存している。しかし、過去の研究においては、伝導度のSZA依存性が、Chapman理論による電離層最大電子密度で表現できるか否か不明であった。本研究では、観測された電気伝導度を理解するためには、Chapman電離層を修正すれば良いことを見出した。さらに、SZAが大きくなるほど、つまり夜に近づくほど、ホール層が薄くなる効果を指摘し、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。

研究成果の概要(英文)：The solar zenith angle (SZA) dependence of the conductance is studied and a simple theoretical form for the conductance is developed, using the peak plasma production height. The daytime electric conductance is associated with plasma created by solar extreme ultraviolet radiation incident on the neutral atmosphere of the Earth. However, it has been uncertain whether previous conductance models are consistent with the ideal Chapman theory for such plasma productions. We found that the SZA dependence of the conductance is consistent with the Chapman theory after simple modifications. An additional consideration is necessary for the Hall conductance, which decreases with increasing SZA more rapidly than the Pedersen conductance. This rapid decrease is presumably caused by a thinning of the Hall conductivity layer from noon toward nighttime. We expressed this thinning in terms of the peak production height in the Chapman theory.

研究分野：地球電離圏、地球磁気圏

キーワード：電離層電気伝導度 Chapman理論 電離圏 太陽天頂角 太陽放射 太陽EUV 超高層物理学 宇宙科学

1. 研究開始当初の背景

磁力線再結合とは、磁力線のつなぎ替えによる、磁気(電流)エネルギーの解放メカニズムである。地球磁気圏尾部での磁力線再結合がオーロラ爆発と関係していることが、日米共同のジオテイル衛星により明らかになってきた。米国ではテミス衛星(5機の編隊衛星)が平成19年に打ち上げられ、オーロラ爆発と磁力線再結合の発生順序を明らかにする、テミス計画が継続中である。

テミス計画で当初証明する予定であった現在主流なシナリオは、「磁力線再結合により生じたプラズマ流が、数分後に地球近傍に到達することにより、オーロラ爆発が開始する」というものである。しかし、このような時間差は確立されず、磁力線再結合とオーロラ爆発の発生順序や因果関係は不明である。

2. 研究の目的

地球の極域電離圏(高度100km)夜側では、数時間に一度、オーロラが爆発的に増光する。このオーロラ爆発は、より高々度の磁気圏尾部に蓄積された電流エネルギーが、電離圏にショートする現象であると考えられる。本研究では、この磁力線に沿ったショート電流(沿磁力線電流)の、空間構造の発達を、データ解析により明らかにする。特に、これまで主要な電流系であると考えられてきた東西電流ペアに加えて、南北電流ペアの発達を明らかにする。さらに、磁気圏尾部の磁力線再結合が、プラズマ流ではなく南北電流ペアを通じて、オーロラ爆発を引き起こすという説を提唱することを目指す。

3. 研究の方法

ファスト衛星により直接観測された南北電流ペアが、経度方向に局在化しているか否かを、地磁気逆計算法による推定により調べる。地磁気逆計算法の結果の妥当性はファスト衛星の磁場・粒子・電場データを用いて検証する。

また、地磁気逆計算法を用いて、オーロラ電流の成分を、電場に平行な成分(Pedersen)と、電場に垂直な成分(Hall)とに分解する。両成分の発散が反相関を持っている領域では、2次電場が生成されていると考えられ、東西電流ループの証拠となる。地磁気逆計算法では、電気伝導度が入力として重要である。このために、昼側電離圏伝導度の太陽天頂角依存性を調べる。

4. 研究成果

オーロラ爆発開始1-2分前に、FAST衛星およびDMSP衛星が観測した、オーロラ電子を調べた。オーロラ爆発の開始時刻・位置は、Polar衛星の紫外線オーロラ観測を用いて同

定した。また、開始2分前のオーロラアークの同定には、DSMP衛星の可視光オーロラ観測を用いた。

オーロラ爆発の開始1分前に、開始地点(MLT=21.4, MLAT=62.2)付近をFAST衛星が南北に通過した。FAST衛星の高度は1800kmであり、加速域よりも低高度であったと考えられる。FAST衛星は、オンセット緯度付近において、9keVのdiffuse電子、低エネルギー(1keV)の逆V電子、1keV以下のbroadbandな電子を観測した。これらの電子は、DSMP画像において、discreteアークに、空間的に対応していた。

一方、オーロラ爆発の2分前には、DMSP衛星が開始地点の西(15度)において、10keVのdiffuse電子と、300eV以下のbroadbandな電子を観測した。これらの電子は、DMSP画像において、diffuseアークに対応していた。以上の観測結果より、オーロラ爆発直前に、diffuseアークがdiscreteアークに変化することは、broadbandな電子の最高エネルギーが上がることに対応する、すなわち、加速域のCavityが発達し、アルペン速度が上がることに対応していると考えられる。

また、地磁気逆計算法に必要な、電離層電気伝導度の理論モデルを完成した。特に、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。その結果、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。

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。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樣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。

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5件)

1. 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.*, *Geophys. Res.*, **119**, 10,397–10,415, (doi:10.1002/2014JA020665), 2014. (査読有)
2. Shiokawa, K., Y. Yokoyama, A. Ieda, Y. Miyoshi, R. Nomura, S. Lee, N. Sunagawa, Y. Miyashita, M. Ozaki, K. Ishizaka, S. Yagitani, R. Kataoka, F. Tsuchiya, I. Schofield, and M. Connors, Ground-based ELF/VLF chorus observations at subauroral latitudes - VLF-CHAIN Campaign, *J. Geophys. Res.*, **119**, doi:10.1029/2014JA020161, 2014. (査読有)
3. Machida, S., Y. Miyashita, A. Ieda, M. Nosé, V. Angelopoulos, and J. P. McFadden, Statistical visualization of the Earth's magnetotail and the implied mechanism of substorm triggering based on superposed-epoch analysis of THEMIS data, *Ann. Geophys.*, **32**, 99-111, doi:10.5194/angeo-32-99-2014 2014. (査読有)
4. Amm, O., R. Fujii, H. Vanhamäki, A. Yoshikawa, and A. Ieda, General solution for calculating polarization electric fields in the auroral ionosphere and application examples, *J. Geophys. Res.*, **118**, 2428 - 2437, doi:10.1002/jgra.50254, 2013. (査読有)
5. Nakamizo, A., Y. Hiraki, Y. Ebihara, T. Kikuchi, K. Seki, T. Hori, A. Ieda, Y. Miyoshi, Y. Tsuji, Y. Nishimura, and A. Shinbori, Effect of R2-FAC development on the ionospheric electric field pattern deduced by a global ionospheric potential solver, *J. Geophys. Res.*, **117**, A09231, doi:10.1029/2012JA017669, 2013. (査読有)

[学会発表](計 5 件)

家田章正, 大山伸一郎, 藤井良一, 中溝葵, 堀智昭, 吉川顕正, 西谷望, 昼間電離圏の電気伝導度比, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 2014 年 4 月 29 日, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)

家田章正, 大山伸一郎, 藤井良一, 中溝葵, 昼間電離圏の電気伝導度比, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2013 年 11 月 15 日, 高知大学(高知県・高知市)

家田章正, 大山伸一郎, 藤井良一, 中溝葵, EISCAT observations of ionospheric conductance, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 24 日, 幕張メッセ(千葉県・幕張市)

家田章正, 堀智昭, 関華奈子, 宮下幸長, 藤本正樹, 西村幸敏, R. Strangeway, 町田忍, G. K. Parks, J. P. McFadden, オーロラ爆発直前の降下粒子, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2012 年 10 月 21 日, 札幌コンベンションセンター(北海道・札幌市)

家田章正, 藤本正樹, 堀智昭, 西村幸敏, 関華奈子, 町田忍, 宮下幸長, オーロラ爆発開始時における降下電子の 2 衛星観測, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2011 年 11 月 4 日, 神戸大学(兵庫県・神戸市)

[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://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/gemis/>

実証型ジオスペース環境モデリングシステム

6. 研究組織

(1) 研究代表者

家田章正 (Ieda Akimasa)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教

研究者番号：70362209

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし