

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05568

研究課題名（和文）編隊衛星を用いたオーロラ電流系の解明

研究課題名（英文）Study of auroral current system using multi-satellite observations

研究代表者

家田 章正 (Ieda, Akimasa)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・助教

研究者番号：70362209

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：地球の極域電離圏（高度100 km）では、数時間に一度、真夜中付近でオーロラが爆発的に増光する。このオーロラ爆発は、より遠方（高度5-20万km）の磁気圏尾部に流れる電流が、電離圏にショートする現象であると想像される。本研究では地上と衛星からの同時観測を用いてオーロラ爆発を解明した。特に、オーロラ爆発が10分周期で高緯度にジャンプする現象を理解し、また、地上と衛星からでは何故オーロラ爆発が異なって見えるのかを理解した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

オーロラは宇宙から降下する電子が地球の中性大気を励起することにより発生する。すなわち、オーロラ爆発は恒星大気と惑星大気が激しく相互作用していることを意味しており、オーロラ爆発を理解することは宇宙と地球の境界領域を理解することである。この近宇宙領域は国際宇宙ステーション（高度400 km）や気象衛星軌道（高度4万km）を含み、そこでの電磁気擾乱を理解することは人類の宇宙活動に貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Aurora near the midnight polar ionosphere (100 km altitude) brightens explosively approximately every a few hours. This auroral breakup is supposed to represent an electrical short of the current flowing in the magnetotail (50-200 million meters) into the ionosphere. We studied auroral breakup using simultaneous ground-satellite observations. In particular, we clarified the reason why auroral breakup jumps to a higher latitude every 10 min. We also clarified the reason why auroral breakup looks different between ground observations and satellite observations.

研究分野：オーロラ科学、宇宙空間プラズマ物理学

キーワード：オーロラ爆発 オーロラ電流系 磁気リコネクション 電離圏電気伝導度 衝突周波数 酸素

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球の極域電離圏(高度 100km)では、数時間に一度、真夜中付近でオーロラが爆発的に増光する。このオーロラ爆発は、より遠方(高度 5-20 万 km)の磁気圏尾部に流れる電流が、磁力線再結合により、電離圏にショートする現象であると想像される。しかし、オーロラ爆発の因果関係や多様性は解明されていない。これまでのオーロラ研究には、時間分解能 1 分程度のオーロラ地上観測や単一衛星が主として用いられてきた。近年、時間分解能 3 秒程度のオーロラ地上観測網や複数衛星の観測が可能となり、オーロラ爆発の解明の進展が期待されている。

2. 研究の目的

オーロラ爆発の解明を行う。特に、(A)オーロラ爆発の多段階発展を解明する。また、(B)衛星と地上から観測されたオーロラ爆発開始の相違を理解する。さらに、(C)オーロラ電流系を支配する電気伝導度の解明を行う。

3. 研究の方法

(A)オーロラ爆発の多段階発展の解明には、衛星磁場・プラズマ観測と地上オーロラ観測の同時観測を用いる。(B)オーロラ爆発開始の解明には、衛星および地上からのオーロラ同時観測を用いる。(C)電気伝導度の解明は理論的に行う。

4. 研究成果

(A)オーロラの極方向への拡大が階段状に起こる現象について事例解析を行った。その結果、磁気リコネクションの位置が、尾部側に階段状にジャンプしていることを見いだした。本研究では、THEMIS 編隊衛星の磁気圏尾部観測と、北米・グリーンランドの地上オーロラ全天観測を用いた。全天カメラでのサブストーム開始時に、尾部側 24 地球半径(R_E)の THEMIS-1 衛星は、プラズマ流が尾部向きから太陽向きへ 10 分程度のタイムスケールで反転することを観測した。この反転シークエンスは、しばしば、一つの磁気リコネクション領域が、尾部側に後退していることを、衛星が観測したと解釈される。しかし、この反転よりも 1 分後に、THEMIS-1 よりも 5 R_E 地球側に滞在していた THEMIS-2 衛星は、地球向き高速流を観測した。従って、この反転シークエンスは、一つのリコネクション領域の後退ではなく、新たなリコネクション領域が遠方で生じたことを意味すると考えられる。(Ieda et al., JGR, 2016)。

(B)オーロラ爆発(サブストーム)開始時に地上と高高度衛星から同時観測されたオーロラ画像を初めて比較した。一般に、地上 1 点からの観測では、視野が狭いためにサブストーム開始が視野内か視野外かを断定できないことが知られている。このため、サブストーム開始時刻の同定には広視野の衛星画像が最適であると考えられてきた。一方、衛星画像は低感度であるため、同定した開始時刻は地上画像に比べて遅れる可能性がある。しかし、衛星画像でのオーロラ爆発は、サブストーム開始を示す Pi2 型の地磁気脈動と同時、あるいはむしろ数分前に観測されることが知られている。この間接的根拠により、衛星画像での開始時刻の低感度による遅れは、サブストームの解明において無視できるほど小さいことが暗に想定されてきた。

本研究では、Polar 衛星が光学フィルタを固定した高時間分解モードのデータを使用することにより、衛星グローバル画像と地上画像を、初めて 1 分以内の時間分解で直接比較した。その結果、衛星画像でのサブストーム開始は、地上画像ではサブストーム開始でなく数分後のオーロラ極方向拡大と同時であることが明らかになった。これまで、衛星画像と Pi2 型地磁気脈動の時刻対応が良かった原因は、両者ともサブストーム開始の第 2 段階であるオーロラ極方向拡大に対応しているからであると考えられる。

本研究の結果に基づき、異なる観測手段を用いて同定されるサブストーム開始を統一的に整理した。関連して、サブストーム開始には時刻と段階が異なる 2 つの定義が使用されており、これまで混同されてきたことを明らかにした。サブストームと磁気再結合など支配メカニズムとの関係は、この 2 段階発達の様式で解明される必要がある。(Ieda et al., EPS, 2018)。

(C)オーロラ電流を支配する電気伝導度を解明した。地球電離圏ではプラズマと中性大気が共存している。両者の衝突は、電離圏電流・電気伝導度を支配しており、衝突周波数として表現される。衝突周波数モデルは、論文によって大小さまざまな相違があり、その根拠は不明であることが多い。本研究では特に、酸素分子と酸素分子イオンの衝突について、衝突周波数モデル間の相違と意味を明らかにし、どのモデルを採用すべきかを議論した。

古典的な衝突周波数モデルでは、遷移温度(800 K)を境に衝突のメカニズムが異なる。(1)低温では中性粒子が分極することによる nonresonant 衝突、(2)高温では電子移動による resonant 衝突が支配的であると考えられている。一方、近年採用されている衝突周波数モデルでは、(A)北欧のレーダーコミュニティは温度に依らず(1)のみを用い、(B)米国のモデリングコミュニティは温度に依らず(2)のみを用いるなど、さまざまであり、その根拠は不明であった。また遷移温

度が 800 K である根拠も不明であった。

本研究では、まず、電気伝導度が集中する E 層(高度 90-150 km)では、イオンや中性大気の温度は典型的には 200-600 K と、遷移温度より低温であるために、(1)nonresonant 衝突が支配的であることを確認した。従って、(B)は誤解である。次に、遷移温度は 800 K と教科書に記されてきたが、これは誤解であり、正しくは 600 K、すなわち、(1)と(2)が等しくなる温度であることを明らかにした。遷移温度が下がったために、(2)は E 層付近でも重要となり、無視しにくくなった。さらに、擾乱時など温度上昇した場合は(2)が必要である。従って、(A)は静穏時の E 層には概ね妥当だが、温度上昇時には特に不適切である。まとめると、(A)や(B)は一般性がなく、電気伝導度の算出には遷移温度 600 K を境として(1)と(2)の両方を用いることが適切である。(Ieda, JGR, 2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ieda Akimasa	4. 巻 125
2. 論文標題 Ion neutral collision frequencies for calculating ionospheric conductivity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Space Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019JA027128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ieda Akimasa, Kauristie Kirsti, Nishimura Yukihiro, Miyashita Yukinaga, Frey Harald U., Juusola Liisa, Whiter Daniel, Nose Masahito, Fillingim Matthew O., Honary Farideh, Rogers Neil C., Miyoshi Yoshizumi, Miura Tsubasa, Kawashima Takahiro, Machida Shinobu	4. 巻 70
2. 論文標題 Simultaneous observation of auroral substorm onset in Polar satellite global images and ground-based all-sky images	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-018-0843-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyashita Yukinaga, Ieda Akimasa	4. 巻 36
2. 論文標題 Revisiting substorm events with preonset aurora	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Annales Geophysicae	6. 最初と最後の頁 1419 ~ 1438
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/angeo-36-1419-2018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 A. Ieda, Y. Nishimura, Y. Miyashita, V. Angelopoulos, A. Runov, T. Nagai, H. U. Frey, D. H. Fairfield, J. A. Slavin, H. Vanhamaki, H. Uchino, R. Fujii, Y. Miyoshi, and S. Machida	4. 巻 121
2. 論文標題 Stepwise tailward retreat of magnetic reconnection: THEMIS observations of an auroral substorm	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research Space Physics	6. 最初と最後の頁 4548-4568
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/2015JA022244	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Akimasa Ieda, Kirsti Kauristie, Yukitoshi Nishimura, Yukinaga Miyashita, Harald U. Frey, Liisa Juusola, Daniel Whiter, Masahito Nose, Matthew O. Fillingim, Farideh Honary, Neil C. Rogers, Yoshizumi Miyoshi, Tsubasa Miura, Takahiro Kawashima and Shinobu Machida
2. 発表標題 Auroral substorm onset in satellite-based global images and ground-based all-sky images
3. 学会等名 Japan geoscience union joint meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家田 章正
2. 発表標題 電離圏電気伝導度を算出するための衝突周波数
3. 学会等名 第146回 地球電磁気・地球惑星圏学会総会および講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 家田 章正, 北村 成寿, 齋藤 義文, 横田 勝一郎, Pollock Craig J., Giles Barbara L., Russell C. T., 町田 忍, 長井 嗣信, 熊本 篤志, 土屋 史紀, 笠原 禎也, 三好 由純
2. 発表標題 MMS衛星群とGeotail衛星によるサブストーム開始の同時観測
3. 学会等名 第144回 SGPSS総会および講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A. Ieda, S. Machida, Y. Miyoshi, T. Kawashima, T. Miura, K. Kauristie, Y. Nishimura, Y. Miyashita, G.K. Parks, M. O. Fillingim
2. 発表標題 Simultaneous observation of auroral substorm onset in Polar satellite global images and ground-based all-sky images
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Ieda, K. Kauristie, L. Juusola, Y. Nishimura, Y. Miyashita, D. H. Fairfield, H. U. Frey, M. O. Fillingim, D. Whiter, F. Honary, N. C. Rogers, Y. Miyoshi, and S. Machida
2. 発表標題 Simultaneous observation of auroral substorm onset in Polar satellite global images and ground-based all-sky images
3. 学会等名 International conference on substorms 13 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 家田章正、宮下幸長、町田忍、三浦翼、川嶋貴大
2. 発表標題 オーロラキロメートル放射とオーロラ極方向拡大との関係：Geotail衛星と地上全天観測
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第142 回総会・講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 A. Ieda, Y. Ogawa, S. Oyama, N. Kitamura, Y. Saito, S. Yokota, H. Hasegawa, S. Taguchi, K. Hosokawa, S. Machida, H. Uchino, T. Hori, C. J. Pollock, B. L. Giles, T. E. Moore, C. T. Russell, R. J. Strangeway, R. Nakamura, and J. L. Burch
2. 発表標題 MMS satellites and EISCAT radar observations of dayside flow bursts
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2016年大会 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 家田章正、西村幸敏、宮下幸長、町田忍、川嶋貴大、三浦翼
2. 発表標題 オーロラ爆発の衛星画像と全天画像による同時観測
3. 学会等名 地球電磁気・地球惑星圏学会第140 回総会・講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----