

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：62611

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2013

課題番号：21403007

研究課題名(和文)オーロラの南北半球共役性とその太陽活動依存性の研究

研究課題名(英文)Conjugacy of auroras and their relationship to solar activity

研究代表者

佐藤 夏雄(SATO, NATSUO)

国立極地研究所・名誉教授

研究者番号：50132709

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円、(間接経費) 4,440,000円

研究成果の概要(和文)：南極昭和基地と北極域アイスランドは1本の磁力線で結ばれた共役点ペアの位置関係にある。この利点を最大限に活用し、オーロラの形状や動きを同時観測し、南北半球間の対称性・非対称性の特性を研究した。オーロラは南北両半球でその形が似ている場合や全く異なる場合など様々であった。特に、オーロラ爆発の直前に出現するビーズ状オーロラ、オーロラ爆発、点滅する脈動オーロラ、渦状オーロラ、などに注目して南北半球の比較研究を行った。そして、それらオーロラの発生源と発生機構に関する貴重な手がかりを得ることができた。また、観測から得られた実際の共役点位置の時間・空間変動と惑星間空間磁場との関係を明らかにすることもできた。

研究成果の概要(英文)：Syowa Station in Antarctica and stations in Iceland form an ideal set of observatories to study geomagnetically conjugate auroras in the auroral zone. A campaign of conjugate auroral observations using all-sky TV cameras has been carried out during the equinox periods. We examined several types of auroras, e.g., beads aurora, auroral breakup, spirals, and pulsating aurora, checking for similarity and dissimilarity in terms of shapes, movements, and luminosity variations at both observatories. We assumed their generation region and mechanisms. We were also able to trace the temporal movements and displacement of the auroras in the Northern and Southern Hemispheres with a high spatial-temporal resolution. We discussed their conjugate characteristics with reference to solar wind-magnetosphere and magnetosphere-ionosphere coupling processes.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：宇宙科学 磁気圏・電離圏 超高層物理学 オーロラ 極域科学 南極昭和基地 アイスランド 地磁気共役点

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) オーロラ粒子を加速する物理機構として、磁気圏-電離圏間の相互作用の重要性が提唱されていた。
- (2) 特に、電離圏の役割の重要性が指摘されていた。
- (3) 南北両半球におけるオーロラの動きや強度、形状の差異に果たす電離圏の役割が不明確であった。
- (4) 脈動オーロラの発生機構、特に、その周期性と形状、および変調領域が不明確であった。
- (5) オーロラサブストームがトリガーされるタイミングやメカニズムが何かホットな話題であった。

## 2. 研究の目的

南北半球間でのオーロラの対称性や非対称性を定量的に明らかにすることにより、下記の現象を究明することを目的とした。

- (1) 脈動オーロラの形状と周期の差異から変調機構と変調領域を明らかにする。
- (2) オーロラ爆発の同時性/非対称性を明らかにする。
- (3) オーロラ粒子加速に関わる電離圏の役割を明らかにする
- (4) オーロラ絶対強度の南北半球差を明らかにする。
- (5) 可視オーロラとレーダーオーロラとの比較から電場の役割を明らかにする。
- (6) プロトン・オーロラの共役性を明らかにする。
- (7) 惑星間空間磁場IMF3成分がオーロラの南北半球の非対称性に及ぼす影響を定量的に明らかにする。

## 3. 研究の方法

オーロラ帯に位置する昭和基地とアイスランド共役点ペアにおいて、以下の手法で観測研究をおこなう。

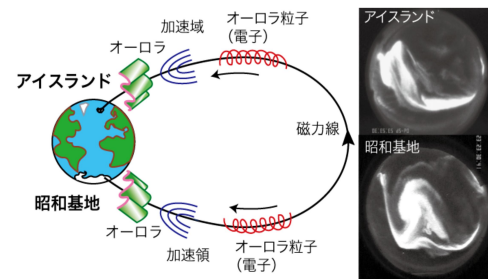
(1) 昭和基地とアイスランドとが同時に暗夜になる9月~10月頃や3月頃の秋・春分の時期に日本からアイスランドに出向いて、オーロラテレビカメラや多波長フォトメータなどを用いて同時観測する。昭和基地側は日本南極地域観測越冬隊により同様のオーロラ観測が行われる。

(2) その他の期間は無人によるインターネットコントロールによりオーロラデータを取得する。

(3) 同時観測データの画像解析から、オーロラの動きや形の対称性・非対称性を比較研究する。

(4) 可視オーロラと大型短波レーダー(SuperDARN)との同時観測を行なう。

(5) 衛星データを最大限活用・比較する。



## 4. 研究成果

南北半球でのオーロラ同時観測イベントの詳細解析などから下記の成果が得られた。

(1) サブストームの開始直前に出現するピーズ状オーロラは南北両半球に同時に現れることを明らかにした。非常に良い類似性を示したことは、発生源が磁気圏尾部のプラズマシートの赤道域であることを示唆する結果であった。

(2) 共役点で類似であるオーロラ相対位置の時間的変動のトレースから、経度方向の偏位は惑星間空間磁場IMFの東西成分(By)の方向と大きさに良い相関があることを明らかにした。

(3) 上記(2)の時間的なレスポンスは、オーロラの共役点観測と衛星データとの比較観測

から、惑星間空間磁場が地球磁気圏の前面に到達してから地球磁場の形状を变形するのに約50分要することを明らかにした。

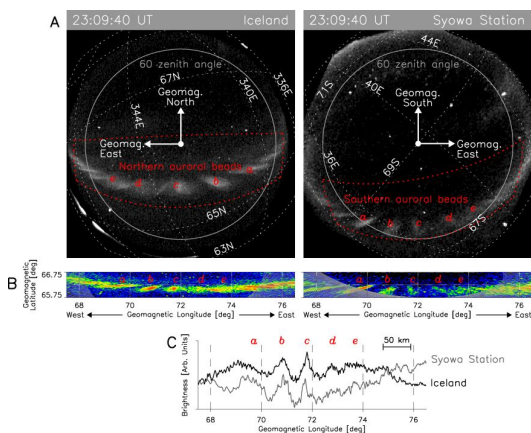
(4)可視オーロラとSuperDARN レーダーとの同時観測により、ビーズ状や渦状オーロラ特有のダイナミックな動形態とレーダーから導かれた渦状や反平行電場、沿磁力線電流との関連を明らかにすることができた。

(5)オーロラにともなって発生するMF帯のオーロラ電波に新たなモードが存在することを観測データから明らかにできた。

(6)オーロラブレイクアップに開始時間差があったり、完全に非対称なブレイクアップ現象が起こることを明らかにし、電離圏の役割の重要性を指摘できた。

(7)脈動オーロラの形状や周期は南北半球では非対称であることを確信できた。ただし、脈動オーロラの活動域全体の分布と時間変動に関しては南北半球で良い相関を示している。

(8)昔から想像していたような、南北半球でオーロラがミラーイメージ(鏡対称)であるオーロライベントは「極めて稀である」との理解に至った。



## 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15件)

Motoba, M., S. Ohtani, A. Kadokura and J. Gjerloev, Interrelationship between preonset auroral and magnetic signatures at a geomagnetically conjugate

Iceland-Syowa pair, *J. Geophys. Res.*, 119, 761–769, doi: 10.1002/2013JA019512, 2014、査読あり

Morioka, A., Y. Miyoshi, Y. Kasaba, N. Sato, A. Kadokura 他3名, Substorm onset process: Ignition of auroral acceleration and related substorm phases, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1002/2013JA019442., 2014、査読あり

Hosokawa, K., S. E. Milan, M. Lester, A. Kadokura, N. Sato, G. Bjornsson, Large flow shears around auroral beads at substorm onset, *Geophys. Res., Lett.*, vol. 40, 4987–4991, doi:10.1002/grl.50958, 2013、査読あり

Sato, Y., T. Ono, N. Sato, Y. Ogawa, First observations of 4fce auroral roar emissions, *Geophys. Res., Lett.*, 39, doi:10.1029/2012GL051205, 2012、査読あり

Motoba, T., K. Hosokawa, Y. Ogawa, N. Sato, A. Kadokura, S. E. Milan, and M. Lester, Simultaneous ground-satellite observations of meso-scale auroral arc undulations, *J. Geophys. Res.*, 117, A06213, doi:10.1029/2011JA017291., 2012、査読あり

Motoba, T., A. Kadokura, K. Hosokawa and N. Sato. Magnetic conjugacy of northern and southern auroral beads, *Geophys. Res., Lett.*, VOL. 39, L08108, doi:10.1029/2012GL051599, 2012、査読あり

Sato, N., A. Kadokura, T. Motoba, K. Hosokawa, G. Bjornsson and T. Saemundsson, Ground-based aurora conjugacy and dynamic tracing of geomagnetic conjugate points, *Geophysical Monograph Series 197*, AGU, 91-98, doi:10.1029/2011GM001154, 2012、査読あり

Saita, S., A. Kadokura, N. Sato 他9名, Displacement of conjugate point during a

substorm in a global MHD simulation, *J. Geophys. Res.*, 116, A06213, doi:10.1029/2010JA016155, 2011、査読あり

Motoba, T., K. Hosokawa, Y. Ogawa, N. Sato, A. Kadokura, S. C. Buchert and H. Rème, In-situ evidence for IMF-induced tail twisting associated with relative displacement of conjugate auroral features, *J. Geophys. Res.*, A04209, doi:10.1029/2010JA016206, 2011、査読あり

Morioka, A., Y. Miyoshi, F. Tsuchiya, M. Misawa, Y. Kasaba, T. Asozu, S. Okano, A. Kadokura, N. Sato, 他 7 名, On the simultaneity of substorm onset between two hemispheres, *J. Geophys. Res.*, 116, A04211, doi:10.1029/2010JA016174, 2011、査読あり

Sato, Y., T. Ono, N. Sato and R. Fujii, MF/HF auroral radio emissions emanating from the topside ionosphere, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L14102, doi:10.1029/2010GL043731, 2010、査読あり

Hosokawa, T. Motoba, A. S. Yukimatu, S. E. Milan, M. Lester, A. Kadokura, N. Sato, G. Bjornsson, Plasma irregularities adjacent to auroral patches in the post-midnight sector, *J. Geophys. Res.*, 115, A09303, doi:10.1029/2010JA015319, 2010、査読あり

Motoba, T., K. Hosokawa, N. Sato, Kadokura and G. Bjornsson, Varying IMF By effects on interhemispheric conjugate auroral features during weak substorm, *J. Geophys. Res.*, 115, A09210, doi:10.1029/2010JA015369, 2010、査読あり

Hosokawa, K., Y. Ogawa, A. Kadokura, H. Miyaoka and N. Sato, Modulation of ionospheric conductance and electric field associated with pulsating aurora, *J. Geophys. Res.*, 115, A03201,

doi:10.1029/2009JA014683, 2010、査読あり  
Sato, N. and A. Kadokura, Spatial and temporal conjugacy of meso-scale discrete aurora, *Proc. Future Perspectives of Space Plasma and Particle Instrumentation and International Collaborations*, AIP (American Institute of Physics), 201-206, 2009、査読あり

〔学会発表〕(計 15 件)

Natsuo Sato, Akira Kadokura, Yoshimasa Tanaka and Takanori Nishiyama, Driver of quasi-periodic modulation of pulsating aurora: Role of cold electron flux and electric field, AGU 2013 Fall Meeting, 10 December 2013, San Francisco, USA.

佐藤夏雄、門倉昭、田中良昌、脈動オーロラの準周期的変調に及ぼす低温電子フラックスと電場の準周期的変動の寄与、地球電磁気・地球惑星圏学会第 134 回総会・講演会、2013 年 11 月 2 日～5 日、高知大学

佐藤夏雄、門倉昭、田中良昌、櫻井亨、真夜中から朝側の磁気圏で観測された単色 Pc2-3 脈動、第 4 回極域科学シンポジウム、2013 年 11 月 12 日～15 日、極地研

Sato, N., H. Yang, H. Hu, Z.-J. Hu, L. Ruiyuan, A. Kadokura, H. Yamagishi, A. S. Yukimatu, H. Miyaoka, Japan-China collaboration on aurora observation at Chinese Zhongshan Station in Antarctica, NSFC-CAS-JSPS International Workshop, 2013 年 12 月 6 日, 広州 Sun-Yat Sen Univ., China

Natsuo Sato, A. Kadokura, Y. Tanaka and T. Nishiyama, Pulsating aurora: Role of cold electrons and electric field in the magnetosphere, CAWSESS International Symposium, 23 November 2013, Nagoya University.

Natsuo Sato, Akira Kadokura, Yoshimasa Tanaka, Particle and field at the onset of pulsating aurora in the magnetosphere, International Living With a Star Workshop 2013 (ILSW-2013), 26 June 2013, Irkutsk, Russia.

佐藤夏雄、門倉昭、田中良昌、細川敬介、元場哲郎、脈動オーロラ発生時の磁気圏赤道域付近の粒子・波動・電磁場、日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2013 年大会、2013 年 5 月 20 日、幕張メッセ。

佐藤夏雄、門倉昭、田中良昌、脈動オーロラの THEMIS 衛星-地上同時観測、SJEPSS 秋学会 10 月 23 日、2012 札幌。

Sato, N., Dynamic tracing geomagnetic conjugate points using synchronous auroras (Invited Talk), AGU Chapman Conference, 3 March, 2011, Fairbanks, Alaska

Sato, N., T. Motoba, A. Kadokura, K. Hosokawa, G. Bjornsson, and T. Saemundsson, Spatial and temporal tracing of real geomagnetic conjugate point observed by Syowa-Iceland conjugate-pair auroras (Invited Talk), SCAR Open Science Conference, 4 August, 2010, Taipei, Taiwan

Sato, N., T. Motoba, A. Kadokura, K. Hosokawa, G. Bjornsson, and T. Saemundsson, Spatial and temporal tracing of real geomagnetic conjugate point observed by Syowa-Iceland conjugate-pair auroras (Invited Talk), SCAR Open Science Conference, Buenos Aires, Argentina, 4 August, 2010.

Sato, N., H. Doi, A. Kadokura, Gunnlaugur Bjornsson, Thorsteinn Saemundsson, Interhemispheric Conjugacy of Westward Traveling Surge Aurora, IPY Oslo Science Conference, Oslo, Norway, 9 June, 2010.

Sato, N., Interhemispheric Auroral Features Observed at Syowa-Iceland Conjugate-pair (Invited Talk), AGU Western Pacific Geophysics Meeting, Taipei, Taiwan, 23. June, 2010.

Sato, N., Conjugate aurora (Invited Talk), International Conference of Space Science and Communication (IconSpace), ポートデクソン, マレーシア, 20 Oct., 2009.

Sato, N., ICESTAR activity in Japan during IPY2007-2008 (Invited talk), The 4th Malaysian International Seminar on Antarctica (MISA4), クアラルンプール, マレーシア, 3 April, 2009.

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

佐藤 夏雄 (SATO, NATSUO)

国立極地研究所・名誉教授

研究者番号 : 50132709

### (2)研究分担者

山岸 久雄 (YAMAGISHI, HISAO)

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号 : 20132714

門倉 昭 (KADOKURA, AKIRA)

国立極地研究所・研究教育系・教授

研究者番号 : 70185883

小川 泰信 (OGAWA, YASUNOBU)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号 : 00362210

行松 彰 (YUKIMATU, AKIRA)

国立極地研究所・研究教育系・准教授

研究者番号 : 70260007

小野 高幸 (ONO, TAKAYUKI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

( H25.12 まで分担者 )

細川 敬祐 ( HOSOKAWA, KEISUKE )

電気通信大学・電気通信学部・准教授

研究者番号 : 80361830

( H21, H23-25 分担者 )

田口 真 ( TAGUCHI, MAKOTO )

立教大学・理学部・教授

研究者番号 : 70236404

岡野 章一 ( OKANO, SYOICHI )

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 10004483

( H21-23 分担者 )