

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19403010

研究課題名(和文)

カナダ北極域におけるオーロラの高時間分解能光学観測

研究課題名(英文)

High-time resolution optical observation of auroras in the Canadian arctic

研究代表者：

小川 忠彦 (OGAWA TADAHIKO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・名誉教授

研究者番号：60271607

研究成果の概要(和文)：

本研究では、カナダ北極域を中心とした多地点のオーロラ帯において、既存の高感度全天カメラによる定常観測(時間分解能：分)に加えて、30分の1秒の高時間分解能でオーロラの変動を観測する全天カメラを運用し、これらのデータを THEMIS 衛星などの人工衛星データと比較することにより、サブストームに伴うオーロラの微細構造の発達特性や、極冠域の電離圏構造を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

We conduct two campaign observations of high-time resolution all-sky auroral imaging at multi-point stations in the Canadian arctic using 1/30-sec sampled cameras, in addition to the automated routine measurements of monochromatic all-sky cameras. We also combine these observations with the THEMIS satellite measurements. From these observations we obtain fine-scale structures and their development of auroras at the beginning of auroral substorms, as well as detailed characteristics of polar-cap plasma structures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

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：オーロラ、極冠域プラズマパッチ、大気重力波、人工衛星—地上共同観測、サブストーム、磁気嵐、国際情報交換、カナダ：アメリカ

1. 研究開始当初の背景

平成 16 年度から開始された基盤研究 B(海外)「カナダ北極域におけるオーロラ・超高層大気の高感度光学観測」(代表：小川忠彦、本申請研究代表者)により、カナダ北極域のレジュートベイ(磁気緯度 83 度)及びアサバスカ(磁気緯度 62 度)に、特定の発光輝線をフィルターを通して観測する高感度分光全天カメラを設置し、平成 17 年から、

極冠域及びサブオーロラ帯におけるオーロラと夜間大気光の定常観測を、2分の時間分解能で継続していた。特に極冠域に位置するレジュートベイにおけるプラズマパッチ現象のドリフト観測から、惑星間空間磁場(IMF)の変動に従って変化する極冠域の対流の速度ベクトルを、精度良くモニターすることに成功している。この観測は、太陽風中の電場が磁気圏に侵入してくる時間遅れも

表していた。

また、これらの日本の研究者による観測と連携して、カナダ・カルガリー大学の E. Donovan 博士を中心としたグループにより、カナダのオーロラ帯をカバーする 20 カ所の広域全天カメラネットワークが、平成 16 年から構築され始めていた。この初期結果として、オーロラサブストームの開始時のオーロラの詳細な画像が得られており、この画像は、サブストームの急激な開始を引き起こす磁気圏のプラズマ不安定の存在を示唆している、と考えられている。しかし、このネットワーク観測の時間分解能は 4-5 秒であり、それより早い時間でのオーロラ観測は行われていない。これらの観測は、平成 18 年度に打ち上げられる米国の THEMIS 衛星プロジェクトに連携して行われていた。平成 17 年度から、カナダ北極域のレズリュートベイ（磁気緯度 83 度）及びアサバスカ（磁気緯度 62 度）に、特定の発光輝線をフィルターを通して観測する高感度分光全天カメラを設置し、極冠域及びサブオーロラ帯におけるオーロラと夜間大気光の定常観測を、2 分の時間分解能で継続していた。

2. 研究の目的

本研究では、上記の高感度分光観測に加えて、1/30 秒の高時間分解能でオーロラの変動を観測することのできる全天カメラをカナダの 2 カ所で運用することにより、サブストームに伴うオーロラの微細構造を高時間分解能で観測し、その伝搬速度や、太陽風電場の侵入に対する応答を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

平成 20 年 1-3 月及び平成 21 年 2-3 月に、カナダの Fort Smith、Gillam で 30Hz のサンプル間隔で画像取得ができる高時間分解能のカメラを用いてキャンペーン観測を行った。また、研究期間の 4 年間の間、レズリュートベイとアサバスカの自動定常観測を維持した。さらに、別途予算により導入された 180Hz サンプルが可能な EMCCD カメラを用いて、オーロラのさらなる高時間分解能観測をアラスカの Fairbanks で行った。これらの観測と、THEMIS 衛星や NOAA 衛星などの人工衛星群や、レーダー、GPS 等の地上観測との比較を行った。

4. 研究成果

本研究により、数多くの研究成果が得られている。その中の代表的なものを以下に挙げる。

(1) サブストーム開始時に経度方向に広がるオーロラの構造が、磁気圏尾部の地

球向き高速流の減速過程にかかわって発生していることを、THEMIS 衛星—地上同時観測データから明らかにした。

(2) オーロラサブストームの開始時におけるオーロラの微細構造を、2次元フーリエ変換を用いて解析し、5秒程度の時間内に小さい構造が大きい構造に発展していく様相を明らかにした。

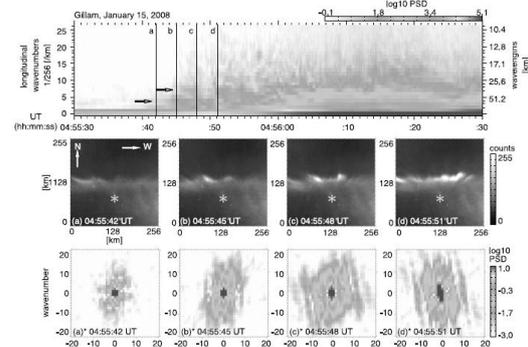


図 1：オーロラサブストーム開始の1分間におけるオーロラのスケール（波数）の変化。上段が東西波数の時間変化で、矢印のところに波数が時間とともに減少する構造が見える。中段は対応するオーロラ画像、下段は東西・南北方向のオーロラ構造の波数(Sakaguchi et al., 2010)。

(3) パッチ構造を持つオーロラの中に見られる構造から、オーロラを作り出す磁気圏プラズマにRayleigh-Taylor型不安定構造が発達している可能性を発見した。

January 14, 2008, Gillam, Canada

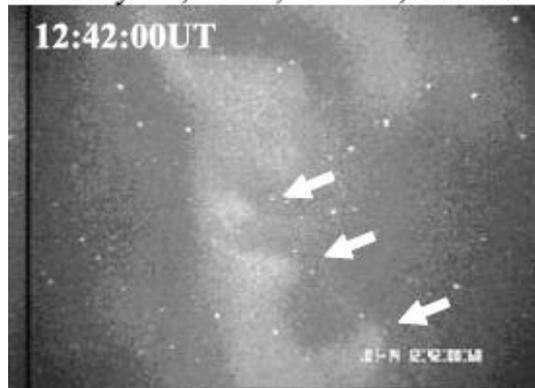
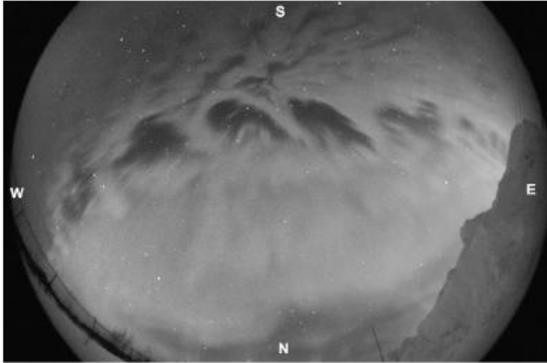


図 2：オーロラのパッチの中に見られる Rayleigh-Taylor型不安定を示唆する構造。(Shiokawa et al., 2010)

(4)サブストーム開始直後に現れる周期的なブラックオーロラのパッチ構造を発見し、この成因が磁気圏の不安定構造である可能性を示唆した。



Feb.22,2009 08:43UT Gillam lens: NIKON F2.8/8mm 30s exposure NIKON D40

図3：サブストーム開始直後に現れたブラックオーロラのパッチ構造。(Sakaguchi et al., 2011)

(5)オーロラ帯よりも高緯度の極冠域に位置するResolute Bayでの高感度カメラによる観測から、極冠域パッチ現象やプラズマの舌状構造の詳細構造に関する数多くの観測がえられた。

December 15, 2006 03:24:37 UT
Hosokawa et al., 2009 All-sky Airglow Observations
12 MLT

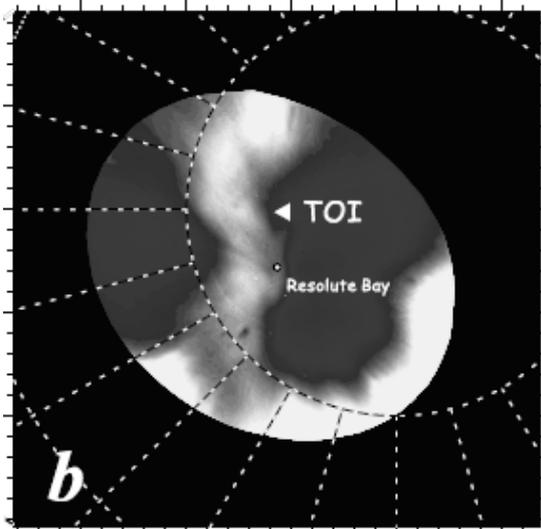


図4：Resolute Bayの高感度全天カメラで観測された極冠域の舌状プラズマ構造 (TOI)。(Hosokawa et al., 2010)

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28件)

(1) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, E.

Donovan, A. Nakajima, Y. Hiraki, T. Trondsen, and F. Plaschke, Periodic black auroral patches at the dawnside dipolarization front during a substorm, *J. Geophys. Res.*, 116, A00I18, doi:10.1029/2010JA015957, 2011. (査読有り)

(2) Kataoka, R., Y. Miyoshi, T. Sakanoi, A. Yaegashi, K. Shiokawa, and Y. Ebihara, Turbulent microstructures and formation of folds in auroral breakup arc, *J. Geophys. Res.*, 116, A00K02, doi:10.1029/2010JA01633, 2011. (査読有り)

(3) Hosokawa, K., T. Tsugawa, K. Shiokawa, Y. Otsuka, N. Nishitani, T. Ogawa, and M. R. Hairston, Dynamic temporal evolution of polar cap tongue of ionization during magnetic storm, *J. Geophys. Res.*, 115, A12333, doi:10.1029/2010JA015848, 2010. (査読有り)

(4) Shiokawa, K., A. Nakajima, A. Ieda, K. Sakaguchi, R. Nomura, T. Aslaksen, M. Greffen, and E. Donovan, Rayleigh-Taylor type instability in auroral patches, *J. Geophys. Res.*, 115, A02211, doi:10.1029/2009JA014273, 2010. (査読有り)

(5) Hosokawa, K., J. -P. St-Maurice, G. J. Sofko, K. Shiokawa, Y. Otsuka, and T. Ogawa, Reorganization of polar cap patches through shears in the background plasma convection, *J. Geophys. Res.*, 115, A01303, doi:10.1029/2009JA014599, 2010. (査読有り)

(6) Shiokawa, K., A. Ieda, A. Nakajima, K. Sakaguchi, R. Nomura, T. Aslaksen, M. Greffen, E. Spanswick, and E. Donovan, S. B. Mende, J. McFadden, K. -H. Glassmeier, V. Angelopoulos, and Y. Miyashita, Longitudinal development of a substorm brightening arc, *Ann. Geophys.*, 27, 1935-1940, 2009. (査読有り)

(7) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, A. Ieda, R. Nomura, A. Nakajima, M. Greffen, E. Donovan, I. R. Mann, H. Kim, and M. Lessard, Fine structures and dynamics in auroral initial brightening at substorm onsets, *Ann. Geophys.*, 27, 623-630, 2009. (査読有り)

(8) Hosokawa, K., K. Shiokawa, Y. Otsuka, and T. Ogawa, J. P. St-Maurice, G. J. Sofko, and D. A. Andre, Relationship between polar cap patches and field-aligned irregularities as

- observed with an all-sky airglow imager at Resolute Bay and the PolarDARN radar at Rankin Inlet, *J. Geophys. Res.*, 114, A03306, doi:10.1029/2008JA013707, 2009. (査読有り)
- (9) Hosokawa, K., T. Kashimoto, S. Suzuki, K. Shiokawa, Y. Otsuka and T. Ogawa, Motion of polar cap patches: A statistical study with all-sky airglow imager at Resolute Bay, Canada, *J. Geophys. Res.*, 114, A04318, doi:10.1029/2008JA014020, 2009. (査読有り)
- (10) Hosokawa, K., T. Tsugawa, K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Ogawa, and M. R. Hairston, Unusually elongated, bright airglow plume in the polar cap F region: Is it a tongue of ionization?, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07103, doi:10.1029/2009GL037512, 2009. (査読有り)
- (11) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, and E. Donovan, Azimuthal structures of ray auroras at the beginning of auroral substorms, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L23106, doi:10.1029/2009GL041252, 2009. (査読有り)
- (12) Jayachandran, P. T., K. Hosokawa, J. W. MacDougall, S. Mushini, R. B. Langley, and K. Shiokawa, GPS total electron content variations associated with a polar cap arc, *J. Geophys. Res.*, 114, A12304, doi:10.1029/2009JA014916, 2009. (査読有り)
- (13) Miyoshi, Y., K. Sakaguchi, K. Shiokawa, D. Evans, J. Albert, M. Connors, and V. Jordanova, Precipitation of radiation belt electrons by EMIC waves, observed from ground and space, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L23101, doi:10.1029/2008GL035727, 2008.
- (14) Koustov, A., K. Hosokawa, N. Nishitani, T. Ogawa, and K. Shiokawa, Rankin Inlet PolarDARN radar observations of duskward moving Sun-aligned optical forms, *Ann. Geophys.*, 26, 2711-2723, 2008.
- (15) Suzuki, S., K. Shiokawa, K. Hosokawa, K. Nakamura, and W. K. Hocking, Statistical characteristics of polar cap mesospheric gravity waves observed by an all-sky airglow imager at Resolute Bay, Canada, *J. Geophys. Res.*, 114, A01311, doi:10.1029/2008JA013652, 2009.
- [学会発表] (計 79 件)
- (1) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, A. Nakajima, E. Donovan, and T. Tronsen, K. H. Glassmeier, Periodic black auroras at the dawn-side dipolarization front during a substorm, International Conference on Substorms-10 (ICS-10), San Luis Obispo, California, March 22-26, 2010 (invited talk).
- (2) Hosokawa, K., T. Tsugawa, K. Shiokawa, N. Nishitani, Y. Otsuka, T. Ogawa, and M. Hairston, Multi-instrumental comprehensive study of polar cap tongue of ionization during magnetic storm on December 15, 2006, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 14-18, 2009.
- (3) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, Y. Hiraki, and E. Donovan, Evolution of wave numbers in auroral structures at a substorm onset, AGU Joint Assembly, Toronto, Canada, May 24-27, 2009 (invited talk).
- (4) Shiokawa, K., A. Ieda, A. Nakajima, K. Sakaguchi, R. Nomura, M. Greffen, T. Aslaksen, E. Spanswick, and E. Donovan, Initial Results from the THEMIS-ground auroral campaign observations using 30-Hz all-sky cameras in Canada, The 9th International Conference on Substorms, Graz, Austria, May 5-9, 2008.
- (5) Sakaguchi, K., K. Shiokawa, A. Ieda, A. Nakajima, R. Nomura, M. Greffen, and E. Donovan, Microstructures of substorm onset arcs observed by 30-Hz all-sky cameras during the THEMIS-ground campaign, The 9th International Conference on Substorms, Graz, Austria, May 5-9, 2008.
- (6) 塩川和夫、中島章光、家田章正、坂口歌織、野村麗子、T. Aslaksen, M. Greffen, and E. Donovan、オーロラパッチの境界における Rayleigh-Taylor 型不安定構造、第 124 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、仙台市戦災復興記念館、2008 年 10 月 9-12 日。
- (7) 家田章正、塩川和夫、堀智昭、坂口歌織、野村麗子、中島章光、宮下幸長、藤本正樹、テミス衛星群と地上オーロラビデオとによる 2008 年 3 月のサブストーム同時観測、第 124 回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会、仙台市戦災復興記念館、2008 年 10 月 9-12 日。

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ等

カナダでのオーロラキャンペーン観測の情報は下記webページで公開している。

http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/canada/campaign/canada_campaign.html

また、Resolute Bay, Athabascaの定常観測のデータは下記2カ所のWebページで公開している。

<http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/div2/data.html>

<http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/omti/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 忠彦 (OGAWA TADAHIKO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・名誉教授

研究者番号：60271607

(2) 研究分担者

塩川 和夫 (SHIOKAWA KAZUO)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授

研究者番号：80226092

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

(3) 連携研究者

西谷望 (NISHITANI NOZOMU)

名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授

研究者番号：10218159

細川 敬祐 (HOSOKAWA KEISUKE)

電気通信大学・大学院情報理工学研究

科・助教

研究者番号：80361830