

平成 22 年 5 月 1 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2006 ～ 2009
 課題番号： 18403011
 研究課題名（和文） シベリア域から日本におけるジオスペース環境変動の衛星一地上共同観測
 研究課題名（英文） Ground-Satellite observation of geospace environment over Siberia and Japan
 研究代表者
 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

研究成果の概要（和文）：

ロシア極東域のパラツンカ観測点、マガダン観測点に高感度全天カメラ・誘導磁力計を設置、日本に設置した高感度全天カメラ、誘導磁力計、北海道のSuperDARNレーダーを組み合わせて、極東シベリア域から日本にかけての超高層大気の観測網を構築した。これらのデータと、上空を飛翔する人工衛星データを組み合わせて、低緯度オーロラを引き起こす特殊な電子降り込みの特性や、サブオーロラ帯から中緯度における電離圏の擾乱の特性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

We installed all-sky cooled-CCD imagers and induction magnetometers at Magadan and Paratunka in Far-East Russia in 2007-2008. By combining pre-existing imagers and the SuperDARN Hokkaido radar and newly-installed induction magnetometers in Japan, we developed a latitudinal chain of ground-based stations to observe the upper atmosphere and geospace. Using these ground-based observations as well as satellite observations, we investigate storm-time broadband electron precipitation, which can cause low-latitude red auroras, and ionospheric disturbances in the subauroral region to middle latitudes.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	6,700,000	2,010,000	8,710,000
2007 年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2008 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2009 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

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、夜間大気光、大気重力波、人工衛星一地上共同観測、低緯度オーロラ、磁気嵐、国際情報交換、ロシア

1. 研究開始当初の背景

これまでの日本や米国における衛星・地上観測から、ジオスペースの領域において、以下のような未解明の点が指摘されていた。

- ・磁気嵐の開始直後（2時間以内）に北海道で低緯度オーロラが観測される例が複数見ついている。このような例は、従来考えているよりも速い速度で、 $L=2$ 付近の内部磁気圏に高エネルギープラズマが侵入してきていることを示唆している。

- ・SARアーク近傍で観測される強い極向き電場（SAID）が、時間的に早い周期（数分程度）で変動している。

- ・Broadband electrons と名付けられた数十 eV から数十 keV にわたる広いエネルギー範囲にわたる電子降り込みが、SARアーク以外の低緯度オーロラの原因の一つであることがわかっている。この現象は、磁気嵐主相のサブストームに伴って、 $L=4$ 以内の内部磁気圏に急に激しい粒子加速が起きていることを示しているが、その加速機構はよくわかっていない。

- ・ $L=9$ 以下の内部磁気圏における電場を CRRES 衛星で統計的に調べた結果、大きな地磁気擾乱時には、電場強度が $L=2$ 付近まで、磁気圏の内側に行くほど大きくなっていることが発見されている。この事実は、従来から考えられている磁気圏における電場のシールドは、擾乱が激しい時にはあまり有効ではなく、地球に非常に近い地点まで磁気圏電場が侵入していることを示している。

- ・磁気嵐やサブストームに伴って、大規模な熱圏大気波動が赤道に向かって伝搬していく現象が、光学観測ネットワークや GPS 多点観測網でイメージング観測されている。しかし同時に極域で観測された磁気擾乱は、赤道伝搬する大気波動の位相と必ずしも一致しているわけではなく、極域から発生して低緯度に伝搬する過程で、波と波の相互作用など、複雑な過程が介在している可能性がある。

2. 研究の目的

これらの未解明の点に対して、本研究では、地上からの2次元イメージング観測と衛星直接観測という組み合わせを用いて、以下の2点を明らかにすることを目的とした。

- (1) SARアークを含む低緯度オーロラ現象の観測に基づく、磁気擾乱時におけるジオスペースプラズマの変動と、内部磁気圏への電場の侵入状況の2次元的な描像。

- (2) ジオスペースで発生する電磁気擾乱が超高層大気を加熱し、その影響がサブオーロラ帯から中緯度に向かって伝搬してくるメカニズム。

3. 研究の方法

本研究課題では、シベリア地域に高感度の全天カメラ2台を新たに設置し、オーロラ及び大気光を分光イメージング観測する。この地域は、平成18年度後期に稼働を始めた北海道の SuperDARN 大型短波レーダーの視野内に入っている。さらに、電離圏高度の衛星（FAST, DMSP, NOAA, れいめい、あけぼの）と磁気圏高度の衛星（THEMIS, GEOTAIL）によって得られるプラズマ・電磁場の観測とこれらの地上観測を比較した。

4. 研究成果

- (1) 平成19年4月に、ロシア極東域の現地対応研究者が所属するロシア科学アカデミー・IKIR研究所と、本研究の研究代表者が所属する名古屋大学太陽地球環境研究所の間で、今後の共同研究・観測を推進するための学術交流協定が締結された。この協定に基づいて、平成19-20年に、ロシア極東域のパラツンカ観測点、マガダン観測点高感度全天カメラ・誘導磁力計を設置し、平成21年度末まで自動観測を継続した。また、平成19年度に北海道母子里観測所と鹿児島県鹿児島観測所に誘導磁力計を設置し、自動観測を平成21年度末まで継続した。これらのデータのデータベース化を名古屋大学で行った。

- (2) 低緯度オーロラの原因の一つと考えられる内部磁気圏からの特異な電子降り込み現象 (broadband electron) に関して、電離圏を飛翔する FAST 衛星と磁気圏を飛翔する Double-Star 衛星のデータを用いて詳細な解析を行い、broadband electron が磁気圏における磁気嵐中のサブストームに伴う急激なプラズマの加速・加熱と、その結果生じる Alfvén 波による2次的な加速によって発生していることを明らかにした。

- (3) 平成19年度にパラツンカで得られた南西伝搬から北東伝搬へ転向する中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) 現象の詳細な解析を行い、北海道レーダーのデータと合わせて、その転向が熱圏南北風の急激な変化に伴って発生していることを明らかにした。この結果は、MSTID の

- (4) 磁気嵐に伴って発生する中性大気の中緯度の南向きの風と、中緯度の電離圏に侵入する磁気圏の電場による中低緯度の電離圏の変動をモデル計算と北海道レーダーによる観測から調べ、磁気嵐に伴う中低緯度の電離圏の変動は、磁気圏の電場よりも中性大気の中緯度の風によって大きく左右されることを示した。

- (5) 北海道レーダーで観測されるカムチャッカ上空の MSTID を統計的に解析した。その結果、日本上空ではほとんどの MSTID が南西に伝搬するのに対し、日本よりも北では、南西伝搬だけでなく、北東伝搬するものもあり、緯度によって伝搬特性が異なることが明らかになった。

(6) 北海道レーダーで観測されるカムチャッカ上空のMSTIDと、その視野の中にあるパラツンカ観測点の高感度全天カメラで観測されたMSTIDを比較し、MSTIDの波状構造の中のプラズマドリフトの方向を明らかにした。この結果、MSTIDが分極電場によって生成されていることが示唆された。

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 12 件)

- (1) Nakajima, A., K. Shiokawa, K. Seki, R. Nakamura, K. Keika, W. Baumjohann, T. Takada, J. P. McFadden, C. W. Carlson, A. N. Fazakerley, H. Reme, I. Dandouras, R. J. Strangeway, O. Le Contel, N. Cornilleau-Wehrlin, and K. H. Yearby, Simultaneous FAST and Double Star-TC1 observations of broadband electrons during a storm-time substorm, *J. Geophys. Res.*, in press doi:10.1029/2009JA014907, 2010. (査読有)
- (2) Balan, N., K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Kikuchi, D. Vijaya Lekshmi, S. Kawamura, M. Yamamoto, and G. J. Bailey, A physical mechanism of positive ionospheric storms at low and mid latitudes through observations and modeling, *J. Geophys. Res.*, 115, A02304, doi:10.1029/2009JA014515, 2010. (査読有)
- (3) Ogawa, T., N. Nishitani, Y. Otsuka, K. Shiokawa, T. Tsugawa, and K. Hosokawa, Medium-scale traveling ionospheric disturbances observed with the SuperDARN Hokkaido radar, all-sky imager and GPS network, and their relation to concurrent sporadic-E irregularities, *J. Geophys. Res.*, 114, A03316, doi:10.1029/2008JA013893, 2009. (査読有)
- (4) Balan, N., K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Watanabe and G. J. Bailey, Super plasma fountain and equatorial ionisation anomaly during penetration electric field, *J. Geophys. Res.*, 114, A03310, doi:10.1029/2008JA013768, 2009. (査読有)
- (5) Suzuki, S., K. Hosokawa, T. F. Shibata, K. Shiokawa, Y. Otsuka, N. Nishitani, T. Ogawa, A. V. Koustov, and B. M. Shevtsov, Coordinated observations of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances in 630-nm airglow and HF radar echoes at midlatitudes, *J. Geophys. Res.*, 114, A07312, doi:10.1029/2008JA013963, 2009. (査読有)
- (6) Koustov, A., N. Nishitani, K. Shiokawa, S. Suzuki, and B. M. Shevtsov, Joint observations of a traveling ionospheric disturbance with the Paratunka OMTI camera and the Hokkaido HF radar, *Ann. Geophys.*, 27, 2399-2406, 2009. (査読有)
- (7) Shiokawa, K., Y. Otsuka, and T. Ogawa, Propagation characteristics of nighttime mesospheric and thermospheric waves observed by optical mesosphere thermosphere imagers at middle and low latitudes, *Earth Planets Space*, 61, 479-491, 2009. (査読有)
- (8) Shiokawa, K., T. Tsugawa, Y. Otsuka, T. Ogawa, G. Lu, A. Saito, and M. Yamamoto, Optical and radio observations and AMIE/TIEGCM modeling of nighttime traveling ionospheric disturbances at mid-latitudes during geomagnetic storms, *AGU monograph on Mid-Latitude Ionospheric Dynamics and Disturbances*, 271-281, 2008. (査読有)
- (9) Shiokawa, K., Y. Otsuka, N. Nishitani, T. Ogawa, T. Tsugawa, T. Maruyama, S. E. Smirnov, V. V. Bychkov, and B. M. Shevtsov, Northeastward motion of nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances at middle latitudes observed by an airglow imager, *J. Geophys. Res.*, 113, A12312, doi:10.1029/2008JA013417, 2008. (査読有)
- (10) Nakajima, A., K. Shiokawa, K. Seki, J. P. McFadden, C. W. Carlson, R. J. Strangeway, and K. Yumoto, Particle and field characteristics of broadband electrons observed by the FAST satellite during geomagnetic storms: A multievent study, *J. Geophys. Res.*, 113, A06221, doi:10.1029/2007JA013001, 2008. (査読有)
- (11) Nakajima, A., K. Shiokawa, K. Seki, R. J. Strangeway, J. P. McFadden, and C. W. Carlson, Particle and field characteristics of broadband electrons observed by the FAST satellite during a geomagnetic storm, *J. Geophys. Res.*, 112, A06220, doi:10.1029/2006JA012184, 2007. (査読有)
- (12) Shiokawa, K., G. Lu, Y. Otsuka, T. Ogawa, M. Yamamoto, N. Nishitani, and N. Sato, Ground observation and AMIE-TIEGCM modeling of a storm-time traveling ionospheric disturbance, *J. Geophys. Res.*, 112, A05308,

doi:10.1029/2006JA011772, 2007. (査読有)

[学会発表] (計 25 件)

- (1) Shiokawa, K., and Y. Otsuka, Nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances observed by ground optical instruments at high- and low-latitudes, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 14-18, 2009. (Solicited)
- (2) Balan, N, K. Shiokawa and G. J. Bailey, Positive ionospheric storms: 1 - Physical mechanism, IRI Workshop, Kagoshima, Japan, November 2-7, 2009.
- (3) Balan, N, D. Vijaya Lekshmi, V. Sreeja, K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Kikuchi, and M. Yamamoto, Positive ionospheric storms: 2 - Comparison with observations and IRI, IRI Workshop, Kagoshima, Japan, November 2-7, 2009.
- (4) Balan, N., V. Sreeja, I. S. Batista, K. Lynn, K. Shiokawa, Y. Otsuka, T. Kikuchi and S. Alex, F3 layer as an indicator of prompt penetration electric field, IRI Workshop, Kagoshima, Japan, November 2-7, 2009.
- (5) Shiokawa, K., and Y. Otsuka, Current and future of the optical mesosphere thermosphere imagers (OMTIs) and STEL magnetometers, 日本地球惑星科学連合大会、幕張メッセ国際会議場、2009年5月16-21日。
- (6) 林秀和、西谷望、塩川和夫、大塚雄一、小川忠彦、津川卓也、細川敬祐、齊藤昭則、北海道-陸別 HF レーダー研究グループ、北海道-陸別 HF レーダーと GEONET で観測された大規模伝搬性電離圏擾乱のマルチイベント解析、日本地球惑星科学連合大会、幕張メッセ国際会議場、2009年5月16-21日。
- (7) 塩川和夫、大塚雄一、西谷望、小川忠彦、津川卓也、Sergey Smirnov, Vasilii Bychkov, and Boris M. Shevtsov, パラツンカの高感度全天カメラで観測された MSTID の南西伝搬から北東伝搬への転換、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張メッセ 国際会議場、2008 年 5 月 25-30 日。
- (8) 小川忠彦、西谷望、大塚雄一、塩川和夫、津川卓也、齊藤昭則、北海道-陸別短波レーダーで同時観測された夜間の中規模伝搬性電離圏擾乱と E 層エコー、日本地球惑星科学連合 2008 年大会、幕張メッセ国際会議場、2008 年 5 月 25-30 日。
- (9) Shiokawa, K., K. Sakaguchi, R. Nomura, Y. Otsuka, M. Connors, and B. Shevtsov, Ground-based observations of high frequency pulsations using search coil

magnetometers, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2008 Meeting, Busan, Korea, June 16-20, 2008 (invited).

- (10) Shiokawa, K., Y. Otsuka, N. Nishitani, T. Ogawa, T. Tsugawa, Sergey Smirnov, Vasilii Bychkov, and Boris M. Shevtsov, Turning of MSTID motion from southwestward to northeastward observed by an airglow imager at Paratunka, Russia, Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2008 Meeting, Busan, Korea, June 16-20, 2008 (invited).
- (11) Shiokawa, K., Optical investigation of the ionospheric and atmospheric dynamics. How can we learn something more that is significant?, 12th International Symposium on Equatorial Aeronomy (ISEA-12), Crete, Greece, May 18-24, 2008 (invited).

[図書] (計 1 件)

- (1) Shiokawa, K., T. Tsugawa, Y. Otsuka, T. Ogawa, G. Lu, A. Saito, and M. Yamamoto, Optical and radio observations and AMIE/TIEGCM modeling of nighttime traveling ionospheric disturbances at mid-latitudes during geomagnetic storms, AGU monograph on Mid-Latitude Ionospheric Dynamics and Disturbances, 271-281, 2008.

[その他]

本研究で行われた高感度全天カメラ、磁力計の観測のデータは、以下の Web ページで公開されている。

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

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

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

(2) 研究分担者

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

(H20→H21: 連携研究者)

大塚 雄一 (OTSUKA YUICHI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教
研究者番号：40314025
(H20→H21：連携研究者)

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
(H20→H21：連携研究者)

関 華奈子 (SEKI KANAKO)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・准教授
研究者番号：20345854
(H20→H21：連携研究者)

三好 由純 (MIYOSHI YOSHIZUMI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・助教
研究者番号：10377781
(H20→H21：連携研究者)

平原 聖文 (HIRAHARA MASAFUMI)
東京大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50242102
(H20→H21：連携研究者)

湯元 清文 (YUMOTO KIYOHUMI)
九州大学・宙空環境研究センター・教授
研究者番号：20125686
(H20→H21：連携研究者)

菊池 崇 (KIKUCHI TAKASHI)
名古屋大学・太陽地球環境研究所・教授
研究者番号：70358977
(H20→H21：連携研究者)