

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23740366

研究課題名(和文) 光学・電波観測を組み合わせたポーラーパッチの3次元イメージング観測

研究課題名(英文) 3D imaging of polar cap patches with radio and optical measurements

研究代表者

細川 敬祐 (Hosokawa, Keisuke)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：80361830

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円、(間接経費) 570,000円

研究成果の概要(和文)：カナダ北域のレゾリュートベイにおいて、高感度全天大気光イメージャと非干渉散乱レーダーを用いた極冠域電離圏の立体的観測を実施し、ポーラーキャップパッチやポーラーキャップオーロラに関する様々な研究成果を得た。代表的な成果として、1) 複数のイメージャとレーダーを組み合わせたポーラーキャップパッチの広域イメージング(パッチの水平スケールの評価)や、2) パッチに伴って発生するイレギュラリティの空間分布の可視化、3) ポーラーキャップオーロラ近傍の電磁気学的構造の3次元観測などが挙げられる。これらの成果は、極冠域電離圏擾乱が衛星測位に与える影響を評価するうえで必要不可欠な情報を与えるものである。

研究成果の概要(英文)：We have conducted three dimensional observations of ionospheric phenomena in the polar cap region (polar cap patches and polar cap auroral arcs) by combining a highly-sensitive all-sky air glow imager and phased-array incoherent scatter radar system at Resolute Bay, Canada. Through the analysis of the campaign measurements, we have obtained various interesting results on the dynamical variations of the polar cap ionospheric phenomena. Outstanding results are (1) global-scale imaging of polar cap patches showing the spatial extent of patches, (2) spatial distribution of plasma irregularities in the vicinity of polar cap patches, and (3) three dimensional visualization of the electrodynamic structure behind polar cap aurora. These results are of particular importance for understanding and predicting the possible impact of the polar cap ionospheric phenomena on the trans-ionospheric satellite communication environment.

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：超高層大気環境 極冠域電離圏 ポーラーキャップパッチ ポーラーキャップオーロラ 大気光観測

1. 研究開始当初の背景

磁気緯度が 75 度以上の極冠域電離圏で観測されるいくつかの超高層大気現象（ポーラーパッチ、ポーラーキャップオーロラなど）に注目が集まり、極冠域を視野に含む 3 基の大型短波レーダー（PolarDARN）や、カナダのレゾリュートベイに新しく配備された大型の非干渉散乱レーダー（Resolute Bay Incoherent Scatter Radar: RISR-N）による観測データを用いた研究が精力的に行われつつあった。本課題の代表者は、名古屋大学太陽地球環境研究所のネットワーク光学観測プロジェクトである Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) の一部として、極冠域に位置するカナダのレゾリュートベイに多波長高感度全天イメージャを設置し、極冠域電離圏に現れる様々な現象の光学観測を継続してきており、電波と光の観測を融合して、極冠域電離圏を立体的に観測する準備が整いつつあった。

2. 研究の目的

カナダ北部のレゾリュートベイにおいて、全天カメラとレゾリュートベイ非干渉性散乱レーダー（RISR-N）によるポーラーパッチの同時観測を行う。水平 2 次元面内においてパッチの空間構造を与える全天カメラと、鉛直方向に物理量を連続的に取得することができる RISR-N を関係させ、パッチの空間構造を数分の時間分解能で 3 次元的にイメージングする。また、同じく極冠域に配備されている短波レーダーや GPS シンチレーション観測網のデータも相互補完的に活用し、衛星通信・測位に影響を及ぼす電子密度擾乱が、パッチのどの部分において発生しているのかを 3 次元的に明らかにする。

3. 研究の方法

2011 年、2012 年、2013 年の冬季に、カナダ北部のレゾリュートベイにおいて、カナダのサスカチュワン大学、米国ボストン大学、SRI International と共同で、高感度大気光イメージャと RISR-N によるポーラーキャップパッチの 3 次元観測を実施した。この同時観測によって得られたデータセットは、ポーラーキャップパッチの 3 次元構造を解明し、ポーラーキャップパッチが衛星通信・衛星測位環境に与える影響を評価する際に、非常に重要な意義を持つものである。

ポーラーキャップパッチと同様に極冠域に密度変動を作り出すポーラーキャップアークについても、高感度大気光イメージャと

RISR-N、さらには大型短波レーダー（PolarDARN）、GPS 全電子数観測を組み合わせた総合観測を行い、ポーラーキャップアークが作り出す電離圏擾乱の 3 次元構造、およびその時間変動を明らかにすることを試みた。また、2011 年冬季から電気通信大学がノルウェーのスバルバル諸島ロングイヤービエンにおいて運用している全天大気光イメージャとの広域同時観測も行い、ポーラーキャップオーロラやポーラーキャップパッチの広域構造を調べることに取り組んだ。

4. 研究成果

極冠パッチを OMTIs 全天イメージャと電通大スバルバルイメージャ、および RISR-N によって同時に観測した事例を解析した。この 2012 年 11 月 12 日の事例においては、レゾリュートベイにおいて OMTIs イメージャが光学パッチを観測し、RISR-N が光学観測に見られたパッチと調和的な傾向を示す電子密度の増大を観測した。この時間帯において、電通大スバルバルイメージャは、真夜中から朝側にかけての時間帯を観測しており、やはり大気光の増大領域を観測した。このように、2 つの大気光イメージャとレーダーを用いてパッチの全体像を観測したことによって、パッチの空間スケールや形状を見積もることができた。その結果、パッチは朝夕方向に伸びた形をしており、そのスケールは 2000 km にも達することが判明した。SuperDARN レーダーによって同時に観測された極域対流マップを参照したところ、パッチが、極冠を流れる反太陽方向プラズマ対流の 70% 程度の領域を占めていることが分かった。また、朝夕方向とは対照的に、昼夜方向（パッチの進行方向に平行な方向）の空間スケール（パッチの厚み）は 500 km 程度であることも分かった。これによって、パッチの形状が非等方的であることが示された。このような非等方的で朝夕方向に広がった形状のパッチは、昼間側カスプ近傍のパッチの生成領域がローカルタイム方向に広がっていることを示唆し、パッチの生成メカニズムの決定に対してある種の制約を与えるものである（Hosokawa et al., 2014）。

2009 年 12 月に、OMTIs 全天イメージャと RISR-N で同時に観測された 2 例の極冠オーロラについて、その背景にある電場構造の 3 次元的な可視化を行った。2 例のうち 1 例に関しては、レーダービームの射出方向とオーロラアークの方向がほぼ平行になるという、レーダーによるプラズマ対流観

測にとって格好のジオメトリで観測が行われた。観測データを解析した結果、RISR-N の 25 本のビームからなる視野内を極冠アークが通過する際に、レーダーによって得られた視線方向イオン速度にシア構造が見られることが分かった。このプラズマ速度から電場を導出し、RISR-N によって得られた電子密度から電気伝導度を計算した結果を組み合わせ、アーク近傍を流れる電流の 3 次元空間構造を可視化した。その結果、プラズマ速度のシアに対応する形で、アークの両側からアークの中央へと流れ込むペダーセン電流を、その大きさも含めて定量的に導出することができた。また、このペダーセン電流の発散を取ることによって、アークから流れ出している沿磁力線電流の大きさを高度別に見積もることができた(最所他, 2012, 2013)。

以上の解析と並行して、レゾリュートベイにおける特別観測によって得られたデータを、米国ボストン大学の Hanna Dahlgren 博士と共同で解析し、パッチが磁気圏からの間欠的な粒子の降り込みによって作られていることを示した(Dahlgren et al., 2012a)。また、Dahlgren 博士と共同で、パッチ近傍において短波レーダーによって観測されたプラズマイレギュラリティの性質に関する研究を行い、パッチの全域においてプラズマイレギュラリティが発生していることを明らかにした(Dahlgren et al., 2012b)。これらの成果は、ポーラーキャップパッチが、衛星通信環境に影響を及ぼす可能性のあるプラズマイレギュラリティの重要なソースになっていることを強く示唆するものであり、電離圏擾乱が衛星測位に与える影響を評価する際に必要不可欠な情報となる。

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. Sakai, J., K. Hosokawa, S. Taguchi, and Y. Ogawa, Storm-time enhancements of 630.0-nm airglow associated with polar cap patches, *Journal of Geophysical Research*, submitted, 2014 (査読有)
2. Hosokawa, K., S. Taguchi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, Y. Ogawa, and M. Nicolls, Global imaging of polar cap patches with dual airglow imagers, *Geophysical Research Letters*, 41, doi:10.1002/2013GL058748, 2014 (査読有)
3. Perry, G., J.-P. St-Maurice, and K. Hosokawa, The interconnection between cross-polar cap convection and the luminosity of polar cap patches, *Journal of Geophysical Research*, 118, doi:10.1002/2013JA019196, 2013 (査読有)
4. Hosokawa, K., S. Taguchi, Y. Ogawa, and J. Sakai, Two-dimensional direct imaging of structuring of polar cap patches, *Journal of Geophysical Research*, 118, doi:10.1002/jgra.50577, 2013 (査読有)
5. Sakai, J., S. Taguchi, K. Hosokawa, and Y. Ogawa, Steep plasma depletion in dayside polar cap during a CME-driven magnetic storm, *Journal of Geophysical Research*, 118, doi:10.1029/2012JA018138, 2013 (査読有)
6. Hosokawa, K., S. Taguchi, and Y. Ogawa, Periodicities of polar cap patches, *Journal of Geophysical Research*, 118, doi:10.1029/2012JA018165, 2013 (査読有)
7. Dahlgren, H., G. Perry, J. Semeter, J.-P. St.-Maurice, K. Hosokawa, M. Nicolls, M. Greffen, K. Shiokawa, C. Heinselman, Space-time variability of polar cap patches: direct evidence for internal plasma structuring, *Journal of Geophysical Research*, 117, doi:10.1029/2012JA017961, 2012 (査読有)
8. Jayachandran, P. T., K. Hosokawa, K. Shiokawa, Y. Otsuka, C. J. Watson, S. C. Mushini, J. W. MacDougall, P. Prikryl, R. Chadwick, and T. D. Kelly, GPS Total Electron Content Variations Associated with Poleward Moving Sun Aligned Arcs, *Journal of Geophysical Research*, 117, doi:10.1029/2011JA017423, 2011 (査読有)
9. Dahlgren, H., J. L. Semeter, K. Hosokawa, M. J. Nicolls, T. W. Butler, M. G. Johnsen, K. Shiokawa, and C. Heinselman, Direct three-dimensional imaging of polar ionospheric structures with the Resolute Bay

- Incoherent Scatter Radar, Geophysical Research Letters, 39, doi:10.1029/2012GL050895, 2012 (査読有)
10. Koustov, A. V., K. Hosokawa, N. Nishitani, K. Shiokawa, and H. Liu, Signatures of moving polar cap arcs in the F-region PolarDARN echoes, Ann. Geophys., 30, 441-455, 2012 (査読有)
 11. Hosokawa, K., J. I. Moen, K. Shiokawa, and Y. Otsuka, Decay of polar cap patch, Journal of Geophysical Research, 116, doi:10.1029/2010JA016297, 2011 (査読有)
 12. Hosokawa, K., J. I. Moen, K. Shiokawa, and Y. Otsuka, Motion of polar cap arcs, Journal of Geophysical Research, 116, doi:10.1029/2010JA015906, 2011 (査読有)

[学会発表](計 10 件)

1. Hosokawa, K., S. Taguchi, K. Shiokawa, Y. Otsuka, Y. Ogawa, and M. Nicolls, Global imaging of polar cap patches with dual airglow imagers, AGU Fall Meeting, 2013 年 12 月, サンフランシスコ
2. 細川敬祐, 田口聡, 塩川和夫, 大塚雄一, 小川泰信, 複数の全天イメージャとレーダーによるポーラーパッチの広域イメージング観測, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2013 年 11 月, 高知
3. 最所崇, 細川敬祐, 塩川和夫, 田口聡, 大塚雄一, 小川泰信, Micheal Nicolls, 複数の全天イメージャとレーダーを用いた極冠オーロラの広域イメージング, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2013 年 11 月, 高知
4. 最所崇, 細川敬祐, 塩川和夫, 大塚雄一, Craig Heinselman, An Observation of Polar Cap Aurora with RISR and OMTI: A Feasibility Study for EISCAT 3D, 日本地球惑星科学連合大会 (JpGU), 2013 年 5 月, 幕張
5. 最所崇, 細川敬祐, 塩川和夫, 田口聡, 大塚雄一, 小川泰信, 複数の全天イメージャとレーダーを用いた極冠オーロラの広域イメージング, 中間圏・熱圏・電離圏研究会, 2013 年 9 月, 情報通信研究機構
6. 鈴木聡, 細川敬祐, 塩川和夫, 大塚雄一,

- ポーラーパッチの輝度変化に関する統計解析, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2012 年 11 月, 国立極地研究所
7. 細川敬祐, 田口聡, 小川泰信, 極冠域電離圏プラズマの構造化: 高速大気光撮像で見てきたもの, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2012 年 10 月, 札幌
 8. 最所崇, 細川敬祐, 塩川和夫, 大塚雄一, Craig Heinselman, 全天カメラと非干渉散乱レーダーによる極冠アークの 3 次元空間構造, 地球電磁気・地球惑星圏学会, 2012 年 10 月, 札幌
 9. Hosokawa K., J. I. Moen, P. T. Jayachandran, K. Shiokawa and Y. Otsuka, An unusual strolling motion of polar cap patches: an implication of the influence of tail reconnection on the nightside polar cap convection, EGU General Assembly, 2012 年 4 月, ウィーン
 10. Hosokawa K., J. I. Moen, K. Shiokawa and Y. Otsuka, Stagnation of a polar cap patch and decay of the accompanying plasma irregularities, Asia-Oceania Geoscience Society (AOGS) 8th Annual General Meeting, 2011 年 8 月, 台北

[その他]

本研究で得られた高感度全天カメラの観測データは、プロットおよびムービーの形で以下の Web ページで公開されている。

<http://gwave.ice.uec.ac.jp/cgi-bin/hosokawa/resolute/resolute.cgi>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

細川敬祐 (HOSOKAWA, Keisuke)

電気通信大学・大学院情報理工学研究所・准教授

研究者番号: 80361830