

カナダのイウレカで観測される極冠パッチの統計的性質: UT, 季節, IMF By 依存性

永田 倫太郎 [1]; 細川 敬祐 [1]; 塩川 和夫 [2]; 大塚 雄一 [2]
[1] 電通大; [2] 名大宇地研

Statistical characteristics of polar cap patches in Eureka, Canada: dependence on UT, season and IMF By

Michitaro Nagata[1]; Keisuke Hosokawa[1]; Kazuo Shiokawa[2]; Yuichi Otsuka[2]
[1] UEC; [2] ISEE, Nagoya Univ.

Polar cap patches are regions of high density plasma in the polar cap F region ionosphere. The electron density within patches is 2 to 10 times higher than that in the surrounding region. It has been suggested that patches are produced by long-distance transportation of high-density plasma from the dayside sunlit area towards the dark central polar cap region by the anti-sunward convection during negative Bz conditions. Polar cap patches have been observed in many places in the polar cap. To date, however, most stations were located at magnetic latitudes around 80 degrees. Thus, continuous observations at a fixed point in the magnetic coordinate system have not yet been done due to the rotation of the Earth. This makes it difficult to follow the statistical characteristics of patches, especially seasonal and UT dependence of their occurrence.

In order to observe patches near the magnetic pole continuously, we have been operating an all-sky airglow imager (ASI) of Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) in Eureka, Canada (80.0 N, 85.9 W, 89 MLAT). The ASI has three optical filters, but we only use 630.0 nm airglow images taken every 2 min to observe polar cap patches. The imager at Eureka can observe a region near the magnetic north pole from an almost fixed point in the magnetic coordinate system; thus, it is now possible to monitor the polar cap ionosphere for 24 hours during a period near the winter solstice.

In this study, we investigate the occurrence distribution of polar cap patches by using data from Eureka and clarify the factors controlling the generation of patches. In particular, the results are compared with numerical simulation of Bowline et al. [1996] which employed TDIM model to predict the occurrence distribution of patches. Since their simulation assumes the transportation of dense plasma from the dayside as a generation mechanism of patches, if the statistical results are consistent with the simulation we will be able to prove the suggested process for the production of patches.

We have used 630.0 nm all-sky images from two winter seasons from 2015 to 2017. The amount of data used is 87 days in 2015 and 89 days in 2016, respectively. We automatically identified the appearance of patches from the time-series of the optical intensity at zenith and made a list of patches. Then, we manually checked all the patches in the list and discarded other phenomena such as polar cap aurora which were miss-identified by the automated detection. By using this list of patches, we analyzed how the occurrence of patches depends on UT, season, and IMF. As a result, the seasonal/UT dependences of patches derived from the current statistics are consistent with those simulated by Bowline et al. [1996] during the southward IMF conditions. This indicates that patches are created by the transportation of dense plasma from the dayside. In contrast, the seasonal/UT dependences of patches do not agree with the simulation during the northward IMF condition. This suggests that patches are generated by a different process, probably direct creation of dense plasma due to particle precipitation, during the northward IMF conditions. We also investigated the dependence of patch occurrence on the IMF By statistically. When the IMF By is positive, the number of polar cap patches was twice of that in the negative IMF By cases. This is probably because the pattern of plasma convection is more appropriate for patches to be transported toward the magnetic pole during the positive IMF By conditions.

極冠域電離圏 F 領域高度において観測される電子密度が背景より 2 倍から 10 倍高い領域のことを極冠パッチと呼ぶ。極冠パッチは、太陽からの極端紫外線によって電離された日照領域の高密度プラズマが、極冠域を流れる反太陽方向のプラズマ対流に乗って夜側の日陰域へと輸送されることによって生成されると考えられている。極冠域の反太陽方向のプラズマ対流は、IMF が南向きの時に強まることから、IMF Bz が負の値を取ることが、極冠パッチの生成条件であるとされている。しかし、パッチの発生頻度は IMF の By 成分や季節、UT にも依存していることがこれまでの数値シミュレーションによって指摘されている。

これまで極冠パッチが観測されてきたのは磁気緯度が 80 度付近の領域であり、自転の影響により観測する MLT が時間的に遷移してしまうため、極冠パッチの発生頻度の特性、とりわけ UT 変化を追うことが難しかった。この問題点を克服するために、現在の地磁気北極に近いカナダのイウレカ (北緯 80.0 度, 西経 85.9 度, 磁気緯度 89 度) において、Optical Mesosphere Thermosphere Imagers (OMTIs) の全天大気光イメージャによる観測を 2015 年 10 月から行っている。全天大気光イメージャが 2 分毎に取得する 630.0 nm 大気光の発光強度は電離圏電子密度におおよそ比例するため、極冠パッチの二次元観測ができる。イウレカでは、磁気緯度がほぼ 90 度であるために、磁気北極を常に観測することができる。また、緯度が高いため、冬至付近の期間には 24 時間連続で極冠域電離圏のモニタリングが可能である。

Bowline et al. [1996] は、プラズマ対流によって反太陽方向に取り込まれた日照域プラズマがパッチの唯一のソースであるという前提のもとで、Time-Dependent Ionospheric Model (TDIM) というモデルを用いて極冠域電離圏 F 領域の電子密度の時間変化を再現している。このモデ゙ル計算の結果、極冠パ゚ッチの出現場所は IMF By に伴って形状を変えるプラズマ対流に強く依存し、パッチの密度は複雑な UT 依存性と季節依存性を持つことが示され

ている。しかし、この結果はあくまでも数値シミュレーションによって得られたものであり、実際の極冠パッチがどのような IMF By 依存性, UT 依存性, 季節依存性を示すのかについては未だに明らかになっていない。

本研究は、イウレカで観測された極冠パッチの出現特性を統計的に解析し、Bowline et al. [1996] の数値実験結果との比較を行う。これにより、Bowline et al. [1996] が暗黙のうちに前提としている日照域プラズマの取り込みによるパッチの生成メカニズムの妥当性を検証する。これまでの2年間の観測で得られた計176日間(2015年87日間, 2016年89日間)のデータから天頂の輝度値の時系列プロットを作成し、プロットのピーク検出と背景輝度値の算出を行った。ピークにおける背景からの増分に関して閾値を設定することで極冠パッチ自動検出した。このデータから極冠オーロラなど、明らかに極冠パッチでないものを目視で取り除いた。以上の操作によって抽出した極冠パッチのリストに基づいて、極冠パッチの輝度値(電子密度)が UT や季節, IMF By, Bz などに対してどのような依存性を示すかを調べた。

輝度値の UT に対する依存性を調べたところ、イウレカのローカルタイムが夜の時間帯には、輝度値が小さい極冠パッチが多く発生するのに対して、昼側では極冠パッチの発生数は少ないが輝度値が高いものが多いことがわかった。また、IMF By, Bz それぞれに対し正負で場合分けしたうえで、横軸に UT, 縦軸に1年の通し日を取ってパッチの輝度の分布をプロットした結果、IMF Bz が負の時に極冠パッチの観測頻度は少し高いものの、観測された個数に大きな差は見られなかった。IMF Bz が負の時、イウレカのローカルタイム夕方付近から夜にかけて極冠パッチの輝度値が徐々に低くなっていくこと、冬至付近の夜に最も極冠パッチの輝度値が低く秋分・春分方向に徐々に輝度値が高いものが増えることから、パッチは顕著な季節変化及び UT 変化を示すことが明らかになった。これは、Bowline et al. [1996] の数値計算の結果と一致するものであり、IMF が南向きの時は、従来唱えられてきた反太陽方向のプラズマ対流によって極冠パッチができるというメカニズムが妥当であることを意味する。IMF Bz が正の時は、極冠パッチの輝度値の分布に数値計算と同じ傾向の季節変化, UT 変化は見られなかったことから、粒子降下などの他の電離源によってパッチが生成されていることが示唆される。また、IMF By が正の時には、負のときよりも約2倍の頻度で極冠パッチが観測されることも明らかになった。これは、イウレカの全天イメーgerが視野に含んでいる磁気極上空では IMF By が正の時に日照域プラズマが取り込まれやすい極域プラズマ対流のパターンになっているものと考えられる。