

Swarm の磁場計測を用いた極冠オーロラ近傍の電流系に関する研究

山内淑寛¹, 細川敬祐¹, 大谷晋一², 塩川和夫³, 大塚雄一³

¹ 電気通信大学, ² ジョンズホプキンス大学応用物理研究所

³ 名古屋大学宇宙地球環境研究所

Observation of current system in the vicinity of polar cap aurora by Swarm

T. Yamauchi¹, K. Hosokawa¹, S. Otani², K. Shiokawa³, and Y. Otsuka³

¹Department of Communication Engineering and Informatics, University of Electro - Communications

²The Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory

³Solar - Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

Polar cap aurora is a class of discrete aurora that is sometimes observed in the polar cap region when the interplanetary magnetic field (IMF) is directed northward. Polar cap auroras are further divided into several types. One is poleward moving polar cap aurora (PMPCA), which move poleward periodically in the morning side. The other is sun-aligned arcs (SAA), which are mostly directed towards the Sun and move in the dawn-dusk direction in close association with IMF By. Although these polar cap auroras are expected to have different generation mechanisms and source regions, details are not yet clarified. To discuss these unresolved problems, it is necessary to elucidate the M-I coupling process above polar cap auroras.

One possible approach to understanding the M-I coupling in the vicinity of aurora is to examine the spatial structure of field-aligned currents (FAC). Within auroral arcs, the energetic electrons precipitate from the magnetosphere into the ionosphere along the magnetic field line and FAC flows from the ionosphere to the magnetosphere. By measuring FAC, it is possible to understand the M-I coupling process above polar cap auroras. In the past, FAC was derived indirectly from the temporal variations of the magnetic field measured by the low-altitude satellites such as DMSP and CHAMP. However, since these observations are single satellite measurement, it was necessary to assume that the structure of aurora does not change during the overpass of the satellite.

To resolve this problem, in this study, we make use of the magnetic field from the Swarm satellites. Swarm consists of three satellites Swarm A, Swarm B, and Swarm C, and it observes magnetic field at three points at the same time at a temporal resolution of 50 Hz. Swarm A and C are flying roughly along the same orbit at an altitude of about 460 km. By combining these two satellites, it is possible to calculate the FAC density without assuming temporal variations as spatial variations. In this study, by combining data from Swarm and an all-sky air glow imager of (OMTIs) at Resolute Bay in Canada, we investigate the relationship between polar cap aurora and FAC. In particular, we examine FAC derived from single and dual satellite methods during a simultaneous observations of polar cap aurora on February 28, 2016.

During the interval of interest, a SAA type polar cap aurora was observed over Resolute Bay from 0500 UT to 0700 UT. The poleward part of the arc was split into two parts. Swarm A and C passed the structure along the direction almost parallel to the arc at 0617 UT. The satellites also crossed one of the splitted arcs at 0616 UT. During the interval of the crossings, we derived 1) FAC density from Swarm A, 2) FAC density from Swarm C, and 3) FAC density from A and C through the dual satellite method. Regarding the FAC densities derived from the single satellite method, the relationship between the crossing of the optical arc and enhancement of upward FAC is unclear. On the other hand, FAC derived from the dual satellite method shows a good agreement with the optical intensity variation along the satellite track. This difference may be due to the fact that the track of the satellites was almost parallel to the arc and it was difficult to observe magnetic field changes across the arc. In contrast, for the FAC derived by the dual satellite method, Swarm A and C sandwiched the arc, which is a favorable situation for the calculation of FAC. In the presentation, we will report other examples of simultaneous observations of polar cap auroras, especially rapidly moving PMPCA type and discuss the validity of using FAC derived from the dual satellite method.

極冠オーロラは、Interplanetary magnetic field (IMF) が北向きのときに磁気緯度約 75° 以上の極冠域で頻繁に観測されるオーロラ現象である。極冠オーロラはいくつかのタイプに区分され、複数のアークが極方向に間欠的に移動する時間変化の激しい Poleward Moving Polar Cap Arcs (PMPCA)や、孤立した状態で太陽方向に伸びた構造をしている比較的長時間変動の少ない Sun-Aligned Arc (SAA) などが知られている。これらの極冠オーロラはそれぞれ異なる発生メカニズムやソース領域を持つと考えられているが、詳細は明らかになっていない。発生メカニズムやソース領域を同定するためには、磁力線を介した磁気圏と電離圏のカップリング (M-I Coupling) を理解する必要がある。

オーロラの近傍の M-I Coupling を理解するためのひとつのアプローチとして Field-Aligned Current (FAC) を解析する手法がある。オーロラの発光領域では、オーロラの光らせる電子が磁力線に沿って磁気圏から電離圏へ降下しており、それに伴って電子の運動と反対方向の電離圏から磁気圏方向へ上向き FAC が発生していると考えられている。この FAC を測定することでオーロラ近傍の M-I Coupling の時空間変動に関する情報を得ることができる。過去の研究では DMSP や CHAMP などの衛星による磁場観測の時間変化から FAC の導出が行わ

れてきた。しかし、これらの衛星は単機観測であるため、時間変化から磁場の回転を計算する際にオーロラの空間構造が時間的に変わらないということを前提とする必要があった。

本研究では、この問題点を克服するために地磁気観測衛星 Swarm による編隊飛行観測を用いて、極冠オーロラ上空の FAC の導出を行う。Swarm は A, B, C の 3 機による編隊飛行をしており、0.5 nT の分解能で同一時刻に 3 地点で 50 Hz の磁場観測を行っている。このうち A と C は高度約 460 km をほぼ同一軌道で飛行している。そのため、数 10 km の空間幅で 2 地点における観測を行い、2 点間の磁場の空間変化から時間的な不変性を仮定することなく FAC を算出することが可能である。本研究では、Swarm による磁場観測とカナダ・レゾリュートベイに設置されている全天大気光イメージャ Optical Mesosphere Thermosphere Imagers: OMTIs による同時観測事例について、単機観測と複数機観測のそれぞれによって求められた FAC と極冠オーロラの間関係を考察する。

2016 年 2 月 28 日の同時観測事例では、0500 - 0700 UT にかけてレゾリュートベイで発光強度 500 R 弱の SAA 型の大規模な極冠オーロラが観測された。IMF By は正の値をとっており、ゆっくり夕方方向へ移動していた。また、極側の領域でアークは 2 本に分岐しており、split-transpolar aurora (split-TPA) の特徴も見られた。この極冠オーロラを Swarm A と C は 0617 UT 頃アークに対してやや平行気味に通過した。また、0616 UT 過ぎには分岐したアークの夕方側のアークも通過していた。この時間帯に観測された磁場から、1) A による単機観測に基づいた FAC 密度、2) C による単機観測に基づいた FAC 密度、3) A, C の 2 機観測に基づいた FAC をそれぞれ求めた。単機による観測では、C についてはアークの通過時刻と上向き FAC のピーク時刻が一致しているように見られたが、A については明確な対応関係が見られなかった。一方、2 機観測によって求められた FAC ではオーロラの発光と上向き FAC の明らかな対応が見られた。この違いは、衛星がアークに対して平行に近い軌道を通ったために、軌道に沿った方向の磁場に急激な変化が現れにくく、一方、2 機観測では A と C がアークを挟むように位置しているので磁場の空間変化を観測しやすい状況であったためであると考えられる。本事例では対象オーロラが動きの遅い SAA であったが、2 機観測による時間変化を含まない FAC 観測の有用性を確認するためには、PMPCA などの動きの激しい事例の解析も必要であると考えられる。

References

- [1] Eriksson S., G. Provan, F. J. Rich, M. Lester, S. E. Milan, S. Massetti, J. T. Gosling, M. W. Dunlop, and H. Reme, Electrodynamics of a split-transpolar aurora, *Journal of Geophysical Research*, 111, A11319, doi:10.1029/2006JA011976, 2006
- [2] Hosokawa K., J. I. Moen, K. Shiokawa, and Y. Otsuka, Motion of polar cap arcs, *Journal of Geophysical Research*, 116, A01305, doi:10.1029/2010JA015906, 2011
- [3] Richmond, A., S. -I. Akasofu, and Y. (Eds). Kamide, (1987), *The Solar Wind and The Earth*, Terra Sci. Publ. Comp, pp. 123-140
- [4] Hosokawa K., *MTI-HandBook*, 2006