

Sun-Aligned arc の運動メカニズム再考: 3 台の全天カメラと短波レーダーによる同時観測

木村 洋太¹, 細川 敬祐 (2)¹, 塩川 和夫 (3)², 田口 聡 (4)³, 大塚 雄一 (5)², 小川 泰信 (6)⁴

¹電気通信大学大学院情報理工学研究科

²名古屋大学太陽地球環境研究所

³京都大学大学院理学研究科

⁴国立極地研究所

Motion of sun-aligned arc revisited: Simultaneous observations with three ASIs and HF radars

Yota Kimura¹, Keisuke Hosokawa¹, Kazuo Shiokawa², Satoshi Taguchi³, Yuichi Otsuka², Yasunobu Ogawa⁴

¹University of Electro-Communications

²Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University

³Graduate School of Science, Kyoto University

⁴National Institute of Polar Research

Polar cap arcs have frequently been observed in the high-latitude ionosphere during northward interplanetary magnetic field (IMF) conditions. Polar cap arcs extending along the Sun-Earth line are sometimes called Sun-aligned arcs (SAA). It was statistically indicated that SAA move either duskward or dawnward depending on the sign of the IMF By. Milan et al. (2005) reasonably explained the motion of SAA as viewed from the IMAGE satellite, especially its dependence on the IMF By, by using a model based on magnetic flux transport by the ionospheric convection during northward IMF conditions. However, the spatial resolution and sensitivity of the space-based FUV images were insufficient for evaluating the model in detail. To further test the model, it is necessary to combine highly sensitive ground-based all-sky optical observations from more than two stations.

In this study, we evaluate and/or modify the model of Milan et al. (2005) by investigating large-scale imaging of SAA with three ASIs, respectively at Resolute Bay (RSB; 74.7 N, 265.0 E, 82.9 MLAT) and Eureka (EUR; 88.5 N, 273.6 E, 88.5 MLAT) in Canada, and at Longyearbyen (LYR; 78.1 N, 15.5 E, 75.3 MLAT) in Norway. On January 9, 2016, a transpolar SAA was observed to move duskward during a 190 min interval from 1930 to 2240 UT (Interval A), and the arc moved dawnward during a subsequent 50 min interval from 2240 to 2330 UT (Interval B). This arc was extending across the fields-of-view of LYR and EUR ASIs and its sunward end was clearly connected to the auroral oval on the dayside near the cusp region. Since the model of Milan et al. (2005) assumes that there is a gap between the dayside oval and the sunward end of SAA, the model is not able to explain the current observations of “fully-connected” SAA. Moreover, as a result of comparison between the direction of the SAA motion and the IMF data from the OMNI data set, it was found that the dawnward motion of SAA during Interval B was not consistent with the sign of the upstream IMF By. To further analyze this event, the ionospheric convection data from HF radars of SuperDARN were employed. Based on the simultaneous optical and radar measurements, we propose a model which employs magnetic reconnection between closed magnetic field and northward IMF, which can only take place either in the northern or southern hemisphere during non-zero IMF Bx conditions. The transport of open magnetic flux in the polar cap driven by this type of reconnection pushes the SAA either dawnward or duskward depending on the sign of IMF Bx (not By). This new model is able to account for the motion of “fully-connected SAA” which is sometimes independent of the polarity of the IMF By.

極冠オーロラは、惑星間空間磁場 (IMF) が北向きのとき、磁気緯度 75°以上の高緯度地域で頻繁に観測される現象である。極冠オーロラの中でも太陽方向に伸びた構造を持つものを特に Sun-aligned arc (SAA) と呼び、IMF By 成分の正負に依存して朝夕方向に運動することが統計的に示されている。その運動メカニズムは、北向き IMF 時に生じるローブセル対流に伴う開いた磁力線の輸送モデルによって説明されてきたが (Milan et al., 2005), モデル考案の際に用いられたデータは人工衛星からの極端紫外光観測によるものであり、空間分解能や感度に限界があった。このため、地上からの高感度光学観測によって、モデルの妥当性や適用限界を検証することが求められている。

Milan らのモデルで提案されている運動メカニズムは SAA の構造的特徴と密接に関連するため、地上からの光学観測を行う際にも、アークの大規模な空間構造を把握することが重要となる。これまでの研究では、単一地点からの全天光学観測が用いられてきたため、観測視野の制限により SAA の全体像を把握することが困難であった。この問題点を克服するために、本研究では、カナダのレゾリュートベイ (RSB) とイウレカ (EUR), ノルウェーのロングイヤービエン (LYR) に設置されている 3 台の高感度全天イメージャを用いる。3 地点からの、波長 630.0 nm の広域オーロラ観測を用いて、Milan らによる SAA 運動モデルと実際の観測データとの整合性を検証することを目的とする。

2016 年 1 月 9 日の 1930 – 2400 UT の時間帯において、朝夕方向に往復運動する SAA が 3 台の全天カメラによって同時に観測された。このアークは、EUR と LYR の全天カメラの視野にまたがる巨大な構

造を持ち、さらに昼側カスプ域近傍においてオーロラオーバルと接続されていることが確認された。Milan らの運動モデルは、SAA が昼側でオーロラオーバルと接続されていない場合に磁気フラックスの輸送が生じることを前提としているため、今回観測されたような SAA の朝夕方向の運動を説明することができない。さらに、この時間帯の後半部分における SAA の朝方向への運動は、IMF By 成分に依存していないことが明らかになった。

この結果を受け、SuperDARN によって得られた高緯度領域の対流と、SAA の運動、IMF の極性の対応関係の解析を行った。その結果、IMF Bx がある程度の大きさを持つ場合に、昼間側磁気圏に存在する閉じた磁力線と北向き IMF が片側半球のみで磁気リコネクションを起こし、それに伴う磁気フラックスの輸送が SAA の朝夕方向の運動を駆動するというモデルを提案するに至った。この新しいモデルにより、昼間側カスプ近傍でオーロラオーバルと接続している SAA の朝夕方向の運動を IMF Bx, By の極性変化によって矛盾無く説明することが可能となった。

References

Milan, S. E., B. Hubert, and A. Grocott (2005), Formation and motion of a transpolar arc in response to dayside and nightside reconnection, *J. Geophys. Res.*, 110, A01212, doi:10.1029/2004JA010835.