

シートオーロラに付随する電離圏対流と沿磁力線電流：MHD モデリング Convection and Birkeland currents associated with theta auroras: MHD modeling

渡辺 正和^{1*}, 崎戸 伸太郎², 田中 高史¹, 品川 裕之³, 村田 健史³

Masakazu Watanabe^{1*}, Shintaro Sakito², Takashi Tanaka¹, Hiroyuki Shinagawa³, Ken T. Murata³

¹九州大学, ²(株)クリック, ³情報通信研究機構

¹Kyushu University, ²CLICK Corporation, ³National Institute of Information and Communications Technology

惑星間空間磁場が強い北向き時には、シートオーロラと呼ばれる特異な形態のオーロラが出現することがある。シートオーロラは環状のオーロラオーバルと夜から昼に極冠を横断するトランスポーラーアークから成り、その形がギリシャ文字の θ に似ていることからこの名前がつけられた。シートオーロラが形成される要因には種々なものがあると考えられているが、その一つとして、惑星間空間磁場朝夕成分 (IMF By) の変動がある。IMF By の符号が変わると、磁気圏 - 電離圏系は古い IMF By での平衡状態から新しい IMF By での平衡状態へ遷移し、その過程でシートオーロラが表す特異な構造が形成されるという考えである。これを支持する観測は多く存在し、また電磁流体力学 (MHD) シミュレーションでもシートオーロラ構造が再現できることがわかっている。しかしこのシナリオにおける沿磁力線電流を介した磁気圏 - 電離圏結合過程の詳細はいまだ理解されておらず、またさまざまな観測上の制約から、観測から演繹的に研究を推進するのは困難な状況にある。本研究の目的は、IMF By の変動によるシートオーロラの形成を MHD シミュレーションで再現したうえで、その過程における沿磁力線電流と電離圏対流の発展を観測と比較可能な形で示すことである。特に、トランスポーラーアークのような大規模構造が形成される過程では、磁気圏と電離圏を結ぶ大規模な沿磁力線電流系が存在すると予想される。しかしこの観点から沿磁力線電流の観測を報告したものはこれまでなく、将来における観測的研究に資することを目指している。

惑星間空間磁場の大きさを 10 nT とし、時計角 ($\alpha = 0$ が真北、By > 0 のとき $\alpha > 0$) を +45° から -45° に階段状に変化させた場合と、逆に α を -45° から +45° に変化させた場合の 2 通りのシミュレーションを行い、いずれも同様な結果を得た。本研究ではシートオーロラを磁気圏尾部の閉磁力線領域 (すなわちプラズマシート) の電離圏投影と定義する。IMF By が負から正に変化する場合、北半球電離圏では、シートオーロラは朝側オーロラオーバルから切り離され、極冠中を夕側ヘドリフトしていく。南半球では朝と夕が逆になる。このときの電離圏における対流と沿磁力線電流の特徴をまとめると以下ようになる。

(1) 一般に IMF By が存在するときの準定常電離圏対流は round/crescent cell のパターンであるが、シートオーロラの形成には round cell が大きく関与している。IMF の変動後約 20 分後に新しい IMF By に伴う round cell が確立される。シートオーロラはこの round cell とともに成長しドリフトする。進行方向後方 (新しいローブ側) の速度が前方 (古いローブ側) の速度より大きい。シートオーロラが十分発達した段階においては、太陽方向の対流はシートオーロラの昼側先端でのみみられる (シートオーロラは昼側オーロラオーバルに繋がっていない)。シートオーロラの夜側部分では、round cell の反太陽方向流が太陽方向に向きを変えるところに対応しており、太陽方向流と反太陽方向流が共存する。従来言われてきた「シートオーロラ = 太陽方向対流」は必ずしも正しくない。

(2) 沿磁力線電流の変化は対流変化に先立つ。IMF 変動後 15 分後には、新しい IMF By に付随する NBZ 電流がすでに確立している。NBZ と同じ向きの沿磁力線電流が、シートオーロラの進行方向後方部分に沿って夜側に伸びる。この沿磁力線電流を電流線に沿って磁気圏に投影すると、シートオーロラ進行方向前方のプラズマシート境界 (古いローブ側) に行きつく。ここでは電流ベクトルと電場ベクトルの内積が負になっており、沿磁力線電流系のダイナモ (の一部) を形成している。また古いローブ側のプラズマシート境界では、古い IMF By での Dungey 型リコネクションが閉磁束を供給し続けており、これがシートオーロラ成長の一因である。一方電離圏では、シートオーロラにともなう沿磁力線電流は、新しい crescent cell に伴う region 1 沿磁力線電流と大部分が閉じる。この電離圏クロージャーにより、シートオーロラ進行方向後方の速い流れが駆動される。すなわち、電離圏ではシートオーロラを後方から押すような形で round cell の夜側部分が形成される。

キーワード: シートオーロラ, 沿磁力線電流, 電離圏対流, MHD シミュレーション

Keywords: theta aurora, field-aligned current, ionospheric convection, MHD simulation