

WTS の構造と成因

田中高史
九州大学名誉教授

Structure and formation mechanism of the WTS

T. Tanaka
Emeritus Professor, Kyushu University

Substorm and westward traveling surge were reproduced by the recently developed new global magnetosphere-ionosphere (M-I) coupling simulation scheme. This simulation model employs block-parallel MPI-OMP hybrid calculation and singular-point-less triangular grid system. In the calculation results, the sudden onset of the substorm is generated by the state transition in the compound (convection) system, accompanying sudden formation of high-pressure region in the inner magnetosphere. Even during the substorm, all field-aligned currents (FACs) are connected to the diamagnetic current in the magnetosphere through the formation of grand current loop. At the onset, the region 1 FAC appears in the midnight low-latitude region near the morning-side region 2 FAC. Then, the peak position of the region 1 FAC shifts to the head of the developing westward traveling surge (WTS). The magnetic field line traced up from the WTS is connected to the open field line area in the lobe. Flow lines entered from the polar cap to the bulge region once direct sunward then again turn to anti-sunward. Simultaneously with anti-sunward direction, flow lines descend toward low latitude. As a result, flow lines are concentrated to the evening low-latitude region, causing the SAID.

サブストームに伴うオーロラ活動は、南極観測における主要な研究テーマで、それらの形態については多くの報告があります。しかしながらオーロラ活動の形態を因果律的に理解するには、磁気圏-電離圏 (M-I) 結合系の構造との対応を解明しなければならず、この点に関しては研究の歴史が長いわりには理解は進んでいません。特に auroral bulge、westward traveling surge (WTS)、トーチ、オメガなどのグローバルなオーロラ構造については、多くの場合成因の推定が述べられているだけで、研究は進んでいません。この原因は部分を見て全体を連想する困難によるもので、磁気圏物理学における普遍的な問題点の一端によるものです。この問題を克服するため、グローバルシミュレーションで M-I 結合系を観測そっくり再現し、数値空間の圧力、電流、力、エネルギー変換などの 3 次元分布を解析することによって、因果律を決定的に解明しようとする研究を進めてきました。今回は WTS の電磁力学とグローバル構造を解明しようとする研究の結果を発表します。

余談ですがこのような研究のルーツは第 24 次南極観測隊に参加しサブストームを観察したことに始まります。永田、福島、小口の諸先生の講義を拝聴し、また国分、平沢、飯島の諸先生の演習を行い、サブストームについては万全の予備知識があるはずにも関わらず、実際のサブストームを誤解していたことに驚嘆し、そのとき見たイメージを数値空間に再現するべく、30 年に亘ってシミュレーションスキームを研究してきました。最近になって、12 面体分割格子・磁気圏-電離圏結合・MPI-OMP ハイブリッドシミュレーションが完成し、300 GFLOPS の計算速度が達成され、サブストームと WTS の再現が得られました。

数値的に実現したサブストームは、磁気圏、電離圏双方において、観測されるサブストームの signature をほぼ再現します。我々がサブストームを認識する最大の要因は、変化の不連続性ですが、再現されたモデルにおいては、不連続性の原因はプラズマシートの力学的釣り合いにおける状態遷移 (phase space transition) です。また一般にオンセットの原因とされる current wedge は、誤りであり、全ての FAC は磁化電流から生成されるという結果を得ています。電離圏変動を見ると、オンセット前に夕方側の region1 FAC が真夜中付近まで伸び、オンセット時に真夜中の低緯度側に朝方の region2 FAC と見分けがつかないような位置で region1 FAC が現れ、ついで WTS が発達し、その西側・極側で region1 FAC の極大が現れるのが見られます。WTS 先端における region1 FAC の位置から磁力線をたどると、それはローブの開磁力線に繋がります。このことは全く予想と異なることで、これが正解なら、これまでの WTS に関するモデルは全て間違いということになります。bulge 構造に伴う電離圏対流 (ポテンシャル) 構造を見ると、極冠からオーロラオーバルに流入した流線は、一旦昼側に向かった後、bulge 構造内部で再度夜側に向かい、同時に低緯度まで降りて、最後に昼側に向かう構造となっています。この構造では流線が低緯度に集められるので、SAID の原因ともなります。