

## サブストームオンセット時のプラズマシートの変化: THEMIS 衛星データを用いた事例解析 (II)

# 町田 忍 [1]; 宮下 幸長 [2]; 家田 章正 [2]; 能勢 正仁 [3]; 芝原 光樹 [4]; Angelopoulos Vassilis[5]; McFadden James P.[6]; Auster H. Uli[7]

[1] 京大・理・地球惑星; [2] 名大 STE 研; [3] 京大・理 地磁気資料解析センター; [4] 京大・理・地; [5] SSL, UC Berkeley; [6] UC パークレー・SSL; [7] TUBS

### On the plasma sheet variations at the time of substorm onset: A case study of THEMIS observations (II)

# Shinobu Machida[1]; Yukinaga Miyashita[2]; Akimasa Ieda[2]; Masahito Nose[3]; Kohki Shibahara[4]; Vassilis Angelopoulos[5]; James P. McFadden[6]; H. Uli Auster[7]

[1] Dept. of Geophys., Kyoto Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.; [3] DACGSM, Kyoto Univ.; [4] SPEL, Kyoto Univ.; [5] SSL, UC Berkeley; [6] SSL, UC Berkeley; [7] TUBS

<http://www-step.kugi.kyoto-u.ac.jp/~machida/>

In a series of our studies, the time development of Earth's magnetosphere during substorms has been investigated statistically using the Geotail data. In those studies, we could confirm various variations which relevant models of substorm predict. However, none of them could perfectly explain our results. Thereby we proposed a new model called Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation model. In this model, the initial variation starts at  $X \sim 14$  Re in the magnetotail rather than  $X \sim 8$  Re as predicted by the current disruption model, or  $X \sim 20$  Re as predicted by the near-Earth neutral line model.

During the growth phase of substorm, the Poynting flux toward the plasma sheet center enhances the cross-tail current. Then the highly stretched current sheet with small dipole field relaxes resulting in the earthward motion of that current sheet. Simultaneously, the reduction of the total pressure progresses around the flow region at  $X \sim 16$  Re, and the Poynting flux toward the plasma sheet center further enhances about 4 min before the auroral breakup. Those variations work as a seed for the disturbances in the inner magnetosphere which was in a marginal state against the instability such as ballooning instability. The occurrence of the instability produces the current disruption and dipolarization of the magnetic field. Meanwhile, the earthward flows produce a very thin current sheet at the boundary between the current sheet with highly stretched dipole field lines and the Harris-type current sheet at  $X \sim 20$  Re. The magnetic reconnection starts in this very thin current sheet located at  $X \sim 20$  Re. Based on those results, we performed a case study of substorm events observed by THEMIS spacecraft.

In the event observed on February 27, 2009, the earthward flows were observed to start at 0218 UT by P2 probe located at  $X \sim 18$  Re. At 0225 UT, earthward flows were detected by P3, P4 and P5 probes all located at  $X \sim 9$  Re. These earthward flows were accompanied by notable enhancement of the northward magnetic field, which corresponds to the dipolarization. At the same time, P1 probe located at  $X \sim 23$  Re observed the tailward flows with the southward magnetic field. As for the total pressure (the sum of the plasma pressure and the magnetic pressure), its decrease was observed in association with the precursor earthward flows at P2 location. The total pressure decrease was also detected by P3, P4 and P5 probes simultaneously with the appearance of the earthward flows. Meanwhile, the total pressure enhancement was detected at P1 location in the downtail region prior to the total pressure decrease synchronized with the tailward flows.

Those characteristic variations are consistent with those predicted by the catapult (slingshot) current sheet relaxation model, which strongly supports the validity of our model.

われわれはこれまで、Geotail 衛星のデータを用いて、磁気圏近尾部のサブストームオンセットに伴う時間および空間変化に関する統計解析を進めてきたが、得られた結果は、これまでのサブストームモデルのいずれを用いても完全に説明することができなかった。そのため、得られた結果を合理的に解釈するために、われわれは Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation モデルという独自のモデルを提案することにした。このモデルでは、従来の Current Disruption モデルや NENL モデルにおいてそれぞれ最初に変化の現れると考えられている  $X \sim 8$  Re や  $X \sim 20$  Re の領域の中間にあたる  $X \sim 14$  Re の領域で、最初に変動が現れる。

サブストームの成長期では、CPS に向かうポインティングフラックスが増大して、CPS の Cross Tail Current が強化される。それに関連してこの部分の極端に引き伸ばされたダイポール磁場成分を伴う電流層が不安定となって地球向きに運動を始める。同時に、その流れの中に  $X \sim 16$  Re 付近の領域を中心として全圧の減少が始まり、さらに、 $X \sim 14$  Re 付近で CPS に向かうポインティングフラックスがオーロラブレークアップの 4 分ほど前に急激に増大する。その変動が、もともとバルーニング不安定などを起こす条件の整っていた内部磁気圏の種となる擾乱を与え、急激なダイポール化と Current

Disruption が起こる。一方、 $X \sim 20\text{Re}$  付近では、極端に引き伸ばされたダイポール磁場を持つ電流層の緩和に伴って、その電流層と Harris 解で近似される反平行磁場との境界 ( $X \sim 20\text{Re}$ ) で、殊更薄い電流層が形成され、その部分が磁気中性線となって磁気リコネクションが開始すると予想する。以上が Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation モデルのあらましである。

これらのことを踏まえて、本研究では、THEMIS 衛星のデータを用いてイベント解析を実施した。まず例として挙げる 2009 年 2 月 27 日のイベントが観測された時、THEMIS 衛星群は朝夕方向に  $1 < Y (\text{Re}) < 3$ 、太陽地球方向に  $-7 > X (\text{Re}) > -23$  の領域においてほぼ直線上に並んでいた。そして、0218UT の時刻に  $X \sim 18\text{Re}$  に位置していた P2 衛星で 200 km/s 程度の地球向きの流れが最初に観測された。その後 0225UT に、地球向きの流れが  $X \sim 9\text{Re}$  付近に集まって位置する P3、P4、P5 衛星でみられた。そして、この地球向きの流れはダイポール化に対応した顕著な北向き磁場  $B_z$  の増大を伴っていた。それと同時に、 $X \sim 23\text{Re}$  に位置していた P1 衛星で、南向きの磁場 ( $B_z < 0$ ) を伴う反地球向きの流れが観測された。全圧の変化についても、P2 で最初にみられた地球向きの流れに伴って全圧の減少する現象がみられた。P3、P4、P5 における全圧の変化は地球向きの流れの発生に同期して減少する変化がみられた。また、尾部側にいた P1 においては、全圧の減少が反地球向きの流れにほぼ同期している一方で、その少し前には全圧が増大する変化がみられた。

以上の結果は、われわれが提唱した Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation Model の予測と合致している。また、このモデルに良く符合すると思われるイベントは、他にも数例見出すことができた。サブストームのトリガーは、 $X \sim 14\text{Re}$  の磁気圏尾部でオンセット (オーロラのブレークアップ) 前に起こる変化が本質的に重要である事実を、THEMIS 衛星群による同時多点観測データを用いて再確認することができた。