

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 (III)

町田 忍 [1]; 宮下 幸長 [2]; 家田 章正 [2]; 能勢 正仁 [3]; 佐藤 馨 [1]; McFadden James P.[4]
[1] 京大・理・地惑; [2] 名大 STE 研; [3] 京大・理 地磁気資料解析センター; [4] SSL, UC Berkeley

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

Shinobu Machida[1]; Yukinaga Miyashita[2]; Akimasa Ieda[2]; Masahito Nose[3]; Kaoru Satoh[1]; James P. McFadden[4]
[1] Division of Earth and Planetary Sciences, Kyoto Univ.; [2] STEL, Nagoya Univ.; [3] DACGSM, Kyoto Univ.; [4] SSL, UC Berkeley

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

Based on the results of our statistical study of substorm with Geotail data, we have 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 strengthens 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 fields. 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 probes.

In the event observed on March 21, 2008, the earthward flows up to 400 km/s were observed to start at 0808 UT by P1 probe at $X \sim 14$ Re. After 30 seconds, earthward flows were detected by P2 probe at $X \sim 12$ Re, followed by successive earthward flows at P3 and P4 locations of $X \sim 10$ Re, and P5 probe at $X \sim 8$ Re. These earthward flows were accompanied by abrupt increase of northward 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 earthward flows at P1 location. The total pressure decrease was also detected by P2, P3, P4 and P5 probes successively. Unlike the event observed on February 27, 2009, tailward flows were not observed since the most distant probe from the earth was located within the distance of 20 Re where the magnetic neutral line is known to be formed. Those variations are consistent with those predicted by the catapult (slingshot) current sheet relaxation model, implying the validity of our model.

われわれは、これまでに、Geotail 衛星のデータを用いた統計解析の結果を合理的に解釈するために、Catapult (Slingshot) Current Sheet Relaxation モデルという独自のモデルを提案した。このモデルは、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というものである。

サブストームの成長期においては、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に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、 $X \sim 20$ 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 ($X \sim 20$ 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。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。今回取り上げる 2008 年 3 月 21 日のイベントが起こった時、THEMIS 衛星群は朝夕方向に $1 < Y$ (Re) < 5 、太陽地球方向に $-8 > X$ (Re) > -14 の領域においてほぼ直線上に並んでいた。そして、0808UT の時刻に $X \sim 14$ Re に位置していた P1 衛星で 400 km/s に達する地球向きの流れが観測された。その後 30 秒ほどたってから、 $X \sim 12$ Re に位置していた P2 衛星で、ピーク値 250 km/s 程度の地球向きの流れが観測された。

また、その後、 $X \sim 10R_e$ 付近に接近して位置していた P3、P4、および $X \sim 8R_e$ 付近にいた P5 で地球向きの流れを観測した。これらの地球向きの流れは、いずれも北向き磁場 B_z の増大を伴っていた。全圧の変化についても、P1 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、その後、P2、P3-P4 (P3 と P4 は、ほぼ同時)、P5 という順に、全圧減少の変化が尾部側から地球向きに伝搬していることがわかった。この例では、前回報告した 2009 年 2 月 27 日のイベントのような反地球向きの流れは地球から一番離れた P1 衛星でも、 $X \sim 14R_e$ の位置において、地球からの距離 (隔たり) が十分でなかったため観測されなかった。そのことを含めて、本結果は、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。サブストームのトリガーは、 $X \sim 14R_e$ の磁気圏尾部でオンセット (オーロラのブレークアップ) 前に起こる変化が重要であることを、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。