

# サブストームと磁気嵐はどこが異なるか

田中高史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学名誉教授

## What is the difference between the substorm and the storm

Takashi Tanaka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Emeritus Professor, Kyushu University*

Recently, almost all of the substorm signatures are reproduced in the global simulation and the dynamics of the substorm are understood quite well. The substorm is the sudden pressure enhancement in the inner plasma sheet that is caused by a change of force balance in the plasma sheet. This force balance results in the increases of tension associated with the dipolarization and balancing plasma pressure. Increase of plasma pressure is, at the same time, recognized as an injection and formation of the partial ring current. On the other hand, the ring current, which is the main signature of the storms, is a structure in which high-energy particles are trapped in the inner magnetosphere. The ring current is located further inside the part ring current. The ring current is generally regarded as the drift motion of the high-energy particles that are higher energy part of the plasma supporting the pressure. According to the increase of IMF $B_z$  negative value, the plasma responsible for the pressure is injected deeper into the inner magnetosphere, but while it is flowing into, it is flowing out not to result in the ring current. However, if dynamic development is reproduced by the simulation under changing IMF $B_z$ , it can be a ring current. In the fluid picture, drift motion is thermal motion, and not the fluid motion equivalent to the electric field. The drift motion is represented as magnetization current.

最近、サブストーム主要変動のほとんどがグローバルシミュレーションで再現されるようになり、サブストームの力学構造は良くわかるようになった。サブストームを理解するには、まず quiet arc を理解しなければならない。Growth phase の対流は、ローブとプラズマシートの境界に y 方向のシアを形成し、マンツルのダイナモから流れる電流がローブ-プラズマシート境界に沿って FAC になり電離圏に達する。これが quiet arc である。オンセットの 5 分程前に、NENL はプラズマシート内で発生するが、プラズマシート内なので当然その位置は quiet arc に繋がる磁力線の低緯度側である。オンセットの急激な変動は、磁気張力の開放によるプラズマシートの力バランスの変更であり、中尾部で磁気張力が加速度に釣り合うようになり、一方内部磁気圏では、双極子化による張力の増加とそれにバランスするプラズマ圧力の増加が発生する。プラズマ圧の増加はインジェクションとして認識されると同時に、磁化電流 ( $\nabla P$  電流) の発生を通じて部分環電流と region2FAC を形成する。このプラズマ圧増加は急激であり、双極子磁場に過渡的なインパクトを与え、Pi2 となる。オンセット直後はプラズマ圧増加域は真夜中に局在し、このコンパクトインジェクション周囲の磁化電流がオンセット region1FAC を形成する。Expansion phase では圧力増加域は朝方-夕方方向に拡大し、夕方では WTS が形成され、本格的な部分環電流となる。WTS のヘッドには、上向き FAC が集中する。以上の過程は全てグローバルシミュレーションで再現可能となった。

一方磁気嵐の主要構造である環電流は、内部磁気圏に高エネルギー粒子が補足された状態である。環電流の位置は部分環電流のさらに内側にある。環電流はこの高エネルギー粒子のドリフト運動として捉えるのが一般的である。問題はプラズマシートの粒子がどのように環電流になるかである。環電流を担う粒子は圧力を担う主プラズマのさらに高エネルギー部分で、外部から与えられる磁場・電場の中をドリフトし、環電流を形成すると連想される。しかしこの考察では、磁気張力とバランスして磁気圏を形成し、その運動が電場と等価である主プラズマと、環電流粒子とは重ならなくなってしまう。すなわち、磁場・電場構造と環電流の間の self-consistency が失われてしまう。一方、圧力を担うプラズマ自身は IMF $B_z$  が -10 nT 以下になるにしたがって、4 Re より内部の夜間磁気圏に流入するが、IMF $B_z$  が一定なら流入する一方で流出し、環電流とはならない。しかしながら IMF $B_z$  が変動する状況をシミュレーションで再現すれば、環電流となりうるということが分かる。IMF $B_z$  が北に反転すると、夜側に流入したプラズマは昼側に回り込み、1~2 時間後には昼側 3Re まで達し環電流となる。ただしこの時低緯度に侵入したプラズマがロスコーンを形成することが必要である。MHD では非等方圧力が扱えないので、単純に計算すると侵入したプラズマは落下してしまい、環電流になる前に消えてしまう。流体的な描像では、ドリフト運動は熱運動であり、電場と等価な流体運動ではなく、磁化電流として扱われる。