

対流の励起とサブストームの発生

田中 高史 [1]

[1] 九大・国際宇宙天気科学教育センター

Development of convection to the substorm

Takashi Tanaka[1]

[1] REPPU code Institute

In this paper, we try to elucidate the generation mechanism of the field-aligned current (FAC) and coexisting convection. From the comparison between the theoretical prediction and the state of numerical solution from the high-resolution global simulation, we obtain the following conclusions about the distribution of dynamo, the magnetic field structure along the flow path that diverges Poynting flux, and energy conversion promoting the generation of electromagnetic energy.

The dynamo for the region-1 FAC, which is in the high-latitude-side cusp-mantle region, has a structure in which magnetic field is compressed along the convection path by the slow mode motion. The dynamo for the region-2 FAC is in the ring current region at the inner edge of the plasma sheet, and has a structure in which magnetic field is curved outward along the convection path.

Under these structures, electromagnetic energy is generated from the work done by pressure gradient force, in both dynamos for the region-1 and region-2 FACs. In these generation processes of the FACs, the excitation of convection and the formation of pressure regimes occur as interdependent processes. This structure leads to a modification in the way of understanding the Dungey convection.

Generation of the FAC through the formation of pressure regimes is essential even for the case of substorm onset. Detailed event sequence leading to the substorm onset is reproduced from a high-resolution global MHD simulation. The ionospheric onset does not coincide with neither launch in the midtail nor arrival to the inner magnetosphere of the dipolarization front. The near-earth dynamo due to the squeezing causes the onset before the arrival of the BBF flow from the NENL.

The arrival of flow to the equatorial plane of the inner magnetosphere occurs two minutes after the onset, when the WTS starts to develop toward the west. The expansion phase is further developed by this flow. Looking at the present result that the onset sequence induced by the near-earth dynamo reproduces the details of observation quite well, we cannot avoid to conclude that the current wedge (CW) is a misleading concept.

対流は、ダイナミクスと散逸から構成される。さらにダイナミクスは、磁気圏ダイナミクスと電離圏対流から構成される。磁気圏ダイナミクスは、流れ場、圧力場、凍結の原理から成り、力バランス、ダイナモとポインティングフラックスの発散構造を内包する。ダイナモの励起のため、エネルギー変換が必要であり、ポインティングフラックスの発散のため、slow modeの運動が必要である。電離圏対流は、磁気圏ダイナミクスから生成されるFACのclosureであり、ダイナモに対応するエネルギーのsinkである。ダイナミクスによって磁場の運搬、変形が進展すると、対流の流線に沿って磁場がトポロジーを変えることが必要となり、散逸によるトポロジー変更が顕在化する。

良く知られているDungey対流は、マグネトシース流の減速でダイナモを励起し、反平行リコネクションで散逸を与える構成になっている。ところが最近の研究で、これらは誤りであり、ダイナモは圧力によって励起され、散逸はヌルによって与えられることが分かってきた。反平行リコネクションも2次元のヌルであるが、実際の散逸は3次元ヌルで発生する。3次元では、セパレーターライン上の平行リコネクションとなる。

観測では対流の全体が見えないので、その理解を誤っても直接困ることは起きないように感じる。しかし対流の理解を誤ると、それがサブストームの誤った解釈に至るという致命的な欠陥を引き起こす。その典型が反平行リコネクションによる太陽風からのプラズマ流入（成長相）と、急な反平行リコネクションや不安定の発生によるオンセットの解釈であろう。これらは誤ったDungey対流からの誤った推論と言える。

太陽風-磁気圏相互作用では、ポインティングフラックスの流入が主役である。ただし過渡状態ではプラズマも侵入する。昼側ヌル-セパレーター構造によって発生する開磁場は、カスプ付近で局所的にマグネトシースプラズマを加速し、これが減速する時ポインティングフラックスをカスプ内に注入し、カスプの圧力を上昇させる。マグネトシース内の圧力傾度を過る流れも、同様な作用を行う。これらのポインティングフラックスは、CF電流によって運ばれる。生成された磁気圏内の圧力が、slow mode expansionを通じて、カスプ-マントル領域でRIFACを励起する。ポインティングフラックスは、テーター電流によって、プラズマシートにも運ばれ、プラズマシートの圧力分布を生成する。プラズマシートも圧力ダイナモであり、力バランスと自己無撞着構造を形成し、R2FACを生成する。

ヌル-セパレーター構造は、IMFの向きによって、大きく変化し、IMFが南向きになると成長相が進行する。成長相の対流で、昼側ヌルから別のヌルが分離し、フランクに沿ってテイル側に移動する。両者はXラインで結合されている。成長相では対流はプラズマシートに侵入せず、プラズマシートのthinningによって磁場構造の変形が吸収され、磁気圏ダイナミクスが進展する。この構造はプラズマシート境界にシアを伴い、quiet arcが発生する。テイルヌルは、2次のヌルであり、プラズマシートで磁場構造の変形が吸収できなくなると、プラズモイド、core By、2巻き磁場、近尾部のNENLを生成する。この夜側ヌル-セパレーター構造については、まだ理解が完全でない。

NENLに伴い対流はプラズマシート内に侵入し、過渡的に、dipolarization frontやインジェクションと見える変動を引き起こす。インジェクションは過渡的圧力領域の生成であり、近球近傍ダイナモとして作用し、initial brighteningを引き

起こす。インジェクションはカバランスの変更を伴う状態遷移であり、散逸の発生と協同している。双極子化はこのカバランスの変更の現れである。カバランス変更の結果、内部磁気圏の圧力が上昇し、部分環電流となって R2FAC が増大する。