

圧力勾配駆動沿磁力線電流におけるプラズマ対流の役割

渡辺 正和 [1]
[1] 九大・理・地惑

Role of plasma convection in relation to pressure gradient-driven Birkeland currents

Masakazu Watanabe[1]
[1] Earth & planetary Sci., Kyushu Univ.

It is well known that field-aligned currents (FACs) play an important role in that they transfer electromagnetic energy and momentum from the magnetosphere to the ionosphere. The research on FACs has a long history both in observations and theoretical considerations. A convective way to formulate FACs is to solve the charge continuity equation ($\text{div}(\mathbf{J})=0$) using the momentum (stress balance) equation [e.g., Sato and Iijima, 1979; Vasyliunas, 1984]. In ideal magnetohydrodynamics (MHD), the electromagnetic force ($\mathbf{J}\times\mathbf{B}$ force) balances with the pressure gradient force or the inertia force. Over decades, there have been discussions on which force is responsible for FACs. Recent global MHD simulations indicate that in almost all cases the pressure gradient force is the major factor [Tanaka, 2003, 2007]. The inertia force becomes appreciable only in special cases such as the preliminary impulse (PI) in sudden commencements (SCs) [Fujita et al., 2003]. Thus the pressure gradient mechanism is working universally in steady-state systems and is more essential than the inertia mechanism in magnetospheric physics. On the other hand, in the above-mentioned conventional formulation, plasma flow does not appear in the pressure gradient-driven FACs. Convection and FACs seem to have no relation. This is wrong, however. In fact, convection plays a critical role in energy conversion. In order to maintain a stationary current system, a dynamo is necessary in which plasma thermal energy is converted to electromagnetic energy. This dynamo is generated by an expansion of plasma flow (positive $\text{div}(\mathbf{v})$). In terms of the three basic MHD wave modes, the dynamo process corresponds to slow mode disturbances. In addition, at the time of FAC generation, a shear motion appears in the plasma convection, which corresponds to Alfvén mode disturbances. The sequence of these processes is interpreted as a mode conversion in MHD waves from slow to Alfvénic. We discuss this interpretation showing examples of global MHD simulation.

References

- Fujita et al. (2003), *J. Geophys. Res.*, 108(A12), 1416, doi:10.1029/2002JA009407, 2003.
Sato and Iijima (1979), *Space Sci. Rev.*, 24, 347-366.
Tanaka (2003), *J. Geophys. Res.*, 108(A8), 1315, doi:10.1029/2002JA009668.
Tanaka (2007), *Space Sci. Rev.*, 133, 1, doi:10.1007/s11214-007-9168-4.
Vasyliunas (1984), in *Magnetospheric currents* edited by T. A. Potemra, pp. 63-66.

磁気圏 - 電離圏結合系において、沿磁力線電流はエネルギー・運動量を運ぶという重要な役割を担っており、その研究の歴史は古い。よく使われる沿磁力線電流の定式化は、電荷保存の式（電流の非発散）と運動量保存の式（ストレスバランス）を連立するやり方である [例えば Sato and Iijima, 1979; Vasyliunas, 1984]。理想 MHD では、電磁気的力（アンペールの力）と釣り合うものは圧力勾配力と慣性力しかなく、どちらが沿磁力線電流を作っているかという議論がされてきた。近年のグローバル MHD シミュレーションによれば、大規模沿磁力線電流系をつくる力はほとんどすべての場合圧力勾配であって [Tanaka, 2003, 2007]、慣性力が効くのは sudden commencement (SC) における preliminary impulse (PI) [Fujita et al., 2003] のような特殊な場合のみである。このように、圧力勾配が駆動する沿磁力線電流には普遍性があり、より本質的であると思われる。ところで、上述の定式化では圧力勾配が駆動する沿磁力線電流にプラズマ対流は現れない。沿磁力線電流とプラズマ対流は一見無関係であるように思える。しかしこれは誤りである。実際プラズマ対流はエネルギー変換において重要な役割を担っている。定常電流系を維持するためには、プラズマの熱エネルギーを電磁エネルギーに変換する機構（ダイナモ）が必要で、これを作っているのが発散を伴うプラズマ対流である。この過程は、MHD 波動の3つの基本モードでいうと、slow mode 擾乱に対応する。さらに、沿磁力線電流が生成されると、よく知られているようにプラズマの回転運動が生じ、これは Alfvén mode 擾乱に対応する。以上の一連の過程は、slow mode が Alfvén mode に変換される過程と解釈される。この解釈について、グローバル MHD シミュレーションの例を挙げながら説明する。