

Dungey 型 / 交換型混成磁気圏磁束循環

渡辺正和¹、藤田茂²、久保田康文³、品川裕之³、田中高史¹、村田健³

¹九州大学国際宇宙天気科学教育センター

²気象大学校

³情報通信研究機構

Dungey/interchange hybrid-type magnetic flux circulation mode in the magnetosphere

Masakazu Watanabe¹, Shigeru Fujita², Yasubumi Kubota³, Hiroyuki Shinagawa³, Takashi Tanaka¹, and Takeshi Murata³

¹*International Center of Space Weather Science and Education, Kyushu University*

²*Meteorological College*

³*National Institute of Information and Communications and Technology*

When the interplanetary magnetic field (IMF) is southward, the so-called Dungey cycle [Dungey, 1961] is excited in the solar wind–magnetosphere–ionosphere coupling system. On the dayside, IMF lines reconnect with closed geomagnetic field lines (IMF-closed reconnection), and open geomagnetic field lines are created. On the nightside, in contrast, north lobe field lines and south lobe field lines reconnect (lobe-lobe reconnection), and closed geomagnetic field lines are created. The Dungey cycle is the coupling of IMF-closed reconnection and lobe-lobe reconnection. As a result, there appear twin large-scale vortices in the ionosphere. As a paradigm of magnetospheric phenomenology, this Dungey's picture still lives on even half a century after its original proposal.

Recently, it became gradually clear that a new type of magnetic reconnection exists in the Earth's magnetosphere to which no regard has been given by the researcher. It is reconnection of open geomagnetic field lines and closed geomagnetic field lines (lobe-closed reconnection). Reconnection of this type is well known in the solar physics community by the name "interchange reconnection." In the magnetospheric physics community, however, interchange reconnection has not been recognized at all. When the IMF B_Y component is dominant, interchange reconnection plays an important role in magnetospheric physical processes. One such process is the magnetic flux circulation mode called "hybrid cycle" in which interchange reconnection is incorporated into the Dungey cycle [Watanabe and Sofko, 2009]. Theoretical consideration indicates that the hybrid cycle has many features that are different from the pure Dungey cycle, for example splitting of the crescent cell and the interhemispheric difference of merging cell potential drops (the crescent merging cell potential in one hemisphere is less than the round merging cell potential in the opposite hemisphere). The purpose of this paper is to investigate the existence of the hybrid cycle by comparing observations and global magnetohydrodynamic simulations. One method to verify the hybrid cycle in simulation is to show the existence of an open field line that convect with the solar wind whose ionospheric foot jumps one place to a remote place abruptly. Although this phenomenon is difficult to understand intuitively, we analyze the simulation results in detail and visualize the magnetic flux circulation mode using recently-developed computer graphics techniques. In addition, we also refer to observations that are relevant to the hybrid cycle and discuss to what extent simulations can reproduce observations.

惑星間空間磁場が南向きのときには、太陽風 - 磁気圏 - 電離圏結合系にはいわゆる Dungey サイクル [Dungey, 1961] が駆動される。昼間側で閉じた磁力線と惑星間空間磁場が再結合し (IMF - closed リコネクション)、開いた磁力線が形成される。一方夜側においては、開いた磁力線同士が再結合し (lobe - lobe リコネクション)、閉じた磁力線が形成される。この2つの磁力線再結合を繰り返すのが Dungey サイクルである。電離圏には大規模なペアの対流セルが現れる。この Dungey の描像は、太陽風 - 磁気圏-電離圏結合系における現象論のパラダイムとして、発表後半世紀たった現在でも生き続けている。

ごく最近になって、地球磁気圏にはこれまで全く考慮されていなかった磁力線再結合が存在することがわかってきた。それは開いた磁力線と閉じた磁力線の再結合 (lobe - closed リコネクション) である。この型の磁力線再結合は、太陽物理のコミュニティーでは「交換再結合」という名前で広く知られているが、磁気圏物理のコミュニティーでは全く認識されていない。惑星間空間磁場朝夕成分が卓越する場合には、交換再結合が重要な役割を果たす。その一例は、交換再結合が Dungey サイクルに取り込まれてできる、混成サイクルと呼ばれる新たな磁束循環モードである [Watanabe and Sofko, 2009]。混成サイクルは Dungey サイクルにはない様々な特徴をもつことが理論上予想されている。例えば、電離圏に現れる対流セル (円形セルと三日月セル) のポテンシャル落差が南北半球で異なること (三日月セルのほうが小さい)、三日月セルが2つに割れる場合があること、などである。

本研究の目的は、これらの特徴を示唆する観測とグローバル電磁流体シミュレーション突合せ、混成サイクル実在するか調べることである。シミュレーションで混成サイクルの存在を確かめる一方法は、開いた磁力線を太陽風プラズマの流れとともに追跡すると、その電離圏の根元が交換再結合により突然不連続的に移動するものが存在することを示すことである。この磁力線の「とび」現象は直観的にはなかなか理解しづらいが、シミュレーション結果を解析し、一般にも理解できる形で可視化することを試みる。また、混成サイクルを示唆する観測を紹介し、シミュレーションでの再現を議論する。

References

- Dungey, J. W. (1961), Interplanetary magnetic field and the auroral zones, *Phys. Rev. Lett.*, 6, 47–48.
- Watanabe, M., and G. J. Sofko (2009), Role of interchange reconnection in convection at small interplanetary magnetic field clock angles and in transpolar arc motion, *J. Geophys. Res.*, 114, A01209, doi:10.1029/2008JA013426.