

Dungey 型 / 交換型混成磁気圏磁束循環の数値シミュレーション

渡辺 正和 [1]; 藤田 茂 [2]; 久保田 康文 [3]; 品川 裕之 [3]; 田中 高史 [4]; 村田 健史 [3]
[1] 九大・理・地惑; [2] 気象大; [3] 情報通信研究機構; [4] 九大・宙空センター

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

Masakazu Watanabe[1]; Shigeru Fujita[2]; Yasubumi Kubota[3]; Hiroyuki Shinagawa[3]; Takashi Tanaka[4]; Ken T. Murata[3]

[1] Earth & planetary Sci., Kyushu Univ.; [2] none; [3] NICT; [4] SERC, Kyushu Univ.

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 has lost none of its luster 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 BY 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. 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). Some observations support these theoretical predictions; however, observations can provide only circumstantial evidence. The purpose of this study is to investigate whether the hybrid cycle can be reproduced by numerical magnetohydrodynamics simulations. One method to verify the hybrid cycle 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.

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.

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輝きを失っていない。

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。これらの特徴を示唆する観測もあるが、観測から得られるのは状況証拠だけである。本研究の目的は、グローバル電磁流体シミュレーションを用いて、混成サイクルが再現できるか調べることである。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どの程度再現できているかを議論する。

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.