

磁気圏電離圏地表面電流系 - Fukushima 定理の問題点 -

菊池 崇 [1]
[1] STE 研究所

Magnetosphere-ionosphere-ground electric current circuit-Question on the validity of the Fukushima's theorem-

Takashi Kikuchi[1]
[1] STELab

It is well accepted as the Fukushima's theorem that field-aligned currents (FACs) flowing vertically into the uniform ionosphere produce no magnetic fields in the vacuum region below the ionosphere. In this theorem, a pair of FACs is closed through the polar ionosphere, and therefore, the electromagnetic energy is not transported to lower latitude. On the other hand, the TM0 mode waves in the Earth-ionosphere waveguide transmits the polar electric field to the equator, and explain the simultaneous onset of the preliminary impulse of the geomagnetic sudden commencement at high latitudes and the dayside geomagnetic equator. Since the TM0 mode waves are excited by a magnetic field caused by the FACs, the excitation of the TM0 mode waves conflicts with the Fukushima's theorem. In this paper, we show that a part of the FACs flows into the ground by way of displacement currents associated with the TM0 mode waves, and the resultant magnetosphere-ionosphere-ground current circuit becomes a channel of the electromagnetic energy to low latitude ionosphere. It is pointed out that superposition of the results of the single FAC assumed in the Fukushima's theorem never provide the results of a pair of FACs.

一様な電離層へ垂直に流入する沿磁力線電流が地上で磁場をつくらないことは、Fukushima 定理 (Fukushima, 1976) として知られている。沿磁力線電流がつくる磁場が電離層を放射状に流れる Pedersen 電流がつくる磁場によって消されるためである。また、これは、Ampere 法則により、電離層の下の真空領域で電流が流れないことを意味する。一方、SC の PI (preliminary impulse) が高緯度と昼間磁気赤道で同時に発生する (Araki, 1977) ことを説明した、地表面電離層導波管 (Kikuchi and Araki, 1979) の TM0 モード波は、真空領域で磁場成分が与えられることによって励起される。Kikuchi and Araki モデルでは、この磁場成分が電離層の Hall 電流によってつくられるとしたために、Fukushima 定理と矛盾することはなかった。しかし、Hall 電流はエネルギーの発生や消費に関与しない電流であり、Poynting flux を放出しない。このために、低緯度赤道の電離層で流れる Pedersen 電流によって消費されるエネルギーを説明できない矛盾が生じる。電流回路の観点からは、一様な電離層の Hall 電流は沿磁力線電流の周辺で閉じる電流系であるために、TM0 モード波の波面電流と結合することはできない。一方、沿磁力線電流から流れ出す Pedersen 電流は、発散性の電流であるために、TM0 モード波の波面電流と結合することが可能であるが、Fukushima 定理の基本となった単一の沿磁力線電流は、真空領域の電流との間で回路を形成できない。しかし、現実の沿磁力線電流が互いに逆方向の電流対であることを考慮すると、TM0 モード波の波面電流との間で電流回路を形成することが可能である。要約すると、沿磁力線電流は、極域電離層で閉じる回路を形成するとともに、その一部が低緯度方向へ流れ、その先端が TM0 モード波の波面電流 (変位電流) と結合し、さらに地表面の電流と結合して、閉じた電流回路を形成する。前者の電流回路は従来の MI 電流系であり、磁気圏と極域電離層の間のエネルギーのやり取りを説明する。一方、後者の Magnetosphere-ionosphere-ground (MIG) 電流系は、低緯度方向へのエネルギー伝送を説明する。

1. Araki, T., Global structure of geomagnetic sudden commencements, *Planet. Space Sci.*, 25, 373-384, 1977.
2. Fukushima, N., Generalized theorem for no ground magnetic effect of vertical currents connected with Pedersen currents in the uniform-conductivity ionosphere, *Rep. Ionos. Space Res. Jap.*, 30, 35, 1976
3. Kikuchi, T. and T. Araki, Horizontal transmission of the polar electric field to the equator, *J. Atmosph. Terrest. Phys.*, 41, 927-936, 1979.