

圧力駆動不安定性に対する磁気圏のエネルギー原理が成り立つための電離層の条件

三浦 彰 [1]

[1] 東大・理・地球惑星

Ionospheric conditions necessary for the validity of magnetospheric energy principle for pressure driven instabilities

Akira Miura[1]

[1] Earth and Planetary Science, Tokyo Univ

In a situation when the magnetospheric plasma is in a static equilibrium and an unstable region is surrounded by magnetic flux surfaces which are far enough from the unstable region, and also surrounded by ionospheric surfaces on which an unperturbed magnetic field is incident vertically, a magnetospheric energy principle can be formulated, if a force operator satisfies self-adjointness. This is because the self-adjointness of the force operator guarantees the conservation of total energy and thus a negative change of potential energy means that a magnetospheric system is unstable. In order to obtain conditions of the ionospheric plasma necessary for the validity of the magnetospheric energy principle, a rigorous local energy conservation equation of the ideal MHD is used. When an ionospheric plasma beta (plasma pressure divided by magnetic energy) is much smaller than one, there is no energy flux across the ionospheric surface in the first order and the conservation of magnetospheric energy holds. Under the same condition, a volume integral of the local energy conservation equation becomes equivalent to the energy principle in the second order. This is because under the same condition, the assumption of vertical incidence of the unperturbed magnetic field on the ionospheric surface is consistent with the static force balance and four ionospheric boundary conditions derived from the self-adjointness mean vanishing of a second order Poynting flux carrying a magnetic energy across the ionospheric surface. Therefore, the magnetospheric energy principle is valid when the ionospheric plasma beta is much smaller than one. For a horizontally free ionospheric boundary condition, interchange instability occurs and a flux tube from the ionosphere to the magnetosphere moves as a whole. For this case, the second order Poynting flux directs upward from the ionosphere to the magnetosphere as a consequence of a temporal change of a boundary term, which is equal to an ionospheric surface integral of the square of an ionospheric plasma displacement vector. If one assumes that the plasma beta is one at 10 Earth radii from the Earth in the midnight meridian and the magnetic field strength decreases inversely proportional to the cubic of the distance from the Earth like in a dipole field, the ionospheric plasma beta becomes equal to 10 to minus 6. Therefore, the magnetospheric energy principle holds very well for the magnetospheric plasma.

磁気圏内の不安定な領域から緯度方向に十分に離れた磁気フラックス面の境界面と、磁力線が垂直に入射すると仮定した電離層境界面とによって囲まれたプラズマ体積中の電磁流体の運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和は、電磁流体に働く力の演算子が自己共役であれば保存され、ポテンシャルエネルギーの変分が負となる条件が磁気圏の不安定のための必要十分条件となる。このような電磁流体不安定性に対する磁気圏のエネルギー原理がどのような条件下で成り立つかを、電磁流体中のエネルギーの厳密な局所的保存を表す、エネルギー局所保存則を使って明らかにした。電離層のプラズマのベータ値（圧力を磁場エネルギーで割った値）が1に比べて、はるかに小さければ、擾乱振幅の1次のオーダーでは電離層面を貫くエネルギーフラックスはなくエネルギー保存が成り立ち、2次のオーダーでは、エネルギー局所保存則の体積積分はエネルギー原理と一致する。これは、電離層ベータ値が1よりはるかに小さければ、磁気圏のプラズマが任意の圧力平衡状態にあるという仮定は電離層での磁力線の垂直入射の仮定と矛盾せず、自己共役性を満たす4つの電離層の理想境界条件は電離層より下の中性大気中への2次のポインティングベクトルによる磁気エネルギーのもれないことを示すためである。従って、磁気圏のエネルギー原理は電離層のプラズマベータの値が1よりはるかに小さければ、成り立つ。電離層で水平方向に自由な境界条件を満たす交換型不安定の場合には、磁気圏から電離層につながる磁力管が一体となって運動し、電離層でのプラズマ変位の2乗の表面積分の項の時間変化のために、電離層境界では磁気圏に向かう向きにポインティングベクトルが生じ、電離層も不安定に寄与する。実際に夜側の赤道面の地球半径の10倍の所でベータ値が1、磁場がダイポール磁場のように距離の3乗に逆比例して減少すると仮定すると、電離層でのベータ値は10のマイナス6乗となり、磁気圏のエネルギー原理は非常に良い精度で成り立つ。