

中性大気までを含む拡張された磁気圏のエネルギー原理

An extended magnetospheric energy principle including neutral atmosphere

三浦 彰^{1*}

Akira Miura^{1*}

¹東京大学大学院理学系地球惑星科学専攻

¹DEPS, Univ. of Tokyo

中性大気を含む拡張された磁気圏のエネルギー原理を構築することにより中性大気中の磁場エネルギーの変化は電離層駆動の磁気圏の交換型不安定の存在に影響を及ぼさないことを示す。電離層駆動の磁気圏の交換型不安定は球面状の電離層面上の有限の水平方向のプラズマ変位により不安定化される。その不安定が存在することは磁気圏のエネルギー原理に基づいた解析によっている。磁気圏のエネルギー原理は電離層直下の中性大気の影響を無視して構築されている。しかし中性大気は磁気圏の磁場の变化から完全にシールドされておらずポテンシャルエネルギーに正の安定化の寄与を与える可能性があるため、電離層駆動の交換型不安定の解析では磁気圏のエネルギー原理における中性大気の影響を正当化する必要がある。良く知られた核融合で使われるエネルギー原理においては閉じ込められたプラズマを囲む真空領域中の磁気エネルギーの変化が考慮に入れられ、真空領域はポテンシャルエネルギーに正の安定化の寄与を与えることが知られている。すなわち、閉じ込められたプラズマを囲む真空領域に磁気エネルギーは漏れ出す。従って、閉じ込められたプラズマの完全理想MHDの安定性を議論するためにはポテンシャルエネルギーに寄与する真空領域の正の安定化の寄与を考慮する必要がある。中性大気は有限の圧力を持った質量のない気体であると仮定し、更に固体地球表面は完全導体の壁であると仮定することにより中性大気の影響が磁気圏の安定性に及ぼす影響を調べる。三つの境界条件を用いる。一つは摂動されていない電離層面での圧力平衡の式で、もう一つは電離層面での電場の接線成分の連続の式、更に固体地球表面でのベクトルポテンシャルの条件を使い拡張された磁気圏のエネルギー原理を構築する。拡張された原理は0次の磁場は摂動をうけていない電離層面に垂直に入射するという仮定にもとづいて構築されている。最初に、摂動をうけていない電離層面に垂直なプラズマ変位を持たず、かつ水平成分の磁場変化は連続である変位に対して理想MHDの力の演算子は自己共役であることを示す。従ってこれらの擾乱に対して磁気圏内のエネルギーの保存は満たされる。次に中性大気の影響を無視した磁気圏のエネルギー原理で見出されたポテンシャルエネルギーへの不安定化させる負の寄与が拡張された磁気圏のエネルギー原理においても現れることを示す。従って、球面状の電離層面上での水平方向のプラズマ変位が不安定化させる要因であることが確認された。ポテンシャルエネルギーには中性大気の影響を正の寄与は現れない。つまり、電離層駆動の交換型不安定の存在は電離層直下の中性大気の影響を考慮に入れても影響されることはない。従って、中性大気の影響を無視した磁気圏のエネルギー原理を磁気圏の交換型不安定の解析に用いることが正当化される。エネルギー原理は散逸項のない理想MHD方程式に基づいているが、電離層のペダーセン電気伝導度によるエネルギー散逸はアルフベン伝導度がほぼペダーセン電気伝導度に等しい場合、2分より長い不安定の成長時間を持つ不安定性に対してはポテンシャルエネルギーへの電離層の不安定化させる負の寄与に比べて無視できる。

キーワード:磁気圏,エネルギー原理,電離層駆動,交換型不安定,電磁流体不安定,中性大気

Keywords: magnetosphere, energy principle, ionosphere-driven, interchange instability, MHD instability, neutral atmosphere