

接線不連続面における磁場の最小角回転とテイラーのヘリシティ制約

The minimum angle rotation of the magnetic field in the tangential discontinuity and Taylor's helicity constraint

三浦 彰[1]

Akira Miura[1]

[1] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Physics, Tokyo Univ

磁気圏界面や太陽風中の接線不連続面内では、両側の磁場の方向が異なる場合、磁場は不連続面内中で最小角の回転になるように連続的に回転して、遷移していきことが知られている。この講演では、この磁場の最小角回転が、何故起こるのかをテイラーのヘリシティ制約による大局的緩和の考えを応用して明らかにする。そのような接線不連続面内での磁場の構造を正確に理解することは、例えば接線不連続面で起こるプラズマの不安定の0次の状態を正しく記述する上で重要である。今までこのような磁気圏界面内での磁場の回転はVlasov-Maxwell方程式の定常解を求めることによって議論されてきた。

テイラーのヘリシティ制約の議論によれば磁力線がくっついたり離れたりすることが許される系ではおのこの磁力管に対して定義されたヘリシティは保存されないが、全系を含む領域で定義された全ヘリシティは近似的に保存され磁場はフォースフリーの磁場で表される。これは低ベータプラズマを仮定すると系のエネルギーは磁気エネルギーと運動エネルギーの和になり、系は最終的には磁気エネルギーが最小の状態に落ち着く(緩和する)ことを意味する。

そこで、まず1次元の接線不連続面を仮定し、磁場はフォースフリーと仮定し、磁場の大きさは一定で磁場の回転のみが許されるモデルを考える。この時、磁場の回転のみが許されるので、磁場の回転の仕方は一意に決まるように思えるが実際には任意の回転数の回転が許されるので、フォースフリーの数学的な解の数は無限個になる。最初に1次元の接線不連続面を囲む長方形の領域内で磁気エネルギーと磁気ヘリシティーを定義すると接線不連続面内での磁気エネルギーと磁気ヘリシティーの比は不連続面内での磁場の回転角に比例することが示される。従って最終的にプラズマが緩和した状態では磁気エネルギーと磁気ヘリシティーの比が最小の状態でしかもその過程でヘリシティは保存されるので、その状態では磁場の回転角が最小、つまり磁場の回転角は180度以内となる。これは、両側で磁場の向きが異なる場合に、観測では常に磁場の回転角が最小になるように磁場の遷移が起こるとい観測事実を物理的にうまく説明する。つまり、一様な接線不連続面内での磁場の回転は最小エネルギー状態への緩和の過程であると考えることができる。

現実の磁気圏の多くの領域ではプラズマは高ベータであり圧力勾配が存在する。そのような系ではプラズマの内部エネルギーも緩和に関わっており、今後高ベータプラズマ中での緩和の機構を明らかにすることが必要である。