

磁気圏近尾部におけるバルーニング不安定と交換型不安定の対比と粒子の非断熱性の効果

Comparison of ballooning and interchange instabilities in the near-Earth plasma sheet and effects of non-adiabatic particles

三浦 彰[1]

Akira Miura[1]

[1] 東大・理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Physics, Tokyo Univ

磁気圏近尾部でのバルーニング不安定と交換型不安定で、交換型不安定は電離層の境界条件によって支配されやすいこと、プラズマのベータ値が $0(1)$ を超えると安定化されること、粒子の非断熱効果が現れてくると完全に安定化されてしまうことを考えると、サブストームのオンセット時において近尾部で起こりうる不安定はバルーニング不安定であり、したがってバルーニング不安定の方が交換型不安定よりもオンセットにおいて重要な働きをすると考えられる。

磁気圏サブストームの開始を表すオーロラの急激な輝度の増加は赤道面の近尾部にマップされる磁力線上で起こることが知られており、それを引き起こす具体的な物理機構としては磁気圏近尾部でのリコネクションやその更に地球よりで起こる何らかの不安定が考えられているが、まだ観測の方から特定されたわけではない。前回の講演では、サブストームの成長相の時のように近尾部の磁力線がテイル状になってきた状態では、圧力駆動の不安定であるバルーニング不安定がより磁気圏近尾部で起こりやすくなってくることを明らかにした。近尾部での磁力線の曲率と圧力の勾配はバルーニング不安定と共にもう一つの圧力駆動の不安定である交換型不安定を起こす可能性もある。バルーニング不安定と交換型不安定は共に圧力駆動の不安定であり、圧力勾配の大きな磁気圏の近尾部で起こりうるが、前回の講演では交換型不安定の可能性については議論しなかった。そこで今回は近尾部でのバルーニング不安定と交換型不安定の物理的特性を対比し、サブストームの成長相の時のように磁場がかなりテイル状になった状態ではどちらの不安定がより磁気圏近尾部で励起されやすいか、そしてどちらの不安定がよりサブストームのオンセット現象では重要かを明らかにする。

交換型不安定は磁力管全体が運動する不安定であり、磁気圏での交換型不安定の可能性については Gold (1959) によって指摘されている。交換型不安定では磁力線の変形は起こらず磁力管全体が赤道から電離層まで動くために電離層の境界条件が支配的である。一方、バルーニング不安定は赤道面近くに局在化しているため電離層の境界条件には依存しない。またサブストームの成長相の時のように磁場がテイル状になった場合にも交換型不安定は起こりうるがプラズマのベータ値が赤道面で $0(1)$ を超えると交換型不安定は安定化されることがエネルギー積分の計算によって示される。一方、バルーニング不安定は赤道面のベータが大きくなった方が起こりやすい。サブストームのオンセット直前には近尾部でのプラズマのベータ値が $0(1)$ を超えると考えられるので、オンセット直前には交換型不安定は起こりにくくなると考えられる。更に、成長相の間に磁場がテイル状になってくると近尾部でイオンのラーモア半径と磁力線の曲率半径が同程度となり粒子の非断熱効果 (Buchner and Zelenyi, 1989; Chen, 1992) が効いてくる可能性があることが観測によっても確かめられている (Lui et al., 1992)。そのような粒子の非断熱効果が効いた状態ではバルーニング固有方程式の圧縮性の項がどのような変更を受けるかは Hurricane et al. (1995) によって明らかにされているが、ここでは彼らの定式化した非断熱粒子の効果を入れた圧縮性の項を考慮に入れテイル状の磁場形状に対してエネルギー積分を計算し、バルーニング不安定と交換型不安定がどのように粒子の非断熱効果によって影響を受けるかを調べた。その結果によれば、バルーニングモードはむしろ粒子の非断熱効果によって成長率が大きくなるのに対して、交換型不安定は粒子の非断熱効果によって完全に安定化されてしまうことがわかった。従って、電離層の境界条件に対する依存性、赤道面でのプラズマベータに対する依存性、非断熱粒子の効果を考慮に入れるとサブストームの成長相の時のように磁場が近尾部でテイル状になってくると磁気圏近尾部で交換型不安定よりもバルーニング不安定の方が起きやすいことが示唆され、サブストームの開始に磁気圏近尾部での電磁流体の不安定が関与しているとしたら、バルーニング不安定である可能性が大きいことが示唆される。