

プラズマ圏プラズマ及び放射線帯粒子に現れるベータートロン・ドリフト効果

Effects of the Betatron Drift on the Plasmaspheric Plasma and on the Radiation Belt Particles

大家 寛 [1]

Hiroshi Oya [1]

[1] 東北大・理・地球物理学

[1] Geophysical Ist. Tohoku Univ.

科学観測衛星EXOS-D（あけぼの）による波動観測装置PWSデータにおける高域ハイブリッド共鳴によってもたらされた高精度のプラズマ密度分布の時間変動がDst 変化を示す時間微分と一対一対応することが確認され、環電流変化にともなう磁場変動が惹起する誘導電場を原因とする $E \times B$ ドリフトの効果であることが結論され、ベータートロンドリフトと呼んでいる。本研究ではさらにこのベータートロンドリフトが高エネルギー粒子にも現れることを指摘するもので、磁気嵐の主相では磁力線を横切って地球外方に移動し、時に、放射線帯から消え、回復相では逆に外部から急速に内部放射線帯に流入してくることを示す。この場合第一及び第二不変量は保持される。

1. 序

従来プラズマ圏プラズマ運動はローレンツ力に支配され、基本的平均運動は沿磁力線であると理解されてきた。そしてプラズマ圏を境するものは共回転磁場と磁気圏対流に凍結して移動する対流磁場との境界であり、ここにプラズマポーズが形成されることが理解の基盤となってきた。

1989年2月に打ち上げられたEXOS-D（あけぼの）衛星に搭載されているPWS観測装置では、得られるプラズマ波動スペクトルの中に高域ハイブリッド波が検出され、この周波数からは、精度の高い電子密度が得られている。この結果から得られるプラズマ圏電子密度分布、ひいてはプラズマ密度分布は、プラズマ圏プラズマのダイナミクスが従来いわれてきたプロセスとは異なるふるまいを示した。すなわちDstの時間変動に敏感に反応し、一定時間、Dst変動が継続すると、磁力線を横切って起こるドリフトのためプラズマ圏プラズマは急速に減少したり増大することが判明した。これは局所磁場の時間変動にともなう誘導される電場による $E \times B$ ドリフトでベータートロン・ドリフト(Oya,1997)と呼ばれている。本研究はこのベータートロン・ドリフトをさらに高エネルギー粒子のダイナミクスにも適用することを目的としたものである。

2. ベータートロン・ドリフト

局所磁場の時間変動がある時、ファラデーの法則によって誘起される電場が、一定時間継続する時、プラズマ圏プラズマの運動はこの電場にもとづく $E \times B$ ドリフトを起こす。この電場の起源はしたがって局所磁場を変化させる環電流の時間変動と直結してそのドリフト速度は

$$V(\text{Vector}) = -A \frac{D_{st}}{dt} \cdot r(\text{Vector})$$

となる。ただし、Aは磁場強度に比例し、また環電流の規模に対応する定数である(Oya, 1997)。したがって D_{st}/dt が負のときにはプラズマは外部に向かって移動し、 D_{st}/dt が正の時には外部にあったプラズマはプラズマ圏内部へと輸送される。特にこのベータートロン・ドリフトは磁気嵐時に顕著に現れ、磁気嵐主相ではプラズマはプラズマ圏の磁力線を横切って外部に流出し、磁気嵐の回復相では外部の熱いプラズマが磁力線を横切ってプラズマ圏内部に侵入する。

3. 高エネルギー粒子への適用

本研究では特にこのベータートロン・ドリフトを放射線帯に存在する高エネルギーにまで適用する。放射線帯粒子は、プラズマ圏プラズマに比して、ラーマー半径が大きいこと。磁力線方向の速度が大きく、また相互作用が少ないためいわずに Single particle 近似で取り扱うことが可能になる。しかし磁場変動はそのラーマー運動周期に比して極めて緩やかであるため、直接のベータートロン加速はなく、プラズマ圏プラズマと同様に誘導電場によるドリフトすなわちベータートロン・ドリフトを起こす。この場合、したがって第一及び第二不変量が保存されるが、Dst変動と地球一周の周期とは時間的に comparable order となり、第三不変量は明らかに保たれない状態となる。

ベータートロンドリフトの結果、放射線帯の高エネルギー粒子は、 D_{st}/dt が負の間は外側に向かって輸送され、 D_{st}/dt が正の間は内側に向かって輸送される。そのドリフト速度はエネルギーに関係なく内帯外部において、5nT/h,10nT/h,及び30nT/hに対し、100m/sec,250m/sec,及び760m/secとなり、大きな磁気嵐時にはその主相では2~3時間で完全に放射線帯から消え、またその回復相では同程度の時間内で輸送により放射線帯粒子が供給されることになる。

4 . 結論

環電流の時間変動にともなう局所磁場の時間変動によって、誘導される電場によって惹起されるドリフト、すなわちベータートロン・ドリフトはエネルギーに依存することなく起こる。したがってプラズマ圏プラズマのみならず放射線帯粒子もこのベータートロン・ドリフトにより磁気嵐時にはその主相において短時間で消失し、そして回復相では短時間に充填される。最近のデータ解析で明らかに成ってきた放射線帯粒子のふるまいの謎をとくのはこのベータートロン・ドリフトである。

Reference

H. Oya, Dynamical variation of plasmasphere revealed by PWS data onboard the Akebono (EXOS-D) satellite, J. Geomag. Geoelectr., 49, S159, 1997.