

地磁気擾乱時における放射線帯電子のピッチ角分布の変動

Pitch angle evolutions of relativistic electrons in the radiation belt during magnetic storm periods

西村 幸敏[1]; 新堀 淳樹[2]; 小野 高幸[3]; 飯島 雅英[4]; 熊本 篤志[5]; 森岡 昭[6]

Yukitoshi Nishimura[1]; Atsuki Shinbori[2]; Takayuki Ono[3]; Masahide Iizima[4]; Atsushi Kumamoto[5]; Akira Morioka[6]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理学; [3] 東北大・理; [4] 東北大・理・地物; [5] 東北大・理; [6] 東北大・理・惑星プラズマ大気

[1] Geophysics Sci., Tohoku Univ.; [2] Geophys. Inst., Tohoku Univ.; [3] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [4] Geophysical Inst., Tohoku Univ.; [5] Tohoku Univ.; [6] Planet. Plasma and Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.

放射線帯電子 flux が地磁気擾乱時に変動することは良く知られている。また、地磁気擾乱時には同時にピッチ角分布も変動し、pancake 分布が Maxwell 分布近づく [Horne et al., 2003] ことに加えて、dumbbell 分布が観測されることもあった。Morioka et al. [2001] は dumbbell 分布が $L=2$ 付近においても観測されることを示し、地磁気活動との対応はないと推測した。ピッチ角分布の地磁気活動との対応は完全には明らかになっていない。放射線帯電子のピッチ角分布は地磁気擾乱時における放射線帯電子の減少や増大過程による影響を受けるため、その時空間変動を解明することは、地磁気擾乱時に放射線帯電子に作用する物理機構を理解する上で重要である。本研究の目的は、Akebono 衛星に搭載された radiation monitor (RDM) [Takagi et al., 1993] により測定された電子 flux データを用い、地磁気擾乱時における放射線帯電子のピッチ角の時空間発展と、その形成機構を調べることである。本研究では flux anisotropy parameter を $A=j(90^\circ)/[(j(45^\circ)+j(135^\circ))/2]$ と定義する。j はあるピッチ角の flux である。

1989年3月のイベントについて解析した結果、3月13日1:27 UT に発生した SC の90分後には4Re以下の領域でAが減少を始め、2.5 MeV以上ではSC前では1.2であったが、主相の直後では0.8となり、pancake 分布から dumbbell 分布へと変化した。この dumbbell 分布は地磁気が静穏に戻っても継続し、半年以上消失しなかった。flux も4Re以下において増大し、flux の増大と同期して dumbbell 分布が現れた。300-950 keV では flux は5Re以下で増大したが、Aは3Re以下でSC前より減少し、1.4から1.1へ変化した。dumbbell 分布が地磁気擾乱に伴って特に高いエネルギーで顕著に見られることは、その生成機構がエネルギー依存性及びL値依存性を持つことを示唆している。地磁気擾乱に伴う flux 増大機構として、radial diffusion [Li et al., 2001] や cyclotron resonance [Summers et al., 1998] などが考えられているが、形成されるピッチ角分布は pancake 型であり、これらの機構のみではこの解析で得られた dumbbell 型の分布を形成することができない。

このように地磁気擾乱時にピッチ角分布が pancake 型から dumbbell 型へ変化する現象はほぼ全ての地磁気擾乱においてみられる。1989-1998年のRDMの観測期間において106例の地磁気擾乱とピッチ角分布の変動に対応が見られた。その106例について、各地磁気擾乱のDstの最小値とAの最小値の関係を調べた結果、相関係数0.71の正の相関が認められた。また、各地磁気擾乱のDstの最小値とAの最小値が出現したL値の関係を調べた結果、相関係数0.73の正の相関が認められた。

これらのことは、地磁気擾乱が大きいほど強い dumbbell 分布が、より地球に近い領域に形成されることを示す。この結果から、地磁気擾乱時のピッチ角分布の変動は ring current の発達による背景磁場強度の減少が引き起こす断熱減速による可能性が考えられる。

bi-Maxwell 分布を仮定すると、1989年3月の地磁気擾乱の場合、2.5 MeV以上について観測された温度比は擾乱前が $T_{\text{perp}}/T_{\text{para}}=1.33$ 、回復相では0.71であった。第一、第三不変量の保存を仮定して、 $\text{Dst}=-400$ nTの磁場変動の下で温度比を計算すると0.58となり、観測に比較的近い値を示す。一方、300-950 keVについて同様の解析を行うと、観測値は擾乱前と擾乱後でそれぞれ1.4と1.1であるのに対し、計算値は0.63となり、両者は大きく異なる。これらの検討結果から、MeV電子には磁場変動による断熱効果が支配的であるのに対し、MeV以下の電子では非断熱効果や電場による輸送効果が重要になっているものと推測される。少なくとも主相直後までの電子のピッチ角分布の変動には断熱効果が重要な役割を果たしていると考えられるが、地磁気が静穏に戻っても dumbbell 分布が維持される理由は説明できず、何らかの非断熱効果が作用している可能性がある。また、dumbbell 分布は flux 増大と同時に見られることから、dumbbell 分布を形成できる flux 増大機構 [e.g. Fujimoto and Nishida, 1990] を検討する必要がある。