

Van Allen Probes 衛星観測結果に基づく小規模磁気嵐における放射線帯電子フラックス変動のエネルギー依存性についての研究

松尾 雄人 [1]; 加藤 雄人 [2]; 熊本 篤志 [3]; バイカー ダニエル [4]; リーブス ジェフ [5]; Kletzing Craig A.[6]; カネカル シュリ [4]; ジェインス アリソン [7]; スペンス ハラン [8]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 東北大・理・地球物理; [3] 東北大・理・地球物理; [4] コロラド大学; [5] ロスアラモス国立研究所; [6] Department of Physics and Astronomy, UoI; [7] GSFC, NASA; [8] ニューハンプシャー大学

The energy dependent enhancements of radiation belt electrons during moderate magnetic storms: Van Allen Probes observation

Taketo Matsuo[1]; Yuto Katoh[2]; Atsushi Kumamoto[3]; Daniel Baker[4]; Geoff Reeves[5]; Craig A. Kletzing[6]; Shri Kanekal[4]; Allison Jaynes[7]; Harlan Spence[8]

[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [3] Dept. Geophys., Tohoku Univ.; [4] LASP, Univ. Colorado; [5] LANL; [6] Department of Physics and Astronomy, UoI; [7] GSFC, NASA; [8] Univ. New Hampshire

By analyzing in situ observation data by Van Allen Probes, we study the spatial and temporal evolution of the flux of radiation belt electrons, the plasma environment, and plasma wave activities during moderate geomagnetic storms. It has been widely recognized that the radial distribution of the flux of electron radiation belts generally show two belt structures.. In September 2012, it was revealed that radiation belt electrons show three belt structures by observation of Van Allen Probes [Baker et al., 2013]. The formation process of three belt structures can be explained by considering loss processes of relativistic electrons when they are located outside the plasmopause. In general, when plasmopause moves inward during a magnetic storm, the flux of outer radiation belt electrons decreases during the main phase in the region outside of the plasmopause and increases again during the recovery phase. In the September 2012 event, since the variation of the plasmopause location is small, the region where the electron flux is strong remains inside the plasmashere and relativistic electrons are generated outside the plasmopause, resulting in the observed three belt structures. Since this three belt structure was observed during a moderate magnetic storm ($Dst \sim -70$ nT), we expect that the structures are often formed during a similar storm and that the role of the plasmopause location can be clearly identified by analyzing the formation process of the three belt structures.

In the present study, we analyze Van Allen Probes observation data measured during two storm events: 23 April 2013 and 25 May 2013 storms (hereafter we refer the former and latter events as event A and event B, respectively). The minimum Dst index is similar in both events; -49 nT for event A and -55 nT for event B. We use the flux of relativistic electrons of 2.3 MeV, 3.6 MeV, and 4.5 MeV measured by the Relativistic Electron-Proton Telescope (REPT) [Baker et al., 2012]. We also analyze plasma wave and background magnetic field data measured by Electric and Magnetic Field Instrument Suite and Integrated Science (EMFISIS) [Kletzing et al., 2012].

During the both analyzed storm events, we find the flux decrease of outer radiation belt electrons in the region outside of the plasmopause, while we identify the location of plasmopause by analyzing the upper-hybrid resonance frequency from the wave electric field spectra of EMFISIS. In the recovery phase, we find the presence of the three belt structures in the event A but the usual two belt structures in the event B. During both events, the flux increases occur during both events in the region outside the plasmopause, while the location of the plasmopause is relatively closer to the Earth in the event B ($L \sim 4$ for event A, $L \sim 3$ for event B). We also analyze wave electromagnetic field spectra and identify the enhancement of whistler-mode chorus emissions in the region outside the plasmopause. We find that the activities of chorus emissions enhance concurrent with the timing of the flux increase of relativistic electrons, suggesting a close relationship between them. We also identified two-step enhancements of relativistic electrons during the event A. We find at the first step during the early recovery phase that the flux enhancement is measured only in 2.3 MeV and that the flux of 2.3-4.5 MeV increases simultaneously at the second step during the late recovery phase. To understand the identified energy dependence in detail, we analyze the correspondence between the flux enhancements and spectral characteristics of whistler-mode chorus by examining the cyclotron resonance condition under the observed plasma environment during the event. Furthermore, we analyze the phase space density of relativistic electrons in the inner magnetosphere so as to reveal whether the inward transport from outside or the acceleration process occurring in the inner magnetosphere is dominant as the mechanism of the observed flux enhancement.

本研究は Van Allen Probes 衛星によるその場観測結果に基づいて、小規模磁気嵐時における放射線帯電子フラックスの時空間変動とその物理過程について議論する。

地球の内部磁気圏には、放射線帯と呼ばれる、相対論的なエネルギーを持つ粒子が地球の磁場に捕捉された領域が存在する。特に電子の放射線帯については、相対論的電子フラックスの典型的な動径分布が、1.5 RE (RE は地球半径) でフラックスが最大となる内帯と、4.0 RE 付近で最大となる外帯とに分けられ、二つのベルト構造を成していると広く理解されている。一方で、2012年9月の Van Allen probes の観測により、放射線帯電子が三つのベルト構造を示す例が報告された [Baker et al., 2013]。三つのベルト構造の形成過程は、プラズマポーズの位置に関連した相対論的電子の消失過程により説明される。放射線帯外帯を構成する相対論的電子のフラックスは、磁気嵐の主相において減少し、回復相に

において増加することが明らかとなっている。主相におけるフラックスの減少は、磁気圏の圧縮に伴う磁気圏界面からの惑星間空間への流出や、プラズマ波動との共鳴によりピッチ角散乱を受けることに起因した大気への降下と消失により説明される。また、回復相でのフラックスの増大は、磁気圏夜側からの動径方向輸送とそれに伴う断熱加速過程と、放射線帯領域で発生するプラズマ波動による加速過程によると考えられている。フラックスの消失過程と増加過程の双方に、プラズマポーズの位置が深く関与しているが、2012年9月のイベントではプラズマポーズの位置の変動が比較的小さく、主相においてはプラズマ圏内にフラックスの強い領域が留まり、回復相においてプラズマポーズの外側で相対論的電子が生成され、その結果として三つのベルト構造が形成されたと考えられる。2012年9月のイベントは小規模な磁気嵐 ($Dst \sim -70$ nT) であったことから、この構造は同程度の規模の磁気嵐時によく形成される可能性が考えられ、また、放射線帯の構造に対してプラズマポーズの位置が果たす役割を理解する上で重要な現象であると考えられる。

本研究では、2013年4月24日と2013年5月24日に発生した磁気嵐での放射線帯電子の変動を議論する(以後、それぞれイベントA、イベントBと呼ぶ)。Dst指数の最小値は、イベントAでは-49nT、イベントBでは-55nTである。解析にはVan Allen Probes衛星に搭載されたRelativistic Electron-Proton Telescope(REPT)[Baker et al., 2012]による2.3MeV,3.6MeV,4.5MeVのエネルギー帯の電子フラックス、ならびにElectric and Magnetic Field Instrument Suite and Integrated Science(EMFISIS)[Kletzing et al., 2012]によるプラズマ波動と背景磁場の観測結果を用いる。まず、両イベントについて、プラズマポーズの位置を波動電場成分のスペクトルから高域混成共鳴周波数を見出すことにより同定した。次に、相対論的電子フラックスの動径方向分布の解析から、イベントAでは回復相においてBaker et al. (2013)に類似した三つのベルト構造を呈するが、イベントBでは通常の二つのベルト構造となっていることが示された。また、回復相においては両イベント共にプラズマポーズの外側でフラックスの増加が見られたが、プラズマポーズはイベントAで $L \sim 4$ 、イベントBで $L \sim 3$ と、イベントBの方が比較的内側に位置していたことが明らかとなった。さらに、両イベントにおけるプラズマ波動の電場成分の解析から、プラズマポーズの外側でホイッスラーモード・コーラス放射が励起しており、相対論的電子のフラックスの増加時にはコーラス放射の波動強度も増加していることが明らかとなった。この結果は、両者の密接な関連を示唆している。また本研究では、イベントAの回復相において、相対論的電子のフラックスが二段階で増加していることを明らかにした。第一段階の増加は2.3MeVのフラックスのみで起こり、第二段階の増加は2.3-4.5MeVの広いエネルギー範囲で同時に生じていることが示された。エネルギー帯に依存したフラックス増加過程を理解するために、イベント発生時の内部磁気圏のプラズマ環境の詳細と、プラズマ波動のスペクトルならびにサイクロトロン共鳴条件を調べることで、コーラス放射とフラックスの対応を議論する。さらに、相対論的電子の位相空間密度の解析を行い、フラックスの増加を担う物理過程を明らかにする。