

Pc4-5帯ULF波動とのドリフト共鳴による高エネルギー電子の変動とコーラス放射の強度変調について

大野 敦裕 [1]; 加藤 雄人 [1]; 寺本 万里子 [2]; 熊本 篤志 [3]; 土屋 史紀 [4]; 笠原 禎也 [5]; 松田 昇也 [6]; 松岡 彩子 [7]; 三谷 烈史 [8]; 堀 智昭 [9]; 笠原 慧 [10]; 横田 勝一郎 [11]; 桂華 邦裕 [12]; 三好 由純 [9]; 篠原 育 [13]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 九工大; [3] 東北大・理・地球物理; [4] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [5] 金沢大; [6] ISAS/JAXA; [7] JAXA 宇宙研; [8] 宇宙研; [9] 名大 ISEE; [10] 東京大学; [11] 阪大; [12] 東大・理; [13] 宇宙研/宇宙機構

Drift resonance of energetic electrons with Pc 4-5 ULF waves and modulation of whistler-mode chorus

Atsuhiko Ono[1]; Yuto Katoh[1]; Mariko Teramoto[2]; Atsushi Kumamoto[3]; Fuminori Tsuchiya[4]; Yoshiya Kasahara[5]; Shoya Matsuda[6]; Ayako Matsuoka[7]; Takefumi Mitani[8]; Tomoaki Hori[9]; Satoshi Kasahara[10]; Shoichiro Yokota[11]; Kunihiro Keika[12]; Yoshizumi Miyoshi[9]; Iku Shinohara[13]

[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] Kyutech; [3] Dept. Geophys, Tohoku Univ.; [4] Planet. Plasma Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [5] Kanazawa Univ.; [6] ISAS/JAXA; [7] ISAS/JAXA; [8] ISAS/JAXA; [9] ISEE, Nagoya Univ.; [10] The University of Tokyo; [11] Osaka Univ.; [12] University of Tokyo; [13] ISAS/JAXA

Whistler-mode chorus emissions play significant roles in the acceleration and loss of energetic electrons in the magnetosphere. One of the important factors which control periodic enhancement of chorus emissions is ULF (Ultra Low Frequency) waves. Jaynes et al. (2015) reported that the periodic variations of chorus emissions associated with the toroidal and poloidal components of Pc4-5 ULF waves, while chorus emissions enhanced twice during one wave period of the ULF waves. Previous studies also suggested that enhancement of the temperature anisotropy of energetic electrons in the wave generation region should be required for the generation of chorus emissions. In order to investigate the correspondence between ULF waves and the intensity variation of chorus emissions, in addition to the wave observation, we examine variations of the flux and the pitch angle distribution of energetic electrons, which are simultaneously observed with these waves.

In the present study, we investigate the relationship between chorus emissions and ULF waves using particle and electromagnetic field observations made by the Arase satellite. We focus on the event observed by the Arase satellite from 2130 to 2200 UT on March 27, 2017. The Arase satellite was located at the magnetic local time about 04:00, the magnetic latitude about -10 degrees, and the L-value about 6 during the event. From the observation of the Onboard Frequency Analyzer (OFA) of the Plasma Wave Experiment (PWE), the Magnetic Field Experiment (MGF), the Medium-energy particle experiments - electron analyzer (MEP-e) and the High-energy electron experiments (HEP), we found one-to-one correspondence among chorus emissions, toroidal mode ULF waves and energetic electrons; chorus emissions enhanced at the timings when the toroidal component of magnetic field oscillation had a peak in the westward direction, and then the flux and the temperature anisotropy enhanced in the 40-60 keV energy range. The one-to-one correspondence is inconsistent with Jaynes et al. (2015). In addition, we evaluate the resonance energy of the observed chorus emissions using the data observed by MGF and the High Frequency Analyzer (HFA) of PWE. We estimated the resonance energy at about 20-400 keV, so it is suggested that the intensity variations of chorus emissions are caused by variations of energetic electrons.

We consider that the modulation of energetic electrons is caused by the drift resonance with the ULF wave. From the drift resonance condition of electrons with 50 keV, the azimuthal wavenumber (m-number) can be estimated as 56-81 for the equatorial pitch angle range from 0 to 90 degrees (c.f. Southwood et al., 1969). Then, the guiding center motion of electrons which resonates with the ULF wave assuming that the ULF oscillations in the electric field is 90 degrees late from those in the magnetic field, namely that the observed ULF wave is standing wave (c.f. Takahashi et al., 1996). Based on the assumed phase difference, the electric field component of the ULF wave oscillates radially outward at the timings when the fluxes of energetic electrons increase. Then the electric drift velocity is directed westward, and make the drift velocity of energetic electrons smaller. Similarly, when the electric field component oscillates radially inward, the fluxes of energetic electrons decrease, the electric drift velocity is directed eastward and the drift velocity of energetic electrons becomes larger. We suggest that the azimuthal inhomogeneity of energetic electrons due to the modulation of the drift velocity can be responsible for the observed flux fluctuations of energetic electrons and resultant intensity modulation of whistler-mode chorus.

地球磁気圏の磁気赤道領域で発生するホイッスラーモード・コーラス放射は、波動粒子相互作用を通して高エネルギー電子の大気への降り込みや放射線帯粒子の内部加速過程に関与していると考えられている。そのため、地球電磁圏の変動現象について考察する上でコーラス放射の発生機構を理解することは本質的に重要である。コーラス放射の発生機構に関係すると考えられている現象の1つとして、地球磁気圏で発生する低周波のプラズマ波動であるULF波動が挙げられる。Jaynes et al. (2015)では、コーラス放射の周期的な発生はトロイダルモードならびにポロイダルモードのPc4-5帯ULF波動と対応関係があり、ULF波動の1振動周期の間にコーラス放射が2回発生することが指摘されている。コーラス放射の発生には波動励起領域での高エネルギー電子の温度異方性が大きく関わっていると考えられており、周期的発生の要因を理解するためには高エネルギー電子のピッチ角分布がどのように変化するかを併せて考慮する必要がある。

本研究では、コーラス放射の周期的発生とULF波動の対応関係について理解することを目的として、あらせ衛星

の波動・粒子観測結果を解析する。本発表では、ULF 波動とコーラス放射の同時発生が観測された 2017 年 3 月 27 日 21:30-22:00 UT のイベントに着目する。解析対象とした時間帯には、あらせ衛星は磁気地方時 04:00 程度、磁気緯度-10 度程度、L 値 6 程度の磁気赤道面付近の朝側領域に位置していた。プラズマ波動・電場観測器 (PWE) の Onboard Frequency Analyzer (OFA)、磁場観測器 (MGF)、高エネルギー電子分析器 (HEP) および中間エネルギー電子分析器 (MEP-e) の観測結果を解析した結果の観測結果を解析した結果、トロイダルモードの Pc4-5 帯 ULF 波動の磁場成分が西向きに卓越する位相において、40-60keV のエネルギー帯の電子のフラックスおよび温度異方性が卓越し、さらにコーラス放射の強度が増大するという 1 対 1 の対応関係が確認された。これは Jaynes et al. (2015) で報告された対応関係とは異なるものである。また MGF と PWE の High Frequency Analyzer (HFA) の観測結果を用いて解析対象とする時間帯におけるコーラス放射の共鳴条件を検討したところ、共鳴エネルギーは 20-400 keV 程度と求められた。これらの結果から、本研究で観測された周期的なコーラス放射の発生は、ULF 波動によって引き起こされる 40-60keV の電子のフラックスおよびピッチ角分布の周期的な変動に起因することが示唆された。

さらに本研究では、高エネルギー電子のフラックスおよびピッチ角分布の変動は、高エネルギー粒子と ULF 波動とのドリフト共鳴に起因するものと仮定して、観測結果について考察する。本イベントで着目した時間帯に最も顕著な変動が観測された 50keV の電子が共鳴に寄与したと仮定して、磁気赤道面でのピッチ角が 0 度から 90 度の電子に対するドリフト共鳴条件 (Southwood et al., 1969) を検討すると、観測された ULF 波動の東西波数 (m-number) は 56-81 と見積もられる。次に、本イベント中に観測された ULF 波動を standing wave であると仮定して、ドリフト共鳴条件を満たす粒子の運動について考察する。Standing wave の ULF 波動は、電場成分の振動の位相が磁場成分の振動の位相より 90 度遅れることが知られている。(c.f. Takahashi et al., 1996) そのため本イベントで観測された高エネルギー電子のフラックスが増加している時間帯には、ULF 波動の電場成分が動径方向外向きに振動していたと推定される。このとき、ULF 波動の電場成分と背景磁場との間のドリフト速度は西向きであり、磁場勾配ドリフトする電子の速度を減少させる働きをされると考えられる。一方で、ULF 波動の電場成分が動径方向内向きに振動している時間帯には、電場ドリフトの速度は東向きであり、電子のドリフト速度を増大させる働きをされると考えられる。このように ULF 波動の電場成分の正負が東西方向に異なった構造が生じるによって電子のドリフト速度が東西方向に異方性を持ち、東西方向に電子の疎密が生じると考えられる。本イベントで観測された周期的な高エネルギー電子のフラックス変動はこのような電子の疎密の結果であると考えられ、コーラス放射の強度変動をもたらした可能性が指摘される。