

R006-17

Zoom meeting B : 11/1 PM2 (15:45-18:15)

16:00~16:15

地球内部磁気圏における Toroidal mode ULF wave による高エネルギー電子のフラックス増強のシミュレーション研究

#磯野 航¹⁾, 加藤 雄人¹⁾, 川面 洋平³⁾, 熊本 篤志²⁾

⁽¹⁾ 東北大学・理・地球物理,⁽²⁾ 東北大学・理・地球物理,⁽³⁾ 東北大学 学際科学フロンティア研究所

Simulation study of the flux enhancement of energetic electrons due to toroidal mode ULF waves in the Earth's inner magnetosphere

#Isono Ko¹⁾, Yuto Katoh¹⁾, Yohei Kawazura³⁾, Atsushi Kumamoto²⁾

⁽¹⁾Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.,⁽²⁾Dept. Geophys., Tohoku Univ.,⁽³⁾Frontier Research Institute for Interdisciplinary Sciences Tohoku University

Previous studies revealed that whistler-mode chorus emissions are generated around the magnetic equatorial plane with a period typically ranging from a few seconds to several minutes [Santolik et al., 2003]. While detailed physics controlling the periodicity has been unsolved, Jaynes et al. (2015) and Zhang et al. (2019) pointed out that the periodic enhancement of chorus emission correlated with toroidal mode ULF waves. Since chorus emissions are generated through an instability driven by keV electrons with temperature anisotropy, the observed correlation suggests that toroidal mode ULF waves are responsible for the temperature anisotropy of energetic electrons. Ono et al. (P-EM19-P08, JpGU-AGU Joint Meeting, 2020) analyzed observation data of the Arase satellite and identified the simultaneous enhancement of chorus emissions and electrons in the energy range of tens of keV, correlated with toroidal mode ULF waves. Ono et al. proposed a mechanism for the modulation of energetic electrons by a toroidal mode ULF wave.

In the present study, we attempted to determine the extent to which high-energy electrons are modulated by toroidal mode ULF waves by using numerical simulations. We used the drift kinetic equation [Littlejohn, 1981] to investigate how the spatial distribution of electrons with a pitch angle of 90 degrees changes by toroidal mode ULF wave. The simulation system is assumed to be spatially one-dimensional the longitude direction at L=6 on the magnetic equatorial plane. The system size corresponded to one wavelength of the ULF wave and was divided into 128 grid points, and the time step was set to satisfy the Courant number. We carried out calculations in the time scale corresponding to several periods of the ULF wave cycles.

Simulation results show that the toroidal mode ULF wave causes a change in the density of electrons in the keV energy range. It is suggested that the modulation is greatly affected by the relationship among three characteristic velocities: the phase velocity of the ULF wave, the velocity of the ExB drift of electrons induced by the ULF wave, and the velocity of the grad B drift of electrons. In particular, under a condition where the velocity difference between the grad B drift velocity and the phase velocity of the ULF wave is sufficiently small, electrons are highly concentrated in the same phase of the toroidal mode ULF wave oscillation as reported by Ono et al. Our simulation results clarified that the proposed model is capable of explaining the observed flux variation of energetic electrons.

ホイッスラーモード・コーラス放射は磁気赤道周辺を源として、数秒から数分の周期で周期的に発生することが知られている [Santolik et al., 2003]。コーラス放射の周期性を決定する要因については未解明の問題が多く残されているが、Toroidal mode ULF wave との相関があることが指摘されている [Jaynes et al., 2015; Zhang et al., 2019]。コーラス放射は温度異方性を持った keV 帯の電子によるプラズマ不安定性に起因して発生することから、Toroidal mode ULF wave が高エネルギー電子の温度異方性を引き起こしている可能性が示唆される。Toroidal mode ULF wave による電子の変調については、ドリフト共鳴による MeV 帯の電子のフラックス変動機構 [Elkington et al., 1999] が提案されているが、keV 帯の電子のダイナミクスへの影響は未だ明らかになっていない。Ono et al. (P-EM19-P08, JpGU-AGU Joint Meeting, 2020) では keV 帯の電子のフラックスが Toroidal mode ULF wave の周期と同期して変動する様相が見出され、波動電場成分によるドリフト速度の変調に基づいたモデルが提案されている。しかし定性的な議論にとどまっておき、提案されたメカニズムによってどの程度電子が変調するのかは課題として残されていた。

本研究では、Littlejohn(1981)による drift 運動論の式を用いた数値シミュレーションを実施し、Toroidal mode ULF wave によりもたらされる高エネルギー電子のフラックスの変動を定量的に調べた。ピッチ角 90 度の電子を対象として 1 次元のシミュレーション空間を、磁気赤道平面上の L=6 における経度方向の 1 次元の空間に沿って設定し、ULF wave によって実空間上の分布関数がどのように変化するのかを調べた。系の大きさは ULF wave 1 波長分の長さとして、これを 128 分割し、クーラン数が適切な大きさになるように時間刻み幅を設定して、ULF wave 数周期分の時間について計算を行った。

シミュレーションの結果、Toroidal mode ULF wave が keV 帯の電子の密度に変化をもたらす様相が再現された。その変調の大きさは、3つの特性速度、すなわち、ULF wave の位相速度、ULF wave によって誘起される電子の $E \times B$ drift の速度、ならびに電子の grad B drift の速度の関係によって大きく影響されることが示唆された。特に grad B drift の速度と ULF wave の位相速度の速度差が十分に小さい条件では、Ono et al. で示された観測結果における粒子が集中した位相と同位相に電子が集中し、初期条件で与えた値の 40 倍程度にまで数密度が上昇することが明らかとなった。この結果は Ono et al. により見出された観測結果が、Toroidal mode ULF wave による高エネルギー電子フラックス変

動メカニズムによって説明しうることを示している。