

木星磁気圏におけるコーラス放射発生過程に関する電子ハイブリッド・MHD連成計算

加藤 雄人 [1]; 深沢 圭一郎 [2]

[1] 東北大・理・地球物理; [2] 京大・メディアセンター

Study of whistler-mode chorus in the Jovian magnetosphere by electron hybrid and MHD simulations

Yuto Katoh[1]; Keiichiro Fukazawa[2]

[1] Dept. Geophys., Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.; [2] ACCMS, Kyoto Univ.

Whistler-mode chorus emissions are electromagnetic plasma waves commonly observed in planetary magnetospheres. Chorus emissions are a group of coherent wave elements showing a variety of frequency shifts in time; typically rising tones, occasionally falling tones, and sometimes observed as hiss-like broadband emissions. While the generation process of chorus has been reproduced by numerical experiments [e.g., Katoh and Omura, GRL 2007a] and has been explained by the nonlinear wave growth theory [Omura et al., JGR 2008, 2009], numerical experiments have revealed that nonlinear wave-particle interactions between chorus and energetic electrons play essential roles not only in generating chorus but in energizing relativistic electrons. Since the nonlinear trapping of resonant electrons by chorus results in very efficient acceleration of trapped particles, chorus should play significant roles in the energization process of radiation belt electrons in planetary magnetospheres. On the other hand, previous studies revealed similarities and differences of the spectral characteristics of chorus in planetary magnetospheres, which has not been understood yet.

In the present study, by carrying out cross-reference simulations by electron hybrid and MHD codes, we investigate physical processes which differentiate the spectral characteristics of chorus emissions in planetary magnetospheres. Our previous simulations have revealed that the spectral characteristics of chorus vary depending on both the inhomogeneity of the background magnetic field and the velocity distribution function of energetic electrons in the equatorial region of the magnetosphere. We use the MHD code for the investigation of the range of variation of the spatial scale of the Jovian magnetosphere in the region from 5 to 20 R_J, where R_J is the radius of Jupiter, corresponding to the region where intense chorus emissions are identified by the Galileo spacecraft observations [Katoh et al., JGR 2011]. By referring the results of the MHD simulations, we conduct a series of electron hybrid simulations for the condition required for the chorus generation and resultant spectral characteristics of chorus in the Jovian magnetosphere. Our simulation results should provide important clues in understanding similarities and differences of chorus emissions in planetary magnetosphere and also the energization process of relativistic electrons.

ホイッスラーモード・コーラス放射は惑星磁気圏に共通して観測されるプラズマ波動であり、周波数が時間的に変化するコヒーレントな波動である。コーラス放射は惑星磁気圏の磁気赤道領域を発生源として、keV帯の高エネルギー電子との非線形波動粒子相互作用によって生成されることが明らかとなっている [e.g., Katoh and Omura, GRL 2007a]。さらに、コーラス放射の発生過程では、相対論的な高エネルギー電子を作り出す非断熱加速過程も同時に生じることが、近年の計算機シミュレーションにより明らかとなった [Katoh and Omura, GRL 2007b; Katoh et al., Ann. Geophys. 2008]。近年では、磁気嵐回復相における地球放射線帯外帯電子の加速過程においてコーラス放射が重要な役割を果たすとされ、また、木星放射線帯の形成過程においてもコーラス放射の重要性が指摘されている [e.g., Horne et al., Nature Physics, 2008; Katoh et al., JGR 2011]。コーラス放射の発生機構に関する理論は近年著しい進展を見せている [Omura et al., JGR 2008, 2009]。

一方で、スペクトル特性と相対論的電子加速過程との関連や、探査機による観測結果に見られる惑星磁気圏ごとのスペクトルの違いについては、未解明の問題が多く残されている。例えば、木星は太陽系最大の磁気圏と放射線帯を有しているが、コーラス放射の波動強度は地球磁気圏のコーラス放射よりも一桁以上小さいことが明らかとなっている。どのような環境で相対論的電子が高効率に作り出されるかを理解する上で、コーラス放射の波動特性がどのように決定されるのかを理解する事は重要である。

本研究は惑星磁気圏でのコーラス放射の波動特性を理解する事を目的として、惑星磁気圏の構造を解くMHDコードと、磁力線上を運動する高エネルギー電子とプラズマ波動との相互作用を解く電子ハイブリッドコードとを用いた連成計算機実験を実施する。コーラス放射の波動特性は、磁力線に沿った背景磁場の空間勾配と、波動の励起エネルギー源であるkeV電子の速度分布関数とによって大きく変化する事が電子ハイブリッドコードを用いた計算機実験により明らかとなっている。この知見に基づいて、木星磁気圏においてGalileo探査機によりコーラス放射の発生が同定されている5-20木星半径の領域を対象として、MHDシミュレーションにより背景磁場の空間勾配の変動範囲を同定し、さらに同定された背景磁場構造を初期条件として電子ハイブリッドコードを用いたシミュレーションにより、コーラス放射の発生条件とその波動特性を明らかにする。