

電子ハイブリッド・MHD 連成計算に基づく惑星磁気圏コーラス放射の発生条件

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

Electron-hybrid and MHD cross-reference simulations of whistler-mode chorus in planetary magnetospheres

Yuto Katoh[1]; Keiichiro Fukazawa[2]

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

We carry out a series of electron hybrid and MHD "cross-reference" simulations for the study of the generation process of whistler-mode chorus emissions in planetary magnetospheres. Chorus emissions are electromagnetic plasma waves commonly observed in planetary magnetospheres and 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. We use the MHD code for the investigation of the range of variation of the spatial scale of the Jovian magnetosphere at the region of 15 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]. We use the results of MHD simulations as the initial condition of electron hybrid simulations and reproduce the generation process of whistler-mode waves in the Jovian magnetosphere. By a series of electron hybrid simulations for different properties of energetic electrons at the equator, we clarify the condition for the chorus generation in the Jovian magnetosphere. Our results can be applied to the condition of chorus generation in other planetary magnetospheres.

本研究は、ホイッスラーモード・コーラス放射の発生過程を再現する電子ハイブリッドシミュレーションを、惑星磁気圏の空間構造の時間・空間変化を解き進める MHD シミュレーションの結果を初期条件に用いて実施する連成計算により、惑星磁気圏でのコーラス放射の発生条件と波動特性を究明する。

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]。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ており [Katoh and Omura, GRL 2007b; Katoh et al., Ann. Geophys. 2008]、惑星放射線帯の形成過程における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]。

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。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 [e.g., Katoh et al., JGR 2011]。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。

本研究では、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領域のうち、木星半径の 15 倍・Ganymede 衛星付近を対象として、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た。さらに同定し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を実施して、ホイッスラーモード波動の励起過程を再現した。keV 帯の高エネルギー電子の初期速度分布として与える温度異方性と数密度を変化させることで、発生するホイッスラーモード波動の強度と波動特性との関連を定量的に示し、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。