

内部磁気圏における環電流イオンによるULF波動の励起機構の研究

代表研究者：山川智嗣¹

共同研究者：関華奈子¹、三好由純²

(1:東京大学大学院理学系研究科, 2:名古屋大学宇宙地球環境研究所)

研究目的

地球を取り巻く宇宙空間(内部磁気圏)における最大の変動現象である磁気嵐時には、夜側に粒子が注入され、西向きの環電流(~ keV)が発達する。環電流は地球の固有磁場を変化させるだけでなく、ULF波動と呼ばれるmHz帯の周波数を持つ電磁波動を励起させることがある。ULF波動は内部磁気圏最大のエネルギーを持つ放射線帯電子(~ MeV)の加速機構にも影響を与える重要な波動だが、環電流によってどこでどのようにULF波動が励起されるのかはよく理解されていない。本研究では、数値シミュレーションを用いて、環電流起源のULF波動の励起機構・空間分布を明らかにすることを旨とする。

研究手法・内容

本研究では磁気圏電離圏結合されたモデル(GEMSIS-RC + GEMSIS-POT)による数値シミュレーションを行った。GEMSIS-RCモデル(Amano et al., 2011, JGR)は、環電流イオンの旋回中心の運動と電磁場を自己無撞着に解くことのできるドリフト運動モデルである。GEMSIS-POTモデルは(Nakamizo et al., 2012, JGR)は電離圏全球を解く2次元のポテンシャルソルバーである。これらのモデルを結合させることで、夜側の粒子注入・注入された粒子の輸送・環電流の形成・環電流によるULF波動の励起という一連のプロセスをモデルで再現することができる。本研究ではこの結合モデルを用いて、夜側に粒子が注入された状態(密度2 /cc、温度10 keVのKappa分布を仮定)を初期条件として仮定し、数値計算を行い、環電流イオンによるULF波動の解析を行った。

本研究では、背景密度を与える低温粒子の運動を解くモジュールを新たに開発し、結合されたモデルに組み込んだ。低温粒子を動かさない場合(Case a)と動かす場合(Case b)、2種類のケースで数値計算を行い、シミュレーション結果の比較を行った。

研究成果

Case a(低温粒子を動かさない場合)では、メカニズムの異なる2種類のULF波動が励起されることが明らかになった。

1. 昼側で励起されたドリフト共鳴によるULF波動(2-4 mHz)
2. 夕方側で励起されたドリフトバウンス共鳴によるULF波動(2 mHz)

先行研究(Yamakawa et al., 2020, JGR)では、電離圏と結合せずにGEMSIS-RCモデルのみを用いて、環電流によるULF波動の励起を調べたが、このときも昼側と夕方側でULF波動が励起された。ただ磁気圏電離圏結合させると、ULF波動の振幅が上昇し、モデルにおけるULF波動の記述性能が高まった。また、ULF波動の成長率に関する解析を行った結果、昼側のULF波動はイオンの位相空間密度のエネルギー勾配が波を成長させているのに対し、夕方側のULF波動はイオンの位相空間密度の空間勾配が波を成長させていることが明らかになった。これらの研究成果をまとめた学術論文は国際誌(JGR)に採択された。

Case b(低温粒子を動かす場合)では、背景密度が時間と共に変化し、夜側でのプラズマ圏の

収縮・プラズマポーズの形成がモデルで再現された。Case bでは、上記の2種類のULF波動に加えて、夜側のプラズマポーズ付近と明け方側の密度勾配が急峻な領域にULF波動が見られ、合計4カ所でULF波動が励起されることが明らかになった。これらの研究成果をまとめた学術論文は現在投稿準備中である。

成果発表

[投稿論文]

1. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 127, e2022JA030486.

[受賞]

2. 2022年度地球惑星科学連合 (JpGU) 大会にて学生発表賞, 2022. 05

[学会発表]

3. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *JpGU Meeting*, 幕張, 2022.05, 口頭
4. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of two types of storm-time Pc5 ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *GEM (Geospace Environment Modeling) Meeting*, Honolulu, 2022.06, ポスター
5. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Control of the dynamics of cold particles on the excitation of ULF waves based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *SGEPSS Fall Meeting*, 相模原, 2022.11, 口頭
6. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Effects of the dynamics of cold plasma on the excitation of internally driven ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, *ERG Science Meeting*, 金沢, 2023.03, 口頭
7. Yamakawa, T., Seki, K., Amano, T., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., Takahashi, N., & Yamamoto, K., Excitation of internally driven ULF waves by ring current ions based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, 2022年度ISEE研究集会, オンライン, 2023.03, 口頭(招待講演)