

グローバル内部磁気圏モデルに基づく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²、三好由純¹

(1:名古屋大学宇宙地球環境研究所, 2:東京大学理学系研究科)

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($\sim$ 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($\sim$ 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と観測との比較に基づいて、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目指す。

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)を用いて、数値計算を行った。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(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に、太陽風条件から電離圏の沿磁力線電流分布を与える経験モデル(Weimer, 2005)を新たに組み込むコード開発を行い、モデルを実際の磁気嵐に適用できるようにした。

本年度の研究では、他の環電流モデル(Fok et al., 2010)で数値計算が行われた、2009年7月22日の磁気嵐に着目し、磁気嵐中の環電流の形成やULF波動の励起について衛星観測・地上観測・他の環電流モデルとの比較を行った。

研究成果

2009年7月22日の磁気嵐において、GOES衛星や地上観測では周波数1.6 mHz程度のULF波動が夜側で観測されていた。この磁気嵐のイベントについて数値計算を行った結果、GOES衛星で観測されたULF波動と同様の特性(周波数や方位角方向の波数)を持つULF波動がモデルでも励起されていることが示された(図1)。またシミュレーション結果からこのULF波動についてはドリフト共鳴によって励起され、夕方から夜側にかけてULF波動が見られることが示唆された(図2)。以上の結果から、観測されたULF波動の励起機構や空間分布をモデルによって明らかにすることができた。さらに、過去の環電流モデル(Fok et al., 2010)と磁気嵐中の環電流の変動・地上磁場の変動に関する比較を行うことで、モデルの妥当性についての検証も行った。以上の研究成果については国際学術誌に投稿済みである。

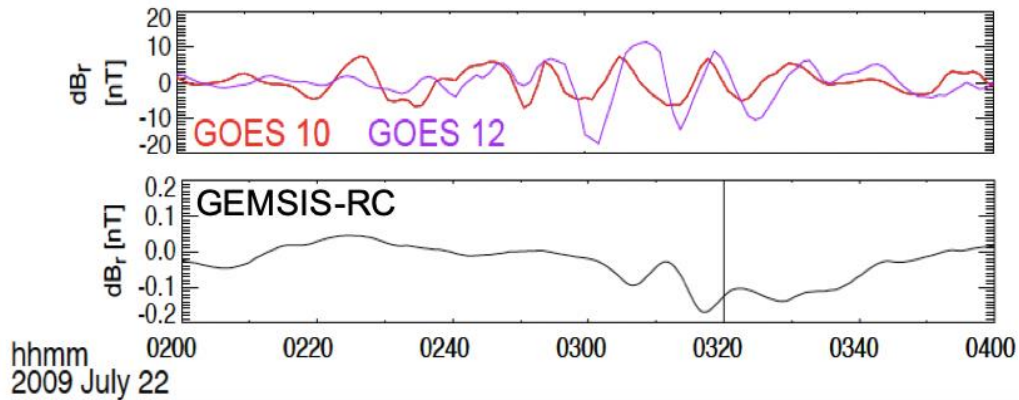


図1：GOES衛星で観測されたULF波動(上図)とGEMSIS-RCモデルで励起されたULF波動(下図)との波形(dBr)の比較。03:00-04:00UTにかけて、観測されたULF波動と同様の周波数を持つULF波動がモデルでも励起された。

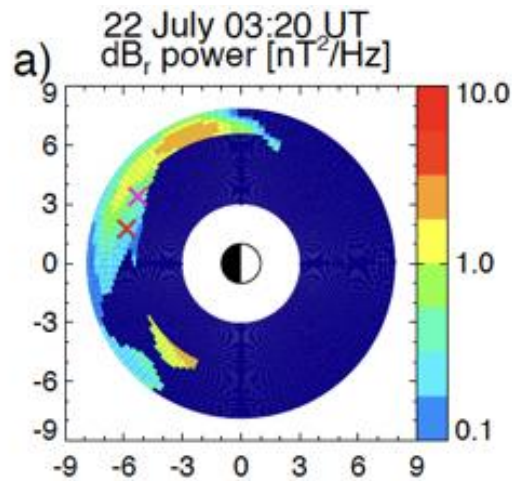


図2：モデルにおける03:20UTでのdBr成分のパワースペクトルの空間分布。二つの×はGOES衛星の位置に対応している。

成果発表

[学会発表]

1. Yamakawa, T., Seki, K., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., & Yamamoto, K., E JpGU Meeting, 幕張, Study of the variation of ring current ions in the inner magnetosphere during magnetic storms on 22 July 2009 based on the GEMSIS magnetosphere-ionosphere coupled model, 2024.05, ポスター
2. Yamakawa, T., Excitation of ULF waves by ring current ions in the inner magnetosphere based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, ISSI-BJ 2024, 北京, 2024.07, 口頭(招待講演)
3. Yamakawa, T., Seki, K., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., & Yamamoto, K., Variation of ring current ions during magnetic storms on 22 July 2009 based on the GEMSIS magnetosphere-ionosphere coupled model, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024年秋季年会, 立川, 2024.11, ポスター
4. Yamakawa, T., Seki, K., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., & Yamamoto, K., Study of the variation of ring current ions in the inner magnetosphere during the magnetic storm on 22 July 2009 based on the GEMSIS magnetosphere-ionosphere coupled model, AGU Fall Meeting, Washington D.C., 2024.12, ポスター
5. Yamakawa, T., Seki, K., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., & Yamamoto, K., Excitation of storm-time Pc5 ULF waves during the magnetic storm on 22 July 2009: Comparison of GOES, ground observations, and GEMSIS couple simulation, ERG Science Meeting, 名古屋, 2025.03, 口頭

6. Yamakawa, T., Seki, K., Miyoshi, Y., Nakamizo, A., & Yamamoto, K., Effects of cold plasma on the excitation of ULF waves in the inner magnetosphere based on the magnetosphere-ionosphere coupled model, ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会, 福岡, 2025.03, 口頭