

磁気圏電離圏結合されたモデルに基づく領域間結合が内部磁気圏ダイナミクスに与える影響の研究

Title in English (Times New Roman 12 point)

研究代表者： 山川 智嗣 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

研究分担者： 三好由純 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

担当：共同研究者

関華奈子 (東京大学先端科学技術研究センター)

担当：共同研究者

研究目的 (Research Objective):

地球磁気圏における最大規模の変動現象である磁気嵐時には、環電流(keV帯の荷電粒子)が発達し、地球の双極子磁場の減少や地球近傍の宇宙空間(内部磁気圏)における大規模な変動を引き起こす。この過程で、環電流は地球の磁場を変化させるだけでなく、ULF波動(mHz帯の磁気流体波動)を励起させることがある。ULF波動は、環電流および内部磁気圏で最もエネルギーの高い領域である放射線帯(MeV帯の電子)のダイナミクスに重要な役割を果たすため、内部磁気圏での変動現象を理解する上で非常に重要な波動である。しかし、磁気嵐時において、磁気圏・電離圏結合がどのようにULF波動の励起に影響を与えているかについては、本質的な理解には至っていない。本研究の目的は、磁気圏電離圏結合を取り入れた内部磁気圏モデルと観測との比較に基づき、磁気嵐時の領域間結合が内部磁気圏ダイナミクスやULF波動の励起に果たす役割を明らかにすることである。

計算手法 (Computational Aspects):

本研究では、これまで我々が用いてきた内部磁気圏における電磁場と粒子の変動を自己無撞着に解くことが可能な環電流モデル(GEMSIS-RC)[Amano et al., 2011]と電離圏において電場ポテンシャルを全球で解くポテンシャルソルバー(GEMSIS-POT)[Nakamizo et al., 2012]を結合した内部磁気圏モデルを用いた。さらに、太陽風条件に応じた沿磁力線電流分布を与えるために、経験モデル(Weimerモデル[Weimer, 2005])を電離圏側で用いた。

本研究では、過去に別の環電流モデル[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、KDKシステムAにおいて、256並列計算で数値計算を行った(計算時間:約6日)。

研究成果 (Accomplishments) :

夜側に粒子が注入された状態を初期条件として仮定し、計算を行った結果、Figure 1のように環電流が形成され、05:00UTまで時間と共に圧力が増加し、その後は環電

流粒子の消失により減少することが示された。このような傾向は、従来の環電流モデル[Fok et al., 2010]でも示唆されているが(Figure 2)、Figure 1 と結果を比較すると、03:20UT では特に明け方側で違いが見られた。これは低エネルギー粒子(< 1 keV)の寄与が示唆される。

磁気嵐中の 03:00-04:00 UT において、GOES 衛星および地上磁力計により ULF 波動が観測された(Figure 3)。またモデルにおいても、03:00 UT 以降に周波数約 1.6 mHz の ULF 波動の励起が確認された(Figure 4)。周波数・方位角方向の波数といった ULF 波動の特性は、観測とよく一致していた。一方で、振幅が観測に比べて2桁程度小さく、モデルの改良の余地があることが示された。さらに、モデルで励起された波動の空間分布や粒子分布を解析した結果、ULF 波動は夕方側から夜側にかけてみられ、50-200keV の環電流イオンとのドリフト共鳴によって励起されたことが示唆された。

以上より、本研究では、磁気嵐時における環電流の時間発展と ULF 波動の自己無撞着な励起をモデルで再現するとともに、観測との比較に基づき、その励起機構および空間分布を明らかにした。以上の結果については、論文にまとめ、国際学術誌に掲載された。

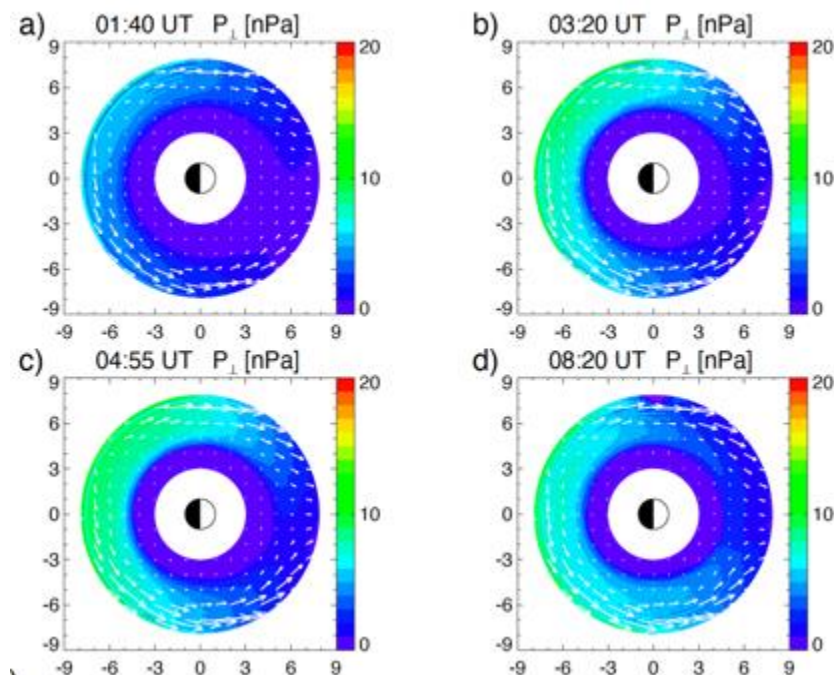


Fig.1 GEMSIS-RC モデルにおける赤道面での垂直方向の圧力分布。右側が太陽側。白い矢印は電場ドリフト速度を表す。

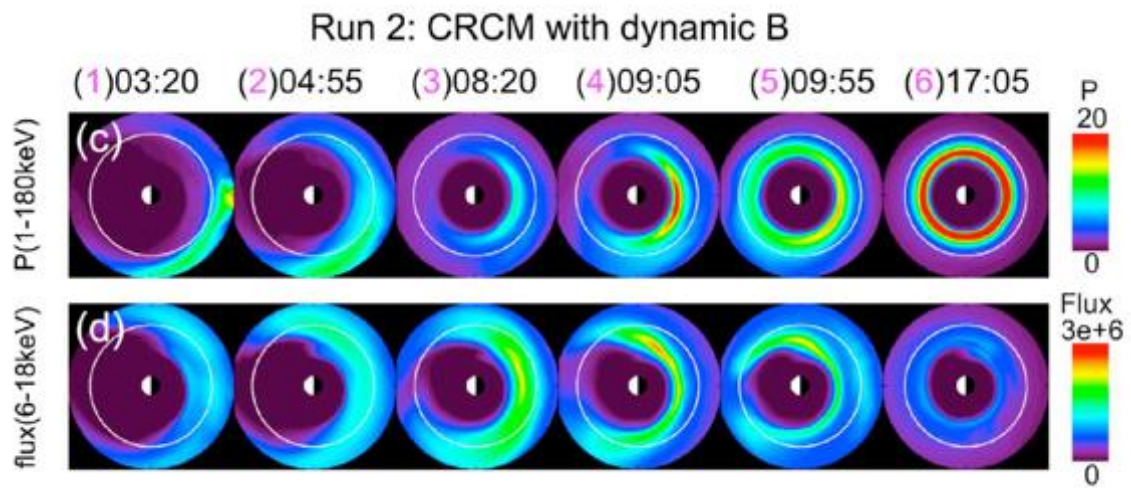


Fig. 2 CRCM モデルにおける赤道面での圧力(上図)と flux(下図)の分布。左側が太陽側 [Fok et al., 2010]。

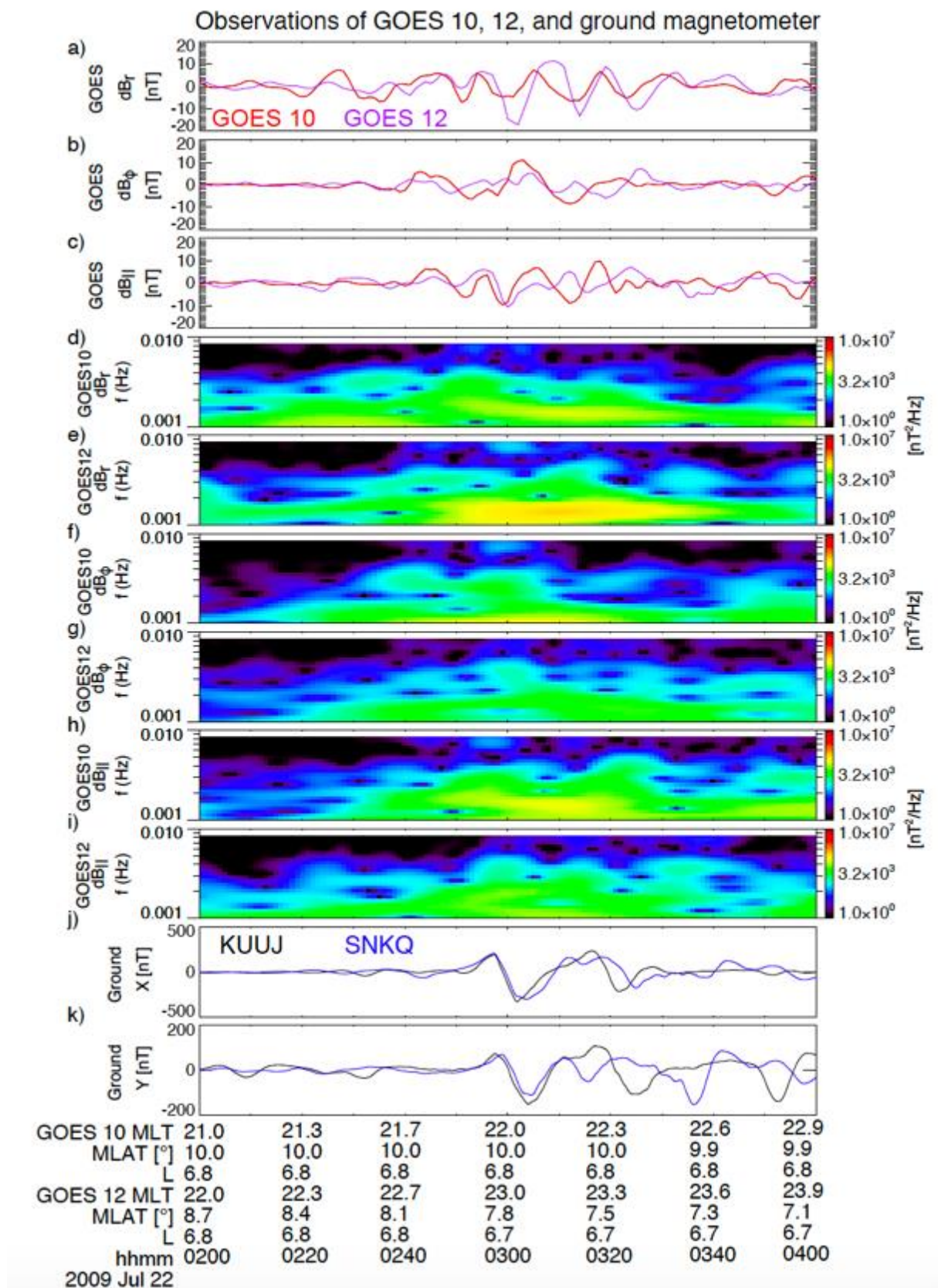


Fig. 3 GOES 衛星と地上磁力計(KUUJ and SNKQ)で観測された磁場変動およびパワースペクトル。GOES10 と GOES12の磁場3成分と地上磁場(X 成分:南北成分、Y 成分:東西成分)

分)を表示している。

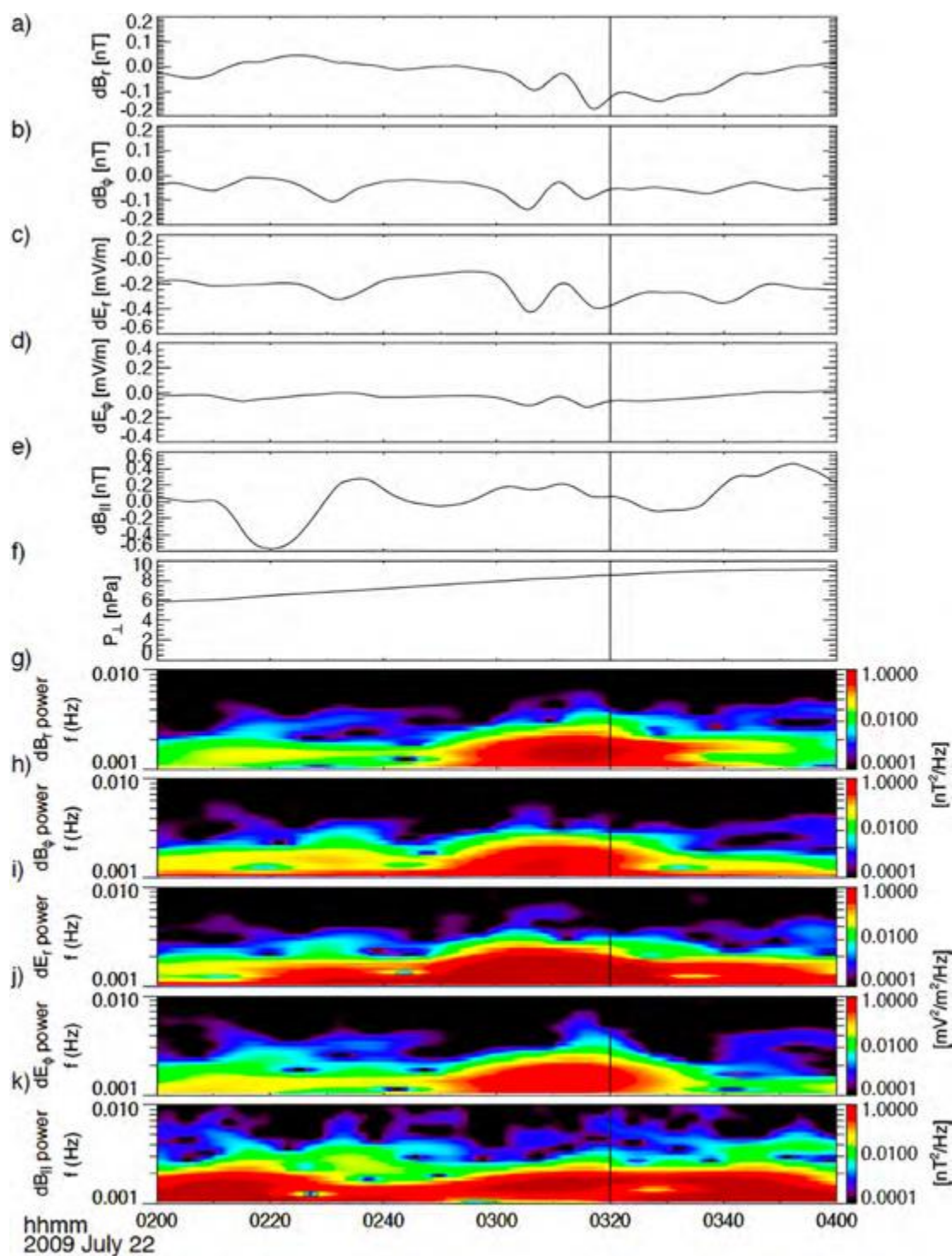


Fig. 4 GEMSIS-RC モデルにおける GOES12 の軌道上での電磁場変動およびパワースペクトル。電磁場各成分とそのパワースペクトル、垂直方向の圧力の時間発展を表示している。

公表状況 (Publications) :

(論文)

1. Yamakawa, T., K. Seki, Y. Miyoshi, K. Yamamoto and A. Nakamizo, Excitation of storm-

time Pc5 ULF waves during the 22 July 2009 storm: Comparison of GOES, ground observations, and GEMSIS coupled simulation, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 130, e2024JA003467, June, 2025, doi:10.1029/2024JA003647

(口頭)

1. Yamakawa, T., K. Seki, Y. Miyoshi, K. Yamamoto and A. Nakamizo, Excitation of storm-time Pc5 ULF waves during the 22 July 2009 storm: Comparison of GOES, ground observations, and GEMSIS coupled simulation, 2025 年度 ISEE 合同研究集会「太陽地球圏環境予測のためのモデル研究の展望」、東京、2026 年 3 月

(ポスター)

2. Yamakawa, T., K. Seki, Y. Miyoshi, A. Nakamizo and K. Yamamoto, Excitation of Pc5 waves in the inner magnetosphere during the magnetic storm on 22 July 2009, GEM workshop, Iowa, June 2025.