

グローバル内部磁気圏モデルに基づく 固有磁場強度が磁気嵐に与える影響の研究

Effects of the intrinsic magnetic field strength on magnetic storms
based on global inner magnetospheric simulations

研究代表者：関 華奈子 （東京大学大学院理学系研究科）

研究分担者：長田 知大 （東京大学大学院理学系研究科）

担当：数値シミュレーションの実行、データ解析

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、環電流が発達し、静穏時には双極子磁場がしっかりしてあまり変動のない内部磁気圏に至るまでダイナミックな変動が引き起こされる。磁気嵐時の環電流の発達、磁気圏の磁場構造を変化させるだけでなく、Pc5 波動などに代表される ULF 波動を励起することで、放射線帯電子の変動にも寄与すると考えられているが、電離圏と磁気圏の間の領域間結合の影響や ULF 波動の空間分布の支配要因には不明な点も多く、定量的な理解を得るには至っていない。また、この数百年にわたり地球の固有磁場が現象傾向にあるが、固有磁場強度が弱まった際に磁気嵐の発達がどのように変化するかについてもよくわかっていない。本研究の目的は、独自のドリフト運動論近似に基づく 5 次元内部磁気圏グローバルモデルを用いた数値シミュレーションに基づき、固有磁場強度が磁気嵐時の内部磁気圏ダイナミクスに与える影響を明らかにすることにある。現在の地球磁気圏で実証的に検証されたモデルを、固有磁場強度が現在の地球の 2/3 と弱い場合について応用する計画である。

計算手法 (Computational Aspects):

本研究で用いる内部磁気圏モデルは、現在の地球における静止軌道よりも内側の内部磁気圏におけるイオン分布関数と電磁場の時間発展を自己無撞着に説くドリフト運動論近似のグローバルシミュレーションをコアモジュールとし、内側境界では電離圏の電場ポテンシャルソルバーと結合するとともに背景低温プラズマの運動を同時に解くモデルとなっている。イオン分布関数は 5 次元位相空間で解くことになるため、空間解像度を上げると必要となる計算リソースが大きく増える。境界条件については、プラズマシート側の外部境界条件については、グローバル MHD シミュレーション結果からプラズマシートのパラメータを抽出して用いた。

研究成果 (Accomplishments) :

現在の地球(Case 1)、弱い固有磁場(現在の地球の 2/3)で固有磁場の変化に対応して

Case	Dipole magnetic moment M	Ionospheric conductivity	Simulation box L [Re]	Temperature [keV]	Density [cc]	Pressure [nPa]	Cross polar cap potential [kV]
1	1	Standard	3.6-7.6	8.4	1.3	1.72	75
2	2/3	$\Sigma_p \propto M^{-1}$ $\Sigma_H \propto M^{-4/3}$	3.1-6.6	8.8	1.4	2.00	57
3	2/3	Standard	3.1-6.6	7.7	1.5	1.88	72

Table 1 シミュレーションの設定

電離圏電気伝導度を高くした惑星(Case 2)、弱い固有磁場だが電離圏電気伝導度を Case 1 と同じにした惑星(Case 3)の数値実験を行った。各 Case の設定とグローバル MHD シミュレーション結果から抽出した外部境界条件(温度・密度・圧力)とクロスポーラーキャップポテンシャルは Table 1 の通りである。

各 Case に対して Dessler-Parker-Sckopke(DPS)関係式から SYM-H 指数を計算し、リングカレントの発達の規模を比較した(Figure 1)。その結果、SYM-H 指数の最終状態での値は Case3 < Case2 < Case1 の順で小さく、減少速度も同様の順であった。Case2, 3 で Case1 よりも早く SYM-H 指数が減少した理由として、弱い双極子磁場では、磁場強度に対して地球中心からの距離が近くなるため、ドリフトによるリングカレントの方位角方向への発達が早くなることが考えられる。

SYM-H 指数の大きさの違いは、対流電場の大きさと固有磁場強度の関係に依存していると考えられる。リングカレントの総エネルギーは概ね対流電場の大きさと夜側外部境界での圧力の積によって決定されており、Case1 ~ Case3 > Case2 という関係になる。DPS 関係式によれば、SYM-H 指数はリングカレントの総エネルギーを双極子磁場のエネルギーで規格化して求められる。Case2 では Case1 より電離圏伝導度が

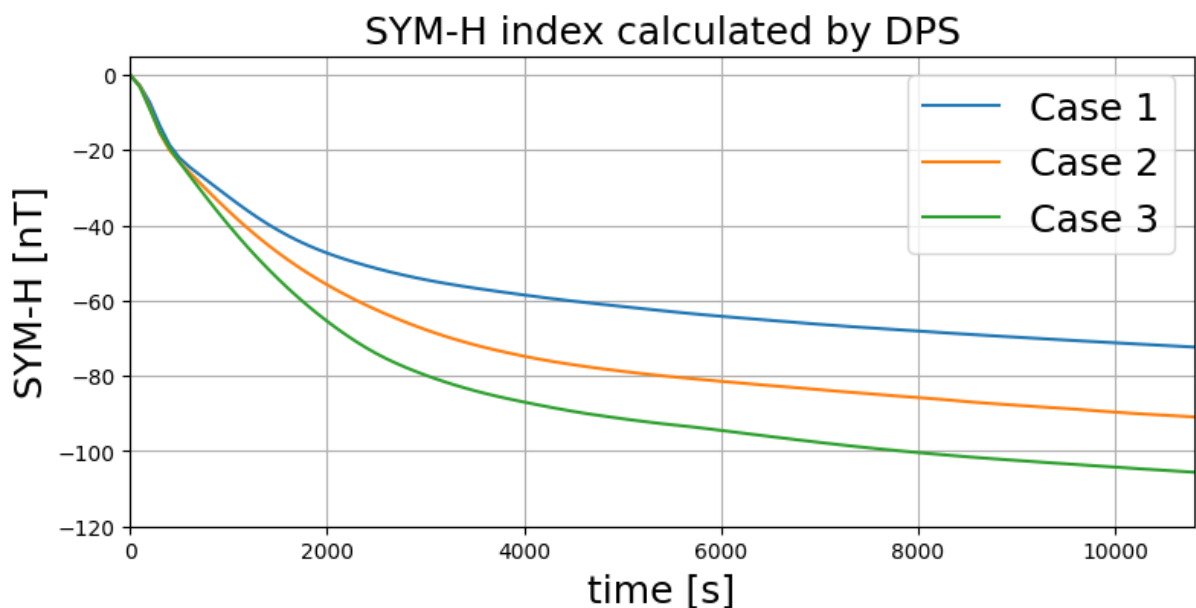


Fig.1 各ケースで算出した SYM-H 指数の時間変化

強く、クロスポーラーキャップポテンシャルが小さくなることで、リングカレントの総エネルギーも小さくなっているが、この変化が、磁場強度の変化(2/3 倍)よりも小さいので、SYM-H 指数はより小さくなるという結果になった。

また、同じモデルを用いた先行研究(Yamakawa et al. (2023))による報告と同様の、リングカレント粒子の波動粒子相互作用による Pc4 から Pc5 帯の ULF 波動の励起を各ケースで確認した。今後、詳細な解析を進めていき、各ケースで励起した波動の類似点と相違点を明らかにしていく予定である。

公表状況 (Publications) :

(論文)

該当なし

(口頭)

1. “Effects of intrinsic magnetic field strength on the magnetic storms based on global inner magnetospheric simulations”, 長田知大, 関華奈子, 山川智嗣, 山本和弘, 中村勇貴, 海老原祐輔, 天野孝伸, 第 20 回 ERG サイエンス会議, 口頭発表, 査読無し 金沢, 2024 年 3 月
2. “Magnetic storms of a weakly magnetized planet based on global inner magnetospheric simulations”, Kazuhiro Osada, Kanako Seki, Tomotsugu Yamakawa, Kazuhiro Yamamoto, Kunihiro Keika, Yusuke Ebihara, Takanobu Amano, Yoshizumi Miyoshi, SGEPSS 2024, 口頭発表, 査読なし, 立川 2024 年 11 月
3. “Effects of intrinsic magnetic field strength on ULF Wave Excitation related to the plasmopause”, Kazuhiro Osada, Kanako Seki, Tomotsugu Yamakawa, Kazuhiro Yamamoto, Kunihiro Keika, Yusuke Ebihara, Takanobu Amano, Yoshizumi Miyoshi, ジオスペースの低エネルギープラズマ研究集会, 口頭発表, 査読無し 福岡, 2025 年 3 月

(ポスター)

1. “Effects of intrinsic magnetic field strength on the magnetic storms based on global inner magnetospheric simulations”, Kazuhiro Osada, Kanako Seki, Tomotsugu Yamakawa, Kazuhiro Yamamoto, Yuki Nakamura, Yusuke Ebihara, Takanobu Amano, JpGU 2024, ポスター発表, 査読なし, 幕張, 2024 年 5 月