2024年度 07)計算機利用共同研究 目次詳細

6 件

*所属・職名は2025年3月現在

 $\star \operatorname{Affiliation}$ and Department displayed are current as of March 2025.

研究代表者 Principal Investigator	所属機関* Affiliation	所属部局* Department	職名* Job title	研究課題名 Project Title	頁 Page	備考 Remarks
梅田隆行	北海道大学	情報基盤センター	教授	ポスト富岳に向けたプラズマシミュレーション手 法の開発	296	
関戸晴宇	名古屋大学	宇宙地球環境研究所	大学院生	非MHD効果を扱う新たな電磁流体力学による グローバル地球磁気圏シミュレーション	298	
齊藤慎司	国立研究開発法人 情報通信研究機構	電磁波研究所電磁波 伝搬研究センター 宇 宙環境研究室	主任研究員	プラズマ波動による放射線帯電子の散乱に関 するシミュレーション研究	300	
千葉翔太	名古屋大学宇宙地 球環境研究所	統合データサイエンス センター	特任助教	宇宙機による電波掩蔽観測と数値シミュレー ションの比較による、太陽コロナとコロナ質量放 出中の磁場擾乱の研究	302	
戸頃響吾	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	博士前期課程1年	スードストリーマに関する1次元太陽風シミュ レーション	304	
鈴木亮	東京大学	大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻	博士前期課程1年	太陽近傍におけるCMEの伝播シミュレーション	306	

(別紙様式07-2)

ポスト富岳に向けたプラズマシミュレーション手法の開発 Numerical schemes for plasma simulations on post-Fugaku supercomputer systems

梅田隆行、北海道大学・情報基盤センター

研究目的

スーパーコンピュータ「富岳」は、「京」コンピュータに対して、ノードあた りの性能が約26倍、全体性能が約54倍となった。一方で、ノードあたりのメモ リ容量は2倍、全体のメモリ容量は3.7倍に止まっている。この事実は、「富岳」 を用いても「京」で行われていた大規模シミュレーションとほとんど変わらな い計算サイズのシミュレーションしか行えないこと、またこれから5年以上(「富 岳」の運用停止まで)はメモリサイズで5ペタバイト以下のシミュレーションが世 界最大サイズとなることを意味している。従って、これまでの「大規模シミュ レーション」からパラダイムシフトし、メモリ消費を抑えた新たな計算機シミ ュレーションについて考える必要がある。そこで本研究では、宇宙プラズマに 関する電磁流体、電磁粒子(PIC)、電磁Vlasovおよび、これらのハイブリッドシ ミュレーション手法に関して、計算時間の短縮と計算精度の向上を両立させる 新たな研究開発を行う。

研究方法

電磁界シミュレーションの標準的な数値スキームであるFDTD法について空間 差分の高次精度化を行う。従来の計算機シミュレーションでは格子点数を増や すことによって空間解像度を上げていたが、空間差分の誤差を減らすことによ って格子点数が少ない構造や波動でもより精度よく解けるように改良を行う。

また、粒子および電磁場の時間積分を高精度化し、時間刻みdtを大きくできるようにする。これにより計算時間を短縮するとともに、より長時間のシミュレーションを目指す。

研究結果

前年度までに新たに開発した相対論的運動方程式の数値スキーム(Umeda & Ozaki EPS 2024)をPICコードに実装した。新たに開発した数値スキームは相対論的E×Bドリフトの理論解に基づいており、ドリフト速度が光速を超える・同じ・超えないの3通りで計算手順が異なるアルゴリズムとなっていた。本研究では、ハイパフォーマンスコンピューティング(HPC)分野のプログラム最適化に用いられているマルチストリーム法に基づき、3通り全てを計算したのちにフラグにより1つを選択することにより、IF文を用いた条件分岐よりも高速化できることを示した。

さらに、相対論的ドリフト速度を持つマックスウェル分布に対して乱数生成を 行う手法について検討を行った。

成果発表

学会発表

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, 陽的時間領域有限差分法のクーラン条件の緩和および数値誤差の低 減, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポスター.

葛 心雨,梅田 隆行,関戸 晴宇,三好 由純,有限差分時間領域法 (FDTD) シミュレーションの改良:電流源を含む高次精度手法における数値誤差の改良,日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30,幕張メッセ,ポスター.

尾崎 理玖,梅田 隆行,三好 由純,オーロラ加速領域における電気2重層の計算機シミュレーションの ための高精度手法の研究,日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30,幕張メッセ,ポ スター.

梅田 隆行, 尾崎 理玖, 溝口 英一郎, A new fourth-order leap-frog integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 日本地球惑星科学連合 2024 年大会 (JpGU2024), 2024/05/30, 幕張メッセ, ポ スター.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/05, Garching, Poster.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 15th International School/Symposium for Space Simulation (ISSS-15), 2024/08/06, Garching, Oral.

H. Sekido, T. Umeda, Y. Miyoshi, Relaxation of the courant condition and reduction of numerical errors in the explicit finite-difference time-domain method for plasma kinetic simulations, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

T. Umeda, R. Ozaki, E. Mizoguchi, New integrator for relativistic equations of motion for charged particles, 21st International Congress on Plasma Physics (ICPP2024), 2024/09/10, Ghent, Oral.

関戸 晴宇, 梅田 隆行, 三好 由純, ラプラシアン演算子を用いた陽的時間領域有限差分法のクーラン条 件の緩和および数値誤差の低減, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26, 国立極地研 究所, 口頭.

葛 心雨, 梅田 隆行, 関戸 晴宇, 三好 由純, 電流源を含む高次有限時間差分領域法における数値誤差 の改良, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

尾崎 理玖,梅田 隆行,三好 由純,オーロラ加速領域における電気二重層の計算機シミュレーションの ための高精度手法の研究,地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/26,国立極地研究所, 口頭.

梅田 隆行, Performance evaluation of relativistic particle integrator with conditional branching statements inside a loop for PIC simulations, 地球電磁気・地球惑星圏学会 2024 年秋季年会, 2024/11/25, 国立極地研究所, ポスター.

非MHD効果を扱う新たな電磁流体力学によるグローバル地球磁気圏シミュレーション Global simulation of Earth's magnetosphere with new electromagnetic-fluid-dynamics including non-MHD effects

関戸晴宇、名古屋大学宇宙地球環境研究所

研究目的

地球磁気圏全体の時間発展を第一原理運動論方程式によって解くことができれば、磁気圏内で観測され る物理過程をより精密にシミュレートすることができる。しかし、105 km スケールという広い計算領 域を運動論で解くには膨大なメモリが必要になるため、現代の計算機の能力では計算することができず、 20 年後においても実現の見込みは薄いと考えられる。そのため、計算負荷を抑えられる流体シミュレー ションが有効であると考えられる。しかし、MHD 単一流体近似では慣性効果やジャイロ粘性効果が切 り落とされており、空間解像度を高くしても慣性効果やジャイロ粘性効果等の詳細な物理過程を再現で きない。これにより、磁気圏では 100 km オーダーが MHD 近似の空間解像度の限界であるが、既存の 磁気圏 MHD シミュレーションではほぼ限界に達している (Sorathia et al. 2020)。流体シミュレーショ ンをより運動論シミュレーションに近づけるためには、高次モーメント量(Umeda 2020) とともに、 Ohm の法則における慣性項が必要である。このうち、高次モーメント量の導入は、世界的にもほとん ど研究が行われていない。そこで本研究では、電磁流体力学シミュレーションに関して、以下の2つを 目的とした。

1. 磁気流体力学シミュレーション手法に対し、4 次までの高次モーメント量を導入する。磁気流体力学 方程式系の保存則およびモーメント量の時間発展を解く方程式は、Vlasov 方程式のモーメントをとるこ とで導出される。高次モーメント量の導入により磁気流体力学にジャイロ粘性効果を反映させることが できる。また、開発した手法について、MHD シミュレーション手法として現在広く用いられている HLLD法 (Miyoshi & Kusano 2005) との比較を行う。

2. 新手法の開発の後、Kelvin-Helmholtz 不安定性、Rayleigh-Taylor 不安定性および磁気リコネクションの発達について、運動論シミュレーションとの比較を行うとともに、地球磁気圏の数値シミュレーションを行う。ジャイロ粘性効果および慣性効果の導入により空間解像度の制限を取り払うことができるため、従来のグローバル磁気圏 MHD シミュレーションよりも高解像度で計算を行う。

本研究の完成により、磁気圏における物理現象をより正確かつ詳細に再現することが可能となる。これ により、地球周辺の宇宙物理の解明や宇宙天気予報の精度向上に資することが見込まれ、将来の宇宙開 発への貢献が予想される。

研究結果

1 次元 MHD 方程式について、1 次精度風上法および 2 次精度 FDTD 法を用いて差分化を行った。この 際、1 次精度風上法を適用した部分においては、Roe & Balsara (1996) に基づき 3 個の特性速度を用い て正方向に流れる流束と負方向に流れる流束を分離した。特性速度の導出にあたっては質量保存則、運 動方程式、圧力および磁場の時間発展式を用いて行列を作り、その固有値を求め特性速度として用いた。 差分化した式についてシミュレーションコードへの実装を行った。この際、staggered 格子系に基づい て磁場をその他の物理量から半格子分ずらして配置した。これは、2 次元以上に拡張した際に磁場発散

引用文献

- 1. T. Umeda, "Evaluating higher moments in the transverse Kelvin–Helmholtz instability by full kinetic simulation", Physics of Plasmas, Vol. 27, 032112, 2020
- K. A. Sorathia et al., "Ballooning-interchange instability in the near-Earth plasma sheet and auroral beads: Global magnetospheric modeling at the limit of the MHD approximation", Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 14, e2020GL088227, 2020
- 3. T. Miyoshi and K. Kusano, "A multi-state HLL approximate Riemann solver for ideal magnetohydrodynamics", Journal of Computational Physics, Vol.208, No. 1, pp. 315–344, 2005
- 4. P. L. Roe and D. S. Balsara, "Notes on the eigensystem of magnetohydrodynamics", SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 56, No. 1, pp. 57–67, 1996

成果発表

出版済みの査読付き論文 3 篇 (Sekido & Umeda, IEEE TAP, 2023; EPS, 2024; PIER M, 2024) に 基づき博士学位論文を執筆した。

以下の国際学会および国内学会で研究発表を行った。

- The 15th International Symposium for Space Simulations and the 16th International Workshop on the Interrelationship between Plasma Experiments in the Laboratory and in Space, Garching near Munich, Germany (Gold Student Poster Award 受賞)
- The 21st International Congress on Plasma Physics, Ghent, Belgium
- Japan Geoscience Union Meeting 2024, 千葉県(学生優秀発表賞受賞)
- 第156回 地球電磁気・地球惑星圏学会 (SGEPSS) 総会・講演会, 立川市

(別紙様式07-2)

プラズマ波動による放射線帯電子の散乱に関するシミュレーション研究 Simulation study for scattering of radiation belt electrons by waves in plasmas

齊藤慎司、国立研究開発法人情報通信研究機構・宇宙環境研究室

【研究目的】

地球磁気圏に捕捉された放射線帯電子フラックスは、CMEやCIRによる磁気嵐 の影響で大きく変動することが知られている。フラックス変動を起こす要因の 1つとして注目されているのが、磁気圏中に励起される波動と放射線帯電子の 間で起こる「波動粒子相互作用」である。特に電子とサイクロトロン共鳴が可能 なwhistler mode波動による非線形過程を含んだ散乱過程が、放射線帯電子のフ ラックス変動に重要な役割を担っていると考えられている。このため、放射線帯 変動を予測するためには非線形作用を含んだ物理過程を再現したモデルが必要 となるが、計算コストが高いことが問題となっている。実観測をもとにリアルタ イムで放射線帯の変動予測を行うためには、高速に結果を返すモデルが必須と なる。

本研究ではwhistler mode波動による非線形過程を含んだ散乱過程を、確率散乱テーブルを構築することで高速に運動量変化を得る手法の開発を進めている。

【研究方法】

GEMSISプロジェクトのもとで開発された1次元テスト粒子モデルであるGEMSIS-RBWを 用いて、1つのコーラス波動のエレメントによる散乱を示すテーブルを構築した。 コーラス波動は背景磁場に対して並行に磁気緯度40度まで伝搬すると仮定して いる。初期パラメータをL、背景密度、波動強度、電子の運動エネルギー、電子 の赤道ピッチ角として、1つのコーラス波動による散乱の結果得られるエネルギ ー・赤道ピッチ角の分布をテーブルとして構築した。構築されたテーブル数は約 98万(L:15グリッド、背景プラズマ密度:8グリッド、コーラス振幅:8グリッ ド、エネルギー:32グリッド、赤道ピッチ角:32グリッド)であり、これらのテ ーブルを参照することで、その都度数値計算で散乱を計算するより高速に個々 の電子の運動量変化を推定することが可能となった。

【研究結果】

図1は以下初期パラメータでひとつのコーラス・エレメントによる散乱を再現した結果となる。



図1:確率散乱テーブルとこれを用いたテスト粒子散乱結果の比較。(左図)初期の電子分布。(中央図)事前に計算された確 率散乱テーブル。(右図)確率散乱テーブルを用いて得られたテスト粒子の散乱結果。

事前に計算されている初期分布(図1:左)に対する確率散乱テーブル(図1:中央)をもとに、テスト 粒子にエネルギーとピッチ角の変化を与える。図1で見られるように、確率散乱テーブルと、確率散乱テ ーブルを用いたテスト粒子の散乱結果がほぼ一致することが確認され、確率散乱テーブルに従うことで テスト粒子の散乱が再現されていることがわかる。

【まとめ】

本研究では確率散乱テーブルを構築することで、非線形を含んだwhistler mode波動による散乱を低 計算コストで再現する手法の開発を進めている。今後、複数のwhistler mode chorusのエレメントによ る散乱結果が、RBW(運動方程式を直接解いて計算するモデル)で計算した結果とどの程度一致するのか を検証するとともに、グローバルな散乱過程である動径方向拡散モデルと組み合わせることで、whistl er mode chorusによる非線形過程を含んだ局所加速プロセスが、放射線帯変動にどのように寄与してい るのかについて研究を進める。

【引用文献】

 Saito, S., Y. Miyoshi, and K. Seki (2012), Relativistic electron microbursts associated with whistler chorus rising tone elements: GEMSIS-RBW simulations, J. Geophys. Res., 117, A10206, doi:10.1029 /2012JA018020.

【成果発表】

- Kurita, S., Miyoshi, Y., Saito, S. et al. Detection of ultrafast electron energization by whistler-mode chorus waves in the magnetosphere of Earth. Sci Rep 15, 992 (2025). ht tps://dod.org/10.1038/s41598-024-80693-8
- 2. 齊藤慎司、栗田怜、三好由純, "リアルタイム運用を視野に入れた低コスト放射線帯物理モデルの 開発",宇宙環境シンポジウム,大阪公立大学,2024年7月29日
- 3. 齊藤慎司、三好由純、栗田怜, "A LOW-COST MODELING FOR RADIATION BELT ELECTRONS WITH NON-LINEAR LOCAL SCATTERING BY LOWER-BAND WHISTLER CHORUS MODE WAVES", 45th COSPAR Scienti fic Assembly 2024, Busan Korea, 2024年7月19日
- 4. 齊藤慎司、三好由純、栗田怜, "Development of a low-cost radiation belt model including p rocesses of nonlinear local electron scattering concurrent with quasilinear radial diff usion", AT-RASC, Gran Canaria Spain, 2024年5月22日

宇宙機による電波掩蔽観測と数値シミュレーションの比較による、太陽コロナとコロナ質量放出中の 磁場擾乱の研究

代表者 千葉翔太、名古屋大学宇宙地球環境研究所

● 研究目的

太陽風やコロナ質量放出(CME)などの太陽から吹き出すプラズマ現象は太陽・惑星間空間・地球・惑星 を包括した太陽圏システム科学における最も重要な要素の一つである。本研究では、電波掩蔽観測に加 え、数値シミュレーションや関連する地上観測、光学観測から得られるデータを統合的に解析し、太陽 風や CME、太陽高エネルギー粒子などの太陽近傍から惑星間空間までの空間発展を明らかにすること を目的とする。

● 研究方法

電波掩蔽観測は、地球から見て宇宙機が太陽の反対側を通るときに宇宙機から送信され、コロナ を通過し地上の受信局で記録される信号を用いるリモートセンシング手法で、加速領域を網羅的 に観測できる。特に、電波掩蔽データのうち両円偏波の位相差から磁場変動に伴う Faraday 回転を 導出し、CME や太陽コロナ中の磁場構造を推定できる。しかし、電波掩蔽観測で得られえる観測 量は視線方向の積分量なので、直接観測の観測データと統合するためには局所的な物理量に変換 する必要がある。そこで、MHD シミュレーションによる4次元データから Faraday 回転の模擬観 測データを生成し、掩蔽データと比較することで、掩蔽データで得られた Faraday 回転から磁場の 変動を見積もる。

本研究では、金星探査機「あかつき」による電波掩蔽観測の観測データのうち Faraday 回転変動 とプラズマ密度変動の時系列データを使用する。また、Shiota et al. (2010),代田真輝(2016)で用い られた 3 次元 MHD シミュレーションコードも利用し解析を行う。このシミュレーションは太陽 表面から 15 Rs までの全球のコロナ領域をグリッド数(512×128×384×2)のインヤン格子で解く 3 次 元 MHD シミュレーションで、定常状態の背景の太陽風を計算した後、CME の発展過程を計算す る。

302

さらに、これらの解析と並行して、惑星間空間の太陽風モデルである Space-weather-forecast-

Unstable System Anchored by Numerical Operations and Observations (SUSANOO; Shiota et al. 2014)のデ ータ公開に向け、SUSANOOの計算結果を STP 分野で広く使われている CDF 形式へ変換する作業 も行う。

● 研究結果とまとめ

研究初年度である 2024 年度では、電波掩蔽観測のデータ解析と上述した MHD シミュレーションの解 析を独立して行った。まず、電波掩蔽データの解析については、「あかつき」の観測によって得られ た 2016 年の掩蔽データから、CME/ジェット由来と考えられる Faraday 回転変動を検出した。同時 に得られたプラズマ密度変動との比較から、磁場の変動に伴う Faraday 回転変動を同定した。さら に、背景のプラズマ密度と磁場を経験モデルから仮定し、磁場擾乱の振幅を推定した。

また、上述した MHD シミュレーションについて、まずはインヤン格子の解像度を落とし、グリッド 数(101×128×384×2)とグリッド数(256×128×384×2)の2 種類のセットアップについて、定常太陽風の計 算を行った。グリッド数(101×128×384×2)のケースについては長時間太陽風を吹かせると計算が破綻し てしまうことを確認した。一方で、グリッド数(256×128×384×2)のセットアップでは長時間太陽風を吹 かせても計算が破綻しないことを確認した。次年度ではグリッド数(256×128×384×2)のセットアップに て、CMEの計算を行い擬似観測データを作成、実際の観測データと比較する予定である。

さらに、SUSANOOのデータ公開に向けての取り組みについては 2006 年 10 月–2014 年 12 月, 2018 年 1 月–2024 年 8 月までの CDF ファイルを生成し、それ以外のデータについても現在作成中である。

参考文献

Shiota, D., Kusano, K., Miyoshi, T., and Shibata, K. (2010), MAGNETOHYDRODYNAMIC MODELING FOR A FORMATION PROCESS OF CORONAL MASS EJECTIONS: INTERACTION BETWEEN AN EJECTING FLUX ROPE AND AN AMBIENT FIELD, ApJ, 718, 1305–1314, doi: 10.1088/0004-637X/718/2/1305

Shiota, D., R. Kataoka, Y. Miyoshi, T. Hara, C. Tao, K. Masunaga, Y. Futaana, and N. Terada (2014), Inner heliosphere MHD modeling system applicable to space weather forecasting for the other planets, Space Weather, 12, 187–204, doi:10.1002/2013SW000989.

代田真輝, (2016), コロナ質量放出の形成過程における磁場構造の変動に関する 3 次元電磁流体力学シ ミュレーション研究, 修士論文 和文課題名 スードストリーマに関する1次元太陽風シミュレーション

英文課題名 One-dimensional simulation on solar wind like pseudostreamer

戶頃響吾、東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻

【作成要領】

研究目的

太陽風は宇宙天気及びその予報における重要なファクターの一つである。予報数値モデルにおける太陽風速度は、計算コスト緩和のために経験則を用いて与える手法が広く用いられている。そのような経験則のなかでも古典的なモデルとして Wang-Sheeleyモデルがある (Wang & Sheeley 1990; Arge & Pizzo 2000)。これは特徴量として、太陽風の磁束管のコロナ底部からsource surfaceへの断面積拡大率 (expansion factor) f_{∞} を用いており、磁束管が単調に拡大する一般的なコロナホール太陽風に対しては有効である。

しかしこのモデルはスードストリーマという太陽風では速度を過大評価することが示唆されている (Riley+ 2015;Tokumaru+ 2024)。スードストリーマは磁束管が非単調に拡大しexpansion factorが極大 を持つことが知られており、これが過大評価の要因の可能性がある。また拡大率ではなく拡大高度が重 要だとする観測的研究もある(Dakeyo+ 2024)。これらを踏まえるとコロナ底部とsource surfaceの中間 領域の磁束管形状が太陽風速度に重要であることが示唆される。本研究の目的は数値シミュレーション によってこれらの影響を定量的に評価することである。

研究方法

コロナ中間領域の磁束管形状が遠方の太陽風速度に与える影響を包括的に評価するために本計算機 等を用いて数値シミュレーションを行った。本シミュレーションモデルは、ある1本の磁束管について エネルギー源として光球面から人工的なAlfven波を入射し、惑星間空間(太陽中心距離r = 70R_{sun})まで1 次元MHDを時間発展させている。その磁束管のfを様々に変えてパラメトリックスタディを行った。

研究結果

第一に、Wang-Sheeleyモデル速度を保ったままコロナ中間領域の磁束管形状を変化させたときの結果を示す。

図1は最終的な拡大の大き さ $f_{\infty} = 10$ を保ったまま拡大 の高度を変化させたときの図 である。左パネルにおいて低 高度で拡大するほど、右パネ ルにおいて速度が低下してい ることが分かる。このときの 速度差は約200 km/s である。 図2は最終的な拡大の大きさ

 $f_{\infty} = 10$ を保ったまま途中で 極大を持つような非単調拡 大させたときの図である。左 パネルにおいて極大が大き いほど、右パネルにおいて速 度が低下していることが分 かる。このときの速度差は約 300 km/s である。





図 2. 非単調拡大による速度変化の様子(形式は図1と同様)

以上の結果から太陽風速度はexpansion factor f の十分遠方の収束値 f_{∞} 以外の要素を含めて評価する必要があることが示唆される。これを踏まえてより良い特徴量を求めた結果が図3である。



図 3. 各特徴量と太陽風速度の相関図(左パネル: Wang-Sheeley モデル 右パネル:新特徴量) プロットのグループはfの変え方に対応する。"exp-height"(橙四角形)が拡大高度を変化さ せ、"non-mono"(緑十字)が非単調拡大をさせたものであり、"mono"(青丸)がそれらをせずただ倍率 の大きさを変化させたものである。

図3左パネルのWang-Sheeleyモデルに比べ、右パネルの特徴量の方が太陽風速度と強い相関を持っていることが分かる。これは新しい特徴量が、前述のコロナ中間領域の磁束管形状を反映できているからだと考えられる。

引用文献

Wang, Y. M., & Sheeley Jr, N. R. (1990). Solar wind speed and coronal flux-tube expansion. Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 355, June 1, 1990, p. 726-732. Researc h supported by the US Navy., 355, 726-732.

Arge, C. N., & Pizzo, V. J. (2000). Improvement in the prediction of solar wind conditions using near – real time solar magnetic field updates. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 105(A5), 10465-10479.

Riley, P., Linker, J. A., & Arge, C. N. (2015). On the role played by magnetic expansion fa ctor in the prediction of solar wind speed. Space weather, 13(3), 154-169.

Tokumaru, M., Fujiki, K. I., & Watanabe, H. (2024). Optimization of solar-wind speed models using interplanetary scintillation observations. Solar Physics, 299(8), 110.

Dakeyo, J. B., Rouillard, A. P., Réville, V., Démoulin, P., Maksimovic, M., Chapiron, A., ... & Louarn, P. (2024). Testing the flux tube expansion factor-Solar wind speed relation with Solar Orbiter data. Astronomy & Astrophysics, 691, A77.

成果発表

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、Pseudostreamerの1次元数値シミュレーションと経験則の構築、日本天 文学会2024年秋季年会、兵庫、2024年9月12日

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、One-dimensional numerical simulation and empirical construction of Pseudostreamer、地球電磁気・地球惑星圏学会 2024年秋季年会(第156回総会)、東京、2024年11月27日

戸頃響吾 庄田宗人 今田晋亮、中間高度の磁束管形状が太陽風速度に与える影響、日本天文学会2025年 春季年会、茨城、2025年3月20日 (別紙様式07-2)

太陽近傍におけるCMEの伝播シミュレーション A simulation of CME propagation near the sun

鈴木 亮、東京大学 大学院理学系研究科地球惑星科学専攻

研究目的 宇宙空間は人類の活動の場の一つになっており、太陽地球環境がどのように変動するか社会 的な関心・需要が高まってきている。一方で、特に太陽フレアに伴う CME の発生機構の解明及びその 予測は全く実現されていないのが現状で ある。本研究の目的は太陽フレアに伴う CME の発生機構を解 明し、未だ達成されていない CME の発生・伝搬予測研究 を行う事である。具体的には、これまで確立 されてきた黒点周辺の磁場のみを用いたフレア予測シミュレーションを超え、フレア予測シミュレーシ ョンを太陽全球の磁場を考慮したグローバルなシミュレーションに発展させることを目標とする。

研究方法 CIDAS の計算機システムを利用し、宇宙地球環境研究所所属の教員に計算アルゴリズムの 中身やその実行方法に関するアドバイスを受けつつ、申請者が CME の伝播に関するシミュレーション を行う。初期条件として、太陽の大局的磁場の強度、またはフラックスロープの位置や磁場強度を変え ながらシミュレーションを行い、伝播の様子がどう変わっていくのかを調べる。CME の形状や初期条 件は Shiota et al.[2010]、太陽風の条件については Manchester et al.[2004]に準じる。

研究結果 現在までに、CMEの伝播シミュレーションの前段階として太陽の周囲15太陽半径までの計 算領域に定常に達するまで太陽風を吹かせるシミュレーションを行い、その計算結果が太陽磁場の値に よって異なるということが確かめられている。



上図はそのプロットを表している。第1行は太陽近傍の速度分布、第2行は太陽近傍の密度分布を示す。 太陽磁場強度それ自体だけではなく、それにより生じる上に示したような速度分布・密度分布の違いも またCMEの伝播に影響を与えると考えられる。

学会発表 鈴木 亮(東京大学)、今田 晋亮(東京大学) 「Influence of the Global Solar Magnetic F ield on CME」 2024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」 2025 年3月3日 名古屋大学宇宙地球環境研究所 研究所共同館 II 3Fホール

出典

Manchester, Ward, B., Gombosi, T. I., Tamas I., Roussev, I., Ilia, R., De Zeeuw, D. L., Sokol ov, I. V., Powell, K. G., Tóth, G., & Opher, M. 2004, Res.: Space Phys, 109, A01102

Shiota, D., Kusano, K., Miyoshi, T., & Shibata, K. 2010, ApJ, 718, 1305