

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26800255

研究課題名(和文)データ同化連結階層太陽コロナシミュレータの開発

研究課題名(英文)Development of data-assimilation solar corona simulator

研究代表者

塩田 大幸(Daikou, Shiota)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：90462192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、100万度を超える太陽コロナプラズマの加熱過程、秒速400kmを超える太陽風の加速過程を明らかにすることである。そのために、観測磁場を用いた太陽圏の理想磁気流体力学シミュレーション(SUSANOO)を開発し、さらに磁気流体乱流の生成・輸送・拡散のモデルを加えた新たなシミュレーションコードの開発を行った。このシミュレーションコードを用いることで、HeliosやUlyssesによって観測された太陽活動極小期における内部太陽圏内の太陽風乱流の強度分布をよく再現することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is the understanding of the mechanisms of coronal heating and solar wind acceleration. For the purpose, we have been developing an ideal MHD simulation of inner heliosphere based on observations of the Sun (that is named SUSANOO) and a new MHD simulation coupled with a transport model of MHD turbulence that includes nonlinear interaction with global MHD structures. We compare the predicted turbulence distribution results from a complete solar minimum model with in situ measurements made by the Helios and Ulysses spacecraft, finding that the synthetic profiles of the turbulence intensities show reasonable agreement with observations.

研究分野：太陽物理学、太陽圏物理学

キーワード：太陽コロナ 太陽風 磁場 乱流 コロナ質量放出 粒子加速

1. 研究開始当初の背景

太陽の光球-彩層-コロナという状態が異なる大気の間を貫く磁場(磁力線)は、エネルギー輸送に何らかの役割を果たしており、その結果生じる現象は大別すると、「太陽コロナの加熱と太陽風の加速」「太陽フレア・コロナ質量放出(CME)」が挙げられる。近年、SOHO、ひので、SDOなどの太陽観測衛星が数多く打ち上げられ、太陽の磁場の複雑な構造が観測されてきたが、その構造とエネルギー輸送の関係はいまだ明らかになっていない。

2. 研究の目的

太陽の磁場構造は、黒点などの太陽内部からの磁場の浮上とその拡散によって、複雑な磁場構造を形成する。その複雑な磁力線を介したエネルギー輸送・散逸の関係を、数値シミュレーションを用いて調べることで、「太陽コロナの加熱と太陽風の加速」メカニズムが満たす条件を調べる。

3. 研究の方法

太陽全面の光球磁場観測データおよびポテンシャル磁場モデルを用いると、3次元の太陽コロナ磁場を計算で得ることができる。太陽コロナ磁場で惑星間空間につながる開いた磁力線とその磁力線を通る太陽風の速度には逆相関があることが経験的に知られている。我々はこれまで、この経験則を用いて25太陽半径の太陽風分布を内部境界条件として与えることで、内部太陽圏の太陽風を再現するMHDシミュレーションSUSANOOを開発してきた(発表論文16)。宇宙天気予報の実現に向けSUSANOOをさらに発展させたモデルの開発を進めた。

SUSANOOは内部太陽圏のグローバルMHDシミュレーションであり、一般的な数値シミュレーションと同様にグリッドスケール以下の現象による影響を捕らえていない。しかし、太陽風中には、ベキ乗のスペクトルを持つMHD乱流が観測されており、これらがコロナ加熱・太陽風加速などに重要な役割を果たしていると考えられているが未だにその詳細はよくわかっていない。そこで本研究では太陽風中のMHD乱流の輸送を記述する理論モデル(Zank et al. 2012)をSUSANOO太陽風モデル(発表論文16)に適用した新しいシミュレーションを開発に着手した。

4. 研究成果

MHD乱流の輸送モデル(Zank et al. 2012)では、非一様な太陽風の影響を受け、MHD乱流が輸送・増幅・減衰を受ける過程を解く。現実的なMHD太陽風の中での乱流輸送を解くことが現実の太陽風乱流を理解するために重要になる。そこで我々は、現実的な太陽風を再現することができる内部太陽圏モデルSUSANOOとMHD乱流の輸送方程式を同時にとく新たな数値シミュレーションを開発した。

極小期を模した3次元太陽風とその中での乱流の定常状態になるまで計算し、HeliosおよびUlyssesの軌道上の太陽風および乱流分布を調べ、HeliosおよびUlyssesが観測した乱流の分布との比較を行なった。その結果、適切な乱流の発生源を仮定することで観測結果を再現することに成功した(発表論文)。このモデルによって、現実的な3次元構造を持つ太陽風の中での乱流分布を求めることが可能になった。このモデルを今後さらに太陽近傍に適用することで、10太陽半径の距離まで太陽に接近する2018年打ち上げ予定のParker Solar Probeの観測から太陽コロナの加熱と太陽風の加速のメカニズムに迫ることが期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](査読有, 計16件)

Adhikari, L.; Zank, G.P.; Hunana, P.; Shiota, D.; Bruno, R.; Telloni, D., 2017, "II. Transport of Nearly Incompressible Magnetohydrodynamic Turbulence from 1 to 75 au", *Astrophys. J.*, 841, id. 85, doi:10.3847/1538-4357/aa6f5d

Bamba, Y.; Inoue, S.; Kusano, K.; Shiota, D., 2017, "Triggering Process of the X1.0 Three-ribbon Flare in the Great Active Region NOAA 12192" *Astrophys. J.*, 838, id. 134, doi:10.3847/1538-4357/aa6682

Shiota, D.; Zank, G.P.; Adhikari, L.; Hunana, P.; Telloni, D.; Bruno, R., 2017, "Turbulent Transport in a Three-dimensional Solar Wind", *Astrophys. J.*, 837, id. 75, doi:10.3847/1538-4357/aa60bc

Zank, G.P.; Adhikari, L.; Hunana, P.; Shiota, D.; Bruno, R.; Telloni, D., 2017, "Theory and Transport of Nearly Incompressible Magnetohydrodynamic Turbulence", *Astrophys. J.*, 835, id. 147, doi:10.3847/1538-4357/835/2/147

C. Tao, et al. (計12名中, 10番目), 2016, "Variation of Jupiter's Aurora Observed by Hisaki/EXCEED: 1. Observed Characteristics of the Auroral Electron Energies Compared with observations performed using HST/STIS", *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 121, 4041-4054.

Shiota, D., Kataoka, R., 2016, "Magnetohydrodynamic simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)", *Space Weather*, 14, 56-75, doi:10.1002/2015SW001308

Miyawaki, S.; Iwai, K.; Shibasaki, K.; Shiota, D.; Nozawa, S., 2016, "Coronal Magnetic Fields Derived from Simultaneous Microwave and EUV Observations and

Comparison with the Potential Field Model", *Astrophys. J.*, 818, id. 8, doi: 10.3847/0004-637X/818/1/8

Masunaga, K. et al. (計 17 名中, 14 番目), 2015, "Periodic variations of oxygen EUV dayglow in the upper atmosphere of Venus: Hisaki/EXCEED observations" *J. Geophys. Res.: Planets*, 120, 2037-2052, doi:10.1002/2015JE004849

Ando, H.; Shiota, D.; et al. (計 9 名中, 2 番目), 2015, "Internal structure of a coronal mass ejection revealed by Akatsuki radio occultation observations", *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 120, 5318-5328, doi:10.1002/2015JA021076

Kataoka, R.; Shiota, D.; Kilpua, E.; Keika, K., 2015, "Pileup accident hypothesis of magnetic storm on 2015 March 17", *Geophys. Res. Lett.*, 42, 5155-5161, doi:10.1002/2015GL064816

Anjali John K.; Suematsu Y.; Kubo M.; Iida, Y.; Shiota, D.; Tsuneta S., 20115, "Photospheric Flow Fields Related to the Evolution of the Sun's Polar Magnetic Patches Observed by Hinode Solar Optical Telescope", *Astrophys. J.*, 799, id. 139, doi:10.1088/0004-637X/799/2/139

Miyamoto, M. et al. (計 12 名中, 7 番目), 2014, "Radial Distribution of Compressive Waves in the Solar Corona Revealed by Akatsuki Radio Occultation Observations", *Astrophys. J.*, 797, id. 51, doi:10.1088/0004-637X/797/1/51

Hara, T et al. (計 7 名中, 7 番目), 2014, "Formation processes of flux ropes downstream from Martian crustal magnetic fields inferred from Grad-Shafranov reconstruction", *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 119, 7947-7962, doi:10.1002/2014JA019943

Kataoka, R. et al. (計 7 名中, 4 番目), 2014, "Radiation dose forecast of WASAVIES during ground level enhancement", *Space Weather*, 12, 380, doi:10.1002/2014SW001053

Imamura, T. et al. (計 14 名中, 4 番目), 2014, "Outflow structure of the quiet Sun corona probed by spacecraft radio scintillations in strong scattering", *Astrophys. J., Let.*, 788, id. 117, doi:10.1002/2014SW001053

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

〔学会発表〕(計 27 件)

1. Shiota, D.; Yashiro, S.; Kusano, K., "Numerical prediction of CME magnetic field", International Symposium PSTEP-2, 2017 年 3 月 23 日、京都大学
2. 塩田大幸、伊集朝哉、林啓志(中国科学院)、藤木謙一、徳丸宗利、草野完也、"太陽風構造とコロナ質量放出の相互作用によるフラックスロープの変形と偏向" 日本天文学会 2017 年春季年会、2017 年 3 月 17 日、愛媛大学
3. 塩田大幸、井上諭、山本哲也、水野雄太、草野完也、増田智、"活動領域非線形フォースフリー磁場(NLFFF)計算システムの開発 3" 日本天文学会 2017 年春季年会、2017 年 3 月 17 日、愛媛大学
4. Shiota, D.; Iju, T.; Hayashi, K.; Fujiki, K.; Tokumaru, M.; Kusano, K., "Deflection and distortion of CME internal magnetic flux rope due to the interaction with a structured solar wind", AGU fall meeting 2016, 2016 年 12 月 13 日、San Francisco, USA
5. Shiota, D.; Iju, T.; Hayashi, K.; Fujiki, K.; Tokumaru, M.; Kusano, K., "Deflection and distortion of CME internal magnetic flux rope due to the interaction with a structured solar wind", 地球電磁気・地球惑星圏学会 第 140 回総会・講演会、2016 年 11 月 22 日、九州大学
6. 塩田大幸、下条圭美、"ひので極域磁場観測を用いた太陽極域自転速度測定", 日本天文学会 2016 年秋季年会、2016 年 9 月 15 日、愛媛大学
7. 塩田大幸、草野完也、山本哲也、増田智、今田晋亮、井上諭、"活動領域非線形フォースフリー磁場(NLFFF)計算システムの開発 2" 日本天文学会 2016 年秋季年会、2016 年 9 月 15 日、愛媛大学
8. Shiota, D.; Inoue, S.; Hayashi, K.; Kusano, K.; Yamamoto, T. T.; Masuda, S.; Imada, S.; "Development of Nonlinear Force-Free Field Extrapolation Analysis Environment on the basis of Hinode/SOT-SP and SDO/HMI", Hinode-10 Science Meeting, 2016 年 9 月 7 日、名古屋大学
9. Shiota, D.; Shimojo, M., "Hinode Observation of Sun's Polar Regions", Hinode-10 Science Meeting, 2016 年 9 月 5 日、名古屋大学
10. Shiota, D.; Zank, G.P.; Adhikari, L.; Hunana, P., "Turbulent transport model in three-dimensional structured solar wind", AOGS 13th Annual meeting, 2016 年 8 月 5 日、北京、中国
11. Shiota, D.; Zank, G.P.; Adhikari, L.; Hunana, P., "Turbulent transport model in three-dimensional structured solar wind", 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5

- 月 25 日、幕張メッセ
12. Shiota, D., Kataoka, R. “MHD simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)”, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会、2016 年 5 月 23 日、幕張メッセ
 13. Shiota, D., Kataoka, R. “MHD simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)”, International GEMSIS and ASINACTR-G2602 Workshop 2016 年 3 月 22 日、名古屋大学
 14. 塩田大幸、草野完也、山本哲也、増田智、今田晋亮、井上諭、”活動領域非線形フォースフリー磁場(NLFFF)計算システムの開発” 日本天文学会 2016 年春季年会、2016 年 3 月 15 日、首都大学東京
 15. Shiota, D.; “MHD Simulation of Interplanetary propagation of Multiple Coronal Mass Ejections with Internal Magnetic Flux rope”, Science for Space Weather, 2016 年 1 月 28 日、Goa, India
 16. Shiota, D., Kataoka, R. “MHD simulation of interplanetary propagation of multiple coronal mass ejections with internal magnetic flux rope (SUSANOO-CME)”, International Symposium PSTEP-1, 2016 年 1 月 13 日、名古屋大学
 17. Shiota, D.; “MHD Simulation of Interplanetary propagation of Multiple Coronal Mass Ejections with Internal Magnetic Flux rope”, ISEST/MiniMax 2015 Workshop, 2015 年 10 月 27 日、Mexico City, Mexico
 18. Shiota, D.; Kataoka, R.; Miyoshi, Y.; Kusano, K., “Numerical Modeling of Solar Wind and Coronal Mass Ejections”, AOGS 12th Annual meeting, 2015 年 8 月 6 日、Singapore
 19. Shiota, D.; “Polarity Reversal of Solar Magnetic Field During Cycle 24”, AOGS 12th Annual meeting, 2015 年 8 月 5 日、Singapore
 20. Shiota, D.; Kataoka, R.; Miyoshi, Y.; Kusano, K.; Yamanouchi, Y., “GEMSIS-Sun: Numerical Modeling of Sun-Earth System on the Basis of Solar Observations (SUSANOO)”, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会、2015 年 5 月 25 日、幕張メッセ
 21. Shiota, D.; Zank, G.P.; Adhikari, L.; Hunana, P., “Turbulent transport model in three-dimensional solar wind”, 14th Annual International Astrophysics Conference, 2015 年 4 月 21 日、Tampa, Florida, USA
 22. 塩田大幸、井上諭、伴場由美、草野完也、山本哲也、”活動領域 NOAA12192 のコロナ磁場構造の時間発展”, 日本天文学会 2015 年春季年会、2015 年 3 月 19 日、大阪大学
 23. 塩田大幸、草野完也、今田晋亮、井上諭、”彩層磁場観測に基づく非線形 force-free 磁場(NLFFF) モデリング：フレア・コロナ質量放出研究の□向性 ”, 日本天文学会 2014 年秋季年会、2014 年 9 月 13 日、山形大学
 24. Shiota, D.; Shimojo, M.; Sako, N.; Anjali John K.; Tsuneta, S. “Magnetic Evolutions at Extremely High Latitude Region during Polarity Reversal Observed with Hinode”, AOGS 11th Annual meeting, 2014 年 8 月 1 日、Royton Sapporo Hotel
 25. Shiota, D.; Kataoka, R.; Miyoshi, Y.; Kusano, K., “GEMSIS-Sun Numerical Model of Sun-Earth System (SUSANOO): Application for Extremely Strong IMF CMEs”, AOGS 2014, 2014 年 7 月 29 日、Royton Sapporo Hotel
 26. Shiota, D.; Shimojo, M.; Sako, N.; Anjali John K.; Tsuneta, S. “Magnetic Evolutions at Extremely High Latitude Region during Polarity Reversal Observed with Hinode”, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 5 月 2 日、パシフィコ横浜
 27. Shiota, D.; Kataoka, R.; Miyoshi, Y.; Kusano, K., “GEMSIS-Sun Numerical Model of Sun-Earth System (SUSANOO): Application for Extremely Strong IMF CMEs”, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会、2014 年 5 月 2 日、パシフィコ横浜
- 〔図書〕(計 1 件)
塩田大幸「太陽周期活動と太陽極域磁場」、天文月報 2016 年 10 月号, 705-710
- 〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)
取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕
ホームページ等
<http://cidas.isee.nagoya-u.ac.jp/susano/index.html>
<https://www.daikoushiota.com/>
6. 研究組織
(1) 研究代表者
塩田 大幸 (SHIOTA, Daikou)
名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教
研究者番号: 90462192