

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：82636

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2023

課題番号：19K23472

研究課題名(和文) 太陽風加速に対する太陽微細磁場構造の役割

研究課題名(英文) Role of the solar fine magnetic field structure for solar wind acceleration

研究代表者

塩田 大幸 (Shiota, Daikou)

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・研究マネージャー

研究者番号：90462192

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：第24太陽活動周期及び第25太陽活動周期(2019年12月-)の上昇期の期間について、太陽全体の磁場分布、コロナ撮像観測、惑星間シンチレーション(IPS)観測との比較から、高速太陽風が流出するコロナホールが拡大縮小する過程、これらが全て連動して変動する様子を明らかにした。ひのひによる太陽極域磁場観測データベースを整備し、2022年より公開を開始した。磁力線に沿った1次元のWave/Turbulence-driven MHD simulationおよび観測との比較により、高速太陽風における波動・乱流による加速重要性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コロナ加熱・太陽風加速問題は未だ決着がつかない太陽物理学の最重要課題であるとともに、さらには太陽以外の多様な天体に共通の天体物理学にとっての重要課題でもある。また太陽風は、宇宙天気じょう乱の主要因として私たちの社会にも影響を及ぼす現象である。そのため、高速太陽風の形成過程の解明その分布の予測モデルの精度向上は宇宙天気予報にとって、非常に重要な課題である。本研究では、その理解を進めるためデータとして重要となる太陽の極域磁場観測データを整備するとともに、コロナ加熱・太陽風加速問題における太陽微細磁場構造の役割についての理解を進めた。

研究成果の概要(英文)：Hinode observation of Sun's polar regions for Cycle 24 and the rising phase of the Solar Cycle 25, compared with coronal images and solar wind observation derived from Interplanetary scintillation, revealed a correlation among changes of the Sun's global magnetic field, coronal hole shapes in the polar regions where fast solar wind emanates, and distribution of magnetic patches in polar regions. The database for the observation of the magnetic field in the solar polar region was prepared by Hinode, and it was opened to the public in 2022. The importance of the acceleration by wave and turbulence in the fast solar wind was indicated by the comparison with the one dimensional Wave/Turbulence-driven MHD simulation and observation along the magnetic field line.

研究分野：太陽物理学

キーワード：太陽風 太陽磁場 シミュレーション

1．研究開始当初の背景

太陽の外層大気「コロナ」は、約 6000 度の太陽表面「光球」に対し 100 万度を超える高温に加熱され、またその一部は「太陽風」として惑星間空間に流れ出している。コロナ・太陽風の発見から半世紀以上を経たが、コロナ加熱・太陽風加速問題は未だ決着がつかない太陽物理学の最重要課題である。さらにこのようなコロナ・大気流出が存在する大気構造は太陽以外の多様な天体に共通するため、同問題は天体物理学にとっても重要課題である。また太陽風は、電磁波と高エネルギー粒子に並ぶ太陽地球間相互作用の要素の一つであり、宇宙天気じょう乱の主要因として私たちの社会にも影響を及ぼす現象である。そのため、高速太陽風の形成過程の解明その分布の予測モデルの精度向上は宇宙天気予報にとって、非常に重要な課題である。

2．研究の目的

高速の太陽風は、コロナの密度の低い暗い領域「コロナホール」から流れ出していると考えられている。約 11 年周期の太陽活動により、太陽の大局的な磁場構造は形を変え、それに応じてコロナホール、太陽風の流出領域も変化していく。太陽活動の極小期には太陽極域に巨大なコロナホールが形成され、安定した高速太陽風が流れ出す。このような高速太陽風の形成と磁場構造の関係を解明することが本研究の目的である。極小期の極域コロナホールの磁場については、全球規模では一様に近い惑星間空間に繋がる開いた磁場があるように見える一方で、約 3 万 km 以下の対流運動と関連する空間的スケールでは非一様性が現れ始める。特に日本の太陽観測衛星「ひので」の高解像度観測によって、光球面上の超微細磁場局在構造 (< 100km、磁気パッチ構造) が発見され、コロナ加熱・太陽風加速に寄与している可能性が指摘されている。このパッチ構造が光球での対流運動の影響によって短い時間スケールで移流・形成・分解を繰り返すという時間変化をし、エネルギーを上空にインプットしていると考えられているが、その具体的な過程は未解決問題として残されている。

3．研究の方法

太陽観測衛星ひのでは、2006 年の打ち上げ以降 2007 年より太陽極域磁場の観測を定期的に行っている。第 24 太陽活動周期(2008 年 12 月-2019 年 12 月)の 1 太陽活動周期をカバーする長期にわたってモニター観測を実施してきた。さらには、2012 年からは、太陽の自転軸の傾きにより、南北両極域が観測できる 3 月及び 9 月に、3 日ごとに定期的に太陽極域を継続観測し、自転によりすべての経度方向からの観測を実施することで、太陽極域の全体像の観測をしている。本研究では、第 25 太陽活動周期(2019 年 12 月-)の極小期から極大期に至るまでの活動上昇期のひので可視光望遠鏡偏光分光観測装置による太陽極域全体の磁場観測結果を解析し、太陽極域の微細磁場構造の分布の変動を解析した。

さらにひのでによる高精度の極域磁場観測データの解析に加えて、3 次元磁場モデル、MHD simulation 及び、名古屋大学宇宙地球環境研究所惑星間シンチレーション (IPS) 観測による太陽風速度分布のデータを組み合わせた比較を行った。

4．研究成果

本研究では、第 24 太陽活動周期及び、第 25 太陽活動周期(2019 年 12 月-)の極小期から極大期に至るまでの活動上昇期の期間について、ひのでによる太陽極域全体観測結果を解析した。太陽活動極小期に極域磁場強度が最大になり、活動度の極大になる時期に極性が反転、さらにその後の極小期に極磁場強度が最大化する過程をとらえ、太陽極域の微細磁場構造の分布の変動と

磁場局在構造(磁気パッチ)が形成されていく過程をとらえた。低緯度の磁場分布、コロナ撮像観測、IPS 観測との比較から、全球の磁場構造、特に開いた磁力線の足元に対応するコロナホールが拡大縮小する過程も捉え、これらが全て連動して変動する様子を明らかにした。磁気パッチの分布の変動も合わせて解析し、コロナホール・高速太陽風が存在する期間には、主要な極性の比較的大きな ($10^{18} \sim 10^{20} \text{Mx}$ 前後)磁気パッチが存在することが分かった。

また、ひのでによる太陽極域磁場観測解析結果を、名古屋大学宇宙地球環境研究所においてデータベースとして整備し、

2022 年より公開を開始した。(https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/sot_polar_field/)

ひのでを含む太陽極域磁場観測と 3 次元のポテンシャル磁場モデル、MHD simulation および IPS 観測との比較により、高速太陽風領域と磁場構造の関係性を調べた。観測に基づく 3 次元のポテンシャル磁場モデルから計算した磁力線情報と磁力線に沿った 1 次元の Wave/Turbulence-driven (WTD) MHD simulation を組み合わせて実行し、IPS 観測から求められた太陽風速度と比較することで、太陽風モデルの検証を進めた。その結果高緯度では、従来モデルで推定される速度と比較して、simulation から推定される速度が IPS 観測とよく一致した。この結果から、高緯度領域の太陽風は波動・乱流による加速で駆動されている可能性を示唆しており、このような磁場モデルと組み合わせた物理に基づく太陽風速度予測が将来的に実現し得ることを示している。

Database for Hinode SOT Polar Magnetic Field

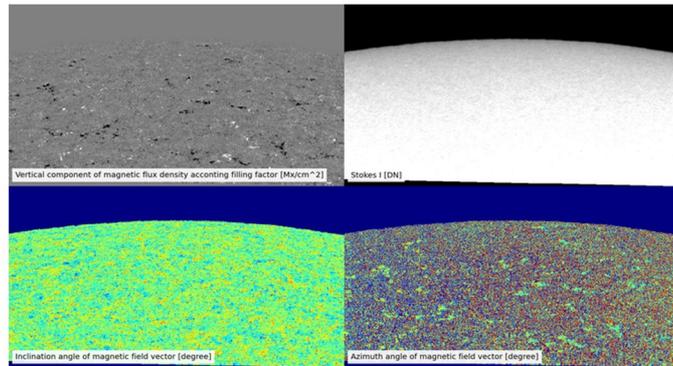


図 1 : ひのでにより観測された太陽極域観測データベース (左上:視線方向磁場、右上:白色光、下段:磁場ベクトルの角度)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shoda Munehito, Iwai Kazumasa, Shiota Daikou	4. 巻 928
2. 論文標題 Testing the Alfvén-wave Model of the Solar Wind with Interplanetary Scintillation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 130 ~ 130
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/ac581e	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 M. Kubo, D. Shiota, Y. Katsukawa, M. Shimojo, D. Orozco Suarez, N. Nitta, M. DeRosa, R. Centeno
2. 発表標題 Comparison of polar magnetic fields derived from MILOS and MERLIN inversion for Hinode/SOT-SP data
3. 学会等名 The joint Hinode-15 / IRIS-12 meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 M. Kubo, D. Shiota, Y. Katsukawa, M. Shimojo, D. Orozco Suarez, N. Nitta, M. DeRosa, R. Centeno
2. 発表標題 Comparison of polar magnetic fields derived from MILOS & MERLIN inversion for Hinode/SOT-SP data
3. 学会等名 Solar Polarization Workshop 10 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 久保雅仁、塩田大幸、勝川行雄、下条圭美、D. Orozco Suarez, N. Nitta, M. DeRosa, R. Centeno
2. 発表標題 MILOSとMERLINインバージョンで導出された太陽極域磁場の比較
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shiota, D.; Shimojo M.
2. 発表標題 Yearly variation of the Sun ' s polar regions during Solar Cycle 24 observed with Hinode
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shiota, D.; Shimojo M.
2. 発表標題 Hinode Observation of Sun ' s Polar Regions over a solar cycle
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塩田大幸; 下条圭美
2. 発表標題 ひのでで観測されたサイクル24 中の太陽極域磁場の変動
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shiota, D.; Shimojo M.
2. 発表標題 Yearly variation of the Sun ' s polar regions during Solar Cycle 24 observed with Hinode
3. 学会等名 JpGU Meeting 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daikou Shiota, Masumi Shimojo
2. 発表標題 Hinode Observation of Sun ' s Polar Regions over a solar cycle
3. 学会等名 Hinode-13/ IPELS 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daikou Shiota, Masumi Shimojo
2. 発表標題 Hinode Observation of Sun ' s Polar Regions over a solar cycle
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Kubo, D. Shiota, Y. Katsukawa, H. Iijima, S. Masuda, A. Fujimori
2. 発表標題 AbstractInfluence of magnetic filling factor estimation on the polar magnetic fields as observed with Hinode/SOT-SP
3. 学会等名 Hinode-16/ IRIS-13 mmeeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩田大幸、久保雅仁、勝川行雄、下条圭美、飯島陽久、松本琢磨、増田智
2. 発表標題 ひのでで観測されたサイクル24-25の 太陽極域磁場の変動
3. 学会等名 日本天文学会 2024年春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 D. Shiota, M. Kubo, Y. Katsukawa, M. Shimojo, H. Iijima, T. Matsumoto, S. Masuda
2. 発表標題 Hinode observation of long-term variation of magnetic fields in the Sun's polar regions during Cycle 24-25
3. 学会等名 Hinode-17/IRIS-15/SPHERE meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Database for Hinode SOT Polar Magnetic Field https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/sot_polar_field/ doi: 10.34515/DATA.HSC-00001</p>
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------