

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14756

研究課題名（和文）太陽ダイナモの平均場モデルにおける乱流輸送係数の直接評価

研究課題名（英文）Direct estimation of turbulent transport coefficients in solar mean-field dynamo models

研究代表者

飯島 陽久 (Iijima, Haruhisa)

名古屋大学・宇宙地球環境研究所・特任助教

研究者番号：90783952

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）：太陽ダイナモ過程の解明を目指し、熱対流に伴う乱流を模擬した平均場モデルに関する多くの研究が行われてきた。しかし、平均場モデルにおける自由パラメータである乱流輸送パラメータは、ほぼ全ての研究で、モデルと観測の整合性を保つように調整されている。本研究では、太陽表面構造の正確な近似が可能な輻射磁気流体計算に基づき、太陽表面の平均場モデルにおける乱流輸送パラメータの直接評価を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽ダイナモ問題は太陽における最古の未解決問題の一つである。黒点は強大な磁場を持ち、フレアに代表される太陽爆発現象、ひいては各種宇宙天気擾乱のエネルギー源となっている。この黒点を生み出す太陽ダイナモ機構の解明が、太陽物理学上の長年の課題である。本研究では、太陽表面の正確な近似が可能な3次元輻射磁気流体モデルを利用することで、これまで経験的に扱われてきた太陽表層のプラズマ乱流を定量的に扱う枠組みを確立することが出来た。これにより、今後の太陽ダイナモ研究の定量性と物理的理解を高めるための基盤と、より観測的な制約が少ない恒星ダイナモモデルの構築へ向けた足がかりを作ることが出来たと考えている。

研究成果の概要（英文）：Many studies have been conducted on the mean-field model that simulates plasma turbulence associated with thermal convection to elucidate the solar dynamo. However, the turbulent transport parameters, the free parameters in the mean-field model, have been adjusted in almost all studies to maintain consistency between the model and observations. In this study, we aim to directly evaluate the turbulent transport parameters in the mean-field model of the solar surface based on radiative magnetohydrodynamic simulations that allow an accurate approximation of the solar surface magneto-convection.

研究分野：天文学

キーワード：乱流 太陽 磁場 光球 ダイナモ

### 1. 研究開始当初の背景

太陽ダイナモ問題は太陽における最古の未解決問題の一つである。太陽で最も特徴的な構造の一つである黒点は、16世紀からその存在が報告されている。黒点は非常に強い磁場を持ち、フレア・コロナ質量放出などの爆発現象のエネルギー源となっており、その生成過程は宇宙天気決定メカニズムを理解する上でも重要である。黒点の数は約11年周期で変動し、その出現位置は極から徐々に赤道へ移動していく(図1)。この黒点出現パターンを説明する太陽ダイナモ機構の解明が、太陽物理学上の課題となっている。

太陽対流層はレイノルズ数が非常に大きく、乱流をモデル化した平均場近似を用いて、太陽ダイナモを理解しようと試みられてきた。数々の平均場ダイナモモデルの中でも、ここ20年で最も広く研究されているモデルの一つが Babcock-Leighton の磁束輸送ダイナモモデルである。このモデルでは、古典的な Parker のダイナモ波モデルで説明できなかった黒点出現位置の赤道への移動を説明することが出来るという利点があり、広く受け入れられてきた。Babcock-Leighton モデルではその多く特性が対流層と放射層の境界付近の磁束生成・輸送により決定されている。

しかし、近年の研究の進展により、観測・理論の両面から、Babcock-Leighton モデルを支持しない結果が多く報告されるようになってきている。例えば、Babcock-Leighton モデルの信頼性の重要な根拠の1つである黒点出現位置の赤道向きの移動パターンが、対流層上部で起こるダイナモ波モデルでも説明出来ることが近年の研究から明らかになってきた。Babcock-Leighton モデルで不可欠な放射層を持たない恒星でも、太陽型星と似た磁気活動を持つ可能性も報告されており、恒星観測からも太陽ダイナモモデルのより定量的な再考が要請されている。

この近年の混乱の要因として、Babcock-Leighton モデルに代表される平均場ダイナモモデルが持つ自由パラメータの次元が挙げられる。乱流による磁場輸送を表現するために、平均場モデルは大量の自由パラメータを持つ。これらのパラメータは11年周期が説明出来るように人為的に調整され、観測的に測定可能なごく一部のパラメータしか検証されていなかった。これを解決するには、平均場モデルに関わる各種の乱流輸送パラメータの定量化し、平均場ダイナモモデル研究を基礎から見直すことが必要である。

### 2. 研究の目的

対流層から光球までを一貫して取り扱うことが可能な輻射磁気流体モデルを用いて、太陽対流層における平均場ダイナモモデルにおける乱流輸送パラメータの信頼性の高い推定を行い、太陽ダイナモ機構を説明出来る適切なモデルを構築することが、本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

太陽表面对流の3次元輻射磁気流体モデルは1980年代から1990年代にかけて確立された。局所熱力学平衡という近似のもとで、現実的な状態方程式と輻射輸送を考慮した圧縮性流体方程式を適切な境界条件の下で解くことで、太陽光球面の様々な観測的制約を高精度で満たすことが示されている、非常に信頼性の高いモデルである。研究開始時点で申請者も既に同種のモデルを開発しており[1]、本研究ではこのモデルを用いることで太陽内部、特に太陽表面に近い部分における、乱流輸送パラメータの定量的な評価を目指した。

なお、計算領域や格子幅などをのぞき、熱対流に関する自由パラメータが存在しないのもこの輻射磁気流体モデルの利点である。この利点は同様の手法を太陽以外の恒星へ適用する時に強いアドバンテージになることを補足しておく。

### 4. 研究成果

#### (1) 太陽表面における磁場輸送過程の平均場モデルの構築

当初計画では乱流輸送パラメータの直接評価を先に行い、その結果に基づいて平均場モデルを開発し観測と比較するという計画であった。しかし、平均場モデルの開発がスムーズに進んだため、研究計画前半で平均場モデルと観測データとの比較研究を行うことにした[2]。まず、多次元の自由パラメータ空間を網羅的に探索し、観測と最も良く整合する自由パラメータを決定した。そのうえで、これまでのモデルで無視されていた黒点の空間対称性が太陽極磁場の形成、ひいては次の(11年後の)太陽活動周期へ影響することを明らかにした。

#### (2) 3次元輻射磁気流体モデルのアップデート

乱流輸送パラメータの直接評価には輻射磁気流体モデルを使う予定であったが、いくらかの

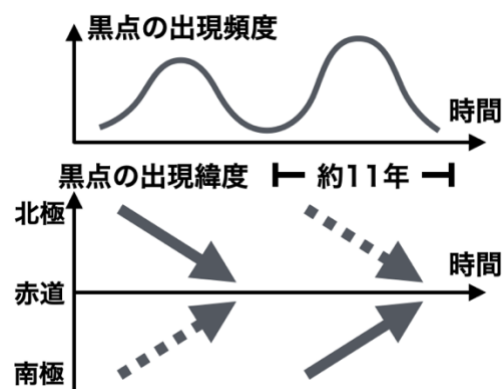


図1. 黒点の出現頻度と出現緯度。黒点の出現位置は極から赤道に変化していく。

試行錯誤が必要であった。まず、黒点に代表される強磁場領域での数値不安定に悩まされた。これはプラズマと磁場のエネルギー交換を離散的に表現出来るエネルギー整合差分法[3]を開発することで解決した。黒点周辺の計算で発生していた従来型の数値スキームでの数値不安定は磁気エネルギーとプラズマのエネルギーの間のエネルギー交換が、シミュレーションの誤差(離散化誤差)のために物理的に正しくない状態となり、ガス圧が負になることで計算の破綻をもたらすというものであった。本スキームではこれを離散化の工夫により解消することで、磁気エネルギーがプラズマのエネルギーの1000万倍という極限状況下でも安定な計算が可能になった。このスキームを申請者の輻射磁気流体モデルへ実装し、大規模並列計算機に向けたコードへの改修(具体的には OpenMP によるノード内スレッド並列化とデータ・ループ構造の調整によるベクトル化促進)を行った。

### (3) 乱流輸送パラメータの直接評価

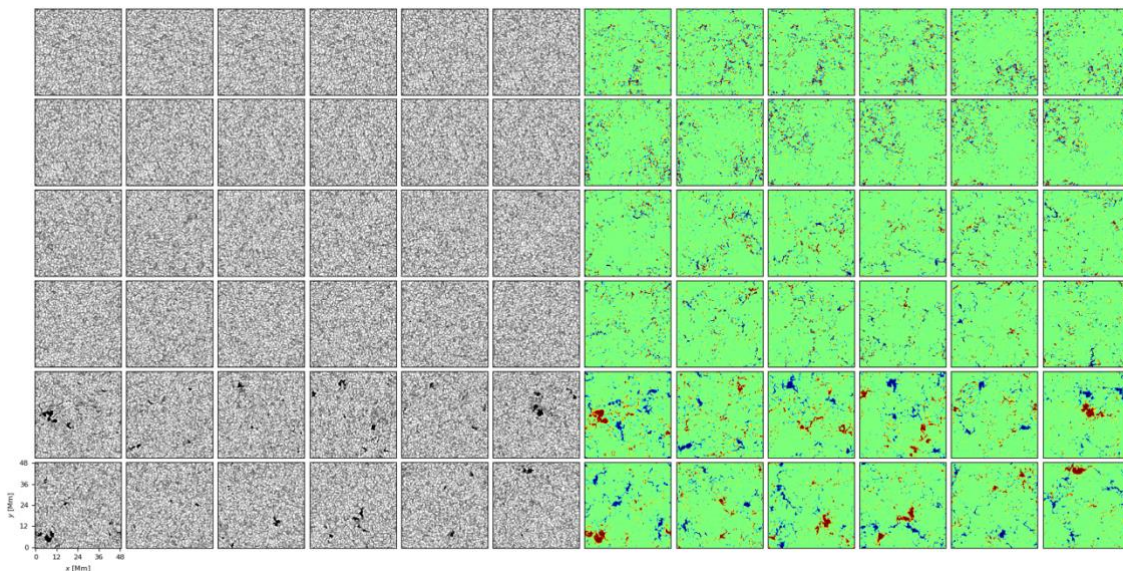


図 2. 乱流輸送パラメータの推定に利用した 3 次元輻射磁気流体シミュレーション。熱対流のリアライゼーション、磁場強度、磁場の向きを変化させ、合計 36 ケースを計算した。左側は光球面の明るさ、右側は光球面の鉛直磁場強度。左側の下 2 段に見られる暗い場所は黒点(ポア)である。

実際に乱流輸送パラメータの評価対象とした輻射磁気流体シミュレーションを図 2 に示す。熱対流はランダムな過程であるため、そのランダム性に由来するバイアスを除くため、初期乱数を変更して 3 パターンの計算を行った。そのそれぞれで、磁場からのフィードバックがない場合、フィードバックがあるが磁場強度がそれほど強くない場合、黒点が生まれるほど磁場強度が強い場合の 3 パターンの水平磁場を下部境界条件として設定した。さらにそれぞれに対して水平磁場の向きを同一面上で回転させた 4 パターンを計算したため、合計 36 ケースを要した。このデータを解析することで、熱対流のランダム性に伴う見かけ上のバイアスを減らしつつ、各乱流輸送パラメータの磁場強度に対する依存性を調査することが出来る。

乱流輸送パラメータを評価する段階になって問題になったのが、太陽表層の物理的特性である。先行する多くのダイナモモデルは非圧縮、弱非線形、ローレンツ力の無視を仮定していたが、太陽表層は超高レイノルズ数、強圧縮、強非線形な扱いづらい乱流場である。研究が進むにつれ、そもそもこれらの物理過程を十分精密に記述する既存モデルが存在しないことに気づいた。例えば既存の多くのモデルにおける乱流輸送パラメータは、基本的に低レイノルズ数における近似形と同じ形式を仮定していた。超高レイノルズ数で非線形性が強い太陽熱対流には本来そぐわないものである。高レイノルズ数乱流に対するモデルもちろんあるのだが、非圧縮や等方性、乱流パラメータと平均場の関係が時空間について局所的であるなどの仮定をおいていた。これら各種近似の人為的な選択は、将来的な恒星ダイナモへの応用を考える上で避けたい部分である。そこで本研究では、乱流による高次相関量の発展方程式を厳密な形式で導出しなおし、その各項について近似モデルが構築可能かという観点で検証を行った。この成果は現在論文を準備中である。

#### <引用文献>

- [1] H. Iijima and T. Yokoyama, *The Astrophysical Journal*, 848, 38 (2017)
- [2] H. Iijima, H. Hotta, and S. Imada, *The Astrophysical Journal*, 883, 24 (2019)
- [3] H. Iijima, *Journal of Computational Physics*, 435, 110232 (2021)



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kuniyoshi Hidetaka, Shoda Munehito, Iijima Haruhisa, Yokoyama Takaaki	4. 巻 949
2. 論文標題 Magnetic Tornado Properties: A Substantial Contribution to the Solar Coronal Heating via Efficient Energy Transfer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 8~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/acbb8	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 -
1. 著者名 Matsumoto T, Kawabata Y, Katsukawa Y, Iijima H, Quintero Noda C	4. 巻 523
2. 論文標題 Synthesis of infrared Stokes spectra in an evolving solar chromospheric jet	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 974~981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stad1509	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Silva S. S. A., Lennard M., Verth G., Ballai I., Rempel E. L., Warnecke J., Iijima H., Hotta H., Park S.-H., Donea A. C., Kusano K., Fedun V.	4. 巻 948
2. 論文標題 Novel Approach to Forecasting Photospheric Emergence of Active Regions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L24~L24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/acd007	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 該当する
1. 著者名 Iijima Haruhisa, Imada Shinsuke	4. 巻 917
2. 論文標題 A New Broadening Technique of the Numerically Unresolved Solar Transition Region and Its Effect on the Spectroscopic Synthesis Using Coronal Approximation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 65~65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac07a5	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 -

1. 著者名 Wang Yikang, Yokoyama Takaaki, Iijima Haruhisa	4. 巻 916
2. 論文標題 Fast Magnetic Wave Could Heat the Solar Low-beta Chromosphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L10 ~ L10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac10c7	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 -

1. 著者名 Iijima Haruhisa	4. 巻 435
2. 論文標題 Energy-consistent finite difference schemes for compressible hydrodynamics and magnetohydrodynamics using nonlinear filtering	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 110232 ~ 110232
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2021.110232	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hotta H, Iijima H	4. 巻 494
2. 論文標題 On rising magnetic flux tube and formation of sunspots in a deep domain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2523 ~ 2537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa844	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iijima H., Hotta H., Imada S.	4. 巻 883
2. 論文標題 Effect of Morphological Asymmetry between Leading and Following Sunspots on the Prediction of Solar Cycle Activity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 24 ~ 24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3b04	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 -

1. 著者名 Hotta H, Iijima H	4. 巻 494
2. 論文標題 On rising magnetic flux tube and formation of sunspots in a deep domain	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2523 ~ 2537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa844	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Quintero Noda C, Iijima H, Katsukawa Y, Shimizu T, Carlsson M, de la Cruz Rodriguez J, Ruiz Cobo B, Orozco Suarez D, Oba T, Anan T, Kubo M, Kawabata Y, Ichimoto K, Suematsu Y	4. 巻 486
2. 論文標題 Chromospheric polarimetry through multiline observations of the 850 nm spectral region III: Chromospheric jets driven by twisted magnetic fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4203 ~ 4215
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Haruhisa Iijima
2. 発表標題 Radiative MHD simulation of the solar corona with RAMENS
3. 学会等名 Advances in Solar MHD Numerical Simulations in the Era of High-Resolution Observations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 スピキュールについて
3. 学会等名 2022年度太陽研連シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 熱対流と磁場が駆動する太陽大気の形成過程
3. 学会等名 CfCA User ' s Meeting ( 招待講演 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 低速太陽風の3次元輻射磁気流体計算
3. 学会等名 第9回「富岳」を中核とするHPCIシステム利用研究課題成果報告会 ( 招待講演 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 輻射磁気流体シミュレーション研究の将来
3. 学会等名 太陽研連2022年度将来計画シンポジウム ( 招待講演 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 磁気乱流が駆動する太陽からの超音速プラズマ流
3. 学会等名 第2回「富岳」成果創出加速プログラム 研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 黒点群を起源とする太陽風の3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 2021年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Haruhisa Iijima
2. 発表標題 Radiative MHD simulation of the solar corona with RAMENS
3. 学会等名 Advances in Solar MHD Numerical Simulations in the Era of High-Resolution Observations (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 スピキュールについて
3. 学会等名 2022年度太陽研連シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 熱対流と磁場が駆動する太陽大気の形成過程
3. 学会等名 CfCA User ' s Meeting (招待講演)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 低速太陽風の3次元輻射磁気流体計算
3. 学会等名 第9回「富岳」を中核とするHPCIシステム利用研究課題（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 射磁気流体シミュレーション研究の将来
3. 学会等名 太陽研連2022年度将来計画シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 磁気乱流が駆動する太陽からの超音速プラズマ流
3. 学会等名 第2回「富岳」成果創出加速プログラム 研究交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 黒点群を起源とする太陽風の3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 2021年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Iijima
2. 発表標題 A numerical treatment for the unresolved transition region in the solar atmosphere
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 太陽大気の輻射磁気流体モデルにおける現状と課題
3. 学会等名 2021年度ISEE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」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮
2. 発表標題 対流層からコロナ・太陽風までの包括的3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮
2. 発表標題 対流層から太陽風までの包括的3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 2021年度太陽研連シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮
2. 発表標題 太陽対流層からコロナ・太陽風までを含んだ3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 CfCA User ' s Meeting
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久, 松本琢磨, 堀田英之, 今田晋亮
2. 発表標題 磁場形成・波動励起からコロナ加熱・太陽風加速までを追う包括的太陽大気モデル
3. 学会等名 「富岳で加速する素粒子・原子核・宇宙・惑星」シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 飯島陽久, 今田晋亮
2. 発表標題 数値的に解像できない遷移層への対処法と分光観測量への影響
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 離散的にエネルギー方程式の整合性を保つ頑健な磁気流体解法の提案
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 輻射磁気流体モデルを用いた太陽黒点周囲におけるプラズマ急加速現象の研究
3. 学会等名 2020年度名古屋大学HPC計算科学連携研究プロジェクト成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Iijima, H. Hotta, and S. Imada
2. 発表標題 Impact of morphological asymmetry in a sunspot group on the solar cycle prediction
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Iijima
2. 発表標題 Energy-consistent finite difference method for compressible magnetohydrodynamic simulations
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯島陽久, 今田晋亮
2. 発表標題 3次元太陽コロナモデルを用いた鉄イオンのEUV放射における非平衡電離効果の検証
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム「太陽研究の現状と将来展望」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H. Iijima, H. Hotta, and S. Imada
2. 発表標題 Importance of Morphological Asymmetry between Leading and Following Sunspots on Polar Field Formation and Cycle Prediction
3. 学会等名 The 4th PSTEP International Symposium (PSTEP-4) and the 2nd ISEE Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 運動・磁気エネルギー保存型 MHD 解法の構築
3. 学会等名 CfCA User ' s Meeting
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 太陽表層大気モデリング
3. 学会等名 ISEE・PSTEP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」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 圧縮性磁気流体計算における差分スキームの保存性
3. 学会等名 日本流体力学会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 太陽大気の3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Iijima
2. 発表標題 Effect of non-equilibrium ionization on the solar EUV/X-ray spectral diagnosis
3. 学会等名 Hinode-13/IPELS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島 陽久, 堀田 英之, 今田 晋亮
2. 発表標題 太陽対流層表層部における乱流パンピングの推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯島陽久
2. 発表標題 Radiation magnetohydrodynamic modeling of solar coronal dynamics
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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		
英国	The University of Sheffield		