

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H03640

研究課題名(和文) 太陽彩層におけるダイナミクスおよび加熱過程の理論的解明

研究課題名(英文) Theoretical study on the dynamics and heating in the solar chromosphere

研究代表者

横山 央明 (Yokoyama, Takaaki)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：00311184

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,100,000円

研究成果の概要(和文)：多次元放射磁気流体力学コードRAMENSにCarlsson & Leenaarts (2012)による放射冷却レンビを実装し、非局所熱力学平衡(NLTE)放射冷却効果のある磁気流体コードを開発した。これを用いて、表面对流により発生する波動とそれによる彩層加熱計算とを実施した。これまでに詳しく調べられていなかった磁場優勢彩層の加熱について、ファストモード(磁気圧優勢)衝撃波が加熱に寄与しており、その波は低層のガス圧優勢ファストモードからのモード変換で発生することを突き止めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、太陽物理学で、大口径望遠鏡完成でこれから世界的に主流となる彩層研究について、その道具となるコードを独自開発したことで今後の展開の礎となったことと、具体的な成果として磁場優勢な彩層加熱についてファストモード磁気音波による加熱というあたらしい知見をもたらした。また同時にすすめた太陽風の加速・加熱についての知見とあわせて、恒星大気科学、特にその彩層や恒星風研究への展開につながる結果をもたらした。

研究成果の概要(英文)：We implemented non-LTE radiative cooling effect based on Carlsson & Leenaarts (2012)'s recipe to the multi-dimensional radiative MHD code RAMENS. By using this new code, we studied generation of waves by the surface convection and the chromospheric heating by the dissipation of those waves. The heating of the magnetically dominant chromosphere is studied in detail for the first time by this study and found to be mostly by the fast-mode magnetosonic shocks which are generated through the mode-conversion from the acoustic waves.

研究分野：太陽天体プラズマ物理学

キーワード：天文 太陽物理学 プラズマ

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

彩層は、温度が1万度前後であるため、部分電離状態にあり、温度最低層から外層コロナまで水素電離度が6桁も変動している。また光球がガス圧優勢（高ベータ。ベータはガス圧割る磁気圧）で、コロナが磁場優勢（低ベータ）大気であるのに対し、彩層はその途中でちょうど両者がほぼ拮抗する場所である。つまりプラズマダイナミクスがガスにより磁場を捨てるレジームから磁場がガスを駆動するものに変化する。また放射も、非局所熱力学平衡状態（non local thermodynamic equilibrium 以後 NLTE と記述）にあり、非常に複雑な物理が相互にからんでいる。

彩層のようなガスは、他の恒星にも存在している。その様相はたとえばカルシウム吸収線などにより、多くの恒星で観測されていて、天体大気の構造やそのダイナミクス・磁気活動を理解するのに使われている。これらはすべて太陽彩層をもとに解釈されており、そもそもの太陽の理解が重要なことはいままでもない（が、その理解は十分とはいえない）。特に「彩層の基底加熱 (basal heating)」問題など未解決な魅力的な問題もある (Schrijver 1995)。そして、星形成領域における原始惑星系円盤は低温部分電離ガスからなっており、共通物理を介してその理解にも貢献したいと考えている。

このような状況のもと、2014年当時、太陽コミュニティでは「ひので (Solar-B)」に続く太陽観測衛星「Solar-C」を宇宙戦略的中型ミッションとして策定していた。そのめざす重要科学課題のひとつが「彩層ダイナミクスの解明」であった。「ひので」では彩層は撮像観測のみであったのに対し、Solar-C では偏光分光器を搭載する予定で、「ひので」で発見された現象の物理機構解明をめざしていた。（残念ながら中型ミッションとしての Solar-C は不採択となった。現在は、公募型小型ミッションとして極端紫外線分光撮像装置を引き継いだ Solar-C_EUVST を策定中である。）

なお先行研究として、NLTE 輻射磁気流体多次元コードの開発状況は、1次元であれば3例ほどあり、Oslo 大学グループの RADYN コードもそのひとつである。またいくらかの近似をとりいれているが多次元のものと同じく Oslo 大学グループの Bifrost コード (Gudiksen+ 2011) のみであった。Bifrost では、1次元静穏大気に基づきモデル化した非平衡電離の輻射遷移項と輻射冷却とを用いていた。

2. 研究の目的

申請では、Solar-C 衛星（当時）への理論的準備という観点と、部分電離 NLTE 状態磁気プラズマのダイナミクスの理論構築という視点から、研究を進めた。特に、NLTE レジームでの輻射輸送方程式・電離励起方程式と磁気流体力学 (Magnetohydrodynamics 以後 MHD) 方程式を組み合わせた輻射 MHD シミュレーションコードを独自に開発することをめざした。そして、(1) 彩層における波動の生成・伝播と熱化、(2) スピキュールと呼ばれるジェット現象の解明、(3) 彩層加熱問題に取り組むとともに、(4) これらの現象の、観測的モデルテンプレート作成を目的とした。

より具体的には、以下の研究課題を個別目的とした。(1) 彩層における波動の生成・伝播と熱化については、表面熱対流により生成される Poynting エネルギー流束密度の各磁気流体波動モード (Alfven 波・スロー音波・ファスト音波)・周波数ごとの配分を定量化すること。また、初期背景同様磁場条件の違いによりこの配分比を調べ、太陽活動領域と静穏領域とでどう異なるかをみる。(2) スピキュールについては、これまで「手で (運動方程式の加速項として)」入力されている Poynting エネルギーを、熱対流で自己無撞着に解き、波動伝播や放射冷却その他の物理過程と同時に解いたうえで、これまでアドホックなモデルで知られているジェット流加速がはたして本当に可能なのかを確かめる。また「ひので」で見つかっている Alfven 的揺動が再現できるかも見る。(3) 項目(1)(2)と関係するが、波動熱化や磁気リコネクションを適切な仮定のもと、可能な限り自己無撞着に解き、彩層加熱がはたして可能なのか、磁場強度に対する依存性はどうか、複雑な物理過程を丁寧に調べる。(4) 上記結果から、Solar-C プロジェクトで何を観測すれば、これらのモデルを支持するのか、あるいはどのような観測がなされるはずなのかのテンプレートを作成する。

3. 研究の方法

本課題では、非局所熱力学平衡 (NLTE) 放射冷却効果入りの磁気流体コードの開発を目指していたが、並行して既存のコード、具体的には放射冷却効果なしまたは簡易冷却効果のみ入った磁気流体コードを用いて彩層およびコロナ太陽風ダイナミクスの研究を実施した。年度ごとに順を追って以下に説明する。

2015年度は、彩層波動伝播の1次元シミュレーションを実施した。まだ放射過程は入っていないが、いくつかの知見を得ることができた。遷移層での反射率については、遷移層での反射が高いいっぽうで、光球下端でのそれは小さくほとんどの波動が抜けてしまうことを示した。また、非線形波動発展について、直線偏波 Alfven 波について突っ立ちから3波共鳴的過程による反射過程を新たに見出し、査読論文を出版した。プロミネンス形成については、2次元シミュレーション

ョン結果を査読論文出版するとともに、派生研究としてプロミネンス内部で発生する見かけ波動についての共同研究を行いこちらも出版した。スピキュール再現の多次元シミュレーションについては、2次元計算について研究を実施、先行研究では実現できなかった背の高いスピキュール再現に成功し、コロナ密度・磁場への依存性を調べて、その加速機構を明らかにした。この結果は査読論文として出版した。

2016年度は、1次元NLTE放射磁気流体コード開発は、既存コードに技術的な難点があること（具体的には、数値拡散が大きく波動伝播の計算にあまり適しないこと）がわかり、独自コードを開発する方針に転換した。プロミネンス形成課題は、3次元シミュレーションを実施したが、当初の予想に反し、プロミネンス形成過程でプラズマが乱流状態になることがわかった。

2017年度は、非局所熱力学平衡効果入りコード開発について、1次元磁気流体での開発に成功した。具体的には、高次元にした場合でも現実的に計算を実行できる、Carlsson & Leenaarts (2012)による近似法をもちいた実装によるコードを開発した。このコードを用いた具体的な課題として、太陽彩層中でのAlfvén波（磁気的横波）の伝播とそのモード変換による加熱とを調べた。観測とよく合う輻射量を実現したが、従来の標準モデルより温度が低い大気を実現した。これは波動モード変換による衝撃波が非定常的に伝播することで説明可能であることをしめした。このことの観測的な検証方法も合わせて検討した。この結果の一部は、大学院生の修士論文となった。スピキュールについては、背の高い一群について世界で初めて放射磁気流体計算で実現するとともに、磁気ねじれによる加速モデルを提言した。またスピキュール中の高周波数の横波がひので衛星で観測されているが、それを説明するモデルを提案しシミュレーションで検証して出版した。また太陽コロナ・太陽風の波動において圧縮性が重要であることを提言し、その伝播・不安定・乱流化・散逸をすべて取り扱うモデルを作成し、太陽表面から地球までを解くシミュレーションを実施して出版した。

2018年度は、前年度に開発した、非局所熱力学平衡効果入り1次元磁気流体コードを用いて、太陽彩層中でのAlfvén波（磁気的横波）の伝播とそのモード変換による加熱とを引き続き調べた。前年度の結果から、さらに踏み込んで衝撃波加熱率を定量化し温度の低い背景を衝撃波が散発的に通過して加熱する機構の妥当性を裏付けた。また太陽コロナ・太陽風の波動において圧縮性によるパラメータ減衰不安定が重要であることを提言し、太陽表面から地球までを解く1次元シミュレーションを実施して出版した。また衝撃波だけでなく、乱流による散逸を考慮した1次元圧縮性磁気流体モデルを開発し、太陽風加速モデルに適用した。入力波動の周波数により振る舞いが異なる周波数フィルタリングについて提言した。

2019年度は、Carlsson & Leenaarts (2012)の非局所熱力学平衡放射冷却レシピを放射磁気流体多次元コードRAMENSに実装した。その応用として、表面对流により発生する波動とそれによる彩層加熱計算とを実施した。これまでに詳しく調べられていなかった磁場優勢彩層の加熱について、ファストモード（磁気圧優勢）衝撃波が加熱に寄与しており、その波は低層のガス圧優勢ファストモードからのモード変換で発生することを突き止めた。これ以外に、太陽コロナ・太陽風について、コロナ底から20太陽半径までの圧縮性磁気流体3次元計算を初めて実施した。前年まで1次元計算で提唱していた、圧縮性によるパラメータ減衰不安定の重要性を自己整合的なシミュレーションで確固たるものにした。

4. 研究成果

本課題による研究の主な成果は、(1)多次元放射磁気流体力学コードRAMENSにCarlsson & Leenaarts (2012)による放射冷却レシピを実装し、非局所熱力学平衡(NLTE)放射冷却効果のある磁気流体コードを開発したこと、(2)RAMENSとは別の、1次元NLTE放射磁気流体コードを用いて、太陽彩層中でのAlfvén波（磁気的横波）の伝播とそのモード変換による加熱とを調べた。観測とよく合う輻射量を実現したが、従来の標準モデルより温度が低い大気を実現した。これは波動モード変換による衝撃波が非定常的に伝播することで説明可能であることをしめした。(3)NLTE放射磁気流体コードRAMENS改良版を用いて、表面对流により発生する波動とそれによる彩層加熱計算とを実施した。これまでに詳しく調べられていなかった磁場優勢彩層の加熱について、ファストモード（磁気圧優勢）衝撃波が加熱に寄与しており、その波は低層のガス圧優勢ファストモードからのモード変換で発生することを突き止めた。これ以外に、(4)太陽コロナ・太陽風について、コロナ底から20太陽半径までの圧縮性磁気流体3次元計算を初めて実施した。前年まで1次元計算で提唱していた、圧縮性によるパラメータ減衰不安定の重要性を自己整合的なシミュレーションで確固たるものにした。(5)その他、おもに太陽大気に関する研究を多数実施し、計25本の査読論文を出版した。

本研究では、理論面から貢献するつもりでいた太陽観測衛星Solar-Cについて、宇宙研戦略型中型ミッションへの応募が不採択となる予想外の展開となったが、科学的価値そのものは変わらないと信じている。特に現在、世界の太陽研究のフラッグシップ望遠鏡と広く捉えられている、米国国立太陽天文台(NSO)の口径4m大型望遠鏡DKISTへの提言という形で依然その結果の重要性はかわらない。また、その後策定されているSolar-C_EUVST計画では彩層・コロナ接続が重要テーマとなっており、本研究で得られた知見を拡張していくことができると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 32件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yokoyama Takaaki, Katsukawa Yukio, Shimojo Masumi	4. 巻 71
2. 論文標題 Observations of photospheric magnetic structure below a dark filament using the Hinode Spectro-Polarimeter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 46
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/pasj/psz014	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 Shoda Munehito, Suzuki Takeru Ken, Asgari-Targhi Mahboubeh, Yokoyama Takaaki	4. 巻 880
2. 論文標題 Three-dimensional Simulation of the Fast Solar Wind Driven by Compressible Magnetohydrodynamic Turbulence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/ab2b45	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
1. 著者名 Wang Shuoyang, Yokoyama Takaaki	4. 巻 26
2. 論文標題 Diffusion regions and 3D energy mode development in spontaneous reconnection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics of Plasmas	6. 最初と最後の頁 72109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1063/1.5098129	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 Shimojo Masumi, Kawate Tomoko, Okamoto Takenori J., Yokoyama Takaaki, Narukage Noriyuki, Sakao Taro, Iwai Kazumasa, Fleishman Gregory D., Shibata Kazunari	4. 巻 888
2. 論文標題 Estimating the Temperature and Density of a Spicule from 100 GHz Data Obtained with ALMA	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L28
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/ab62a5	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

1. 著者名 Wang Yikang, Yokoyama Takaaki	4. 巻 891
2. 論文標題 Simulation of Alfvén Wave Propagation in the Magnetic Chromosphere with Radiative Loss: Effects of Nonlinear Mode Coupling on Chromospheric Heating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab70b2	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 Katsuda S, Ohno M, Mori K, Beppu T, Kanemaru Y, Tashiro M S., Terada Y, Sato K, Morita K, Sagara H, Ogawa F, Takahashi H, Murakami H, Nobukawa M, Tsunemi H, Hayashida K, Matsumoto H, Noda H, Nakajima H, Ezoe Y, Tsuboi Y, Maeda Y, Yokoyama T, Narukage N	4. 巻 891
2. 論文標題 Inverse First Ionization Potential Effects in Giant Solar Flares Found from Earth X-Ray Albedo with Suzaku/XIS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7207	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 Shoda Munehito, Yokoyama Takaaki	4. 巻 859
2. 論文標題 Anisotropic Magnetohydrodynamic Turbulence Driven by Parametric Decay Instability: The Onset of Phase Mixing and Alfvén Wave Turbulence	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L17 ~ L17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aac50c	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 Shoda Munehito, Yokoyama Takaaki, Suzuki Takeru K.	4. 巻 860
2. 論文標題 Frequency-dependent Alfvén-wave Propagation in the Solar Wind: Onset and Suppression of Parametric Decay Instability	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 17 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aac218	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 Yokoyama Takaaki、Shimojo Masumi、Okamoto Takenori J.、Iijima Haruhisa	4. 巻 863
2. 論文標題 ALMA Observations of the Solar Chromosphere on the Polar Limb	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad27e	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 Kaneko Takafumi、Yokoyama Takaaki	4. 巻 869
2. 論文標題 Impact of Dynamic State on the Mass Condensation Rate of Solar Prominences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaee6f	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 Ichimura Chiaki、Yokoyama Takaaki	4. 巻 839
2. 論文標題 Non-kinematic Flux-transport Dynamos Including the Effects of Diffusivity Quenching	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 18 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa689e	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 Kaneko Takafumi、Yokoyama Takaaki	4. 巻 845
2. 論文標題 Reconnection-Condensation Model for Solar Prominence Formation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 12 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa7d59	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., Yokoyama T.	4. 巻 848
2. 論文標題 A Three-dimensional Magnetohydrodynamic Simulation of the Formation of Solar Chromospheric Jets with Twisted Magnetic Field Lines	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 38 ~ 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8ad1	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 Bekki Y., Hotta H., Yokoyama T.	4. 巻 851
2. 論文標題 Convective Velocity Suppression via the Enhancement of the Subadiabatic Layer: Role of the Effective Prandtl Number	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 74 ~ 74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa9b7f	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 Shoda Munehito, Yokoyama Takaaki, Suzuki Takeru K.	4. 巻 853
2. 論文標題 A Self-consistent Model of the Coronal Heating and Solar Wind Acceleration Including Compressible and Incompressible Heating Processes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 190 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa3e1	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 Shoda Munehito, Yokoyama Takaaki	4. 巻 854
2. 論文標題 High-frequency Spicule Oscillations Generated via Mode Conversion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa54f	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 Shoda, M.; Yokoyama, T.	4. 巻 820
2. 論文標題 Nonlinear Reflection Process of Linearly Polarized, Broadband Alfvén Waves in the Fast Solar Wind	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/820/2/123	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 Antolin, P.; De Moortel, I.; Van Doorselaere, T.; Yokoyama, T.	4. 巻 830
2. 論文標題 Modeling Observed Decay-less Oscillations as Resonantly Enhanced Kelvin-Helmholtz Vortices from Transverse MHD Waves and Their Seismological Application	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8205/830/2/L22	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

1. 著者名 Bekki, Y.; Yokoyama, T.	4. 巻 835
2. 論文標題 Double-cell-type Solar Meridional Circulation Based on a Mean-field Hydrodynamic Model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/835/1/9	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 Antolin, P.; De Moortel, I.; Van Doorselaere, T.; Yokoyama, T.	4. 巻 836
2. 論文標題 Observational Signatures of Transverse Magnetohydrodynamic Waves and Associated Dynamic Instabilities in Coronal Flux Tubes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa5eb2	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

1. 著者名 Hotta, H.; Rempel, M.; Yokoyama, T.	4. 巻 803
2. 論文標題 Efficient Small-scale Dynamo in the Solar Convection Zone	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/803/1/42	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

1. 著者名 Kitagawa, N.; Yokoyama, T.	4. 巻 805
2. 論文標題 Electron Density of Active Region Outflows Measured by the EUV Imaging Spectrometer on board Hinode	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/805/2/97	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 Kaneko, T.; Yokoyama, T.	4. 巻 806
2. 論文標題 Numerical Study on In-Situ Prominence Formation by Radiative Condensation in the Solar Corona	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/806/1/115	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 Okamoto, Takenori J.; Antolin, Patrick; De Pontieu, Bart; Uitenbroek, Han; Van Doorselaere, Tom; Yokoyama, Takaaki	4. 巻 809
2. 論文標題 Resonant Absorption of Transverse Oscillations and Associated Heating in a Solar Prominence. I. Observational Aspects	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/809/1/71	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

1. 著者名 Antolin, P.; Okamoto, T. J.; De Pontieu, B.; Uitenbroek, H.; Van Doorselaere, T.; Yokoyama, T.	4. 巻 809
2. 論文標題 Resonant Absorption of Transverse Oscillations and Associated Heating in a Solar Prominence. II. Numerical Aspects	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/809/1/72	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

1. 著者名 Wang, Shuoyang; Yokoyama, Takaaki; Isobe, Hiroaki	4. 巻 811
2. 論文標題 Three-dimensional MHD Magnetic Reconnection Simulations with a Finite Guide Field: Proposal of the Shock-evoking Positive-feedback Model	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/811/1/31	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 Kaneko, T.; Goossens, M.; Soler, R.; Terradas, J.; Van Doorselaere, T.; Yokoyama, T.; Wright, A. N.	4. 巻 812
2. 論文標題 Apparent Cross-field Superslow Propagation of Magnetohydrodynamic Waves in Solar Plasmas	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/812/2/121	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.; Yokoyama, T	4. 巻 812
2. 論文標題 Effect of Coronal Temperature on the Scale of Solar Chromospheric Jets	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 L30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2041-8205/812/2/L30	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 Iida, Y.; Hagenaar, H. J.; Yokoyama, T.	4. 巻 814
2. 論文標題 etection of Flux Emergence, Splitting, Merging, and Cancellation of Network Fields. II. Apparent Unipolar Flux Change and Cancellation	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/814/2/134	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

1. 著者名 Kitagawa, N., Hara, H., Yokoyama, T.	4. 巻 816
2. 論文標題 Doppler shift of the quiet region measured by meridional scans with the EUV Imaging Spectrometer onboard Hinode	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/816/1/14	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 Shoda, M.; Yokoyama, T.	4. 巻 820
2. 論文標題 Nonlinear reflection process of linearly-polarized, broadband Alfvén waves in the fast solar wind	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/820/2/123	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., Rempel, M., Yokoyama, T.	4. 巻 351
2. 論文標題 Large-scale magnetic fields at high Reynolds numbers in magnetohydrodynamic simulations	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 1427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aad1893	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37件(うち招待講演 13件/うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Bekki, Y., Yokoyama, T.
2. 発表標題 Numerical Study of Double-Cell Type Solar Meridional Circulation Based on Mean-Field Hydrodynamic Model
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., Iijima, H., Shimojo, M., Okamoto, T. J.
2. 発表標題 Solar chromospheric dynamics by ALMA observations
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Oi, Y., Yokoyama, T., Toriumi, S.
2. 発表標題 MHD simulations of formation and eruption of a magnetic flux rope in a quadrupolar active region with a delta-sunspot
3. 学会等名 Flux Emergence Workshop(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Oi, Y., Yokoyama, T., Toriumi, S.
2. 発表標題 MHD simulations of formation and eruption of a magnetic flux rope in an active region with a delta-sunspot
3. 学会等名 48th AAS/SPD Meeting(国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Bekki, Y., Hotta, H., Yokoyama, T.
2 . 発表標題 Effects of the Enhanced Subadiabatic Layer in Effectively High-Prandtl Number Thermal Convection
3 . 学会等名 48th AAS/SPD Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yokoyama, T., Iijima, H.
2 . 発表標題 MHD waves and jets in the solar atmosphere
3 . 学会等名 1st Asia-Pacific Conference on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Yokoyama, T., Shimojo, M., Okamoto, J. T., Iijima, H.
2 . 発表標題 ALMA observations of the solar chromosphere on the polar limb
3 . 学会等名 4th Asia-Pacific solar physics meeting (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Bekki, Y., Hotta, H., Yokoyama, T.
2 . 発表標題 Effects of the Prandtl Number on Stratified Thermal Convection with and without Rotation
3 . 学会等名 Helicity Thinkshop 3 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 Shoda, M., Yokoyama, T.
2. 発表標題 New 1D modeling of the coronal heating and solar wind acceleration including shock and turbulence heatings
3. 学会等名 AGU fall meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Bekki, Y., Hotta, H., Yokoyama, T.
2. 発表標題 Deep Convective Amplitude and Stratification in an Effectively High-Prandtl Number Thermal Convection
3. 学会等名 IAU Symposium 340 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wang, Y., Yokoyama, T.
2. 発表標題 One-dimensional MHD simulations of Alfvén wave propagation in the chromosphere with realistic radiative cooling mode
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wang, Y., Yokoyama, T.
2. 発表標題 One-dimensional MHD simulations of Alfvén wave originated solar atmosphere heating model with realistic radiative cooling heating model with realistic radiative cooling
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yokoyama, T.
2. 発表標題 Numerical studies of loop oscillations
3. 学会等名 Theoretical and observational approaches to the solar magnetic field (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yokoyama, T.
2. 発表標題 Studies of the Sun with Hinode and Numerical Simulations
3. 学会等名 The 10th EAMA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Iijima, H., Yokoyama, T.
2. 発表標題 3D MHD simulations of chromospheric jets launched by twisted magnetic field lines
3. 学会等名 ISSI-BJ meeting on MHD Seismology of the Solar Corona (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yokoyama, T., Oi, Y., Kaneko, T., Wang, S.
2. 発表標題 Magnetic reconnection as triggers of solar plasma eruptions and filament formations
3. 学会等名 Magnetic Reconnection 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 市村千晃、横山央明
2. 発表標題 抑制を取り入れたMHD磁束輸送ダイナモ
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 庄田宗人、横山央明
2. 発表標題 衝撃波・乱流の両効果を取り入れた新たな一次元コロナ・太陽風モデル
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 戸次宥人、横山央明
2. 発表標題 平均場モデルに基づいた2セル型太陽子午面流の研究
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金子岳史、横山央明
2. 発表標題 放射凝縮による太陽プロミネンス形成の3次元MHDシミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 飯島陽久、横山央明
2. 発表標題 ねじれた磁力線を伴う彩層ジェットの 3 次元シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大井喜智、横山央明、鳥海森
2. 発表標題 デルタ型黒点を持つ四重極活動領域におけるフラックスロープの形成と放出
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 河野隼也、横山央明
2. 発表標題 彩層伝播アルヴェーン波の非線形相互作用による境界透過率への寄与
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 横山央明
2. 発表標題 MHD aspects of ICM
3. 学会等名 Max's 4 questions in X-ray Astronomy to be addressed with Astro-H (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 横山央明
2. 発表標題 ガイド磁場3次元磁気リコネクションの MHDシミュレーション研究
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 横山央明
2. 発表標題 Alfven Wave Generation by Magnetic Reconnection
3. 学会等名 ISSI-BJ meeting on MHD Seismology of the Solar Corona (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 飯島陽久、横山央明
2. 発表標題 彩層ジェットの数値シミュレーション
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 飯島陽久、横山央明
2. 発表標題 数値モデリングからの彩層高空間分解能観測の必要性に関する検討
3. 学会等名 太陽研連シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山央明、飯島陽久
2. 発表標題 Radiative magnetohydrodynamic simulations of chromospheric spicules
3. 学会等名 The Dynamic Sun: I. MHD Waves and Confined Transients in the Magnetized Atmosphere (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山央明、飯島陽久
2. 発表標題 Numerical study of solar chromospheric jets
3. 学会等名 US-Japan workshop on magnetic reconnection (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 飯島陽久、横山央明
2. 発表標題 2次元輻射磁気流体計算による彩層ジェット構造のコロナ温度依存性の検証
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 庄田宗人、横山央明
2. 発表標題 アルフベン波の非線形反射
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Kaneko, T. Yokoyama, M. Goossens, T. Van Doorselaere, R. Soler, J. Terradas
2. 発表標題 Cross-field superslow propagation by continuum Alfvén/slow magnetosonic waves
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Wang, S., Yokoyama, T.
2. 発表標題 Parameter survey of mode coupling in a single sheared current sheet
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 横山央明
2. 発表標題 磁気流体キンク不安定性による銀河団中心低温成分の加熱
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 河野隼也, 横山央明
2. 発表標題 太陽彩層伝播アルフベン波のモード変換効率計算
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 庄田宗人, 横山央明
2. 発表標題 アルフベン波に対する強い衝撃波の非線形効果
3. 学会等名 日本天文学会年会
4. 発表年 2016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
--	---------------------------	-----------------------	----