

令和 4 年 5 月 25 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13579

研究課題名（和文）磁気流体シミュレーションを用いた原始星への質量降着最終過程の解明

研究課題名（英文）Magnetohydrodynamic simulations of the final process of accretion process onto a protostar

研究代表者

高棹 真介 (Takasao, Shinsuke)

大阪大学・理学研究科・助教

研究者番号：90794727

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：原始星の進化を決定づける星と降着円盤の接続領域は境界層と呼ばれる。原始星進化モデルを発展させるにはこの境界層における素過程を明らかにする必要がある。特にこれまで十分考慮されていなかった星表面近傍での磁場の役割を理解する必要がある。そのために3次元磁気流体シミュレーションを実行した。その結果、太陽フレアよりも莫大な磁気エネルギーを解放する原始星フレアの発生機構の新たなシナリオを発見した。また、これまで多くの研究で境界層における磁場は無視されてきたが、予想通り角運動量に本質的に重要である示唆が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

星は宇宙の最小構成要素であり、本研究はその誕生過程の一端を明らかにしたものである。特に原始星フレアは強いX線を生じて惑星形成のもととなる星形成領域の化学組成に影響を及ぼすことが言われていたが、原始星が進化のどの段階から強いX線を出すかについてはよくわかっていなかった。本研究は、原始星はこれまでよりも早い段階から強いX線を繰り返し出す可能性を理論的に示した。この結果は、太陽をはじめとする星の起源のみならず、その周りの惑星がどのような環境で生まれるのかについても示唆を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：The transition region between a protostar and a surrounding accretion disk is called the boundary layer. To update the evolution models of protostars, we need to understand the transport processes in this layer. It is particularly important to reveal the roles of magnetic fields, which have been ignored in most of the previous studies. We have conducted three-dimensional magnetohydrodynamic simulations of the accretion just around a protostar. We found that an accreting protostar can produce violent explosions that suddenly release magnetic energy. In addition, our simulation indicates that magnetic fields extract a large amount of angular momentum of the accreting gas in the connecting layer.

研究分野：宇宙プラズマ

キーワード：星形成 降着円盤 磁気流体力学 磁気流体シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

原始星は各運動量を失いつつ重力収縮したガスからできる天体であるため、ケプラー回転している円盤よりも遅く自転している。質量降着率の高い若い原始星は円盤が星表面まで到達した構造を取っていると考えられている。したがって原始星が周囲の降着円盤からガスを受け取る時、両者の速度差を埋めるように回転速度が大きく遷移する領域である境界層ができると考えられている。この境界層は星形成期における重力エネルギーの解放場所として重要であるだけでなく、原始星に持ち込まれる熱・角運動量・磁場といった量の注入率を決めることで原始星進化を決定づける領域でもある。この領域は降着の最終過程を特徴づけるのだが、過去の星形成モデルでは原始星近傍を空間分解しないものがほとんどであったため、境界層を含む原始星周りの降着構造はほとんど理解されていない。このため、原始星進化や観測スペクトルの予言も十分にできていない。特に星形成時には強い磁場が原始星に持ち込まれるため、磁場が境界層をはじめとする星近傍の降着構造に多大な影響を与えることが予想される。磁気流体现象は本質的に多次元構造を取るため、磁場の役割を明らかにするには3次元シミュレーションが必須となる。例えばジェットのような円盤回転軸方向に伸びる構造は、角運動量輸送に重要な役割を担っている可能性がある。しかし原始星を含む境界層の3次元モデル化には多くの数値的困難があり、実現していなかった。

2. 研究の目的

原始星への質量降着の最終過程を3次元磁気流体シミュレーションによって明らかにすることが目的である。磁場を持つ原始星・円盤の境界層の3次元磁気流体シミュレーションを用い、原始星進化モデルの発展に必要な物理量の輸送過程を明らかにすることを目指した。特に過去の1次元円盤モデルやローカルな流体モデルでは考慮できていなかった、角運動量輸送における磁場の役割について調査する。

3. 研究の方法

研究開始後にいくつかの数値的困難に直面し、境界層降着モデル構築に時間を予想以上に要した。そのため境界層モデル構築と並行して、原始星表面は分解しない3次元モデルを用いた降着構造の研究も進めた。具体的には、原始星フレアと呼ばれる原始星の起こすX線の巨大爆発現象の起源を探る研究である。原始星フレアも原始星表面近傍で生じていると考えられており、この起源理解も境界層を含む降着構造の理解に重要である。

原始星フレア研究：我々がこれまで構築してきた星・円盤モデル (Takasao et al. 2018[1]) を土台にして、若い原始星段階で期待されるような、強い磁場を持つ円盤からの原始星へのガス・磁場の降着を3次元シミュレーションによって調査した。計算コードは公開磁気流体シミュレーションコード Athena++ (Stone et al. 2020 ApJS [2]) を土台に、我々が改良を加えたものを用いている。観測的に多くの原始星は原始星フレアを起こすことが知られており、この観測的特徴を理論モデルが自然に説明できるのかを考察した。

境界層降着モデルの構築：境界層の熱構造を決める放射冷却過程も取り扱うため、3次元輻射磁気流体コードを用意するところから始めた。計算コードの開発は Athena++ を土台に行い、状態方程式やオパシティのテーブルの用意も行った。さらに研究目的の達成に向けた妥当な初期条件の設定を試行錯誤の上で探した。可能な限りモデルの不定性を除くため、原始星モデルは Hosokawa et al. 2010 ApJ [3] などで使用された原始星進化計算コードの結果を用いることにした。得られた原始星を計算領域内に設置し、その周りに降着円盤を形成するための回転ガスを置き初期条件とした。

4. 研究成果

(1) 原始星フレアの発生機構の提唱

原始星フレアは主に10-100 K程度の低温な星形成環境で10 keV程度もの高エネルギーな強いX線を生じる爆発現象であり、星形成領域の電離度や化学反応に対しても影響を与えるためシステム進化の理解に重要である。原始星フレアは太陽フレアと類似の振る舞いを見せるがエネルギーが桁違いに大きいため、太陽フレアとは異なったエネルギー蓄積過程が必要だと考えられている。これまで、原始星の磁気圏を回転円盤が捻って磁気エネルギーを蓄積し、フレアを起こすという磁気圏モデルが提唱されており[4]、有力な理論モデルとして考えられてきた。しかしのちのサーベイ観測から磁気圏モデルが観測結果と多くの点で整合しないとわかり、発生機構が謎となっていた。そこで我々は3次元磁気流体シミュレーションを実施し、発生機構を再考した。今回注目した状況は、原始星への質量降着率が十分高く磁気圏が形成されていないような進化段階である。この時、原始星へのガス降着に伴って円盤磁場も星に持ち込まれる。しかし星に十分な磁場が蓄積されると、円盤のガス圧で支えきれなくなり磁場が星へと溢れ返る。その際に赤道面で磁気リコネクションを生じ、巨大爆発を引き起こすことがわかった (図1)。この結果から、原始星フレアは円盤内縁付近の磁束輸送過程、言い換えれば星形成で持ち込まれた原

始星磁場がどのようにして円盤へと排出されていく様子を示している可能性がわかった。このフレア発生機構は他のシステムでも期待できるような一般性を持つものだと気づき、我々は超巨大ブラックホールにおいても同様の機構が期待されると指摘した。近年の超巨大ブラックホール関連の理論研究では、それを支持する結果が増えてきている。本研究は、原始星研究を通じて多様な天体形成における降着の激しい側面を示した点で特に新しい。本研究の成果は Takasao et al. 2019 ApJL [5]として出版されている。また成果を広めるため、Youtube において解説動画も公開している：

https://www.youtube.com/watch?v=y_2D6r1W1Wg

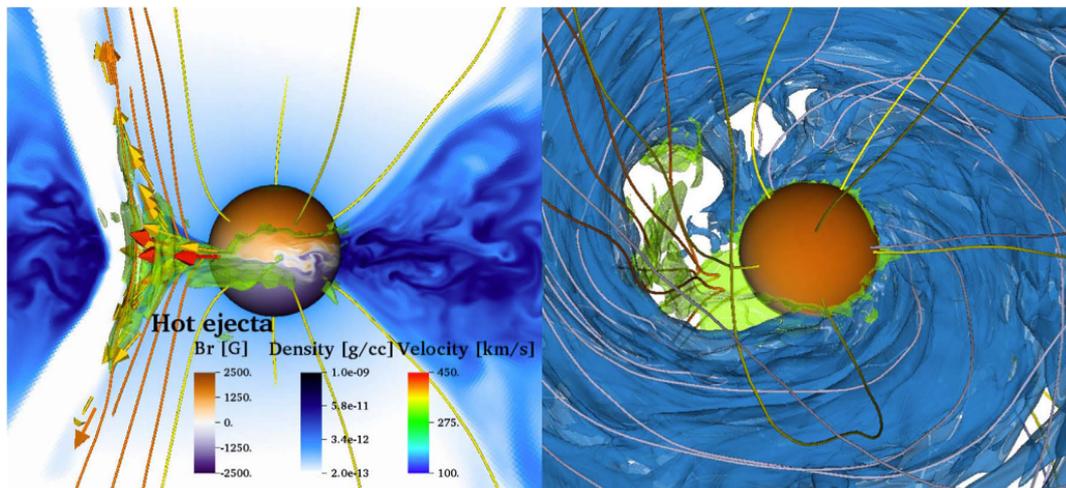


図1 Takasao et al. 2019 ApJL[5]で得られた原始星フレアの3次元構造

(2) 原始星の境界層降着モデル

計画に沿ってコード開発とモデル構築を進めていたが、多くの数値的困難に直面したため、その克服に時間がかかり、当初の目標であった3次元計算のパラメータ調査にまでは到達することができずに研究期間内には1モデルのテスト計算を実行・解析するところまでとなった。この3次元計算結果については日本天文学会2022年春季年会にて報告している。またスキーム開発として論文[6]を出版した。グローバル3次元計算を行なった結果、境界層付近で磁場が強く増幅され、その付近で鉛直方向の角運動量輸送が主要になりうるが見えてきた。これは過去の局所モデルでは見えていなかった振る舞いであり、原始星スケールのグローバルな磁場が角運動量輸送に重要であること、そして降着流による角運動量の無視できない量が星に持ち込まれるのではなく外に捨てられる可能性を示唆している。さらに境界層付近が緯度方向に振動する振る舞いを示すことも見えた。これも境界層での磁場増幅によるもので、星表面がどの程度降着ガスに覆われてしまうのか(降着ガスの冷却効率)を理解するうえで重要な結果である。また星表面を含まなかったモデルで見られていた、降着による原始星極域への磁場の溜め込みは(論文[5])、今回の原始星内部まで含むモデルでも見られた。

(3) 関連する諸分野への波及的成果

本研究課題は原始星へのガス降着に主眼を置いたものであったが、この現象は星表面と円盤の両方の磁気流体過程が関わるものである。つまり、境界層降着の理解には星表面の磁場が織りなす諸現象や、多様な天体形成に共通する降着の物理の知見も重要となる。それを踏まえ、関連する諸分野の研究も進めた。これらの成果は、本研究課題が広い波及効果を持つことの現れとも言える。以下で説明する2つの研究に加え、他にも原始惑星系円盤における乱流の性質に関する研究(論文[7])、降着を受ける原始中性子星がウィンドで降着を妨げる条件に関する研究(論文[8])、そして降着を受ける銀河中心から磁気駆動アウトフローが発現する条件に関する研究(論文[9])にも携わった。これらはどれも質量降着における磁場の役割を考察した点で、本研究課題と多くの共通点を持つ。

① 星表面磁場とコロナ加熱の関係

太陽観測から星表面磁場は上空のコロナの加熱源であることが知られているが、他の星を空間分解して観測することはできないため、星表面磁場とコロナ加熱の関係を調査することに困難があった。そこで我々は太陽型星のコロナ X 線の性質と星表面磁場をつなぐ理論を提唱した(Takasao et al. 2020 ApJ [10])。また、コロナからの EUV は星形成環境では周辺ガスの散逸に重要になるが、EUV は星間吸収により直接測定が困難であった。そこでシミュレーションを用いて EUV 放射量をモデリングし、かつ観測可能量である X 線強度から EUV 光度を推定する経験式を示した(Shoda & Takasao A&A 2021 [11])。このシミュレーションから得られた経験式は近傍星の観測ともよく一致しており、有用性が大いに期待できる。他にも、コロナ磁場の精密なモデリングに向けた計算手法比較研究にも携わった(Toriumi, Takasao et al. ApJ 2020 [12])。

②原始ガス惑星への質量降着のモデリング

近年、PDS70 という系で原始ガス惑星候補天体から、降着衝撃波由来と思われる $H\alpha$ 放射が検出された (論文[13]等)。観測結果の解釈においては原始星降着モデルが応用されており、降着モデルの一般性や原始星降着との類似・相違点が議論になっている。特に、原始ガス惑星の場合は周惑星系円盤表面にできる降着衝撃波も $H\alpha$ 源になりうるのではと議論があった。この考えの検証のため、我々は原始ガス惑星へのガス降着の流体シミュレーションを用いて考察した。その結果、 $H\alpha$ 放射に関しては円盤表面からの放射よりも惑星表面からの放射の方が卓越することが予想され、したがって観測された $H\alpha$ 放射スペクトルからは中心の惑星の情報を得られる可能性が高いことを示した (Takasao et al. 2021 ApJ [14])。

<参考文献>

- [1] “A Three-dimensional Simulation of a Magnetized Accretion Disk: Fast Funnel Accretion onto a Weakly Magnetized Star”, Shinsuke Takasao, Kengo Tomida, Kazunari Iwasaki, and Takeru K. Suzuki, *The Astrophysical Journal*, 857, 4 (2018)
- [2] “The Athena++ Adaptive Mesh Refinement Framework: Design and Magnetohydrodynamic Solvers”, James M. Stone et al., *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 249, 4 (2020)
- [3] “Evolution of Massive Protostars Via Disk Accretion”, Takashi Hosokawa, Harold W. Yorke, and Kazuyuki Omukai, *The Astrophysical Journal*, 721, 478 (2010)
- [4] “X-Ray Flares and Mass Outflows Driven by Magnetic Interaction between a Protostar and Its Surrounding Disk”, Mitsuru R. Hayashi, Kazunari Shibata, and Ryoji Matsumoto, *The Astrophysical Journal Letters*, 468L, 37 (1996)
- [5] “Giant Protostellar Flares: Accretion-driven Accumulation and Reconnection-driven Ejection of Magnetic Flux in Protostars”, Shinsuke Takasao, Kengo Tomida, Kazunari Iwasaki, and Takeru K. Suzuki, *The Astrophysical Journal Letters*, 878L, 10 (2019)
- [6] “A New HLLD Riemann Solver with Boris Correction for Reducing Alfvén Speed”, Tomoaki Matsumoto, Takahiro Miyoshi, and Shinsuke Takasao, *The Astrophysical Journal*, 874, 37 (2019)
- [7] “Transition Region from Turbulent to Dead Zone in Protoplanetary Disks: Local Shearing Box Simulations”, Fulvia Pucci et al. (4th author, Shinsuke Takasao), *The Astrophysical Journal*, 907, 13 (2021)
- [8] “A Necessary Condition for Supernova fallback Invading Newborn Neutron-star Magnetosphere”, Yici Zhong, Kazumi Kashiyama, Toshikazu Shigeeyama, and Shinsuke Takasao, *The Astrophysical Journal*, 917, 71 (2021)
- [9] “Spontaneous Formation of Outflows Powered by Rotating Magnetized Accretion Flows in a Galactic Center”, Shinsuke Takasao, Yuri Shuto, and Keiichi Wada, *The Astrophysical Journal*, 926, 50 (2022)
- [10] “Investigation of Coronal Properties of X-Ray Bright G-dwarf Stars Based on the Solar Surface Magnetic Field-Corona Relationship”, Shinsuke Takasao et al., *The Astrophysical Journal*, 901, 70 (2020)
- [11] “Corona and XUV emission modelling of the Sun and Sun-like stars”, Munehito Shoda and Shinsuke Takasao, *Astronomy & Astrophysics*, 656, A111 (2021)
- [12] “Comparative Study of Data-driven Solar Coronal Field Models Using a Flux Emergence Simulation as a Ground-truth Data Set”, Shin Toriumi, Shinsuke Takasao, et al., *The Astrophysical Journal*, 890, 103 (2020)
- [13] “Accretion Properties of PDS 70b with MUSE”, Jun Hashimoto et al. (5th author, Shinsuke Takasao), *The Astrophysical Journal*, 159, 222 (2020)
- [14] “Hydrodynamic Model of $H\alpha$ Emission from Accretion Shocks of a Proto-giant Planet and Circumplanetary Disk”, Shinsuke Takasao, Yuhiko Aoyama, and Masahiro Ikoma, *The Astrophysical Journal*, 921, 10 (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 3件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Takasao Shinsuke, Tomida Kengo, Iwasaki Kazunari, Suzuki Takeru K.	4. 巻 878
2. 論文標題 Giant Protostellar Flares: Accretion-driven Accumulation and Reconnection-driven Ejection of Magnetic Flux in Protostars	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L10 ~ L16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab22bb	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 Hashimoto Jun, Aoyama Yuhiko, Konishi Mihoko, Uyama Taichi, Takasao Shinsuke, Ikoma Masahiro, Tanigawa Takayuki	4. 巻 159
2. 論文標題 Accretion Properties of PDS 70b with MUSE	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 222 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab811e	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 Toriumi Shin, Takasao Shinsuke, Cheung Mark C. M., Jiang Chaowei, Guo Yang, Hayashi Keiji, Inoue Satoshi	4. 巻 890
2. 論文標題 Comparative Study of Data-driven Solar Coronal Field Models Using a Flux Emergence Simulation as a Ground-truth Data Set	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 103 ~ 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6b1f	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 Tomoaki Matsumo, Takahiro Miyoshi, Shinsuke Takasao	4. 巻 874
2. 論文標題 A New HLLD Riemann Solver with Boris Correction for Reducing Alfvén Speed	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 37-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab05cb	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 Takasao Shinsuke, Shuto Yuri, Wada Keiichi	4. 巻 926
2. 論文標題 Spontaneous Formation of Outflows Powered by Rotating Magnetized Accretion Flows in a Galactic Center	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 50 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac38a8	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 Shoda Munehito, Takasao Shinsuke	4. 巻 656
2. 論文標題 Corona and XUV emission modelling of the Sun and Sun-like stars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A111 ~ A111
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202141563	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 Takasao Shinsuke, Aoyama Yuhiko, Ikoma Masahiro	4. 巻 921
2. 論文標題 Hydrodynamic Model of H Emission from Accretion Shocks of a Proto-giant Planet and Circumplanetary Disk	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 10 ~ 10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0f7e	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 Zhong Yici, Kashiyama Kazumi, Shigeyama Toshikazu, Takasao Shinsuke	4. 巻 917
2. 論文標題 A Necessary Condition for Supernova fallback Invading Newborn Neutron-star Magnetosphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 71 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0a74	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 Pucci Fulvia, Tomida Kengo, Stone James, Takasao Shinsuke, Ji Hantao, Okamura Shoichi	4. 巻 907
2. 論文標題 Transition Region from Turbulent to Dead Zone in Protoplanetary Disks: Local Shearing Box Simulations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 13 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc9c0	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 Takasao Shinsuke, Mitsuishi Ikuyuki, Shimura Takuma, Yoshida Atsushi, Kunitomo Masanobu, Tanaka Yuki A., Ishihara Daisuke	4. 巻 901
2. 論文標題 Investigation of Coronal Properties of X-Ray Bright G-dwarf Stars Based on the Solar Surface Magnetic Field-Corona Relationship	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 70 ~ 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abad34	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 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 原始星・円盤相互作用モデルの現状
3. 学会等名 新学術領域「星惑星形成」2020年度大研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 Accretion processes just around protostars: roles of magnetic fields
3. 学会等名 初代星初代銀河研究会2020@仙台 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 3D MHD simulation of magnetospheric accretion onto a protostar
3. 学会等名 4th Asia Pacific Conference on Plasma Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 原始星における磁気圏降着構造の降着率依存性
3. 学会等名 CfCA ユーザーズミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 Magnetically Arrested Diskの発現条件に関する理論研究
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 高棹真介
2. 発表標題 3D MHD simulations of an accreting young star
3. 学会等名 Cool Stars 20.5 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 磁気圏降着を受ける原始星のスピンダウンについて
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 原始惑星系円盤内側領域の大域的な非理想磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 ポスト「京」萌芽的課題・計算惑星 第4回 公開シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 太陽と他の星の磁気活動を比較：原始星フレア、恒星コロナ
3. 学会等名 太陽研究者連絡会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 磁気圏降着を受ける原始星の3次元磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 CfCAユーザーズミーティング
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 Three-dimensional MHD Simulations of Accretion onto Magnetized Stars
3. 学会等名 Planet Formation Workshop 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 Numerical Investigation of the Accretion Process onto Protostars
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference (APPC (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 原始星の磁気圏降着に関する3次元磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 磁気圏を持つ中心星への降着に関する3次元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 高棹真介
2. 発表標題 原始星への降着に関する3次元磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 星・惑星形成再検討会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高棹真介
2. 発表標題 原始惑星系円盤の降着が駆動する原始星フレア
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 Shinsuke Takasao
2. 発表標題 3D MHD Simulations of Accreting Young Stars
3. 学会等名 Athena++ workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinsuke Takasao
2. 発表標題 Accretion structure of inner protoplanetary disks
3. 学会等名 MAX PLANCK PRINCETON CENTER WORKSHOP 2019 (国際学会)
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
---------	---------