

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 7 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15K05039

研究課題名(和文) 超高分解能3次元磁気流体シミュレーションによる大質量星形成過程の解明

研究課題名(英文) Theoretical Study of Massive Star Formation Using Three Dimensional High-resolution Magnetohydrodynamics Simulations

研究代表者

井上 剛志 (Inoue, Tsuyoshi)

名古屋大学・理学研究科・准教授

研究者番号：90531294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：質量が概ね太陽の10倍以上の大質量星は強烈な紫外光放射や、寿命の最後に迎える超新星爆発を通して銀河の進化に大きな影響を与える天文学的に極めて重要な天体であるが、何をきっかけとして形成されるのか未だ解明されていない。本研究では星形成の現場である分子雲のダイナミクスを磁気流体シミュレーションで再現することにより、大質量星が何をきっかけとして形成されるのかについて解明を目指した。その結果、分子雲衝突等で引き起こされる強い衝撃波が分子雲を圧縮することにより、高密度な大質量分子雲フィラメントが生成され、それが自己重力崩壊することで大質量星形成が始まることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

質量が概ね太陽の10倍以上の大質量星は強烈な紫外光放射や、寿命の最後に迎える超新星爆発を通して銀河の進化に大きな影響を与える天文学的に極めて重要な天体である。爆発後にはブラックホールなどの興味深い天体を残すことでも知られている。したがって、その起源を知ることは天文学的に極めて価値が高いと言える。本研究では現在の宇宙でどのように大質量星の形成が始まるのかを宇宙流体シミュレーションの手法で調べたが、そこで得られた知見を生かせば、今後は観測が難しい遠くで古い銀河でどのように大質量星が形成されていたのかについても研究していくことが可能になる。

研究成果の概要(英文)：Massive stars are astronomically very important because they influence the evolution of galaxy via their feedbacks due to strong UV radiations and supernova explosions when they die. However, it is still unclear how they are formed. In this study, using three-dimensional magnetohydrodynamics simulations, we examine how their formation is triggered in the molecular clouds where present stars are formed. We found that massive dense molecular gas filaments are formed when a molecular cloud is compressed by a strong shock wave. Such a strong shock wave is induced by e.g., cloud-cloud collision in the galaxy. The collapse of the massive filaments due to self-gravity can naturally start the massive star formation consistent with recent observations.

研究分野：理論天体物理学

キーワード：星形成 分子雲 磁気流体力学 衝撃波

1. 研究開始当初の背景

大質量星と呼ばれる質量が概ね太陽の 10 倍を超えるような恒星は、強烈な放射による電離領域の形成から、寿命の最後に迎える重力崩壊型超新星爆発や中性子星、ブラックホールの形成に関わる天文学的に極めて重要な天体でありながら、その形成シナリオやメカニズムに関してはほとんど理解されていない状態であった。観測および流体力学シミュレーションの進展によって、「大質量コア」と呼ばれる、通常分子雲コア(数密度 $\sim 10,000\text{ cm}^{-3}$, サイズ $\sim 0.1\text{ pc}$, 質量 $\sim 1\text{ Msun}$)に対して 100 倍以上の大質量で非常に高密度な分子雲コアが重力崩壊することによって大質量星が形成されることが示されていた(e.g., Krumholz et al. 2009)。

しかしながら良く知られているように、高密度な分子雲の典型的ジーンズ質量(自己重力不安定による分裂質量)は 1 太陽質量程度であり、「ジーンズ質量で 100 倍以上にもなる大質量コアを自己重力で分裂させること無くどのように形成するのか?」というようなごく基本的な物理的疑問にすら当時は答える術がなく、「とにかく大質量コアがあったとすれば大質量星を形成することは理論的に可能」という程度理解しか得られていない状態であった。

ところが当時、名古屋大学を中心とする日本の観測グループによって、分子雲同士の衝突が大質量星(大質量コア)形成の引き金となっていることが大質量星近傍の分子雲の詳細観測から次々と指摘されていた(Furukawa et al. 2009; Ohama et al. 2010; Torii et al. 2011; Fukui et al. 2014)。衝突している分子雲の質量は領域により様々であるが、いずれの場合も衝突速度は 20 km/s 以上(マッハ数で 100 以上)と非常に高速なのが際立った新しい特徴となっていた。

2. 研究の目的

前述のように大質量星の前駆体と考えられている大質量コアに関しては、天文学的に非常に重要でありながら、スタンダードな形成シナリオが提唱されていないフロンティアであり、観測グループと連携して理論と観測の両面から大質量星形成の解明に迫る新しいシナリオやメカニズムを提唱することは天文学的に極めて重要であると言える。研究代表者は最初の一步となる理論的研究成果を研究開始当初から発表していた(Inoue & Fukui, 2013, ApJ Letters)。この論文では上述の観測が示唆する新しい大質量星の形成条件である高速な分子雲衝突を、自己重力を考慮した 3 次元の等温磁気流体シミュレーションで再現した。過去の研究とは異なり、磁場の効果と現実的構造を持った分子雲(Inoue & Inutuska 2012)を考慮したことによって、衝突で発生した衝撃波圧縮領域で斜め衝撃波による流れの集中が起き、単なる平板状ではなく、より質量が集中したフィラメント状の高密度コアが形成されることが明らかとなった。このフィラメント状のコアは非常に強い磁場を帯びており、その磁気圧によって実効的なジーンズ質量を 200

太陽質量にも上げることができている。つまり、高速な衝突で素早く質量を一カ所に集中させ、かつ強い衝撃波圧縮による磁場増幅でその集中したガスが自己重力で分裂してしまうのを防いでいるのである。さらに面白いことに、シミュレーションが示唆するフィラメント状の大質量コアは、ごく最近の ALMA による超高分解能な大質量コアの観測からも示唆されており(Peretto et al. 2014)、研究代表者のシナリオは分子雲衝突が大質量コアの持つ見かけ上の構造を自然に再現する機構としてふさわしいものであることを示していた。

このように日本を起点とする観測と理論の両方からこれまで謎であった大質量星形成現場に関する新しいシナリオが生まれつつあった。本研究はこのシナリオをさらに進展させ、世界的にスタンダードな大質量星の形成機構として確立することを目的とした。

3 . 研究の方法

本研究では SFUMATO と呼ばれる適合格子計算シミュレーションコード(Matsumoto 2007)を用いることによって、先行研究では分解できなかったフィラメント状の大質量分子雲コアの形成から自己重力崩壊フェーズまでを一貫して追跡し、分子雲衝突現象が本当に大質量星形成を誘発可能であるのかどうかを確認した。分子雲衝突は物理素過程としては分子雲を強い磁気流体衝撃波で圧縮する過程であると言える。そこで大質量星を含めた星形成全般の普遍的初期条件となっている高密度分子雲フィラメントの形成機構を探るために、衝撃波強度や磁場強度、自己重力効果の有無を変化させた様々なシミュレーションを行い、星形成フィラメントの形成機構の詳細について研究を行った。また最後には、銀河の中で分子雲衝突よりも広域に発生し、大質量星団を形成すると考えられる中性水素ガスの衝突現象についてもシミュレーションを行い、(大質量)星団形成の開始機構についての研究も行った。

4 . 研究成果

当初の予定通り研究開始初期に SFUMATO コードの設定変更や境界条件改良等の習熟を行い、超高分解能シミュレーションが大規模並列計算機で実行できるようになった。途中で高マッハ数の等温磁気流体衝撃波の人工的な数値不安定性に悩まされ、数値計算が進行中に止まってしまう問題点があったが、磁気流体計算のスペシャリストであり、かつ星形成研究の第一人者である CEA Saclay(フランス)の P. Hennebelle 教授の研究室に滞在してコードのマイナー改変を行った。その結果、広いパラメーターレンジに対してシミュレーションを完遂することが可能になった。改良されたコードを用いて質量が約 500 太陽質量程度の現実的な乱流を伴った分子雲が衝撃波に圧縮される様子をシミュレートした。与えた分子雲の初期密度(水素分子)は約 1000 個/cc であり、初期に 20 マイクロガウスの強度をもつ一様磁場を加えた。衝撃波の速度を現実的な 10km/s に選んだ場合、過去に Inoue & Fukui (2013) で発見されたフィラメント状の高密度分子雲

が多数生成された。長時間の高分解能計算の結果、自己重力で束縛されるような大質量フィラメントはその重心に向かって大降着率(>0.0001 太陽質量/年)で崩壊することが明らかとなった。そのような崩壊する大質量フィラメントのデータを解析した結果、(i)崩壊直後の大質量フィラメントの線密度は 100 太陽質量/パーセク程度であり、典型的な中小質量星形成フィラメントの 5 倍以上大きい。(ii)磁場に貫かれた分子雲フィラメントの平衡解との比較から、得られた大質量フィラメントは主に磁場によるローレンツ力によって大質量になった。(iii)大質量フィラメントを可能にしている強い磁場は、分子雲が衝撃波に圧縮される際の増幅が起源となっていることが明らかとなった。この成果は「Publication of Astronomical Society of Japan」に Inoue, Hennebelle, Fukui et al.(2018)として掲載された。

次に分子雲が分子雲衝突や大質量星からのフィードバックを起源とする衝撃波によって圧縮を受けた際に衝撃波圧縮層でどのように高密度分子雲フィラメント(星形成直前段階の分子雲構造)が形成されるのかについての研究を行った。現実には発生し得る条件の範囲内で衝撃波強度や初期密度構造、初期乱流速度構造を変化させながらシミュレーションを繰り返した結果、分子雲フィラメントは以下の 3 つのメカニズムによって生成されることが明らかとなった。i) 衝撃波が強い場合(概ねマッハ数 20 以上)では Inoue & Fukui (2013)で提唱された爆縮機構によって大質量フィラメントが形成される。ii) 衝撃波が弱い場合(概ねマッハ数 20 以下)は分子雲に内在する乱流起源の圧縮によってフィラメントが形成される。iii) 衝撃波も乱流も弱い場合は衝撃波圧縮層が長時間かけて自己重力の作用で分裂することでフィラメントが形成される。これらの結果から、本研究課題で特に興味がある大質量星の形成過程としてはマッハ数が概ね 20 以上の強い衝撃波が必要であり、そのような天体現象としては分子雲衝突や巨大シェルによる分子雲の圧縮が示唆されることが明らかとなった。現在この成果を査読付き欧文誌へ投稿すべく論文を執筆中である。

さらに、大質量星団の形成を理解するために、近年観測的に注目されている中性水素ガス的高速衝突シミュレーションを行った。その結果、中性水素ガスが概ね 100km/s 程度の速度で衝突すると、衝撃波圧縮層の内部に高密度分子雲が生成され、それが自己重力で即座に崩壊することで大質量星団の母体となり得るような超高密度でコンパクトな星形成分子雲が形成されることが明らかとなった。これは大質量星団の起源として、銀河間相互作用による高速ガス流の生成が重要であることを示している。この成果に関しても現在を論文を執筆中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Jia-Wei, Lai Shih-Ping, Eswaraiah Chakali, et al.	4. 巻 876
2. 論文標題 JCMT BISTRO Survey: Magnetic Fields within the Hub-filament Structure in IC 5146	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 42 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab13a2	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 Liu Junhao, Qiu Keping, Berry David, et al.	4. 巻 877
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field in the Starless Core Ophiuchus C	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 43 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0958	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 Coude Simon, Bastien Pierre, Houde Martin, et al.	4. 巻 877
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The Magnetic Field of the Barnard 1 Star-forming Region	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 88 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1b23	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 Fukui Yasuo, Tokuda Kazuki, Saigo Kazuya, et al.	4. 巻 886
2. 論文標題 An ALMA View of Molecular Filaments in the Large Magellanic Cloud. I. The Formation of High-mass Stars and Pillars in the N159E-Papillon Nebula Triggered by a Cloud?Cloud Collision	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 14 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab4900	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 Tokuda Kazuki、Fukui Yasuo、Harada Ryohei、et al.	4. 巻 886
2. 論文標題 An ALMA View of Molecular Filaments in the Large Magellanic Cloud. II. An Early Stage of High-mass Star Formation Embedded at Colliding Clouds in N159W-South	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 15~15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab48ff	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 Iwasaki, Kazunari; Tomida, Kengo; Inoue, Tsuyoshi; Inutsuka, Shu-ichiro	4. 巻 873
2. 論文標題 The Early Stage of Molecular Cloud Formation by Compression of Two-phase Atomic Gases	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 21-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab02ff	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 Inoue, Tsuyoshi	4. 巻 872
2. 論文標題 Bell-instability-mediated Spectral Modulation of Hadronic Gamma-Rays from a Supernova Remnant Interacting with a Molecular Cloud	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 46-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aafb70	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 Tsuge, Kisetsu; Sano, Hidetoshi; Tachihara, Kengo; Yozin, Cameron; Bekki, Kenji; Inoue, Tsuyoshi; Mizuno, Norikazu; Kawamura, Akiko; Onishi, Toshikazu; Fukui, Yasuo	4. 巻 871
2. 論文標題 Formation of the Active Star-forming Region LHA 120-N 44 Triggered by Tidally Driven Colliding H I Flows	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 44-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaf4fb	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 Arzoumanian, Doris; Shimajiri, Yoshito; Inutsuka, Shu-ichiro; Inoue, Tsuyoshi; Tachihara, Kengo	4. 巻 70
2. 論文標題 Molecular filament formation and filament-cloud interaction: Hints from Nobeyama 45 m telescope observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 (96-1)-(96-16)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pasj/psy095	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 Yamane, Y.; Sano, H.; van Loon, J. Th. et al.	4. 巻 863
2. 論文標題 ALMA Observations of Supernova Remnant N49 in the LMC. I. Discovery of CO Clumps Associated with X-Ray and Radio Continuum Shells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 55-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aacfff	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 Tokuda, Kazuki; Onishi, Toshikazu; Saigo, Kazuya; Matsumoto, Tomoaki; Inoue, Tsuyoshi; Inutsuka, Shu-ichiro; Fukui, Yasuo; Machida, Masahiro N.; Tomida, Kengo; Hosokawa, Takashi; Kawamura, Akiko; Tachihara, Kengo	4. 巻 862
2. 論文標題 Warm CO Gas Generated by Possible Turbulent Shocks in a Low-mass Star-forming Dense Core in Taurus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 8-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac898	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 Fukui, Yasuo; Hayakawa, Takahiro; Inoue, Tsuyoshi; Torii, Kazufumi; Okamoto, Ryuji; Tachihara, Kengo; Onishi, Toshikazu; Hayashi, Katsuhiro	4. 巻 860
2. 論文標題 Synthetic Observations of 21 cm H I Line Profiles from Inhomogeneous Turbulent Interstellar H I Gas with Magnetic Fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 33-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aac16c	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 Inoue, Tsuyoshi; Hennebelle, Patrick; Fukui, Yasuo; Matsumoto, Tomoaki; Iwasaki, Kazunari; Inutsuka, Shu-ichiro	4. 巻 70
2. 論文標題 The formation of massive molecular filaments and massive stars triggered by a magnetohydrodynamic shock wave	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S53-1, S53-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pasj/psx089	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 Ohama, Akio; Kohno, Mikito; Hasegawa, Keisuke; Torii, Kazufumi; Nishimura, Atsushi; Hattori, Yusuke; Hayakawa, Takahiro; Inoue, Tsuyoshi; Sano, Hidetoshi; Yamamoto, Hiroaki; Tachihara, Kengo; Fukui, Yasuo	4. 巻 70
2. 論文標題 The formation of a Spitzer bubble RCW 79 triggered by a cloud-cloud collision	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S45-1, S45-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pasj/psy025	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 Ward-Thompson, Derek et al.	4. 巻 842
2. 論文標題 First Results from BISTRO: A SCUBA-2 Polarimeter Survey of the Gould Belt	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 66-76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa70a0	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 Fukui, Yasuo; Tsuge, Kiyohito; Sano, Hidetoshi; Bekki, Kenji; Yozin, Cameron; Tachihara, Kengo; Inoue, Tsuyoshi	4. 巻 69
2. 論文標題 Formation of the young massive cluster R136 triggered by tidally-driven colliding HI flows	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 L5-1-L5-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pasj/psx032	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 Umemoto, Tomofumi et al.	4. 巻 69
2. 論文標題 FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45 m telescope (FUGIN). I. Project overview and initial results	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 78-1-78-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/pasj/psx061	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 Inoue, Tsuyoshi & Inutsuka, Shu-ichiro	4. 巻 833
2. 論文標題 Formation of HI Clouds in Shock-compressed Interstellar Medium: Physical Origin of Angular Correlation between Filamentary Structure and Magnetic Field	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 10-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/833/1/10	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 Saigo, Kazuya; Onishi, Toshikazu; Nayak, Omnarayani et al.	4. 巻 835
2. 論文標題 Kinematic Structure of Molecular Gas around High-mass YSO, Papillon Nebula, in N159 East in the Large Magellanic Cloud: A New Perspective with ALMA	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 108-119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/835/1/108	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 Takamoto, M., Inoue, T., & Lazarian, A.	4. 巻 815
2. 論文標題 TURBULENT RECONNECTION IN RELATIVISTIC PLASMAS AND EFFECTS OF COMPRESSIBILITY	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 16-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/815/1/16	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23件（うち招待講演 15件 / うち国際学会 11件）

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 The Formation of Massive Magnetized Filaments and Massive Stars by a Cloud-cloud Collision
3. 学会等名 Star Formation Triggered by Cloud-Cloud Collision (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 Bell-Instability-Mediated Spectral Modulation of Hadronic Gamma Rays from a Supernova Remnant Interacting with Molecular Cloud
3. 学会等名 SNR Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 Bell-Instability-Mediated Spectral Modulation of Hadronic Gamma Rays from a Supernova Remnant Interacting with Molecular Cloud
3. 学会等名 EANAM 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 The Formation of Massive Molecular Filaments and Massive Stars Triggered by a MHD Shock Wave
3. 学会等名 Interstellar Filament Paradigm: On Their Formation, Evolution, and Role in Star Formation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 星間媒質のダイナミクスと星形成
3. 学会等名 第31回理論懇シンポジウム 「宇宙物理の標準理論：未来へ向けての再考」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 Bell不安定性による超新星残骸と相互作用する分子雲からのガンマ線放射スペクトルの変調
3. 学会等名 国立天文台天文シミュレーションプロジェクトユーザーズミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 Turbulent Magnetic Field and High-energy Emissions from Young Supernova Remnants
3. 学会等名 AAPPS-DPP 2017（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 星間媒質の動的進化
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会：企画セッション「マゼラン雲で探る星・星間物質の進化」（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 現代の星形成と星間媒質進化
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会2017 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 フィラメント状原子雲、分子雲の形成と磁場
3. 学会等名 国立天文台研究集会：星形成と銀河構造における磁場の役割 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 分子雲の形成、進化と乱流
3. 学会等名 Star formation with ALMA: Evolution from dense cores to protostars (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 分子雲衝突による大質量星の形成機構
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inoue, Tsuyoshi
2. 発表標題 Turbulent Magnetic Field and High-energy Emissions from Young Supernova Remnants
3. 学会等名 Mini-Workshop on Plasma Turbulence in Heliospheric, Astrophysical, and Experimental Plasmas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inoue, Tsuyoshi
2. 発表標題 Supernova Shock Propagation in Realistic Interstellar Medium
3. 学会等名 APPC-AIP Congress 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Inoue, Tsuyoshi
2. 発表標題 Effects of realistic ISM structure on the dynamics of supernova remnants
3. 学会等名 The 7th East Asia Numerical Astrophysics Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Dynamical evolution of atomic interstellar medium induced by shock wave
2. 発表標題 Inoue, Tsuyoshi
3. 学会等名 Interstellar Hydrogen Workshop 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 HI雲および分子雲の構造と磁場の相関
3. 学会等名 第6回DTAシンポジウム: 星形成を軸に俯瞰する磁場の役割とその観測的検証
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井上剛志
2. 発表標題 フィラメント状中性水素雲と星間磁場方向の強い相関の起源
3. 学会等名 日本天文学会2016年秋季年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 Magnetohydrodynamic Simulation of Supernova Shock Wave in Realistic Interstellar Medium
3. 学会等名 The 1st Conference on Laser Energetics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Tsuyoshi Inoue
2. 発表標題 MHD Simulations of Massive Star Formation Triggered by Cloud Collision
3. 学会等名 Star Formation 2015 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 井上 剛志
2. 発表標題 Massive Star Formation Triggered by Strong Shock Wave
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2015 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 井上 剛志
2. 発表標題 RXJ1713.7-3946物語
3. 学会等名 宇宙電波懇談会シンポジウム2015 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 井上 剛志
2. 発表標題 星間媒質進化と磁場
3. 学会等名 セミナー型ALMAワークショップ (招待講演)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

井上剛志のwebページ
<http://www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~inouety/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----