

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02160

研究課題名(和文) 磁気乱流と宇宙線が卓越する星間媒質の宇宙物理学

研究課題名(英文) Astrophysics of Interstellar Medium Dominated by Magnetic Turbulence and Cosmic Rays

研究代表者

犬塚 修一郎 (INUTSUKA, SHUICHIRO)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：80270453

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,600,000円

研究成果の概要(和文)：銀河系円盤部の中小質量の星形成過程を記述するフィラメントパラダイムをさらに発展させ、分子雲コアの質量関数と角運動量分布の起源を理論的に解明した。また、ハーシェル宇宙望遠鏡によるサーベイ観測データを解析して、大質量星を含む星団の形成領域をHub-Filament Systemとして同定し、大質量星の形成を可能とする高柱密度ガスが大量に存在する領域の形成・進化シナリオを提案した。一方、銀河円盤部の宇宙線エネルギー密度が現在推定されている値(1eV/cc)程度になると、銀河面から継続的にガスの放出が起こることを見出した。つまり、現在の星形成率程度を長時間維持するフィードバック機構を見つけた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、銀河系円盤部の星形成過程を説明するフィラメントパラダイムをさらに発展させて、銀河系における星形成活動を統一的に理解することができるようになってきた。これは、生まれたての星の周りで起こる惑星形成過程を研究する上での土台となる。約46億年前に生まれた太陽系の起源を理解するためには、46億年前の銀河系の環境を理解することが必要であり、本研究はそのための第一歩となることが期待される。

研究成果の概要(英文)： We developed "Filament Paradigm" for low-mass star formation in the Galactic Disk and explained the origin of the mass function and angular momentum distribution of molecular cloud cores. We proposed evolutionary scenario of "Hub-Filament Systems" that are expected to be essential sites of the formation of massive stars and star clusters in our Galaxy according to the survey data of Herschel Space Telescope.

We also analyzed the galactic wind driven by cosmic rays and magnetic field and found that cosmic ray energy density on the order of 1eV/cc is a threshold for active wind. Thus, if the star formation rate is much larger than the current rate, the Galactic disk lose gaseous component, which act as a negative feedback mechanism and reduces the star formation rate. This may explain the currently observed level of star formation in the Galactic Disk.

研究分野：理論天文学

キーワード：星形成 星間媒質 宇宙線 惑星形成 星間磁場 分子雲 原始惑星系円盤 星団

1. 研究開始当初の背景

星間媒質の進化は星形成により駆動されるはずであるが、その研究の歴史は古く広範な内容を含むため、統一的な研究よりは細分化した現象論に分化しており、現在のその歩みが限定的になっている分野もある。この状況は 1995 年の太陽系外惑星の発見以降、急速に発展している系外惑星科学とは対照的である。実際、世界的に見ても、それまで星形成過程を研究していた多くの研究者や他分野の科学者が系外惑星科学の研究に参入して研究者人口は増加し、多様な惑星系の研究は活発である。さらに太陽系のみを対象としてきた惑星科学にも大きな多様性の扉を開いた。近年は宇宙の生命現象を天文学的手法で探査するという全く新しい領域(Astrobiology)の開拓にもつながっている。しかし、この学際分野は天文学・宇宙物理学の枠を大きく超えただけでなく、重厚な基盤を持つ物理学・天文学の基礎科学から乖離している面もある。そのため、天文学・宇宙物理学に立ち戻って太陽系や多様な惑星系の真の起源・歴史を解明することで、勃興する系外惑星科学・宇宙生物学の流れに天文学・宇宙物理学に根づく基礎科学としての基盤を与えることが必要である。そのためには、太陽系が誕生した 46 億年前の環境を知ることが必須であり、それには銀河が誕生してから今までの時間スケール(～百億年)の星間媒質の進化を理解することが必要である。星形成活動により駆動される銀河の進化を理解するには、星形成の現場である低温高密度の分子雲の相だけを見てはいけない。なぜなら、高温低密度ガスの中で分子雲は絶えず生まれては消失しており、それを駆動しているのは大質量星の活動に起因する動的な圧縮過程や乱流であるからである。さらに、その現象には常に星間磁場の増幅や高エネルギー粒子加速現象が伴っている。これら磁場や高エネルギー宇宙線による電離は、巡りめぐって、惑星形成の舞台である原始惑星系円盤の進化や星形成を支配している。つまり太陽系の起源論は銀河進化を支配する星間媒質の宇宙物理学から切り離すことはできないのである。銀河進化を理解することは宇宙の進化を理解することでもあるため、星間媒質の宇宙物理学は現代天文学において重要な中心課題である。

2. 研究の目的

太陽系近傍の銀河系円盤部の星形成論をさらに発展させ、銀河系スケールでの星団形成活動を解明することで、銀河系の動的な進化の描像を確立する。幾何学的に薄い銀河円盤の体積の大部分を占めるのは温度数千度程度の弱電離ガスであり、それは亜音速乱流状態にある。そのダイナミクスを駆動する大質量星による電離領域の膨張や超新星爆発による星間媒質の衝撃波圧縮作用では、低温高密度ガス雲形成過程のみならず、星間磁場増幅や高エネルギー宇宙線粒子加速・拡散も引き起こされる。本研究では星間媒質で重要となる物理的素過程を徹底的に調べる。これは銀河系の長い時間スケールにおける星形成活動と銀河進化を理解することにつながる。さらに、星間媒質のエネルギー等分配則の起源を解き明かす。最終的に、高エネルギー宇宙線物理学から星・惑星形成論、宇宙の進化論までの広範な科学の土台となる星間媒質論の包括的枠組みの構築を目指す。

3. 研究の方法

銀河円盤の体積の大部分を占めるのは温度が数千度程度で亜音速乱流状態の弱電離ガスである。その中で、大質量星による電離領域の膨張や超新星爆発による星間媒質の衝撃波圧縮により低温高密度ガス雲が形成される。その物理過程を詳しく調べ、外圧・磁場強度・輻射強度への依存性を理解する。多様な環境を含む銀河系スケールでの星団形成活動を解明し、銀河系の動的な進化の描像を確立することを目指す。また、星間媒質中での乱流の維持・散逸、星間磁場強度増幅や高エネルギー粒

子加速・拡散を解析する。さらに銀河系の宇宙線の2次加速・拡散などの物理的素過程を調べる。そして数百万年の長時間スケールで平均化するという粗視化により定義される星間媒質の準平衡状態の理論を構築することを目指す。これは密接に相互作用する星間媒質を包括的に記述することであり、銀河系の進化を理解することである。そのためには、これまでの理論的研究で培ってきたすべての理論解析手法が必要であり、研究協力者が具体的な計算プログラミングと数値シミュレーションを担当する。

星団形成過程とその母天体である巨大分子雲の破壊・散逸の研究を続け、銀河系円盤部で一般的に適用可能な理論の構築を目指し、それを環境が大きく異なる銀河中心部などへ応用する。さらに、星形成に引き続き起こる惑星形成過程に関する種々の未解決問題についても、これまでの理論的研究の蓄積を応用して迫る。これらの研究により、星と惑星の形成論を発展させて、包括的な星間媒質論の土台を構築することを目指す。

4. 研究成果（主なものに限定する）

(1) 分子雲コアの角運動量の起源の解明

これまでに実績のある小質量形成のフィラメントパラダイム(Inutsuka+2015)をさらに発展させた。星の初期質量関数の起源となる分子雲コアの質量関数の時間発展を記述する理論を発展させて、分子雲コアの回転運動の起源について研究した。その結果、フィラメント状分子雲のガス素片の重心速度揺らぎ分布が亜音速コルモゴロフ則であれば、観測されている分子雲コアの回転運動の大きさ分布を説明することを明らかにした(Misugi+2019)。仮定した重心速度揺らぎ分布は、牡牛座分子雲の実際のフィラメント状分子雲で観測されているものであり、理論と観測は整合的である。これは分子雲コアの質量関数を説明する亜音速コルモゴロフ則に従う揺らぎ分布が分子雲コアの獲得する角運動量分布をも説明することを意味するので、理論の大きな成功と言える。

(2) 大質量星と星団の形成過程の新しいシナリオの提案

ハーシェル宇宙望遠鏡による銀河系内巨大分子雲のサーベイ観測データを統一的に解析して、大質量星を含む星団の形成の現場と考えられる高柱密度ガスが大量に存在する星形成領域を Hub-Filament System として同定し、その進化シナリオを提案した(Kumar+2020)。

太陽系近傍のすべての星形成領域では、フィラメント状分子雲において小質量星が形成されていることが分かっていたが、このシナリオではそれらフィラメント状分子雲が合体することで高密度ガス領域を形成し、フィラメント状分子雲における星形成の延長として大質量星を形成するという考えに基づいている。このことは大きな質量のガス塊を形成するメカニズムを与えるだけでなく、太陽質量よりも小さい質量の星から太陽質量の十倍以上の質量の星まで滑らかに伸びる初期質量関数の特徴を説明することに特徴がある。現在は、そのような Hub-Filament System の回転や内部磁場構造についての研究に発展しつつあり、現在の星形成研究の潮流の一つを成している。この研究は、一見バラエティーに富む多様な銀河円盤部の星形成過程が実はフィラメント状分子雲のダイナミクスとして統一的に理解されるということが重要である。

(3) 銀河中心領域の星形成過程の研究

研究対象は銀河系中心部の分子雲にも広げられた。空間解像度の低い観測によると、銀河系中心部では星形成率が銀河円盤部の 10%程度であると見積もられている。この低い星形成率の原因を理論的に議論し、理論を検証するための方法を論じた(Inutsuka 2021)。また、電波干渉計 ALMA を用いた高空間分解能観測により、低い星形成率に反して、局所的な星形成活動は小質量星しか形成されていない太陽系近傍の星形成過程の特徴と一致していることを突き止めた(Lu+2021)。我々は銀河系円盤部の星形成活動を記述する理論を拡張して銀河系中心部の星形成活動が理解できると考えている(Inutsuka 2021)が、この観測はその可能性を強く支持するものである。これにより、銀河系における星

形成活動に対する我々の理解は大いに進んだと言える。

(4) 銀河系円盤部と銀河ハローをつなぐ宇宙線駆動の銀河風の解析

星間媒質のダイナミクスにおける宇宙線の寄与についての研究は、雇用した博士研究員との共同研究の形で進めることができた。その結果、銀河円盤部の宇宙線エネルギー密度が現在推定されている値($\sim 1\text{eV/cc}$)程度になると、銀河面から継続的にガスの放出が起こることを突き止めた(Shimoda & Inutsuka 2021)。つまり、長い時間スケール(億年程度)で星形成活動が活発になり、銀河面での超新星爆発率が上がり、加速された宇宙線エネルギー密度が現在の値程度になると、重元素を含むガスを銀河ハローに送り出し、円盤面内のガスを減らすことで星形成率を下げる、という負のフィードバックがかかることになる。我々は、これが銀河円盤内の星間媒質のエネルギー等分配則の起源だと考えている。

(5) 原始惑星系円盤における新しい微惑星形成メカニズムの提唱

地球のような固体惑星の形成過程の研究における大きな未解決問題は、その前駆体と考えられる微惑星の形成過程が分かっていないことである。新たな微惑星形成メカニズムとして、永年重力不安定性 (Secular Gravitational Instability) を詳しく解析した(Takahashi & Inutsuka 2014, 2016, Tominaga et al. 2018, 2019)。その結果、ガス円盤内の乱流強度が弱く、固体微粒子(ダスト)がある程度($\sim 100\ \mu\text{m}$)成長していれば、中心星からの離れた場所でも微惑星を早い段階で形成する可能性があることを見出した。また、この永年重力不安定性を起こす条件に達成するための、前段階の物理過程として、ダスト粒子の合体成長に伴う流体力学的不安定性を発見し、Coagulation Instability と名付けた(Tominaga et al. 2021)。これにより、星間空間に存在する $0.1\ \mu\text{m}$ のダストから微惑星につながる一連のシナリオを提供することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計34件（うち査読付論文 33件 / うち国際共著 14件 / うちオープンアクセス 4件）

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 (10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Kobayashi Masato I N, Kobayashi Hiroshi, Inutsuka Shu-ichiro, Fukui Yasuo	4. 巻 70
2. 論文標題 Star formation induced by cloud?cloud collisions and galactic giant molecular cloud evolution	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 S59 (13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy018	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 Stamer Torsten, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 155
2. 論文標題 A Fast and Accurate Method of Radiation Hydrodynamics Calculation in Spherical Symmetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 253 ~ 253
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aac023	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 Stamatellos Dimitris, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 477
2. 論文標題 The diverse lives of massive protoplanets in self-gravitating discs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3110 ~ 3135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty827	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 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 (16)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Tsukamoto Y., Okuzumi S., Iwasaki K., Machida M. N., Inutsuka S.	4. 巻 868
2. 論文標題 Does Misalignment between Magnetic Field and Angular Momentum Enhance or Suppress Circumstellar Disk Formation?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 22 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aae4dc	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 Sugiura K., Kobayashi H., Inutsuka S.	4. 巻 620
2. 論文標題 Toward understanding the origin of asteroid geometries	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A167 ~ A167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201833227	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 Stamer Torsten, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 869
2. 論文標題 Radiation-hydrodynamic Simulations of Spherical Protostellar Collapse for Very Low-mass Objects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 179 ~ 179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aeee81	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 Shadmehri Mohsen, Khajenabi Fazeleh, Dib Sami, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 481
2. 論文標題 Properties of an accretion disc with a power-law stress?pressure relationship	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5170 ~ 5179
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2656	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 Kurosaki Kenji, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 157
2. 論文標題 The Exchange of Mass and Angular Momentum in the Impact Event of Ice Giant Planets: Implications for the Origin of Uranus	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical 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) 10.3847/1538-3881/aaf165	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 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 6 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Hennebelle Patrick, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 6
2. 論文標題 The Role of Magnetic Field in Molecular Cloud Formation and Evolution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Astronomy and Space Sciences	6. 最初と最後の頁 5 (30)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fspas.2019.00005	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 Matsumoto Tomoaki, Machida Masahiro N., Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 839
2. 論文標題 Circumstellar Disks and Outflows in Turbulent Molecular Cloud Cores: Possible Formation Mechanism for Misaligned Systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 69 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa6a1c	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 Ishihara Daisuke, Takeuchi Nami, Kobayashi Hiroshi, Nagayama Takahiro, Kaneda Hidehiro, Inutsuka Shu-ichiro, Fujiwara Hideaki, Onaka Takashi	4. 巻 601
2. 論文標題 Faint warm debris disks around nearby bright stars explored by AKARI and IRSF	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A72 ~ A72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201526215	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 Tang Ya-Wen, Guilloteau Stephane, Dutrey Anne, Muto Takayuki, Shen Bo-Ting, Gu Pin-Gao, Inutsuka Shu-ichiro, Momose Munetake, Pietu Vincent, Fukagawa Misato, Chapillon Edwige, Ho Paul T. P., Folco Emmanuel di, Corder Stuartt, Ohashi Nagayoshi, Hashimoto Jun	4. 巻 840
2. 論文標題 Planet Formation in AB Aurigae: Imaging of the Inner Gaseous Spirals Observed inside the Dust Cavity	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 32 ~ 32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa6af7	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 Matsumoto Tomoaki, Tokuda Kazuki, Onishi Toshikazu, Inutsuka Shu-ichiro, Saigo Kazuya, Takakuwa Shigehisa	4. 巻 837
2. 論文標題 Theoretical Models of Protostellar Binary and Multiple Systems with AMR Simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012009 ~ 012009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/837/1/012009	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, Pattle Kate, Bastien Pierre 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 ~ 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 Herczeg Gregory J., Johnstone Doug, Mairs Steve et al.	4. 巻 849
2. 論文標題 How Do Stars Gain Their Mass? A JCMT/SCUBA-2 Transient Survey of Protostars in Nearby Star-forming Regions	5. 発行年 2017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/aa8b62	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 Mori Shoji, Muranushi Takayuki, Okuzumi Satoshi, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 849
2. 論文標題 Electron Heating and Saturation of Self-regulating Magnetorotational Instability in Protoplanetary Disks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 86 ~ 86
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8e42	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, Hosokawa Takashi, Matsumoto Tomoaki, Inutsuka Shu-ichiro, Machida Masahiro N., Tomida Kengo, Kunitomo Masanobu, Kawamura Akiko, Fukui Yasuo, Tachihara Kengo	4. 巻 849
2. 論文標題 A Detached Protostellar Disk around a $\sim 0.2 M_{\odot}$ Protostar in a Possible Site of a Multiple Star Formation in a Dynamical Environment in Taurus	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 101 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8e9e	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 Tsukamoto Yusuke, Okuzumi Satoshi, Iwasaki Kazunari, Machida Masahiro N., Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 69
2. 論文標題 The impact of the Hall effect during cloud core collapse: Implications for circumstellar disk evolution	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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx113	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 Tominaga Ryosuke T, Inutsuka Shu-ichiro, Takahashi Sanemichi Z	4. 巻 70
2. 論文標題 Non-linear development of secular gravitational instability in protoplanetary disks	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 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx143	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 Miyake Tomoya, Suzuki Takeru K., Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 821
2. 論文標題 DUST DYNAMICS IN PROTOPLANETARY DISK WINDS DRIVEN BY MAGNETOROTATIONAL TURBULENCE: A MECHANISM FOR FLOATING DUST GRAINS WITH CHARACTERISTIC SIZES	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 3(8)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/821/1/3	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 Kimura Shigeo S., Toma Kenji, Suzuki Takeru K., Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 822
2. 論文標題 STOCHASTIC PARTICLE ACCELERATION IN TURBULENCE GENERATED BY MAGNETOROTATIONAL INSTABILITY	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 88(11)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/822/2/88	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 Takahashi S. Z., Tsukamoto Y., Inutsuka S.	4. 巻 458
2. 論文標題 A revised condition for self-gravitational fragmentation of protoplanetary discs	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3597 ~ 3612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stw557	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 Tokuda Kazuki, Onishi Toshikazu, Matsumoto Tomoaki, Saigo Kazuya, Kawamura Akiko, Fukui Yasuo, Inutsuka Shu-ichiro, Machida Masahiro N., Tomida Kengo, Tachihara Kengo, Andr? Philippe	4. 巻 826
2. 論文標題 REVEALING A DETAILED MASS DISTRIBUTION OF A HIGH-DENSITY CORE MC27/L1521F IN TAURUS WITH ALMA	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26(10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/826/1/26	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 Helling Christiane, Harrison R. Giles, Honary Farideh, Diver Declan A., Aplin Karen, Dobbs-Dixon Ian, Ebert Ute, Inutsuka Shu-ichiro, Gordillo-Vazquez Francisco J., Littlefair Stuart	4. 巻 37
2. 論文標題 Atmospheric Electrification in Dusty, Reactive Gases in the Solar System and Beyond	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Surveys in Geophysics	6. 最初と最後の頁 705 ~ 756
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10712-016-9361-7	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 Takahashi Sanemichi Z., Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 152
2. 論文標題 AN ORIGIN OF MULTIPLE RING STRUCTURE AND HIDDEN PLANETS IN HL TAU: A UNIFIED PICTURE BY SECULAR GRAVITATIONAL INSTABILITY	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 184 ~ 184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-6256/152/6/184	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、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(10)
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 Takahashi Sanemichi Z.、Tomida Kengo、Machida Masahiro N.、Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 463
2. 論文標題 The origin of rotation profiles in star-forming clouds	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1390 ~ 1399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stw1994	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 Machida Masahiro N.、Matsumoto Tomoaki、Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 463
2. 論文標題 Conditions for circumstellar disc formation II. Effects of initial cloud stability and mass accretion rate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4246 ~ 4267
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stw2256	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 Shu-ichiro Inutsuka	4. 巻 88
2. 論文標題 An origin of accelerating star formation. A reply to Palla & Stahler (2000)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Memorie della Societa Astronomica Italiana	6. 最初と最後の頁 554-556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Kobayashi Masato I. N., Inutsuka Shu-ichiro, Kobayashi Hiroshi, Hasegawa Kenji	4. 巻 836
2. 論文標題 Evolutionary Description of Giant Molecular Cloud Mass Functions on Galactic Disks	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 175(16)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/836/2/175	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 Sugiura Keisuke, Inutsuka Shu-ichiro	4. 巻 333
2. 論文標題 An extension of Godunov SPH II: Application to elastic dynamics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Computational Physics	6. 最初と最後の頁 78 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcp.2016.12.026	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20件 (うち招待講演 15件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The Formation and Early Evolution of Protoplanetary Disks
3. 学会等名 From Prestellar Cores to Solar Nebulae (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Review on the role of magnetic field in the formation and evolution of filamentary molecular clouds
3. 学会等名 Magnetic fields along the star-formation sequence: bridging polarization-sensitive views (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The formation and evolution of filamentary molecular clouds and star formation
3. 学会等名 The Wonders of Star Formation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 An Origin of Multiple Rings in Protoplanetary Disks: Non-Linear Development of Secular Gravitational Instability in Protoplanetary Disks
3. 学会等名 The Eighth East Asian Numerical Astrophysics Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The Formation of Magnetized Molecular Clouds and Subsequent Star Formation
3. 学会等名 First TagKASI International Conference: "Cosmic Dust and Magnetism" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The Study of Star Formation with ALMA
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The formation and destruction of molecular clouds and Galactic star formation
3. 学会等名 Multi-Scale Star Formation (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Phase Transition Dynamics of ISM: The Formation of Molecular Clouds and Galactic Star Formation
3. 学会等名 Phase Transitions in Astrophysics, from ISM to Planets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 A reply to Palla & Stahler 2000: An origin of accelerating star formation
3. 学会等名 Francesco's Legacy: Star Formation in Space and Time (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Toward Galactic View of Star Formation
3. 学会等名 The 13th Asian-Pacific Regional IAU Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 犬塚修一郎
2. 発表標題 銀河系円盤部の星形成活動における磁場の役割
3. 学会等名 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 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Plasma physics in the formation of stars and planets
3. 学会等名 18th International Congress on Plasma Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Toward Galactic View of Star Formation
3. 学会等名 STAR FORMATION IN DIFFERENT ENVIRONMENTS (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Phase Transition Dynamics of ISM: A Unified Picture of Galactic Star Formation
3. 学会等名 The Milky Way and its environment: gaining insights into the drivers of galaxy formation and evolution (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 Filaments, Shells, and Bubbles: Toward Galactic View of Star Formation
3. 学会等名 VIALACTEA 2016 - The Milky Way as a Star Formation Engine (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 The formation of protoplanetary disks
3. 学会等名 Star and planet formation workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 犬塚修一郎
2. 発表標題 星形成：自己重力的動力学への遷移過程の理解と銀河進化・惑星形成の研究に向けて
3. 学会等名 第29回理論懇シンポジウム「重力が織りなす宇宙の諸階層」(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 犬塚修一郎
2. 発表標題 磁場が支配する銀河系円盤部の星形成
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(招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shu-ichiro Inutsuka
2. 発表標題 An Integrated Theory of Star Formation in Disk Galaxies
3. 学会等名 近傍銀河の分子ガスの大規模撮像観測が拓く星間物質と星生成の研究に関する新展開（招待講演）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 犬塚修一郎
2. 発表標題 銀河における分子雲進化と星形成の描像
3. 学会等名 ALMA Workshop 近傍銀河 M83 2017（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>犬塚修一郎のホームページ http://www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~inutsuka/index_j.html 新学術領域研究「新しい星形成理論によるパラダイムシフト」 http://star-planet.jp/ Protostars and Planets VII http://ppvii.org/ 星・惑星形成ゼミ https://sites.google.com/view/spfseminar/home 犬塚修一郎のホームページ http://www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~inutsuka/index_j.html 犬塚修一郎の論文リスト www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~inutsuka/Papers/index_j.html Shu-ichiro Inutsuka - Publication Lists www.astro-th.phys.nagoya-u.ac.jp/~inutsuka/Papers/</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1件

国際研究集会 Interstellar filament paradigm: On their formation, evolution, and role in star formation	開催年 2018年～2018年
---	--------------------

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