

令和 4 年 4 月 15 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03713

研究課題名(和文)電波望遠鏡を用いた惑星系形成後期過程の観測的研究

研究課題名(英文)Observations toward the late stage of planetary system formation by using radio telescopes

研究代表者

樋口 あや(Higuchi, Aya)

東京電機大学・理工学部・助教

研究者番号：00648214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：大型望遠鏡による観測研究が進み、惑星系形成の最終段階だと考えられている「デブリ円盤」には、ほとんどないと考えられてきた「ガス成分」が多くの天体で発見され、その起源が注目されてきた。本研究では、デブリ円盤のガスの組成に着目し、その起源が、形成過程で残存されたものであるのか、あるいは塵からの2次的供給であるのかを探ることを目的とした。我々は、ALMA望遠鏡を用いてデブリ円盤内のガスの分布を明らかにし、さらに炭素の希少同位体を世界で初めて検出した。これらの結果は、ガスの残存説を支持し、デブリ円盤のガスに関する観測研究を大きく進展させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、太陽系内の惑星系形成過程に迫る重要なテーマであり、デブリ円盤のガスの組成とその散逸過程の理解をすることで、惑星大気の違いに関する観測的知見、固体惑星やガス惑星が形成される環境の違いなどの理解が進むであろう。このことは、太陽系内の他の惑星と地球環境の違いの理解や、地球の大気組成の理解などの研究にもインパクトを与えると期待される。

研究成果の概要(英文)：Debris disks are circumstellar dust components around main-sequence stars and are crucial to our understanding of the formation of planetary bodies, such as planets, comets, and asteroids. Recently, gas components have been detected from several debris disks. In our study, atomic carbon has been detected and resolved, and the submillimeter-wave fine-structure transition of ^{13}C has been detected with ALMA. These results led by our group are great discoveries about the origin of gas in this field.

研究分野：天文学

キーワード：デブリ円盤 ALMA望遠鏡 原始惑星系円盤 電波天文学

1. 研究開始当初の背景

彗星や隕石の起源であるカイパーベルト天体は、太陽系内で惑星が形成された名残であると考えられており、太陽系の成り立ちを調べる上で重要なターゲットである。このため、隕石分析をはじめとし、彗星のガス成分の観測や探査機ロゼッタによる 67P 彗星の直接調査など様々な研究が行われてきた一方で、この塵・岩石で形成される天体群の起源として「デブリ円盤」が近年注目されはじめている。デブリ円盤は、太陽系以外の若い恒星周りで発見された、主に塵や岩石から構成される円盤で、数 10-数 100au の半径を持つリング状構造をしたものが多く見つかり、リング構造や既に円盤内で形成された惑星の探査などの研究がなされてきた。しかし近年、デブリ円盤にはほとんどないと考えられてきた「ガス成分」が多くのデブリ円盤で発見され、その起源が注目されている。本研究では、デブリ円盤のガスの化学組成に着目し、その起源が、形成過程で残存されたものであるのか、あるいは塵からの 2 次的供給であるのかを探る。これらの研究は、原始惑星系円盤からデブリ円盤への進化段階の理解といった天文分野だけではなく、星間空間での化学反応の理解、惑星大気の起源の理解など、地球惑星科学の分野にも大きなインパクトを与えると期待される。本研究は ASTE 望遠鏡を用いて、デブリ円盤 2 天体(くじら座 49 番座: 49Ceti/がか座 星: Pic)から中性炭素原子ガスを初検出したことを皮切りに研究を推進しており、今後は ALMA 望遠鏡による観測を進めて早急に論文化し、社会へと発信していく。

2. 研究の目的

原始星の周りでは、惑星系のもととなるガスと塵からなる円盤(原始惑星系円盤)が成長する。その円盤内で塵の合体成長や微惑星形成が起き、円盤のガス成分は、惑星系の形成が完了すると消失すると考えられてきた。形成したばかりの惑星系では、惑星などの天体ができる際に残った塵や、岩石同士の衝突で撒き散らされた塵が円盤状に漂っている。この塵・岩石群は「デブリ円盤」と呼ばれ、惑星系形成の最終段階に見られることから、カイパーベルト天体の起源として注目されている。太陽系の最縁部にある「オールの雲」などもその名残である可能性が示唆されている。惑星形成の最終段階では、すでにガスは散逸していると考えられていたため、これまでデブリ円盤にはガス成分は存在しないと考えられてきた。ところが近年、一酸化炭素(CO)、炭素原子イオン(C⁺)、酸素原子(O)がガスとして存在していることが明らかになった。その起源について 2 つの考え方が提示された。一つは、惑星系のもとになったガス成分が残存しているという「残存説」であり、もう一つは、一度原始惑星系円盤のガスが消失した後、残存した塵や岩石からガス成分が新たに供給されているという「供給説」である。両者は水素分子ガスが大量に含まれるか、含まれないかで判別できると考えられているが、決着はついていなかった。これを明らかにするとともに、ガスや塵の存在量比を調べることは、デブリ円盤の起源のみならず、惑星大気の起源の理解において極めて重要である。

3. 研究の方法

(1) 大型電波望遠鏡による観測を推進

チリのアタカマ砂漠に建設された、世界で最高性能を持つ電波望遠鏡である、ALMA と、ALMA に付属する ACA を使い、様々なデブリ円盤からの中性炭素原子ガスを観測し検出を試みる。49Ceti と Pic で明らかになった大量の中性炭素原子ガスが、他のデブリ円盤に対しても付随しているのか否かを調べるために、観測天体数を 30 天体程度まで増やし、統計的な議論を行う。ASTE の空間分解能は 1000au 程度と非常に悪く、系全体の科学的な特徴を捉えるのに優れている一方、数 100au の大きさのデブリ円盤の内部構造や中性炭素原子ガスの分布の詳細を知るには限界がある。そこで ALMA 望遠鏡を用いた高空間分解能観測を行う。49Ceti と Pic にて中性炭素原子ガス、CO 分子ガス、塵の分布を数 10au スケールで明らかにする。中性炭素原子ガスの量は星間空間や中心星からの紫外線の影響を受けやすいため、空間分布を明らかにすることで、星からの距離に応じたガスと塵の量の比を調べることができる。

(2) 他分野との連携と発展性

宇宙空間のガスと塵の量の比と中心星の年齢やスペクトル型との関係のみならず、中心星からの距離や円盤垂直方向での比の変化が明らかになれば、惑星系が完成した後、原始ガスがどのように散逸するかを理解する重要な手がかりが得られる。また月などの衛星が形成される過程として、原始惑星間の衝突が考えられており、これらのイベントが太陽系形成のいつまで起こっていたかなどについても大きなヒントになると期待される。特に太陽と似た星の円盤ガスがいつまで存在するかを明らかにすれば、太陽系形成時間や惑星系完成直前に何が起こっていたかが明らかになるだろう。化学反応モデルのチーム、赤外線衛星プロジェクト、地球惑星科学の分野とも既に連携を進めており、これらの協力体制の元、太陽系や惑星系の形成の理解を進めていく

たい。また、原始惑星系円盤とデブリ円盤を繋ぐ進化パラメータは良く分かっておらず、定義も曖昧で、世界的に見ても連携体制は非常に弱いので、これらの研究者との分野間連携を強めていきたい。

4. 研究成果

1. ALMAによる中性炭素原子ガスの観測

デブリ円盤の中性炭素原子ガスを、空間分解してガス成分の構造を理解するため、ALMAを用いて観測を行なった。すでに、同じくアタカマに設置されているASTEを用いて世界で初めて中性炭素原子ガスを検出していたが、ASTEは単一鏡であるため、ガス成分を検出する能力は高いが、空間分解することはできなかった。そこで我々はALMAに観測提案書を提出し、大変な高評価で採択され、15時間あまりの観測を行い、非常に精度の高い観測データを得ることができた。その結果、世界で初めて中性炭素原子ガスの空間構造を明らかにした。またこれまでに想像していた以上にガスが付随していることが発見され、これは、惑星形成が完了すると、ガス成分がすぐに散逸してしまうという、既存の惑星形成理論(林モデル:1970)を覆す結果になった。

さらに、以上のALMAによるデータを再度解析した結果、中性炭素原子ガスの希少同位体である ^{13}C のサブミリ波輝線を世界で初めて発見することに成功した。 ^{13}C は通常の ^{12}C の1%程度しかなく、 ^{13}C の輝線はこれまでどんな天体からも観測されたことがなかったため、デブリ円盤のような、ガスが少ないと考えられている環境で検出されたことは大変な驚きであった。 ^{13}C からの電波の検出は、通常の ^{12}C がこれまでの推測よりも大量に円盤内に存在することを示唆している。宇宙空間では、豊富にある ^{12}C が放つ電波は、希少な ^{13}C が放つ電波より100倍以上強いはずだが、今回、 ^{12}C の電波強度は ^{13}C のそれより12倍強い程度であった。これはデブリ円盤内に ^{12}C が大量にあり、 ^{12}C が放つ電波の一部が ^{12}C 自身によって吸収されていることを示している。 ^{12}C の電波強度から求められていた従来のガス質量は、実際より少ない値であることが分かってきた。この結果は、多くの研究者に驚きを与え、現在大変重要な研究課題となりつつある。以上の結果は、国立天文台からプレスリリース(図1)され、特に ^{13}C の検出論文は、*Astrophysical Journal Letters*でMost read paperとして、しばらくの間ランクインしており、世界的に大きな反響を呼んだ。

2. ALMAによる分子探査観測

デブリ円盤に付随するガスは密度が低いという先入観があり、電波領域でのCOと炭素原子以外の分子輝線検出の報告はない。しかし、ALMAによる長時間積分観測を行い様々な分子輝線を探査することにより、その先入観は変わる可能性がある。これらの試みで、デブリ円盤に付随するガスの組成を理解することができるであろう。またデブリ円盤のガスは、塵から供給される可能性もあり、彗星から放出されるガスと同様なメカニズムであろうと考えられている。もしデブリ円盤のガスが供給説であるとすると、彗星で導出されているメタノールと一酸化炭素の比($\text{CH}_3\text{OH}/\text{CO}$)の議論がデブリ円盤でできる可能性がある。我々は、ALMAを用いて49Cetiに対して高い周波数帯(Band 8)の観測を行っており、 CH_3OH 輝線が同じベースバンドに入るため解析を行ったところ、微かではあるが放射成分が検出された(図2)。しかしこの結果では不十分な精度であるため、より観測が平易な低い周波数帯(Band 6)の CH_3OH 観測を提案していく予定である。

本研究から、以上の成果が得られ、デブリ円盤のガスに関する研究は大きく発展した。ACAによる観測結果は現在解析中で、論文化を進めているところである。今後は、電波観測だけにとどまらず、すばる望遠鏡などの大型光・赤外線望遠鏡による観測を展開し、惑星系形成論のグランドシナリオの形成に貢献していきたい。近年、惑星大気の組成を調べることができるようになりつつあり、将来的には、惑星大気の違いに関する観測的知見、固体惑星やガス惑星が形成される環境の違いなどの理解が進むであろう。このことは、太陽系内の他の惑星と地球環境の違いの理解や、地球の大気組成の理解などの研究にもインパクトを与えると期待されるため、デブリ円盤のガスの組成とその散逸過程の理解をもとに、そのような研究にもスコープを広げていきたい。

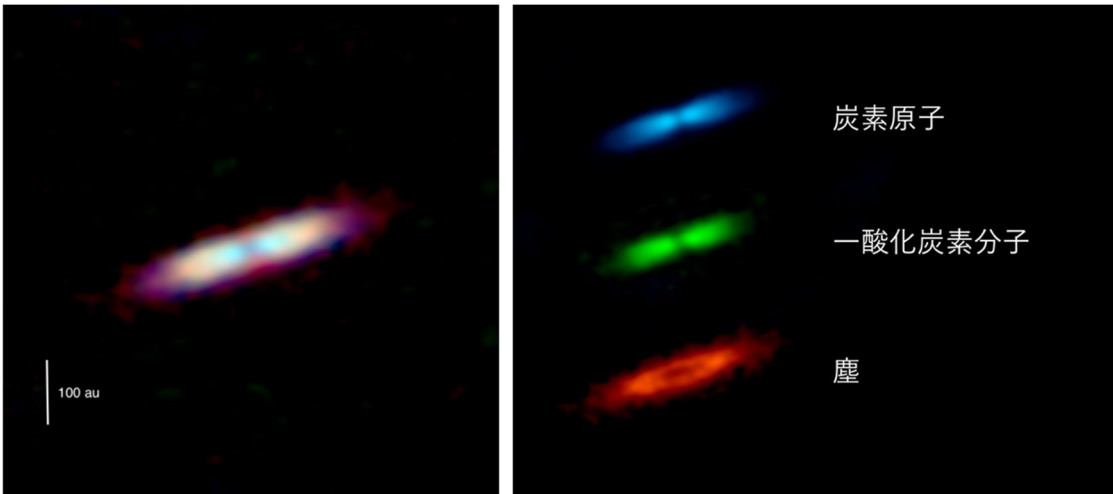


図 1: (左) ALMA が捉えたくじら座 49 番座 (49Ceti) のデブリ円盤のダストとガスの分布。(右) それぞれ炭素原子、一酸化炭素分子、塵の分布。
 (国立天文台プレスリリース参照: <https://alma-telescope.jp/news/press/49ceti-201912>)

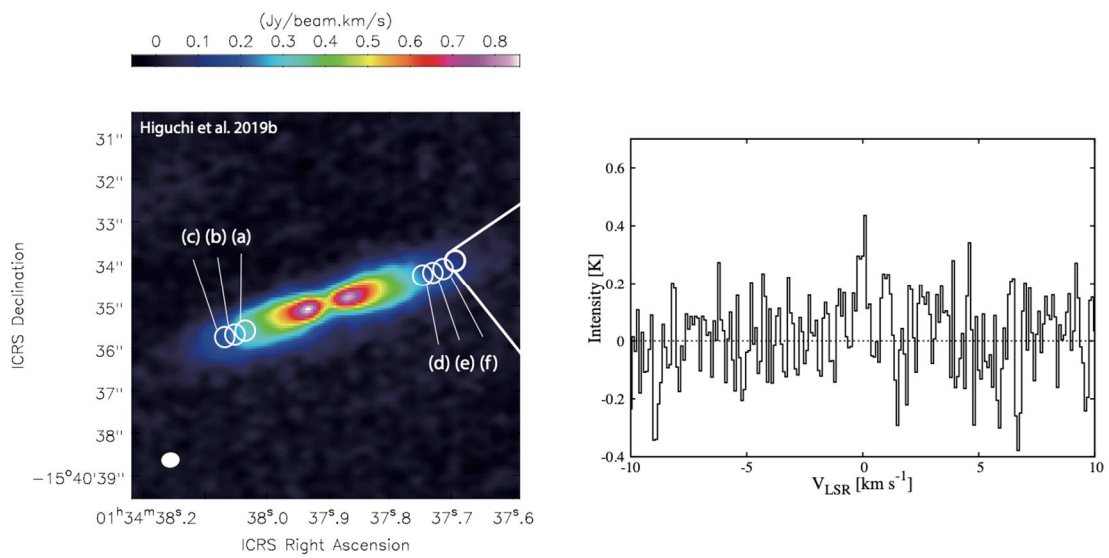


図 2: ALMA 望遠鏡で得られた炭素原子放射の画像(左)とメタノールと思われるスペクトル(右)
 (視線速度 0 km/s 付近)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 11件／うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 Yang Yao-Lun, Sakai Nami, Zhang Yichen, Murillo Nadia M., Zhang Ziwei E., Higuchi Aya E., Zeng Shaoshan, Lopez-Sepulcre Ana, Yamamoto Satoshi, Lefloch Bertrand, Bouvier Mathilde, Ceccarelli Cecilia, Hirota Tomoya, Imai Muneaki, Oya Yoko, Sakai Takeshi, Watanabe Yoshimasa	4. 巻 910
2. 論文標題 The Perseus ALMA Chemistry Survey (PEACHES). I. The Complex Organic Molecules in Perseus Embedded Protostars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 20～57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/abdfd6	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 Higuchi Aya E., Kospal Agnes, Moor Attila, Nomura Hideko, Yamamoto Satoshi	4. 巻 905
2. 論文標題 Physical Conditions of Gas Components in Debris Disks of 49 Ceti and HD 21997	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 122～137
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/abc5bb	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 Tanaka Kei E. I., Zhang Yichen, Hirota Tomoya, Sakai Nami, Motogi Kazuhito, Tomida Kengo, Tan Jonathan C., Rosero Viviana, Higuchi Aya E., Ohashi Satoshi, Liu Mengyao, Sugiyama Koichiro	4. 巻 900
2. 論文標題 Salt, Hot Water, and Silicon Compounds Tracing Massive Twin Disks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 1～11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/abadfc	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 Nomura H., Higuchi A., Sakai N., Yamamoto S., Nagasawa M., Tanaka K.K., Miura H., Nakamoto T., Tanaka H., Yamamoto T., Walsh C., Millar T.J.	4. 巻 14
2. 論文標題 ALMA observations of sulfur-bearing molecules in protoplanetary disks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Astronomical Union	6. 最初と最後の頁 360～361
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S1743921319002072	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 Cataldi Gianni, Wu Yanqin, Brandeker Alexis, et al.	4. 巻 892
2. 論文標題 The Surprisingly Low Carbon Mass in the Debris Disk around HD 32297	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 99 ~ 114
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7cc7	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 Higuchi Aya E., Oya Yoko, Yamamoto Satoshi	4. 巻 885
2. 論文標題 First Detection of Submillimeter-wave [13C I] 3P1-3P0 Emission in a Gaseous Debris Disk of 49 Ceti with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 39 ~ 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ab518d	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 Higuchi Aya E., Saigo Kazuya, Kobayashi Hiroshi, Iwasaki Kazunari, Momose Munetake, Lou Soon Kang, Sakai Nami, Kunitomo Masanobu, Ishihara Daisuke, Yamamoto Satoshi	4. 巻 883
2. 論文標題 First Subarcsecond Submillimeter-wave [C i] Image of 49 Ceti with ALMA	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 180 ~ 188
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3d26	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 Oya Yoko, Lopez-Sepulcre Ana, Sakai Nami, Watanabe Yoshimasa, Higuchi Aya E., Hirota Tomoya, Aikawa Yuri, Sakai Takeshi, Ceccarelli Cecilia, Lefloch Bertrand, Caux Emmanuel, Vastel Charlotte, Kahane Claudine, Yamamoto Satoshi	4. 巻 881
2. 論文標題 Sulfur-bearing Species Tracing the Disk/Envelope System in the Class I Protostellar Source Elias 29	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 112 ~ 128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2b97	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 Luca Matra, Quentin Kral, Kate Su, Alexis Brandeker, William Dent, Andras Gaspar, Grant Kennedy, Sebastian Marino, Karin Oberg, Aki Roberge, David Wilner, Paul Wilson, Mark Wyatt, Gianni Cataldi, Aya Higuchi et al.	4. 巻 51
2. 論文標題 Exocometary Science	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Astro2020 Science White Paper	6. 最初と最後の頁 391 ~ 399
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 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 Higuchi Aya E., Sakai Nami, Watanabe Yoshimasa, Lopez-Sepulcre Ana, Yoshida Kento, Oya Yoko, Imai Muneaki, Zhang Yichen, Ceccarelli Cecilia, Lefloch Bertrand, Codella Claudio, Bachiller Rafael, Hirota Tomoya, Sakai Takeshi, Yamamoto Satoshi	4. 巻 236
2. 論文標題 Chemical Survey toward Young Stellar Objects in the Perseus Molecular Cloud Complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 52 ~ 52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aabfe9	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 Zhang Yichen, Higuchi Aya E., Sakai Nami, Oya Yoko, Lopez-Sepulcre Ana, Imai Muneaki, Sakai Takeshi, Watanabe Yoshimasa, Ceccarelli Cecilia, Lefloch Bertrand, Yamamoto Satoshi	4. 巻 864
2. 論文標題 Rotation in the NGC 1333 IRAS 4C Outflow	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 76 ~ 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad7ba	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 Imai Muneaki, Sakai Nami, Lopez-Sepulcre Ana, Higuchi Aya E., Zhang Yichen, Oya Yoko, Watanabe Yoshimasa, Sakai Takeshi, Ceccarelli Cecilia, Lefloch Bertrand, Yamamoto Satoshi	4. 巻 869
2. 論文標題 Deuterium Fractionation Survey Toward Protostellar Sources in the Perseus Molecular Cloud: HNC Case	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 51 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaeb21	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 Sakai Nami、Hanawa Tomoyuki、Zhang Yichen、Higuchi Aya E.、Ohashi Satoshi、Oya Yoko、Yamamoto Satoshi	4. 巻 565
2. 論文標題 A warped disk around an infant protostar	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 206 ~ 208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-018-0819-2	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

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 A study of gaseous debris disks: origin of gas and its composition
3. 学会等名 JpGU - AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Current status of SMOKA
3. 学会等名 Subaru Users Meeting FY2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 樋口 あや
2. 発表標題 ALMA望遠鏡を用いたデブリ円盤のガス探査
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 樋口 あや
2. 発表標題 電波・光赤外線観測アーカイブデータを用いた研究紹介
3. 学会等名 分子雲から原始星誕生までを追う~新時代の星形成モデル構築に向けて
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樋口 あや
2. 発表標題 SMOKAの現状とせいめい望遠鏡データ公開へ向けて
3. 学会等名 せいめいユーズーズミーティング+大学望遠鏡ユーズーズミーティング
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Toward understanding origin of gas in debris disks
3. 学会等名 East Asian ALMA Science Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Band 8 Science Case: What we learned from observations of gas in debris disks
3. 学会等名 East Asian ALMA Development Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 First sub-arcsecond submillimeter-wave [C I] image of 49 Ceti with ALMA
3. 学会等名 Current and future trends in debris discs II (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Observations of gaseous debris disks
3. 学会等名 New Quests in Stellar Astrophysics IV Astrochemistry, Astrobiology and the Origin of Life (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Gas survey toward debris disks with ALMA
3. 学会等名 Japanese-German Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aya Higuchi
2. 発表標題 Gas survey toward debris disks with ALMA
3. 学会等名 IAU symposium
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樋口あや
2. 発表標題 Unbiased Chemical Survey of Protostellar Sources in Perseus with ALMA
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樋口あや
2. 発表標題 Toward understanding origin of gas in debris disks
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 樋口あや
2. 発表標題 ALMA reveals a hub of filamentary molecular clouds in SgrB2(N)
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018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
---------	---------