

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：32685

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03691

研究課題名(和文) 赤外線衛星データに基づく星間ダストの進化・変性の研究

研究課題名(英文) Study of evolution and processing of interstellar dust based on infrared satellite data

研究代表者

尾中 敬 (Onaka, Takashi)

明星大学・理工学部・教授

研究者番号：30143358

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：「あかり」衛星の近・中間赤外線カメラ(IRC)で取得した2.5-13ミクロンの近・中間赤外線スペクトルの解析を進め、銀河面上に新たに2つの特異な赤外線天体を発見した。他の赤外線衛星のデータを合わせた解析の結果、若い星、背景星のどちらとしても従来知られていなかった性質の天体である可能性を示した。また「あかり」衛星の全天サーベイデータとプランク衛星を用いた解析を星生成領域、ラムダOri領域に対して行い、マイクロ波異常超過放射(AME)が回転している多環式芳香族炭化水素(PAH)を起源とする仮説を支持する結果を初めて得た。さらに密度汎関数理論を用い、PAHの側鎖構造及び窒素の影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「あかり」衛星及び他の赤外線衛星のデータ解析を進め、新しい種類の可能性がある天体の発見や、マイクロ波でみられる異常超過(AME)の起源を初めて明らかにする結果を得るなど、新しい知見が得られ、「あかり」衛星の観測成果を社会に発信することができた。また星間物質の重要な一員と認知されてきたPAHについて、今後の赤外線観測につながる理論的な解析結果を得た。これらの結果は2021年12月にNASAが打ち上げたJames Webb Space Telescope (JWST)の観測につながる重要な成果であり、今後の様々な星間物質の観測計画に発展することが期待される。

研究成果の概要(英文)：Based on observations with the Infrared Camera (IRC) on the AKARI satellite, two peculiar objects are discovered on the Galactic Plane. Using the data taken with other infrared satellites, both objects are found to belong neither to a young star nor to a background star, suggesting that they may be a new-class of objects, which have not been known previously. Using the all-sky survey data taken with AKARI and Planck satellites, we also obtain for the first time clear evidence that the Anomalous Microwave Emission (AME) originates from very small spinning dust that emit features in the near- to mid-infrared in the lambda Orionis region. Lastly, using the Density Functional Theory (DFT), we investigate the effects of side-groups and nitrogen impurity to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).

研究分野：天体物理学

キーワード：星間物理学 赤外線分光 衛星観測 星間物質

1. 研究開始当初の背景

我々の銀河系および星生成活動銀河では、大質量星は星間空間への重要な輻射および動的エネルギー源であり、そのフィードバックが星間空間の構造、熱バランス、化学、電離状態を決めている。大質量星の近傍では紫外線によりガスは電離し(HII 領域)、その周囲の分子雲との間に光解離領域(PDR)が形成される。PDR は星間物質の輻射エネルギーの大部分を赤外線で放射し、そのスペクトルは多くのガス輝線、ダスト輝線バンドを含む。また分子雲領域中の氷の吸収も見られる[1],[2],[3]。PDR 領域の物理状態の解明は星生成過程、星間物質の進化、ひいては銀河進化の理解の上で不可欠の要素であり、観測を説明するための様々な PDR のモデルがこれまで構築されてきた[4],[5]。しかし最近の ALMA によるオリオン星雲の観測はこれまでの PDR の描像を大きく変え、PDR 内で急激に分子相から電離相に変化する様子を明らかにした[6]。この結果は、PDR 中で物理状態が動的あるいは非定常に変化するとともに、ダストの性質、サイズ分布も大きく変化している可能性を示唆する。

ダストの光電子効果はガス加熱の主要な源であり、特に星間空間に遍く存在すると考えられる多環式芳香族炭化水素(PAH)を含むサイズの小さいダスト ($\leq 10\text{nm}$) による加熱が効率的である[5]。分子雲から HII 領域に変化する PDR 中のダストのサイズ分布と性質の変化は、PDR の物理状態の理解に大きなインパクトを与える。一方、様々な氷の生成・変性は星生成領域の化学過程の理解に欠かせない情報であるが、空間変化の解析は十分には行われていない[7]。JWST はこれらのダストとガスの物理状態の変化を高い空間分解能で明らかにすることが期待される。しかし、JWST は観測視野が狭く(MIRI IFU の視野は $3.9'' \times 7.7''$)、観測のオーバーヘッドが大きいため、複数の天体の広い領域の観測は極めて困難である。すでに取得されている「あかり」と Spitzer 衛星の分光データを最大限に活用し、複数の大きく異なる環境下での大局的なダストの変化を明らかにすることが重要である。

2. 研究の目的

本研究は「あかり」衛星で得られた $2.5\text{--}5\ \mu\text{m}$ の分光データと Spitzer 衛星などの他の赤外線衛星で得られたデータを組みあわせ、物理環境の変化に伴う有機物ダストの性質・サイズ分布の変化及び同時に観測される吸収バンドから氷の変性過程を解明することを目的とする。特に「あかり」IRC の近赤外線分光の波長帯には Spitzer/IRS の波長帯では観測できない H_2O 氷($3.0\ \mu\text{m}$)、XCN ($4.62\ \mu\text{m}$)、重水素化 PAH ($4.4, 4.6\ \mu\text{m}$) のバンドが存在し、上記の PAH $3.3\ \mu\text{m}$ バンドとともに貴重かつユニークなデータを供給している。これまで赤外線衛星のデータはそれぞれ独立に解析され、それぞれの特徴を組み合わせて有機的に解析した例は極めて少ない。本研究はこの状況を背景に、さまざまな赤外線衛星データの特徴を最大限に活かし、銀河系内の星生成領域に対して、大局的に有機物ダスト及び氷を伴う天体の特徴を明らかにすることを目標とする。

3. 研究の方法

「あかり」衛星で得られた $2.5\text{--}5\ \mu\text{m}$ の銀河面の分光データを解析し、スペクトルをモデル化し、観測されている星間物質の性質を抽出する。 H_2O 氷($3.0\ \mu\text{m}$)、 CO_2 氷($4.26\ \mu\text{m}$)、 CO 氷($4.67\ \mu\text{m}$)、OCN-と考えられている XCN 吸収($4.62\ \mu\text{m}$) 及び CO ガス ($\sim 4.6\ \mu\text{m}$) の吸収のほか、 $3.3\ \mu\text{m}$ の PAH 放射や水素の再結合線が存在することが予想される。まずこれらの feature を取り入れたモデルを構築し、それぞれの吸収体の柱密度や、放射強度を抽出する。同じ波長対に複数の放射、吸収バンドが存在するため、同時にフィッティングを行うモデルを構築する。また Spitzer/IRS での観測がある領域については、IRS のデータを抽出し、IRS データも同様なモデルを構築して、ダストとガスの情報を抜き出す。さらに Spitzer/IRAC, WISE, 及び Herschel 衛星のデータを組み合わせ、検出された天体の幅広い赤外線の波長域でのスペクトルを取り出し、モデルとの比較からその天体の分類を行い、天体に伴うダストの性質について明らかにする。これと並行して、 30GHz 帯にみられるマイクロ異常超過放射(Anomalous Microwave Emission: AME)と中間赤外にみられる有機物ダストの放射との相関を「あかり」および Planck 衛星の全天サーベイデータを用いて行い、AME の起源をさぐり、PAH との関係性を明確にする。

これらの研究と並行して、 $3\text{--}18\ \mu\text{m}$ にみられる有機物起源の feature について、密度汎関数理論(Density Functional Theory: DFT)を用いた理論計算を行い、窒素が含有した際の影響および side-group の特徴などを調べ、観測との比較から、宇宙空間に存在する有機物の性質を明らかにする。

4. 研究成果

「あかり」IRC と Spitzer/IRS の観測領域が重なっている天体について、双方のスペクトルを抽出する方法をまず確立した。この結果を NGC 1097 などの系外銀河や、銀河系内天体の Cep A などに適用し、2 つに衛星データの分光データの解析を行なった[8]。この作業の仮定で、IRC で取得した銀河面の分光サーベイの中に特異な天体が 2 つ発見され、そのスペクトル解析を詳細に進めた(図 1)。2 つの天体はいずれも氷の深い吸収を示す一方、Spitzer/IRAC, WISE などの赤

外線衛星のデータを総合すると、エネルギーのピークが $5\ \mu\text{m}$ 付近にあり、Herschel 衛星のデータを参照しても遠赤外線での検出は見られない。詳細な結果から得られた氷の柱密度は若い星であることを示唆するものの[7]、ピークが $5\ \mu\text{m}$ にあることは若い星で期待されるエネルギー分布(SED)と合致せず、むしろ厚い分子雲の背景にある通常の星である可能性を示す。スペクトルの詳細な観測から、いずれの可能性も否定できないことが示される一方、どちらの天体も知られている星生成領域や分子雲の領域には属しておらず、どちらの可能性が高いか判断されない。若い星である場合、これまでの測光サーベイでは見逃されている可能性があり(図 2)、また背景星である場合は、知られていない非常に密度の濃いコンパクトな星間雲が存在することを示唆する。いずれの場合もこれまでの星生成あるいは星間雲の理解に大きな影響がある [9]。この2つの天体については、現在 ALMA を使った観測提案が採択されており、その正体を明らかにする研究を進めている。

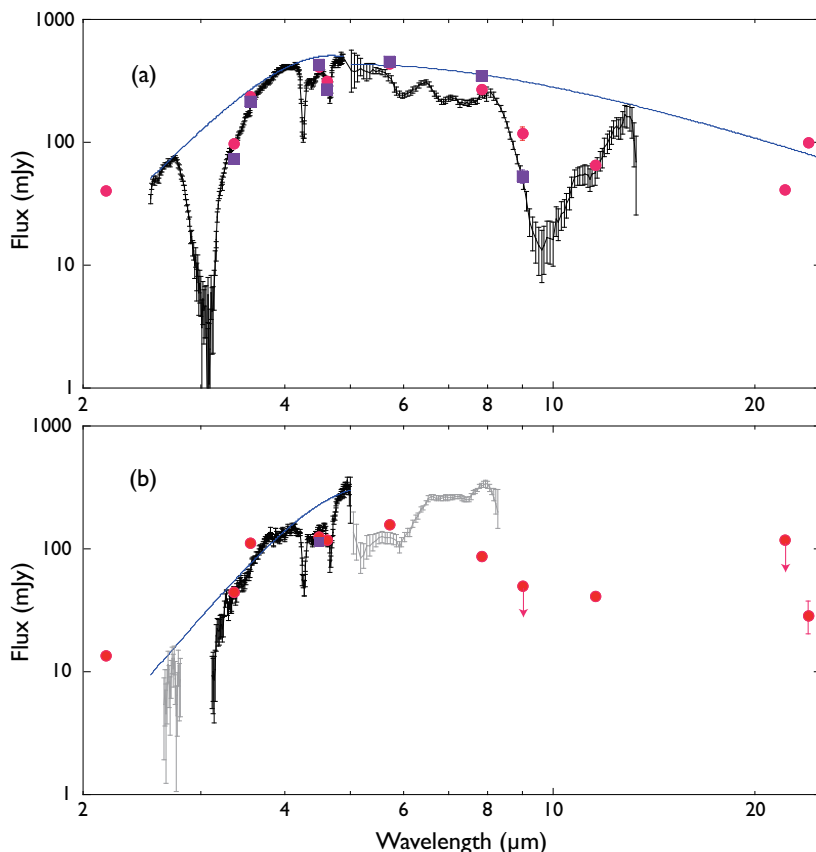


図1. 「あかり」衛星の銀河面サーベイで発見された特異な2つの天体のIRCスペクトル(黒)。赤丸は様々な衛星データの測光値であり、紫の四角はIRCのスペクトルを用いて、color-correctionした値。青線は仮定した連続光のスペクトル。灰色の線は、周囲の天体の影響があり、信頼できないスペクトルを示す[9]。

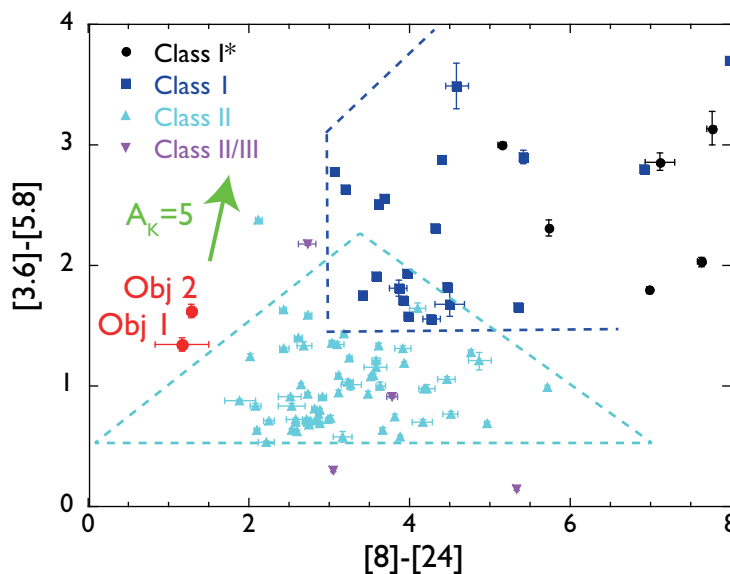


図2. Spitzer/IRACとMIPSによる $3.6\ \mu\text{m}$, $5.8\ \mu\text{m}$ カラー(縦軸)と $8\ \mu\text{m}$, $24\ \mu\text{m}$ カラー(横軸)の2色図。NGC 1333領域の若い星の候補が記号で示されている。Class I*は黒の丸、Class Iは青の四角、Class IIは薄い青の三角、Class II/IIIは紫の逆三角で示される[10]。破線はCygnus X領域の若い星の分布を示す。Class Iは濃い青、Class IIは薄い青の破線で示す[11]。今回発見された2つの天体は赤丸(Obj1, Obj2)で示す。緑の矢印は $A_K=5$ 等のベクトルを示す[9]。

「あかり」衛星で行われた 9, 18, 65, 90, 140, 160 μm の全天サーベイデータと Planck 衛星の全天サーベイデータを用いて 30GHz あたりにみられるマイクロ波異常超過放射(AME)とダスト放射の関係を調べた[12]。「あかり」衛星の 9 μm のデータは PAH による放射を最もよくトレースしていると考えられる。AME が回転している PAH によるものとする仮説が提唱されており[13]、これに従うと AME と 9 μm の放射に相関がみられることが予想される。これまで IRAS の 12 μm との相関は見られたものの[14]、WISE の band 3 (12 μm) とでは明確な相関が得られていない[15]。

「あかり」の 9 μm と Planck の AME のデータの相関も遠赤外線との相関より弱いことがわかった。しかし AME の励起は物理状態により変化することが予想され[13]、様々な物理状態の領域を含む全天サーベイデータは、必ずしも PAH 放射と 1 対 1 でよい相関を示すか自明ではない。このため物理状態が一定であると考えられる領域に絞って相関を調べた。空間分解能と領域の大きさから λ Ori の PDR 領域を対象としてベイジアン統計を用いたダストモデル[16]を適用して解析したところ、明確に 9 μm の放射と AME が遠赤外線放射を担っているサブミクロンサイズのダスト質量よりよい相関している結果が初めて得られた (図 3)。これは回転している PAH であるという仮説を支持する。

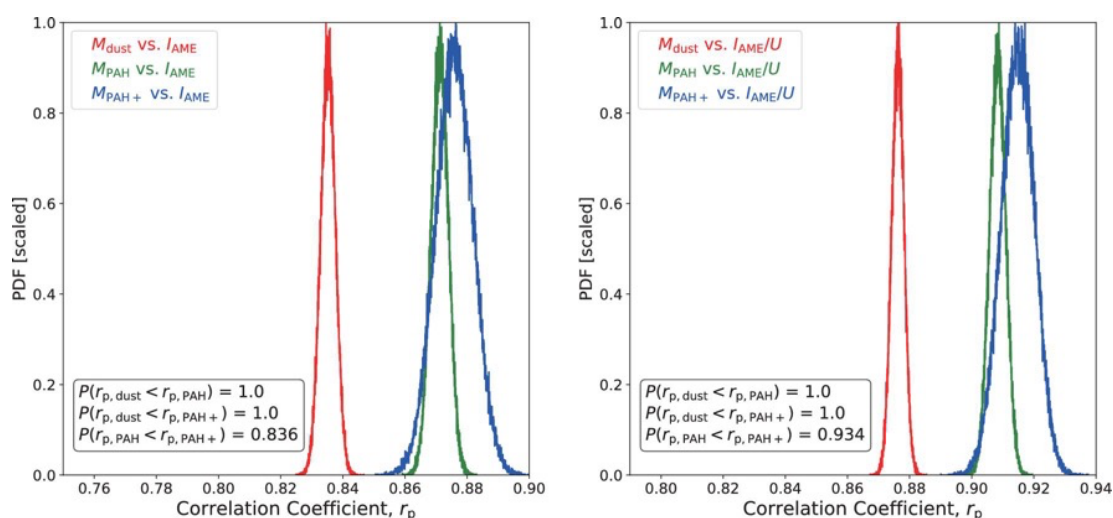


図 3. λ Ori 領域の AME とダストの相関係数分布。サブミクロンサイズのダスト質量 (赤)、全 PAH 質量 (緑)、電離した PAH 質量 (青) と AME 強度 (左図) と AME 強度を全放射強度 U で割ったものと相関分布を示す[12]。

これらの観測結果の解析と並行して、観測から最大限の情報を得るため、密度汎関数理論(DFT)を用いて PAH の性質を調べる研究も進めた。様々な side-group が付加した PAH の計算を行い、3.4–3.5 μm にみられる放射の帰属を詳細に議論し、観測との比較から主に存在している可能性のあるサイドグループを特定した[17]。また窒素が含まれた場合のスペクトル変化を計算し、従来のモデルでは電離した PAH に帰属している 6.2–8.6 μm のバンドが、窒素を付加したものでは電離していない PAH であっても強く見られることを明らかにした。このことは従来電離の指標と考えられている 6.2–8.6 μm のバンドは必ずしも電離度を示すものではないことを初めて示した[18]。

参考文献

- [1] T. Onaka, T. Mori, I. Sakon, and A. Ardaseva, 2016, ApJ, 829, 106
- [2] T. I. Mori, T. Onaka, I. Sakon, et al., 2014, ApJ, 787, 53
- [3] T. Onaka, T. I. Mori, I. Sakon, et al., 2014, ApJ, 780, 114
- [4] Tielens, A. G. G. M., & Hollenbach, D. 1985, ApJ, 291, 722
- [5] Le Petit, F., Nehmé, C., Le Bourlot, J., & Roueff, E. 2006, ApJS, 164, 506
- [6] Goicoechea, J. R., Pety, J., Cuadrado, S., et al. 2016, Nature, 537, 207
- [7] Boogert, A. C. A., Gerakines, P. A., & Whittet, D. C. B. 2015, ARA&A, 53, 541
- [8] Wu, R., Emeric, B., Onaka, T., et al. 2018, JAXA-SP-17-009E, 133
- [9] Onaka, T., Kimura, T., Sakon, I. & Shimonishi, T. 2021, ApJ, 916, 75
- [10] Gutermuth, R. A., Meyers, P. C., Megeath, S. T., et al. 2008, ApJ, 674, 336
- [11] Beerer, I. M., Koenig, X. P., Hora, J. L., et al. 2010, ApJ, 720, 679

- [12] Bell, A. C., Onaka, T., Galliano, F., et al. 2019, PASJ, 71, 123
- [13] Draine, B. T., & Lazarian, A. 1999, ApJ, 512, 740
- [14] Ysard, N., Miville-Deschênes, M. A., & Verstraete, L. 2010, A&A, 509, L1
- [15] Hensley, B., Draine, B. T., & Meisner, A. M. 2017, ApJ, 827, 45
- [16] Galliano, F., 2018, MNRAS, 476, 1445
- [17] Buragohain, M., Pathak, A., Sakon, I., & Onaka, T., 2020, ApJ, 892, 11
- [18] Vat, A., Pathak, A., Onaka, T., Buragohain, M., Sakon, I., & Endo, I., 2022, PASJ, 74, 161

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計41件（うち査読付論文 41件 / うち国際共著 34件 / うちオープンアクセス 41件）

1. 著者名 H.-W. Yen, P. M. Koch, C. L. H. Hull, 他	4. 巻 907
2. 論文標題 The JCMT BISTRO survey: alignment between outflows and magnetic fields in dense cores/clumps	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 33 (21pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abca99	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 N. B. Ngyen, N. D. Pham, H. Parsons, 他	4. 巻 908
2. 論文標題 Observations of magnetic fields surrounding LkHap1ha 101 taken by the BISTRO survey with JCMT-POL2	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 10 (20pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abd0fc	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 D. Arzoumanian, R. Furuya, T. Hasegawa, 他	4. 巻 647
2. 論文標題 Dust polarized emission observations of NGC 6334. BISTRO reveals the details of the complex but organized magnetic field structure of the high-mass star-forming hub-filament network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A78 (29pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202038624	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 E. Chakali, D. Li, R. S. Furuya, 他	4. 巻 912
2. 論文標題 Revealing the diverse magnetic field morphologies in Taurus dense cores with sensitive sub-millimeter polarimetry	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L21 (15pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/abeb1c	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 V. Konyves, D. Ward-Thompson, K. Pattle, 他	4. 巻 913
2. 論文標題 The JCMT BISTRO-2 Survey: The magnetic field in the center of the Rosette molecular cloud	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 57 (11pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf3ca	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 J. Hwang, J. Kim, K. Pattle, 他	4. 巻 913
2. 論文標題 The JCMT BISTRO-2 Survey: The distribution of magnetic field strengths towards the OMC-1 Region	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 85 (20pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abf3c4	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 T. Onaka, T. Kimura, I. Sakon, and T. Shimonishi	4. 巻 916
2. 論文標題 Discovery of two infrared objects with strong ice absorption in the AKARI slitless spectroscopic survey of the Galactic Plane	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 75 (15pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0531	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 M. A. Famiano, R. N. Boyd, T. Onaka, and T. Kajino	4. 巻 3
2. 論文標題 Chiral selection, isotopic abundance shifts, and autocatalysis of meteoritic amino acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 033025 (21pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.3.033025	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 I. Endo, I. Sakon, T. Onaka, Y. Kimura, S. Kimura, S. Wada, L. A. Helton, R. M. Lau, Y. Kebukawa, Y. Muramatsu, N. O. Ogawa, N. Ohkouchi, M. Nakamura, and S. Kwok	4. 巻 917
2. 論文標題 On the nature of organic dust in novae	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 103 (10pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0cf1	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 A. Lyo, J. Kim, S. Sadavo, 他	4. 巻 918
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: 950/450 micron meter polarization study toward NGC 2071IR in Orion B	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 85 (17pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac0ce9	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 I. Kamp, M. Honda, H. Nomura, 他	4. 巻 38
2. 論文標題 The formation of planetary systems with SPICA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of AUstralia	6. 最初と最後の頁 e055 (25pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2021.31	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 A. Vats, A. Pathak, T. Onaka, M. Buragohain, I. Sakon, and I. Endo	4. 巻 74
2. 論文標題 Theoretical study of infrared spectra of interstellar PAH molecules with N, NH & NH ₂ incorporation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 161-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab116	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 W. Kwon, K. Pattle, S. Sadavoy, 他	4. 巻 926
2. 論文標題 B-fields in star-forming region observations (BISTRO): magnetic fields in the filamentary structures of Serpens Main	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 163 (13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac4bbe	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 L. Fanciullo, F. Kemper, K. Pattle, 他	4. 巻 512
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: Multi-wavelength polarimetry of bright regions in NGC 2071 in the far-infrared/submillimeter range, with POL-2 and HAWC+	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1985-2002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac528	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 M. A. Famiano, R. N. Boyd, T. Kajino, S. Chiba, Y. Mo, T. Onaka, and T. Suzuki	4. 巻 20
2. 論文標題 Explaining the variations in isotopic ratios in meteoritic amino acids	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 964-976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2019.2186	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 Y. Doi, T. Hasegawa, R. S. Furuya, et al.	4. 巻 899
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: Magnetic fields associated with a network of filaments in NGC1333	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 28 (33pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba1e2	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 T. Kokusho, H. Torii, T. Nagayama, H. Kaneda, H. Sano, D. Ishihara, and T. Onaka	4. 巻 899
2. 論文標題 Near-Infrared [FeII] and H2 line mapping of the supernova remnant IC443 with the IRSF/SIRIUS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 49 (20pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab9cb3	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 Famiano, M., Boyd, R., Kajino, T., Onaka, T., and Mo, Y.	4. 巻 11
2. 論文標題 Astrophysical Sites That Can Produce Enantiomeric Amino Acids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Symmetry	6. 最初と最後の頁 23 (13pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sym11010023	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 Liu, J., Qiu, K., Berry, D., Francesco, J. D., et al.	4. 巻 877
2. 論文標題 The JCMT BISTRO Survey: The magnetic field in the starless core rho Ophiuchus C	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 43 (22pp)
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 Wang, J.-W., Lai, S.-P., Eswaraiah, C., 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 (19pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/1538-4357/ab12a2	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 Coude, S., Bastien, P., Houde, M., 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 (17pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab12b23	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 Andre, Ph., Hughes, A., Guillet, V., et al.	4. 巻 36
2. 論文標題 Probing the cold magnetized Universe with SPICA-POL (B-BOP)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 e029 (29pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2019.20	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 Pattle, K., Lai, S.-P., Hasegawa, T., et al.	4. 巻 880
2. 論文標題 JCMT BISTRO Survey observations of the Ophiuchus Molecular Cloud: Dust grain alignment properties inferred using a Ricean noise mode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27 (16pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab286f	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 Bell, A. C., Onaka, T., Galliano, F., Ronin, W., Doi, Y., Kaneda, H., Ishihara, D., and Giard, M.	4. 巻 71
2. 論文標題 Investigation of the origin of the anomalous microwave emission in lambda Orionis	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 123 (25pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz110	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 Shimonishi, T., Das, A., Sakai, N., Tanaka, K. E. I., Aikawa, Y., Onaka, T., Watanabe, Y., and Nishimura, Y.	4. 巻 891
2. 論文標題 Chemistry and physics of a low-metallicity hot core in the Large Magellanic Cloud	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 164 (24pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6e6b	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 Buragohain, M., Pathak, A., Sakon, I., and Onaka, T.,	4. 巻 892
2. 論文標題 DFT study on interstellar PAH molecules with aliphatic side groups	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 11 (11pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab733a	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 Onaka, T., Nakamura, T., Sakon, I., Wu, R., Ohsawa, R., Kaneda, H., Lebouteiller, V., and Roellig, T. L.	4. 巻 853
2. 論文標題 Near-infrared to mid-infrared observations of galaxy mergers: NGC 2782 and NGC 7727	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 31 (14pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa004	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 van der Tak, F. F. S., Madden, S. C., Roelfsema, P., et al.	4. 巻 35
2. 論文標題 Probing the baryon cycle of galaxies with SPICA mid- and far-infrared observations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 e002 (17pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2017.67	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 Famiano, M., Boyd, R., Kajino, T., and Onaka, T	4. 巻 856
2. 論文標題 Selection of amino acid chirality via neutrino interactions with ^{14}N in crossed electric and magnetic fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrobiology	6. 最初と最後の頁 190-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1089/ast.2017.1686	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 Dickinson, C., Ali-Haimoud, Y., Barr, A. et al.	4. 巻 80
2. 論文標題 The State-of-Play of Anomalous Microwave Emission (AME) Research	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 New Astronomy Reviews	6. 最初と最後の頁 1028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.newar.2018.02.001	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 Boyd, R. N., Famiano, M., Onaka, T., and Kajino, T.	4. 巻 856
2. 論文標題 Sites that can produce left-handed amino acids in the supernova neutrino amino acid processing model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26 (5pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaad5f	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 Wu, R., Bron, E., Onaka, T., Le Petit, F., Galliano, F., Languignon, D., Nakamura, T., and Okada, Y.	4. 巻 618
2. 論文標題 Constraining physical conditions for the PDR of Trumpler 14 in the Carina Nebula	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A53 (22pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201832595	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 Honda, M., Okada, K., Miyata, T., Mulders, G. D., Swearingen, J. R., Kamizuka, T., Ohsawa, R., Fujiyoshi, T., Fujiwara, H., Uchiyama, M., and Onaka, T.	4. 巻 70
2. 論文標題 Mid-infrared multi-wavelength imaging of Ophiuchus IRS 48 transitional disk	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 44 (11p)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy033	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 Suzuki, T., Kaneda, H., Onaka, T., Yamagishi, M., Ishihara, D., Kokusho, T., and Tsuchikawa, T.,	4. 巻 477
2. 論文標題 Enhanced dust emissivity power-law index along the western Halpha filament of NGC1569	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 2705-2715
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty800	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 Roelfsema, P. R., Shibai, H., Armus, L., et al.	4. 巻 35
2. 論文標題 SPICA - a large cryogenic infrared space telescope Unveiling the obscured Universe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 e030 (17pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2018.15	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 Famiano, M. A., Boyd, R. N., Kajino, T., Onaka, T., and Mo, Y.	4. 巻 8
2. 論文標題 Amino acid chiral selection via weak interactions in stellar environments: Implications for the origin of life	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-27110-z	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 Shimonishi, T., Watanabe, Y., Nishimura, Y., Aikawa, Y., Yamamoto, S., Onaka, T., Sakai, N., and Kawamura, A.	4. 巻 862
2. 論文標題 A multi-line study of a high-mass young stellar object in the Small Magellanic Cloud with ALMA: The detection of methanol gas at 0.2 solar metallicity,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 102 (14pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2018.41	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 Egami, E., Gallerani, S., Schneider, R., et al.	4. 巻 35
2. 論文標題 Probing the high-redshift universe with SPICA: Toward the epoch of reionisation and beyond,	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Australia	6. 最初と最後の頁 e048 (19pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/pasa.2018.41	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 Usui, F., Hasegawa, S., Ootsubo, T., and Onaka, T.,	4. 巻 71
2. 論文標題 AKARI/IRC near-infrared asteroid spectroscopic survey: AcuA-spec	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 1 (41pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy125	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 Baba, S., Nakagawa, T., Usui, F., Yamagishi, M., and Onaka, T.,	4. 巻 71
2. 論文標題 Revised wavelength and spectral response calibrations for AKARI near-infrared grism spectroscopy: post-cryogenic phase	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 2 (9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy132	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 Yamagishi, M., Yamamura, I., Mizuki, T., Ootsubo, T., Baba, S., Usui, F., and Onaka, T.	4. 巻 71
2. 論文標題 AKARI mid-infrared slit-less spectroscopic catalogue	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 3 (16pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy132	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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 遠藤いずみ、左近樹、尾中敬、他
2. 発表標題 WR125 の中間赤外線分光観測 - 天体のスリット上での捕獲位置による分光 データへの影響とその補正
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 遠藤いずみ、左近樹、尾中敬、他
2. 発表標題 急冷室素含有炭素質物質の宇宙環境曝露実験 - 帰還試料の初期分析報
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾中敬、左近樹、他
2. 発表標題 Discovery of two infrared objects with strong ice absorption in the AKARI slit-less spectroscopic survey
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Giard, M., Matsuhara, H., Kaneda, H., Onaka, T., Bradford, C., Y. 他
2. 発表標題 Unveiling the obscured universe with SPICA, A joint infrared space observatory
3. 学会等名 43rd COSPA Scientific Assembly (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Izumi Endo, Itsuki Sakon, Takashi Onaka, 他
2. 発表標題 Towards the identification of carriers of the unidentified infrared (UIR) bands in novae
3. 学会等名 The Origin of Outflows in Evolved Stars, IAU Symposium No. 366 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Els Peeters, Annemieke Petrignani, Timothy J. Lee, 他
2. 発表標題 Experimental and theoretical needs for the JWST Early Release Science Program on radiative feedback from massive stars (PDRs4ALL): I. Astronomical perspective
3. 学会等名 239th Meeting of the American Astronomical Society (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山村一誠, 金田英宏, 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨, 芝井 広, 尾中 敬, 河野孝太郎, 他
2. 発表標題 SPICA(次世代赤外線天文衛星): 日欧共同推進による概念検討・設計の進捗
3. 学会等名 日本天文学会2020年度秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山村一誠, 金田英宏, 小川博之, 中川貴雄, 松原英雄, 山田 亨, 鈴木 仁研, 尾中 敬, 河野孝太郎, 他
2. 発表標題 SPICA(次世代赤外線天文衛星): 検討中止の経緯とこれまでの成果
3. 学会等名 日本天文学会2021年度春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 P. R. Roelfsema, H. Shibai, H. Kaneda, M. et al.
2. 発表標題 The joint infrared space observatory SPICA: unveiling the obscured universe
3. 学会等名 The International Society for Optics and Photonics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤いずみ、左近樹、尾中敬、, 他
2. 発表標題 急冷窒素含有炭素質物質の赤外分光特性
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 金田 英宏 芝井 広, 山村 一誠, 小川 博之, 中川 貴雄, 松原 英雄, 山田 亨, 尾中 敬, 河野 孝太郎, 他 SPICA チームメンバー
2. 発表標題 SPICA(次世代赤外線天文衛星):日欧共同推進によるPhase A検討の現状
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 遠藤いずみ, 左近樹, 尾中敬, Mridusmita Buragohain, Ryan Lau
2. 発表標題 すばる望遠鏡 COMICS を用いた WR125 の中間赤外低分散分光観測
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 金田 英宏 芝井 広, 山村 一誠, 小川 博之, 中川 貴雄, 松原 英雄, 山田 亨, 尾中 敬, 河野 孝太郎, 他 SPICA チームメンバー
2. 発表標題 超高感度赤外線衛星 SPICA による宇宙進化史の解明
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 Onaka, T., Bontemp, S., Gusdorf, A., & the star-formation & ISM working group
2. 発表標題 Energy dissipation from clouds to star-forming regions with SPICA
3. 学会等名 Exploring the Infrared Universe: The promise of SPICA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onaka, T.
2. 発表標題 Interstellar dust as learned from AKAR
3. 学会等名 Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 16th Annual meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onaka, T.
2. 発表標題 ISM spectra from near- to mid-infrared
3. 学会等名 The Physics and Chemistry of the Interstellar Medium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onaka, T. & Bell, A. C.
2. 発表標題 AKARI study of anomalous microwave emission
3. 学会等名 International Conference on Infrared Astronomy and Astrophysical Dust (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 左近 樹, 池内綾人, 遠藤いずみ, 尾中 敬, 他
2. 発表標題 宇宙環境曝露実験によって探る炭素質星間塵の性質
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jin Zhang, Takashi Onaka, Itsuki Sakon, et al.
2. 発表標題 The Stellar Spectroscopic Variabilities Investigated with the AKARI Near-infrared Catalogs of the Large Magellanic Cloud
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下西 隆、尾中 敬、他
2. 発表標題 Molecular complexity around a high-mass young stellar object in the Small Magellanic Cloud seen by ALMA,
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤いずみ、左近樹、尾中敬、大澤亮、他
2. 発表標題 あかり全天サーベイデータを用いたV1065 Cen周囲のダストの性質調査,
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠藤いずみ、左近樹、尾中敬,, 他
2. 発表標題 窒素含有炭素質物質の宇宙曝露実験計画
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Onaka, T., Nakamura, T., Sakon, I., Ohsawa, R., Wu, R., Kaneda, H., Leboutelle, V., and Roellig, T. L.
2. 発表標題 Processing of nano dust particles in galaxies
3. 学会等名 International Astronomical Union, General Assembly XXX, FM10, Nano Dust in Space and Astrophysics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1 . 発表者名 Onaka, T.
2 . 発表標題 Formation and processing of organic and ice dust
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 Kokusho, T., Kanedad, H., Bureau, M., Suzuki, T., Yamagishi, M., and Onaka, T.
2 . 発表標題 A systematic study of dust and star formation in early-type galaxies with AKARI
3 . 学会等名 Cosmic Dust: origin, application, & implication (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Usui, F., Hasegawa, S., Ootsubo, T., and Onaka, T.
2 . 発表標題 Exploring Hydrated Minerals on Asteroids with AKARI,
3 . 学会等名 The 50th Lunar and Planetary Science Conference (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 尾中 敬
2 . 発表標題 Detectability of large ice grains as the origin of unidentified depleted oxygen
3 . 学会等名 第35回Grain Formation Workshop
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 尾中 敬
2. 発表標題 Interstellar dust as revealed by AKARI
3. 学会等名 銀河の化学進化とダスト形成」研究会（招待講演）
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
研究 分担者	左近 樹 (Sakon Itsuki) (70451820)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・助教 (12601)	

	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
研究 協力者	下西 隆 (Takashi Shimonishi) (80725599)	新潟大学・理学部・助教 (13101)	

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