

令和元年6月26日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2018

課題番号：26707008

研究課題名(和文)「あかり」赤外線観測で探る惑星と生命の物質の起源

研究課題名(英文)Origin of planets and life investigated with AKARI infrared observations

研究代表者

石原 大助 (Ishihara, Daisuke)

名古屋大学・理学研究科・特任講師

研究者番号：30507835

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,500,000円

研究成果の概要(和文)：惑星系形成途中の円盤の中で、宇宙空間起源の物質は変性・進化し、岩石惑星や生命の起源となる。本研究では、主に赤外線天文衛星「あかり」の中間赤外線全天観測データを活用し、宇宙空間における有機物・珪酸塩の化学進化・変性プロセス、惑星系形成過程におけるこれらの物理状態、完成した惑星系である太陽系における固体微粒子雲の性質を解析し、星間物質から惑星系に至る過程での、物質進化の包括的理解に取り組んだ。

研究成果の学術的意義や社会的意義

(1) 本研究は、生命の起源物質である有機物と岩石惑星の構成要素である珪酸塩に着目し、宇宙空間・惑星形成過程における物質進化の流れを追うことで、生命の起源に迫るものである。(2) 赤外線による固体物質の観測からは、天体の現在と過去の物理状態を探ることができ、惑星形成シナリオの理論研究に対しても相補的な情報をもたらした。(3) 天体現象の解析に於いては、これまでは電波・可視光・X線による気体の物理状態の観測が主な手段であったが、本研究では、赤外線観測により固体物質の現在・過去の物理状態を調べ、従来の気体の観測とは相補的な情報を得る方法を確立した。

研究成果の概要(英文)：Solid materials in the interstellar space are incorporated into planet forming disks and processed/evolved to be origins of rocky planets and life. Using the AKARI mid-infrared all-sky survey data and related data, we investigated processing of organic molecules and silicates in the interstellar space, physical properties of them in the planet-forming disks, and compared with the dust disk around our solar system, which enables us comprehensive understandings of the material flow from interstellar space to planetary systems.

研究分野：光赤外線天文学

キーワード：赤外線天文学 惑星系形成 星間物質 「あかり」衛星 データ解析

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

星や惑星は、宇宙空間の物質が集積して作られ、惑星系形成円盤の中では物質が変性・進化している。生命の起源物質である有機物(炭化水素)は、星間空間では、ほとんど芳香族(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAH)として検出されるが、太陽系形成時の組成を反映しているはずの長軌道彗星では、脂肪族の割合が多い。また、岩石惑星の主成分である珪酸塩は、宇宙空間では殆ど非晶質であるが、彗星には多様な結晶質が存在している。これらの物質はいつどのように変化(進化)するのだろうか。固体物質は、その物理状態から領域の現在の様子を示すとともに、形成条件からその領域の歴史も示唆する。惑星形成過程における固体物質の研究は、岩石惑星と生命の起源を、物質の視点から探るものであるとともに、円盤中での過去の到達温度や物質輸送など、惑星形成過程で起きている事象にもヒントが得られる。

赤外線天文衛星「あかり」は、これらの情報を、空間的・波長域的にカバーするデータセットを取得している。有機物のスペクトルフィーチャー(波長6.2~11.3 μm)を捉える波長帯(9 μm帯)で全天観測を行い、これまでの解析により(若手研究 B, 課題番号:24740122, 代表:石原大助)、他波長のデータと組み合わせ、有機物と珪酸塩の空間分布の議論が可能になっている。一方、同データから、中間赤外域に放射ピークを持つ、太陽系の黄道光よりも光学的に厚いダスト円盤(惑星の始原天体の衝突合体等により、固体粒子が惑星間空間に供給されている天体)が見つかってきている。さらに、この全天データを解析する過程で、太陽系のダスト円盤(惑星間空間塵)の空間構造・粒子サイズについても知見が得られる。これらを組み合わせることで、星間物質から惑星系に至る過程での、物質進化の総合的な研究が可能となる。

### 2. 研究の目的

#### (1) 星間空間における固体粒子の化学進化の理解

星・惑星系の原材料となる、星間空間の固体粒子の組成や物理状態、およびその進化を理解する。主に、「あかり」衛星による波長9 μm帯および波長20~140 μm帯の赤外線全天マップを利用し、我々の銀河系内における、有機物および珪酸塩粒子の空間分布を調べ、何箇所かの代表領域の赤外線スペクトルと組み合わせ、銀河系内での固体粒子やその物理状態の分布、化学進化を議論する。

#### (2) 惑星系形成過程における、有機物と珪酸塩の化学進化の理解

「あかり」衛星による観測データを利用して、惑星系形成過程(後期)の天体を探索し、惑星形成ステージにおける固体物質の進化を統計的に議論する。

#### (3) 太陽系外の惑星系形成過程の天体と太陽系のダスト円盤の比較研究

「あかり」の中間赤外線全天マップから、太陽系の惑星間塵放射の解析が進んでいる。空間分解できない系外のデブリ円盤とは異なり、固体粒子の空間分布や(放射率の波長依存性から)粒子サイズ分布、彗星や小惑星帯など粒子の放出源、の推定が可能である。これを(2)の結果と組み合わせ、デブリ円盤の形成過程・粒子サイズ進化を議論する。

以上を総合して、惑星形成過程における固体物質進化を総合的に理解する。

### 3. 研究の方法

#### a) 「あかり」中間赤外線点源カタログに基づく、惑星系形成過程の円盤の研究

「あかり」衛星の中間赤外線全天観測を基に得られた点源カタログ(Ishihara et al. 2010, A&A, 514, 1)を使い、惑星系形成過程後期、原始惑星系円盤由来のガスが晴れ上がった後の段階のダスト円盤(デブリ円盤)を系統的に探索する。候補天体の中心星の明るさを、南アフリカ近赤外線望遠鏡 IRSF を用いて精度良く測定し、「あかり」で測定した赤外線での明るさと比較し、中心星周囲のダスト円盤の存在を示す赤外線放射の有無を調査してゆく。検出した天体について、ダスト円盤放射量の年齢依存性を理論モデルと比較する。さらに、検出したデブリ円盤について、すばる望遠鏡等による追観測で、円盤を構成する物質の赤外スペクトルを取得し、ダスト成分や物理状態を推定し、その星間空間との違いを議論する。(→研究目的 2)

#### b) 「あかり」中間赤外線全天観測データの前景光解析による、惑星間空間塵放射の研究

「あかり」による中間赤外線の2波長での全天観測データを、太陽系のダスト円盤を内側からCTスキャンしたデータのように解析することで、円盤の3次元構造・粒子サイズ・組成を推定し、それをもとにダストの起源を議論する。また、COBE衛星(1995年)による過去の同様の観測・解析結果(Kelsall et al. 1998, ApJ, 508, 44)と比較し、「あかり」衛星の観測時期(2006~2007年)との間での、ダストの空間分布や物理状態の時間変化を調査する。(→研究目的 3)

#### c) 「あかり」中間赤外線全天観測データから得られる銀河光マップに基づく、星間物質の研究

前述の作業でモデル化された、太陽系のダスト円盤の放射(黄道光)を、「あかり」の生データから前景光として差し引き、銀河系の星間物質からの放射のマップを作成する。有機物の放射を捉える波長9 μm帯と、主に珪酸塩の固体微粒子の熱放射を捉える遠赤外線帯の観測データを比較し、それぞれの粒子の銀河系内における分布を調べる。これらを、各物質の供給源である質量

放出星の分布と比較し、銀河系内での星間空間の物質の物理状態・化学進化を議論する。(→研究目的 1)

#### 4. 研究成果

##### (1) 星間空間における固体粒子の化学進化の理解

新しい黄道光モデルを用いて、前景光の差し引き精度を向上した銀河面マップを使い、星形成領域の物質を解析したところ、珪酸塩を主成分とするダストに対する PAH の相対存在量が、銀河系の内側と外側で異なることが分かった (Hanaoka et al. 2019, PASJ, 71, 6)。これは、我々銀河系内での各固体粒子の供給源の分布の違い (Ishihara et al. 2011, A&A, 534, 79) と一致する。星の中で元素合成された物質が星間空間に供給され、その物質を元に生成される星や惑星系に影響を及ぼし、その星から星間空間に供給される成分に変化を及ぼす様子が、明らかになった。

##### (2) 惑星形成過程 (主にデブリ円盤) における、有機物と珪酸塩の化学進化の調査

「あかり」データを使ったデブリ円盤の探査では、56 天体のサンプルを検出した。これらの円盤放射量の年齢に対する進化を統計的に議論した結果、標準理論である衝突カスケードモデル (Kobayashi & Tanaka, 2010, Icar, 209, 836) では説明しきれない、年齢が古いのに大量のダストを保持している系が存在することが明らかになった (Ishihara et al. 2017, A&A, 601, 72)。これらは、惑星を巻き込む巨大衝突によって、突発的に大量のダストを軌道に供給している現場の可能性もある。少なくとも、標準理論では説明できない現象があることを示した。

また、すばる望遠鏡による追観測により、一年程度で系から吹き飛んでしまうはずの小さな固体微粒子を、10 年近く保持している系や、有機物 (多環式芳香族炭化水素) を保持する天体など、標準理論だけでは説明できない天体におけるダストの物理状態を明らかにした (Ishihara et al. in prep.)。有機物については、分光スペクトルから推定される有機物の特徴は、星間空間の一般的な物とは異なる分子構造を示し、惑星形成過程の中で、有機物に変性を受けている可能性が示唆される。

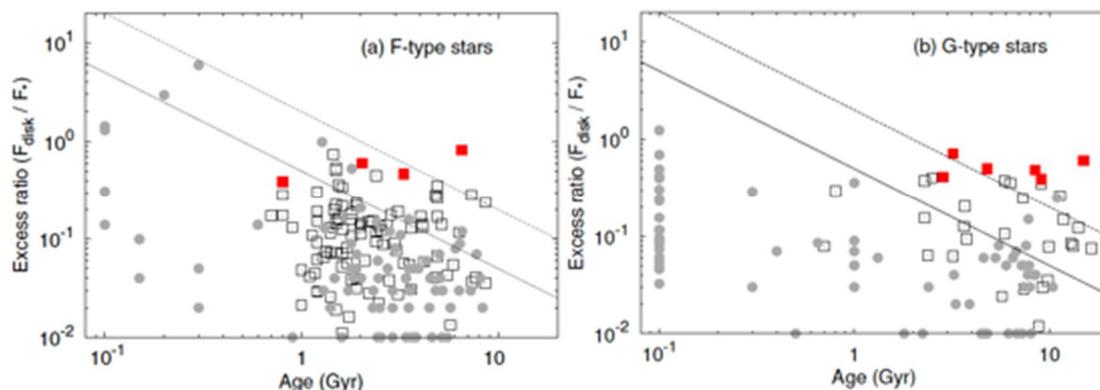


図 1 デブリ円盤の放射量の年齢に沿った進化を示す。(a) F 型星、(b) G 型星。赤い■が「あかり」による  $3\sigma$  以上での検出したサンプル、黒い□が  $3\sigma$  以下での検出。灰色は先行研究の結果 (Spitzer 望遠鏡を使った成果)。

##### (3) 惑星形成過程 (デブリ円盤) と太陽系のダスト円盤の比較研究

「あかり」中間赤外線マップを用いて、惑星間空間ダストの分布や物理状態を解析し、10 年前の COBE 衛星の観測結果と比較することで、太陽系におけるダスト供給のダイナミックな姿が明らかになってきた。(1) ダストの空間分布から、内側軌道での彗星等によるダスト供給が有意であること、(2) ダスト放射の波長依存性から、散逸時間の短い小さなダストの存在が有意であること、(3) 太陽系外から入り込んでいるダスト成分が存在すること (Kondo et al. 2016, AJ, 151, 71)、また、(4) 地球の共鳴軌道に捕獲されているダスト雲成分の分布が時間変化していることがわかった。また、太陽のフレアと同期して内側軌道から輸送されてきた炭素系ダスト雲も検出した (Ishihara et al. 2017, A&A, 601, 72)。今後の研究では、これらのプロセスも考慮して、デブリ円盤におけるダスト供給過程を議論してゆく。

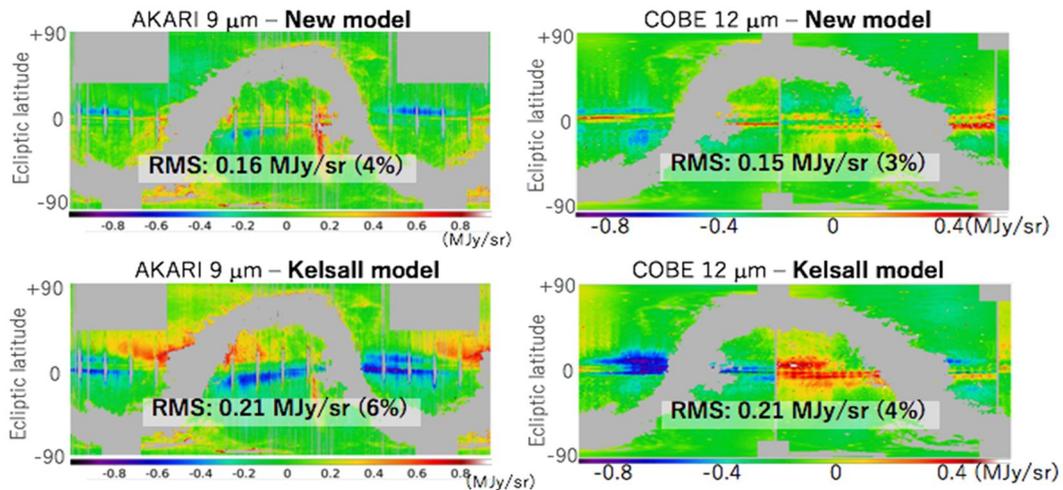


図 2 「あかり」衛星および COBE 衛星による全天マップから、新しく構築した黄道光モデルを差し引いた結果。銀河光はマスクしている。残渣が少ない方が、より精度良く黄道光を再現したモデルと言える。本研究で構築した新しいモデルは、時間変動成分を考慮した上で、「あかり」衛星のデータも 10 年前の COBE 衛星のデータも、より精度良く再現している。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 38 件)

- ① "A systematic study of Galactic infrared bubbles along the Galactic plane with AKARI and Herschel", Hanaoka, M., Kaneda, H., Suzuki, T., Kokusho, T., Oyabu, S., [Ishihara, D.](#), Kohno, M., Furuta, T., Tsuchikawa, T., & Saito, F., Publications of the Astronomical Society of Japan, (2019), 査読有
- ② "SPICA-A Large Cryogenic Infrared Space Telescope: Unveiling the Obscured Universe", Roelfsema, P. R., Shibai, H., Armus, L., Arrazola, D., Audard, M., Audley, M. D., Bradford, C. M., Charles, I., Dieleman, P., Doi, Y., Duband, L., Eggens, M., Evers, J., Funaki, I., Gao, J. R., Giard, M., di Giorgio, A., González Fernández, L. M., Griffin, M., Helmich, F. P., Hijmering, R., Huisman, R., [Ishihara, D.](#), et al., Publications of the Astronomical Society of Australia, Vol.35, id.e030, (2018), 査読有
- ③ "Enhanced dust emissivity power-law index along the western H  $\alpha$  filament of NGC 1569", Suzuki, T., Kaneda, H., Onaka, T., Yamagishi, M., [Ishihara, D.](#), Kokusho, T., & Tsuchikawa, T., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.477, pp.3065-3075, (2018), 査読有
- ④ "Unbiased Large Spectroscopic Surveys of Galaxies Selected by SPICA Using Dust Bands", Kaneda, H., [Ishihara, D.](#), Oyabu, S., Yamagishi, M., et al., Publications of the Astronomical Society of Australia, Vol.34, id.e059, (2017), 査読有
- ⑤ "Galaxy Evolution Studies with the SPace IR Telescope for Cosmology and Astrophysics (SPICA): The Power of IR Spectroscopy", Spinoglio, L., Alonso-Herrero, A., Armus, L., Baes, M., Bernard-Salas, J., Bianchi, S., Bocchio, M., Bolatto, A., Bradford, C., Braine, J., Carrera, F. J., Ciesla, L., Clements, D. L., Dannerbauer, H., Doi, Y., Efstathiou, A., Egami, E., Fernández-Ontiveros, J. A., Ferrara, A., Fischer, J., Franceschini, A., Gallerani, S., Giard, M., González-Alfonso, E., Gruppioni, C., Guillard, P., Hatziminaoglou, E., Imanishi, M., [Ishihara, D.](#), et al., Publications of the Astronomical Society of Australia, Vol.34, id.e057, (2017), 査読有
- ⑥ "SPICA and the Chemical Evolution of Galaxies: The Rise of Metals and Dust", Fernández-Ontiveros, J. A., Armus, L., Baes, M., Bernard-Salas, J., Bolatto, A. D., Braine, J., Ciesla, L., De Looze, I., Egami, E., Fischer, J., Giard, M., González-Alfonso, E., Granato, G. L., Gruppioni, C., Imanishi, M., [Ishihara, D.](#), Kaneda, H., Madden, S., Malkan, M., Matsuhara, H., Matsuura, M., Nagao, T., Najarro, F., Nakagawa, T., Onaka, T., Oyabu, S., Pereira-Santaella, M., Pérez Fournon, I., Roelfsema, P., Santini, P., Silva, L., Smith, J.-D. T., Spinoglio, L., van der Tak, F., Wada, T., & Wu, R., Publications of the Astronomical Society of Australia, Vol.34, id.e053, (2017), 査読有
- ⑦ "A relationship of polycyclic aromatic hydrocarbon features with galaxy merger in star-forming galaxies at  $z < 0.2$ ", Murata, K., Yamada, R., Oyabu, S., Kaneda, H., [Ishihara, D.](#), Yamagishi, M., Kokusho, T., & Takeuchi, T., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol.472, pp.39-50, (2017), 査読有
- ⑧ "A likely detection of a local interplanetary dust cloud passing near the Earth in the AKARI mid-infrared all-sky map", [Ishihara, D.](#), Kondo, T., Kaneda, H., Suzuki, T., Nakamichi, K., Takaba, S., Kobayashi, H., Masuda, S., Ootsubo, T., Pyo, J., & Onaka, T., Astronomy & Astrophysics, Vol.603, id.A82, (2017), 査読有
- ⑨ "Faint warm debris disks around nearby bright stars explored by AKARI and IRSF", [Ishihara, D.](#), Takeuchi, N., Kobayashi, H., Nagayama, T., Kaneda, H., Inutsuka, S., Fujiwara, H., & Onaka, T.,

Astronomy & Astrophysics, Vol.601, id.A72, (2017), 査読有

⑩ "A Massive Molecular Outflow in the Dense Dust Core AGAL G337.916-00.477", Torii, K., Hattori, Y., Hasegawa, K., Ohama, A., Yamamoto, H., Tachihara, K., Tokuda, K., Onishi, T., Hattori, Y., Ishihara, D., Kaneda, H., & Fukui, Y., The Astrophysical Journal, Vol.840, p.111, (2017), 査読有

11 "Size Dependence of Dust Distribution around the Earth Orbit", Ueda, T., Kobayashi, H., Takeuchi, T., Ishihara, D., Kondo, T., & Kaneda, H., The Astronomical Journal, Vol.153, p.232, (2017), 査読有

12 "Detection of Submillimeter-wave [C I] Emission in Gaseous Debris Disks of 49 Ceti and  $\beta$  Pictoris", Higuchi, A., Sato, A., Tsukagoshi, T., Sakai, N., Iwasaki, K., Momose, M., Kobayashi, H., Ishihara, D., Watanabe, S., Kaneda, H., & Yamamoto, S., The Astrophysical Journal Letters, Vol.839, id.L14, (2017), 査読有

13 "Debris Disks and the Zodiacal Light Explored by the Akari Mid-Infrared All-Sky Survey", Ishihara, D., Takeuchi, N., Kondo, T., Kobayashi, H., Kaneda, H., Inutsuka, S., Oyabu, S., Nagayama, T., Fujiwara, H., & Onaka, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.67-71, (2017), 査読有

14 "Laboratory Experiments of Off-Axis Mirror Optics of Aluminum for Space Infrared Missions", Oseki, S., Oyabu, S., Ishihara, D., Enya, K., Haze, K., Kotani, T., Kaneda, H., Nishiyama, M., Abe, L., & Yamamuro, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.359-361, (2017), 査読有

15 "Development of a Cryogenic Testing System for Mid-Infrared Detectors on SPICA", Nishiyama, M., Kaneda, H., Ishihara, D., Oseki, S., Takeuchi, N., Nagayama, T., & Wada, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.355-357, (2017), 査読有

16 "a Cosmological PAH Survey with SPICA", Wada, T., Egami, E., Fujishiro, N., Goto, T., Imanishi, M., Inami, H., Ishihara, D., Kaneda, H., Kohno, K., Koyama, Y., Matsuhara, H., Matsuura, S., Nagao, T., Ohya, Y., Onaka, T., Oyabu, S., Pearson, C., Sakon, I., Takeuchi, T., Tomita, K., Yamada, T., & Yamagishi, M., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.317-319, (2017), 査読有

17 "Luminosity Dependence of the Covering Factor of the Dust Torus in Active Galactic Nuclei Revealed by Akari", Toba, Y., Oyabu, S., Matsuhara, H., Ishihara, D., Malkan, M., Wada, T., Ohya, Y., Kataza, H., Takita, S., & Yamauchi, C., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.193-195, (2017), 査読有

18 "Akari Observations of Dusty Tori of Active Galactic Nuclei", Oyabu, S., Kaneda, H., Izuhara, M., Tomita, K., Ishihara, D., Kawara, K., & Matsuoka, Y., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.157-161, (2017), 査読有

19 "Study of CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Ice Abundance Ratios in Nearby Galaxies with the Akari Near-Infrared Spectroscopy", Yamagishi, M., Kaneda, H., Oyabu, S., Ishihara, D., Onaka, T., Shimonishi, T., & Suzuki, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.141-145, (2017), 査読有

20 "Properties of Dust in Various Environments of Nearby Galaxies", Kaneda, H., Kokusho, T., Yamada, R., Ishihara, D., Oyabu, S., Kondo, T., Yamagishi, M., Yasuda, A., Onaka, T., & Suzuki, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.135-139, (2017), 査読有

21 "Akari Observations of Massive Star-Forming Regions Indicative of Large-Scale Cloud-Cloud Collisions", Hattori, Y., Kaneda, H., Ishihara, D., Yamagishi, M., Kondo, T., & Sano, H., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.123-125, (2017), 査読有

22 "Infrared Observations of Dust around Helium Nova V445 Puppis", Shimamoto, S., Sakon, I., Onaka, T., Usui, F., Ootsubo, T., Doi, Y., Ohsawa, R., & Ishihara, D., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.109-111, (2017), 査読有

23 "Akari and Spinning Dust: Investigating the Nature of Anomalous Microwave Emission via Infrared Surveys", Bell, A., Onaka, T., Doi, Y., Sakon, I., Usui, F., Sakon, I., Ishihara, D., Kaneda, H., Giard, M., Wu, R., Ohsawa, R., Ito, T., Hammonds, M., & Lee, H., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.97-99, (2017), 査読有

24 "Processing of Interstellar Medium as Divulged by Akari", Onaka, T., Mori, T., Ohsawa, R., Sakon, I., Bell, A., Hammonds, M., Shimonishi, T., Ishihara, D., Kaneda, H., Okada, Y., & Tanaka, M., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.77-81, (2017), 査読有

25 "Search for Debris Disks by Akari and Irsf", Takeuchi, N., Ishihara, D., Kaneda, H., Oyabu, S., Kobayashi, H., Nagayama, T., Onaka, T., & Fujiwara, H., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.73-75, (2017), 査読有

26 "Small-Scale Structure of the Zodiacal Dust Cloud Observed in Far-Infrared with Akari", Ootsubo, T., Doi, Y., Takita, S., Matsuura, S., Kawada, M., Nakagawa, T., Arimatsu, K., Tanaka, M., Kondo, T., Ishihara, D., Usui, F., & Hattori, M., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.63-65, (2017), 査読有

27 "Modeling of the Zodiacal Light for the Akari Mid-IR All-Sky Diffuse Maps", Kondo, T., Ishihara, D., Kaneda, H., Oyabu, S., Amatsutsu, T., Nakamichi, K., Sano, H., Ootsubo, T., & Onaka, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.59-61, (2017), 査読有

28 "a Source Extraction Method for the Akari Mid-IR Faint Source Catalogue", Nakamichi, K., Ishihara, D., Kaneda, H., Oyabu, S., Kondo, T., Amatsutsu, T., Sano, H., & Onaka, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.29-31, (2017), 査読有

- 29 "The Current Status of the Akari Mid-Infrared All-Sky Diffuse Maps", Amatsutsu, T., Ishihara, D., Kondo, T., Kaneda, H., Oyabu, S., Yamagishi, M., Nakamichi, K., Sano, H., & Onaka, T., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.25-27, (2017), 査読有
- 30 "A Quality Check of the Akari Mid-Infrared All-Sky Diffuse Map Toward the Massive Star-Forming Regions NGC 6334 and NGC 6357", Sano, H., Amatsutsu, T., Kondo, T., Nakamichi, K., Yamagishi, M., Ishihara, D., Oyabu, S., Kaneda, H., Tachihara, K., & Fukui, Y., Publications of The Korean Astronomical Society, Vol.32, pp.21-23, (2017), 査読有
- 31 "Spatial Variations of PAH Properties in M17SW Revealed by Spitzer/IRS Spectral Mapping", Yamagishi, M., Kaneda, H., Ishihara, D., Oyabu, S., Suzuki, T., Onaka, T., Nagayama, T., Umemoto, T., Minamidani, T., Nishimura, A., Matsuo, M., Fujita, S., Tsuda, Y., Kohno, M., & Ohashi, S., The Astrophysical Journal, Vol.833, p.163, (2016), 査読有
- 32 "Mid- and far-infrared properties of Spitzer Galactic bubbles revealed by the AKARI all-sky surveys", Hattori, Y., Kaneda, H., Ishihara, D., Fukui, Y., Torii, K., Hanaoka, M., Kokusho, T., Kondo, A., Shichi, K., Ukai, S., Yamagishi, M., & Yamaguchi, Y., Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.68, p.37, (2016), 査読有
- 33 "Modeling of the Zodiacal Emission for the AKARI/IRC Mid-infrared All-sky Diffuse Maps", Kondo, T., Ishihara, D., Kaneda, H., Nakamichi, K., Takaba, S., Kobayashi, H., Ootsubo, T., Pyo, J., & Onaka, T., The Astronomical Journal, Vol.151, p.71, (2016), 査読有
- 34 "Coronagraphic Demonstration Experiment Using Aluminum Mirrors for Space Infrared Astronomical Observations", Oseki, S., Oyabu, S., Ishihara, D., Enya, K., Haze, K., Kotani, T., Kaneda, H., Nishiyama, M., Abe, L., & Yamamuro, T., Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Vol.127, p.1077, (2015), 査読有
- 35 "A study of iron and dust in the supernova remnant IC 443", Kokusho, T., Nagayama, T., Kaneda, H., Ishihara, D., Lee, H., & Onaka, T., Planetary and Space Science, Vol.116, pp.92-96, (2015), 査読有
- 36 "An AKARI infrared study of dust emission in Galactic bubbles indicative of large-scale cloud-cloud collisions", Hattori, Y., Kaneda, H., Ishihara, D., Yamagishi, M., Kondo, T., & Sano, H., Planetary and Space Science, Vol.116, pp.57-63, (2015), 査読有
- 37 "Systematic Variations in CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O Ice Abundance Ratios in Nearby Galaxies Found with AKARI Near-infrared Spectroscopy", Yamagishi, M., Kaneda, H., Ishihara, D., Oyabu, S., Onaka, T., Shimonishi, T., & Suzuki, T., The Astrophysical Journal, Vol.807, p.29, (2015), 査読有
- 38 "AKARI observations of interstellar dust grains in our Galaxy and nearby galaxies", Kaneda, H., Ishihara, D., Kobata, K., Kondo, T., Oyabu, S., Yamada, R., Yamagishi, M., Onaka, T., & Suzuki, T., Planetary and Space Science, Vol.100, pp.6-11, (2014), 査読有

[学会発表](計10件)

Ishihara, D., et al., "Debris disks and the Zodiacal light - from AKARI to SPICA", 2017年10月, The Cosmic Wheel and the Legacy of the AKARI archive: from galaxies and stars to planets and life, Univ. of Tokyo, Japan

Ishihara, D., et al., "Faint warm debris disks around nearby bright stars explored by AKARI and IRSF", 2017年10月, Workshop on gaseous debris disks, Riken, Wako, Japan (招待講演)

石原大助他、「「あかり」とIRSFによるデブリ円盤の探査」, 2016年8月、ALMAワークショップ:デブリ円盤から太陽系へ、千葉工業大学

石原大助他、「SPICAで探るデブリ円盤の進化と太陽系の起源」, 2016年3月、日本天文学会、首都大学東京

Ishihara, D., et al., "Investigating non-steady processes in warm debris disks", 2015年9月, Subaru Seminars, NAOJ, Hawaii, U.S.

石原大助他、「銀河中の星生成と物質進化の相互作用の解明」, 2015年9月、光赤天連シンポ、国立天文台

石原大助他、「AKARIとIRSFで探査したデブリ円盤の特徴」, 2015年3月、日本天文学会、大阪大学

石原大助他、「SPICAによるデブリ円盤の研究」, 2014年10月、「赤外線観測と惑星科学」研究会、神戸大学

石原大助他、「銀河中の星生成と物質進化の相互作用の解明」, 2014年9月、光赤天連シンポ、国立天文台

10 Ishihara, D., et al., "Debris disks and the zodiacal light", 2014年7月, The Universe in the Light of AKARI and Synergy with future Large Space Telescopes, University of Oxford, U.K.

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。