

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247016

研究課題名(和文)「あかり」赤外線全天サーベイデータを用いた宇宙星形成史の統一的解明

研究課題名(英文) Unveil the star formation history in the universe using the AKARI infrared all-sky survey data

研究代表者

土井 靖生 (DOI, Yasuo)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：70292844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,000,000円

研究成果の概要(和文)：日本の打ち上げた赤外線天文衛星「あかり」による遠赤外線全天観測データを解析し、星間輻射スペクトルのピーク付近の複数の波長帯(65, 90, 140, 160  $\mu\text{m}$ )の詳細な全天画像を作成した。作成した全天画像を世界の天文学者へ向けて公開した。公開に際してはJAXA宇宙科学研究所及び欧州宇宙機関(ESA)からプレスリリースを行った。太陽系内ダストの輻射分布をこれまでになく精度で決定し、銀河系ダストからの輻射成分と分離することに成功した。得られた画像を用い、星生成領域中のフィラメント構造を抽出することで、フィラメント構造と星形成との関係を広域に亘り明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We produced full-sky maps in the far-infrared wavelengths centred at 65, 90, 140, and 160 micron observed by the Japanese infrared satellite AKARI. The full-sky image data were publicly released with press release by JAXA and ESA. Detailed distribution model of Zodiacal dust emission is obtained from the image data by utilising the high spatial resolution of the data. Large-scale distribution of interstellar filament structures in star-formation regions are extracted from the obtained image data, which reveals close connection between the filamentary structures and newly formed stars in the spatial scale of giant molecular clouds.

研究分野：赤外線天体物理学

キーワード：光赤外線天文学

## 1 研究開始当初の背景

星形成活動度の指標となる星からの総放出エネルギー量の指標として、また星形成活動の元となる星間物質の空間分布とその総量を知るトレーサーとして、赤外線観測データが大変良い指標となることが知られている。しかしながら全天サーベイ観測を行った IRAS、COBE 等は空間分解能が5'角 ~ 42'角程度に留まり、一方 Herschel に代表される大型衛星は高い空間分解能を達成するものの、その観測領域は天球のごく一部に限られ、また観測波長範囲も連続的ではない。

これに対し、日本の打ち上げた「あかり」衛星による全天観測データは遠赤外線に於いて1' ~ 2'の空間分解能で全天をカバーしており、特に星間物質の大局的な特性分布を調べる上で革新的な知見をもたらす事が可能である。我々は「あかり」の観測データを用い、これまで基礎データとして広く利用されていた IRAS の全天画像を刷新することを目指した。

## 2 研究の目的

(1) 【「あかり」全天遠赤外線画像の作成・データ公開】遠赤外線画像の作成は、特に検出器が強い非線形性を有することから、検出器動作やデータ取得時の衛星運用に関する情報を元に、慎重な解析が必要である。この画像解析ソフトを新規に開発し、全天画像の作成を行う。

(2) 【銀河系内赤外シラス雲中のフィラメント構造の広域分布、及び星形成活動との関連の解明】近年 Herschel 衛星による高空間分解能の観測により、星が生まれる直接の舞台となっていることが示されつつある星間ガス中のフィラメント構造 [1, 2, 3] について、「あかり」の観測データからそのグローバルな性質の分布、星形成活動との関わりを探る。

(3) 【太陽系内ダスト詳細分布の解明】黄道放射中の微細な構造に関して、「あかり」はこれまでの遠赤外線観測で最も詳細に分布をとらえることができている。フィラメント構造からの遠赤外線輻射を正確にとらえるためにも、「あかり」全天遠赤外線画像を用いて前景光である黄道放射の正確な分布を押さえる。

## 3 研究の方法

(1) 全天マップの作成のために、主に次の各点について、検出器シグナルの改良を行う解析ソフトを開発する。a) これまでの複数の遠赤外線観測衛星データとの比較による、強度較正精度の向上 b) 検出器

シグナルの詳細な解析による、非線形補正精度の向上 c) 検出器感度の長周期ドリフト補正精度の向上 d) 検出器ノイズに見られる、読み出し回路起因の周期ノイズの除去 e) 月近傍の天域観測時の月からの干渉光の混入パターンの詳細な解析による、干渉光の影響の除去

(2) 作成された画像から、画像解析により各星形成領域に分布するフィラメント状の輝度分布を抽出する。「あかり」の空間分解能で分解出来ると期待される太陽系近傍 (< 300pc) に存在する全天のフィラメントマップを得、そのグローバル/ローカルな性質分布を明らかにする。

(3) 「あかり」全天画像の4バンドでは黄道放射の寄与の程度が異なることを利用し、黄道放射と銀河系内ダスト放射を切り分けることで、太陽系内ダスト分布の詳細なモデルを構築する。

## 4 研究成果

(1) 我々の解析により得られた全天画像を図 1 に示す [4, 5, 6, 7]。画像データは 2014 年に全世界の研究者へ向けて公開している。データ公開のアナウンスは、JAXA 宇宙科学研究所、及び欧州宇宙機構 (European Space Agency: ESA) から行った。本研究により、研究代表者は第 1 回宇宙科学研究所賞を受賞した。

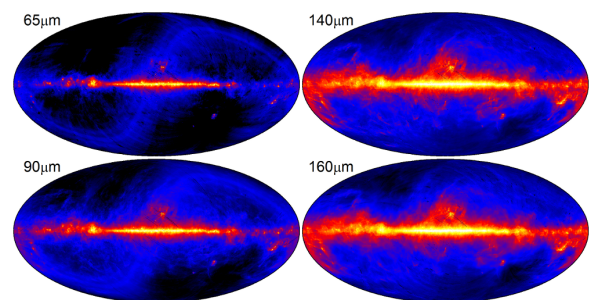


図 1: 「あかり」遠赤外線全天画像。65 $\mu\text{m}$ 、90 $\mu\text{m}$ 、140 $\mu\text{m}$ 、160 $\mu\text{m}$  の 4 バンドで全天の 99% 以上の領域を観測した。画像中央に見える黒いスジは未観測領域である。 [6]

図 2 に示すのは大質量星の生まれる星形成領域の一つであるイータ・カリーナ領域の「あかり」及び IRAS の赤外線画像である。「あかり」は IRAS に対し 3 ~ 5 倍の空間分解能の向上を達成し、星形成領域内部の物質分布をより詳細に描き出すことに成功した。特にフィラメント構造の抽出を含む星形成領域の内部構造の理解に於いて、この数倍の空間分解能の向上が決定的な役割を果たす。

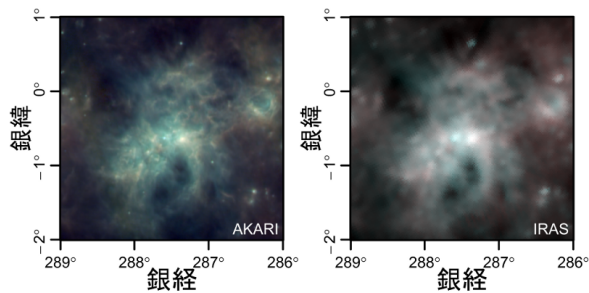


図 2: 「あかり」と IRAS によるイータ・カーリーナ領域の遠赤外線画像。「あかり」による空間分解能の向上が見て取れる。

また「あかり」は IRAS に比べ広い波長範囲の観測を行い、星間物質の輻射スペクトルのピークを適切に覆うことで、星間塵輻射スペクトルの全体を精度良く観測することに成功した(図 3)。ここから星間塵の温度や総量、ひいては各領域の星形成活動度や星間物質の総量を高い空間分解能で全天にわたり明らかにすることが可能である。

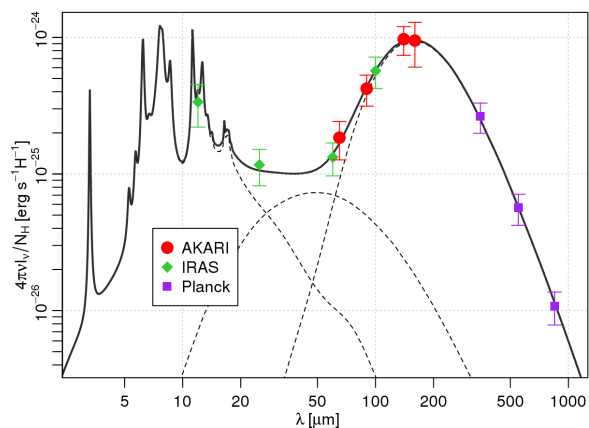


図 3: 「あかり」観測データからモデルを用いて予測した遠赤外線輻射のスペクトル [6]。IRAS, Planck の各衛星による観測値と良く合っており、「あかり」の観測データから赤外線輻射スペクトルの正確な再現が可能であることが分かる。

(2) 得られた高詳細な赤外線画像を用い、画像解析により広域に分布するフィラメント構造を抽出することが可能である(図 4)。図 4 に併せて示す若い天体が、フィラメント構造に沿って分布する様子が見て取れる。これは IRAS に比べて空間分解能の向上した「あかり」画像により初めて可能となる解析である。

各天体から近接するフィラメント構造までの距離を画像上で測定すると、生まれたばかりの若い原始星

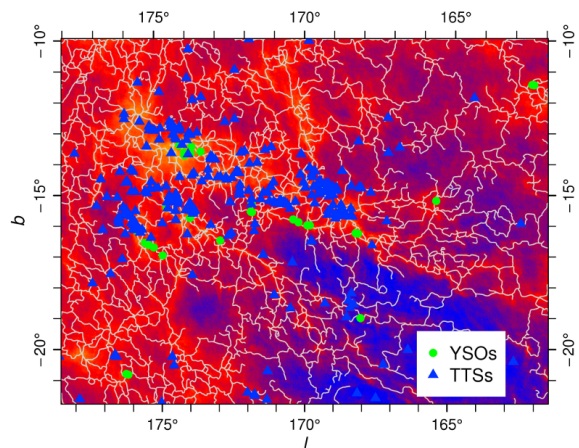


図 4: 「あかり」によるおうし座分子雲のフィラメント構造の抽出 [6]。同領域内の原始星(生まれたばかりの星)及び T タウリ型星(年齢百万～数百万年の極く若い星)の分布を合わせて示す。フィラメント構造とこれらの天体との空間的相関が認められる。

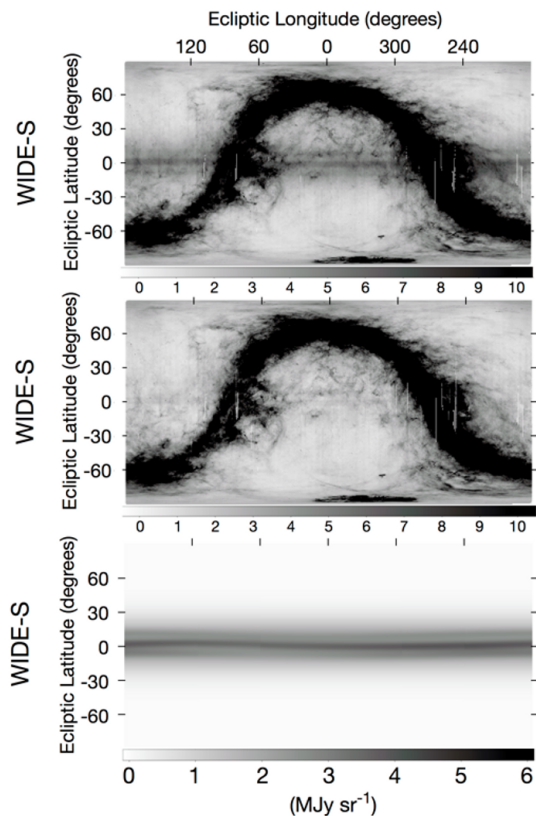


図 5: 上) 「あかり」遠赤外線公開版データの  $90\mu\text{m}$  バンドでの全天画像。中) 本研究で求めた黄道光ダストバンドモデル差し引き後の  $90\mu\text{m}$  バンドでの全天画像。下) 黄道光ダストバンドモデル。いずれも黄道座標系で描かれている。

は、領域内に見いだされる 30 天体全てがフィラメント構造上に存在する一方、T タウリ型星と呼ばれる年齢数百万年程度の天体は、フィラメント構造からはややばらけた分布を示すが、空間的に一様な分布と比較すると、フィラメント構造との有意な空間的相関が認められる。この分布は、フィラメント構造から生まれた天体が  $0.1[\text{km s}^{-1}]$  程度の速度でランダムに移動していると考えたと説明出来る [6]。すなわち星形成の現場であるフィラメント構造が、星形成活動後も数百万年程度、その空間構造を安定的に保つことを強く示唆し、フィラメント形成モデルに対する強い制限を与える非常に重要な結果である [6]。

(3)「あかり」のデータを用いることで、特に小惑星起源ダストのバンド状に広がった構造に関して、その主要構造の分布と表面輝度を遠赤外線ですべて抽出することができた。これを基に、「あかり」の各観測波長バンドでのテンプレートを作成した (図 5)。これにより、「あかり」遠赤外線全天画像からの黄道放射成分の差し引き精度が向上し、ほぼ全天に渡って黄道放射の寄与の残差を  $1 \text{ MJy/sr}$  以下に抑えることが可能となった [8]。

## <引用文献>

- [1] André, P., Men'shchikov, A., Bontemps, S., et al. 2010, *A&A*, 518, L102
- [2] Arzoumanian, D., André, P., Didelon, P., et al. 2011, *A&A*, 529, L6
- [3] Hill, T., Motte, F., Didelon, P., et al. 2011, *A&A*, 533, A94
- [4] Doi, Y., et al. 2009a, EDP Sciences, SPICA Workshop, 04018
- [5] Doi, Y., Komugi, S., Kawada, M., et al. 2012, *Publ. Korean Astron. Soc.*, 27(4), 111
- [6] Doi, Y., Takita, S., Ootsubo, T., et al. 2015, *PASJ*, 67, 50
- [7] Doi, Y., Takita, S., Ootsubo, T., et al. 2017, *PKAS*, 32(1), 11
- [8] Ootsubo, T., Doi, Y., Takita, S., et al. 2016, *PASJ*, 63, 35

## 5 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 9 件)

1. Doi, Y., Takita, S., Ootsubo, T., Arimatsu, K., Tanaka, M., Morishima, T., Kawada, M., Matsuura, S., Kitamura, Y., Hattori, M., Nakagawa, T., White, G., Ikeda, N., “ADVANTAGES OF THE AKARI FIR ALL-SKY MAPS”, *Publications of The Korean Astronomical Society*, 査読有, 32(1), 2017, 11–15  
DOI: 10.5303/PKAS.2017.32.1.011
2. Ootsubo, T., Doi, Y., Takita, S., Matsuura, S., Kawada, M., Nakagawa, T., Arimatsu, K., Tanaka, M., Kondo, T., Ishihara, D., Usui, F., Hattori, M., “SMALL-SCALE STRUCTURE OF THE ZODIACAL DUST CLOUD OBSERVED IN FAR-INFRARED WITH AKARI”, *Publications of The Korean Astronomical Society*, 査読有, 32(1), 2017, 63–65  
DOI: 10.5303/PKAS.2017.32.1.063
3. Takita, S., Doi, Y., Arimatsu, K., Ootsubo, T., “FIR VIEW OF DISKS OF WEAK-LINE T TAURI STARS”, *Publications of The Korean Astronomical Society*, 査読有, 32(1), 2017, 127–129  
DOI: 10.5303/PKAS.2017.32.1.127
4. Ootsubo, T., Doi, Y., Takita, S., Nakagawa, T., Kawada, M., Kitamura, Y., Matsuura, S., Usui, F., Arimatsu, K., “AKARI far-infrared maps of the zodiacal dust bands”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, 63(3), 2016, 35(1-15)  
DOI: 10.1093/pasj/psw024
5. Okabe, T., Kashiwagi, T., Suto, Y., Matsuura, S., Doi, Y., Takita, S., Ootsubo, T., “Image stacking analysis of SDSS galaxies with AKARI Far-Infrared Surveyor maps at  $65\mu\text{m}$ ,  $90\mu\text{m}$ , and  $140\mu\text{m}$ ”, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 査読有, 68(2), 2016, 17(1–15)  
DOI: 10.1093/pasj/psv132
6. Doi, Y., Takita, S., Ootsubo, T., Arimatsu, K., Tanaka, M., Kitamura, Y., Kawada, M., Matsuura, S., Nakagawa, T., Morishima, T., Hattori, M., Komugi, S., White, G. J., Ikeda, N., Kato, D., Chinone, Y., Etxaluze, M., Cypriano,



- E. F., “The AKARI far-infrared all-sky survey maps”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 67(3), 2015, 50(1–22)  
DOI: 10.1093/pasj/psv022
7. Takita, S., Doi, Y., Ootsubo, T., Arimatsu, K., Ikeda, N., Kawada, M., Kitamura, Y., Matsuura, S., Nakagawa, T., Hattori, M., Morishima, T., Tanaka, M., Komugi, S., “Calibration of the AKARI far-infrared all-sky survey maps”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 67(3), 2015, 51(1–8)  
DOI: 10.1093/pasj/psv033
  8. Kilerci Eser, E., Goto, T., Doi, Y., “Ultraluminous Infrared Galaxies in the AKARI All-sky Survey”, The Astrophysical Journal, 査読有, 797(1), 2014, 54(1–30)  
DOI: 10.1088/0004-637X/797/1/54
  9. Arimatsu, K., Doi, Y., Wada, T., Takita, S., Kawada, M., Matsuura, S., Ootsubo, T., Kataza, H., “Point source calibration of the AKARI/FIS all-sky survey maps for stacking analysis”, Publications of the Astronomical Society of Japan, 査読有, 66(2), 2014, 47(1–15)  
DOI: 10.1093/pasj/psu010

[学会発表] (計 11 件)

1. Takafumi Ootsubo, Yasuo Doi, Satoshi Takita, Fumihiko Usui, Shuji Matsuura, Takao Nakagawa, Mitsunobu Kawada, Yoshimi Kitamura, Ko Arimatsu, Masahiro Tanaka, Makoto Hattori, Toru Kondo, and Daisuke Ishihara, “Dust properties of the zodiacal dust bands observed with AKARI”, The 9th meeting on Cosmic Dust (国際学会), 2016 年 08 月 15 日～2016 年 08 月 19 日, 東北大学青葉山キャンパス (宮城県仙台市)
2. 土井靖生, 大坪貴文 (東大総文), 瀧田怜, 中川貴雄, 川田光伸 (ISAS/JAXA), 松浦周二 (関西学院大), 服部誠 (東北大理), 田中昌宏 (筑波大計算科学研究センター), “AKARI による遠赤外高詳細全天ダストマップ”, 日本天文学会 2016 年春季年会, 2016 年 03 月 14 日～2016 年 03 月 17 日, 首都大学東京南大沢キャンパス (東京都八王子市)
3. Yasuo Doi, “Interstellar medium viewed by AKARI and its synergy with Planck and Herschel”, Cold Cores 2015 (招待講演) (国際学

- 会), 2015 年 05 月 08 日～2015 年 05 月 10 日, Toulouse, France
4. 大坪貴文, 他, “『あかり』遠赤外線拡散光全天マップと銀河系ダスト・黄道光ダスト”, 天の川銀河研究会 2015 (招待講演), 2015 年 03 月 23 日～2015 年 03 月 23 日, 東京大学本郷キャンパス (東京都文京区)
  5. 土井靖生, 大坪貴文, 瀧田怜, 有松亘, 川田光伸, 松浦周二, 北村良実, 中川貴雄, 田中昌宏, 森嶋隆裕, 服部誠, 小麥真也, 他「あかり」チーム, “「あかり」遠赤外線拡散光全天マッピング XIII (画像公開)”, 日本天文学会 2015 年春季年会, 2015 年 03 月 18 日～2015 年 03 月 21 日, 大阪大学豊中キャンパス (大阪府豊中市)
  6. Takita, S., *et al.*, “AKARI Far-infrared All-Sky Survey Maps”, Ringberg Workshop on Spectroscopy with the Stratospheric Observatory For Infrared Astronomy (国際学会), 2015 年 03 月 15 日～2015 年 03 月 18 日, Schloss Ringberg, Germany
  7. 大坪貴文, 他, “彗星ダスト・惑星間ダストの赤外線観測”, 彗星ダスト・惑星間ダストの赤外線観測 (招待講演), 2015 年 03 月 05 日～2015 年 03 月 05 日, 名古屋大学太陽地球環境研究所 (愛知県名古屋市)
  8. 大坪貴文, “赤外線観測で見た太陽系の氷ダスト”, 「赤外線観測と惑星科学」研究会 (招待講演), 2014 年 10 月 08 日～2014 年 10 月 08 日, 神戸大学惑星科学研究センター (兵庫県神戸市)
  9. Doi, Y. *et al.*, “The AKARI FIR all-sky maps”, THE UNIVERSE IN THE LIGHT OF AKARI and Synergy with future Large Space Telescopes (招待講演) (国際学会), 2014 年 07 月 09 日～2014 年 07 月 11 日, Oxford, UK
  10. Ootsubo, T. *et al.*, “Small-scale structure of the zodiacal dust cloud observed in far-infrared with AKARI”, THE UNIVERSE IN THE LIGHT OF AKARI and Synergy with future Large Space Telescopes (国際学会), 2014 年 07 月 09 日～2014 年 07 月 11 日, Oxford, UK
  11. Doi, Y., “Latest status of the AKARI FIR all-sky survey data”, GALACTIC COLD CORES WORKSHOP 2014 (国際学会), 2014 年 04 月 26 日～2014 年 04 月 30 日, Budapest, Hungary

〔図書〕 (計 1 件)

1. 土井靖生, アドコム・メディア, “赤外線天文衛星「あかり」によるテラヘルツ全天イメージング”, OpulsE 2016 年 12 月号, 1128–1139

〔その他〕

データをアーカイブしている国内外ホームページ

- <http://akari.c.u-tokyo.ac.jp/~doi/>
- <https://skyview.gsfc.nasa.gov/current/cgi/titlepage.pl>
- [https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/foreground/akari\\_info.cfm](https://lambda.gsfc.nasa.gov/product/foreground/akari_info.cfm)
- <http://cade.irap.omp.eu/dokuwiki/doku.php?id=akari>
- <http://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/>
- <http://jvo.nao.ac.jp/>
- <https://darts.isas.jaxa.jp/astro/akari/das/index.html>
- [http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/Archive/Images/FIS\\_AllSkyMap/](http://www.ir.isas.jaxa.jp/AKARI/Archive/Images/FIS_AllSkyMap/)

ESA “Space in Images” による画像の紹介

- [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/05/Akari\\_view\\_of\\_the\\_Cygnus\\_region\\_in\\_the\\_Milky\\_Way](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/05/Akari_view_of_the_Cygnus_region_in_the_Milky_Way)
- [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/07/The\\_Argo\\_s\\_hidden\\_cargo](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/07/The_Argo_s_hidden_cargo)

データ公開プレスリリース・アナウンス

- 東京大学 <http://www.u-tokyo.ac.jp/ja/utokyo-research/research-news/high-resolution-far-infrared-all-sky-image-datarelease.html>
- JAXA <http://www.isas.jaxa.jp/e/topics/2015/0410.shtml>
- ESA <http://sci.esa.int/astrophysics/55873-akari-far-infrared-all-sky-data-released/>

受賞

- 第 1 回宇宙科学研究所賞 (土井靖生) ([http://www.isas.jaxa.jp/about/isas\\_award/2013.html](http://www.isas.jaxa.jp/about/isas_award/2013.html))

## 6 研究組織

### 1. 研究代表者

土井 靖生 (DOI, Yasuo)  
東京大学・大学院総合文化研究科・助教  
研究者番号: 7 0 2 9 2 8 4 4

### 2. 研究分担者

川田 光伸 (KAWADA, Mitsunobu)  
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授  
研究者番号: 5 0 2 8 0 5 5 8

### 3. 連携研究者

松浦 周二 (MATSUURA, Shuji)  
関西学院大学・理工学部・教授  
研究者番号: 1 0 3 2 1 5 7 2

中川 貴雄 (NAKAGAWA, Takao)  
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授  
研究者番号: 2 0 2 0 2 2 1 0

北村 良実 (KITAMURA, Yoshimi)  
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授  
研究者番号: 3 0 1 8 3 7 9 2

大坪 貴文 (OOTSUBO, Takafumi)  
東京大学・大学院総合文化研究科・研究員  
研究者番号: 5 0 3 7 7 9 2 5

巻内 慎一郎 (MAKIUTI, Shinichiro)  
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・研究員  
研究者番号: 4 0 6 2 6 5 2 9

瀧田 怜 (TAKITA, Satoshi)  
独立行政法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・研究員  
研究者番号: 8 0 6 4 4 8 4 8