

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22340043

研究課題名(和文) 近傍銀河の遠赤外線高精度画像データを用いた銀河の宿命の総合理解

研究課題名(英文) Understanding of the fate of dust in nearby galaxies using AKARI far-infrared data

研究代表者

金田 英宏 (Kaneda, Hidehiro)

名古屋大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30301724

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円、(間接経費) 3,690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、赤外線天文衛星「あかり」による「銀河系・近傍銀河の星間物質」観測プログラム、および、全天サーベイ観測プログラムによって得られたデータを用いて進められた。とくに遠赤外線画像データ処理の方法を確立し、近傍銀河のさまざまな星間環境における固体微粒子(ダスト)の特性を調べ、星間空間における物質の变成・進化を明らかにした。とくに、「あかり」で感度が向上し、全天を観測したため、早期型銀河や銀河ハローなど、これまで調べられてこなかった銀河環境でのダストの振る舞いが明らかになった。その結果、ダストの破碎・破壊や、有機物(PAH)の生成・進化に対して新しい知見をもたらした。

研究成果の概要(英文)：For the present study, I used the data of the infrared astronomical satellite, AKARI, which were taken in the observational programs, "the interstellar medium in our Galaxy and nearby galaxies," and "all-sky surveys". Improving the method to process AKARI far-infrared imaging data, I have elucidated the evolution of dust grains in various interstellar environments of nearby galaxies. Because AKARI covered all the sky with improved sensitivities, I derived information on properties of dust in various harsh environments, providing entirely new knowledge on the shattering and destruction of dust, and processing of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In particular, I find that copious amounts of dust are flowing out of galaxies by galactic superwinds, enriching the intergalactic space with dust. I also reveal the presence of PAHs in elliptical galaxies with unusual spectral features, demonstrating importance of the material processing in the interstellar space.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：近傍銀河 星間ダスト 宇宙赤外線観測

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙の始まり、銀河の誕生、あるいは星・惑星系の形成といった視点で、これまで多くの研究がなされた結果、若い環境での物質進化の理解は進んだ。一方、逆に年老いた環境で終末期にある物質進化の研究はほとんどなされておらず、銀河がこれから迎える宿命・運命に関する理解は乏しい。この宿命を解明するには、銀河内外の様々な領域で星間物質がどのように循環・進化し、壊されていくのか、また、渦巻銀河の若い環境から楕円銀河の年老いた環境まで、物質の空間分布がどう変化するかを系統的に調べる必要がある。

### 2. 研究の目的

銀河ダストの拡がった赤外線放射を高感度で空間分解し、銀河全体を見渡した物質分布を、無バイアスな近傍銀河サンプルで議論する。赤外線天文衛星「あかり」で得られた近傍銀河の赤外線画像から、空間分解された銀河ダストの系統的研究を行う。とくに天文衛星の遠赤外線データは、広がった銀河の研究を行うにはいくつか問題があり、研究遂行の妨げとなっている。そこで、「あかり」検出器の特性にもとづいたデータ処理方法を確立し、画像データの信頼性を格段に高める。銀河内ダスト分布を空間分解し、ダスト特性が銀河内外の環境、あるいは形態によってどう変化するかを調べる。活発だった星形成が終わって星間物質が消失していく進化の過程を考え、物質が最後に生き残る場所、あるいは消え行く先を捉えることで、銀河の宿命を解明する。

### 3. 研究の方法

「あかり」の指向観測で得られた 58 個の近傍銀河(主に視直径が 3~5 分角)の遠赤外線データと、全天サーベイで観測された視直径が 10 分角以上の近傍銀河(全天で約 150 個が存在)の遠赤外線データを対象として、検出器過渡応答の補正や、PSF による deconvolution のデータ処理を行い(図 1)、遠赤外線 4 バンドの高精度・高解像度画像データを作成した。近傍銀河の遠赤外線画像データベースを完成させ(図 2)、表面輝度分布からダスト質量・ダスト放射光度温度の空間分布を求め、銀河内外の系統的变化を調べた。また、画像データの解釈に補助的な役割を果たすスペクトルデータの処理を進め、サンプル銀河の銀河中心領域に対し、近・中間赤外線あるいは遠赤外線のスペクトルを得た。

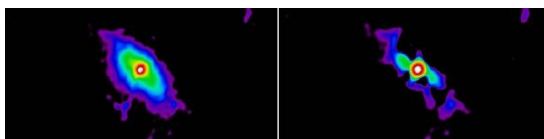


図 1: 「あかり」遠赤外線画像(近傍銀河)。PSF deconvolution 処理前(左)と処理後(右)

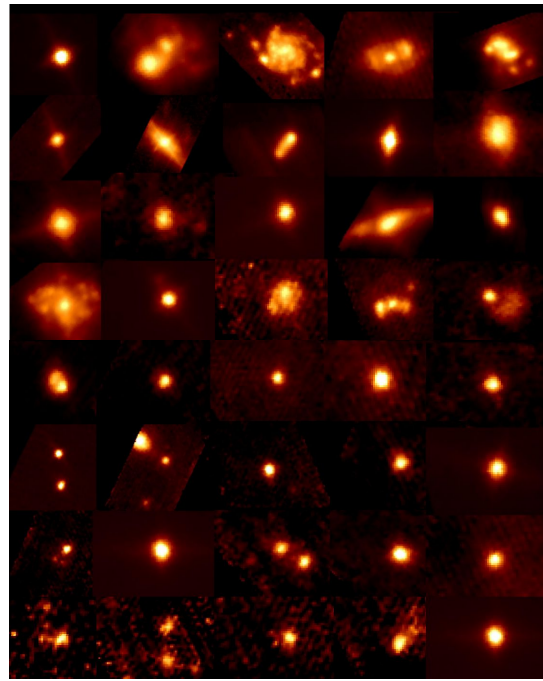


図 2: 「あかり」遠赤外線観測による近傍銀河の画像(例)

### 4. 研究成果

「あかり」観測で得られた近傍銀河の画像・スペクトルデータを系統的に解析した結果、銀河のさまざまな星間環境におけるダストの質量・温度が求まり、星間空間における物質の変性・進化が明らかになった。とくに、早期型銀河や銀河ハローなど、これまでほとんど調べられてこなかった特殊な環境(ダストの存在が困難な厳しい環境)でのダストの振る舞いが明らかになり、ダストの破碎・破壊、氷の生成、有機物(芳香族炭化水素: PAH)の生成と進化に対する全く新しい知見をもたらした。代表的な成果は以下である。

(1) 活発な星形成が進む銀河において、超銀河風によって多量のダスト・PAH が流出していることを明らかにし、銀河間空間がダストで汚染されているとの証拠を得た。図 3 に M82 銀河の例を示す。

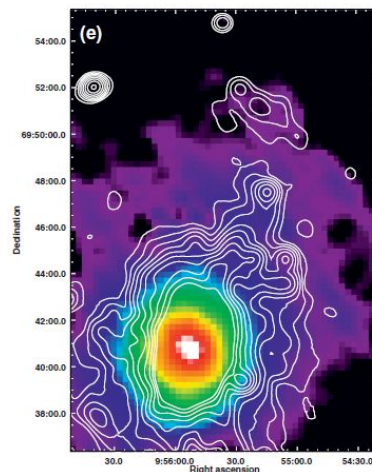


図 3: 近傍銀河 M82 の遠赤外線ダスト放射マップ。等高線は X 線プラズマの分布を示す(論文リスト)

M82 銀河では、円盤内に存在するダスト量とほぼ同程度の量のダストが、銀河ハローに存在し、約 10 kpc の距離にわたって広がっている証拠を得た。また、PAH も M82 銀河ハローに大量に存在することが分かった。PAH は高エネルギー環境下でとても壊されやすい超微小粒子であるため、これらの PAH の起源として、より大きなダスト同士の衝突破砕によって、その場で生成された可能性がある。

同様に多量のダストが銀河円盤から流出している例として、図 4 に NGC253 銀河の例を示す。遠赤外線ダスト(横軸)と PAH(縦軸)の量の間に関係がみられるが、その関係は銀河毎に異なり、銀河内の場所でも変化することが分かった。例えば、NGC253 では、M82 と比較して、銀河ハローにおける PAH の存在量が相対的に少ない。これは銀河の進化段階の違いを反映している可能性が高い。つまり、爆発的星形成によって多量の PAH・ダストが生成されるが、一方で超銀河風などによって、PAH が選択的に破壊されるため、両者の関係が星形成の時間経過とともに系統的に変化していると解釈できる。

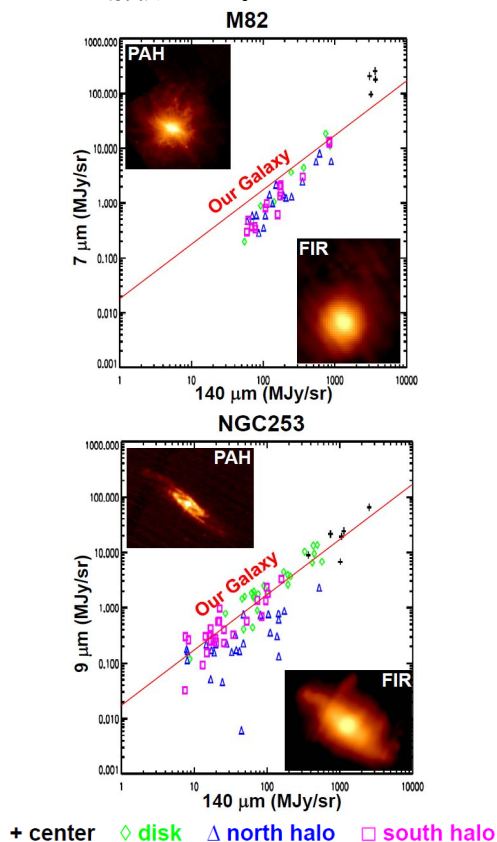


図 3：近傍銀河 M82 (上) と NGC253 (下) の中間赤外線 (PAH) と遠赤外線 (ダスト) 表面輝度の相関プロット。銀河内の場所の違い (銀河中心、円盤、北側ハロー、南側ハロー) を記号の違いで示す (投稿論文準備中)。

(2) 年老いた銀河である楕円銀河から遠赤外線ダストや PAH を検出した。観測されたダスト量の一部は、銀河内部の年老いた星からの質量放出 (と銀河内高温プラズマによる破壊とのバランス) で説明できるが、銀河によ

っては予想の 1-2 桁以上の多量なダストが検出された (超過ダスト)。一方、PAH のスペクトル特性がそれまでに観測されていたものと大きく異なり (論文リスト、など)、物質変成を理解することの重要性を示した。

図 5 に早期型銀河に含まれるダスト総質量と、ダストを生成している古い種族の星の光度との関係を示す。両者に有意な相関が存在することが分かった。このことは、上記の超過ダストの起源に対して強い制限を与える。つまり、銀河合体のような外部起源で超過ダストが説明される場合は、星も同様に増加していると考えられ、銀河合体による楕円銀河への成長を示唆する。一方、内部起源の場合は、現在の星の質量放出以外にもダスト生成プロセスが存在する可能性が考えられる。

今後は、より高い解像度の画像データによって、銀河内の詳細な空間分布の議論が必要である。また、銀河ダストの温度や質量のみならず、そのサイズ分布や化学組成を調べる必要がある。前者の目的には、最新の Herschel 衛星の遠赤外線画像データが有用であるが、一方、後者の目的には、画像データに加えて、スペクトルデータが重要となるため、我が国の SPICA 計画など、次世代の赤外線天文衛星の登場を待たねばならない。

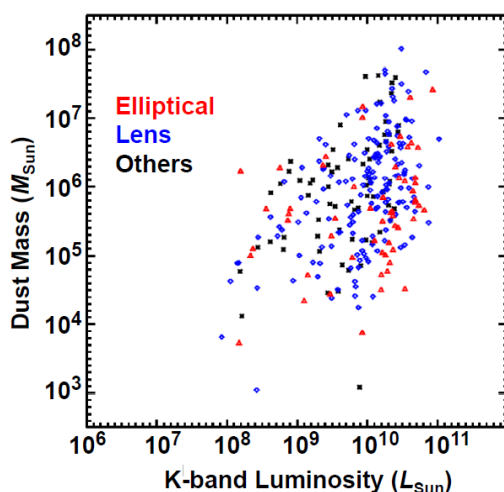


図 5：「あかり」遠赤外線観測で得られた早期型銀河のダスト質量と、2MASS 近赤外線 K バンド光度 (古い種族の星による光度、質量放出の量を反映) の関係 (論文リスト)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 18 件)

R. Yamada, S. Oyabu, H. Kaneda, M. Yamagishi, D. Ishihara, J.-H. Kim, M. Im, "A relation of the PAH 3.3  $\mu\text{m}$  feature with star-forming activity for galaxies with a wide range of infrared luminosity", Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.65, 103.1-15, (2013), 査読有 DOI:10.1093/pasj/65.5.103

M. Yamagishi, H. Kaneda, D. Ishihara, S. Oyabu, T. Onaka, T. Shimonishi, T. Suzuki, Y.-C. Minh, "Difference in the Spatial Distribution between H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> Ices in M82 Found with AKARI", *Astrophysical Journal*, Vol.773, L37.1-5, (2013), 査読有  
DOI:10.1088/2041-8205/773/2/L37

T. Suzuki, H. Kaneda, T. Onaka, "AKARI view of star formation in NGC1313", *Astronomy & Astrophysics*, Vol.554, A8.1-11, (2013), 査読有  
DOI:10.1051/0004-6361/201220294

H. Kaneda, D. Ishihara, T. Onaka, I. Sakon, T. Suzuki, K. Kobata, T. Kondo, M. Yamagishi, A. Yasuda, "Processing of Interstellar Dust Grains in Galaxies", *Publications of the Korean Astronomical Society*, Vol.27, 237-242, (2012), 査読有  
DOI:10.5303/PKAS.2012.27.4.237

T. Mori, S. Oyabu, H. Kaneda, D. Ishihara, M. Yamagishi, "Properties of Dust in Early-Type Galaxies Based on the All-Sky Data and Near-Infrared Spectra", *Publications of the Korean Astronomical Society*, Vol.27, 263-264, (2012), 査読有  
DOI:10.5303/PKAS.2012.27.4.263

H. Kaneda, A. Yasuda, T. Onaka, M. Kawada, N. Murakami, T. Nakagawa, Y. Okada, H. Takahashi, "Properties of dust at the Galactic center probed by AKARI far-infrared spectral mapping. Detection of a dust feature", *Astronomy & Astrophysics*, Vol.543, A79.1-10 (2012), 査読有  
DOI:10.1051/0004-6361/201219238

T. Kondo, H. Kaneda, S. Oyabu, D. Ishihara, T. Mori, M. Yamagishi, T. Onaka, I. Sakon, T. Suzuki, "The Central Region of the Barred Spiral Galaxy NGC1097 Probed by AKARI Near-infrared Spectroscopy", *The Astrophysical Journal*, Vol.751, L18-L21 (2012), 査読有  
DOI:10.1088/2041-8205/751/1/L18

M. Yamagishi, H. Kaneda, D. Ishihara, T. Kondo, T. Onaka, T. Suzuki, Y. C. Minh, "AKARI near-infrared spectroscopy of the aromatic and aliphatic hydrocarbon emission features in the galactic superwind of M82", *Astronomy & Astrophysics*, Vol.541, A10.1-5 (2012), 査読有  
DOI:10.1051/0004-6361/201218904

H. Kaneda, D. Ishihara, A. Mouri, S. Oyabu, M. Yamagishi, T. Kondo, T. Onaka, Y. Fukui, A. Kawamura, K. Torii, "Processing of polycyclic aromatic

hydrocarbons in molecular-loop regions near the Galactic center revealed by AKARI", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.64, 25.1-9 (2012), 査読有  
DOI:10.1093/pasj/64.2.25

N. Ikeda, Y. Kitamura, S. Takita, M. Ueno, T. Suzuki, A. Kawamura, H. Kaneda, "Far-infrared Imaging Observations of the Chamaeleon Region", *Astrophysical Journal*, Vol.745, 48.1-21 (2012), 査読有  
DOI:10.1088/0004-637X/745/1/48

T. I. Mori, I. Sakon, T. Onaka, H. Kaneda, H. Umehata, R. Ohsawa, "Observations of the Near- to Mid-Infrared Unidentified Emission Bands in the Interstellar Medium of the Large Magellanic Cloud", *The Astrophysical Journal*, Vol.744, 68.1-15 (2011), 査読有  
DOI:10.1088/0004-637X/744/1/68

M. Kawada, A. Takahashi, A. Yasuda, Y. Kiriya, T. Mori, A. Mouri, H. Kaneda, Y. Okada, "Widely Extended [OIII] 88 um Line Emission around the 30 Doradus Region Revealed with AKARI FIS-FTS", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.63, 903-910 (2011), 査読有  
DOI:10.1093/pasj/63.4.903

H. Kaneda, D. Ishihara, T. Onaka, T. Suzuki, T. Mori, S. Oyabu, M. Yamagishi, "Properties of dust and PAHs in the hot plasma of the elliptical galaxy NGC 4125 revealed with AKARI and Spitzer Space Telescope", *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.63, 601-615, (2011), 査読有  
DOI:10.1093/pasj/63.3.601

M. Yamagishi, H. Kaneda, D. Ishihara, S. Oyabu, T. Onaka, T. Shimonishi, T. Suzuki, "AKARI Near-infrared Spectroscopic Observations of Interstellar Ices in the Edge-on Starburst Galaxy NGC 253", *The Astrophysical Journal*, Vol.731, L20-L24 (2011), 査読有  
DOI: 10.1088/2041-8205/731/1/L20

T. Suzuki, H. Kaneda, T. Onaka, T. Kitayama, "Far-infrared Emission from the Intergalactic Medium in Stephan's Quintet Revealed by AKARI", *The Astrophysical Journal*, Vol.731, L12-L16 (2011), 査読有  
DOI:10.1088/2041-8205/731/1/L12

H. Kaneda, T. Onaka, I. Sakon, T. Kitayama, Y. Okada, T. Suzuki, D. Ishihara, M. Yamagishi, "Polycyclic

Aromatic Hydrocarbon Emission from the Dust Lane of an Elliptical Galaxy with the Spitzer Infrared Spectrograph", *The Astrophysical Journal*, Vol.716, L161-L165, (2010), 査読有  
DOI:10.1088/2041-8205/716/2/L161  
H. Kaneda, D. Ishihara, T. Suzuki, N. Ikeda, T. Onaka, M. Yamagishi, Y. Ohyama, T. Wada, A. Yasuda, "Large-scale distributions of mid- and far-infrared emission from the center to the halo of M82 revealed with AKARI", *Astronomy & Astrophysics*, Vol.514, A14.1-12, (2010), 査読有  
DOI:10.1051/0004-6361/200913769  
T. Suzuki, H. Kaneda, T. Onaka, T. Nakagawa, H. Shibai, "Kiloparsec-scale star formation law in M 81 and M 101 based on AKARI far-infrared observations", *Astronomy and Astrophysics*, Vol.521, A48.1-10, (2010), 査読有  
DOI:10.1051/0004-6361/201014529

[学会発表](計 13件)

H. Kaneda, D. Ishihara, S. Oyabu, T. Suzuki, T. Onaka, I. Sakon, M. Yamagishi, T. Kondo, R. Yamada, K. Kobata, "Properties of dust and PAHs in various environments of nearby galaxies", *The lifecycle of dust in the universe*, 19 Nov 2013, ASIAA, Taiwan  
木幡 洸大、金田英宏、「あかり」による NGC253 銀河ハロ一領域の広域遠赤外線観測」, 日本天文学会、2013年9月11日、東北大学  
金田英宏、「赤外線天文衛星 Herschel と「あかり」で探る楕円銀河のダストの起源」, 日本天文学会、2013年9月12日、東北大学  
H. Kaneda, D. Ishihara, K. Kobata, T. Kondo, S. Oyabu, R. Yamada, M. Yamagishi, T. Onaka, T. Suzuki, "AKARI observations of interstellar dust grains in our Galaxy and nearby galaxies", *Cosmic Dust VI*, 5 Aug 2013, Kobe  
H. Kaneda, K. Enya, K. Haze, D. Ishihara, T. Kotani, S. Oyabu, T. Kondo, S. Oseki, N. Takeuchi, M. Yamagishi, A. Yasuda, T. Onaka, T. Suzuki, "Interstellar dust and PAHs in our Galaxy and nearby galaxies: from AKARI to SPICA", *From Planets to Distant Galaxies: SPICA 's New Window on the Cool Universe*, 20 Jun 2013, Tokyo  
H. Kaneda, "Infrared Astrophysics:

from AKARI to SPICA", *29<sup>th</sup> International Symposium on Space Technology and Science*, 5 Jun 2013, Nagoya

H. Kaneda, "AKARI observations of interstellar dust and PAHs in our Galaxy and nearby galaxies", *Dust workshop*, 15 Mar 2013, Univ. of Oxford  
金田英宏、「天文衛星「あかり」による星間物質の近赤外線分光観測」, 日本分光学会、2012年12月21日、名古屋大学  
金田英宏、「「あかり」遠赤外線観測で明らかになった銀河中心のダストの特異な性質」, 日本天文学会、2012年9月19日、大分大学

H. Kaneda, D. Ishihara, K. Kobata, T. Kondo, M. Yamagishi, A. Yasuda, T. Onaka, I. Sakon, T. Suzuki, "Processing of interstellar dust grains in galaxies revealed by AKARI", *International Astronomical Union, Symposium 292*, 24 Aug 2012, Beijing, China

H. Kaneda, D. Ishihara, T. Onaka, I. Sakon, T. Suzuki, K. Kobata, T. Kondo, M. Yamagishi, A. Yasuda, "Processing of interstellar dust grains in galaxies", *The Legacy of AKARI: A Panoramic View of the Dusty Universe*, 28 Feb 2012, Jeju, Korea  
金田英宏、「「あかり」と Spitzer が明らかにした楕円銀河 NGC4125 のダスト・PAH と X 線プラズマの関係」, 日本天文学会、2011年9月21日、鹿児島大学

H. Kaneda, "Dust and PAHs in X-ray Plasma of Elliptical Galaxies", *International Astronomical Union Symposium 284: The Spectral Energy Distribution of Galaxies*, 6 Sep 2011, Preston, UK

[その他]

ホームページ等

<http://www-ir.u.phys.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田 英宏 (Kaneda Hidehiro)  
名古屋大学・理学研究科・教授  
研究者番号：30301724

(2) 研究分担者

尾中 敬 (Onaka Takashi)  
東京大学・理学系研究会・教授  
研究者番号：30143358