

## 「あかり」が見た近傍銀河

金田 英 宏

〈名古屋大学大学院理学研究科 〒464-8602 名古屋市千種区不老町〉

e-mail: kaneda@u.phys.nagoya-u.ac.jp

鈴木 仁 研

〈国立天文台・先端技術センター 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: toyoaki.suzuki@nao.ac.jp

「あかり」衛星の重点観測プログラム「銀河系・近傍銀河の星間物質」によって、近傍のさまざまな形態をもつ約 60 個の銀河を観測した。目的は、近傍銀河の幅広くさまざまな環境にさらされた星間ダストの特性を調べ、銀河における物質進化・輪廻と星形成活動性を探ることである。銀河全体をとらえた大きな空間スケールの議論ができる点で、われわれの銀河系内の星間物質の詳細研究とは相補的である。各銀河の主なデータセットは、近～遠赤外線 10 バンド<sup>1)</sup> (波長 3-160 マイクロメートル) の画像と、一部の領域における近・中間赤外線 (2-14 マイクロメートル) スペクトルである。本稿では、いくつかのサンプル銀河の観測結果を取り上げ、主に遠赤外線域で得られた成果について紹介する。

### 1. はじめに

われわれは「あかり」衛星の重点観測プログラムの一つ「銀河系・近傍銀河の星間物質」によって、近傍のさまざまな形態をもつ約 60 個の銀河を観測した<sup>1)</sup>。目的は、さまざまな環境にさらされた星間ダストの特性を調べ、銀河における物質進化・輪廻と星形成活動性を探ることである。一般に、近～遠赤外線の観測データは、星間ダストやガスの物理・化学特性を探る強力なプローブである。近傍銀河を観測することで、われわれの天の川銀河だけでは得られない、幅広く異なった星間環境の情報が得られる。また、空間構造の細かい議論は困難であるが、銀河全体をとらえた大きな空間スケールの議論ができる点で、われわれの銀河系内の星間物質の詳細研究とは相補的である。

「あかり」は全天サーベイ優先のミッションで

あったため、「あかり」特有のターゲット選択条件があった。それは、銀河が、極軌道を周回する「あかり」にとって高い visibility、つまり黄道座標で高い緯度に位置すること、また、遠赤外線でも観測できるという条件から視直径 3 分角以上、近・中間赤外線カメラの 1 視野に収まる大きさという条件から 10 分角以下というサイズであることを主に満たしている。

得られたデータセットの 1 例として、図 1 に棒渦巻銀河 NGC1313 の結果を示す。同じ赤外線でも観測する波長によって銀河の構造が有意に異なることがわかる。近赤外線 (波長 3, 4 マイクロメートル) では、銀河中心の棒状構造が明るく見えるが、これは年老いた、温度の低い星からの光を見ていると考えられる。一方、遠赤外線 (波長 65, 90, 140, 160 マイクロメートル) では、星の光で暖められた星間ダストが出す光を見ており、銀河全体特に銀河腕にダストが多く存在することが

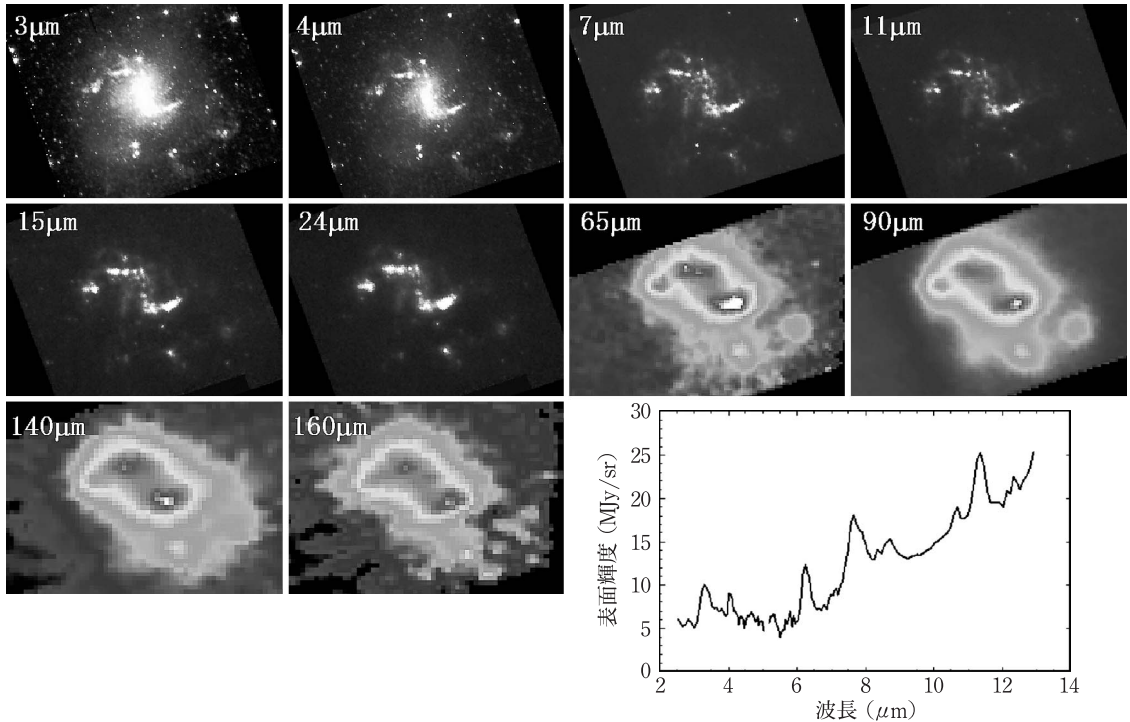


図1 渦巻銀河 NGC1313 を「あかり」衛星で観測した例. 波長が異なる 10 種類の赤外線 (3–160 マイクロメートルバンド) で見た銀河の画像と, 銀河腕に存在する有機分子 PAH が出す赤外線スペクトル (2–14 マイクロメートル).

わかる. 中間赤外線は, 銀河腕に沿って局所的に明るくなっており, 波長 7, 11 マイクロメートルでは主に有機物の巨大分子 (polycyclic aromatic hydrocarbon: PAH) が出す光を, 波長 15, 24 マイクロメートルでは若い星が放つ紫外線によって高温に熱せられた小さな星間ダストが出す光を主にしている. 図中の近・中間赤外線スペクトルは, 銀河腕の領域で分光観測を行った結果で, PAH が示す特徴的なスペクトルフィーチャー (3.3, 6.2, 7.7, 8.6, 11.3 マイクロメートル) を検出したものである. このように波長によって見ている対象が違うのだが, それらの空間分布が異なるということは, 銀河内のそれぞれの領域で環境が異なることを意味している. 特に NGC1313 の例では, 棒領域の年老いた環境と, 腕領域の若い環境の対比がとてまはっきりしていることが特徴的である. このような「あかり」のデータセットが約

60 個の近傍銀河に対して得られた. 以下では, これらの銀河の主に遠赤外線観測で得られたいくつかの成果を紹介する.

## 2. M101, M81: 銀河内のガス量と星形成率の関係

近年の高感度かつ高空間分解な HI 21 cm 輝線,  $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) および,  $\text{H}\alpha$  輝線の画像データから, 銀河内部の領域ごとにおけるガス量と星形成率を調べることが可能になった. しかし, こうした多波長のデータセットを揃えることが困難な銀河が多数, 存在する. 例えば, 渦巻銀河 M101 や M81 では, 銀河全体にわたり, ガス量を見積もるのに十分な  $S/N$  比で CO が検出されていない. このような銀河に対しても, ガス量と星形成率の関係を調べることができる有効な観測手段として, 遠赤外線による高感度かつ高空間分解な撮像観測

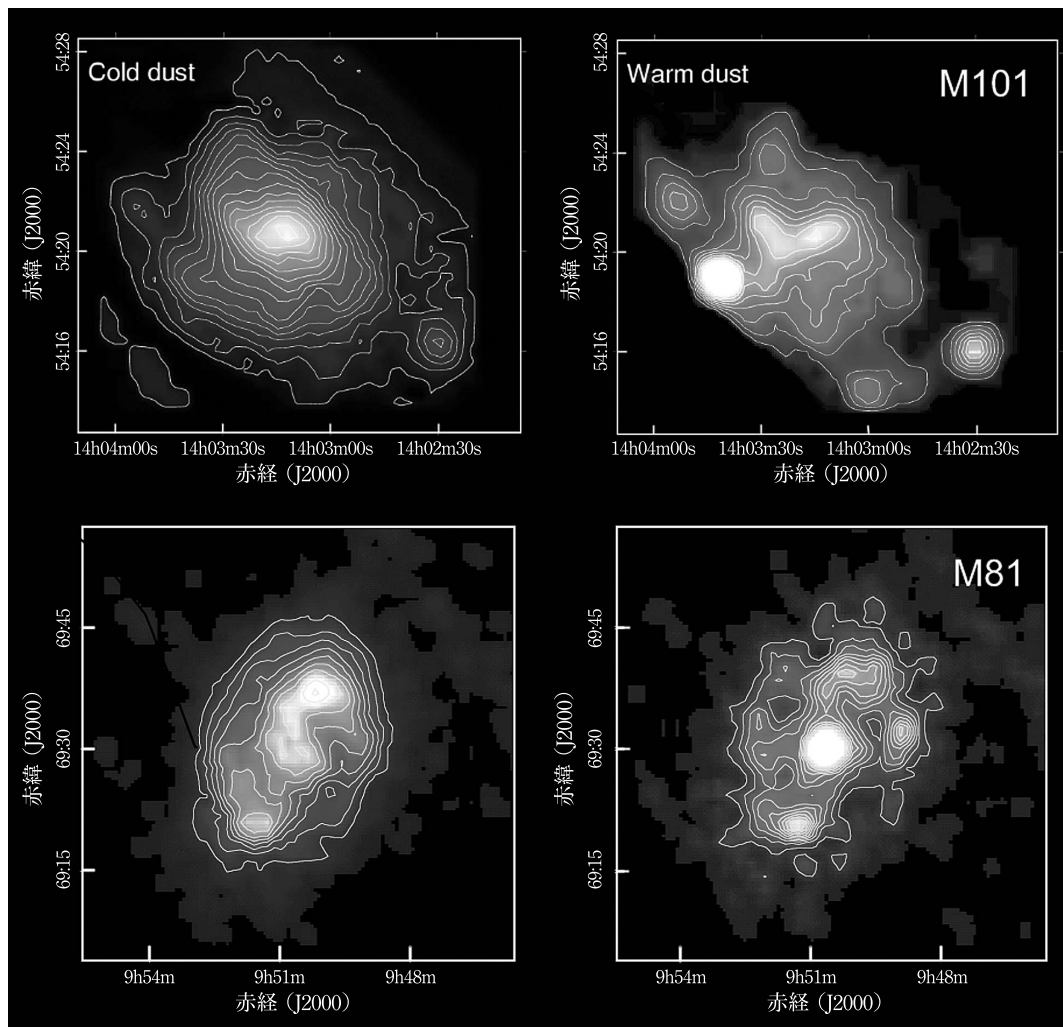


図2 遠赤外線画像データから得られた渦巻銀河 M101 (上図) と M81 (下図) の冷たいダスト (左図) と暖かいダスト (右図) の空間分布. 冷たいダストの放射強度 (≒ガス量) は銀河中心をピークに外縁部へと減衰する滑らかな分布を示しているのに対し, 暖かいダストの放射強度 (≒星形成率) は斑点状に分布している.

がある<sup>2)</sup>. 通常, 銀河から放射される遠赤外線には主に暖かい (50–60 K) ダストと冷たい (約 20 K) ダストの 2 成分の存在が示唆されている<sup>3)</sup>. 暖かいダストの放射強度は, ダストによる減光を受けやすい H $\alpha$  輝線や紫外線に比べて, 星形成率を見積もる良い指標となる. 一方, 冷たいダストの放射強度は, ガス量とダスト量が強く比例することが知られているので, ガス量を見積もる良い指標となる<sup>4)</sup>. 「あかり」は, 遠赤外線波長帯に高感

度・高空間分解で連続的にカバーする四つの測光バンドを設けており, 二つのダスト成分をスペクトル的かつ空間的に分離することができる点でユニークである. 図2は, 2成分のダスト塵が空間的にどう分布するかを, 渦巻銀河 M101 と M81 に対して調べた結果である<sup>2), 5)</sup>. 銀河内のキロパーセクスケールの領域ごとに暖かいダストの放射強度 (≒星形成率) と冷たいダストの放射強度 (≒ガス量) の関係を調べた結果, M101 の外縁部

に存在する四つの活発な星形成領域 (NGC5447, 5455, 5461, 5462) 近傍での関係は、M101 の銀河中心近傍の渦巻腕や M81 の渦巻腕における関係に対して有意に異なっていることがわかった。このことは、M101 の外縁部での星形成を引き起こす物理メカニズムが、M101 や M81 の典型的な渦巻腕における星形成とは異なることを意味する<sup>5)</sup>。キロパーセクスケールの領域ごとに星形成過程が変化しうるのは、星形成過程の理解だけでなく、銀河の光度・化学進化予測にとっても重要な情報の一つとなる。その変化を生じさせる物理的背景の系統的理解が「あかり」による無バイアスサーベイデータによってさらに進むと期待する。

### 3. NGC253: ダストアウトフローの検出

図3は、NGC253の銀河ハロー領域の観測で得られた画像データである<sup>6)</sup>。NGC253は銀河中心領域で激しいスターバースト活動を示す edge-on 円盤銀河で、大規模な X 線ハローや、ごく最近では HI アウトフローが検出されている。われわれは、遠赤外線ですべて銀河ハローのダスト放射を検出した。銀河ハロー領域のダストの量は、 $10^6$  太陽質量程度であり、銀河全体のダスト量  $4 \times 10^7$  太陽質量の 1 桁下である。銀河中心から北 9 kpc および北西 6 kpc に伸びるフィラメント状の構造が見え、それらは X 線ハロー分布<sup>7)</sup>と空間的に相関することから (図3上)、高温プラズマのアウトフローと一緒に、実際に銀河からダストが流れ出ていると考えられる。プラズマとダストが共存しているとすると、プラズマイオンのスパッタリング破壊によるダスト (典型的なサイズが 0.1 マイクロメートル) の寿命は、X 線観測で得られているプラズマ密度から、400–3,000 万年と見積もれる。よって、現在の位置に寿命内に到達するためには、平均速度 300–2,000 km/s という高速で流れ出ている必要がある。

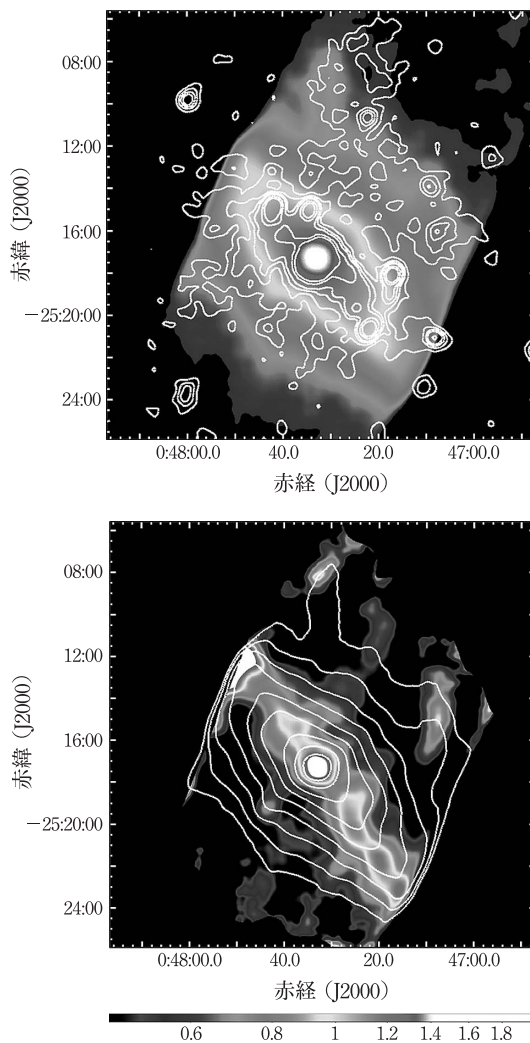


図3 (上図) スターバースト銀河 NGC253 の銀河中心～ハロー領域の遠赤外線画像 (90 マイクロメートルバンド)。コンタは ROSAT 衛星の X 線 (0.1–2.4 keV) の分布。(下図) 波長 90 マイクロメートルと 140 マイクロメートルのバンド比のマップで、カラースケールはダスト温度でおよそ 15–50 K に対応。コンタは 90 マイクロメートルバンドの表面輝度分布。

また、波長 90 マイクロメートルと 140 マイクロメートルバンドのカラーから、銀河面から離れたところで、ダスト温度が上昇する傾向があることがわかった (図3下)。つまり、銀河ハロー領域でダストの加熱源の存在が示唆される。可能性と



して、銀河ハローに存在する HI 雲とアウトフローとの相互作用によるショック加熱、あるいは高温プラズマ電子の衝突加熱などが考えられる。このような、銀河から流れ出るダストの存在は、金属循環の点で銀河進化に大きな影響を及ぼすとともに、銀河間空間を金属汚染することで遠方銀河の観測の際の新たな減光の要因ともなりうるであろう<sup>8)</sup>。

#### 4. NGC4589：楕円銀河の広がったダスト成分

従来、楕円銀河の星間空間には高温プラズマ以外、ほとんど星間物質は存在しないと考えられていたが、「あかり」や Spitzer 衛星などにおける中間/遠赤外線観測技術の向上により、一般的な楕円銀河にもそれなりの量の星間ダストが銀河内に広がって存在することがわかってきた<sup>9), 10)</sup>。しかし、その星間ダストの起源についてはさまざまな説があり、明確な結論には至っていない。とくに、炭素系ダストの最小微粒子とも考えられる PAH が多くの楕円銀河で検出されたことは意外な結果であった<sup>11), 12)</sup>。なぜなら、多くの楕円銀河の星間空間には高温プラズマが存在するため、スパッタリングなどによって、PAH は星間空間で簡単に破壊されてしまうことが予想されるからである。また、一般的に PAH 放射は星形成の良い指標として考えられているが、楕円銀河の星間環境はそれとは対照的な年老いた星からのソフトな輻射場で満されており、UV 輻射はほとんど存在しないので、PAH は効率良く加熱されないと考えられる。

図4は、楕円銀河 NGC4589 のダスト観測の結果である<sup>13)</sup>。さすがに楕円銀河は中間・遠赤外線では暗いので、上記の渦巻銀河の例のような高い S/N 比は得られない。それでも、「あかり」による NGC4589 の観測によって、銀河内に広がったダストからの有意な遠赤外線放射を検出し、そのダストの空間分布が星の分布とは明らかに無関係な

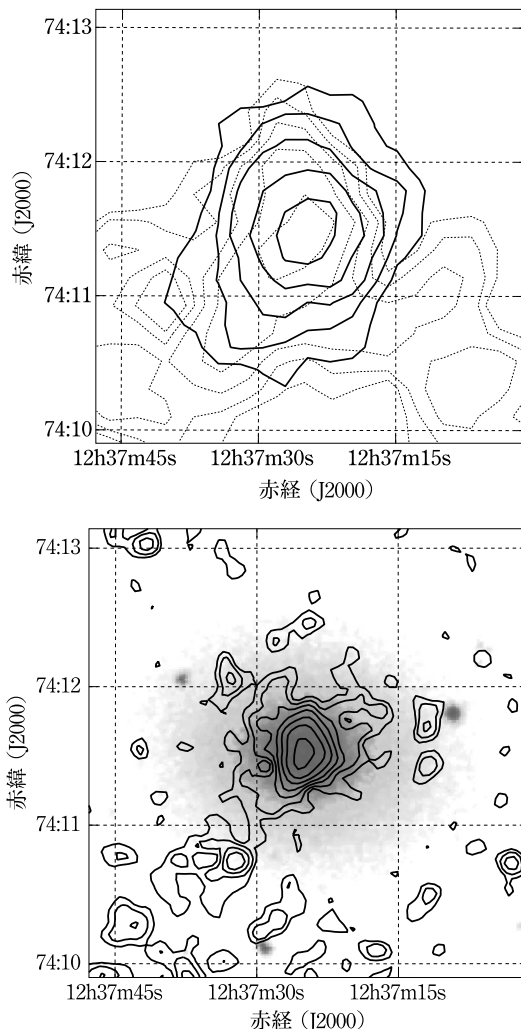


図4 (上図) 楕円銀河 NGC4589 の遠赤外線画像 (実線: 90 マイクロメートルバンド, 点線: 140 マイクロメートルバンド). (下図) NGC 4589 の DSS 可視光画像. コントアは「あかり」中間赤外線データの組み合わせから求めた、PAH17 マイクロメートルフィーチャーの空間分布。

方向に伸びていることがわかった (図4上)。また、大きなサイズの PAH が担うスペクトルフィーチャーを検出し、その PAH の空間分布とダストの空間分布がとてもよく似ていることを発見した (図4下)。これらの結果は、楕円銀河に存在するダストや PAH の起源として、単純に星か

らの質量放出では説明が困難であることを意味しており、つまりは楕円銀河の進化の歴史に強い制限を与えるものである。

## 5. さいごに

今回は、遠赤外線観測の中からわかりやすい例をピックアップして示した。近傍銀河に関して、「あかり」は、遠赤外線画像データ以外にも、近・中間赤外線画像データや、分光データをもっており、液体ヘリウム枯渇後から現在までは、近赤外線分光データを集めている。また、重点観測プログラムで得られた指向観測データに加えて、中間・遠赤外線全天サーベイデータから、無バイアスに大きな明るい銀河を抽出して、近傍銀河のデータベースを構築する計画も進行中である。

「あかり」で近傍銀河を観測することによって、銀河の中でどの種の星間ダストがどのように分布しているか、あるいは循環しているのか、場所ごとで星形成がどのように進んできたのかをクリアにとらえることができ、銀河が今後どう進化するのかをも予知できるであろう。また、そもそもダストがどこで生まれ、星間空間でどういった進化を遂げたのかを知ることで、物質的・化学的に豊かな現在の宇宙がどのようにできたのか、さらには生命体の素ともいえる有機物がいかに形成されてきたかを知ることもつながる。「あかり」は近傍銀河、およびわれわれの銀河のデータをたくさんもっており、現在、これらの系統的な解析が行われている。今後、このような疑問が少しずつ解明されていくことが期待される。

最後に、「あかり」衛星プロジェクトにかかわった方々、特に、重点観測プログラム「銀河系・近傍銀河の星間物質」の韓国チームを含むすべてのワーキンググループメンバーには、この場を借りて改めて心から謝意を申し上げます。

## 参考文献

- 1) Kaneda H., Koo B.-C., Onaka T., Takahashi H., 2009, *AdSpR* 44, 1038
- 2) Suzuki T., Kaneda H., Nakagawa T., et al., 2007, *PASJ* 59, S473
- 3) De Jong T., Clegg P., Rowan-Robinson M., et al., 1984, *ApJ* 278, 67
- 4) Cox P., Mezger P. G., 1989, *A&A Rev.* 1, 49.
- 5) Suzuki T., Kaneda H., Onaka T., Nakagawa T., Shibai H., 2009, submitted to *ApJ*
- 6) Kaneda H., Yamagishi M., Suzuki T., Onaka T., 2009, *ApJ* 698, L125
- 7) Dahlem M., Weaver K. A., Heckman T. M., 1998, *ApJS* 118, 401
- 8) Heisler J., Ostriker J. P., 1988, *ApJ* 332, 543
- 9) Temi P., Brighenti F., Mathews W. G., 2007, *ApJ* 660, 1215
- 10) Kaneda H., Onaka T., Kitayama T., Okada Y., Sakon I., 2007, *PASJ* 59, 107
- 11) Kaneda H., Onaka T., Sakon I., 2007, *ApJ* 666, 21L
- 12) Kaneda H., Onaka T., Sakon I., Kitayama T., Okada Y., Suzuki T., 2008, *ApJ* 684, 270
- 13) Kaneda H., Suzuki T., Onaka T., Okada Y., Sakon I., 2008, *PASJ* 60, 467

### AKARI Observations of the ISM in Nearby Galaxies

Hidehiro KANEDA

*Graduate School of Science, Nagoya University,  
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8601, Japan*

Toyoaki SUZUKI

*Advanced Technology Center, National Astronomical  
Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka,  
Tokyo 181-8588, Japan*

**Abstract:** With AKARI, we have systematically performed near- to far-infrared observations of the ISM in about 60 nearby galaxies. Our objective is to study the properties of dust exposed to an extensive range of environments and their connection with star-forming activity. We present some results of far-infrared observations particularly demonstrative of the AKARI uniqueness. For many of our sample galaxies, images in the 10 photometric bands ranging from 3 to 160 micron together with 2-14 micron low-resolution spectra are obtained.