

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)

研究期間：2007～2008

課題番号：19840011

研究課題名(和文)

星間物質の物理・化学進化過程の解明と「あかり」分光データ解析手法の開発

研究課題名(英文) Studies on the physical and chemical evolution processes of interstellar medium and the development of software for AKARI spectroscopic datasets

研究代表者

左近 樹(SAKON, ITSUKI)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：70451820

研究成果の概要：

「あかり」赤外線天文衛星搭載 近・中間赤外カメラの分光データ解析処理に必要な補正項目をあらゆる取得データをもとに洗い出し、その詳細な評価を行なった。特に、広がった天体のスリット分光データの解析手法、及び、複雑な背景分光画像中から天体の分光データを精度よく得るための解析手法の開発を行った(Sakon et al. 2008, SPIE, 7010, 88-97)。次に、最新の「あかり」衛星搭載近赤外線カメラのデータを用いて、系内、マゼラン雲、近傍銀河の星間塵の形成、進化の過程を調べた。中でも特に、ダストの形成過程に着目した研究において、天文赤外線衛星「あかり」を用いて、超新星 2006jc の爆発後約 220 日後における近・中間赤外分光データを取得し塵の形成現場を捉えることに成功した(Sakon et al. 2008, ApJ, 692, 546-555; 2008 年日本天文学会春季年会にて記者発表。記者発表に関する内容は機関ホームページの以下のアドレスを参照；<http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press-2008-05.html>)。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2007 年度 | 1,350,000 | 0 | 1,350,000 |
| 2008 年度 | 1,350,000 | 405,000 | 1,755,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,700,000 | 405,000 | 3,105,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文・天文学(細目番号 4201)

キーワード：「あかり」衛星、性能評価、赤外線天文学、近傍銀河、超新星、星間塵、すばる望遠鏡

1. 研究開始当初の背景

赤外線天文衛星「あかり」において、スリットレス分光機能は、一度に多数の天体の情報が取得できるため、他の赤外線衛星には類を見ない効率的なデータ取得機能である。一方で、複雑な背景光の中に埋もれた天体のスリットレス分光観測の観測データについて

は、データのシグナルが重なり合うため、取得データから正確な天体の分光情報のみを得るプロセスはたいへん複雑であり、その手法の開発を早急に進める必要があった。これらの解析手法については前例がなく、手法開発のためには、データ取得過程で生じる天体以外のカウントの除去、特に散乱光などの成

分の性質の評価とその原因を詳しく評価することが重要である。

2. 研究の目的

(1) 「あかり」衛星近・中間赤外線カメラの性能評価と分光データ解析手法の開発

以上の背景を踏まえて、本研究では、「あかり」衛星のスリットレス分光機能のパフォーマンスを最大に発揮できるようにするため、スリットレス分光データの成分分離 (decomposition) を行うソフトウェアの開発を行なう。

(2) 「あかり」衛星やすばる望遠鏡を用いた星間物質の形成及び変性・進化過程の解明

上記の手法を観測データに適応し、「あかり」衛星を用いて取得したデータをもとに、さまざまな環境下での星間物質、特に星間ダストの形成にかかわるメカニズムおよび物理・化学進化過程を解明する試みを進める。また、すばる望遠鏡の中間赤外装置装置 COMICS を用いて取得した系内の天体の高空間分解観測データを用いて、さまざまな環境下での星間物質、特に芳香族炭化水素を含む星間ダストの異なる輻射場環境のもとでの物理・化学進化過程を解明する試みを進める。

3. 研究の方法

「あかり」衛星近・中間赤外線カメラ、及び、すばる望遠鏡搭載中間赤外装置 COMICS による系内、大マゼラン雲、近傍銀河における様々な物理環境下でのダスト放射の分光データを詳細に調べる。そのためには、「あかり」の拡がった天体に対する分光性能の評価と、解析に必要なソフトウェアの整備が重要になるので、それらの開発作業も精力的に進める。この研究により、「あかり」赤外線天文衛星を通じて得られる近・中間赤外赤分光データが、IRTS、ISO を空間分解能、感度の点で大きく更新し、近傍銀河そして遠方銀河まで幅広い対象をカバーした星間物質の赤外線観測データが得られることになる。このようにして、主として「あかり」観測データをもとに、銀河環境における星間ダストの形成現場、および化学進化のストーリーを明確にし、宇宙化学進化の分野において、世界的に主導的な研究を行なうことを目標とする。特に、「あかり」のデータについては、速報性を求められることがあるので、その際には、極限的に迅速かつ正確な処理を心がけ、論文として成果報告を行なうことに専念する。

4. 研究成果

(1). 「あかり」衛星近中間赤外線カメラによる分光データ解析手法の開発

「あかり」赤外線天文衛星搭載の近・中間

赤外カメラの分光データ解析処理に必要な補正項目をあらゆる取得データをもとに洗い出し、その詳細な評価を行なった。特に、拡がった天体のスリット分光データの解析手法、及び、複雑な背景分光画像中から天体の分光データを精度よく得るための解析手法の開発を行なった。その結果、特に、複雑な背景下にある天体の近・中間赤外スリット分光データにおいて、その処理のために必要な評価(アパーチャマスクの形状、スリット効率、0次光、2次光の特性、1次光の透過率特性、point spread functionの波長依存性等の評価)を完了し、背景成分に起因する分光パターンを再現するソフトウェアの開発に成功した。(Sakon et al. 2008, SPIE, 7010, 88, "Data reduction techniques for slit and slit-less spectroscopy of diffuse emission with the Infrared Camera onboard AKARI")。

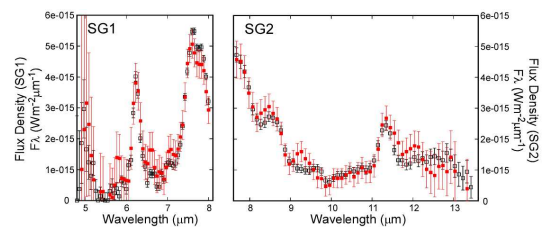


図1. 複雑な背景光に埋もれた赤外線点源のスリットレス分光データ(中間赤外線 MIR-S チャンネル SG1(5-8 μ m), SG2(8-13 μ m))のデータに本手法を適応させた例(赤)。独立に得られた同点源のスリット分光の結果(黒)と極めてよい一致が得られていることから、本手法によって精度良い背景成分差し引きが行われているといえる。

同時に近赤外分光データについても、背景分光パターンの差し引きのために必要な評価(アパーチャマスクの形状、スリット効率、0次光、2次光の特性、1次光の透過率特性、point spread functionの波長依存性等の評価)を完了し、近赤外スリットレス分光において、より精度良い分光データを抽出するソフトウェアの開発を行った。特に、あかり衛星がHeを使い切った以降(phase 3)の状態における波長透過率特性を含む各項目の再評価を行い、あかり衛星の現在も継続している phase 3 mission において、中心的に取得される分光データのデータ処理に対して、極めて有効な手法として適応されることが可能になった。

(2). 「あかり」衛星による超新星 SN2006jc の観測に基づくダスト形成過程の研究

これまでに取得されたすばる望遠鏡搭載の中間赤外線観測装置(COMICS)による高空間分解の撮像・分光データに加えて、最新の「あかり」衛星搭載近赤外線カメラのデータを用いて、系内、マゼラン雲、近傍銀河の星間塵

の形成、進化の過程を調べた。中でも特に、ダストの形成過程に着目した研究において、天文赤外線衛星「あかり」を用いて、超新星 2006jc の爆発後約 220 日後における近～中間赤外分光データを取得し塵の形成現場を捉えることに成功した(2008 年日本天文学会春季年会にて記者発表 (機関ホームページ; <http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press-2008-05.html>); Sakon et al. 2008, ApJ, 692, 546-555)。

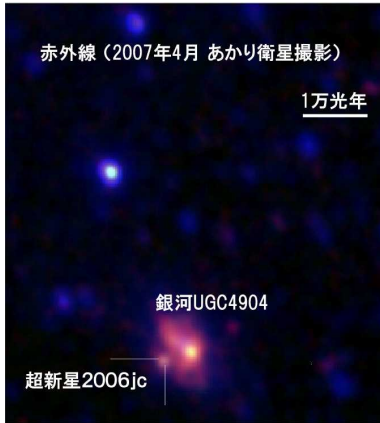


図 2. 爆発から 200 日後にあかり衛星で取得した超新星 2006jc の 3 色合成画像(青; 3 μ m、緑; 7 μ m、赤; 11 μ m)。視野内の通常の星が青く見えるのに対して、超新星 SN2006jc は母銀河 UGC4904 と同じくらい赤く、数百度~千度 K のダストによる赤外線超過が顕著に見られている。

詳細な近赤外～中間赤外波長域にかけての SED (spectral energy distribution) のモデル解析の結果、超新星爆発時に形成されるダスト量は初期宇宙のダスト量を説明するために必要な量よりはるかに小さいものの、大質量星は、超新星爆発の時だけでなく、Wolf Rayet 活動等の進化途中段階の質量放出によっても、ダスト形成に寄与し得るという重要な示唆を与えた。本天体 SN2006jc のように、特に太陽の数十倍から百倍程度の大質量星は、その進化の寿命が短いがゆえに、恒星進化のプロセスで合成した重元素を宇宙に手早く還元すると考えられるため、本研究の結果は、初期宇宙に観測されるダストの起源を探る上で重要な見地を与えるものであるといえる。

(3). すばる望遠鏡中間赤外観測装置 COMICS による星間多環式芳香族炭化水素ダストの変性・進化過程の研究

宇宙空間の様々な天体に対して普遍的に観測される赤外未同定バンド(UIR band)のキャリアとして、多環式芳香族炭化水素が提案されている。この多環式芳香族炭化水素は、ベンゼン環を有する大きな分子であり、有機物質との密接な連関が期待され、その星間空

間中での生成現場、変質過程、破壊過程を探ることが当面の重要な課題である。

あかり衛星とすばる望遠鏡 COMICS のデータを基に、星間空間および星周空間中での芳香族炭化水素ダストの変質過程を、特に輻射場の際に着目して詳細に調べ、その電離やサイズと、赤外放射の関係について評価を行った。(関連内容は「Exoplanets and Disks: Their Formation and Diversity -the 2nd Subaru International Conference」などにおいて発表)

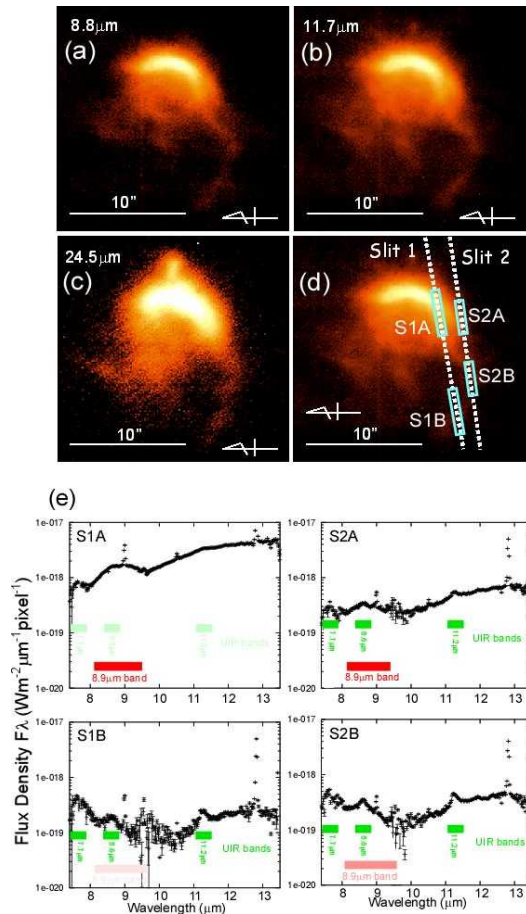


図 3. すばる望遠鏡中間赤外線観測装置 COMICS による系内大質量星形成領域 IRAS18434-0242 の中間赤外撮像データ(a; 8.8 μ m, b; 11.7 μ m, c; 24.5 μ m)。 (d) 分光観測におけるスリットの位置を 11.7 μ m の画像上に示したもの。 (e) スリット上に定義された各領域について得られた N-band (8-13 μ m) のスペクトル。励起星位置に最も近い領域 S1A では、UIR バンドがあまり顕著に見られず、高エネルギーの輻射場下では生存できないことが示唆される一方で、8.9 μ m を中心とするバンド幅の広い新たな feature が検出されそのキャリアが強く高エネルギーな輻射場を必要とする物質であることがわかった。励起源から遠くの星雲領域(S1B, S2B など)では一連の UIR バンドが顕著に見られるようになることがわかった。

(4). 「あかり」衛星による星間多環式芳香族炭化水素ダストの変性・進化過程の研究

「あかり」衛星を用いて、近傍銀河 NGC6946 の銀河拡散光の中間赤外スリット分光観測を行った。分光観測のためのスリットは NGC6946 の銀河腕 (arm) と銀河腕間 (interarm) の両方にまたがるように設定した。その結果、取得された中間赤外線スペクトル中において、銀河腕、銀河腕間のいずれの場所においても、多環式芳香族炭化水素の担う赤外バンド放射を検出した。分光データの詳細な解析から、星形成領域を多数含む銀河腕領域と、星形成活動の見られない比較的穏やかな銀河腕間領域とでは、放射バンドの強度比やスペクトルの形状が異なる事を示した。さらに、多環式芳香族炭化水素の赤外放射の実験室データ及び量子化学計算に基づく研究の結果との比較研究をもとにこの差異の原因を詳しく調べた結果、クラスター状になって存在していた多環式芳香族炭化水素が強い輻射場をもつ星形成領域の周囲ではばらばらになること、また照射される紫外線によって電子を剥ぎ取られて電離状態になるというシナリオを示唆した。(Sakon et al. 2007, PASJ, 59, 483-495 で一部を報告。 「IAU Symposium 251; Organic Matter in Space」、Sakon et al. 2008, IAUS, 251, 241-246 における発表に関連)

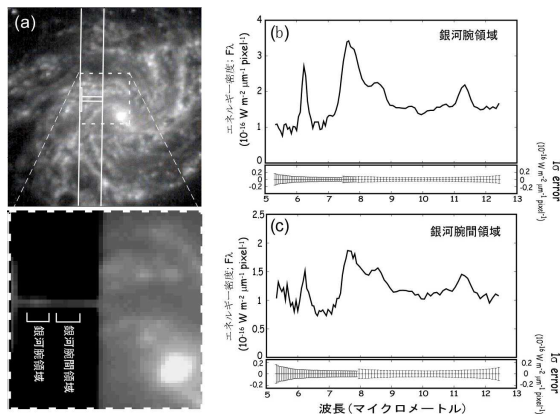


図 3 (a) あかり衛星による近傍銀河 NGC6946 の S7 バンド (波長 7 μ m) での撮像画像と中間赤外線分効用スリット位置、及び、スリット部分の拡大図。(b),(c) スリット中の銀河腕領域、及び、銀河腕間領域で取得された中間赤外線スペクトル。星形成領域を含む銀河腕領域において、比較的穏やかな銀河腕間領域と比べて、UIR 7.7 μ m feature と UIR 11.2 μ m feature の強度比の増加がみられる。これは、大質量星形成領域を多数含む銀河腕領域では紫外線光子によって PAH の電離が促進されていることに対応すると考えられる。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 15 件)

左近樹、尾中敬、和田武彦、大山陽一、金田英宏、石原大助、田辺俊彦、峰崎岳夫、吉井謙、富永望、野本憲一、野沢貴也、小笹隆、田中正臣、他 7 名、 “Properties of Newly Formed Dust by SN2006jc Based on Near- to Mid-Infrared Observation With AKARI”, the Astrophysical Journal, 692 巻, 546-555, 2009 年, 査読有

左近樹、尾中敬、他 20 名、 ”Data reduction techniques for slit and slitless spectroscopy of diffuse emission with the Infrared Camera onboard AKARI”, SPIE, 7010 巻, 88-97, 2008 年, 査読無

左近樹、尾中敬、他 10 名、 ”Properties of polycyclic aromatic hydrocarbons in the star forming environment in nearby galaxies”, Proc. of IAU Symp., 251, 241-246, 2008 年, 査読無

左近樹、尾中敬、和田武彦、大山陽一、金田英宏、松原英雄、 ”Properties of UIR bands in NGC6946 based on mid-infrared observations with Infrared Camera on board AKARI”, Proc. of The Fourth Spitzer Science Center Conf., 57, 1-8, 2008 年, 査読無

左近樹、尾中敬、他 24 名、 ”Properties of UIR Bands in NGC6946 Based on Mid-Infrared Imaging and Spectroscopy with Infrared Camera on Board AKARI”, PASJ, 59, S483-S495, 2007 年, 査読有

金田英宏、他 4 名中 4 番、 ”Spatial Distributions of Dust and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Nearby Elliptical Galaxy NGC4589 Observed with AKARI”, PASJ, 60, S467-S475, 2008 年, 査読有

Ji-Yeon Seok、他名中番、 ”Supernova Remnants in the AKARI IRC Survey of the Large Magellanic Cloud”, PASJ, 60, S453-S466, 2008 年, 査読有

板由房、他何名中何番、 ”AKARI IRC Survey of the Large Magellanic Cloud: Outline of the Survey and Initial Results”, PASJ, 60, S435-S451, 2008 年, 査読有

田邊俊彦、左近樹、Martin Choen、他 11 名、 ”Absolute Photometric Calibration of the Infrared Camera (IRC) aboard AKARI”, PASJ, 60, S375-S388, 2008 年, 査読有

富永望、他 23 名中 10 番、” The Peculiar Type Ib Supernova 2006jc: A Wolf-Rayet Star Explosion”, the Astrophysical Journal, 687, 1208-1219, 2008 年, 査読有

下西隆、他 6 名中 3 番、” AKARI Near-Infrared Spectroscopy: Detection of H₂O and CO₂ Ices toward Young Stellar Objects in the Large Magellanic Cloud”, the Astrophysical Journal Letter, 686 巻, 99-102, 2008 年, 査読有
野沢貴也、他 10 名中 3 番、” Early Formation of Dust in the Ejecta of Type Ib SN 2006jc and Temperature and Mass of the Dust”, the Astrophysical Journal, 684 巻, 1343-1350, 2008 年, 査読有

金田英宏、尾中敬、左近樹、他 3 名、” Properties of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Local Elliptical Galaxies Revealed by the Infrared Spectrograph on board Spitzer”, the Astrophysical Journal, 684 巻, 270-281, 2008, 査読有

岡田陽子、他 6 名中 4 番、” Si and Fe Depletion in Galactic Star-forming Regions Observed by the Spitzer Space Telescope”, the Astrophysical Journal, 682 巻, 416-433, 2008, 査読有
松本裕子、左近樹、尾中敬、他 9 名、” Mid-Infrared Observations of Planetary Nebula BD +30 3639: Evolution and Distribution of Unidentified IR Band Carriers”, the Astrophysical Journal, 677 巻, 1120-1131, 2008, 査読有

[学会発表](計 12 件)

I. Sakon, et al.,
” Data reduction techniques for slit and slitless spectroscopy of diffuse emission with the infrared camera onboard AKARI ”,
SPIE Conference, Space Telescopes and Instrumentation I: Optical, Infrared, and Millimeter Wave 2008,
poster presentation,
2008/6/23 -28,
Marseille, France

I. Sakon,
” Properties of dusts formed around the core-collapse supernova 2006jc based on near - to mid-infrared observations with AKARI ”,
Silicate Dust in Protostars: Astrophysical, Experimental and Meteoritic Links,
oral presentation,

2008/7/25 -26,
University of Tokyo, Tokyo, Japan
I. Sakon,

” Infrared Observations of Interstellar Dust by AKARI ”,
10th Asian-Pacific Regional IAU meeting,
invited talk,
2008/8/3 -6,
Kunming, China

I. Sakon,
” Properties of Interstellar PAHs in the Milky Way and in Nearby Galaxies ”,
Workshop for Interstellar Matter,
invited talk,
2008/9/4 -6,
Hokkaido University, Hokkaido, Japan
I. Sakon,

” Properties of newly formed dust by SN2006jc based on near - to mid-infrared observation with AKARI ”,
Cosmic Dust Near & Far,
poster presentation,
2008/9/8 -12,
Heidelberg, Germany

I. Sakon,
” Near - to Mid-Infrared Observations of Supernovae ”,
Focus Week on Messengers of Supernova Explosions,
invited talk,
2008/11/17 -21,
University of Tokyo, Kashiwa, Japan,
I. Sakon,

” Recent achievements on near - to mid-infrared observations of supernovae with AKARI/IRC ”,
AKARI, a light to illuminate the misty Universe,
invited talk,
2009/2/16 -19,
University of Tokyo, Tokyo, Japan
I. Sakon, et al.,

” Evolution of circumstellar PAHs in soft and hard radiation environment ”,
Exoplanet and Disks: Their Formation and Diversity, The Second Subaru International Conference,
poster presentation,
2009/3/9 -12,
Kona, Hawaii, U.S.A.

左近樹,
” 「あかり」衛星の捉えた Ib 型超新星 2006jc によるダスト形成 ”
日本天文学会春季年会,
2008 年 3 月 24 日,
東京都 代々木青少年オリンピック記念センター

左近樹、
“「あかり」衛星搭載 近中間赤外カメラ
のスリットレス分光性能評価 1”
日本天文学会秋季年会、
2008年9月13日、
岡山県 岡山理科大学

左近樹、
”「あかり」衛星搭載 近中間赤外カメラ
のスリットレス分光性能評価 2”
日本天文学会春季年会、
2009年3月25日、
大阪府 大阪府立大学

左近樹、
“赤外線天文衛星「あかり」の観測に基づ
く超新星放出ガス中でのダスト形成”
日本物理学会 第64回年次大会
2009年3月28日、
東京都 立教大学

〔その他〕

記者発表内容に関するホームページ
[http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press -
2008-05.html](http://www.s.u-tokyo.ac.jp/press/press-2008-05.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

左近 樹(SAKON ITSUKI)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号:70341820

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者