赤外線銀河内の埋もれた活動銀河核の探査

市川 幸平 (京都大学大学院 理学研究科)

Abstract

赤外線銀河は、赤外線で非常に明るく輝いている銀河であるが、その膨大なエネルギー源が星生成由来なのか、それとも活動銀河核 (AGN) 由来なのかは、ダストに隠されているため、判別することは難しい [1]。我々は、可視光線で活動銀河核の兆候がない近傍の赤外線銀河 ($z < 0.2$) に対して、あかり衛星を用いて 2.5–5 μm スペクトルを取得した。さらに、このバンド内に寄与する成分として、星直接成分の黒体輻射、AGN によって温められたダスト (トーラス) 由来の黒体輻射を考え、トーラス由来の温度が $T > 200$K となるものを、埋もれた AGN の指標とした。この方法により、赤外線光度があがるにつれて、埋もれた AGN をもつ赤外線銀河の割合が多くなることを、幅広い赤外線光度幅 ($10^{10} L_\odot < L_{\rm IR} < 10^{13} L_\odot$) で示すことに成功した。

1 Introduction

宇宙の歴史において、星生成がどのように行われ、また超巨大ブラックホールがどのように成長してきたのかを知ることは、我々天文学者が果たすべき使命の一つである。激しい星生成は多量のダストを生成するため、星生成活動によって放出される大量の紫外線・可視光線はダストに隠されてしまうが、温められたダストは赤外線領域で再放射をするため、星生成銀河では非常に強い赤外線放射が観測される。同様に、活動銀河核 (active galactic nuclei; AGN) は、中心エンジンである降着円盤を囲うようにダストが分布している (AGN ダストトーラス) ことが様々な観測から示唆されており (Antonucci & Miller 1985)、ダストトーラスは中心エンジン由来の光によって温められ、赤外線、特に中間赤外線領域で明るく輝いていると考えられており、実際、中心エンジンをよくトレースする X 線光度と、中間赤外線光度には、非常によい相関があることが知られている (Ichikawa et al. 2012)。最近の硬 X 線の観測により、ダストやガスに深く隠された AGN (Compton thick AGN) が次々と観測されはじめ、Brightman & Ueda (2012) によると、$z = 0$ から $z = 1$ にかけて、Compton thick AGN の割合は増えていくことが報告されている。また、Compton thick AGN の赤外線スペクトル観測により、このような AGN の多くは激しい星生成を行なっていることがわかってきた (Goulding et al. 2012)。つまり、AGN トーラスの成長や大きさと、AGN 母銀河の星生成の活動には何かしらの相関があると思われている。このように、宇宙に普遍的に存在しているとかんがえられる Compton thick AGN を探査するのに硬 X 線は非常に役立つが、さらに埋もれた AGN、例えば $N_{\rm H} > 10^{24.5}{\rm cm}^{-2}$ となるような天体に対しては、激しい吸収を受けてしまうため、硬 X 線における探査が困難となってしまう。

そのような、ダストに深く埋もれた AGN の候補として知られているのが、赤外線銀河 ($L_{\rm IR} > 10^{10} L_\odot$) である。このような赤外線銀河は全光度のほとんどを赤外線領域で放出しており、ダストに隠された、非常に激しいエネルギー源が存在すると考えられており、星生成と AGN がエネルギー源の二大候補となっている。このような赤外線銀河のエネルギー源のうち、どの程度が星生成活動由来であり、どの程度が AGN 活動由来であるのかを調べることは、この宇宙における、ダストに隠された星生成活動と超巨大ブラックホールの進化を知ることにつながる、非常に重要なテーマである。このような埋もれた AGN の探査として有効な方法の 1 つとして、芳香族炭化水素 (PAH) 分子の輝線強度が非常に役立つことが知られている。この PAH 輝線の有無をみることで、赤外線銀河のエネルギー源に AGN が含まれているのか、それとも星生成のみであるのか、の診断が可能となる (Imanishi & Dudley 2000)。Imanishi et al. (2006,

2008, 2010) は、超/高光度赤外線銀河 (U/LIRGs) を対象に、芳香族炭化水素 (PAH) 分子の診断法を用いることで、埋もれた AGN を大量に発見し、しかも埋もれた AGN の割合が、赤外線光度に依存することを示した。しかし、低光度側において、どの程度埋もれた AGN が潜んでいるのか、また、埋もれた AGN がいる銀河の赤外線光度のうち、どの程度が AGN 由来なのかについては、いまだに調べられていなかった。

我々は、近傍 ($z < 0.2$) の幅広い赤外線光度 ($10^{10}L_{\odot} < L_{\rm IR} < 10^{13}L_{\odot}$) を持った赤外線銀河に対し、あかり/IRC の 2.5–5 μm のスペクトルを取得し、さらに埋もれた AGN の兆候を調べ、それが赤外線光度にどのように依存するのかを調べた。また、2.5–5 μm バンド内における AGN トーラス由来のダスト放射の温度を求め、さらに、トーラス由来の赤外線光度の寄与も見積もった。

2 Observations

我々は、IRC で分光できる明るさを満たす近傍 ULIRG および近傍 AGN のうち、まだ AKARI で観測されていない天体を無バイアスに選択、あかり/IRC で 2.5–5 μm のスペクトル観測を行った。具体的には、近傍の AGN サンプルおよび星生成銀河については、Spinoglio et al. (2002)、ULIRG サンプル については、Klaas et al. (2001) および Carico et al. (1988) から、それぞれ無バイアスに 44 天体を取得し、観測の結果、有意に天体が受かったのは、32 天体であった。これは、赤外線銀河 6 天体を含んだサンプルとなっている。

3 Spectral Fitting

赤外線銀河において、2.5–5 μm の連続光に寄与する放射は、

1. 可視光バンドから伸びる星の直接成分
2. HII 領域などに存在する、非常に高温のダスト
3. AGN トーラス成分

が考えられる。これらすべてが黒体輻射の関数を持っているため、我々は、2.5–5 μm における連続光を、黒体輻射の関数 3 成分でモデルし、フィッティングを行った。また、2.5–5 μm で共通して見られる輝線・吸収線を、それぞれガウシアン成分でフィッティングを行った。

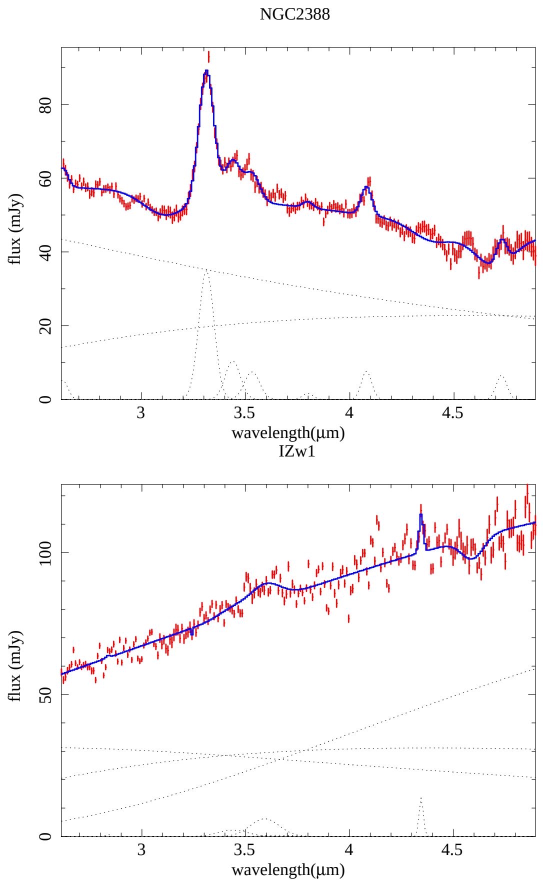

図 1: あかり/IRC で取得した 2.5–5 μm スペクトルの例。赤が観測スペクトル、青がモデル曲線。各点線が、各コンポーネントの寄与を表している。上図 (NGC 2388) が典型的な星生成銀河、下図 (I Zw 1) が典型的な AGN のスペクトル

4 Obscured AGN diagnostics

フィッティングにより、天体ごとに、以下の 2 つの基準のいずれかを満たし場合、その銀河は埋もれた AGN をもつと診断した。

- PAH 3.3 μm の等価幅 < 40 nm
- トーラス由来の黒体輻射の温度 $T > 200$K

5 Results

図 2 は、埋もれた AGN の個数の、赤外線光度への依存性を表している。図 2 からわかるように、埋もれた AGN を持つ赤外線銀河の割合が、赤外線光度が増加するほど、増えていることがわかる。これは、赤外線光度が増えるほど衝突銀河の割合が増えている現状を考えると、衝突を経験した赤外線銀河ほど、AGN を持ちやすいことを示唆しているかもしれない。

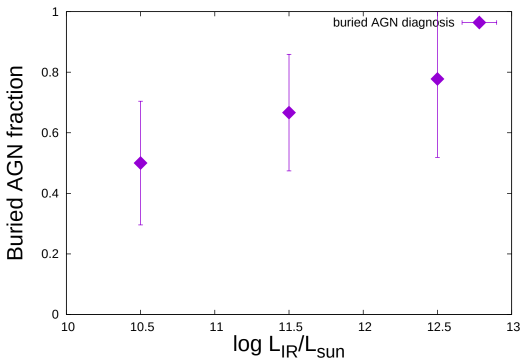

図 2: 各赤外線光度における、埋もれた AGN の兆候がある銀河の個数の割合

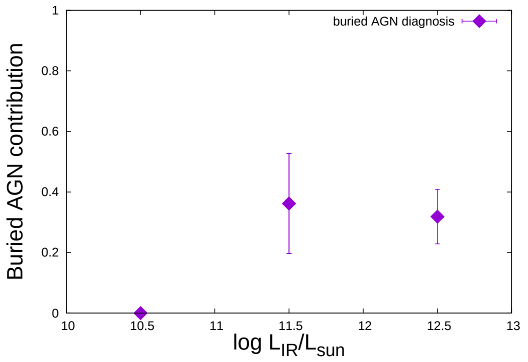

図 3: 各赤外線光度における、埋もれた AGN の全赤外線光度への寄与

図 3 は、各赤外線光度における、埋もれた AGN のエネルギーの寄与を表している。$L_{\mathrm{IR}} > 10^{11}L_{\odot}$ において、AGN の全赤外線光度への寄与は 30%ほどであり、別の方法で見積もられた値と矛盾はない (Nardini et al. 2010)。

6 Conclusion

我々は、あかり/IRC を用いて近傍の赤外線銀河を観測し、 2.5–5 μm スペクトルを取得した。このスペクトルの各成分を分離することで、今までで最も幅広い赤外線光度 ($10^{10}L_{\odot} < L_{\mathrm{IR}} < 10^{13}L_{\odot}$) において初めて、以下の 2 つの結果を示した。

1. 埋もれた AGN の割合が、赤外線光度に依存する
2. 埋もれた AGN の、全赤外線光度への寄与も赤外線光度に依存する

Acknowledgement

本研究は、学振特別研究員奨励費の助成を受けて行われている。

Reference

Antonucci, R. R. J., & Miller, J. S. 1985, ApJ, 297, 621

Brightman, M., & Ueda, Y. 2012, MNRAS, 423, 702

Carico, D. P., Sanders, D. B., Soifer, B. T., et al. 1988, AJ, 95, 356

Goulding, A. D., Alexander, D. M., Bauer, F. E., et al. 2012, ApJ, 755, 5

Ichikawa, K., Ueda, Y., Terashima, Y., et al. 2012, ApJ, 754, 45

Imanishi, M., & Dudley, C. C. 2000, ApJ, 545, 701

Imanishi, M., Dudley, C. C., & Maloney, P. R. 2006, ApJ, 637, 114

Imanishi, M., Nakagawa, T., Ohyama, Y., et al. 2008, PASJ, 60, 489

Imanishi, M., Nakagawa, T., Shirahata, M., Ohyama, Y., & Onaka, T. 2010, ApJ, 721, 1233

Klaas, U., Haas, M., Müller, S. A. H., et al. 2001, A&A, 379, 823

Nardini, E., Risaliti, G., Watabe, Y., Salvati, M., & Sani, E. 2010, MNRAS, 405, 2505

Spinoglio, L., Andreani, P., & Malkan, M. A. 2002, ApJ, 572, 105