

論文内容の要旨

論文題目 Observations of *ISO* far-infrared galaxies
 〔ISO 遠赤外線銀河の観測〕

氏名 大藪 進喜

天文学の重要な問題の一つは、銀河がどのようにでき、どのように進化してきたかである。銀河形成・進化の現場をおさえるために、Hubble Space Telescope や 8メートルクラスの大望遠鏡をもちいて可視光の深い観測が精力的に行われており、高赤方偏移すなわち宇宙の初期の段階での銀河が数多く見つかってきている。しかしその星生成率はせいぜい1年あたり数太陽質量というそんなに活発な値を示してはいない。一方、赤方偏移が1を越えるような巨大楕円銀河や、低赤方偏移から高赤方偏移までのクェーサーの金属量が太陽近傍より高い値を示すように、それらの天体より過去に十分な数の星を作るような活発な星生成活動があったという状況証拠がある。しかしながら可視光での観測ではそのような活発な星生成の現場が見つかってこない。この二つの事象の間を、塵の存在によって説明することができる。活発な星生成活動は大量な塵を伴い、その塵によって可視は大部分が吸収されている。そしてこの吸収された可視光でのエネルギーは遠赤外線で放射されているため、可視では極めて暗く観測で見つかりにくいと考えることができる。

この塵の存在をサポートする観測として COBE による遠赤外線での宇宙背景放射の検出がある。この遠赤外線背景放射は、近傍の銀河の遠赤外線放射の値から予想されるより10倍以上高く、宇宙のエネルギーのおよそ半分が遠赤外線で放射されていることを示していた。これはすなわち塵に隠された星生成活動が、過去に遡って増加しているが、その現場は可視光では吸収されて赤外線で放射されている。すなわち遠赤外線背景放射を調べることで、可視では見落としていた、銀河形成・進化に迫れると考えることができる。

そこでこの遠赤外線背景放射の中に含まれる銀河の情報を引き出すために、我々のグループで、ヨーロッパの赤外線人工衛星である赤外線宇宙天文台 (ISO) をもちいて、全天でもっとも水素の棒密度の低いロックマンホール領域を、遠赤外線 90 ミクロンと 170 ミクロンの波長域で一平方度にあたって世界でもっとも深い探査を行った。この観測から、その遠赤外線源の個数は、赤外線の進化をいれないモデルの予想より遥かに多く、その空間分布解析からそれらの遠赤外線源が、赤方偏移 1 以下の星生成活動が活発な銀河であると予想されている。

我々のグループは、この遠赤外線深探査で見つかった遠赤外線源がどのような天体であるかを調べるために、同定作業を行った。ISO がわずか 60cm の望遠鏡かつアンダーサンプリングの検出器さらに遠赤外線源のソースコンフージョンのために、遠赤外線の波長では 90 ミクロンで 16 秒、さらに 170 ミクロンでは 33 秒という大きな位置のエラー (1σ) を持つ。このためそのエラーサークル中に多くの候補天体が存在し、その同定をすることは極めて困難な作業である。そこで我々は近傍の銀河で良く知られている遠赤外線と電波の相関関係、すなわち星生成活動の UV 光を塵で吸収して赤外線で放出している天体が、その星生成活動に伴う超新星残骸からのシンクロトロン電波連続光もだしているという相関をもちいて同定をおこなった。この電波のデータは、アメリカ合衆国ニューメキシコ州の Very Large Array で電波 20cm での高空間分解能の深い探査を行って取得したものである。そして遠赤外線源をその 20cm 電波源と比較して Likelihood Ratio Analysis という確率解釈をすることで、79 天体の同定に成功した。

さらにハワイ大学 2.2m 望遠鏡で取得した可視 I バンド近赤外線 HK' バンドの撮像観測とすばる 8m 望遠鏡で取得した可視 R バンドの撮像観測データをもちいて、ISO 遠赤外線源のカラーを調べた。多くの遠赤外線源は R-I のカラーで比較的普通の渦巻き銀河と同じ色を示す銀河であり、これは近傍の超光度赤外線銀河 ARP220 と同じようなカラーである。このような天体は星の系が十分にできており、その中に塵のコンポーネントが遠赤外線を放射していると考えている。一方興味深い種類の銀河も観測されている。遠赤外線のエネルギーと可視光のエネルギー比が 500 を超え、これは近傍の超光度赤外線銀河 ARP220 を赤方偏移させるだけでは説明することができない。さらにそのうち少なくとも 6 個は、 $R-I > 1.5$ という非常に赤い色を示している。このような天体は、星の系が十分成長していないか、または星の系が塵によってほぼ完全に覆われて吸収されているような天体であると考えられる。

次に、同定した遠赤外線源の赤方偏移を計ることで、その天体の光度と光度関数を求めることを行った。アメリカのマウナケア天文台の Keck II 望遠鏡とキットピーク天文台の WIYN 望遠鏡による可視分光観測を行い、遠赤外線源として同定された 79 天体のうち 34 天体 (+1 は文献から) について赤方偏移を計ることに成功した。特に WIYN 望遠鏡では、HYDRA という光ファイバーを用いた多天体分光器を使用し、ビームスイッチングという天体と空を交互に撮ることで赤方偏移をきめるための輝線を観測するために邪魔になる夜光の成分を精度良く除去することができた。これらによって赤方偏移を計測した銀河のおよそ半分が $z \sim 0.1$ の宇宙に位置する。しかしながら超高光度赤外線銀河 ($L_{FIR} \gtrsim 10^{12} L_{\odot}$) を 10 天体、さらにその 10 倍赤外線で明るい極高光度赤外線銀河を 1 天体見つけることに成功した。

ここで見つけた ISO 遠赤外線銀河の密度分布を 90 ミクロンと 170 ミクロンの両バンド

で積分系の単色光度関数を求めた。1980年代のIRAS衛星の100ミクロンサーベイの結果と比較すると高光度側すなわち遠方で個数が増えていること、すなわち進化していることが見て取れる。この進化の傾向は、 $\langle V/V_{max} \rangle$ テストでも確認することができた。

さらに、遠赤外線光度の光度関数(図1)を求めるとすべての赤方偏移ポイントで近傍のIRAS赤外線銀河ものに対して超過している。とくに一番遠方の点 $z = 0.3 - 0.8$ においては、その超過が最大であり、 $L_{FIR} \sim 10^{12.5} h_{50}^{-2} L_{\odot}$ を持つISOで見つかった超高光度赤外線銀河の空間密度が $1.8 \pm 1.1 \times 10^{-5} h_{50}^3 \text{Mpc}^{-3}$ という近傍の100倍以上という値を示した。この種の赤外線銀河の個数が赤方偏移0.8に向かって急速に増加している。

最後にこのような赤外線銀河の形態を調べた。特に超高光度赤外線銀河と呼ばれる天体は、大部分が歪な形態を示している。これは衝突や遭遇と言ったイベントによる何らかの力学的作用を受けたことを示唆しており、これによって赤外線での活動、すなわち星生成活動が活発になったと考えられる。このことは近傍の高光度銀河でも言われていたことであるが、さらに遠方においても確認した。

本研究は、わずか一平方度という面積の中で観測されたものであるために、サンプルの数が限られたものとなっている。この問題は、今後の赤外線衛星計画で解決されるであろう。

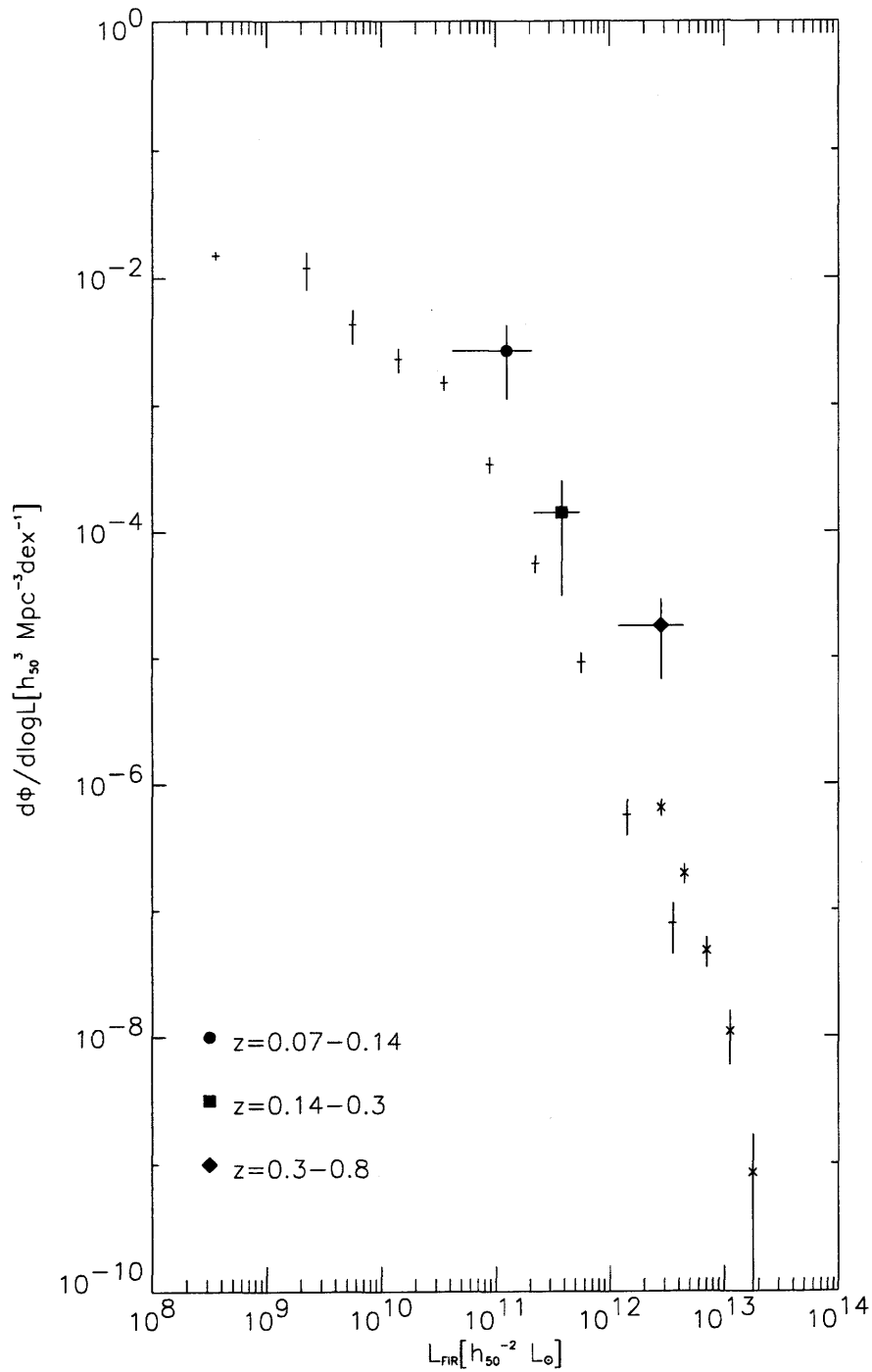


図 1: ISOによって検出された遠赤外線源の光度関数。黒丸、黒四角、黒ダイヤモンドが我々の結果で、それぞれ赤方偏移が 0.07-0.14, 0.14-0.3, 0.3-0.8 に相当する。+ が Soifer et al. 1987、x が Kim & Sanders 1998 のデータ点で比較のため過去の研究を表示した。