

氏 名 大井 渚

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1478 号

学位授与の日付 平成 24 年 3 月 23 日

学位授与の要件 物理科学研究科 天文科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Evolution of Luminous Infrared Galaxies Revealed by  
Near-Infrared Imaging of Host Galaxies

論文審査委員 主 査 教授 富阪 幸治  
教授 川口 則幸  
准教授 久野 成夫  
教授 和田 桂一 鹿児島大学  
Associate Scientist Christopher Packham  
University of Florida

The goal of our work is to investigate evolutionary relationship between Ultra-luminous Infrared Galaxies (ULIRGs), whose infrared luminosity ( $L_{\text{IR}}$ ) is larger than  $10^{12} L_{\odot}$ , and Luminous Infrared Galaxies (LIRGs) with  $L_{\text{IR}} = 10^{11-12} L_{\odot}$ , and to compare with the Palomar-Green sample QSOs, the representative sample of optically-selected QSOs in the local universe. Since the luminosity level of ULIRG is the same as optically selected QSOs (= unobscured bright AGNs), and both ULIRGs and LIRGs show gas-rich merging signs, a scenario that ULIRGs and LIRGs have very active starbursts and/or AGNs in their center hidden by dust and they finally evolve into QSOs after the dust dissipation, was proposed. However, whether (1) ULIRGs pass through LIRG phase, or (2) the activity of LIRGs cannot reach the level of ULIRG and finally ULIRGs and LIRGs evolve into different objects, is not understood well yet. To unveil the evolutionary scenario, it is important to study properties of the nuclear regions. However, since the centers of ULIRGs and LIRGs are obscured by a large amount of gas and dust, it is hard to study the central regions directly using near-infrared wavelength. In order to overcome this difficulty, we pay attention to tight correlations between Supermassive Black Hole (SMBH) masses at the central region of galaxies and their host galaxies luminosity ( $L$ ) and effective radius ( $r_e$ ). If ULIRGs and LIRGs evolve into QSOs, ULIRGs and LIRGs should have SMBHs whose ultimate masses ( $M_{\text{BH}}$ ) are comparable to those of QSOs, and the ultimate mass is accurately estimated by  $L$  and  $r_e$  observed by the IR band with less dust extinction effects.

Our targets (47 ULIRGs and 85 LIRGs) are the luminosity-selected non-biased samples in terms of morphology (the ULIRG 1 Jy sample and the IRAS Revised Bright Galaxy Sample). We used IRSF 1.4-m telescope with SIRIUS infrared imaging camera. The IRSF/SIRIUS can take J-, H-, and Ks-bands imaging data simultaneously. It enables us to study ULIRGs and LIRGs with Ks-band data with less effect of dust extinction. Moreover to compare the three near-IR imaging data, we study the spatial extent of dust extinctions in host galaxies for ULIRGs and LIRGs.

We find that  $< 60\%$  (28/47) of ULIRGs and  $< 70\%$  (59/85) of LIRGs in our sample have single nucleus, while the rest objects have multiple nuclei. For our sample with single nucleus, we fit the images using 2-D fitting software, GALFIT3 to measure  $r_e$  and  $L$  of host galaxies. Then we find that (1) both of ULIRGs and LIRGs have similar host properties. The  $M_{\text{BH}}$  range estimated from the host galaxy properties at Ks-band is  $10^{7.5-9} M_{\odot}$ , which is also very similar to those of PG QSOs. (2) The distribution of central excess of ULIRGs is significantly brighter compared with those of LIRGs. From these two main results in Ks-band, we suggest that the reason of brighter  $L_{\text{IR}}$  for ULIRGs compared with those for LIRGs is not activities such as star-formations in host galaxies but nuclear activities such as nuclear star-formation and/or AGN, and ULIRGs and LIRGs should evolve into objects similar to PG QSOs.

Furthermore, we compare J- and H-band data to Ks-band data, and find that the emission in J- and H-bands are significantly affected by dust extinction. The dust extinction in almost all host galaxies for ULIRGs and LIRGs at V-band is  $< 14$  mag, or equivalently the dust extinction at

Ks-band is  $< 0.8$  mag. Therefore the luminosity at Ks-band ( $L_{Ks}$ ) is reliable within a factor of  $< 2$ . The dust extinction for the central region is larger than for the host galaxy.

For ULIRGs and LIRGs with multiple nuclei, we classified them into three groups in terms of angular separation between nuclei, and compare objects in the three groups with single-nucleus objects. We find that (1) maximum  $L_{Ks}$  is constant or at most only slightly decreases with decreasing angular separations, (2) many single-nucleus ULIRGs and LIRGs have relatively faint  $L_{Ks}$  compared with those of multiple-nuclei objects. Therefore, although some of multiple-nuclei ULIRGs and LIRGs could evolve into single-nucleus ULIRGs and LIRGs, mainly the single-nucleus ULIRGs and LIRGs are illuminated by the central star-formations in the final merging phase, which would not be classified as ULIRGs and LIRGs in earlier and middle phases of mergers. It is likely that largely separated objects have a bias that their progenitor galaxies are relatively large galaxies.

本研究の対象は、超高光度赤外線銀河UltraLuminous InfraRed Galaxies (ULIRG)、高光度赤外線銀河Luminous InfraRed Galaxies (LIRG)と呼ばれる、赤外線光度がそれぞれ、 $L_{\text{IR}} > 10^{12} L_{\odot}$  (太陽光度)、 $L_{\text{IR}} \sim 10^{11-12} L_{\odot}$  におよぶ赤外線で特に明るい銀河である。これらの天体は、衝突し合体する銀河ペアのある瞬間を見ているもので、活動銀河核の一種であるクエーサーに進化すると考える有力な説があるが、その進化関係は未だに明らかではない。それは、(U)LIRGの中心部が多くの星間塵を含み、可視光では内部の観測が困難なことによる。

本研究は、赤外線で、ある（見かけの）明るさ以上の(U)LIRGサンプルを、南アフリカ天文台に設置された赤外線望遠鏡IRSFにおいて、近赤外3バンド[Jバンド(中心波長 $1.25 \mu\text{m}$ )、Hバンド( $1.63 \mu\text{m}$ )、Ksバンド ( $2.14 \mu\text{m}$ )]同時撮像カメラSIRIUSにより観測し、表面輝度分布から、(U)LIRGの母銀河の性質を調べることで、進化関係に迫ったものである。

本研究では、吸収の最も少ないKsバンドの測光された表面輝度分布を元に、輝度分布の有効半径 $R_{e,Ks}$ および光度 $L_{Ks}$ を測定した。このサンプルの一部については先行研究で解析された結果とよく一致し、本論文の方法で十分な測光精度が確保されていることが確認された。楕円銀河の色を仮定した場合に想定される吸収量は可視光では $A_V=14$ 等に達し、近赤外でも、 $A_J=2.6$ 等、 $A_H=1.5$ 等と吸収の効果を被っていること、しかし、Ksバンドでは光度が1/2倍になる程度より少ない吸収であると評価され、Ksバンドの測光を用いて(U)LIRGの母銀河の性質を調べる方法の妥当性が確認された。

楕円銀河で成り立つ $R_{e,Ks}$ および $L_{Ks}$ と中心巨大ブラックホールの質量 $M_{BH}$ の関係（マゴリアン関係）を用いて、(U)LIRGのホスト銀河がもつであろう $M_{BH}$ の分布を比較した（これは母銀河の $R_{e,Ks}$ および $L_{Ks}$ 分布の比較と同値である）。

輝度中心が単一である単一核(U)LIRGについて、棄却水準5%のkolmogorov-smirnov検定を行った結果、ULIRGおよびLIRGの $M_{BH}$ の分布は異なるものという仮説は棄却され、PG(Palomar Green)クエーサーのそれと比較した場合も同様の結果を得た。これは、(U)LIRGが衝突合体銀河であった場合に比較的進化の進んだ状態と考えられる単一核の場合、それを含んでいる母銀河の性質がULIRG、LIRG、クエーサーを通じて同様であることを示唆している。

一方、複数の輝度中心を持つ複数核(U)LIRGについて同様の比較を行った結果、複数核ULIRGの母銀河の分布だけが他の複数核LIRG、単一核ULIRG、単一核LIRGのそれと異なるとの結果を得た。以上の結果は、複数核LIRG、単一核ULIRG、単一核LIRGが同一の種族であり、クエーサーに進化する一つの系列であるという主張に強い支持をあたえるものであった。

このように、本論文は、出願者が独自に得た(U)LIRGの画像データから、先行研究と比較し信頼性を確かめた解析方法で、(U)LIRGの母銀河の性質に迫り、高光度赤外線銀河の進化関係に対して、新たな知見をあたえたものと高く評価できた。よって審査委員全員が博士論文として合格であると判断した。