

# 空間分解された近傍銀河における星形成則の研究

照屋 なぎさ (名古屋大学大学院 理学研究科)

## Abstract

銀河の進化を考える上で、さまざまな時代の星形成を正確に評価することは本質的に重要である。大質量星が放射する紫外線と、ダストから放射される遠赤外線の間を用いることによって、正確な星形成率を得ることができる。本研究では、空間分解された近傍銀河 (15-25Mpc) について GALEX と Herschel SPIRE の撮像データから星形成率を、また SDSS と 2MASS の撮像データを用いて星質量を見積もった。メッシュごとに星質量の密度と星形成率の密度の関係を調べ、それらが正の相関を持つことと、その関係が3種類に分類できることが分かった。

## 1 Introduction

現在、宇宙には様々な種類の銀河が存在しており、銀河の物理量は時間発展していることが分かっている。銀河の形態や化学組成、星形成活動など、様々な量が進化しており、活発に研究が行われている。

近年、銀河の星形成活動の進化を探る研究として、星形成率と星質量の間のタイトな関係 (星形成主系列) が注目を浴びている。最近の研究によって、赤方偏移によって星形成主系列が変化することや星形成をしていない銀河やスターバースト銀河は星形成主系列を満たさないことが分かっており、さらに詳しい研究が進められている。

本研究では、空間分解された銀河の撮像データを用いて、メッシュごとに星質量と星形成率の関係を求めることを目的としている。

銀河の星形成率は、寿命の短い大質量星 (寿命  $10^6-8$  yr) の数を観測から求めることで計算することができる。この大質量星は、紫外線領域にピークを持つ光を放射する。そのため、初期質量関数を仮定することにより、観測された紫外線量からその領域の星の数ないし質量を推測することができる。

一方で、星形成を活発に行っている領域ではダストと呼ばれる  $1\mu\text{m}$  以下の固体微粒子が形成されており、そのダストが紫外線放射を吸収し遠赤外線を再放射する。そのため UV の観測データのみから星形成率を推定すると過小評価してしまう可能性があり、本研究において星形成率は UV と FIR の両方を考えて見積もった。

## 2 Observations

本研究では、GALEX(紫外線)、Herschel SPIRE(遠赤外線)、2MASS(近赤外線)、SDSS(可視光)の撮像観測のデータを用いて解析を行った。サンプルは、Herschel Reference Survey のカタログに準じた。また、このカタログは  $K$  バンドで十分な SN を持つものであり、15 Mpc~25 Mpc の距離にある銀河を対象にしたものである。

## 3 Application to Sample

### 3.1 Stellar Mass Estimate

銀河の星質量は、以下の式から求めた。Bell et al. (2003) はカラーと  $M_*/L$  の関係を、PEGASE (Fioc & Rocca-Volmerange 1997) model を用いて

$$\log \frac{M_*/L_K}{M_\odot/L_{\odot,K}} = a_{ug} + b_{ug}(u - g) \quad (1)$$

と表した。 $M_*$  は星質量、 $L_K$  は  $K$  バンド ( $2.2\mu\text{m}$ ) における光度、 $M_\odot$  は太陽質量、 $L_{\odot,K}$  は  $K$  バンドにおける太陽光度、 $u$ 、 $g$  は SDSS の  $u$  バンド、 $g$  バンドにおける AB 等級で定義されている。係数  $a_{ug}$  と  $b_{ug}$  は、Zibetti et al.(2009) において Chabrier IMF を仮定し  $(a_{ug}, b_{ug}) = (-1.578, 0.739)$  と求められている。

### 3.2 Star Formation Rate

星形成率とは、一定期間にどれぐらいの質量の星が出来るかを表す量である。紫外線と遠赤外線の見積りにより、 $10^{6-7}$  年前から現在までに生まれた OB 型星の数を見積りすることが可能となる。そこに初期質量関数を導入し、 $10^{6-7}$  年前から現在までに生まれた全ての星の数ないし質量を計算することで星形成率を推定した。

太陽金属量, Salpeter IMF (Salpeter 1955),  $10^8$  yr 以上で SFR が一定であることを仮定し、スペクトル進化種族合成モデル Starburst 99 (Leitherer et al. 1999) を用いると、SFR は次のように表される (Takeuchi et al., 2010a).

$$\log \text{SFR}_{\text{FUV}} = \log L_{\text{FUV}} - 9.51 \quad (2)$$

$$\log \text{SFR}_{\text{TIR}} = \log L_{\text{TIR}} - 9.75 + \log(1 - \eta) \quad (3)$$

$$\text{SFR} = \text{SFR}_{\text{FUV}} + \text{SFR}_{\text{TIR}} \quad (4)$$

ただし、 $L_{\text{FUV}} = \nu L_\nu$  ( $\nu$ : 振動数,  $L_\nu$ : 光度密度),  $L_{\text{TIR}}$  は  $8 - 1000 \mu\text{m}$  にわたる光度と定義されている。  $L_{\text{TIR}}$  をどのようにして計算したかは次の節に記述する。

### 3.3 Correlation between $L_{\text{TIR}}$ and $L_{\text{SPIRE}}$

$\text{SFR}_{\text{TIR}}$  を計算するためには、 $8 - 1000 \mu\text{m}$  にわたる光度  $L_{\text{TIR}}$  が必要である。本研究では SPIRE の 3 つのバンドのデータを用いて SFR を推測するため、SPIRE のデータと  $L_{\text{TIR}}$  の関係を求めた。SPIRE のデータに関して  $L_{\text{SPIRE}}$  を次のように定義した。

$$L_{\text{SPIRE}} = L_\nu(250)\Delta\nu_{250} + L_\nu(350)\Delta\nu_{350} + L_\nu(500)\Delta\nu_{500} \quad (5)$$

ここで  $\Delta\nu$  とは SPIRE のバンド幅である。

また、Galamez et al.(2012) において、11 個の銀河について MIPS, IRAS, PACS, SPIRE の 4 つの遠赤外線観測でフラックス密度を求めている。よって、この論文のデータを用いて  $L_{\text{SPIRE}}$  を用いて  $L_{\text{TIR}}$  との関係を求めていく。

$L_{\text{TIR}}$  を出す手順は以下のようになる。

1. ある銀河について、遠赤外線のデータを two modified blackbody model (Galamez et al. 2012) でフィットする
2. フィットした結果を  $8 - 1000 \mu\text{m}$  の範囲で積分し、 $L_{\text{TIR}}$  を出す。
3. この銀河について観測量  $L_{\text{SPIRE}}$  を出す。
4. 1 ~ 3 の作業を 11 個の銀河について行い、 $L_{\text{SPIRE}}$  と  $L_{\text{TIR}}$  の関係を見る。

two modified blackbody model とはダストを二つの一定の温度だと仮定し、フラックス密度を二成分ダスト (cold dust & warm dust) の黒体放射の足し合わせで表す方法である。

NGC337 を例にあげて、どのように  $L_{\text{TIR}}$  を計算したかについて説明する。この銀河についてのデータをプロットし、Two-MBB model でフィットしたのが次の図である。

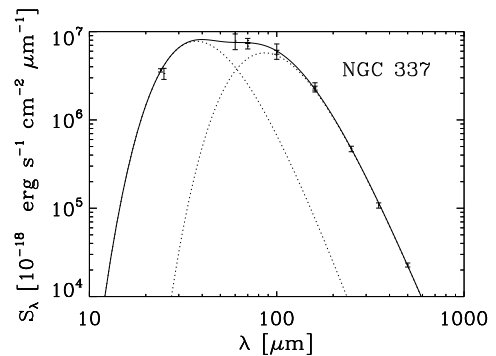


図 1: NGC337 における遠赤外線の領域の SED.

サンプルの銀河全てについて同じ作業を行い、横軸に  $L_{\text{SPIRE}}$ 、縦軸に  $L_{\text{TIR}}$  を取ると図 2 のようになる。

これより、ベストフィットは

$$\log L_{\text{TIR}} = 1.15590 \log L_{\text{SPIRE}} - 0.800479 \quad (6)$$

と求められた。点線は、95% の予測区間である。

## 4 Results and discussions

結果は次のようになる。

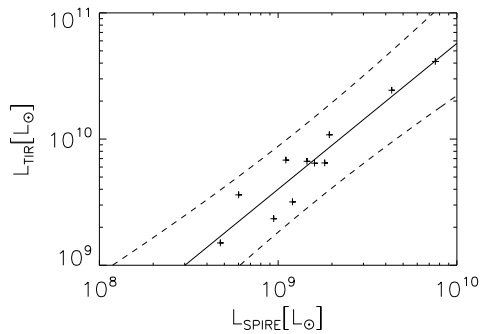


図 2:  $L_{\text{SPIRE}}$  と  $L_{\text{TIR}}$  の関係.

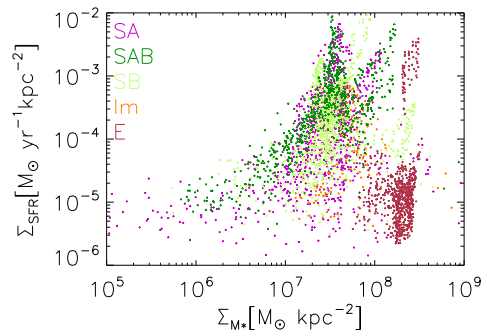


図 4:  $\Sigma_{M^*}$  と  $\Sigma_{\text{SFR}}$  の関係.

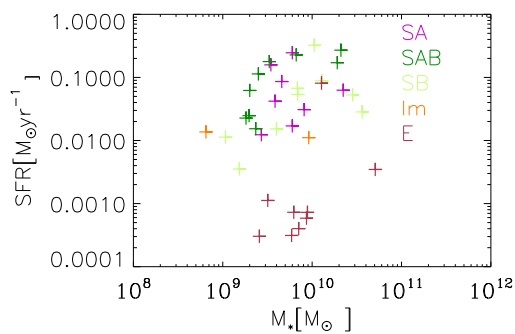


図 3: SFR と  $M_*$  の関係.

また、一つ一つの銀河について星形成率密度と星質量密度の関係を見たとき、S 字型 (図 5)・直線型 (図 6)・分類不可型 (図 7) の 3 種類に分けられることが分かった。

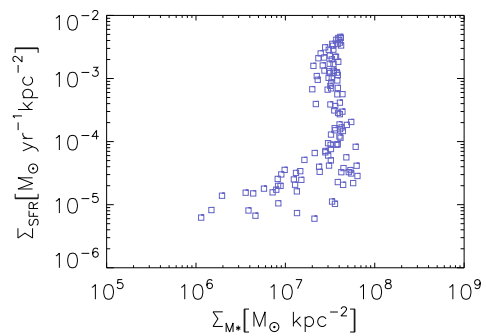


図 5: S 字型.

まず、SFR と  $M_*$  の関係は次のようになる。

この図から、星形成をしている銀河 (渦巻銀河, 不規則銀河) と星形成をしていない銀河 (楕円銀河) に大きな差があることが分かる。一つだけ E2 型で星形成銀河に入っているものがあるが、それは楕円銀河に分類されてしまった BCD 銀河<sup>1</sup>である。

次に、 $\Sigma_{M^*}$  と  $\Sigma_{\text{SFR}}$  の関係は図 4 のようになった。

この図から、星形成銀河については、星質量の面密度が大きくなるほど星形成率の面密度が大きくなる傾向があることが分かる。

逆に、非星形成銀河については、星質量の面密度の大ききのわりに星形成率は小さいということがわかる。E2 銀河で一つだけ星形成率が大きいものがあるが、それは先ほどの BCD 銀河と同じである。

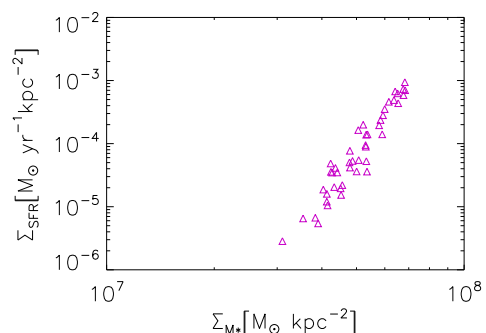


図 6: 直線型.

<sup>1</sup>BCD 銀河:青色コンパクト矮小銀河 (blue compact dwarf galaxy) といい、高い星形成活動によって表面輝度が非常に高くなった矮小不規則銀河のこと。

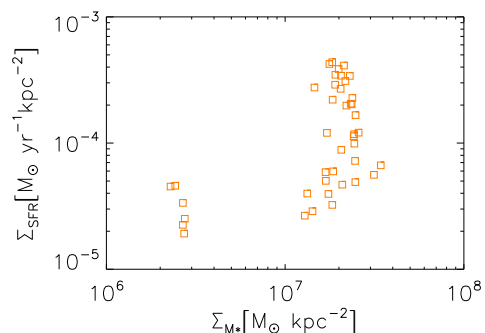


図 7: 分類不可型.

これらの分類と物理量の関係は今後調べていくこととする.

以上の結果から,

- 星形成銀河については, 星質量の面密度が大きくなるほど星形成率の面密度が大きくなる傾向がある
- 非星形成銀河については, 星質量の面密度の大きさのわりに星形成率は小さい
- 星質量密度と星形成率密度の関係には特徴がある

ことが分かった.

また, 今後は解析する銀河の数を増やし, 分子ガスやダストの量と星形成率の関係を探っていく.

## Reference

- Bell, E. F., et al. 2003, ApJS, 149,289  
Ciesla, L., et al. 2012, AA, 543, 161  
Cortese, L., et al. 2012, AA 544, 101  
Desert, F. X., et al. 1990, AA, 237,215  
Fioc, M., Rocca-Volmerange, B. 1997, AA, 326, 950  
Galametz, M., et al. 2012, MNRAS, 425, 763  
Gunn, J. E., et al. 2006, AJ, 131,2332  
Gunn, J. E., et al. 1998, AJ, 116,3040  
Hirashita, H., et al. 2003, AA 410, 83

- Leitherer, C., et al. 1999, ApJS, 123, 3  
Morrissey, P., et al. 2007, ApJS, 173,682  
Pilbratt, G. et al. 2010, AA 518, L1  
Salpeter, E. E. 1955, ApJ, 121,161  
Strurskie, M. F., et al. 2006, AJ 131, 1163  
Takeuchi, T. T., et al. 2010, AA, 514, A4  
Zibetti, S., Charlot, S., Rix, H. 2009, MNRAS,400,1181