

大質量楕円銀河の形成段階を探る

木村 勇貴 (東北大学大学院 天文学専攻 M1)

Abstract

大質量楕円銀河の中の星は、 $z > 2$ のときにはその銀河の中で形成されたものと銀河の外で形成されたものの 2 つの系列があり、銀河の外で形成されたものが後に内側へ降着することで、近傍で見られるような楕円銀河が形成されたということがシミュレーションで示唆されている。そのような系は観測事実としても実際に発見されており、例えば Uchimoto et al. (2012) によると、全体で 180kpc の中に photo-z で選ばれた天体が 5-6 個付随している。その中には $z > 2$ で星形成をしてできたこととされる DRG 天体が何個か確認されており、これらの系を見つけるには DRG が密集しているような領域を探ることが非常に有力な手がかりになると考えられる。そこで私はまずその DRG に着目し、それらが密集している系を最も一般的な領域である GOOD-N 領域で調べることにした。方法としては、まずその領域内に任意の座標点を設定してやり、その点を中心としてある半径とある z の幅を設定してやり、その中に DRG 天体が何個密集しているか、その個数の統計を調べた。それらが実際にポアソン分布と仮定した場合にどれだけ確率が低いかを調べ、その中から特に確率的に低いものを抜き出してやり、実際に DRG 以外の天体で他にどのような天体があるかという環境も調べた。今回はこれらの中で確率が特に低かった系を紹介する。

1 Introduction

宇宙の構造物である「銀河」の形成を知ることは、宇宙を研究する者にとって非常に大切なことである。ただ、わずかながらの観測事実やシミュレーションをもって考えられた理論モデルは、未だに不確定な要素が多く、多くの天文学者を混乱させるばかりであった。しかし、近年めぐるましく発達した観測装置のおかげもあり、近傍にある銀河は星を分解できるように、また遠方の銀河に対しては非常に暗いものまで観測できるようになり、統計データとして非常に充実した時代になってきている。このようなデータをもとに、さらに銀河の形成過程を理解することは今後非常に重要な課題であり、より多くの天文学者が取り組むべき問題となっている。

ここで近年のシミュレーションの結果を紹介する。Oser et al. (2010) によると、近傍で見られるような大質量楕円銀河を構成する星は、 $z > 2$ で形成されたものが多く、またそれらは銀河の典型的な大きさ (およそ 20kpc) の内側でできたものと外側でできたものの 2 つの系列があることがわかった。(図 1) 外側でできた星は内側のものと後に merging すること

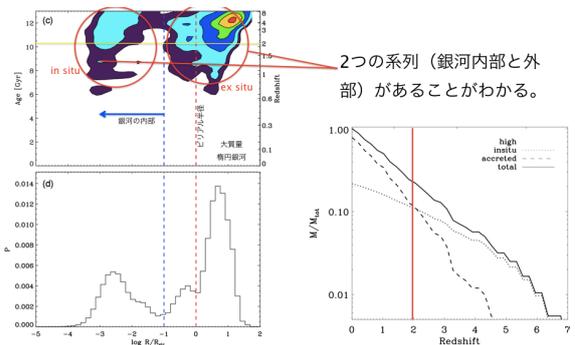


図 1: 左上は、大質量楕円銀河の星がいつの時代に銀河中心からどの距離にできたかを表した図である。左下はその分布図になっている。右の図はその銀河の質量進化を表したものとなっている。(Oser et al. 2010)

によって現在近傍で見られるような大質量楕円銀河が形成されたのではないかとということがシミュレーションで示唆されている。

ではこのような系は実際に観測事実として存在するのかという問題があるが、それについていくつか紹介する。

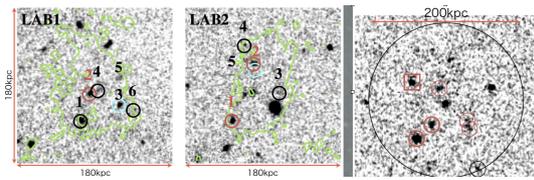


図 2: SSA22 領域で見つかった系。左 2 つは 180kpc 内に Ly α Blob に付随して存在する天体 (数字で書かれた○の部分) がいくつも存在している。右はサブミリ波源で見つかった系である。どの図も赤丸で囲まれた天体は DRG 天体である。(Uchimoto et al. 2012)

図 2 は、SSA22 領域 ($z \sim 3.1$ の原始銀河団) で見つかった系である。左 2 つは全体で 180kpc 内に天体が 5 つ以上 LAB に付随して存在する系となっている。右は 200kpc 内に photo-z で選ばれた天体が 7 個密集した、サブミリ波源の領域である。このように遠方の系に対してシミュレーションと一致するような系が見つかった。

図の中の赤で囲まれた天体は DRG (Distant Red Galaxy; Franx et al. 2003, van Dokkum et al. 2003) と呼ばれる天体である。つまり遠方にある赤い銀河のことで、 $z > 2$ で $J - K_s > 2.3$ (Vega 等級) を満たすものを言う。これは $2 < z < 4$ において 4000Å や Balmer jump が J と K_s のフィルターの間に来ることによって赤くなる天体のことで、passive な天体もしくは dusty な天体であることが知られている。

上の例は遠方銀河の例であるが、次に比較的近傍のものも紹介する。

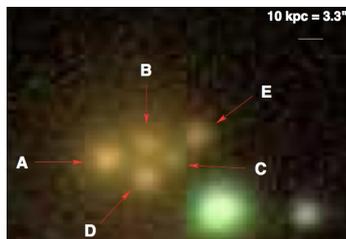


図 3: こちらは比較的近傍のもので $z \sim 0.18$ の系である。40kpc 内に天体が 5 つ存在する。(Filho et al. 2014)

Filho et al. (2014) によると図 3 は、 $z \sim 0.18$ で 40kpc 内に天体が 5 つ存在する系である。どれも分光によって赤方偏移が確実に求められており、どれも同じ赤方偏移にある密集した系である。また、どれもスペクトル的に似たような形を示しており、赤い星種族に支配されていて、ダストがあまりない passive な天体が集まっている。これらが後に dry merging によって大質量楕円銀河になるのではないかと考えられている。

このように、観測事実として Oser et al. (2010) のシミュレーションと一致するような系というのは近傍でも遠方でも発見されている。しかし、このような系というのは偶然に見つかったものが多く、数としてはあまり多くないのが現状である。楕円銀河進化過程を深く理解するためには、シミュレーション精度を上げる必要があり、そのためには観測事実をもっと多く知る必要がある。そこで私はこのような系を探すことにした。

上でも見たように、既存の観測事実から遠方の系に対して DRG 天体が密集しているような系というのが今回の鍵となると考えた。そこでまずは DRG 天体が密集しているような系だけを見つけ出し、そこから環境を調べるという方法で行うことにした。詳しくは次章以降で説明する。

これらの方法を行う上で宇宙論パラメータは、 $\Omega_M = 0.3, \Omega_\Lambda = 0.7, H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ を用いた。また Vega 等級と AB 等級の変換式として、 $J_{AB} = J_{\text{Vega}} + 0.95, H_{AB} = H_{\text{Vega}} + 1.39, K_{AB} = K_{\text{Vega}} + 1.85$ を用いることにする。

2 Data

今回は銀河団のような構造を特に持たない GOODS-N 領域を用いて調べることにした。(図 4) それぞれの field での限界等級は図 5 のようになっている。それぞれ深さが異なるので、ここでは K_s で 24.815 等級 (AB 等級で 3σ limit) 以下のものをサンプルとして選んだ。また DRG 天体については、 $z \geq 2$

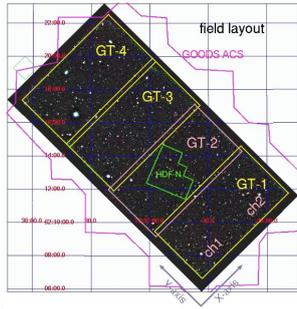


図 4: GOOD-N 領域 (Kajisawa et al. 2011)

field	center position		band	exposure time	FWHM (ch1, ch2)		5 σ limit (ch1, ch2)*	
	RA	Dec		(hour)	(arcsec)	(arcsec)	(Vega mag)	(Vega mag)
GT-1	12:36:24.9 +62:10:43		J	8.0	0.59	0.59	24.3	24.2
			H	2.5	0.58	0.59	23.3	23.1
			K _s	8.3	0.58	0.53	23.1	23.2
GT-2	12:36:47.8 +62:13:11		J	28.2	0.48	0.49	25.2	25.2
			H	5.7	0.46	0.46	23.8	23.7
			K _s	28.0	0.45	0.46	24.1	24.1
GT-3	12:37:09.7 +62:15:58		J	6.3	0.57	0.58	24.4	24.3
			H	3.2	0.55	0.55	23.1	23.1
			K _s	10.7	0.59	0.60	23.2	23.2
GT-4	12:37:31.8 +62:18:29		J	9.1	0.58	0.59	24.3	24.3
			H	4.3	0.58	0.59	23.3	23.2
			K _s	9.8	0.59	0.60	23.1	23.1

図 5: 各領域ごとの情報 (Kajisawa et al. 2011)

で、かつ、 $J - K_s \geq 1.3$ (AB 等級) を満たすものとして抜き出した。DRG like な天体の数を増やすため、ここではこの色の criteria は誤差を含めて緩く設定している。天体のカタログについては、MODScat-log_mosaicKwide_18nov10 (Kajisawa et al. 2011) のものを用いている。それでは次に方法について紹介する。

3 Methods

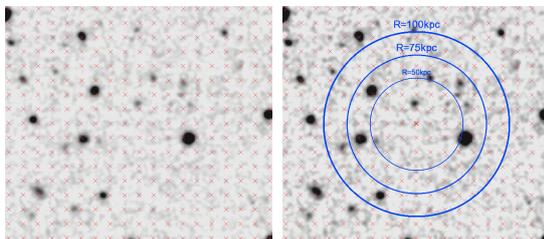


図 6: 方法の模式図。詳しくは本文参照。

まず最初に図 6 の左の図のように等間隔に座標点を打ってやる。その間隔は銀河の典型的な大きさよりも小さく取っている。そして図 6 の右図のように、

各座標点に対してある半径を設定してやる。ここでは半径 50, 60, 70, 80, 90, 100kpc に対して検証し、また z の bin 幅は 0.2, 0.5 それぞれで行った。それぞれの結果に対し、確率が低いものから順に DRG 天体以外の天体が周囲にどれだけあるかを直接確認してやった。今回はその中でもっともらしい系について以下の章で紹介する。

4 Results

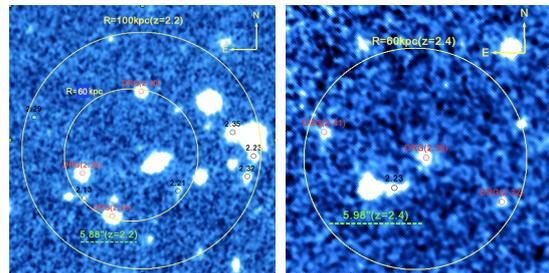


図 7: 今回見つかった中で特に確率が低く、もっともらしい系。中の数字は photo-z を表しており、赤丸は DRG 天体である。

図 7 が今回発見された領域である。図 7 の左は $2.1 \leq z \leq 2.3$ の z の幅、半径を 60kpc とした場合に確率が低かった系である。環境を調べた所、半径 100kpc 内で天体が 9 天体存在し、その中で DRG 天体は 3 つとなっている。一方、図 7 の右は、 $2.3 \leq z \leq 2.5$ の z の幅、半径を 60kpc とした場合に確率が低かった系で、環境的にはその半径内に天体が 4 つだけだが、DRG はその中の 3 つを占めている。これらはランダムでばら撒いた時の確率よりも低く、かなり珍しい系であることがわかった。

5 Discussion/Conclusion

今回得られた領域に対して既存の測光データから SED fitting による各天体の種族について、現在調査中である。ただ、今回得られた系は 2 つとも DRG 天体、つまり楕円銀河の核となるような天体が 3 つも空間的に密集しており、Oser et al. 2010 で示唆されているような系と一致しているようなものを、この

ような単純な方法によって見つける事ができたように思われる。同じ方法をもって他の領域も調べることで、このような系をもっと多く見つけることができ、そこから得られる物理データから楕円銀河の形成に関するシミュレーション精度を上げることができるのではないかと考えられる。

しかし、今回選出された天体のほとんどが photo-z で選ばれた天体であり、その不定性によって実際には同じ系に属していない天体が多くあるかもしれない。またこの系が同じ系であったとしても、実際に重力的に束縛された系であるかどうかはわからない。なので今後の課題としては、このような系を分光することによって、赤方偏移を完全に決めてやる必要があり、またそれらの天体が脱出速度よりも遅いかどうかを判断する必要がある。しかし分光観測するにせよ、暗い天体だと赤方偏移を調べるには観測的に厳しい問題があり、数としてもそこまで多くはできない。なので TMT のような 30 m 級の望遠鏡が完成すれば、このような系に対しはつきりとした描像が明らかとなる時代が来るのではないかと期待される。

Reference

- Filho, M. E., Brochado, P., Brinchmann, J., et al. 2014, MNRAS, 443, 288
- Franx, M., Labbé, I., Rudnick, G., et al. 2003, ApJ, 587, L79
- Kajisawa, M., Ichikawa, T., Tanaka, I., et al. 2011, PASJ, 63, 379
- Oser, L., Ostriker, J. P., Naab, T., Johansson, P. H., & Burkert, A. 2010, ApJ, 725, 2312
- Uchimoto, Y. K., Yamada, T., Kajisawa, M., et al. 2012, ApJ, 750, 116
- van Dokkum, P. G., Förster Schreiber, N. M., Franx, M., et al. 2003, ApJ, 587, L83