

論文内容の要旨

論文題目 Environmental Dependence of the Galaxy Population
in the Lynx Supercluster Region at $z \sim 1.27$
($z \sim 1.27$ のやまねこ座超銀河団領域における
銀河特性の環境依存性)

氏 名 仲田 史明

これまでのハッブル宇宙望遠鏡 (HST) や 2-4m 級望遠鏡による観測から、銀河が密集して存在する銀河団環境と銀河分布がまばらなフィールド環境では、銀河特性が異なることが知られている。一般に、銀河団ではフィールドに比べて星形成率は大きく抑制され、銀河の形態も早期型銀河 (楕円銀河、S0 銀河) の割合が大きいことが知られている。この現象を説明するための物理的メカニズムとして、高密度環境下での銀河同士の相互作用による低温ガスのはぎとり、ラム圧力による高温ガスのはぎとりなどが考えられているが、これまでのところほとんどわかっていない。この問題を解決するためには、銀河団中心部とその周辺領域を観測して比較する研究が必要不可欠であるが、望遠鏡の大きさ、視野の制限などにより、銀河進化の効果が顕著になる遠方の銀河団を、周囲のフィールドまで含めて十分広視野に観測することは困難なことであった。

我々のグループでは、すばる望遠鏡 (口径 8.2m) の主焦点観測装置である、モザイク CCD カメラ (Suprime-Cam) を開発した。Suprime-Cam の視野は約 $30'$ で、これは $z = 1$ で約 $15h_{50}^{-1}\text{Mpc}$ に相当する。この観測装置を用いれば、8m 級望遠鏡の大集光力と広視野をいかして、進化の効果が顕著に現れる $z \sim 1$ の銀河団でも $\sim M^* + 2$ まで観測し、かつ銀河団中心から境界領域を経て、周辺のフィールドに至るまで 1 視野で覆うことができる。このことにより、フィールドから銀河団へと至る各環境での銀河特性の違いを系統的に調べることが可能になった。

我々は、銀河特性の環境依存性を探るためのサンプルの 1 つとして、 $z \sim 1.27$ に存在するやまねこ座超銀河団領域を、すばる望遠鏡と Suprime-Cam で観測した。この超銀河団領域には、 $z = 1.27$, $z = 1.26$ の 2 つの銀河団が $4.2(3h_{50}^{-1}\text{Mpc})$ の角度距離で存在していることが知られており、現在分光観測により確認されている、最遠方の超銀河団である。観測は V, R, i', z' の 4 バンドで行われた。観測された視野 $26'.4 \times 24'.1$ は、 $\Omega_0 = 0.3$, $\lambda_0 = 0.7$ の宇宙論パラメータのとき、 $z = 1.27$ で $13.1 \times 12.5h_{70}^{-1}\text{Mpc}$ に相当し、銀河団中心から周辺フィールドまで十分な広さで覆っている。

我々は、この4色の測光データからそれぞれの銀河の赤方偏移を推定し、 $i' < 26.15$ ($\sim M^* + 2.5$) までの明るさの銀河 2229 個を Lynx 超銀河団に付随する銀河として同定した。このサンプルを「 $z \sim 1.27$ 銀河サンプル」とする。このサンプルのうち、青い銀河に比べて赤方偏移を正確に推定できると考えられる、赤い銀河のみについて空間分布を調べたところ、銀河の個数密度が 5σ 以上で高密度になっている領域が、既知の2つの銀河団を除いて7個存在することがわかった。これは既知の2つの銀河団と同じくらいの密集度であり、新たに発見された銀河団/銀河群候補と考えられる。しかし、これらの領域からは ROSAT や Chandra による X 線観測で、有意な対応天体が確認できなかったため、十分な熱的プラズマが存在しない、メンバー銀河の少ない集団だと考えられる。

Lynx 領域のうち、銀河団中心部では、Keck 望遠鏡によりいくつかの銀河が分光観測され、赤方偏移が正確に測られている。これにより、Lynx 領域の銀河団銀河であると確認されている銀河は16個である。これらの銀河の $i' - z'$ の色を調べたところ、 $i' - z' \sim 0.9$ に直線状の色分布が存在することが分かった。このような銀河は、銀河形成から約 1 Gyr 以内にその銀河に含まれるほとんどの星を形成し、その後は既にできた星の進化のみによって受動的に進化をするという、受動的進化モデルで進化過程が近似できると考えられている銀河である。しかし、直線状の色分布を示す銀河の色を受動的進化モデルと詳細に比較すると $i' - z'$ で約 0.07 等級青い色を持っていた。また、これらの銀河の $R - i'$ の色も青いことから、星形成活動が存在することが考えられる。実際にディスクモデルを仮定して星形成量を推定したところ、最大 $\sim 3M_{\odot} \text{ yr}^{-1} / 10^{11} M_{\odot}$ の星形成量があると推定される。このことから、 $z \sim 1.27$ では、銀河団中心部に存在する、受動的進化をしているように見える銀河でも、大きな星形成が存在することが推定される。

測光観測から赤方偏移が推定された $z \sim 1.27$ 銀河サンプルには、実際には $z \sim 1.27$ に存在しないフィールド銀河が数多く混入していると考えられる。そこで我々は、今回観測した領域のうち、個数密度 Σ で $\log \Sigma < 1.1$ の低密度領域を代表的なフィールド領域として、残りの領域からモンテカルロシミュレーションにより差し引いた。このようにして、統計的にフィールド銀河の混入の無い状態の $z \sim 1.27$ 銀河のサンプルを作った。また、時間進化を調べるため、 $z = 0.41$ の銀河団 A851 のカタログを用いて、同様な手法で銀河団に付随する銀河のサンプルを作り上げた。この A851 も Lynx と同様に Suprime-Cam で広視野な観測がなされており、Lynx の観測データと比較するのに大変良いサンプルである。

これらのサンプルを使い、我々はそれぞれの銀河の静止系での $U - B$ の色、 U バンド、 B バンド、及び 2800\AA 波長での光度、各銀河に含まれる星の質量、各銀河の星形成率を求め、銀河の環境効果及びその時間進化を調べた。Lynx 超銀河団領域の銀河特性の環境依存性が最もよく表されている図として、星形成率の時間進化を Fig.1 に示す。

ここで、星形成率 SFR は、

$$\text{SFR}(M_{\odot}\text{yr}^{-1}) = \frac{L_{2800\text{\AA}}}{7.9 \times 10^{27}(\text{ergs s}^{-1}\text{Hz}^{-1})}$$

という Madau らが 1998 年に求めた関係を用いた。その結果以下のことがわかった。

1. Fig.1 の左図で、A851 ($z = 0.41$), Lynx ($z = 1.27$) とともに高密度環境にある銀河の方が、低密度環境にある銀河よりも星形成率が低いことが分かった。これは、 $z = 0.41$ だけでなく、

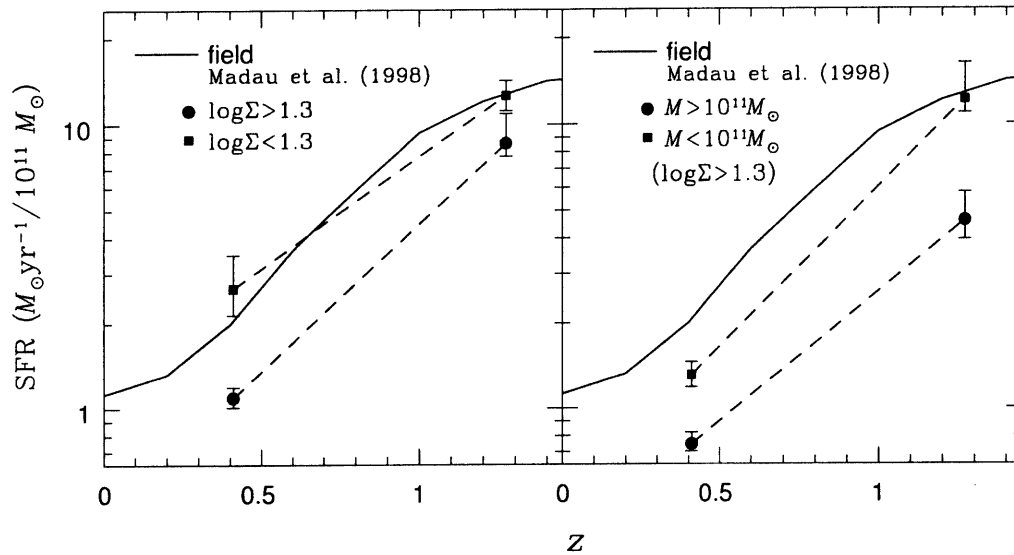


Figure 1: 星質量で校正した、銀河の星形成率の時間進化。左側は高密度環境 (丸印; $\log \Sigma > 1.3$) と低密度環境 (四角; $\log \Sigma < 1.3$) で比較したもの。ただし、 Σ は $z \sim 1.27$ の銀河サンプルで定義した個数密度である。右側は、大質量銀河 (丸印; $M > 10^{11} M_{\odot}$) と小質量銀河 (四角; $M < 10^{11} M_{\odot}$) で比較したもの。それぞれ $z = 1.27$ の Lynx の場合と $z = 0.41$ の A851 の場合をのせている。実線はフィールドの銀河の星生成率を表す。

$z = 1.27$ でも環境効果の存在が確認できたことを示す。ただし、両環境下での星形成率の差は A851 ($z = 0.41$) に比べ、Lynx ($z = 1.27$) の方が小さいことがわかった。このことから、高密度環境下における星生成の抑制は、より進化したより低赤方偏移の銀河団よりも、高赤方偏移にある銀河団の方が効果的でないことが分かった。

2. Fig.1 の左図で、高密度環境にある銀河でも Lynx 領域の星形成率は、近傍 field の星形成率に比べて約 10 倍大きいことが分かった。このことから、 $z \sim 1.27$ では、銀河団中心部でも星形成活動は大きいことが示唆される。
3. Fig.1 の左図で、A851 領域と Lynx 領域の星形成率と比較すると、高密度環境にある銀河の方が、低密度環境にある銀河よりも星形成率の減少が大きい。このことから、高密度環境における銀河内ガスのはぎとりなどによる星形成率の抑制メカニズムが、効いていることが分かる。
4. Fig.1 の右図で、高密度環境にある銀河を、大質量銀河と小質量銀河に分けて星形成率を調べた。A851 領域、Lynx 領域どちらも大質量銀河は小質量銀河に比べて星形成率が小さいことが分かった。このことから、大質量銀河はより高赤方偏移で多くの星形成を終えており、低質量銀河の星形成は続いていることが示唆される。これは銀河の形成は、大質量銀河の形成から進み、小質量銀河の形成が後になるとする「ダウンサイジング効果」の描像と一致する。