

論文内容の要旨

論文題目 Evolution of the Galaxy Luminosity
Function Based on
Photometric Redshifts
in the Subaru Deep Field
(測光的赤方偏移に基づくすばるディープフィールドの
銀河の光度関数の進化)

氏 名 古 澤 久 徳

本研究は、多波長撮像データに対し測光的赤方偏移法を適用することで、中間赤方偏移帯域での銀河の光度関数進化を調べるものである。

銀河の進化を明らかにする為の手段として光度関数の議論が用いられる。銀河の光度関数は、銀河の絶対等級に対する単位共動体積当たりの個数密度である。光度関数の赤方偏移に対する推移を調べることは、宇宙のどの年代に、どのような物理量を持つ銀河（種族）がどの程度存在するかを調べることに相当する。単純には、銀河の進化は個々の銀河の明るさの変化と個数そのものの変化とが考えられ、光度進化のみを考慮する純粋光度進化（PLE）と、個数変化に説明を与える、冷たいダークマターに基づいた宇宙密度揺らぎからの構造形成モデル（HCE）がしばしば両極端の仮定として議論の引き合いに出される。前者は昔に遡るほど銀河の星形成期を見込むことになるので光度関数は明るい方向へ移動し、後者は合体前の姿を見込むことになるので個数が減る方向へ働く。典型的な PLE と HCE では $z = 1$ までに光度関数の予想される明端の位置が 1 等級程度差異なることが知られている。また、銀河

を色や形態によってクラス分けして光度関数を調べた場合、全体としてのものよりも種族別の強い傾向が見られることが知られている。すなわち、光度関数の形を厳密に決められれば、モデルの予測との比較から銀河進化のシナリオに制限を付けることが出来る。

光度関数に基づいて銀河の形成進化を宇宙年齢規模で調べようとする比較的大規模な赤方偏移サーベイが90年代後半から行われるようになり、例えばCFRS(Lillyら1995)では、現在から宇宙年齢の約半分までの間に青い銀河が強い光度進化をしており、赤い銀河は比較的一定であるという結果を得た。しかし測光の限界に対して分光限界が非常に浅い為(8mクラスでも $I=24.5 \sim 25$ 等程度)、高々 $z=1$ までの銀河をサンプルするのが限界である。銀河数にして500から2,000個、最も著名な研究の一つであるCFRSサーベイも観測面積にして100平方分程度に留まっている。 $z > 1$ では限界等級の問題とは別に、赤方偏移によって分光観測に有用なスペクトル線が赤外域に入る為、分光が困難になる。以上のことから、赤方偏移で系統的に大きなサンプルを完全に得ることは現在も困難である。

先に述べたような赤い銀河の進化が緩やかであることは早期型銀河の多くは宇宙の比較的早くに形成されたとするとPLEモデルの予測とよく一致していたが、同じく中間赤方偏移サーベイであるCNOc2による結果では赤い銀河の光度進化や青い銀河の個数進化の可能性が示唆され、HCE研究者によるモデルも改善され中間赤方偏移帯($z=0-1.5$)での銀河描像は明らかではない。HDFやドロップアウト手法を中心としたさらなる遠方銀河研究のゼロ点としても使われることが多く重要な赤方偏移帯である。

この分野の研究には距離情報が必要な為、分光観測の困難が障壁となるが、ハッブルディープフィールドが公開されて以来、従来にはなかった広い波長基線にわたる多波長サンプリングによる、測光的赤方偏移(photo-z)が頻繁に用いられるようになった。photo-zは多色測光に基づいて分光を用いず赤方偏移を見積もる手法である。銀河のモデルSEDを用い、測光観測データとモデルSEDとをテンプレートフィットすることで赤方偏移を見積もり、およそ0.1等規模の誤差で見積もられることが知られている。photo-zを用いることで距離に10%性質を見積もる場合には非常に有用である。光度関数はこの部類に属する。最近では、多波長サーベイ観測データにphoto-zを適用し、中間赤方偏移帯の様子を議論する研究が行われ始めたが、領域が非常に狭いものや限界等級の限られるものが多く結果が収束しているとは言えない。

以上のような流れの中で、すばる望遠鏡主焦点広視野カメラ (Suprime-Cam) によるプロジェクトサーベイ観測「すばるディープフィールド (SDF)」(1 視野 543 平方分) が進行中である。Suprime-Cam による SDF 観測は 2001 年 3 月から 6 月の性能試験時間に行われ、BVRi'z' バンドで撮像された。現在までの限界等級は $2'' \pm 3\sigma$ を設定したとき (B=27.7, V=27.2, R=27.0, i'=26.8, z'=26.0 (AB 等級)) となっている。この等級は概ね $z = 1.5 - 2$ の Sbc 銀河程度を完全にサンプルする等級に相当する。5 バンドにわたる多波長データの測光内部エラーを最小限に抑える為、Gunn&Stryker の恒星 SED との比較から測光の整合性が確立された。色空間での分布と銀河計数を調べ、HDF や SDSS とのよい一致を見た。

本研究では、SDF の多波長測光データに対して、HDF 銀河で試験した photo-z 法 (古澤ら 2000) を適用する。現在十分に分光サンプルが存在し、photo-z の精度を試験できるのは事実上 HDF のみである。photo-z は測光誤差に影響を受ける手法なので、今回は S/N の比較的高い等級でカタログを切ることにしたが (B=26.2, V=25.7, R=25.5, i'=25.3, z'=24.5) Suprime-Cam の広い視野により、各バンドで約 20,000 個の銀河をサンプルすることが出来た。HDF とは特に限界等級の面と、バンドの形状が異なる SDF サンプルに対して、試行錯誤の上いくつかの条件を課して妥当性の高い photo-z を得た。

私は、今回得られた photoz カタログを用いて、B バンド光度関数と紫外光 UV 光度関数を調べた。本研究の優位な点は、Suprime-Cam による非常に広い撮像面積と十分に深い多波長観測データ、多波長の利点として銀河の静止系光度を観測等級の内挿から正確に求められるということがある。解析の結果、以下のことがわかった。B バンド光度関数 (LF) から、LF の $M < -17$ の明るい側は SDSS などの近傍光度関数と非常によい一致を示したが、暗い側ではスロープの変化が見られる。またこれらは Sbc 銀河より青い銀河によって占められている。これらの急スロープ内の銀河には輝線銀河が多いという議論も過去になされている。光度関数全体としては、赤方偏移に対して緩やかな増光傾向があるが、 $z = 0.75$ 付近で個数密度の低下も見受けられ、純粋な PLE ではない。また典型的な HCE モデルは我々の観測に対して個数密度を高く見積もりすぎである。

色別に光度関数を見積もった場合、赤い銀河に個数密度の進化が見られ、遠方ほど個数が減る。しかしその強さは、典型的な HCE モデルが予想する変化よりは有意に緩やかである。CNOC 2 のように 3 色で分類した場合、最も

赤い銀河の個数変化が強調される。これはこれらの種族が光度関数全体における光度比率が小さい為である。また、我々は銀河サンプルが非常に多い為、青い銀河を従来には行えなかった I_m より青い銀河だけに細分することが出来る。この結果、非常に青い銀河の光度関数は power-law 的でありに一定を保っているが、 $z = 1$ 付近で個数密度に増加が見られる。 $UV2000\text{\AA}$ の光度関数を求めることで、より直接的に星形成の強さを知ることが出来る。得られた UV 光度関数は、 < 1.25 で緩やかに増光することが分った。別の観点から議論する為に、Madau(1998) に基づいて、UV 光度を星形成率へ変換し、B バンド絶対等級に対する星形成率の分布を調べた。過去に Cowie らに提唱されているのと同様の傾向として、 $z = 0 - 1.25$ の範囲で遠方ほど、明るいシステム内での星形成率が活発になるという結論を得た。

また、SDF は CISCO による深い近赤外撮像データ ($2' \times 2'$) もすでに存在しており、私は HDF-N/S による全体の光度関数を SDF のものと比較した。するとデータの重なる $z < 1.25$ ではエラーの範囲で比較的良好に一致した。我々の結果からは、Sawicki ら (1997) で報告されたような $z = 3$ 付近での急激な増光は見られなかった。以上のことから、種族全体の光度関数では種族ごとの進化の効果が弱まり、3色に分離した場合赤い種族に強い進化が見られることが分った。また、 $M > -16.5$ のスロープの変化や、銀河団ではしばしば報告される、赤い種族にみられる $M = -17$ 付近のくぼみもフィールドでは過去にないレベルで有意に得ることが出来た。