

銀河の色等級関係の形成

田中賢幸

〈東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉

e-mail: tanaka@astron.s.u-tokyo.ac.jp

現在の宇宙では銀河の色や形といった性質は、銀河のいる場所（環境）によって大きく異なることが知られています。しかし、なぜこのような銀河の性質の環境依存性ができあがったのかは、まだよくわかっていません。私たちは、すばるを使って遠方銀河団領域を観測することで、この謎に迫ろうとしています。ここでは、最近の私たちの研究結果を、簡単にかみ砕いて紹介します。

1. 銀河の環境問題

省エネ・エコロジーといった言葉を、この頃日常的に耳にするようになりました。地球環境に気を使うようになって、ゴミの分別も細かくなり、最近では Cool/Warm Biz なんて言葉も出てきました。身の回りの環境問題、とても深刻のようです。私たちを取り巻く地球環境ももちろん大事ですが、実は宇宙の住人、銀河にも環境問題があるんです。ご存じでしたか？

すでに皆さんご存じのように、宇宙の中の銀河の分布はとても非一様です。銀河は、宇宙の中で蜘蛛の巣のような分布をしていて、蜘蛛の糸と糸の交差点に銀河の大集団、銀河団が存在しています。このような銀河の分布は、宇宙の大規模構造と呼ばれています。

この大規模構造、ちょっと逆に考えてみてください。銀河はいろんなところにいるって、言えますよね？ 例えば、銀河団のようにみんなが仲良く集まっているところにいる銀河もいれば、周りに誰もいない一人ぼっちの銀河もあります。おもしろいことに、その銀河のいる場所と銀河の性質には、とても密接な関係があるんです。

図1に一人ぼっちでいる銀河（フィールド銀河と呼びます）と、みんなが仲良く集まっている銀

河団銀河の典型例を示します。違いがわかりますか？ 一人ぼっちの銀河は、青い渦巻き銀河が多い傾向があります（白黒では色はわかりませんが……）。これとは対照的に、銀河団銀河は赤い楕円・レンズ状銀河が多いのです。銀河団に青い渦巻き型銀河は、あまり見られません。このように、銀河の色や形態といった性質は、銀河のいる場所（これ以降は「環境」と表現します）によって変わるので。でもなぜなのでしょう？

答えはまだ誰にもわかりません。こういった銀河の性質の環境依存性は、かの有名なエドウィン・ハッブルの時代に、すでに知られていました。以降、実に 70 年近い年月が経ったのですが、いまだに謎のままなのです。これが銀河の環境問題。地球の環境問題しかり、難しい問題なのです。

以下、話をできるだけ簡単にするために、正確さを多少欠いた表現が出てきますが、専門家の方がたはどうか怒りませんように……。

2. 若い頃はスリムで美人

宇宙にはいろいろな銀河があります。赤い銀河、青い銀河。渦を巻いた銀河、そうでない銀河。大きな銀河、小さな銀河。などなど。こういった銀河を特徴づける量がいくつかあります。代表格としては「色」、「形」、「質量」が挙げられます。

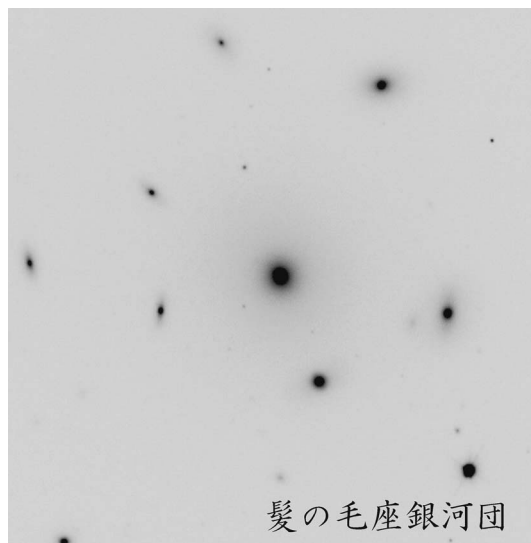
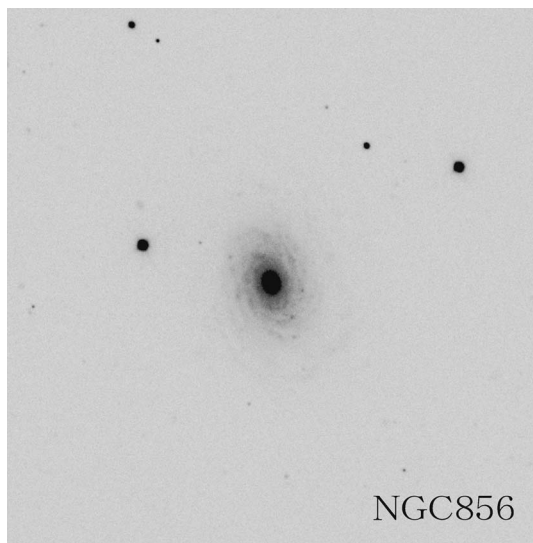


図1 スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) によって撮られた、フィールド銀河 (左: NGC856) と銀河団銀河 (右: 髪の毛座銀河団) の例。視野は $4' \times 4'$ で、どちらの銀河もおおよそ同じ赤方偏移にあります。白黒反転してあります。

おもしろいことに、これらの量はお互いに独立ではなく、強く相関しています。例えば、銀河を重さごとに仕分けすると、重い銀河は赤い楕円銀河が多い傾向があります。対照的に、軽い銀河は青い晩期型銀河が多いのです。

赤い色は長い間銀河がガスから星を作っていないことを意味していて、「古い」銀河と呼ばれます^{*1}。一方、青い色は最近銀河が星を活発に作っていることを示していて、「若い」銀河と呼んでいます。写真でよく目にするキレイな渦巻き銀河は、実はちょっと「若」くて「スリム」な銀河が多いのです。見た目がイマイチぱっとしない楕円銀河は、「歳」で「太っちょ」な傾向があります。

ふむ、そうすると、銀河って人間みたいですね。若い頃はスリムでとっても美人。でも、歳をとるとだんだんおなかがでっぱってきて、しわ……とにかく！ 環境問題といい、ちょっと銀河が身近

に感じられたりするのであります。

3. すばる遠方銀河団サーベイ

3.1 問題解決の方法は？

この銀河の性質の環境依存性が、どうして宇宙の歴史の中でできあがったのでしょうか？ これはひじょうに大事な問題で、銀河が楕円銀河から渦巻き銀河までさまざまな形態をなすというハッブル系列が、いかにしてできあがったのかという問題と、密接に関係していることでしょう。私たちはこれを何とかして解明したいと思っています。

でも、実際問題、どうすればわかるのでしょうか？ 一つの方法として、遠くの銀河を調べる、というのが考えられます。宇宙はタイムマシン。遠くの銀河を調べることは、それはすなわち、昔の銀河を調べることに対応します。つまり、昔の銀河の性質を調べて、その環境依存性がどのように変

^{*1} 誤解をまねく表現ですが、これは銀河の中にある星の平均的な年齢とは対応しません。銀河の色は、いま若い星がどれぐらいの割合いるか、ということにおおまかに対応していて、銀河の中の大部分の星がいつできたかは、簡単にはわからないのです。残念。

わっていったのかを見ることが、大きな手がかりになるはずですが、昔の銀河団には、青い渦巻き銀河がいっぱいいたのでしょうか？ それとも、やっぱり赤い楕円銀河が多かったのでしょうか？ この疑問に答えることが、この問題をひもとく一つの方法なのです。

ということで、すばる望遠鏡を用いた遠方銀河団サーベイを、私たちは行っています（リーダーは国立天文台の児玉忠恭氏）。主焦点カメラを用いて広い視野を撮像することで、遠方銀河団だけでなくその周りの大規模構造までも一網打尽にしよう、という野心的なサーベイです。ここでは私たちの最近の研究結果を、難しい部分を省いて紹介することにします。冒頭で触れたように、銀河の性質の環境依存性はちょっと難しい問題で、まだ私たちもその起源を明らかにするところまでは、たどり着いていません。最後まで読んでがっかりしないように。

3.2 遠方銀河団の表情

さて、このサーベイの一環として、今までにいくつかの遠方銀河団領域を観測しましたが¹⁾、ここでは二つの銀河団に注目しましょう。一つはCL0016+16と呼ばれる、赤方偏移0.55（約50億年前）にある巨大銀河団です。私たちは、この銀河団をすばる主焦点カメラを用いて、可視光のさまざまな波長において測光観測しました。その画像を図2左に示します。中心に銀河がたくさん集まっている様子がわかります。これがCL0016銀河団です。一見、図には銀河団のすそ野まで広く写っているように見えますが、驚くなかれ、図に示した領域は主焦点カメラで撮った領域のわずか4%なのです。この銀河団のもっと外側を取り巻く銀河の分布は、後ほどお見せしましょう。

これほど遠い銀河を調べ始めると、困ったことが出てきます。遠くの銀河は見かけの大きさも小さいので、地球大気の揺らぎがバカにならなくなってしまいます。つまり、地球大気の揺らぎのせいで、銀河の形がぼけてわからなくなってしまう

のです。実際、図2を見ても銀河の形はよくわかりません。この赤方偏移では、ごくごく大きな銀河を除いて銀河の形を調べるのは、すばるをもってしてもひじょうに難しくなります。5章で銀河の性質を定量化しますが、そこでは銀河の形はあきらめて、主に明るさと色を見ていくことにします。

次に、もう一つの銀河団、RXJ0152-13という赤方偏移0.83（約70億年前）にある銀河団です。図2右に中心部の写真をお見せしますが、銀河の分布がどうも円形ではなく、いくつかの塊が並んでいるように見えます。X線で銀河団に浮かんでいるガスの分布を観測してみても、いくつかの塊が並んでいることがわかっています²⁾。さまざまな状況証拠から、ここでは二つの銀河団が今まさに衝突合体の途中にある、と考えられています。銀河だけでなく、銀河団同士の衝突も宇宙では起こるのです。

さて、今ご紹介したのは立派な銀河団の姿。では、銀河団を取り囲む大規模構造は、どうなっているのでしょうか？ 次に、それをお見せしたいと思います。

4. 遠方宇宙の大規模構造

4.1 測光的赤方偏移

すばるで写真を撮るといっぱい銀河が写ってくるのはうれしいのですが、どれが銀河団に属する銀河なのでしょう？ 例えば、図2に写っている銀河のうち、どれが銀河団にいる銀河でしょう？ 写真には銀河団の手前やその奥にいる銀河が、どうしても一緒に写ってしまうので、どれがどれだかよくわかりません。

銀河の距離を測る一つの方法として、分光観測が考えられます。これで銀河までの距離は、かなり正確に知ることができます。でも、この分光観測というのは、時間がかかるやっかいな観測なのです。すばるの主焦点カメラで撮ると数万天体が一度に写るのですが、これを一つ一つ分光するに

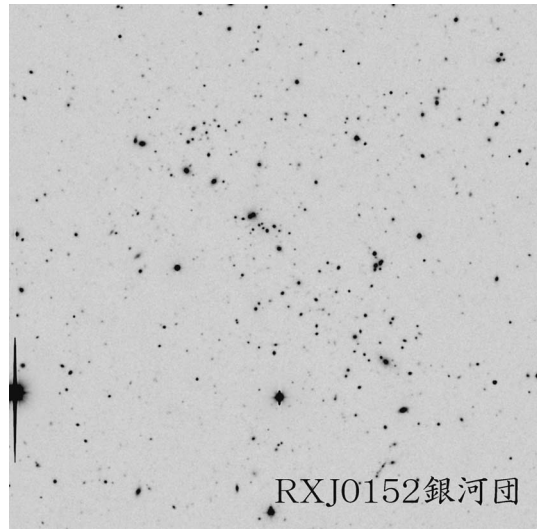
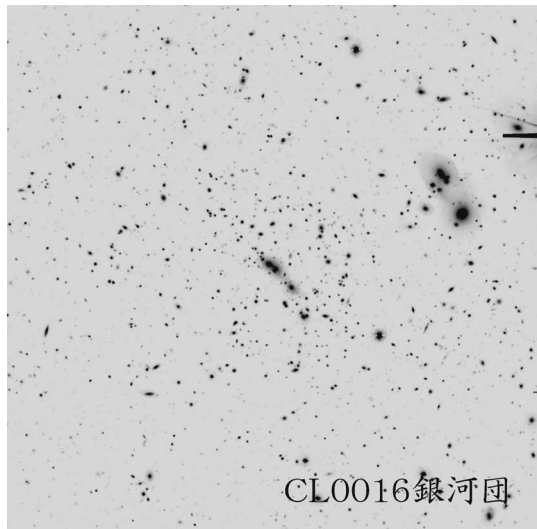


図2 主焦点カメラで撮像した CL0016 銀河団 (赤方偏移 0.55; 左図) と, RXJ0152 銀河団 (赤方偏移 0.83; 右図) の中心部. 左は 6'×6' の視野で, 右は 4'×4'. どちらも銀河団に属するとおぼしき銀河を, 強調するような処理をしてあります.

は, とても時間がかかります*2.
もちろん, すばるは忙しいのでそんなことしてられません. そこで, ここでは銀河の見た目の色から銀河までの距離を推定する, 測光的赤方偏移という手法を活用します. これは, 分光観測をせずに銀河の写真を使えばいいので, 一度にたくさん天体を処理できます.

測光的赤方偏移というとなんか難しそうですが, 原理はカンタン. より遠くにいる銀河の光は, 宇宙膨張のせいで波長がより長いところに伸びていきます. つまり, 私たちから見ると同じ波長の光でも, 異なる距離にいる銀河にとって異なる波長の光を見ることになるのです.

ちょっと想像しにくいでしょうか? 具体例を挙げましょう. 例えば, 私たちのごく近くにいる銀河では, 私たちから見た緑色の光 (5,000 Å の光とします) は, ほぼその銀河の 5,000 Å の緑色の光に対応します. では, 赤方偏移 1 (約 80 億年

前) にいる銀河ではどうでしょう? 遠くにいる銀河の光は, 宇宙膨張で時間とともに波長が伸びていきます. ですので, 私たちから見ると緑色の光でも, その銀河から出たときは, もっと短い波長の光だったのです. 今の場合, 2,500 Å の紫外光を見ることになるのです.

この原理から, いくつかの波長で銀河を見てやると, 銀河までの距離を色の变化としてとらえることができます. これを逆に利用して, 銀河の見た目の色から銀河までの距離を推定してやろう, というのが測光的赤方偏移です.

4.2 大規模構造

遠方銀河団領域をさまざまな波長で観測してやって, 銀河の測光的赤方偏移を測りました. ここから, 銀河団と同じような距離にいる銀河を選び出すと, 銀河団を取り囲む大規模構造が姿を現しました. 図3に二つの銀河団を取り巻く構造をお見せします¹⁾.

*2 例えば, すばるの分光器 FOCAS で 1 万天体を分光するとしましょう. この装置は一度におよそ 30 天体を観測できます. それぞれの天体を 1 時間露出するとして, 1 万天体を分光するには 300 時間強, およそ 30 晩近く要することになります. うーん, ちょっとこれはやってられません.

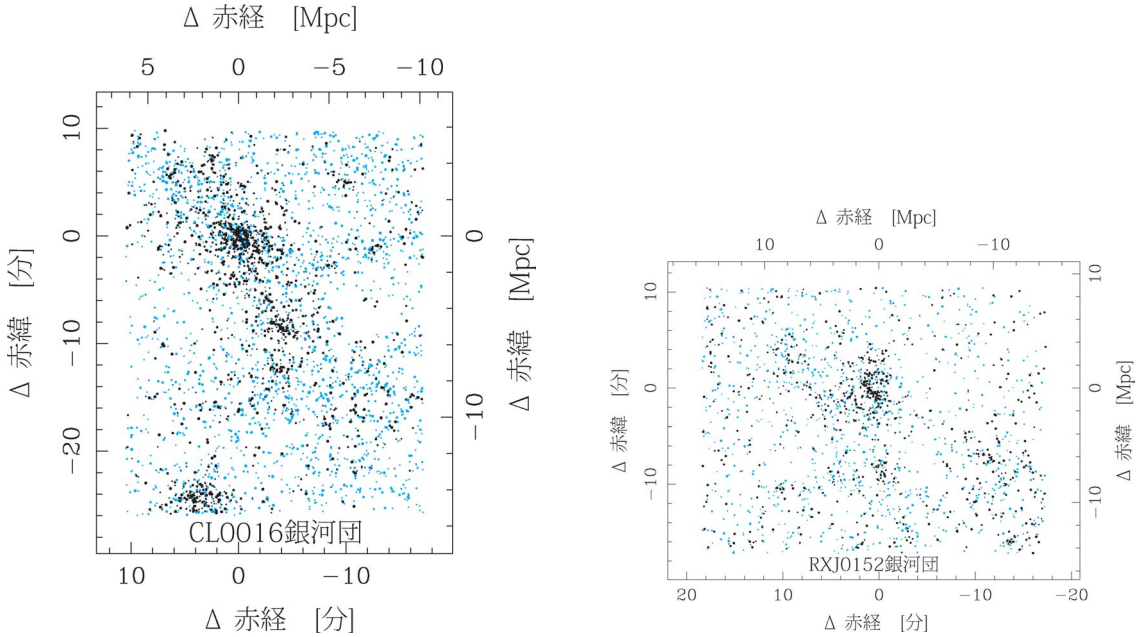


図3 測光的赤方偏移で抽出した、銀河団周辺にいる銀河の分布図。黒と青がそれぞれ赤い銀河と青い銀河を表していて、上が北、左が東になります。それぞれの図で左と下の座標は見かけのスケール（角度の分）で、右と上は物理的なスケール（Mpc; ただし、それぞれの時代から現在まで宇宙膨張させたときの値）を表しています。1 Mpc は 3.1×10^{22} m.

まずは CL0016 銀河団。中心からやや北東（図の左上）の位置に巨大な銀河集団があります。これが銀河団ご本尊です。赤い銀河がたくさん集まっている様子がよくわかります。よく見ると、それ以外にもいくつか銀河集団があります。そしてそれらの銀河集団は、南北方向に伸びた巨大なフィラメント構造に属しています。このフィラメント構造の大きさは、実に 20 Mpc (6×10^{23} m) 以上。おそらく視野の外にも広がった、より大きい構造であることが期待されます。うーん、もはや想像がつかない大きさです。銀河のなす大規模構造は、宇宙最大の構造として知られていますが、それも納得。私たちは他の銀河団でも大規模構造を発見していますが、これほど見事な構造はちょっとほかには見あたりません。今まで知られている大規模構造の中で、最も見応えのある構造の一つと言って良いでしょう。

次に RXJ0152 銀河団。中心にひしゃげた形を

した銀河団ご本尊があります。それを取り巻くように小さな銀河集団が浮いているのがわかります。ハッブル宇宙望遠鏡を使った研究チームも、この銀河団を観測していますが、ハッブル宇宙望遠鏡のサーベイカメラの視野の広さは、たったの3分強（おおよそ図2の視野の広さ）で、これでは銀河団中心部しか見えません。すばるの主焦点カメラは、おおよそ30分四方を一度に見られる、ひじょうに広い視野をもっています。銀河団を取り囲む大規模構造を発見できるのも、この広視野カメラのおかげです。今回見つかった小さな銀河集団は、まだ誰にも調べられていません、次の章でお見せしますが、実は今回発見した小さな銀河集団に属する銀河の性質が、ひじょうにおもしろいのです。

さて、こうして測光的赤方偏移で見つけた構造、どこまでホントなのでしょう？ この測光的赤方偏移は実際それほど精度のあるものではなく

て、見つかった小さな銀河集団が中心のご本尊と同じ赤方偏移にいて、一つのつながった構造をなしているかどうかは、ちょっと断言できません。視線方向に少し離れた場所にいて、異なる構造に属しているのかもしれないのです。それをきちんと確かめるためには、より正確な赤方偏移を得られる分光観測が、必要不可欠となります。

そこで、実際に私たちは見つかった構造の中で、とりわけ目立つ部分をかいつまんで分光観測しました。その結果、CL0016 銀河団から延びる南北の巨大な構造が、本物であることを確認しました³⁾。RXJ0152 銀河団に関しては、多くの銀河集団が本物の構造をなしていて（ハズレもありましたが）、南北・東西に延びる二つの構造が示唆されました⁴⁾。そして、その二つの構造の交差点に、衝突合体の過程にある銀河団がいる一まさに宇宙の活発な構造形成の現場を、見ているのかもしれない。

5. 銀河の色等級関係の形成

5.1 友達の数と色と明るさ

さて、前章で紹介したように、遠方銀河団を取り巻く立派な大規模構造が見えてきました。巨大銀河団に属する銀河もいれば、小さな銀河集団に属する銀河もあります。さらには、一人ぼつんという銀河も見られます。このように、さまざまな環境にいる銀河の性質を、調べてみることにしましょう。

ここでは、銀河団・銀河群・フィールドの三つの環境を定義します。銀河団銀河はその名のとおり、巨大銀河団に属する銀河です。銀河群は図3に見えるような、銀河団を取り巻くように浮いている小さな銀河集団のことです。そして、銀河団・群のような銀河集団に属していないぼつんと浮いた銀河を、フィールド銀河とします。要するに、フィールド銀河が友達の少ない寂しい銀河で、銀河団銀河が友達のいっぱいいる銀河です。銀河群銀河はその中間。ちょっとこの定義を覚え

ておいてください。

さて、2章で紹介した銀河を特徴づける量を導入します。一つは銀河の「明るさ」です。ここでは、おおざっぱに銀河の「質量」に対応すると思ってください。もう一つは銀河の「色」です。これらの量は、銀河の距離によって変わってしまいます。例えば、全く同じ銀河を遠くに置くと、近くにいるときより暗く見えてしまいます。これでは、異なる距離にいる銀河を公平に比べることができず困ってしまうので、ここでは赤方偏移を補正した、銀河の本当の明るさと色を使います。これなら、距離に関係なく比べられるので安心ですね。

赤い銀河は、長い間星形成をしていない銀河。一方、青い銀河は最近がんばって星を作っている銀河です。銀河はガスから星を作って輝いていますが、銀河の星形成活動は、赤方偏移1ぐらから宇宙全体で徐々に弱まってきていることが、知られています⁵⁾。つまり、宇宙全体として赤い銀河が増えてきているのです⁶⁾。この赤い銀河が、異なる環境でどのように増えてきたのか、という点に注目してみたいと思います。これはとりもなおさず、銀河の性質の環境依存性がどのようにできてきたのか、ということに対応します。ここでは、銀河の色等級関係に焦点を当てましょう。色等級関係は、赤い銀河のなす色と明るさの相関で、銀河が星形成をやめて赤い銀河が増えてくると、見えてくるものです。つまり、これがどのようにできあがるかを調べることは、銀河がどのように星形成をやめていったかを知る手段の一つなのです。

5.2 銀河の色等級図

図4が今回の話で一番大事な図です⁷⁾。ちょっと見方が難しいのですが、がんばってみましょう。大きなパネルが三つありますが、それぞれ異なる赤方偏移にいる銀河を描いています。左から右にかけて時間が進んで、一番右が現在の宇宙です。現在の宇宙のデータは、スローンデジタル

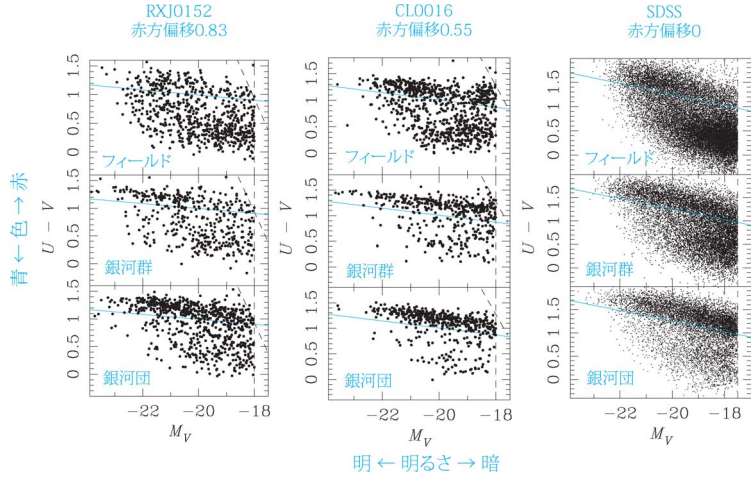


図4 銀河の色等級図. 左から RXJ0152 (赤方偏移0.83), CL0016 (赤方偏移0.55), SDSS (赤方偏移0) に対応します. それぞれの赤方偏移で, 上からフィールド・銀河群・銀河団の三つの環境に分かれています. 図の縦軸は銀河の色 ($U-V$ 数字が大きいほど赤く, 小さいほど青い) で, 横軸は銀河の明るさ (M_V おおざっぱに銀河の質量に対応. 数字が小さいほど明るく, 大きいほど暗い) です. 点一つが一つの銀河の明るさと色を表しています. 青で引いた線の上にある銀河の系列が, 銀河の色等級関係. 今は青線の上だけに注目してください.

スカイサーベイ (SDSS)⁸⁾ によって観測されたデータを用いています. 残りの二つは, 上に紹介したすばるのデータです. それぞれのパネルがさらに三つに分かれていて, 上からフィールド・銀河群・銀河団環境を表しています. 図の縦軸が銀河の色で, 横軸が明るさ (M_V おおまかに質量に対応) です. 青で引いた線の上に, きれいに銀河が並んでいる様子が見られるところがありますが, この系列が赤い銀河の系列, 銀河の色等級関係です. この絵をよく見ると, 色等級関係がどのようにできあがってきたのかがわかります. 今は赤い銀河に注目して, 青い線の上だけを見ることにしましょう.

まずは, フィールド環境から. 赤方偏移 0.83 のフィールドでは, あまりきれいな色等級関係は見られません. そこから時間が経って赤方偏移 0.55 のフィールドにくると, あら不思議, きれいな系列が見られるではありませんか. 赤方偏移 0 (す

なわち現在) でも, きれいな系列が見られます. でも, よく見ると暗い側ではあまり系列がはっきりしません. フィールドの色等級関係は, 現在の宇宙においても暗い側まではできあがっていないようです. まとめると, フィールド環境では, 時間とともに, 明るい側で色等級関係ができあがってきたようです^{*3}.

次に銀河群はどうでしょう? 赤方偏移 0.83 の銀河群には, 色等級関係がどうやら見えるようです. でも, よく見てください. 赤い銀河の系列が見えるのは $M_V < -20$ で, それより暗い銀河は特に系列をなしていません. その暗い側は, 赤方偏移 0.55 や 0 の銀河群ではキレイに見えています. すなわち, 銀河群では赤方偏移 0.83 から現在にかけて, 暗い銀河 (軽い銀河) が星形成をやめて, 赤くなってきたようです.

さて, 銀河団. 巨大な銀河集団では赤方偏移 0.83 の時点ですでに, きれいな色等級関係が暗い

^{*3} 赤方偏移 0.55 のフィールドでは暗い側までであるように見えますが, さまざまな状況からこれは例外的であると考えています.

側までできていたようです。赤方偏移 0.55 と 0 の銀河団でも、色等級関係は暗い側までよく見えます。

環境ごとの時間変化を見るとこうなりますが、同じ時刻の異なる環境での違いを、簡単に見てみましょう。例えば、赤方偏移 0.83. 銀河団では暗い側まで色等級関係が見えるけど、銀河群は明るい側だけ。フィールドでは明るい側でもあまりはっきりしない、という状況です。

少し難しくなりましたが、以上をまとめると、大事な点は次の二つになります。

- (1) 色等級関係は明るい側からできて、暗い側が後々できあがる。
- (2) 色等級関係の形成時期は環境に依存していて、銀河団で最も早く、フィールドで最も遅い。

つまり、宇宙では友達の多い大きな銀河が、一抜けたとって初めに赤くなります。そして時間が経つにつれ、より友達の少ないより小さな銀河が、星形成をやめて赤くなっていきます。

このような銀河の色等級関係の形成は、実はより遠方の銀河団でも観測されています。私たちは RDCSJ 1252-29 という赤方偏移 1.24 (約 90 億年前) にある銀河団領域も、ここで紹介したのと同じような手法で観測しています。その結果、ここで見たような色等級関係の形成の様子が、赤方偏移 1.24 でも見られることがわかったのです⁹⁾。大きな銀河団では色等級関係が暗い側まで見られますが、その銀河団を取り囲む銀河群では、色等級関係が暗い側できれいさっぱりなくなります。色等級関係が明るい側から形成されて、かつその形成時期が低密度環境で遅れる、という描像は観測的にはほぼ間違いがない状況になったと思っています。

このように環境と質量に依存して、銀河は時間とともに赤くなっていくようです。これは冒頭で紹介した銀河の性質の環境依存性が、できあがっていく現場を見ていることにほかなりません。し

かし、一体なぜ銀河はこのように星形成をやめて、現在の宇宙で見られるような環境依存性を作り出したのでしょうか？

それを調べるには、より詳細に銀河を調べていく必要があります。今回は銀河のスペクトルという難しい話はしませんが、実は分光観測で得られるこのスペクトルには、測光観測（いわゆる写真を撮る観測）ではわからない情報がたくさん含まれています。それを詳細に調べてやると、銀河の最近（といっても過去 10 億年ぐらいですが）の星形成の様子を探ることができます。その結果、銀河の性質の環境依存性は、銀河同士の衝突合体によってできあがった可能性が示唆されました³⁾。

銀河同士が衝突合体すると、爆発的な星形成を一時的にした後、星形成活動が非常に弱くなった楕円銀河が残る場合があることが知られています¹⁰⁾。すなわち、銀河団のような場所に赤い楕円銀河が多いのは、銀河同士が衝突合体した結果なのかもしれません。もちろん、十分な確証を得るにはまだまだ観測が足りず、決定的というにはほど遠いのですが、少しずつ問題解決の糸口をつかみ始めているのかもしれない。

6. おわりに

さて、今まで紹介したように、私たちはがんばって宇宙の環境問題に、取り組んでいます。なぜ現在の宇宙では、銀河団には赤い楕円・レンズ状銀河が多く、一方、なぜフィールドでは青い渦巻き型銀河が多いのでしょうか？ 私たちは、この環境依存性ができあがっていく様子を調べました。どうやら銀河が青い銀河（おそらくは渦巻き型銀河、つまり、若い美人）から、赤い銀河（たぶん、年取ったお婆……）へと変化（老化？）する時期は、銀河の質量と友達の数にとっても依存するようです。

もしかしたら、銀河同士の衝突合体がこういう銀河進化を牽引したの、かも、しれません。でも、まだまだ十分な証拠はつかめていませんし、これ

では説明できないことも残っています。この問題解決にはもう少し時間がかかりそうです。地道な努力で着実に進んでいきたいものですね。

宇宙はビッグバンで始まってから今まで、大きな進化をしてきました。この先もずっと宇宙は進化し続けます。宇宙に住む銀河も、もちろん進化し続けることでしょう。このままだと、いつしか宇宙から若い美人がいなくなるのではないかと、心配でなりません。

謝 辞

この研究は多くの人に助けられたおかげでできたものです。特に共同研究者の児玉忠恭氏に感謝をします。その他の銀河団サーベイの共同研究者の皆様、紙面の都合上全員の名前は挙げられませんが、多くのサポートをありがとうございます。また、日頃からお世話になっている研究室の皆様にも、この場を借りてお礼申し上げます。援助をいただいている日本学術振興会にも感謝しております。

Funding for the SDSS and SDSS-II has been provided by the Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Science Foundation, the U.S. Department of Energy, the National Aeronautics and Space Administration, the Japanese Monbukagakusho, the Max Planck Society, and the Higher Education Funding Council for England. The SDSS Web Site is <http://www.sdss.org/>.

参 考 文 献

- 1) Kodama T., et al., 2005, PASJ 57, 309
- 2) Maughan B. J., Jones L. R., Ebeling H., Perlman E., Rosati P., Frye C., Mullis C. R., 2003, ApJ 587, 589
- 3) Tanaka M., Hoshi T., Kodama T., Kashikawa N., MNRAS, submitted
- 4) Tanaka M., Kodama T., Arimoto N., Tanaka I., 2006, MNRAS 365, 1392
- 5) Madau P., Pozzetti L., Dickinson M., 1998, ApJ 498, 106
- 6) Borch A., et al., 2006, A&A 453, 869
- 7) Tanaka M., Kodama T., Arimoto N., Okamura S., Umetsu K., Shimasaku K., Tanaka I., Yamada T., 2005, MNRAS 362, 268
- 8) York D. G., et al., 2000, AJ 120, 1579
- 9) Tanaka M., Kodama T., Kajisawa M., Bower R., Demarco R., Finoguenov A., Lidman C., Rosati P., MNRAS, accepted (astro-ph/0703135)
- 10) Mihos J. C., Hernquist L., 1996, ApJ 464, 641

The Build-up of the Color-Magnitude Relation

Masayuki TANAKA

Department of Astronomy, Graduate School of Science, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

Abstract: We know that galaxy properties, such as color and morphology, depend on environments in which galaxies reside. It is not, however, well understood how and when such environmental dependence is established. We aim to identify the physical driver of the environmental dependence of galaxy properties with the Subaru telescope. We show some recent results from our high redshift cluster survey.