

論文内容の要旨

論文題目 Galaxy Evolution in Growing Clusters

(銀河団の成長と銀河の進化)

氏名 小山 佑世

本研究では、すばる望遠鏡およびあかり衛星を用いた遠方銀河団の広視野観測に基づき、過去の宇宙において「環境」が銀河の性質に与えた影響を考察する。銀河の性質はその銀河の存在する環境と密接に関係しており、たとえば、銀河団のような高密度環境の銀河はそのほとんどが赤い楕円銀河・レンズ状(S0)銀河であるのに対し、フィールドと呼ばれる低密度な環境では青い渦巻銀河が支配的である。つまり、銀河が群れ集まり、銀河団や銀河群のような宇宙の構造が形成されるなかで、銀河はその性質を変化させてきたと考えられるが、それがどのように起こったのか、その物理過程は謎にまつまれている。

これを解き明かすためには、遠方宇宙を観測し、実際に過去の宇宙のさまざまな環境下の銀河を調べることが不可欠である。本研究では、赤方偏移 0.41 の銀河団 CL0939+4713 (以下、Abell1851 銀河団) および赤方偏移 0.81 の銀河団 RXJ1716+6708 (以下、RXJ1716 銀河団) について、すばる望遠鏡やあかり衛星を用いた広くて深いサーベイを行い、銀河団の中心領域のみならず、その周辺に広がる大規模構造に沿って銀河の性質(特に星形成活動)を徹底的に調査した。

まず第 2 章では、すばる望遠鏡の主焦点カメラ (Suprime-Cam) の狭帯域フィルター NB921 を用いて行った、Abell1851 銀河団領域 ($z=0.41$) の ~ 12 Mpc (27×27 分角) におよぶ $H\alpha$ 輝線銀河探査の結果を紹介する。我々は、観測視野内に 445 個の $H\alpha$ 輝線銀河を確認し、それらが銀河団周辺の大規模構造に沿うように分布していることを示した(図 1)。ここで、 $H\alpha$ 輝線銀河の「色」に着目してみると、非常に興味深い事実が見えてくる。

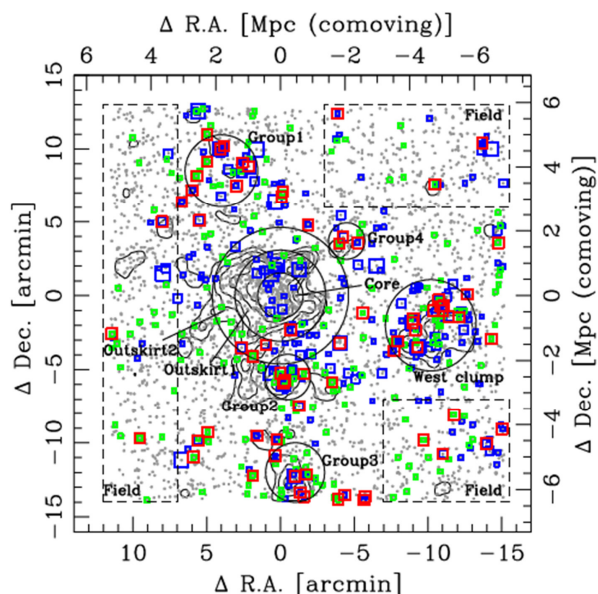


図 1: Abell 1851 銀河団の広視野 $H\alpha$ 輝線サーベイ。銀河団 phot-z メンバー(●印)、通常の $H\alpha$ 輝線銀河(□印)、弱い $H\alpha$ 輝線銀河(□印)、赤い $H\alpha$ 輝線銀河(□印)の分布を示す。特に、赤い $H\alpha$ 輝線銀河が銀河群環境に集中していることが分かる。

我々が見つけた H α 輝線銀河の多くは青い色を示すが、なかには赤い色 (B-I>2) を示す H α 輝線銀河が見つかった (図 1 の赤い口)。そして、このような赤い H α 輝線銀河 (ダスティー銀河) は、銀河団から離れた銀河群環境に特に高い割合で存在することが分かったのである (図 1 を参照)。これは、銀河群環境でダストを伴う星形成活動が誘発され、銀河の性質が変化させられつつあることを示している。

第 3 章以降は、本研究のメインターゲットである RXJ1716 銀河団領域 ($z=0.81$) について、すばる望遠鏡 (可視光/近赤外線) およびあかり衛星 (中間赤外線) を用いた観測と、得られた結果について述べる。まず第 3 章では、すばる望遠鏡の Suprime-Cam のデータを解析し、測光的赤方偏移の手法によって、RXJ1716 銀河団周辺に ~ 10 Mpc 規模に広がる大規模構造の存在を明らかにした (図 2)。そして、この大規模構造に沿って銀河の色を調べ、ちょうど銀河群・フィラメントに対応する「中密度環境」において、急激に赤い銀河が増え始めていることを示した (図 3)。銀河の進化はやはり、銀河団の中心部だけでなくその周辺環境でも進行していることが分かる。

このような銀河団の周辺環境における銀河の活動性を明らかにすることが、本研究の最大の目的であり、第 5 章および第 6 章に本研究のもっとも重要なデータおよび結果が示されている。まず、RXJ1716 銀河団からやってくる H α 輝線は幸運にも $1.19 \mu\text{m}$ (OH 夜光の谷間) に赤方偏移するため、すばる望遠鏡の MOIRCS の狭帯域フィルター NB119 ($\lambda=1.19 \mu\text{m}$) を用いてちょうど捉えられることに着目し、MOIRCS 8 視野分の観測を行った。さらに、あかり衛星の広視野赤外線カメラ IRC を利用して、RXJ1716 銀河団を $15 \mu\text{m}$ 帯で広く観測した。 $15 \mu\text{m}$ 帯での観測は、この銀河団の静止系 $7\sim 8 \mu\text{m}$ 帯の観測に対応し、ダストに隠された星形成活動を直接捉えることができる (観測視野は図 2 を参照)。

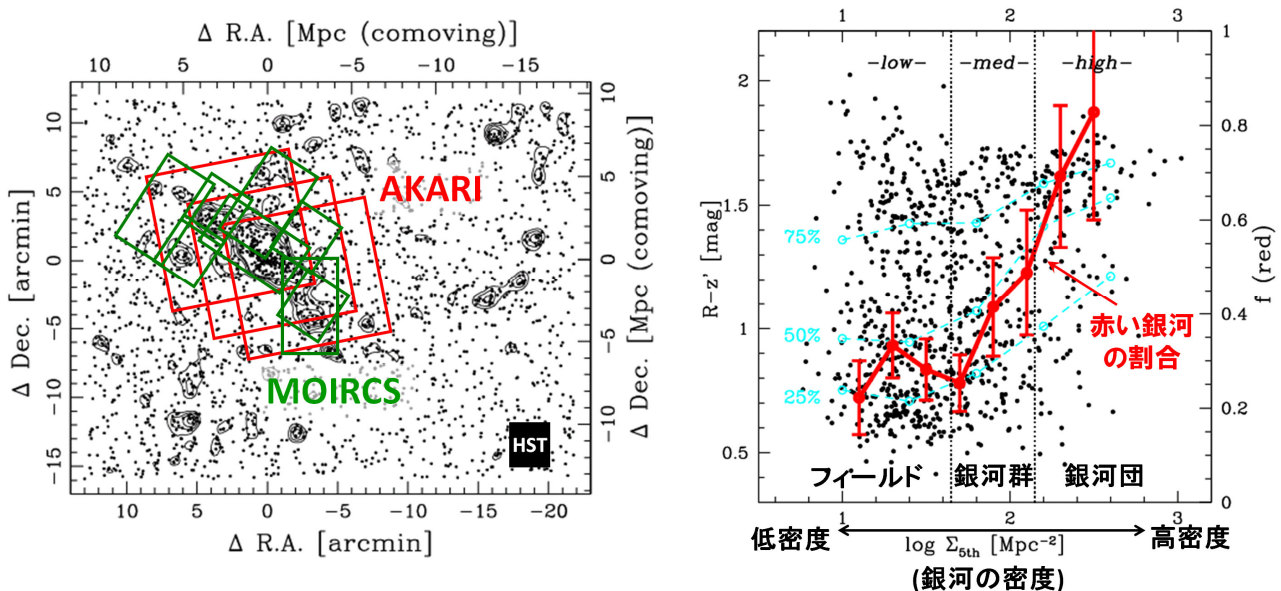


図 2 (左): RXJ1716 銀河団周囲の大規模構造。測光的赤方偏移によって選ばれた銀河団メンバー銀河のみをプロットしており (黒点)、等高線はその個数密度に基づいて描かれている。緑と赤の四角形は、それぞれ MOIRCS とあかりの観測視野を示す。比較のため、ハッブル宇宙望遠鏡 (HST) の視野も右下に示した。**図 3 (右)**: RXJ1716 銀河団領域の銀河の色と銀河密度の関係。銀河群程度の中間的な密度下で、赤い銀河が急に増加していることが分かる。

我々は、これらのデータを合わせて解析を行い、H α 輝線銀河、および15 μ mで明るい銀河が、いずれも銀河団中心部を避けるように分布していることを示した(図4)。これは、赤方偏移0.8の時代において、銀河団コアはすでに完成し、ほぼすべての銀河は星形成活動を終わっているのに対し、そのすぐ周囲には、銀河団へ落ち込もうとする多くの星形成銀河が存在していることを意味する。ここで、銀河の色を調べてみると、H α 輝線銀河はその多くが青い銀河であったが、なかにはAbell 851銀河団領域で見つかったような赤いH α 輝線銀河も確認された。しかも、そのような赤いH α 輝線銀河の多くは、あかり衛星の15 μ mデータでも検出されており、このことから、赤いH α 輝線銀河は徐々に星形成をやめるような穏やかな物理要因によるものではなく、たとえば銀河-銀河相互作用によって引き起こされた激しい星形成活動に付随しているのではないかと考えられる。一方で、15 μ m銀河は、H α 輝線銀河に比べて系統的に赤い色を示しており、なかには受動的に進化する銀河(星形成を行っていない銀河)が示す赤い色と見分けがつかないほどの銀河もあった。興味深いことに、このようなダスティ銀河(赤いH α 輝線銀河や15 μ m銀河)は、明らかに銀河群程度の中間的な密度環境に多く存在していた(図5)。上述のとおり、このような銀河団の周辺環境は、青い銀河が赤い銀河へと変化を始める(すなわち銀河の星形成活動が止まる)環境でもある。つまり、銀河団周辺部では、ダストを伴った激しい星形成活動が誘発され、星の材料となる銀河のガスの消費が一気に進むことで、銀河の急激な性質変化が引き起こされているのではないかと考えられる。

さらに、個々の銀河についてH α 輝線・中間赤外線データを用いて独立に星形成率を求めてみると、多くの銀河についてはH α 輝線のダスト吸収量は近傍銀河で知られる一般的な値(およそ1等級)を示したのに対し、なかにはH α 輝線で求めた星形成率が、赤外線で求めた星形成率の20分の1以下という小さな値を示すものもあった(図6)。そのような例外的に激しい活動性を示す銀河の多くは可視光で見ると赤い色をしており、中間赤外線のデータがなければ星形成活動の「弱い」銀河であると誤認してしまう可能性のあるものである。しかも、このような「隠された」活動性を示す銀河は、銀河団周縁部に特に多く存在していることを発見した(図6の Δ 印)。本研究の結果は、銀河団銀河の形成・進化の過程と、ダストに隠された活動性が密接に関連していることを強く示唆するものである。

第7章では、本研究で調査したAbell 851銀河団およびRXJ1716銀河団のデータと、過去のさまざまな研究の結果を合わせて、銀河団全体としての星形成活動の時間進化を考察している。特に、銀河団内の星形成率の総和(Σ SFR)を銀河団の総質量で規格化した量(Σ SFR/Mcl)は、赤方偏移1から0にかけて、 $\sim(1+z)^6$ に従って急速な減衰をしていることが分かってきた。ただしこの量は、銀河団の質量(Mcl)とも

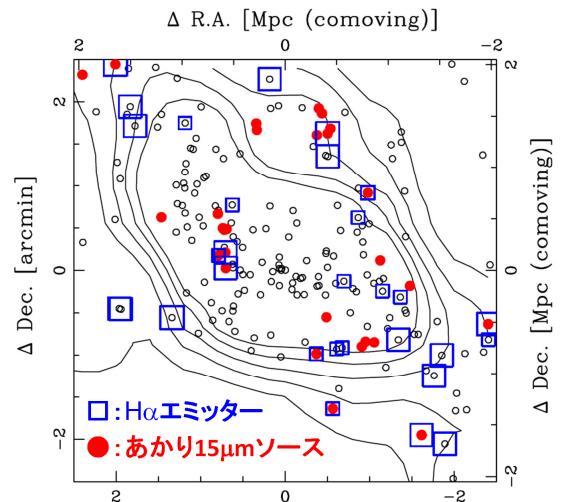


図4: RXJ1716銀河団中心部における、銀河団メンバー(○印)、H α 輝線銀河(□印)、中間赤外線ソース(●印)の分布。H α 輝線銀河と中間赤外線ソースは銀河団の中心部分をきれいに避けて分布している。

よい相関を示しており、まさに銀河団の成長に伴って、銀河の進化が促進され、星形成活動が抑制されてきたことを示していると考えられる。

以上のように本研究では、初めて赤方偏移 0.8 という時代まで遡って、 $H\alpha$ 輝線と中間赤外線に基づく銀河団の広視野サーベイに成功し、詳細に星形成活動を調査した。特に、銀河団の周辺部には可視光のデータだけでは見落とされてしまうような「隠された」活動性を示す銀河が多く見つかっている。本研究の結果は、遠方銀河団の周辺部が銀河団銀河の進化の重要な役割を担っていることを示している。もしかすると現在の宇宙に見られる銀河団銀河の多くは、過去の宇宙で銀河団へ取り込まれる「前に」、その性質を大きく変化させていたのかもしれない。

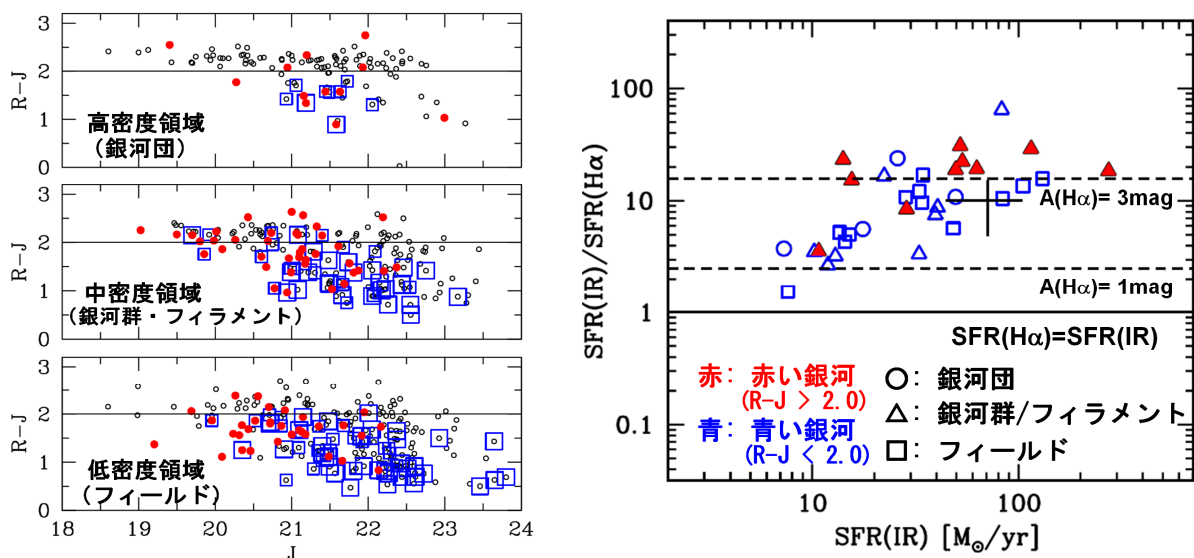


図 5 (左): 環境ごとの色等級図(RXJ1716 銀河団領域)。 \square は $H\alpha$ エミッターで、 \bullet はあかり $15\mu\text{m}$ ソースを表す。赤い色($R-J > 2.0$)を示す星形成銀河が、特に銀河群・フィラメント環境に多いことが見えてきた。

図 6 (右): $H\alpha$ 輝線、中間赤外線から求めた星形成率の比較。 $H\alpha$ 輝線と中間赤外線の両方が検出されたもののみについてプロットしている。特に赤い銀河の中に、 $A(H\alpha)$ が 3 等級を超える例外的にダスティな銀河も見られ、またそのような銀河の多くは銀河群やフィラメントの銀河であることも分かる(図の \triangle 印)。