Prospects for HSC-HSC(Hybrid search for Clusters with HSC):a large unbiased distant cluster survey at z∼1-1.7

山元 萌黄 (総合研究大学院大学物理科学研究科天文科学専攻)

Abstract

銀河団の成長と銀河の形態進化は、z∼1-2 で最盛期を迎えることが、これまでの観測からわかってきている。従って、この時代における銀河団銀河の進化を評価することは非常に重要であるが、遠方の原始銀河団サンプルは、赤方偏移 1 以上では今まで探し出した銀河団はおよそ 10-20 個に限られる上、さらに、遠方においてはサンプル出来るものは非常に巨大な銀河団に限られ、得られる情報がサンプリングに大きく依存してしまう。そこで、上記の問題を克服する z∼1-2 の新たな原始銀河団探査として、すばる望遠鏡の新たな可視撮像装置 Hyper Suprime Camera (HSC) を利用する。HSC は従来のすばる望遠鏡の可視撮像装置 Suprime-Cam(S-Cam) の約 7 倍もの視野を持ち、現在その広視野による高い観測効率を活かし、非常に広範囲かつ深い観測を行っている。この広視野観測と、2 つの原始銀河団探査法を組み合わせた、HSC-HSC(Hybrid Search for Clusters with HSC) サーベイを現在推進している。2 つの銀河団探査法を用いて、星形成銀河、受動的銀河どちらもをプローブとして原始銀河団を発見する。これまでのサンプル数が非常に少ないという問題は、HSC サーベイの従来になく広範囲かつ深いサーベイが解決する。広帯域フィルターによるサーベイ領域は 1400 平方度まで上り、受動的銀河をプローブとした選び出した銀河団のみでも、約 5000 個というこれまでにない巨大な原子銀河団サンプルを構築する事ができる。星形成銀河と星形成を終えた銀河両方を指標にし、この時代の代表的な銀河種族を網羅できるということも HSC-HSC の非常に強みと言える部分であり、従来のサンプルの種族の偏りも克服出来る。このように、これまでにない銀河団の系統的研究である HSC-HSC により、銀河団中の銀河種族の割合の時間進化、銀河の形態が発現してきた z∼1-2 の銀河団中の銀河の進化と環境への依存性を、統計的に揺るぎなく検証することを目指す。

1 Introduction

現在の宇宙は、何億光年もの大きさをもつ大規模構造 (銀河団、銀河) から、小さな原子、原子核まで豊かな階層構造を持っている。我々が観測する事の出来る宇宙の大きさは 100 億光年のオーダーであり、このスケールにおいて基本的な構造要素となるものは星の集まりである銀河である。従って、宇宙の大規模構造の進化を紐解くにあたって、基本要素である銀河の進化の解明は大きな鍵となる。銀河は多種多様な性質を持っており、銀河の存在する環境により異なることがこれまでの研究でわかってきている。たとえば銀河団のような銀河の個数密度が高い領域においては、星形成を終え年齢が高く、質量の大きく色の赤い楕円銀河が多くを占めている。対して、一般領域のように密度の低い環境では、星形成を活発に行っている、若く青い銀河が多く存在している。このように、色、質量、形態を始めとした銀河の諸性質の進化に、周囲の環境が及ぼす効果を理解する事は極めて重要である。

この環境依存性の起源を明らかにするためには、銀河や AGN が最も激しく生まれ成長してきた時代である z∼2-3 の時代まで遡る必要がある。これまで我々のグループでは、主に z∼1.5-3 の特に星形成銀河の統計的サンプルを特に銀河団領域において構築し、この時代の銀河進化の環境依存性を調べるという MAHALO-SUBARU サーベイプロジェクトを推進してきた (PI:T.Kodama)。このプロジェクトを含め、他にも z∼0.4-2 のフィールド上の星形成銀河に注目した HiZELs サーベイ (Sobral et al. 2012)、近赤外線波長帯に Medium-band filter(MB) を多く使用することで、銀河の測光制度をより上昇させ、受

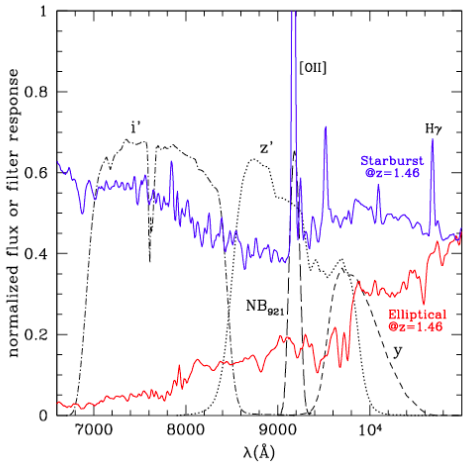

図 1: 星形成銀河、楕円銀河のスペクトルと、HSC の i', z', y バンド, NB921 の透過曲線。blue sequence サーベイでは、星形成銀河の [OII] 輝線を HSC の持つ複数の NB で捉え、各々の赤方偏移において星形成銀河をサンプルすることが出来る。NB921 は z=1.46 の [OII] 輝線を捉える

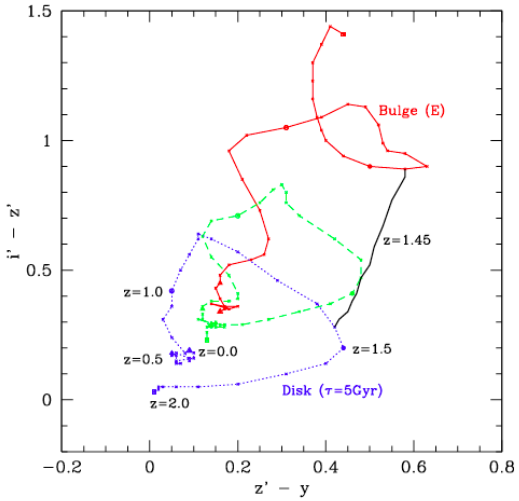

図 2: 円盤銀河、楕円銀河、2 つの種族を半分ずつ合わせたもののモデル SED のカラートラック。色選択を設定することで、対応する種族と赤方偏移の銀河をサンプルすることが出来る。red sequence サーベイでは、主に受動的銀河を色選択によりサンプルする。

動的銀河も含めた z∼1-3 のフィールド上の銀河の性質を調べる ZFOURGE サーベイ (Spitler et al.2012) などの成果から、銀河の進化形成最盛期である 2≤z の銀河は、星形成銀河の割合が非常に大きいことや、独特の構造を持っていること等、近傍の銀河とは全く異なる性質を持っている事が明らかになってきた。そこで、銀河の形成最盛期から現在の近傍銀河への進化の大部分を含み、銀河団成長と銀河の形態が確立されてきたと考えられる z∼1-2 の時代において、銀河団銀河の変遷を詳しく調べることが非常に重要である。

この時代の銀河団銀河を調べるべく、銀河団の巨大かつ統計的なサンプルを構築することが必要になってくる。しかしながら、遠方における銀河団は、ほぼ電波銀河やクエーサーをプローブとした探査により発見されており、1≤z≤2 では今まで探し出した銀河団はおよそ 10-20 個に限られ、得られる情報がサンプリングに大きく依存してしまうという問題がある。

銀河を色で見ると、星形成銀河は比較的青い”blue cloud”、星形成を終えた受動的銀河は赤い”red sequence”にそれぞれほぼ分布することが観測から確認されている (Baldry et al. 2004)。この 2 つの分布の間の移行のタイムスケールは非常に短いとされ、よって、この 2 つの種族を見れば、その時代の銀河種族をほぼ網羅できるといえる。銀河団中心付近の銀河は主に red sequence に分布することが知られているが (Mei et al. 2009)、遠方の銀河団では blue cloud に属する星形成銀河も銀河団中心に見られることがわかってきた。

そこで今回我々は、無バイアスな銀河団探査としてすばる望遠鏡の新しい可視撮像装置 Hyper-Supreme Cam(HSC) を用いた、星形成銀河と受動的銀河の両方をプローブとした銀河団サーベイを提案し、推進している。これまでにない銀河団の系統的研究である HSC-HSC により、銀河団中の銀河種族の割合の時間進化、銀河の形態が発現してきた赤方偏移 1-2 の銀河団中の銀河の進化と環境への依存性を、統計的に揺るぎなく検証することを目指す。

本講演ではこのサーベイの手法とその展望について主に発表する。

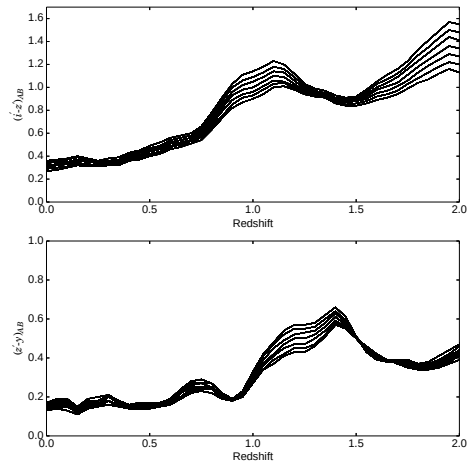

図 3: population synthesis model(Kodama & Arimoto 1998) による、楕円銀河の赤方偏移による色進化。金属量が大きい程、どちらの色においても赤くなる。

2 Methods and Observations of HSC-HSC survey

2.1 HSC-SSP legacy survey

HSC は、すばる望遠鏡の新しい可視撮像装置であり、従来の Suprime-Cam(S-Cam) のおよそ 7 倍の視野を持ち、現在その広視野による高い観測効率を活かし、すばる望遠鏡の SSP として HSC-Wide(∼1400 平方度、5BBs;r∼26)、-Deep(∼27 平方度、5BBs, NBs;r∼27)、-UltraDeep(∼3.5 平方度、5BBs, NBs;r∼27) サーベイを行っている。2015 年 7 月現在で、Wide, UltraDeep サーベイが一部分行われ、データがリリースされている。

2.2 Method of HSC-HSC survey

我々は、HSC の広範囲に渡る撮像と、2 つの銀河団探査法を組み合わせた銀河団探査プロジェクト”HSC-HSC(Hybrid Search for Clusters with HSC)” を推進している。2 つの銀河団探査法とは、

1. blue sequence サーベイ：星形成銀河の放つ [OII] 輝線を NB で捉え、z∼1.4-1.7 の星形成銀河を探査する (図 1)。

2.red sequence サーベイ:BB を用いて、銀河団銀河特有の、色等級図における赤色の系列を用いて (Gladders & Yee 2001)、各赤方偏移に対応した色選択を行い、z∼1-1.7 の星形成を終了した銀河を中心に探査する (図 2)。

であり、それぞれの銀河の密度超過領域を探り、原始銀河団を発見する。この 2 つの手法で星形成銀河と星形成を終えた銀河両方を指標にし、z∼1-1.7 の代表的な銀河種族を網羅できるということが強みである。

3 Future work and prospects

最初は BB の撮像観測データを使用し、red sequence サーベイを行う。図 3 は population synthesis model(Kodama & Arimoto 1998) による、楕円銀河の赤方偏移による色進化であり、この進化から、赤方偏移に適した色の選択を行う。最初の NB の観測である、NB921 による COSMOS フィールドの撮像が今年の 3 月にすでに行われており、まもなくリリースされる。現在それに合わせて、z∼1.5 の受動的銀河の色選択を同フィールドの BB 撮像データで行っている最中である。

密度超過を見るだけでは、背景にある銀河の混同まで調べる事はできないので、上記を通して、正確に銀河団銀河を決定する。明るい銀河団銀河候補については、分光観測により正確な赤方偏移を調べ、銀河団のメンバーを背景のものと区別する。暗い銀河団銀河候補については、分光同定が難しいため、今回見つかる 1000 個オーダーの巨大な銀河団候補サンプルについてスタッキング解析を行う事で、背景の銀河の取り除き方を統計的に議論し、効果的に背景銀河と区別する方法を確立する。

NB の撮像データがある程度進んだタイミングで blue sequence サーベイを行う。3 枚の NB を駆使し、赤方偏移 1.5-1.7 の星形成銀河からの [OII] 輝線を捉え、星形成銀河をサンプルする。NB 観測を行う Deep サーベイ領域は 27 平方度と、red sequence サーベイよりは範囲が小さくなるが、それでも HSC の 16 視野分

と従来のサーベイと比べても十分に広く、また各 NB において、Wide に比べ約 10 倍深い撮像を行う事で、これまで赤方偏移 1.5 の時代では集める事の出来なかった、星形成率が比較的小さく輝線の暗いサンプルも集める事が出来、幅広いタイプの星形成銀河サンプルを網羅できると期待される。
両方の種族のサンプルを集めることで、z∼1-2 の銀河団領域における銀河の種族の割合とその時間変化、その質量・環境に対する依存性を定量化する。
そしてその上で銀河団領域における銀河の星形成の抑制について議論する。今回の星形成銀河については、深い撮像観測を活かし、広い範囲の星形成率を持った銀河の星形成率を [OII] 輝線の強度により調べる事ができるため、赤方偏移 1-2 の時代において具体的にどの時期から抑制が進んだのか、またどのようなタイムスケールで起こっているのかをよく理解する事ができる。また、銀河団領域では、一般領域に比べ星形成が抑制される事が知られており、このメカニズムとして銀河が銀河団ガスに入る時のラム圧により、星形成に必要なガスがはぎ取られる、もしくは高密度領域により銀河同士の衝突や合体が多くなり、その過程でガスのはぎ取りや爆発的な星形成が起こり、後に抑制される等、様々な説が提唱されているが、起源が何であるかは未だ解明されていない。このメカニズムを解き明かすため、多波長による観測も非常に重要になってくる。X 線による銀河団の観測で、高温の銀河団ガスを直接見る事が可能であり、ALMA 望遠鏡を用いれば、銀河中の分子ガスの直接観測が出来る。追観測により、まさに星形成の抑制に深く関わっている 2 つのガスの物理状態を調べ、背後にある物理過程を解き明かす。
最終的には赤方偏移 1-1.7 において、代表的な種族の銀河を網羅した上、z∼1-2red sequence サーベイでは約 5000 個、blue sequence サーベイではこれまでに集められなかった暗い星形成銀河も含め深く撮像観測を行い、約 300-400 個の圧倒的な数の原始銀河団サンプルを構築し、多波長観測も駆使してこの時代の銀河の進化を統計的に検証し、定量化する。

Reference

D.Sobral, Ian Smail, Philip N. Best et al. 2012, MNRAS. Vol.428

Lee R.Spitler, Ivo Labbe, Karl Glazebrook et al. 2014, Astrophysical Journal Letters.748

I. K. Baldry, K. Glazebrook, J. Brinkmann et al. 2004, Astrophysical Journal. 600

Simona Mei, Brad P. Holden, John P. Blakeslee et al. 2009, Astrophysical Journal, 690

T. Kodama, N. Arimoto et al.1998, A&A. 334

Gladders & Yee 2001, ASP conference series vol.232