

# 銀河の進化とブラックホールの成長

(Evolution of Galaxies and the Growth of their  
Central Blackholes)

秋山 正幸

( 国立天文台ハワイ観測所:

Masayuki Akiyama: Subaru Telescope,  
650 North A'ohoku Place, Hilo, HI, 96720, U.S.A.),  
akiyama@subaru.naoj.org

平成 19 年 10 月 16 日

## 概要

この稿では「すばる」XMM ニュートン深探査と GOODS 探査という 2 つの多波長観測による遠方銀河の広視野深探査の結果、および「すばる」望遠鏡の補償光学を用いた遠方銀河の撮像観測の結果、に基づいて赤方偏移 1 から 3 の宇宙において、銀河がどのような進化をしているかを概観し、その時代のどのような銀河で巨大ブラックホールの成長が起こっているのかを紹介したいと思います。

Based on the observational results obtained with two multi-wavelength wide and deep surveys for distant galaxies, Subaru/XMM-Newton Deep Survey and Great Observatories Origins Deep Survey, and the results of deep adaptive optics imaging observations of distant galaxies, I introduce the observed evolution of galaxies between redshifts 1 and 3, and overview in what type of galaxies the growth of the central blackholes associated in the era.

## 1 活動銀河中心核と巨大ブラックホールの成長

活動銀河中心核 (AGN) は銀河中心にある巨大ブラックホールへ物質が降着する際のエネルギー放射を見ていると考えられています。巨大ブラックホールの成長の大部分は AGN として観測される降着過程で起こっているという示唆もあります。私が修士の学生であった頃 (もう 10 年前になりますね) には AGN の研究と銀河の研究というのは近そうで遠い関係にありました。例えば遠方の銀河の研究をする上で、AGN の存在というのは、遠くの暗い銀河を探するための灯台であったり、銀河の影を吸収線とし

て捉えるための光源であったりと、ツールとして比重が大きく、電波銀河のジェットによって誘発される星形成モデルなど特殊なケースを除いては AGN の存在と一般の銀河の形成、進化とのつながりというのはあまり意識されることはありませんでした。

ところが、Kormendy 達による研究により、銀河系近傍の銀河では銀河の球状成分(楕円銀河や渦巻銀河のバルジ部分)の質量が大きい銀河ほど、その中心に大きな質量の巨大ブラックホールを持つという関係が示唆されます ([1])。これはブラックホール成長過程が銀河全体のスケールの物理に密接に結びついている(あるいは逆に、銀河全体のスケールの形成過程がブラックホールスケールの物理と結びついている)ことを示唆します。またさらに銀河間物質によるライマンブレイクを捉えるという遠方銀河の選択方法が確立することにより、宇宙の単位体積あたりの星形成率が近傍宇宙から遠方宇宙にかけて進化する様子が議論され始め ([2])、その星形成率は近傍宇宙から高赤方偏移に向かうにつれて大きくなり、赤方偏移 2 付近でピークを迎えるということが明らかになりました。この結果はそのころすでによく知られていた赤方偏移 2 付近でピークを持つ QSO の数密度進化とすぐに結びつけられ、QSO の数密度進化(すなわち巨大ブラックホールの降着による成長がいつ起こっているか?)と宇宙の中での星形成率は似た進化を示すと指摘されました ([3])。このことは銀河スケールの星形成と銀河中心でのブラックホールの成長過程が宇宙の歴史の中で似た時期に進行していたことをも示唆します。

ところで、巨大ブラックホールの成長過程の中で、AGN として観測されるガス降着による成長はどのくらい重要な割合を占めているのでしょうか? 最近の AGN のハード X 線光度関数の測定結果 ([4]) を用いた研究では AGN としてすでに捉えられている降着過程を宇宙年齢方向に積分すれば近傍宇宙で観測されているブラックホールの質量密度を十分説明できるという結果も得られており ([5])、ブラックホールの成長過程の大部分は AGN として捉えられていると考えられています。これらの AGN の付随する銀河(一般に AGN 母銀河、QSO 母銀河といわれる)を調べれば、このブラックホールの成長の重要な部分がどのような銀河で起こっているかを明らかにすることが出来るはずです。

また、観測的には AGN は遠方宇宙のブラックホールの様子を捉えられる唯一のプロブです。近傍宇宙では AGN ではない銀河の中心の巨大ブラックホールもその周囲の星やガスの運動の様子から観測的に捉えられています。すこし遠方の天体になるとこれは不可能になります。例えば、近傍宇宙で観測されているブラックホール質量と銀河球状成分の質量の関係に基づくと、 $10^{11}$  太陽質量の球状成分に付随するブラックホールの質量は  $10^8$  太陽質量と見積もられますが、このブラックホールが銀河の中で力

学的に支配的になるのは中心10パーセク程度の領域に限られ、赤方偏移1の銀河では1.2ミリ秒角の領域に相当します。たとえば「すばる」望遠鏡の回折限界はVバンドでも15ミリ秒角程度でとても遠方の銀河の中のブラックホールの存在を銀河中心部の力学から探ることは困難です。AGNとしてその中心ブラックホールが光っていれば光度やそのまわりのガスの運動からブラックホールの質量について手がかりを得ることが出来ます。一方でAGNの存在はその母銀河の様子を捉えることを困難にします。中心核が隠されていないブロードラインAGNでは中心核付近からの光が銀河からの光を凌駕します。幸いAGNの中には中心核が可視光波長域では中心核付近のダストによって隠されてしまっているナローラインAGNと言われる種族が存在し、このようなAGNに対してはその母銀河の様子を調べることが可能です。また、それらの中心核の様子は透過力の高い硬X線などを用いることによって、探ることが出来ます。

この稿では「すばる」望遠鏡とXMMニュートン衛星によるすばるXMMニュートン深探査(SXDS; [6]) およびハッブル宇宙望遠鏡とチャンドラ衛星によるGOODS探査から得られた探査結果、さらに「すばる」望遠鏡の補償光学システムを用いて行った遠方銀河の形態の研究に基づいて、赤方偏移1から3にかけての銀河はどのように進化していて、ブラックホールの成長はどのような銀河で起こっているのかを、私の私見に基づいて概説したいと思います。

## 2 赤方偏移1の宇宙での銀河とAGN母銀河

宇宙年齢で言うと60%程度さかのぼった赤方偏移1付近の宇宙の銀河の様子は、最近の大規模な多波長銀河探査の結果によりかなり明らかになりつつあります。1つの重要な結果は、この時代にはすでに近傍宇宙で見られる銀河のハッブル形態系列がかなり確立されつつあったということです。図1には、SXDS領域、GOODS領域で分光観測によって赤方偏移が0.8–1.3にあると特定されている銀河を $B-R$ 、 $R-z'$ の2色図上にプロットしています。2色図上で1つの系列になっていることがわかります。中の図では、この系列に沿って赤い銀河から青い銀河までいくつかの銀河をランダムに取り出してハッブル宇宙望遠鏡の3色合成画像を示しています。2色図上に見られる系列は右上の赤い楕円銀河から赤いバルジと青いディスクを持つ渦巻銀河を経て、左下の青い不規則銀河連なる形態の系列を反映していることが見て取れます。さらに右の図では、この系列に沿って、銀河の平均スペクトルを示しています。赤い銀河は4000Åブレイクと呼ばれる古い星の4000Å付近の金属吸収線が顕著に見られるのに対し、青い銀河になると若い星に起因する3727Åの[OII]輝線が顕著になること

がわかります。このスペクトルと、2色図上での位置から、銀河のカラーの系列は年老いたバルジ成分とダスト吸収を受けたディスク成分という2つの成分を混ぜ合わせることできれいに説明がつくことがわかりました。これらの結果は、近傍宇宙で見られるハッブル形態系列と銀河の色、年齢の間の相関がすでに赤方偏移1付近の宇宙で確立されつつあったことを示しています。

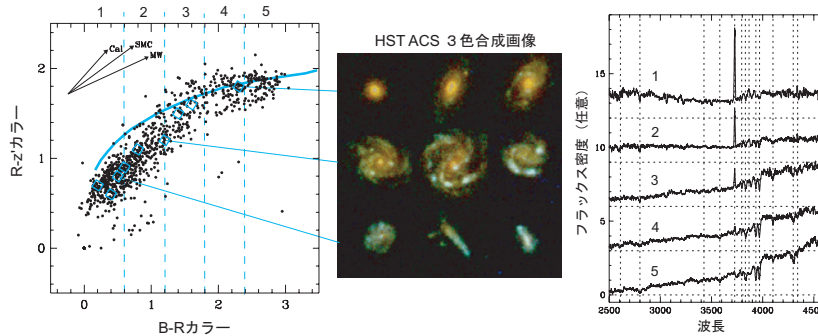


図 1: (左)SXDS 領域、GOODS 探査領域の分光赤方偏移で  $z = 0.8 - 1.3$  にあることが確認されている銀河の  $B - R$ 、 $R - z'$  カラーの分布。実線は銀河のカラー進化のモデルで、左下が若く、年を取るにつれて右上へと移動します。左上の矢印はダストによりどのようにカラーが赤くなるかを示しています。赤方偏移1の銀河の系列は、この赤化の系列(青い不規則銀河から赤化を受けたディスク)と、年齢の系列(年老いたバルジ)の重ね合わせで解釈できます。(中)左図で青四角で示した GOODS 探査領域の銀河の3色合成画像。左上から右下へ赤い銀河から青い銀河と言う順に並んでいる。(右)SXDS 領域の銀河の平均スペクトルを  $B - R$  カラー別に求めたもの。それぞれのスペクトルは左図の1から5で示した範囲の天体の平均を示している。(秋山ら 2007 準備中)

また近傍宇宙の銀河に見られる「系列」として最近脚光を浴びているのは銀河の星質量と、銀河カラーや  $4000\text{\AA}$  ブレークの分布上で見られる2極化と言われる分布です ([7])。図2には SXDS 領域の銀河の星質量と  $U - V$  カラー、 $4000\text{\AA}$  ブレークの強度の分布をコントアで示しています。左側の上下のパネルは赤方偏移が  $0.2-0.7$  の銀河サンプルの分布で、スローンデジタルスカイサーベイのデータから指摘された近傍銀河の2極化と似た、質量の大きい銀河は赤くて  $4000\text{\AA}$  ブレークの大きい古い銀河が支配的になるのに対し、質量の小さい銀河は青くて  $4000\text{\AA}$  ブレークの小さい新しい銀河が多い、という傾向が見られます。右側のパネルは赤方偏移  $0.7-1.0$  へさかのぼった分布の様子を示していますが、似たような傾向はまだ続い

ていることがわかります。この 2 極化の傾向においても赤方偏移 1 の銀河は近傍宇宙の銀河と似たような傾向を示しています。

ではこの赤方偏移の宇宙の銀河のブラックホール成長はどのような銀河で起こっているのでしょうか? 図 3 の右側には X 線源として見つかった赤方偏移 0.8-1.3 の AGN を図 1 と同じ 2 色図上にプロットしています。×印で示したブロードライン AGN では中心核の光が効いていて AGN に特有の非常に青いカラーを示していますが、ナローライン AGN では銀河のカラーとコンシステントになっています。またこのカラーはブロードライン AGN が赤化を受けた (矢印の方向に赤くなる) としては説明がつかないこともわかります。ナローライン AGN のカラーは母銀河のカラーを表していると考えて良さそうです。銀河のコントラストと比較すると、AGN 母銀河のカラー分布は、赤い楕円銀河よりも青いが、青い不規則銀河よりも赤い、図 1 で言うと渦巻銀河のカラーに近いことがわかります。右側にはナローライン AGN の平均スペクトルを示しましたが、銀河のスペクトルと同じように、星に見られる吸収線が見られ、AGN に特有の幅の狭い輝線成分を除けば同じカラーを持つ分類 3 の銀河の平均スペクトルに近いことがわかります。このことからナローライン AGN では可視光は銀河の成分が支配的になっていて、SED の形から星質量や、星形成史が推定できると言えます。

2 極化分布図上での AGN の分布は図 2 に示しています。X 線光度の大きい AGN は星質量の大きい、比較的赤い銀河に付随することがわかります。ただし、赤い銀河ではあっても  $4000\text{\AA}$  ブレークの小さい銀河に近いこともわかります。この分布は AGN はダスト赤化を受けた若い銀河に付随することを示唆しています。 $4000\text{\AA}$  ブレークの小さい若い銀河の系列の中で最も星質量の大きい種族に付随するようです。

ではこれらの赤方偏移 1 の AGN の母銀河の質量とブラックホール質量の関係はどのようになっているのでしょうか? 母銀河の星質量の平均値を求めると  $2 \times 10^{11}$  太陽質量となります。一方で X 線光度の平均は  $2 \times 10^{44}$  (エルグ毎秒) であり、QSO の平均的なスペクトル分布を仮定すると、全放射光度は  $5 \times 10^{45}$  (エルグ毎秒) に相当します。中心ブラックホールはエディントン光度の 20% で光っているとすると、中心ブラックホールの質量は  $2 \times 10^8$  太陽質量となります。以上の仮定に基づくと粗っぽい議論ですが、この赤方偏移の銀河の星質量とブラックホール質量の比は近傍宇宙で見られる関係 (1000 倍) とオーダーで食い違うことは無いようです。赤方偏移 1 の宇宙では銀河中心ブラックホールと銀河質量の間の関係も確立していることが示唆されます。

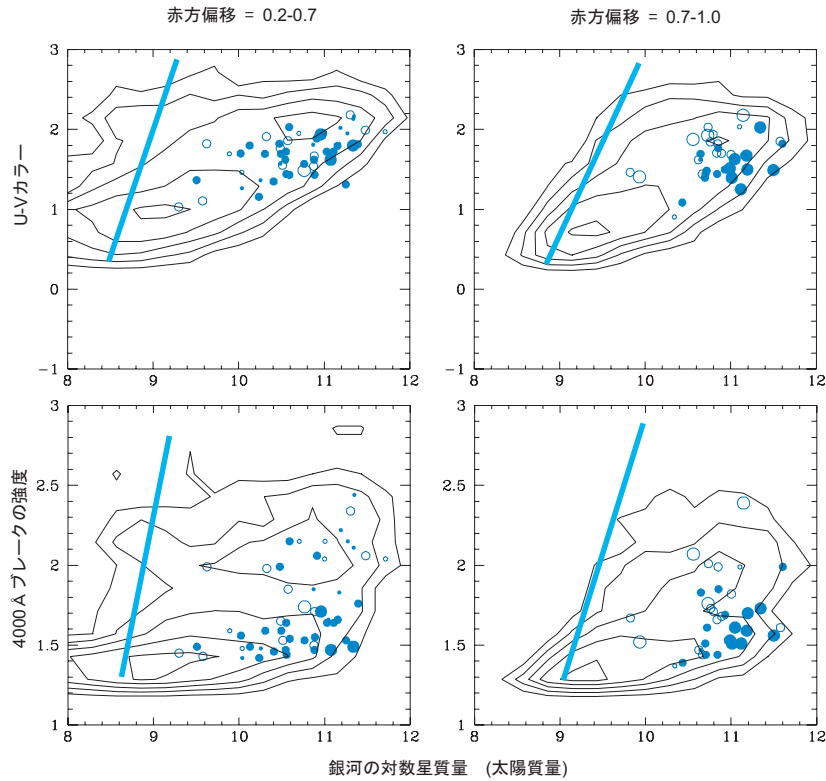


図 2: すばる XMM-Newton 深探査領域の銀河の星質量と  $U - V$  カラーの分布 (上) と星質量と  $4000\text{\AA}$  ブレーク強度の分布 (下)。左側は赤方偏移  $0.2-0.7$ 、右側は赤方偏移  $0.7-1.0$  の様子を示している。銀河の赤方偏移は紫外から中間赤外にかけての 12 バンドのデータを用いた測光赤方偏移により、 $U - V$  カラー、 $4000\text{\AA}$  ブレーク強度はベストフィットモデル SED から求めている。青線は  $K$  バンドでの銀河の典型的な検出限界を示している。X 線で選ばれた AGN でスペクトル分布が銀河でよく表される (中心核が隠されていると考えられる) 天体を青印でプロットした。青丸は分光赤方偏移のわかっている天体、青白丸は測光赤方偏移で赤方偏移を推定した銀河を示している。サイズは AGN の光度をあらわし、最も大きな印が  $2-10\text{ keV}$  バンドでの光度が  $10^{44}$  エルグ毎秒を超えるもの、最も小さな印が  $10^{43}$  エルグ毎秒以下のもの。(秋山ら 2007 準備中、また SXDS 領域の赤方偏移 1 の銀河の 2 極化分布については [8] にも詳細な議論があります。)

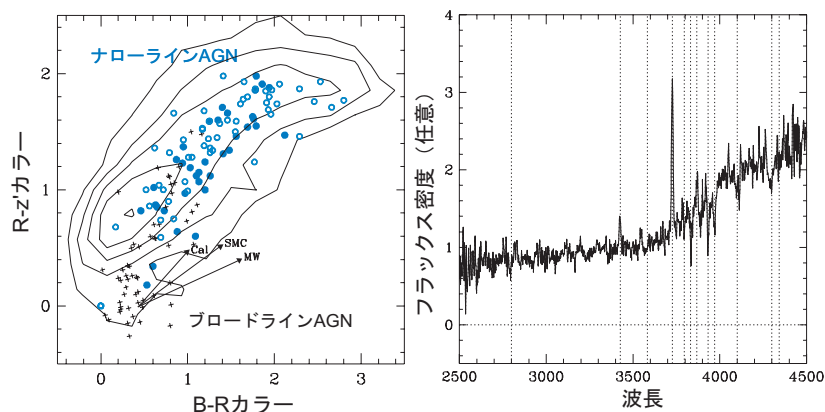


図 3: (右)SXDS 領域で赤方偏移が  $z = 0.8 - 1.3$  にある X 線 AGN の  $B - R$ 、 $R - z'$  カラーの分布を銀河のカラー分布のコントアの上にプロットしたもの。青丸が分光赤方偏移が確認されている AGN、青白丸が測光赤方偏移で推定された AGN。分光でブロードラインが受かっている AGN は  $\times$  印で示した。(左) ナローライン AGN の合成スペクトル。(秋山ら 2007 準備中)

### 3 赤方偏移 2 の宇宙での銀河と AGN 母銀河

さらに宇宙の星形成史のピーク、QSO 数密度のピークとされる赤方偏移 2 まで、宇宙年齢で 80% まで、さかのぼった宇宙での銀河の様子はどのようなになっているのでしょうか。図 4 には図 2 と同じように SXDS 領域の観測で見つかった銀河の赤方偏移 1 から 2 にかけての銀河の星質量と  $U - V$  カラー、星質量と  $4000\text{\AA}$  ブレークの関係を示しています。赤方偏移 1.0 から 2.0 にさかのぼるにつれて、赤方偏移 1.0 以下のサンプルで見えていた 2 極化の傾向とは違う傾向が見られます。 $U - V$  カラーの図の上では質量の大きい銀河は赤く、質量の小さい銀河は青いという傾向が見られますが、2 極化というよりも連続した系列のように見えます。また、 $4000\text{\AA}$  ブレークの強度で見ると、ブレークの強度が大きい系列が無くなり、質量の大きな銀河も  $4000\text{\AA}$  ブレークの小さい側の系列に載り、若い星種族になるように見えます。この分布の変化は赤方偏移をさかのぼるにつれて、大きな銀河の形成時期に近づいていることを示唆します。

では、このような銀河の進化に対して、AGN の母銀河はどこに位置するのでしょうか。同じ図 4 の上に X 線で検出された AGN の母銀河の分布を示してあります。この分布を見ると、これらの AGN はそれぞれの赤方偏移で最も質量の大きい銀河に付随するらしいことがわかります。さらに逆に図 4 から図 2 へ、赤方偏移 2 から赤方偏移 0.5 へとたどると、AGN

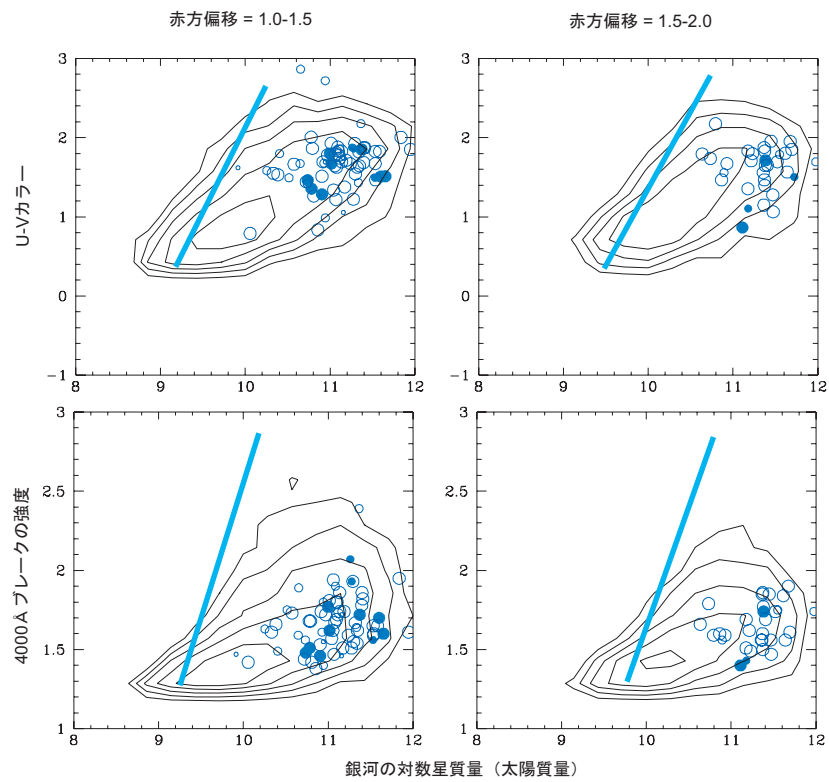


図 4: 図 2 と同じ。左は赤方偏移 1.0-1.5、赤方偏移 1.5-2.0 の様子を示している。(秋山ら 2007 準備中)



はいつもその宇宙にある星形成をしている  $4000\text{\AA}$  ブレークの小さい銀河の系列の最も質量の大きい種族に付随していることがわかります。このことは、大きな銀河での星形成が終焉を迎えるにつれて、そこに付随するより大きなブラックホールの成長も終焉を迎え、AGN 活動性を示さなくなると解釈することが出来ます。この結果、近傍宇宙に向かうにつれて明るい AGN の割合は減り、星質量がより小さい銀河に付随するより小さい質量のブラックホールが起こすより暗い AGN 活動性が支配的になっていくと考えることも出来ます。このことは AGN のハード X 線光度関数の進化に見られる、光度のより大きい AGN ほどより高い赤方偏移にその数密度のピークが合ったという結果 ([4]) と合致します。

#### 4 赤方偏移 3 の宇宙へ

さらに赤方偏移を 3 までさかのぼります。宇宙年齢では 85% に相当し、QSO の数密度のピークを超えます。まず、AGN を持たない普通の銀河の様子はどのようなのでしょうか。この赤方偏移の銀河の静止系可視波長で見た形態を調べ、銀河の星質量を担っている質量の小さい星の分布がどのようなかを明らかにするために、われわれは「すばる」望遠鏡の補償光学システムを用いたインテンシブ観測を行いました。これまでのハッブル宇宙望遠鏡による高い空間分解能の観測は静止系で紫外波長に限られていて、銀河の中の若い星がどのように分布していて、星形成がどこで起こっているかはわかって、銀河の骨格をなす比較的質量の小さい星の分布がわかっていませんでした。補償光学システムを用いて近赤外線 K バンドで高い空間分解能の観測を行うことにより、初めて銀河の骨格を明らかにすることができるようになりました。この観測では赤方偏移 3 のライマンブレーク銀河と遠方赤銀河ターゲットとしました。これらの銀河の空間分布は強いクラスタリングを示すことから、近傍宇宙では比較的大きな質量の暗黒物質ハローに付随し、楕円銀河やバルジ成分が支配的なディスク銀河に進化すると推定されています。

図 5 の左側のパネルに観測結果を示します。4 個のライマンブレーク銀河の画像を例として載せてあります。これらの画像をセルシックプロファイルと呼ばれるプロファイルでフィットした結果、ほとんどの銀河はセルシックインデックスの小さい (2 以下) の近傍宇宙ではディスク成分が支配的な銀河に見られるプロファイルでよく記述されることがわかりました。右側のパネルには赤方偏移 0.5 付近の銀河をそのまま赤方偏移 3 に持って行って同じように観測した場合にどのように見えてくるかを示しています。図に示したようにセルシックインデックスの大きいプロファイルで記述される楕円銀河も多数存在することがわかります。また、赤方偏移 3 の

銀河の明るさや星質量を近傍宇宙の同じ大きさのディスク銀河と比べると、赤方偏移 3 の銀河は明るく、星質量が大きいことがわかりました。このことは、赤方偏移 3 の銀河は表面輝度や星表面質量密度が、近傍宇宙の銀河に比べて大きいことを示唆します。

これらの結果は、赤方偏移 3 の宇宙では銀河の形態の系列は近傍宇宙で見られる系列とは異なる様相を示している、まだハッブル系列が確立していないことを示唆します。これらの銀河はこれから赤方偏移 1 にかけて、最終的な形態を獲得してハッブル系列を確立すると考えられます。

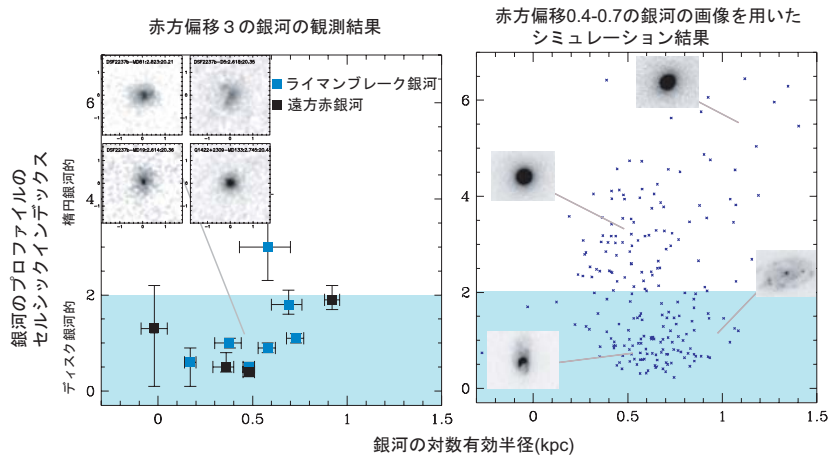


図 5: 左)ライマンブレイク銀河と遠方赤銀河をセルシクプロファイルでフィットした結果。4 個の赤方偏移 3 のライマンブレイク銀河の  $K$  バンド画像の例を中に示した。それぞれの天体について 3.5 秒角四方 (27 キロパーセク四方に相当する) の領域を示している。右) GOODS 領域の赤方偏移 0.4 から 0.7 の銀河を赤方偏移 3 に持って行って同じ条件で観測、解析した場合に得られる結果を示す。([9] より引用)

ではこの赤方偏移にある AGN はどのような銀河に付随するのでしょうか。図 6 には赤方偏移が 2 から 4 にあることが分光的に確認された AGN についてその母銀河の星形成率 (左側) と星質量 (右側) と中心核の X 線光度の関係を示しています。これらの母銀河の紫外線光度は破線で示したこの赤方偏移のライマンブレイク銀河の典型的な光度に近く、星形成率はダスト吸収の効果を考慮しない場合には 10 (太陽質量毎年) となり比較的大きいことがわかります。一方で推定される星質量は  $10^{10}$  太陽質量から  $10^{12}$  太陽質量に分布し、この赤方偏移の質量の大きい銀河に付随している事がわかります。赤方偏移 3 においても光度の大きい AGN はやはり星形成をしている、質量の大きい銀河に付随するよう見えます。

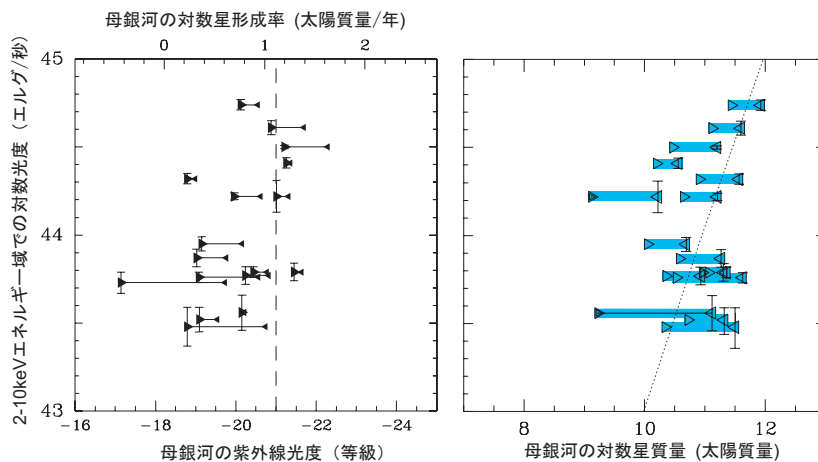


図 6: 左)GOODS 領域の分光赤方偏移が 2 から 4 の AGN の母銀河の紫外線光度 (左)、星質量 (右) と X 線光度の関係。([10] より引用)

## 5 次のステップは

図 7 にこれまでたどってきた結果から推定される「1 つの」銀河の進化とブラックホール成長のシナリオを模式的に示しました。赤方偏移 3 の宇宙ではまだガスリッチな銀河が多く、銀河の中ではディスク的な構造がすぐに形成されます。赤方偏移 1 に進むにつれて、ガスが消費され、ガスの少ない銀河が多くなり、それらの合体から楕円銀河的な銀河がどんどん形成されます。ブラックホールの成長は、ガスを持っている大質量銀河の中で進行しますが、より質量の大きい銀河がより早い時期にガスを消費し、球状成分を形成し、星形成を終えるにつれて、その中のより質量の大きなブラックホールの成長も早い時期に停止していきます。

ただ、この結果は現象論であって、銀河形成とブラックホール成長のリンクの物理過程を直接的に明らかにするものではありません。次のステップとしては、より定量的に銀河進化の各フェーズのタイムスケールとブラックホール成長のタイムスケールを評価することにより、銀河進化によるガス消費がブラックホール成長の進行を制御しているのか？あるいは逆にブラックホール成長に伴う AGN が銀河進化を制御しているのか？を明らかにすることが重要であると考えられます。

新しいステップは新しい観測装置によって切り開かれます。図 4 に示した結果を良く見るとこの赤方偏移 2 付近の議論はほとんどが測光赤方偏移によっており、まだまだ不定性が大きいことがわかります。この赤方偏移付近の銀河の赤方偏移を分光的に決定し、銀河や AGN 母銀河の性質を明らかにするには近赤外線での分光観測が鍵になります。「すばる」

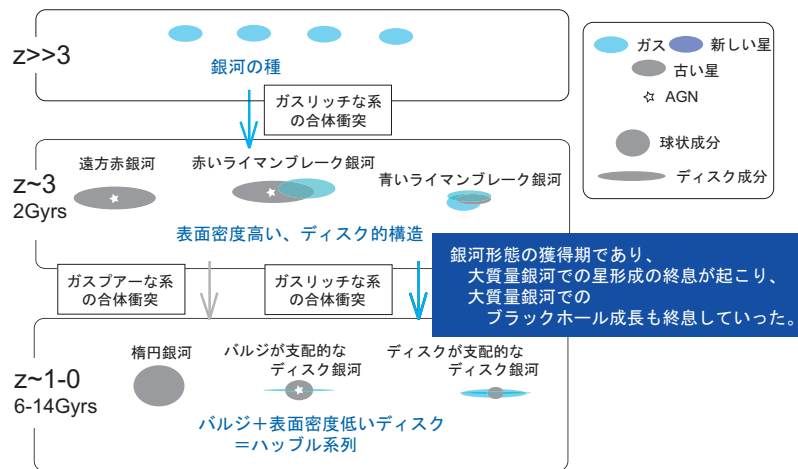


図 7: 赤方偏移 3 から 1 にかけての銀河の進化とブラックホール成長 (AGN) の 1 つのシナリオ。

望遠鏡の第 2 世代観測装置として稼働をはじめた近赤外線多天体分光器 (MOIRCS) は 8-10m 級望遠鏡の装置としては世界で始めて近赤外線での遠方銀河の系統的観測を可能にしました。赤方偏移 2 付近をターゲットとした分光探索も進んでおり、今後この赤方偏移の銀河や AGN 母銀河についても図 1 や図 3 に示したような分光的な性質が明らかになり、銀河進化の中での AGN 母銀河の位置づけも進むことが期待されます。

また、AGN と銀河を結びつける残された方法として、AGN の自己相関関数を決定し、AGN の付随する暗黒物質ハロー質量を制限することからアプローチする方法があります。これを実行するためには広い視野の中で非常に多数の AGN を分光探索することが必要になります。「すばる」望遠鏡では光ファイバーを用いた多天体赤外分光器 (FMOS) も始動に向けた最終段階に入っていて、主焦点の 150mm の領域に 400 本のファイバーを自由に配置する機構、1.4m 鏡を含む大型の光学素子を -50 度まで冷却して背景光を最大限抑えた分光器、の最終調整が進んでいます。FMOS での大規模探索により AGN の付随する暗黒物質ハローの制限がつけば、暗黒物質の構造形成モデルをベースにした銀河形成のシナリオの中に、AGN の発現によるブラックホール成長のシナリオを定量的に取り込むことができる期待されます。

ここで紹介した観測結果は「すばる」XMM ニュートン深探索や「すばる」望遠鏡補償光学による遠方銀河のインテンスブ観測など、「すばる」望遠鏡を用いた、多数の方々との共同研究の結果生まれた結果であり、私個人のみでは到底得られることの無かったものです。最後に共同研究

者の方々、そして望遠鏡の安定運用に日々尽力しているハワイ観測所のメンバーに感謝して終わりたいと思います。

## 参考文献

- [1] Kormendy, J., & Richstone, D., 1995, *ARA&A*, 42, 603
- [2] Madau, P., Ferguson, H.C., Dickinson, M.E., Giavalisco, M., Steidel, C.C., & Fruchter, A., 1996, *MNRAS*, 283, 1388
- [3] Boyle, B.J., & Terlevich, R.J., 1998, *MNRAS*, 293, 49
- [4] Ueda, Y., Akiyama, M., Ohta, K., Miyaji, T., 2003, *ApJ*, 598, 886
- [5] Marconi, A., Risaliti, G., Gilli, R., Hunt, L.K., Maiolino, R., Salvati, M., 2004, *MNRAS*, 351, 169
- [6] Furusawa, H., Kosugi, G., Akiyama, M., et al., 2007, *ApJS*, submitted.
- [7] Kauffmann, G., Heckman, T.M., White, S.D.M., et al., 2003, *MNRAS*, 341, 54
- [8] Kodama, T., Yamada, T., Akiyama, M., et al.,
- [9] Akiyama, M., Minowa, Y., Kobayashi, N., Ohta, K., Ando, M., Iwata, I., 2007, *ApJS*, in press.
- [10] Akiyama, M., 2005, *ApJ*, 629, 72