

# 博士論文公聴会

## ご案内

下記の要領で博士論文公聴会を開きますのでご来聴下さい。

### 記

日 時 : 2014年2月7日(金) 14:40～

場 所 : H701

発表者 : 上田 周太朗  
宇宙地球科学専攻  
大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻 後期課程

題 目 : X-ray Study of Luminous Supermassive Black Holes in  
the Brightest Cluster Galaxies  
(X線を用いた銀河団中心銀河の超巨大ブラックホールの  
研究)

宇宙地球科学専攻 大学院教育教務委員  
中嶋 悟

学位申請者：上田 周太郎

論文題目：X-ray Study of Luminous Supermassive Black Holes in the Brightest Cluster Galaxies  
(X線を用いた銀河団中心銀河の超巨大ブラックホールの研究)

論文要旨：

本研究の目的は、銀河団中心銀河 (Brightest cluster galaxy; BCG) にある非常に明るい超巨大ブラックホール (Supermassive black hole; SMBH) を X線天文衛星で観測し、その SMBH の周辺環境を解明することで、BCG ではない銀河 (field galaxy) 中にある SMBH の周辺環境との違いを明らかにすることである。

近年、BCG 中の SMBH の質量を力学的に測定する試みが行われ始めた。それらの結果により、最も重い SMBH は BCG 中にあり、field galaxy から示唆される  $M-\sigma$  relation より大きい質量をもつ可能性が示唆されている。BCG 中の SMBH はユニークな方法で成長してきたのかもしれない。考えられている可能性の 1 つが、遠方で活発に降着を起こしている SMBH (QSO) の母銀河が近傍の BCG へ成長したという説である。数値シミュレーションからもこの成長モデルが示唆されている。しかし、近傍の BCG ( $z < 0.1$ ) 中の SMBH の降着率は極めて低く、典型的にはエディントン光度の 1% 以下である。近年、 $0.2 < z$  のいくつかの QSO の周囲から広がった X線放射が発見され、BCG 中に QSO を持つ銀河団が発見され始めた。これらは BCG の成長の現場を観測できる天体として重要視されている。

本研究では、unbiased な Planck 銀河団カタログと、Swift 70 か月硬 X線源カタログを照合し、BCG 中に QSO を持つ銀河団を系統的に調べた。Planck 銀河団カタログは、Sunyaev-Zel'dovich 効果を用いて初めて全天の銀河団を探索したものであり、 $z \sim 1$  までの銀河団を含んでいる。我々は、計 861 個の銀河団サンプルから 2 個の BCG 中に QSO を持つ銀河団を見つけた。1 つは Phoenix cluster、もう 1 つは H1821+643 という銀河団である。この結果は、BCG 中の QSO の活動のタイムスケールが  $\sim 20$  Myr であることを示唆する。我々は初めて定量的に BCG 中の QSO の活動のタイムスケールを得た。

次に、主に X線天文衛星「すざく」を用いて、これら 2 つの BCG 中の SMBH の観測を行った。Phoenix cluster の QSO の X線スペクトルから強い吸収 (column density;  $N_{\text{H}} = 3.2 \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$ ) を受けた連続成分と中性鉄 K 輝線 (Fe I) を発見した。これらは Phoenix cluster 中の QSO は Type 2 QSO であることを示唆する。一方 H1821+643 については、Fe I を検出したが連続成分は強い吸収を受けていない。これらはこの QSO は Type 1 であることを意味する。

統計的議論を行うため、準サンプルとして IRAS09104+4109 を採用した。BCG 中に Type 2 QSO を持つことが良く知られており、また上記の 2 つのカタログの検出限界にわずかに届かなかった天体だったためである。比較用のサンプルとして、field galaxy である ESP39607, 3C433 中にある Type 2 QSO を採用した。これら 3 つの天体を「すざく」で観測し、その周辺環境を調べた。

我々は計 5 つの QSO サンプルを使用して、Fe I の等価幅 (Equivalent width; EW) と column density (NH), 10-50keV の X-ray luminosity ( $L_x$ ) の関係を調べた。

まず、4 つの Type 2 QSO について EW-NH relation を調べた。Field galaxy の X線観測から得られた関係と同様の相関を示した。この結果は、Fe I の起源がトーラスであり、トーラスは field galaxy と同様の構造を持つことを示唆する。

一方、5 つの QSO に対し EW- $L_x$  relation を調べるために、まず intrinsic な不定性を評価した。計 59 天体の Type 2 活動銀河核 (AGN) のデータを使用し、データ点のバラツキは  $1\sigma = 0.47 \text{dex}$ . という値を得た。ここで構築したモデルに対する BCG 中の QSO のずれを、この  $\sigma$  を用いて評価すると、Phoenix

cluster で $+1.9\sigma$ 、H1821+643 で $+0.51\sigma$ 、IRAS09104+4109 で $+2.9\sigma$ を得た。モデル化した母集団から2つのサンプルを抽出した時、偶然 $+1.9\sigma$ 以上離れた天体を抽出する確率は6%になる。この検定をIRAS09104+4109 含めた3つのBCGで行えば、偶然起きうる確率は0.02%になる。よってズレは有意でないという仮説は $3.5\sigma$ 以上で棄却できる。EW-Lx relationにおいて、BCG中のQSOがfield galaxyの相関から期待されるEWより大きいEWを持つという結果を得た。

また、Type 2 fractionという観点から、BCG中のQSOとfield galaxy中のAGNの周辺環境の違いを調べた。Unbiasedな2つのカタログからType 1 QSO, Type 2 QSOそれぞれ1つずつ抽出できたため、Type 2 fractionは50%である。一方で、QSOのスペクトル解析から、SMBHからトーラスを見込む立体角( $R$ ;  $R=\Omega/2\pi$ )を求めることができる。我々はPhoenix clusterとH1821+643の両方のBCG中のQSOから、 $R\sim 0.8$ を得た。両方のBCG中のQSOのLxと、Field galaxyにおけるType 2 fractionから推定される期待値は $0.1\sim 0.2$ であり、BCG中のQSOはそれ以上に大きい。

BCG中のQSOがfield galaxyのEW-Lx relationから期待されるよりも大きなEWをもつ理由として、我々は、BCG中のトーラスの高さが、Lxから期待される高さ以上に高い状態で維持されていると考えている。これはトーラスのopening angleが小さいことを意味する。このことは、BCG中のQSOのType 2 fractionが、field galaxyのType 2 fractionより大きいことから示唆されている。

最後に我々は、SMBH-BCG-Clusterの関係性について議論を行った。Cooling flow抑制のために必要なICMの加熱エネルギーに対し、SMBHからの放射の寄与を、BCG中のQSOの活動のタイムスケールである20Myrを用いて評価した。H1821+643とIRAS09104+4109については、ICMの冷却と釣り合うために必要な加熱エネルギーのうち、放射は0.01%以下の寄与しかせず、加熱の大半はmechanical energyが担っていることを明らかにした。トーラスにより放射が吸収されることを踏まえると、放射による加熱はさらに効率が低下する。Phoenix clusterについても放射の寄与は0.01%以下であるが、mechanical energyの測定がまだ行われていない。ICMの加熱と冷却がバランスしているかどうか現時点では判断できない。今後の観測が期待される。我々はPhoenix clusterのBCG中のType 2 QSOの観測で得たNHからそのSMBHのトーラスの質量を推定した。トーラスの外縁半径を100pcと仮定した場合、その質量は $\sim 108M_{\text{sun}}$ になる。このSMBHへの降着率は $110M_{\text{sun}}/\text{yr}$ である。 $108M_{\text{sun}}$ は、この降着率を20Myr維持するために必要なガスの総量より1桁以上小さい。何らかのメカニズムで冷たいガスが外部からトーラスの供給されているかもしれない。Cooling flowにより冷えたICMがSMBHへと降着する場合、トーラスは冷たいガスのreservoirになると考えられる。