Osaka University Knowledge Archive

Title	X-ray Study of Luminous Supermassive Black Holes in the Brightest Cluster Galaxies
Author(s)	上田, 周太朗
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/34047
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　　上田　周太朗　　）	
論文題名	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)

論文内容の要旨

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-σ 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の周囲から拡がった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査したものであり、z~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~20Myr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_H=3.2x10^{23}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（N_H），10-50keVのX-ray luminosity（Lx）の関係を調べた。

まず、4つのType 2 QSOについてEW-N_H 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-Lx 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1σ=0.47dex.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σを用いて評価すると、Phoenix clusterで+1.9σ、H1821+643で+0.51σ、IRAS09104+4109で+2.9σ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+1.9σ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3.5σ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=Ω/2π）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~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0.1~0.2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も示唆されている。

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N_H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~10^8Msunになる。このSMBHへの降着率は110Msun/yrである。10^8Msun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。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　上田　周太朗　）		
論文審査担当者		（職）	氏　名
	主 査	教授	常深　博
	副 査	教授	長峯　健太郎
	副 査	教授	芝井　広
	副 査	准教授	藤田　裕
	副 査	准教授	林田　清
	副 査	京都大学・名誉教授	小山　勝二

論文審査の結果の要旨

上田君は、銀河団中心銀河（BCG）にある非常に明るい超巨大ブラックホール（SMBH）をX線観測してそのSMBHの周辺環境を解明し、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した。

まず初めに、観測対象を選択するために、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。その結果、861個の銀河団サンプルからそのような銀河団を2個見つけた。1つはPhoenix cluster(Type 2 QSO)、もう1つはH1821+643である（Type 1 QSO)。これはBCG中のQSOの活動のタイムスケールが20Myr程度であることを示す。

この2つと比較用サンプルの計5つのQSOをX線天文衛星「すざく」で観測し、Fe I強度（EW）とcolumn density (NH)，10-50keVのX-ray luminosity (Lx) の関係を調べた。EW-NH関係は、全てfield galaxyのX線観測から得られた関係と同様の相関を示すので、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。次に、EW-Lx関係から、intrinsicな不定性を評価しデータ点のバラツキを1σ=0.47dex.と得た。このモデルに対するBCG中のQSOのずれをこのσを用いて評価すると、Phoenix clusterで+1.9σ、H1821+643で+0.51σ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+1.9σ以上離れた天体を抽出する確率は6%になる。EW-Lx関係において、BCG中のQSOはfield galaxyの相関から期待されるEWより大きい値を持つことが判った。この理由として、BCG中のトーラスの高さがLxから期待される以上に高い、つまりopening angleが小さいためだと推定している。

最後に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。放射は0.01%以下の寄与であり、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ことが示された。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。