

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18740118

研究課題名(和文)

すばる望遠鏡近赤外線多天体分光器で探る巨大ブラックホールの成長史

研究課題名(英文)

Growth History of Super-Massive Blackhole Revealed with NIR MOS on Subaru Telescope

研究代表者

秋山 正幸(MASAYUKI AKIYAMA)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50425401

研究成果の概要： この研究では近傍宇宙の銀河の中心に見つかっている巨大ブラックホールの宇宙論的な成長の歴史を統計的に明らかにするため、X線での探査で見つかった活動銀河中心核の可視赤外線分光観測による追求観測を行った。特に可視光では暗く、赤外線で明るいX線源の正体(赤方偏移(=存在する距離)や物理的性質)を、明らかにするために「すばる」望遠鏡の近赤外線多天体分光器を用いて、多数の天体の赤外線分光観測を行った。結果、これらの天体は80億年から100億年前の隠された活動銀河中心核であることがわかった。今回の結果はこの時代の宇宙の隠された活動銀河核でのブラックホールの降着成長が巨大ブラックホールの成長史の中で重要であることを示唆している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,000,000	0	1,000,000
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	210,000	2,910,000

研究分野：銀河物理学、観測天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：赤外線多天体分光、X線天体、巨大ブラックホール、遠方銀河

1. 研究開始当初の背景

近年のハッブル宇宙望遠鏡などを用いた銀河系近傍の銀河の高い空間分解能の観測は、比較的大きなすべての銀河には太陽質量の1億倍にもなる巨大ブラックホールが銀河バルジ構造の中心に存在することを明らかにした。さらに、銀河のバルジ成分の質量と中心の巨大ブラックホールの質量の間には良い相関関係がある(質量の大きなバルジにはより大きな巨大ブラックホールが付随する)ことが見つかり、このことは大局的な銀河の形成と中心の巨大ブラック

クホールの形成が物理的なつながりを持つことを示す。この巨大ブラックホールがどのように形成され成長してきたのかを明らかにすることは現在の銀河天文学の重要な課題の1つである。

巨大ブラックホールの成長の宇宙論的な歴史を明らかにするには、活動銀河中心核(以下AGN)の数密度の進化を明らかにすることが重要である。AGNからの放射を宇宙論的に足し合わせて予想される質量降着量の総量が近傍宇宙で観測されるブラックホールの質量密度に匹敵することから、巨大ブラックホールの成長の大部分は銀河中心のブラックホールへの質量降着過程

として起こっており観測的にはAGNとして捉えられると考えられている。さまざまなAGNからのX線放射からの重ね合わせを起源とすると考えられているX線宇宙背景放射が中心核が隠されていない1型AGNのスペクトルよりも高エネルギー側で強いスペクトルを持つことから、星間ガスによって中心核が隠された2型AGNがAGN全体の中で重要な割合を占め、巨大ブラックホール成長の重要な部分がそこで起こっていることを示す。AGN種族全体の進化を中心核への吸収や母銀河の放射の影響なく評価するためには過去のキューサー探査に用いられてきた紫外線、可視、ソフトX線という吸収に弱い、母銀河の影響も受けやすい波長ではなく、ハードX線による探査が重要である。ハードX線でのAGN探査は、隠されたAGN、低光度のAGNを効率よく捉え、巨大ブラックホールの成長史を明らかにする上で、非常に有効である。しかし、これまでのハードX線探査では巨大ブラックホール成長の初期の様子を理解する上で重要な赤方偏移2を超える宇宙初期のAGNの数密度はほとんどわかっていなかった。特に巨大ブラックホールの成長の初期段階はガスやダストを豊富に持つ形成途上の銀河の中で進んでいたはずであり、宇宙初期の隠されたAGNの進化を明らかにすることが巨大ブラックホールの成長の初期段階を理解する上で重要であった。この宇宙初期のAGNの進化を隠された種族も含めて捉えるため、より暗いハードX線源の正体を可視、近赤外線での追求観測により明らかにすることが必要であった。

2. 研究の目的

宇宙初期のAGNの進化を隠された種族も含めて捉えるために、暗いX線源の可視赤外線追求観測を進めてきた。その結果、X線源の探査を1-2桁深く行なうと、「あすか」衛星による探査で見つかったAGNとは違う、可視光では暗いがX線では明るいX線源が多数存在することが発見された。このようなX線源はこの深さのX線源の3分の1を占めており、X線宇宙背景放射の20%程度を担っている。可視で暗いX線源は遠方宇宙の隠された大光度AGNの良い候補天体であり、これらの天体が多数存在し、X線宇宙背景放射に重要な寄与していることは、実際に遠方宇宙での巨大ブラックホール成長の重要な割合が隠されたAGNの中で起こっていたことを示唆する。つまり、この種族の光度関数とその進化を明らかにすることは、宇宙初期の巨大ブラックホール成長の様子を捉える上で非常に重要になる。この可視で暗いX線源に対して、「すばる」望遠鏡による可視多天体分光観測を行い、すでにいくつかの正体を明らかにし、これらの天体が実際に遠方宇宙の隠されたAGNであることも明らかにした。しかし、半数以上の可視で暗いX線

源については可視分光観測を行なってもその正体を明らかにすることができなかった。

可視光で暗いX線源の多くが近赤外線では明るい事から、近赤外線での分光観測はこれらの天体の正体を明らかにする上で非常に有効であると考えられる。今回の研究では、可視光で暗いX線天体に対して、「すばる」望遠鏡の新しい観測装置である赤外線多天体スリット分光器(MOIRCS)を用いて、近赤外線での多天体分光観測を行い、それらの正体を明らかにする。MOIRCSは世界中の8-10mのクラスの望遠鏡では唯一近赤外線波長域で一度に多天体を分光することを可能にする観測装置で、近赤外線多天体分光観測は「すばる」望遠鏡の独壇場である。この機能を最大限生かすことにより、世界に先駆けて可視で暗いX線源の統計的な性質を明らかにすることが目的である。特に、宇宙初期の隠されたAGNの光度関数とその進化を明らかにし、すでに良く調べられている隠されていないAGNの光度関数と合わせて、ブラックホール質量毎の平均的な成長史へと焼きなおす。これにより巨大ブラックホール成長の初期段階の様子、それぞれの質量の巨大ブラックホールがいつ頃に形成が始まり、どの部分は隠された種族の中で起こっていたのか？が初めて明らかになる。巨大ブラックホール形成の初期段階が隠された種族の中で起こっていたとすれば、ガスやダストを大量に持つ銀河形成の初期段階とのつながりも示唆される。

3. 研究の方法

この研究ではX線源の深探査観測によって見つかった可視で暗く、赤外線、X線で明るい天体を「すばる」望遠鏡において新しく動き出す近赤外線多天体スリット分光器(MOIRCS)を用いて探査し、これらの天体の赤方偏移分布、中心核光度分布、中心核への吸収量分布を求め、隠されたAGNが宇宙初期において多数存在するのか？どのように進化しているのか？を明らかにする。

まずは研究のターゲットとなる可視で暗く、X線、赤外線で明るいX線源の多数のサンプルを構築することが重要である。そのために、X線源の情報、その可視対応天体の情報、そして、赤外線での明るさの情報が必要である。はじめのステップとして、非常に深く狭い領域のX線探査から、比較的浅いが広い領域のX線探査の情報を組み合わせ、広いX線フラックス範囲をカバーするX線源のサンプルを作成する。具体的には「すばる・XMMニュートン」深探査(以下SXDS)および南天北天での「チャンドラ」深探査のデータを用いてX線源のサンプルを作成する。これらのX線源の可視対応天体を捉えるにはX線探査領域の広い視野に対し8-10mクラスの望遠鏡を用いた深い撮像観測が必須である。こ

のような観測は「すばる」望遠鏡の広視野カメラ *Suprime Cam* を用いた観測の独壇場となっている。X線源探査の行なわれている多くの領域ではすでに *Suprime Cam* を用いたデータがすでにアーカイブデータとして利用可能であり、このデータを解析して用いる。近赤外線データは例えば *SXDS* 領域では英国赤外線望遠鏡の広視野赤外線カメラを用いた深探査が進行中であり、チャンドラ深探査領域では *MOIRCS* の装置グループ時間を用いた深探査データを利用する。さらに中間赤外線でのデータも「スピッツァー」衛星によって得られた赤外線探査のデータも利用する。各波長の撮像データから得られたカタログをマッチさせることで、それぞれのX線源の可視、赤外線での明るさを得る。

こうして得られた可視で暗くX線で明るいサンプルに対して、赤外線での分光観測を行なう。10視野弱程度の観測を行なって30個程度の天体の赤外線分光観測を行なう。この結果、可視で暗いX線源の統計的性質が明らかになる。

平行して「すばる」望遠鏡の次世代の赤外線多天体分光器として試験観測が続いている赤外線多天体ファイバ分光器 (FMO S) の立ち上げ作業を進める。将来的にはこの分光器を用いることにより数百個程度のサンプルを作成して、隠されたAGNの遠方宇宙での光度関数、その宇宙論的進化にアプローチすることが可能になる。

4. 研究成果

まずは近赤外線の多天体分光観測のターゲットとなる可視で暗く、X線、赤外線で明るいX線源の多数のサンプルを構築するためのデータ解析を行った。「すばる」望遠鏡 *XMM-Newton* 深探査領域のデータを用いてX線源のサンプルを作成し、「すばる」の可視広視野カメラ (*Scam*) のデータおよび英国赤外線望遠鏡の広視野赤外線カメラのデータ、「スピッツァー」衛星の中間赤外線データをあわせて、それぞれのX線源の他波長でのデータベースを作成した。また *Chandra* 衛星深探査領域についても同じようにX線源のサンプルを作成し、「すばる」の *Scam* のデータおよび「すばる」の広視野赤外線カメラ (*MOIRCS*) のデータ、「スピッツァー」衛星の中間赤外線データをあわせて、それぞれのX線源の他波長でのデータベースを作成した。このデータをもとに可視から赤外線でのスペクトルエネルギー分布を調べモデルとの比較を行った。

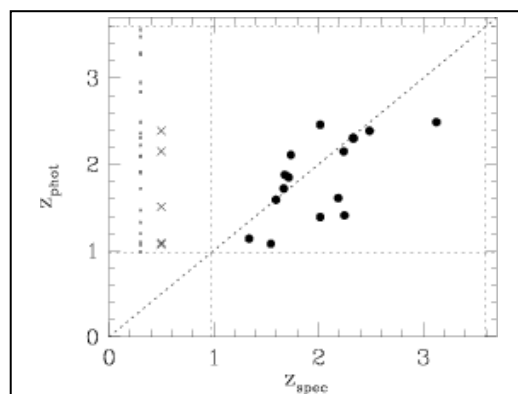
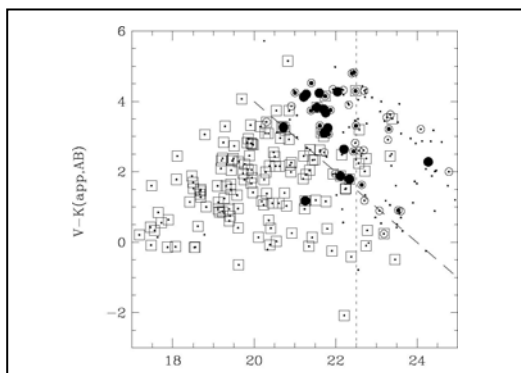


図2：分光赤方偏移と測光赤方偏移の比較。黒丸は今回の観測で正体のわかった天体。バツ印は今回の観測で正体のわからなかった天体。測光赤方偏移により予想されていたように可視光で暗く、赤外線で明るい天体は赤方偏移1から3の宇宙にある隠された活動銀河中心核であることがわかった。

このようにして見つかった可視で暗く、赤外線で明るい、可視光の多天体分光観測では正体の分からなかったX線源に対して、*MOIRCS* を用いた近赤外線での多天体分光観測を行った。多天体分光観測モードを用いた共同利用観測により8視野の観測を行い、およそ30個の天体の赤外線スペクトルを得た。この結果可視光では暗いため可視光では赤方偏移が決められなかった天体について赤外線でのスペクトルから赤方偏移が決められることを確認された。図1でVバンドで暗い右上の天体は正体が分かっていない天体が多かったが今回の近赤外線での分光観測で多くの正体が明らかになった(黒丸)。図2に示すように、これらの天体は赤方偏移1から2に分布しており、測光情報を用いて推定していた赤方偏移分布に近い分布が得られた。今回

の結果はこの赤方偏移 1-2 (今から 80 億年から 100 億年前) の範囲に多数の隠された AGN が分布していることを示唆している。今回の結果はこの時代の宇宙の隠された活動銀河核でのブラックホールの降着成長が巨大ブラックホールの成長史の中で重要であることを示唆している。

平行して「すばる」望遠鏡の近赤外線ファイバー多天体分光器 (FMOS) の試験観測をすすめた。400本の光ファイバーを天体の方向に精度良く配置して実際に天体の赤外線スペクトルが得られることを確認した。FMOSを用いた多数の可視光で暗いX線源の赤外線分光観測はこの研究を発展させた次の研究計画として遂行する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

1. Yabe, K., Ohta, K., Iwata, I., Sawicki, M., Tamura, N., Akiyama, M., Aoki, K., “The Stellar Populations of Lyman Break Galaxies at $z \sim 5$ ”, 2009, ApJ, 693, 507-533, 査読有

2. Akiyama, M., Smedley, S., 他 7 名
“Performance of Echidna fiber positioned for FMOS on Subaru”, 2008, SPIE, 7018, 94, 査読なし

3. Smail, I., Sharp, R., Swinbank, A.M., Akiyama, M., Ueda, Y., “A pilot survey for KX QSOs in the UKIDSS Ultra Deep Survey Field”, 2008, MNRAS, 389, 407-414, 査読有

4. Akiyama, M., Minowa, Y., Kobayashi, N., Ohta, K., Ando, M., Iwata, I., “Adaptive Optics Rest-frame V-band Imaging of Lyman Break Galaxies at $z \sim 3$: High Surface Density Disklike Galaxies?”, 2008, ApJS, 175, 1-28, 査読有

5. Morokuma, T., Doi, M., Yasuda, N., Akiyama, M., 他 18 名
“The Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS). V. Optically Faint Variable Object Survey”, 2008, ApJ, 676, 163-183, 査読有

6. Morokuma, T., Doi, M., Yasuda, N., Akiyama, M., 他 18 名
“The Subaru / XMM-Newton Deep Survey (SXDS). VI. Properties of Active Galactic Nuclei Selected by Optical Variability”, 2008, ApJ, 676, 121-130, 査読有

7. Iwata, I., Ohta, K., Tamura, N., Akiyama, M., 他 4 名
“Differential Evolution of the UV luminosity Function of Lyman Break Galaxies from $z=5$ to 3”, 2007, MNRAS, 376, 1557, 査読有

8. Kajisawa, M., Konishi, K., Suzuki, R., Tokoku, C., Uchimoto, Y., Yoshikawa, T., Akiyama, M., 他 6 名
“MOIRCS Deep Survey I: DRG Number Counts”, 2006, PASJ, 58, 951, 査読有

9. Simpson, C., Martinez-Sansigre, A., Rawlings, S., Ivison, R., Akiyama, M., 他 4 名
“Radio Imaging of the Subaru/XMM-Newton Deep Field I The 100 microJy catalogue, optical identifications, and the nature of the faint radio source population”, 2006, MNRAS, 372, 741, 査読有

10. Kiuchi, G., Ohta, K., Akiyama, M., Aoki, K., Ueda, Y., “Host Galaxies of Hard X-ray Selected Type-2 Active Galactic Nuclei at Intermediate Redshifts”, 2006, ApJ, 647, 892, 査読有

[学会発表] (計 4 件)

1. Akiyama, M., et al. “Performance of Echidna fiber positioned for FMOS on Subaru”, 2008/06/12, SPIE Astronomical Instrumentation, フランス・マルセイユ

2. Akiyama, M., et al., “Adaptive Optics Rest-frame V-band Imaging of Galaxies at $z \sim 3$: High Surface Density Disk-like Galaxies?”, 2007/12/14, “Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution”, 日本・葉山

3. Akiyama, M., et al., “M* Lyman Break Galaxies as Progenitors of Spheroids in the Local Universe”, 2007/07/22, IAU symposium 245 “Formation and Evolution of Galaxies Bulges”, イギリス・オックスフォード

4. Akiyama, M., et al., “Adaptive Optics Imaging Survey of Lyman Break Galaxies at $z \sim 3$ ”, 2007/05/11, American Astronomical Society Meeting 210, アメリカ・ホノルル

[その他]

ホームページ等

<http://www.astr.tohoku.ac.jp/~akiyama/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秋山 正幸 (MASAYUKI AKIYAMA)

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：5 0 4 2 5 4 0 1

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

