

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：16301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20740109

研究課題名（和文） X線観測による成長中の巨大質量ブラックホールの探索と質量降着過程の解明

研究課題名（英文） X-ray observational study of growth of supermassive black holes

研究代表者 寺島 雄一 (TERASHIMA YUICHI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20392813

研究成果の概要（和文）：巨大質量ブラックホールの進化過程を理解するために、X線観測データを用いた成長途上にある巨大質量ブラックホールの探索と、質量降着に伴って形成される降着円盤からの放射の解析を行った。XMM-Newton 衛星の観測データを用い、X線強度の顕著な変動に着目した全く新しい方法で、比較的質量の小さい巨大質量ブラックホールや、激しい質量降着を起こし質量成長途上にある巨大質量ブラックホールを発見することに成功した。また、特に質量降着を激しく起こしていると考えられる、きわめて強い軟X線を示す巨大質量ブラックホールも発見し、そのような状況での質量降着を担う降着円盤の性質を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We searched for supermassive black holes (SMBHs) in their growing phase, and studied accretion processes in such a growing state. We successfully discovered relatively low-mass SMBHs and growing (i.e., large accretion rate) SMBHs by utilizing rapid X-ray variability from a large data set of XMM-Newton. We also discovered a new class of SMBH showing prominent soft X-ray, which is likely to be in a new state, and properties of an accretion disk in such a circumstance are studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：ブラックホール、降着円盤、銀河、X線天文学

1. 研究開始当初の背景

銀河の中心に存在する巨大質量ブラックホールは、宇宙が始まってかなり早い段階でその種が作られ、主に質量降着によって巨大質量に成長したと考えられている。しかし、その過程はよく理解されていない。

2. 研究の目的

ブラックホールが巨大質量に成長した物理過程を、2つの観測的アプローチによって理解することを目指す。X線強度変動に着目した全く新しい手法による質量成長中のブラックホールの探索を行うとともに、激しい質量降着を起こしている天体の詳細観測から質量降着過

程の物理を理解する。

3. 研究の方法

(1) 質量成長過程にある巨大質量ブラックホールの探索を行った。その際、XMM-Newton衛星によってこれまでに得られた大量の観測データをもとに、質量の小さいブラックホールほど激しいX線強度変動を示すという性質に着目した全く新しい手法を用いた。

(2) 質量が激しく降り積もり、ブラックホールが成長している状況で、質量降着を担う降着円盤の性質を調べた。特に降着円盤からの強い軟X線と鉄蛍光輝線に着目した解析を行った。

4. 研究成果

(1) X線強度変動を用いた全く新しい手法を用いて、質量がまだ小さい巨大質量ブラックホールや質量降着が激しく起こっている巨大質量ブラックホールの探索を行った。1100天体のX線で顕著な強度変動を示す天体の中で、15天体がこれまでに巨大質量ブラックホールと認識されていなかった新発見の天体であった。またその中から、比較的小質量(200万太陽質量以下)の巨大質量ブラックホールを7天体、激しく質量降着を起こし質量成長途上にあると考えられる巨大質量ブラックホールを6天体発見した。また、X線強度変動からブラックホール質量を推定するため、これまでにブラックホール質量が精度よく測られている天体の系統的解析を行い、相関関係を決定した。

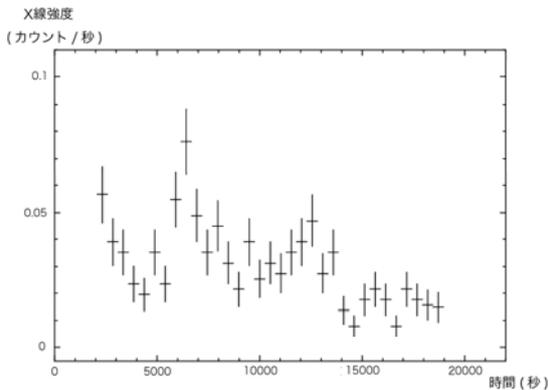


図 1. 発見した質量の小さいブラックホールからの X 線変動の例。天体名は XMM J120143.6-184857 で、ブラックホール質量は太陽の 120 万倍。

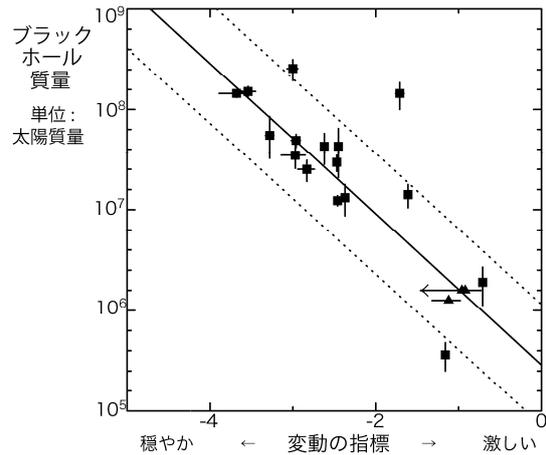


図 2. 変動の激しさとブラックホール質量との相関。変動の激しさは Normalized excess variance という指標で表してある。

(2) (1)の探索の過程で、極めて強い軟X線放射を示し、硬X線放射を示さない特異な巨大質量ブラックホールを初めて発見した。これにより、激しい質量降着を起こしている状況で、これまでに知られていた恒星質量ブラックホールのきわめて明るい状態と同様の状態が巨大質量ブラックホールにも見られることを示唆した。また、この状態での降着円盤を理解するため電子の温度や電子での光子の散乱の状況について定量的に評価した。

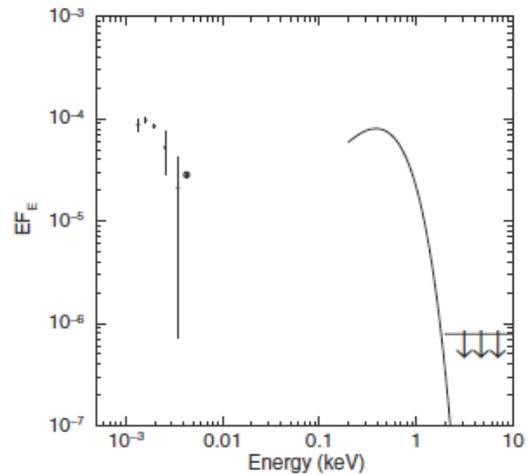


図 3. 軟X線(0.1-2 keV)が極めて強く硬X線(2 keV以上)で暗い天体 2XMM J123103.2+110646。本研究で発見した、巨大質量ブラックホールの新しいスペクトル状態である可能性のある天体である。

また、別の天体からも質量降着率の大きい降着円盤から期待される軟 X 線の性質(形状を変えずに強度が変わる)を観測的にとらえた。

(3) 降着円盤からの放射をできる限り不定性なく解釈するため、視線上の吸収物質が少ないなどの性質を持つ天体の X 線スペクトル解析を進め、軟 X 線放射が幅の広い輝線の重ね合わせでなく、降着円盤からの連続 X 線が主成分であることを示した。また、鉄輝線の形状から、降着円盤の内縁は必ずしも「ブラックホールまわりの最終安定軌道」までは伸びておらず、もう少し外側にあることを明らかにした。

(4) 質量降着が激しく起こり、質量成長をしているブラックホールは大量の物質に覆われている可能性が指摘されていた。そのため、大量の物質に覆われた巨大質量ブラックホールについて、質量降着率や周辺の物質の構造についても調べ、サンプルサイズは小さいものの質量降着率が大きいほど幾何学的に厚い物質に覆われている兆候を得た。

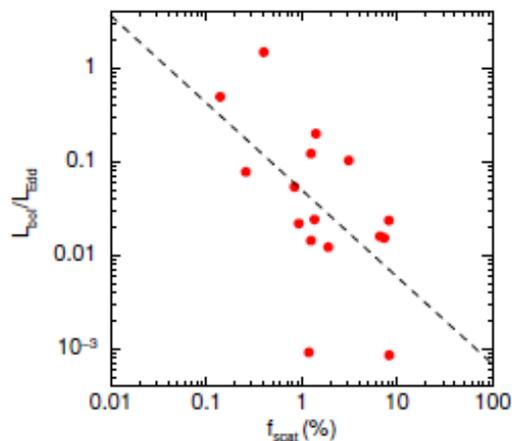


図 4. 隠された巨大質量ブラックホールを隠す物質の幾何学的厚みと、質量降着率の関係。横軸は隠す物質の隙間から漏れた X 線が散乱されて観測された割合で値が大きいほど、部分的にしか隠されていないことを示す。縦軸は質量降着率の指標である、エディントン比。値が大きいほど激しく質量降着が起こっている。

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 40 件)

(1) ``A New Sample of Candidate Intermediate-mass Black Holes Selected by X-Ray Variability''

Kamizasa, N., Terashima, Y., & Awaki, H., 2012, ApJ, 751, 39 (13pp) (査読有)

(2) ``Iron line profiles in Suzaku spectra of bare Seyfert galaxies''

Patrick, A. R., Reeves, J. N., Porquet, D., Markowitz, A. G., Lobban, A. P., & Terashima, Y. 2011, MNRAS, 411, 2353-2370(査読有)

(3) ``Scattered X-rays in Obscured Active Galactic Nuclei and their Implications for Geometrical Structure and Evolution''

Noguchi, K., Terashima, Y., Ishino, Y., Hashimoto, Y., Koss, M., Ueda, Y., & Awaki, H. 2010, ApJ, 711, 144-156 (査読有)

(4) ``A New Sample of Buried Active Galactic Nuclei Selected from the Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue''

Noguchi, Terashima, Y., & Awaki, H. 2009, ApJ, 705, 454-467(査読有)

(5) ``X-Ray Spectral Variability of the Seyfert Galaxy NGC 4051 Observed with Suzaku''

Terashima, Y., Gallo, L. C., Inoue, H., Markowitz, A. G., Reeves, J. N., Anabuki, N., Fabian, A. C., Griffiths, R. E., Hayashida, K., Itoh, T., Kokubun, N., Kubota, A., Miniutti, G., Takahashi, T., Yamauchi, M., & Yonetoku, D. 2009, PASJ, 61, S299-316 (査読有)

(6) ``Suzaku View of the Swift/BAT Active Galactic Nuclei. I. Spectral Analysis of Six Active Galactic Nuclei and Evidence for Two Types of Obscured Population''

Eguchi, S., Ueda, Y., Terashima, Y., Mushotzky, R., & Tueller, J. 2009, ApJ, 696, 1657-1667 (査読有)

(7) ``Implication for Super-Critical Accretion Flow in the Narrow-Line Seyfert 1 Galaxy PKS 0558-504''

Haba, Y., Terashima, Y., Kunieda, H., & Ohsuga, K. 2008, PASJ, 60, 487-491 (査読有)

〔学会発表〕(計 36 件)

(1) 「軟 X 線放射のみを示す AGN 候補天体の発見」, 寺島 雄一、上笹尚哉、栗木久光、久保田あや、上田佳宏, 日本天文学会 2012 年春季年会, 龍谷大学, 2012. 3. 20

(2) 「X 線強度変動で選択した新 AGN サンプルの性質」, 上笹尚哉、寺島雄一、栗木久光, 日本天文学会 2011 年秋期年会, 鹿児島大学, 2011. 9. 21

(3) ``Rare AGN Populations found in the XMM-Newton Serendipitous Source Sample'', Terashima, Y., The X-ray Universe 2011, Berlin, 2011. 6. 30

(4) ``Strongly variable AGNs found in the Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue'', Kamizasa, N., Terashima, Y., & Awaki, H., The First Year of MAXI: Monitoring variable X-ray sources, Aoyama, Tokyo, 2010. 11. 30-12. 2

(5) ``X-ray observations of outflows in radio-quiet AGNs'', Terashima, Y. ``Accretion and Outflow in Black Hole Systems'', Kathmandu, Nepal, 2010. 10. 13 (招待講演)

(6) 上笹尚哉・寺島雄一・栗木久光, 「XMM-Newton 衛星を用いた X 線強度変動が激しい活動銀河核の探索」, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 金沢大学, 2010. 9. 22-9. 24

(7) ``AGN observations with Suzaku'', Terashima, Y. ``X-RAY ASTRONOMY 2009: PRESENT STATUS, MULTI-WAVELENGTH APPROACH AND FUTURE PERSPECTIVES'', Bologna, Italy, 2009. 9. 10 (招待講演)

〔図書〕(計 1 件)

「ピーターソン活動銀河核」和田桂一、栗木久光、亀野誠二、谷口義明、寺島雄一、長尾透 共訳、丸善(2010 年)、302 ページ

〔その他〕

報道発表「育ち盛りの巨大ブラックホール 新手法で続々発見」2012 年 5 月 18 日

<http://www-astro.phys.sci.ehime-u.ac.jp/release2012/>

(NHK(全国ネット)、日本経済新聞(全国)、朝

日新聞、毎日新聞、読売新聞(以上地方版)、愛媛新聞などで報道された。)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺島 雄一 (TERASHIMA YUICHI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：20392813