

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540265

研究課題名(和文) 多波長観測による急速に成長する埋もれた巨大ブラックホールの完全探査

研究課題名(英文) Complete Search for Buried, Rapidly Growing Supermassive Black holes with Multiwavelength Observations

研究代表者

上田 佳宏 (Ueda, Yoshihiro)

京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：10290876

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：全天X線監視装置MAXIによる銀河系外X線天体の無バイアス探査を進め、その結果を2つのカタログとして出版した。それを用いて、近傍宇宙における活動銀河核(AGN)のX線光度関数を決定した。Swift/BAT 硬X線サーベイで見つかったAGNの「すざく」による追求観測により、周囲の遮蔽物(トーラス)の構造がAGN光度に強く依存することを確立した。X線ディープフィールドの解析を行ない、遠方宇宙におけるAGN数密度および埋もれたAGNの割合を決定した。

研究成果の概要(英文)：We performed unbiased extragalactic X-ray surveys with Monitor of All X-ray Image (MAXI) and published two X-ray catalogs, from which the most up-to-date luminosity function of active galactic nuclei (AGNs) in the local universe was derived. Suzaku follow-up observations of hard X-ray selected AGNs established the dependence of the torus structure on the AGN luminosity. Using the data of X-ray deep fields, we determined the number density of AGNs and the fraction of buried AGNs in the distant universe.

研究分野：X線天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：活動銀河核 ブラックホール X線

## 1. 研究開始当初の背景

現在の宇宙において銀河バルジの中心部に巨大ブラックホールが普遍的に存在し、両者の質量が相関するという観測的事実は、銀河(星)とAGN(巨大ブラックホール)が共進化してきたことを強く示唆する。ブラックホール成長史に関して現在大きな問題となっているのは、「完全に覆い隠されたAGN(埋もれたAGN)は宇宙にいくつ存在し、ブラックホール成長にどれだけの寄与を果たしてきたか?」「ブラックホールはどのような環境で成長してきたか?」という2点である。理論的予測によれば、銀河の形成初期における中心核ブラックホールへの降着は、激しい星生成を伴い、強いX線変動を示しつつ、ガスやダストによって覆い隠された状態で起こると予測されている。このような深く「埋もれた」AGNを探索し、その進化を解明することは、銀河形成の謎を解く鍵となるきわめて重要な問題である。

## 2. 研究の目的

観測の困難のため、急速に成長しつつある「埋もれた活動銀河核(AGN)」の進化は謎に包まれている。本研究は、(1)国際宇宙ステーション搭載全天X線監視装置(MAXI)およびSwift衛星による全天硬X線サーベイとその多波長追求観測、(2)X線ディープフィールドの多波長深サーベイという2計画の推進を柱とする。これら「深さ・広さ」の異なる研究を組み合わせることにより、銀河ブラックホール共進化という現代天文学の大問題の起源に関して、観測的に明確な解答を与えることを目的とする。

## 3. 研究の方法

MAXIは中程度の吸収を受けたAGNについて過去最大のサンプルを提供し、近傍宇宙のAGNの光度関数・種族の構成の確立に重要な役割を果たす。いっぽう、Swift衛星による全天サーベイは、埋もれたAGNも含む近傍宇宙の最も無バイアスなAGNサンプルを提供しつつある。そこで、Swift・MAXIによるX線サーベイで得られた近傍のAGNに対して、「すざく」によるX線観測および可視赤外追求観測を進めることで、ブラックホールまわりの吸収体の性質や、光度分布、質量降着率を明らかにする。さらに、「すばる」XMM-Newtonディープサーベイ(SXDS)やチャンドラディープサーベイなど多波長深サーベイにより、星生成が最も激しい遠方宇宙において埋もれたAGNを探索し、その宇宙論的進化を統一的に理解する。

## 4. 研究成果

### (I) MAXIによる銀河系外探査

MAXI計画を推進し、その初期成果を2011年11月に日本天文学会欧文研究報告「MAXI-すざく」特集号として出版した。MAXI運用開始後7か月の間にガススリットカメラ(GSC)で取得されたデータを用いて、銀緯10度以上の全天から系統的なX線天体の探査を行い、その結果をMAXI/GSC第一版カタログとしてまとめた(Hiroi et al. 2011)。このカタログは143個の天体を含み、1天体を除く全てのX線天体を同定することに成功した。この高い完全性は、4-10 keVバンドをカバーする全天無バイアス探査としては類のないものであり、多数の吸収をうけた活動銀河核を含む。

カタログされた活動銀河核サンプルのうちブレーザー天体を除く37天体を用いて、近傍宇宙における活動銀河核のX線光度関数をこれまでに最高の精度で決定した(Ueda et al. 2011)。Swift衛星によって求められた15 keV以上での光度関数との比較から、活動銀河核の2-200 keVでの広域スペクトルの形が光度依存性を持つことを指摘した。

2013年には37か月間のサーベイデータに対し、これまでに開発した解析手法を適用し、銀河系外のMAXIソースカタログ第二版を作成し、出版した(Hiroi et al. 2013)。本カタログは500天体を含んでおり、全天をカバーした4-10 keVバンドを含むX線探査としては過去最高の感度を達成している。

### (II) Swift/BATおよびXMM-Newton広域探査によって検出されたAGNの詳細解析

近傍宇宙における活動銀河核(AGN)の中心核構造の性質を確立すべく、Swift衛星による硬X線サーベイによって見つかったAGNの「すざく」衛星による追求観測を進めた。特に、これまで手つかずであった「低光度AGN」(Kawamuro et al. 2013)および「電波強度の大きい高光度AGN」(Tazaki et al. 2013)に注目した。鉄K輝線強度を正確に求め、それをモンテカルロ計算による理論計算と比較することで、トーラスの立体角に制限を与えた。その結果、AGN光度が減少するにつれてトーラス立体角は大きくなるが、さらに低光度になるとそれが減少するという事実をつきとめた。

XMM-Newton衛星の広域探査カタログから、特徴的な軟X線スペクトルを示す、急速に成長しつつあると考えられる活動銀河核を発見した(Terashima et al. 2012)。

Swift/BATによる硬X線全天サーベイとAKARI衛星による赤外線全天サーベイのカタログ相関から、吸収を受けたAGNと受けていないAGNの間でX線光度に対する中間赤外線光度の比が同程度であることを発見

し、トーラスの内部構造が非一様であるという示唆を得た (Ichikawa et al. 2012)。

(III) X線ディープフィールドの多波長探査による埋もれた AGN の宇宙論的進化の解明

最も深い X 線探査である「チャンドラディープフィールド南」(CDFSN) のデータを用いて、遠方宇宙における埋もれた活動銀河核の存在量について制限を与え、現在の宇宙に比べて赤方偏移とともに緩やかにその割合が増大していることを突き止めた (Brightman & Ueda 2012)。巨大ブラックホールを囲むトーラス構造による吸収と反射を考慮した X 線スペクトルを実データに当てはめることで、トーラスの吸収量や開口角という物理パラメータを個々の天体から制限することに成功した。このさい、光子統計が少ないことによるばらつきや系統的効果をシミュレーションを行うことによって補正し、信頼できる統計結果を導いた。

SXDS 計画で見つかった X 線天体のうち、赤方偏移が 3 を越える AGN に着目し、詳細な X 線スペクトルの解析を行うことで、その空間密度および吸収を受けた AGN の割合を決定した (Hiroi et al. 2012)。光赤外の共同研究者と協力して、赤方偏移が 1.5 程度にある活動銀河核のブラックホール質量関数を決定し、現在の宇宙と比べてより大きなブラックホールが活動性をもつことを確認した (Nobuta et al. 2012)。多波長深サーベイで検出された 1 型 AGN に対して、ブラックホール質量を推定し、エディントン比 (ブラックホール質量で規格化した光度) と X 線スペクトルの傾き (べき指数) に有意な相関があることを発見した (Brightman et al. 2013)。この結果は、X 線スペクトル情報を用いることで、エディントン比の大きな「急速に成長するブラックホール」を同定できる可能性を示唆する。

研究の集大成として、これまで進めてきた MAXI、SXDS、CDFSN で見つかった多数の AGN サンプルを統一的に解析し、埋もれた AGN を含む全 AGN の宇宙論的進化を過去最高の精度で決定した (Ueda et al. 2014)。

## 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 17 件)

1. Hoenig, S.F., et al. (Ueda, Y.) “What obscures low-X-ray-scattering active galactic nuclei” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438, 2014, 647-656
2. Ricci, C. Paltani, S. Ueda, Y., Awaki, H. “On the role of the Edd relation on the X-ray Baldwin effect in active galactic nuclei” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 435, 2013, 1840-1851
3. Brightman, M., et al. (Ueda, Y.) “A statistical relation between the X-ray spectral index and Eddington ratio of active galactic nuclei in deep surveys” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 2013, 2485-2496
4. Hiroi, K., Ueda, Y. et al. “The 37 Month MAXI/GSC Source Catalog of the High Galactic Latitude Sky” *The Astrophysical Journal Supplement*, 207, 2013, article id. 36
5. Tazaki, F., Ueda, Y. et al. “Suzaku View of the Swift/BAT Active Galactic Nuclei. V. Torus Structure of Two Luminous Radio-loud Active Galactic Nuclei (3C 206 and PKS 0707-35)” *The Astrophysical Journal*, 772, 2013, article id. 38
6. Kawamuro, T., Ueda, Y. et al. “Broadband X-Ray Spectra of Two Low luminosity Active Galactic Nuclei NGC 1566 and NGC 4941 Observed with Suzaku” *The Astrophysical Journal*, 770, 2013, article id. 157
7. Ricci, C. et al. (Ueda, Y.) “Luminosity dependent unification of active galactic nuclei and the X-ray Baldwin effect” *Astronomy & Astrophysics*, 553, 2013, id.A29
8. Nobuta, K., Akiyama, M., Ueda, Y. et al. “Black Hole Mass and Eddington Ratio Distribution Functions of X-Ray-selected Broad-line AGNs at  $z \sim 1.4$  in the Subaru XMM-Newton Deep Field” *The Astrophysical Journal*, 761, 2012, article id. 143
9. Hiroi, K., Ueda, Y., Akiyama, M., Watson, M.G. “Comoving Space Density and Obscured Fraction of High-redshift Active Galactic Nuclei in Subaru/XMM-Newton Deep Survey” *The Astrophysical Journal*, 758, 2012, article id. 49
10. Ichikawa, K., Ueda, Y. et al. “Mid- and Far-infrared Properties of a Complete Sample of Local Active Galactic Nuclei” *The Astrophysical Journal*, 754, 2012, article id. 45
11. Matsuta, K., et al. (Ueda, Y.) “Infrared and Hard X-Ray Diagnostics of Active Galactic Nucleus Identification from the Swift/BAT and AKARI All-sky Surveys” *The Astrophysical Journal*, 753, 2012, article id. 104
12. Brightman, M & Ueda, Y. “The evolution of the Compton thick fraction

and the nature of obscuration for active galactic nuclei in the Chandra Deep Field South” Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 423, 2012 702-717

13. Terashima, Y., et al. (Ueda, Y.) “A Candidate Active Galactic Nucleus with a Pure Soft Thermal X-Ray Spectrum” The Astrophysical Journal, 752, 2012, article id. 154
14. Ueda, Y. et al. “Revisit of Local X-Ray Luminosity Function of Active Galactic Nuclei with the MAXI Extragalactic Survey” Publications of the Astronomical Society of Japan, 63, 2011, S937-S945
15. Hiroi, K., Ueda, Y. et al. “The First MAXI/GSC Catalog in the High Galactic-Latitude Sky” Publications of the Astronomical Society of Japan, 63 2011, S677-S689
16. Tazaki, F., Ueda, Y. et al. “Suzaku View of the Swift/BAT Active Galactic Nuclei. IV. Nature of Two Narrow-line Radio Galaxies (3C 403 and IC 5063)” The Astrophysical Journal, 738, 2011, article id. 70
17. Burrows, D.N. et al. (Ueda, Y.) “Relativistic jet activity from the tidal disruption of a star by a massive black hole” Nature, 476, 7361, 2011, 421-424

〔学会発表〕(計 5 件)

1. Ueda, Y. "Cosmological Evolution of Active Galactic Nuclei and Standard Population Synthesis Model of the X-ray Background", Expanding the Frontiers of the X-ray Universe (招待講演), 2014/2/19 ~ 2/22, 松山 (日本)
2. Ueda, Y. " Evolution of X-ray Selected AGNs", Multiwavelength AGN Surveys and Studies (IAU Symposium 304)(招待講演), 2013/10/7 ~ 10/11, エレバン (アルメニア)
3. Ueda, Y. "Cosmological Evolution of Active Galactic Nuclei, Half a Century of X-ray Astronomy (招待講演) ,, 2012/9/17 ~ 9/21, ミコノス (ギリシア)
4. Ueda, Y. "Cosmological Evolution of Active Galactic Nuclei", Energetic Astronomy (招待講演), 2012/6/4 ~ 6/6, アナポリス (アメリカ)
5. Ueda, Y. "Investigation of AGN evolution with eROSITA", First eROSITA International Conference (招待講演), 2011/10/17 ~ 10/20, ガルミッシュ・パルタンキルヘン (ドイツ)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田佳宏 (UEDA YOSHIHIRO)  
京都大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号 : 10290876

(2) 研究分担者

( )

研究者番号 :

(3) 連携研究者

( )

研究者番号 :