

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	廣井 和雄
論文題目	X-ray Studies of Space Density and Obscured Fraction of Active Galactic Nuclei in Local and High-Redshift Universe		

(論文内容の要旨)

近年、銀河の中心には太陽質量の 100 万倍を超えるような巨大ブラックホールが普遍的に存在し、その質量と母銀河バルジの諸性質との間に非常によい相関関係があることが分かってきた。この観測事実は、銀河と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。巨大ブラックホール成長の問題は、宇宙全体の進化を理解する上で不可欠な、宇宙物理学最大の課題の一つである。この「共進化」を理解する上で鍵となるのが、活動銀河核 (AGN) の観測である。なぜなら AGN とは、銀河中心のブラックホールに物質が降着し、重力エネルギーが解放されることによって明るく輝く現象であり、まさにブラックホールが成長している現場だからである。宇宙 X 線背景放射の研究により、宇宙に存在する大部分の AGN はブラックホールを取り囲むダストトラスによって「隠されて」いることが分かっている (2 型 AGN)。そこで、ダストトラスに対する透過力が強く、母銀河による放射からの影響がない硬 X 線による観測が極めて重要となる。これまで行われている AGN サーベイは、探査の完全性および規模においていまだ不十分であり、ブラックホール成長の全貌解明には多くの謎が残されている。特に大きな問題として、1. 隠された AGN の比率は宇宙論的タイムスケールで進化するのか? 2. 初期宇宙において銀河中心ブラックホールはどのようにして成長してきたのか? という 2 点が挙げられる。申請者はこれらの問題に明確な解答を与えることを念頭におき、以下の研究を行った。

第二章では、近傍宇宙における AGN をはじめとする X 線天体の無バイアスなデータサンプルを提供することを目的として、全天 X 線監視装置 (MAXI) に搭載されたガススリットカメラ (GSC) による 7 か月間の 4-10 keV の全天 X 線データに基づいて、MAXI/GSC 高銀緯天体カタログ第一版の作成を行った。天体候補の探査と、それらの明るさと位置の決定には、自ら開発した最尤推定法に基づくイメージフィット解析の手法を用いた。最終的に、銀緯 $|b| > 10^\circ$ の領域から 7σ の有意度で 143 個の X 線源を検出し、その検出限界は $\sim 1.5 \times 10^{-11}$ ergs/cm²/s (1.2 mCrab) に達する。143 個の天体種族の内訳は、系内天体・大小マゼラン銀河天体が 38 個、銀河団が 48 個、AGN が 51 個などとなっており、非常に高い同定率 (>97%) となっている。検出された X 線源の面密度や種族分布が過去の似た観測波長帯における全天サーベイでの結果と一致する一方で、30 年前に観測された AGN の約 40% が今回は検出されておらず、AGN の光度の長期変動を示唆する観測事実が得られた。カタログ作成に加え、近傍宇宙における AGN の光度関数と隠された AGN の比率の調査も行った。

第三章では、遠方宇宙における AGN の特性を調査することを目的として、すばる・XMM ニュートンドープサーベイの X 線データに基づき、AGN の数密度の進化と隠された AGN の比率の調査を行った。サンプルには 30 個の高光度 AGN を用いており、うち 20 個には分光赤方偏移を持つ。AGN の空間密度を計算したところ、高赤方偏移になるにつれて急激に密度が小さくなるという事実が確認できた。また、他の研究結果と組み合わせることで、このときの減少率が指数 -6.2 のべき乗でうまく表されることを、過去最大のサンプルに基づいて過去最大の精度で求めた。さらに、観測バイアスを丁寧に補正することによって、高赤方偏移宇宙における隠された AGN の比率を精度よく算出した。

最終的に、これら二つの近傍宇宙と遠方宇宙における研究を比較することで、隠された AGN の比率が赤方偏移が大きくなるにつれて大きくなるという、宇宙論的進化をしているという示唆を得ることができた。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本申請論文は、隠された AGN 種族の比率という、AGN の現象の理解の鍵となる観測量に着目し、銀河中心巨大ブラックホールの成長史の解明に迫ることを目的としている。申請者は、近傍宇宙と遠方宇宙の両方の時代における AGN の X 線観測のデータを丁寧に解析し、それぞれの研究において非常に信頼性の高い観測結果を導いた。そして最終的に、隠された AGN 種族の比率が近傍宇宙に比べて遠方宇宙では有意に大きいという結果を得て、赤方偏移が 3 を超える宇宙は現在と比べて、銀河中心巨大ブラックホールの環境が異なるという、きわめて興味深い示唆を得ることに成功している。

第二章では、最新の全天 X 線モニターである MAXI を用いて、新たな全天 X 線天体カタログを構築しており、さらにその結果を用いて近傍宇宙における AGN の光度関数と隠された AGN 種族の比率を導出している。MAXI/GSC がカバーする 2-30 keV というエネルギーバンドでの全天 X 線サーベイは HEAO-1 衛星によるもの以来 30 年振り、低エネルギー側での探査を行った ROSAT 衛星や高エネルギー側での探査を行った Swift 衛星などといった近年のサーベイと相補的な役割を果たす。そのデータを用いて作られた今回の天体カタログは、近傍宇宙の 4-10 keV におけるサイエンスの基本となるため非常に重要である。実際、MAXI カタログのデータを基に作成された近傍宇宙における AGN の光度関数は、過去の全天サーベイに基づく結果で見られていた光度関数間の矛盾を解決した。さらに、隠された AGN 種族の比率を求める際、これまでの研究では不十分にしか行われていなかった観測バイアスの補正を、光度関数やサーベイ面積のフラックス依存性という情報を考慮することで丁寧にいき、非常に信頼性の高い結果を導出している。

第三章では、多波長ディープサーベイのデータを用いて遠方 AGN の解析を行っており、赤方偏移が 3 を超えると AGN の空間密度が急激に小さくなっていく事実を確認し、さらに遠方宇宙での隠された AGN 種族の比率がおおよそ 0.6 であると導出している。遠方宇宙における AGN の空間密度の進化は、初期宇宙における銀河中心ブラックホールの成長史に直結する重要なテーマであり、今回申請者が導出した AGN の空間密度の減少率 $(1+z)^{-6.2}$ という数字は、データが少ない遠方宇宙において X 線観測から過去最高の精度で求められた結果であり、今後、初期宇宙における AGN 進化の研究で必ず参照されるべき重要な結果である。また、隠された AGN 種族の比率を求める際に、第二章で用いられたものとその他の観測バイアス補正の手段の二つを用いることで、過去の研究に比べてより信頼度の高い値 ($0.54 \pm 0.17 - 0.19$ または 0.59 ± 0.09) を導出している。ここで用いられた観測バイアスの補正方法は独自に開発されたものであり、サンプル数が少なく、観測バイアスの補正が不可欠となる高赤方偏移における AGN の種族比率の調査を行う上で、今後主流となるべき手法である。

これらはいずれも世界最先端の研究結果であり、よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 1 月 18 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行い、その結果合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降