

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	瀬戸口 健太
論文題目	Study of Supermassive Black Hole and Galaxy Coevolution in X-ray selected Active Galactic Nuclei Based on Multiwavelength Spectral Energy Distribution Analysis (多波長スペクトル解析で探るX線で検出された活動銀河核における超大質量ブラックホールと銀河の共進化)		
(論文内容の要旨) 本論文は、銀河中心の超巨大ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) と銀河との「共進化」過程を解明するために、X線で検出された赤方偏移パラメータ $z=0.2-0.8$ と $z\sim 0$ の活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) の母銀河を含めた多波長スペクトルエネルギー分布 (Spectral Energy Distribution; SED) を解析し、AGNにおける母銀河とSMBHの性質の宇宙論的進化を調べた研究である。 第2章では、スローンデジタルスカイサーベイ・ストライプ 82 (Stripe 82) 領域にある、X線で検出された $z=0.2-0.8$ のAGN に対し、既存カタログを利用して多波長 (赤外～X線) SEDを構築した。サンプルは60の1型AGN、137の2型AGNから構成されている。SEDモデルとして、AGNの極方向ダスト成分を考慮した最新のCIGALEコードを利用した。信頼できる1型AGNの母銀河およびAGNパラメータを求めるため、「すばる」望遠鏡 Hyper-Supreme Cam (HSC) のイメージを用いて母銀河成分の可視光データを抽出したカタログを使用した。系統的なSED解析の結果、以下のことが分かった。(1) 1型AGNにおけるブラックホール質量と星質量比は平均的に約1/500であり、近傍宇宙 ( $z\sim 0$ ) におけるブラックホール質量とバルジ質量比に近い。この比は、すばる・XMMニュートン深探査 (SXDS) 領域で見つかった、 $z\sim 1.5$ のより高光度の1型AGNと比べて、やや小さい。SXDS およびStripe-82 サンプルの統合解析の結果、この比は主にAGN光度に依存し、赤方偏移にはほとんど依存しないことが分かった。(2) 紫外線～X線スペクトル指数は、紫外線光度またはエディントン比と逆相関を持つ。(3) 同一のAGN光度範囲において、1型AGNと2型AGNの星質量分布は合致し、AGN統一モデルを支持する。 第3章では、Swift/BAT硬X線全天探査で検出された近傍宇宙 ( $z\sim 0$ ) のうち、距離50～100 Mpcの決まった空間内にあるAGN 31天体を対象とした。このサンプルは、可視分光観測および広帯域X線スペクトル解析の結果から、ブラックホール質量とX線光度が得られている。空間的に広がった天体に対して統一的なSED (赤外線～紫外線) を作成するため、波長・観測装置ごとに異なる角度分解能を補正した測光データを利用した。SED解析の結果、このサンプルは以下の性質を持つことが判明した。(1) 母銀河は、主系列にある星形成銀河か、または星形成が静かな銀河に属する。同一の星質量にある $z\sim 1.5$ のSXDS天体と比べ、星形成率は小さい。(2) ブラックホール質量と星質量比は、第2章で得られたAGN光度と赤方偏移の依存性に沿う。すなわち、この比は赤方偏移ではなく主にAGN光度に依存するという結果を支持する。(3) AGN光度と星形成率比は、近傍宇宙のブラックホール質量とバルジ質量比から推測される値より大き			

く、AGN活動が星形成活動に対し支配的であることを示唆する。

(論文審査の結果の要旨)

近傍宇宙において銀河の楕円体成分(バルジ)の質量とSMBHの質量は強い相関を持っており、両者が影響を及ぼしあいながら進化(共進化)してきたことが示唆される。しかし空間スケールが10桁も異なる両者の共進化の機構は謎に包まれている。解明の鍵は、SMBHへの質量降着の現場であるAGNである。透過力の高いX線で検出された完全性の高いAGNサンプルを利用して、AGNと母銀河の性質の宇宙論的進化を調べることで、両者の進化経路の解明に重要な手がかりが得られると期待される。申請者は、 $z=0.2-0.8$ と $z\sim 0$ という異なる赤方偏移にあるX線で選択されたAGNの多波長SEDを作成し、サンプルごとに最適な解析手法を考案・適用することで、信頼できるAGN光度、SMBH質量、星質量を求めることに成功している。さらに、過去に申請者の調査したSXDS領域にある $z\sim 1.5$ のAGNの結果と比較することで、これらの性質の赤方偏移依存性を議論している。

第2章は、13平方度という広域にわたって深いX線探査の行われたStripe 82領域に着目し、1型AGNと2型AGNに対して、別々の手法でSED解析を行った。1型は2型に比べて可視光でのAGN放射が強いため、母銀河成分とAGN成分の寄与を分離することが困難である。そこで申請者は、まず母銀河成分のみを抽出したカタログを利用して母銀河のパラメータを決定し、次に母銀河のパラメータを固定してAGN成分を含む全SEDを解析することで、精度良くAGN光度と星質量を推定した。さらに、この時に得られたAGNの可視光連続光度を用いて、より正しいSMBH質量を求めた。この手法は、「すばる」HSCの高角度分解能を生かした新規性の高い解析手法である。2型AGNに対しては、可視バンドで母銀河成分が支配的になるため、最初から全SEDに対してフィットを行うことで、星質量とAGN光度を推定した。サンプルの1型AGN 60天体、2型 137天体のSMBH質量、星質量、AGN光度はカタログ化しており、今後の共進化の統計的研究において利用価値の高いものとなると期待される。

第3章では、透過力の強い10 keV以上の硬X線で選択された近傍宇宙の決まった空間内にある完全サンプルに着目した。SEDの作成において、波長ごとに異なる角度分解能の影響を最小限にするため、均一化された点像分布関数で補正された測光データを用いるという工夫がされている。SED解析のため、X線スペクトル解析で使用されたモデルと同一のクランプ状トラス分布を仮定したAGN放射モデルを利用することで、X線解析と整合的な解析を行った。

第2、3章で扱った $z\sim 0.5$ 、 $z\sim 0$ のAGNと、SXDS領域の $z\sim 1.5$ のAGNを統合して、SMBH質量と星質量比の赤方偏移・AGN光度の依存性を調べたところ、この比は主にAGN光度に依存し、赤方偏移にはあまり依存しないことが分かった。SMBHは重いものほど昔の時代に形成されたという「ダウンサイジング」現象が知られている。この現象を説明するシナリオとして、近傍の低光度AGNと遠方の高光度AGNで進化過程が異なるとする説も提唱されている。本研究結果は、両種族に有意な違いはないことを示唆し、ダウンサイジングの起源の理解に一石を投じるものである。

まとめると、本研究は、異なるサンプルの特徴に応じたSED解析手法を用いること

でAGNと母銀河の性質を正確に推定し、さらに広い赤方偏移と光度範囲にあるサンプルを組み合わせることでその宇宙論的進化を制限することに成功した。これらは、SMBHと母銀河の共進化過程の解明に重要な手掛かりを与える結果として評価できる。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、令和6年1月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： \_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日以降