HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Observational Study on the Central Subparsec-Scale Structure of Active Galactic Nucleus with Very Long Baseline Interferometer [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	日浦, 皓一朗
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第12237号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61695
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Koichiro_Hiura_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士 (理学)　　氏名　　日浦　皓一朗

学 位 論 文 題 名

Observational Study on the Central Subparsec-Scale Structure of Active Galactic Nucleus with Very Long Baseline Interferometer

(超長基線干渉計による活動銀河核の中心サブパーセクスケールの構造に関する観測的研究)

銀河は星、ガス、ダークマター、超大質量ブラックホール (SMBH) によって構成されている宇宙の基本構成要素であり、その形成や進化の過程を明らかにすることは、宇宙そのものの進化を解明する上で重要であると考えられている。銀河の中ではガスから星が形成される過程が進むが、近年の観測機器や計算機の能力の飛躍的な向上に伴い観測的にも理論的にも著しい進展を遂げている銀河の形成・進化の研究からは、銀河の進化が単なるガスから星への物質の転換だけでは説明がつかず、フィードバック効果と呼ばれる星の形成を抑制する過程が重要な鍵を握っていることが示唆されている。このフィードバック効果として重要な役割を果たすものが、活動銀河核 (AGN) と呼ばれる天体である。

AGN は電波から γ 線までの広い波長帯で非常に明るく輝いている銀河中心核で、そのサイズが銀河全体の 1000 分の 1 程度にしか満たないのに、銀河全体の明るさに匹敵する光を放っている。その莫大なエネルギーは AGN の最深部にあると考えられている SMBH に物質が降着する際に解放される重力エネルギーに起因し、中心核領域に降着円盤やトーラス、ジェットなどの構造を形成する。電波の強い AGN で特に顕著に見られるジェットは、光速に近い速さで運動する高エネルギープラズマの流れで、銀河全体に匹敵する大きさをもつもの、さらには銀河間空間にも及ぶ巨大なものもあり、上記のフィードバック効果を担う銀河のエネルギー解放過程として重要である。

電波の強い AGN の中でもジェットの軸が我々の視線方向から逸れている種族である電波銀河は、ジェットの詳細な構造を実際に空間分解してその物理を探れる天体である。電波銀河には中心核付近に電波コアと呼ばれるコンパクトな電波源が存在し、そこから比較的細く絞られた電波ジェットが伸びている。電波ジェットの終端にはホットスポットと呼ばれる電波で明るい領域が存在し、そこで衝撃波加速された粒子はプラズマの袋状の構造に閉じ込められて、広がった電波ローブを形成する。これらの構造は一般的には銀河中心から 1000 パーセク (pc) を超えるような空間スケールにおいて見られ、なぜそのような比較的コリメートされた巨大な構造が形成されるのかということは大きな問題となっている。また、AGN のうち電波の強い天体は 1 割程度にすぎず、多くの AGN はこのような電波ジェットをもたないことが観測的に明らかになっているが、なぜ一部の銀河にのみこのような現象が起こるのかということも大きな謎となっている。電波ジェットの形成の理解には、その形成現場と考えられているジェットの噴出口付近の物理状態を明らかにする必要があると予想されるが、このジェットの根元を空間分解して観測することができるのは電波帯の超長基線干渉計 (VLBI) のみである。

このような背景のもと、本研究は AGN の中では比較的我々の近くに存在する電波銀河 3C 84（母銀河は巨大楕円銀河 NGC 1275）について、国立天文台が所有する VLBI 観測網 VERA を使って高い空間分解能で電波ジェットの時間変動を観測することで、電波ジェットの構造を明らかにすることを試みた。電波銀河 3C 84 は古くから間欠的なジェットの活動性をもつことが知られており、さらに 2005 年以降新たに電波帯で増光し始めており、全天でも屈指の観測対象である。VLBI を用いたジェットのモニター観測によって、この近年の電波帯の活動は中

心 1 pc 以内の電波増光に起因し、以前から存在していた成分に加えて新成分の噴出を伴うものであることがわかっており (Nagai et al. 2010)、その後、Suzuki et al.(2012) による米国の VLBI 観測網 VLBA の 2003 年から 2008 年にわたる観測データに基づく研究によって、新噴出成分は見かけ上のジェットの根元である電波コアに対して、直線ではなく曲がった軌跡をもつことが明らかになっている。本研究では、周波数 22 GHz 帯において VERA を用いたモニター観測を 2007 年から 2013 年までの 6 年間、全 80 エポックにおよぶ過去に例のない高い時間分解能で実施することで、ジェットの根元の 1 pc 以下 (サブパーセク) のスケールにおける電波ジェットの構造変化を調べることで、ジェットの根元付近における物理状態を明らかにすることを目指した。

このモニター観測の結果、新噴出成分は電波コアに対して天球面上を光速の約 0.3 倍という見かけの速度で、東西方向にわずかにふらつきながら南方向へ運動して行く様子が明らかになった。ジェットの内部衝撃波として明るく輝くジェットノットと呼ばれる構造は相対論的速度で運動することが他の電波の強い AGN の観測から知られているが、新噴出成分の運動速度は中心 1 pc 以内においてジェットノットに比べて十分遅く、銀河中心から 1000 pc を超える空間スケールにおいて見られるホットスポットの特徴と似ている。このことから、3C 84 の電波増光の原因となっている新噴出成分の正体が、銀河中心から 1 pc 以内で形成されたホットスポットを含むミニ電波ローブであると考えられることを明らかにした。

また、6 年間にわたって 80 エポックの観測データを得たことによって、新噴出成分の運動を詳細に追うことができ、その運動は単なる直線運動や放物運動ではなく、周期的に運動をしている可能性を見出した。これは、天球面上での電波源の運動が直線フィットするよりも直線と三角関数の和でフィットする方が有意であることを F 検定及び赤池情報量規準 (AIC) によって統計的に調べることで帰結される結果であり、このフィッティングにより周期が約 5 年であることが明らかになった。この周期運動は歳差運動によるものと推定され、一般には磁気スピン効果、ブラックホール連星、Bardeen-Petterson 効果がその原因となる物理機構として考えられる。しかし、3C 84 では強い磁場が観測されていないことから磁気スピン効果は期待できず、また、ブラックホール連星に期待されるような周期的な光度変化も観測されていない。このことから、本研究では噴出物の歳差運動の原因として、ブラックホールのスピンの軸とジェットの根元と考えられている降着円盤の軸が一致していないことにより引き起こされる Bardeen-Petterson 効果と呼ばれる相対論的効果によって説明できるのでないかと推定した。ただし、導き出された周期に対して、観測期間が短すぎること、加えて観測方法による制限から噴出物の絶対位置情報が欠落していることから、Bardeen-Petterson 効果であることの検証には、位置精度の高い観測が可能な位相補償観測によるより長期間にわたる継続観測が必要である。

以上のように本研究は、銀河のエネルギー解放過程として重要な役割を果たす電波ジェットの先端部に形成されるホットスポットが SMBH の近傍 1 pc 以下の領域において既に形成されていること、さらに、相対論的効果によってホットスポットが周期約 5 年で歳差運動している可能性を明らかにした。これらのことは、かつてない高頻度でのモニター観測によって初めて得られたものであり、ホットスポットが SMBH の近傍サブパーセクスケールにおいて形成されていたことは、物質密度や速度といったジェットの根元における物理状態に対して制限を与えうる点で、ホットスポットの形成と進化を理解する上で重要な知見であり、今後より現実的な理論モデルの構築に寄与するものと考えられる。