

ほぼすべての銀河の中心には超巨大ブラックホール(BH)が存在すると考えられており、そこに十分な質量降着が起きると活動銀河中心核 (AGN) として広い波長の電磁波が放出される。本論文は、超巨大 BH 近傍の構造を調べるための手段としてミリ波 VLBI (超長基線電波干渉計) を採用し、そのデータ解析方法に改良を加えたうえで、3つの AGN について観測的研究を行ったものである。

本論文は五章および補遺からなる。第一章では本研究の対象である超巨大 BH と、それを観測するための手段のミリ波 VLBI が紹介されている。ミリ波 VLBI とは、長基線を確保したミリ波電波望遠鏡群を組み合わせることで最高の角度分解能と優れた透過力を達成するもので、AGN の超巨大 BH 近傍の構造を直接撮像するために最も強力な手段であることが強調されている。一般に、VLBI で得られるデータは天体画像をフーリエ変換したものであり、それは相関振幅と相関位相とからなる。高精度のイメージング観測には両者とも必要であるが、位相情報を得ることは技術的に困難である。実際、学位申請者が参加している国際的なミリ波 VLBI プロジェクト Event Horizon Telescope (EHT) においても、相関位相の指標となるクロージャー位相の測定は、最近になってやっと実現しつつあることが述べられている。

第二章では、天の川銀河中心の超巨大 BH である Sgr A* の、日本の VLBI 装置である VERA および米国の VLBA による観測結果について述べられている。2007 年の VLBA 観測中には 10 日以上継続するフレアが見られたが、フレアの前後では Sgr A* の大きさには変化がなかったことが VERA によって確認された。これから、フレアはジェット等の新たな放射成分の発生によるものではなく、降着円盤の輝度温度増加によるものと考えられる。ただし、Sgr A* に適用可能な円盤モデルを詳細に検討したところ (付録 A)、単純な質量降着率の増加では熱的電子の温度上昇は期待できないことが示された。よって、観測されたフレアの原因として、降着流中の衝撃波等の非熱的な過程が提案されている。

第三章では、電波銀河 M87 の、EHT により 2012 年 3 月の超高エネルギーガンマ線活動期に実施された観測について述べられている。ハードウェアおよびデータ解析手法の改良、特に申請者自身が行った位相補償の効果により、大幅に感度が改善し、最短波長 1.3mm におけるクロージャー位相の測定に初めて成功した。これによって BH 周辺のシュワルツシルド半径スケールの電波画像に関する情報を得ることが可能になった。特に、降着円盤やジェット中のプラズマの空間・エネルギー分布および磁場の形状によって、二次元放射モデルに BH の「穴」が空いている場合と空いていない場合など、モデルの妥当性を評価することができるようになった。残念ながら、電波望遠鏡間の相関がでなかつ

た時期があったため、本観測で得られたデータから異なるモデルを判別することはできなかったが、今回用いたハワイ、アリゾナ、カリフォルニア間のアレイに加えて、将来的にメキシコやチリの望遠鏡を組み合わせれば、同じ手法によってモデルを判別できることが示された。

第四章では、VLBI および他波長によるブレーザー天体の観測が概観された後、ブレーザー天体 NRAO530 について、2010 年 11 月のガンマ線フレア発生の約半年後、2011 年 4 月に実施された EHT による観測結果、およびその前後に実施された他の装置による電波とガンマ線観測結果について述べられている。EHT による測定でクロージャー位相がゼロではないこと、すなわち空間構造が分解されたことが示された。さらに、通常的手法では画像構成が困難であるような微弱な信号に対し、ベイズ統計と交換モンテカルロ法という学位申請者が独自に採用した手法を用いることによって、画像を近似的に復元することができた（付録 B）。その結果、EHT の 1.3mm 帯を用いて測定したジェットの本拠付近における向きは、7mm 帯で測定したより大きなスケールにおける向きとは異なり、ジェットが曲がりながら進行していることが明らかになった。また、多波長のデータから、1.3mm 帯で観測したジェット成分はガンマ線フレアの対応成分と考えられ、ガンマ線フレアから求めた放射領域と半年後に EHT で測定した放射領域のサイズを比較すると、超光速膨張が起きていることが示された。超光速膨張現象を初めて定式化し（付録 C）、それによって、ジェットの速度、見こみ角、ドップラーファクターに、今まで以上に厳しい制限を与えることができた。

第五章は結論と将来への展望である。本論文で得られた結果がまとめられ、それを基に、近い将来、EHT によって BH 周辺の降着円盤やジェットの直接撮像が可能になるという展望が述べられている。

以上に述べたように、本論文は、自ら取得した最先端のミリ波 VLBI 観測データを、新たな手法によって精密に解析し、超巨大 BH 近傍の高エネルギー現象を観測的に明らかにするとともに、ミリ波 VLBI 観測の将来展望を示したものとして、高く評価できる。なお、本論文は、本間希樹氏、高橋芳太氏、小林秀行氏、小山友明氏、永井洋氏、紀基樹氏、小山翔子氏、新沼浩太郎氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって観測・解析・結果のまとめを行ったもので、論文提出者の寄与は十分である。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。

以上