

氏 名 浅 田 圭 一

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第753号

学位授与の日付 平成16年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 A Helical Magnetic Field in AGN Jets:

Revealed by VLBI Polarimetry

論 文 審 査 委 員	主 査 教授	櫻井 隆
	教授	川口 則幸
	助教授	田村 元秀
	教授	柴田 一成 (京都大学)
	教授	井上 允 (国立天文台)

論文内容の要旨

活動銀河核は一般的な銀河核は一般的な銀河の光度の $10^{-2} \sim 10^4$ 倍ものエネルギーを、 1pc^3 より小さな領域から放出する、全宇宙でもっとも大規模な天体現象である。その莫大なエネルギーの生成は、活動銀河の中心に存在する超巨大ブラックホールに、それを取り巻くように存在する降着円盤から物質が落ちるときの重力エネルギーの一部を開放していることによると考えられている。活動銀河核に伴う天体現象のひとつに活動銀河核ジェットがある。活動銀河核ジェットは中心核から対象な二方向に細く収束された形で高速ガス流が噴出している現象で、大きなものでは母銀河の大きさをはるかに超えて、数 Mpc にも達する。またジェットの速度に関しても非常に速く、超高速現象が観測されることなどから光速に近い速度を持っていると考えられている。しかしながらこのように光速近くまでジェットを加速する加速機構、および、数 Mpc にわたってジェットをよく収束した形状で保つための収束機構はよく分かっていない。理論的な考察では、活動銀河核ジェットの加速機構および収束機構に対しては、様々なモデルが提案されており、そのうちのひとつに磁気流体モデルがある。(e.g. Meier et al. 2000)。降着円盤（もしくは巨大ブラックホールそのもの）を貫くような磁場が存在していたとすると、その磁場は降着円盤の回転とともにねじられていき、ヘリカル磁場へと姿を変える。降着円盤の回転により作られたねじれは対極磁場に沿って伝わるが、このときに働く磁気圧勾配と、回転する磁場によって振り回されて生ずる磁気遠心力によって、プラズマは磁気に沿った方向に加速されジェットとして吹き出すという磁場の捻り上げによる加速機構が提唱されている。ヘリカル磁場は伝播するときに動的磁気ピンチ効果によって前方の磁場を収束させ、これによりジェットが収束する。このように磁気流体モデルは活動銀河核ジェットの加速機構および収束機構を統一的に説明するモデルである。一方的観測的には、1990年代初めのアメリカ国立電波天文台が運営している観測装置 Very Long Baseline Array (VLBA) の登場により、ジェットの pc スケールでの詳細な偏波観測が比較的容易になり、多周波数偏波観測の結果得られるファラデー回転量度分布、偏波角分布を調べることにより、3次元磁場構造を推定することが可能になった。ファラデー回転は磁気プラズマ中を電磁波が伝播するときに偏波角が回転する現象で、その偏波角の回転量は視線に平行な磁場の強さと電子密度の積を視線に対して積分した量で表され、回転方向は視線に平行な磁場の向きを表す。またジェットはシンクロトロン放射をしていることから偏波角分布は視線に対して垂直な磁場の方向分布を表す。そこで本研究では活動銀河核ジェットにおける磁場の役割に注目して、VLBA 偏波観測により活動銀河核ジェットの現在観測できる最も内側の部分（ジェット形成領域に最も近い部分）における 3次元磁場構造を推定することを試みた。解析には、1995年に観測されたクェーサー 3C273 のアーカイブデータと、2002年に我々が行った観測データ、とを用いた。解析の結果、両データについて、回転量度はその成分全域に渡って正の値をもっているが、ジェットの右岸から左岸にかけて滑らかな傾きがあることが分かった。また、2回の観測結果により回転量度の時間変化が観測され時間変化をする回転量度分布はジェットの運動に付随している可能性が強いことが示された。回転量度を起こす磁気プラズマの候補としては、母銀河中

の狭輝線領域に存在する磁気プラズマ、ジェット自身の磁気プラズマが考えられるが、狭輝線領域のプラズマがこのような速い時間変化を示すと考えることが出来るので、ジェットが磁気流体モデルで予測されているようなヘリカル上の磁場を持った磁気プラズマで包まれていると解釈できる。すると回転量度の値とジェットが我々に向かって吹き出していることから、このヘリカルな磁場は我々に向かって右ねじの方向に回っていると考えることが出来る。また観測されたヘリカルな磁場が磁気流体モデルによって作られたものだとすると、磁場の旋回の向きから降着円盤の回転の方向が予測でき、降着円盤（もしくは超巨大ブラックホールそのもの）は時計回りに回っていると考えられる。これらの結果は偏波観測がジェットの 3 次元磁場の解明に有効な手段であることを示すとともに磁気流体モデルという仮定のみで未だ分解能不足で観測的には見えない内側の構造を、外側の構造を使って探査できる可能性があることを示唆した結果である。

論文審査結果の要旨

超長基線干渉観測の専用装置として建設された米国の VLBA (Very Long Baseline Array) の完成により、活動銀河中心核 (AGN) の偏波観測で高品質のデータが得られるようになった。AGN から吹き出るジェットはシンクロtron放射をしているため、偏波観測は AGN 中心部の物理状態について重要な情報を与えるものである。このジェットは相対論的な速度と内部エネルギーを持ったプラズマで、まだ直接観測されていない中心部の巨大ブラックホールから何らかのメカニズムで生成・加速され、工学的に観測される銀河の大きさよりも遠方まで、数百キロパーセク以上にわたって吹き出している。このジェットの加速・収束機構の解明は AGN 研究の大きな課題であるが、加速領域が千分の 1 秒角のスケールと非常に小さく、これまで観測は困難であった。理論的には光圧加速や磁気流体加速などが提案されていたが、定説と呼べるものはなかった。

本論文中で申請者は、VLBA の偏波観測データから AGN 中心核近傍のジェットのヘリカル磁場構造を正確に決めるため、申請者は以下のような手法を開発した。シンクロtron放射による直線偏波は、放射源から観測者に至る間のプラズマによってファラデー回転を受け、偏波方向角が回転する。従ってファラデー回転の量 (RM: 回転速度) を測定し、正確なジェットの磁場の情報を得ることが必要となる。このため複数波長で偏波観測を行い、回転量度を求め、天球面上に射影された放射源の磁場方向を求める。一方、回転量度の大きさ・符号は、磁場の視線方向成分と、プラズマ密度、プラズマ伝播経路との積であり、これらから磁場の視線方向成分に関する情報も得られ、磁場の 3 次元構造が推定できる。

よく知られたクェーサーである 3C273 のジェットについて、上記の解析方法を適用し、回転量度がジェットの向きに垂直な方向に系統的に勾配を持って分布していること、投影磁場の方向がジェットの向きに平行および直行部分があることを観測から示していた。これらの特徴はヘリカル磁場構造により説明できる。中心核ブラックホールのまわりの降着円盤が、円盤を貫く磁力線をよじるという磁気流体加速モデルを適用し、ヘリカル磁場を生成する降着円盤の回転の向きも決めることができた。また 1995 年と 2002 年の観測データから、ファラデー回転を起こしている、ジェットをさや状にとりまく低温プラズマの運動が捉えられ、これがジェットとともに移動していることも示した。1995 年のデータはアーカイブデータ 2002 年は申請者自身の観測によるものである。

このように申請者の研究成果は、AGN ジェットの成因について大きなインパクトを与えたものである。実際、本件球の発表後すでに各国の関係者から同様の解析手法による観測結果が出されるなど、この分野に与えた影響は大きく、高く評価できる。

なお審査委員全員の出席のもと、公開の論文発表を行った。まず、申請者による論文内容の口頭発表を約 40 分間行い、その後引き続き申請者に対し審査委員および一般聴講者による質疑応答を約 20 分、また審査委員のみによる質疑応答をさらに約 20 分行った。申請者は、研究の背景、目的・意義、観測・解析手法の斬新性、また研究結果の要点、その重要性やこの分野に与えたインパクトなどについて、明快に説明し、質疑に対して的確に対応した。その後審査委員のみによる審議を行い、論文の科学的な価値は十分に認められる事、出版済みの学術論文も含めて、申請者の寄与が主であることを確認した。さらに申請者の天文学に関する学識や力量も十分であることを確認し、また語学力についても問

題ないことを確認した。

以上の試験・審査の結果、申請者は天文科学において、博士(理学)の学位を受けるに相応しい力量を持つものと認め、審査委員全員一致により合格と判定した。