

氏 名 佐 藤 聡 子

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第388号

学位授与の日付 平成11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 Parsec-Scale Nuclear Structure of NGC3079  
based on VLBI Observations

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 家 正 則  
教 授 鯉 目 信 三  
教 授 唐 牛 宏  
教 授 井 上 允 (国立天文台)  
助 教 授 坪 井 昌 人 (茨城大学)

## 博士論文の要旨

いくつかの活動銀河で、中心核から強力な、メーザ放射と呼ばれるマイクロ波領域のレーザ放射が検出されており、これらはメガメーザと呼ばれている。これまでに数個のメガメーザ天体が超長基線干渉計 (VLBI) で観測され、その銀河の中心核近傍数光年スケールの領域の構造や運動が観測的に明らかになってきた。それらの結果から、メガメーザ放射が中心核近傍領域の薄い回転分子円盤や中心核からのジェットに付随している例が示された。しかし、メーザはごく限られた物理状態にあるガスのみを見ていることになり、中心核領域全体の構造や運動を調べるために、他の放射の情報も同時に得て議論することが重要となってきた。我々は、水メガメーザ天体のひとつである NGC 3079 が水メーザだけでなく、中心核近傍領域の連続波、中性水素原子および水酸基吸収線の VLBI 観測が可能と考えられることに着目し、中心核領域の解明を行なうために VLBI 観測を行なった。

VLBI 観測の結果、まず中心核の位置を二つの連続波成分のうち北西側にある連続波成分であると決定した。その手がかりは以下の通りである。まず第一は、多周波による連続波観測より得られた、コンパクトな構造および 10 GHz 付近にピークを持つ連続波スペクトルで、低周波数側で吸収を受けたスペクトルは、光学的に厚い領域からの放射であると解釈される。中心核からの放射の特徴でもある。第二は、モニター観測により、メーザガスを基準にして顕著な運動が検出されなかったこと、第三は、新たに検出された速度幅の広い ( $\text{FWHM}=265 \text{ km s}^{-1}$ ) 中性水素原子吸収線の位置である。この吸収線は、この連続波成分を背景にした部分のみから検出され、他の吸収線より十倍高いカラム密度 ( $3 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ ) が得られた。速度幅の広い中性水素原子吸収線のガスのスケールが数パーセク程度であることから、中心核近傍に付随する中性水素ガスと考えるとうまく説明できる。これらの手がかりは全て北西連続波成分が中心核であるという決定に大きく貢献する。一方、他方の連続波成分はジェットと結論づけられる。このことは、メーザガスを基準にした時の運動が中心核から相対論的速度で噴出するジェットの運動でうまく説明できることから支持される。

次に、中性水素原子、水分子ガスの分布の説明を試みた。中心核のみに見える幅の広い中性水素原子吸収線は、中心核近傍に付随する中性水素ガスの運動で説明することが可能である。中心核周囲でガスが回転していると仮定すると、回転軸の向きは、ジェットの向き、中性水素原子吸収線の速度勾配、速度変化するメーザの位置からそれぞれ同じ向きが示唆され、方位角は  $-20 \sim -50^\circ$  となる。ここで示された回転軸は銀河回転軸とはほぼ垂直である。銀河全体の回転系と中心核近傍領域の回転系とが異なることは、これまでのメガメーザの観測でも示されてきたことであり、NGC 3079 の観測結果はこのことが銀河にとって珍しい現象ではないことを示唆する。メーザの分布は、連続波成分と相対位置が異なることから、ジェットとは関係がないと考えられる。メーザガスの分布は方位角約  $10^\circ$  の方向に約 3 光年にわたっていることから、この回転は、3 光年程度の厚みを持った円盤であると考えられる。これまでメガメーザの観測から示唆されてきた構造の説明例を NGC 3079 にも直ちに適用することは困難であり、このことは、メガメーザの構造の多様性を暗示する。

## 論文の審査結果の要旨

分子の特定のエネルギー準位差に相当する波長の電波がメーザー増幅されて、メーザー放射天体として観測されている。超長基線干渉計 (VLBI) により、活動銀河の中心核から強力な水メーザー放射をしているメガメーザー銀河の観測が最近行われるようになった。初期のメガメーザー銀河 NGC 4258 の VLBI 観測で、中心核の 1 光年程度の領域にケプラーの法則に従った回転運動をする分子円盤システムが存在すること、さらにその中心に大質量ブラックホールの存在が考えられることが、極めて単純明瞭な力学的考察から示された。これから、メーザー放射の VLBI 観測が銀河中心核領域の解明に重要な役割を果たすことが新たに明らかになった。その後、NGC 4258 で回転システムを示す指標である、メーザー放射領域の中で高速回転を示す領域と時間的な速度変化を示す領域の確認を主に、メガメーザー銀河で回転系検出の試みが行われている。しかしそれぞれの銀河にあるメーザー放射領域の数が不足している等の理由で回転系の確認は十分にはされていない。

NGC 3079 は数少ないメガメーザー銀河の中でも、メーザー放射の他に、強い連続波成分と中性水素および OH 吸収線スペクトルを持つ特異な銀河である。本申請者はこの点に着目して、これらの VLBI 観測によって NGC 4258 で示された中心核に関するパラダイムの検証を行うことを試みた。

その結果、これらを総合的に判断して回転系の中心が明らかにされ、回転軸方向も決定することが出来た。中心核領域においてこれらの決定は今後の研究にとって基本的で重要なステップとなり、関連研究分野に重要な進展がもたらされた。本研究の独創性並びに得られた成果は、以下の通りである。

(1) 同時 4 周波の連続波観測によって、単一周波数では比較が不可能であった連続波 2 成分 A と B の連続波スペクトルが明らかに異なることを示した。さらにモニター観測によって、A と B との間隔が光速度の 20% の準光速度で増加していることを明らかにした。

(2) 最も高輝度を持つメーザー放射領域に位相準拠した画像作成法を用い、各メーザー放射領域間の相対運動は検出されないこと、メーザー放射領域は連続波成分 B に対して相対運動が無く、従って成分 A がメーザー放射領域に対しても準光速度で運動していることを明らかにした。

(3) 連続波成分 A および B を背景にした中性水素吸収線の輪郭を測定し、B の吸収線幅が A の吸収線幅の 2 倍以上あること、また、B の柱密度が A の柱密度の約 10 倍に達することを明らかにした。

(4) 上記の観測結果を総合的に吟味して、連続波成分 B が中心核領域の中心と考えられることを初めて示した。B が中心と考えた場合、A は準光速運動をするジェットと理解される。ジェットは通常、円盤に垂直に吹き出すことや、回転軸上にあることを示すメーザーの速度変化を示す領域と連続波ジェット成分 A とが互いに近い事から、回転軸は B を通り、速度変化を示す領域や A に向く方向と考えられることを示した。

(5) 回転系を上記のように定義した場合、メーザー放射領域の分布および中性水素吸収線から、水分子を含む回転分子円盤の存在形態について、モデルとして NGC 4258 の解釈で成功を収めた回転分子円盤を適用し、考察した。まず NGC 4258 のような幾

何学的に薄い回転円盤モデルでは説明がつかないこと、銀河回転とは整合しない等の困難があることを示した。この事から幾何学的に厚い回転円盤モデルを検討し、観測される速度場は運動学的には説明できる事を示した。しかし、幾何学的に厚い回転円盤でのメーザー放射過程の詳細等については未解明な問題があり、放射機構の検討を含め今後の研究が必要なことを明らかにした。

本申請者の以上の成果は、新しく発展の可能性を開いたメガメーザー銀河の研究にとって極めて重要な知見と問題提起を含み、当該分野における今後の研究に貴重な貢献をしたと評価される。

以上を勘案して本審査委員会は全員一致により、本論文は博士（理学）の学位を受けるにふさわしい内容を持つものと判定した。