

氏 名 萩原喜昭

学位（専攻分野） 博士(理学)

学位記番号 総研大甲第385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 High-Resolution Interferometric Study of Circumnuclear  
Gas in Radio-Active Galaxies

論文審査委員 主査教授 笹尾 哲夫  
教授 福島 登志夫  
助教授 川邊 良平  
助教授 浮田 信治  
教授 平林 久（宇宙科学研究所）

Many attempts have been made so far to study properties and kinematical distributions of interstellar matter in the circumnuclear region of radio-quiet galaxies using interferometers with high angular resolution. However, compared to a variety of samples of radio-quiet galaxies, samples of radio-active galaxies have few detections, compared to radio-quiet galaxies, because of the low gas mass and larger distances to the galaxies. To detect molecular gas in radio-active galaxies, we need a new interferometer with higher sensitivity than existing arrays.

I devoted myself to the construction of the extended millimeter array system, Rainbow Array system, on the basis of existing Nobeyama Millimeter Array(NMA). The Rainbow Array consists of the six 10 m radio telescopes and the 45 m telescope in Nobeyama Radio Observatory. I contributed to the instrumentation development, including building the SIS receiver and its electronics, the design of the optics, and installing these instruments. After constructing the array system, the system tests were conducted to verify the whole array system. The use of the 45 m telescope with NMA resulted in a great improvement in the sensitivity. Finally, I have employed the Rainbow Array to observe the radio galaxy NGC 1275 in the CO ( $J = 1 \rightarrow 0$ ) transition.

The observations of NGC 1275 were carried out at an angular resolution of  $\sim$  one arcsecond with the Rainbow Array, using self-calibration to minimize baseline calibration errors which mainly arise from uncertainties of 45 m – 10 m baselines.

The CO line emission of NGC 1275 was found to be concentrated in the central  $r < 400$  pc region around the nucleus. The total molecular mass estimated from the line intensity is  $\sim 10^9 M_{\odot}$ . This value is only 4.5% of the molecular mass estimated from the previous observations within the central 10 kpc region. Although there are some discrepancies between my results with those in published images, the follow-up NMA observations confirmed that the image obtained with the Rainbow is reliable.

The CO twin peaks structure with a radius of 1.2 kpc from the nucleus reported by Inoue *et al.* (1996) and the newly detected CO central concentration seem to imply that the detected central CO emission could be the result of gas fueling from the outer molecular gas ring structure, by analogy with the Seyfert galaxy NGC 1068. The central unresolved CO emission peak could form the molecular torus which obscures the central engine from our direct view. It is very interesting that the circumnuclear gas surrounding the radio-loud nucleus has a very similar morphology to that around the radio-quiet nuclei. In conclusion, I suggest that the radio activity in NGC 1275 is *not* determined only from the properties of circumnuclear gas, but it might be also related to the nature of the central engine.

The studies of NGC 5793 began with the detection of water maser emission toward the center using the 45 m telescope. The maser emission is symmetrically offset from the systemic velocity and could be inferred to arise in a rotating molecular disk by analogy with NGC 4258. VLBA observations were then conducted to search for a parsec-scale maser disk. The maser spots were found to be offset from the continuum peak by  $\sim 3$  pc with an alignment between position angles of nuclear continuum jet. It is likely that maser emission originates in a molecular cloud foreground to the jet, and that amplifies the radio jet in the background. In addition to maser studies, we made VLBA 18-cm observations to search for OH absorption, which revealed that there exists compact OH gas distribution about 5 pc from the radio nucleus, showing a velocity gradient along the axis of the galactic disk on a larger scale. The sense of the OH velocity field differs from that of the kiloparsec-scale CO disk which I imaged using NMA. This suggests that the compact OH absorbing gas cloud might trace the circumnuclear molecular gas with kinematical motion on parsec scale.

Thus, a series of parsec-scale images of NGC 5793 revealed a variety of molecular gas distribution in the circumnuclear region of this AGN.

## 論文の審査結果の要旨

国立天文台野辺山宇宙電波観測所のNMA（野辺山ミリ波干渉計）をはじめとするミリ波電波干渉計を用いた観測によって、その高い空間分解能を生かし、生まれつつある遠方の銀河や星を取り巻く原始惑星系円盤が発見され、惑星系・星形成や原始銀河の新たな描像が得られてきた。一方、活動銀河中心核部にあると予想される分子ガストーラスの存在を検証したり、また惑星系円盤の内側の惑星が生まれる現場の構造を調べるために、既存の装置に比べてさらに高い空間分解能と感度を持つミリ波干渉計が新たに必要とされていた。

本申請者は、NMAと野辺山45mミリ波望遠鏡を結合させた超高感度ミリ波干渉計システム（Rainbow干渉計）の開発に加わり、その心臓部である、45m鏡搭載用の低雑音ミリ波受信機システムを開発・製作・試験し、Rainbow干渉計による世界一の高感度・高分解能観測を実現させた。

また、この干渉計を実際の天文観測に応用し、活動銀河NGC1275の中心部の分子ガスの高感度・高空間分解能観測を行い、これまで良くわかっていなかった中心核周辺の分子ガスの構造を明らかにした。本研究によって、ミリ波天文学の観測システムに大きな進展があり、新たなミリ波天文学の可能性を示したと評価できる。それに加えて、活動的銀河中心核の分子ガスの構造に関して、今後の統一的な描像の獲得に向けて、貴重な情報となる新たな知見を多く得たことも評価できる。

本研究で得られた成果、独創性は以下の通りである。

### 1) Rainbow干渉計用受信機の開発および、基礎実験

Rainbow干渉計に不可欠な45m鏡搭載用の超伝導受信機システムを開発・製作し、世界的水準の高性能100GHz及び150GHz帯受信機システムを完成させた。このシステムを45m鏡に搭載し、単一鏡としての基礎性能の評価並びに試験観測を行い、単一鏡観測で十分使用可能であることを確認した。また、干渉計観測のために必要となる45m鏡の様々な補正（副反射鏡焦点位置補正、基線長補正など）について詳細に検討し、Rainbowの干渉計としての性能評価試験を行い、高感度性能を実証した。

### 2) Rainbow干渉計による活動銀河NGC1275中心部の分子ガス観測

Rainbow干渉計を用いて、中心部に明るい電波の核を持つ活動銀河NGC1275の中心領域で、一酸化炭素（ $J=1\rightarrow 0$ ）分子輝線の観測をおこない、ほぼ1秒角というきわめて高い空間分解能を実現した。これにより、新装置の初期成果としてのさまざまな困難を克服しつつ、中心核から200パーセク以内に集中する太陽質量の10億倍にもものぼる大量のガスを検出することに成功した。また、1キロパーセク程度に長く伸びた棒状の分子ガス構造を新たに見いだした。このような観測結果に基づいて、巨大楕円銀河であるNGC1275の中心部のガスの構造が、典型的なII型セイファート銀河である渦状銀河NGC1068の中心部と良く似た構造をもつことを示唆し、分子ガストーラス（もしくは円盤）の存在を議論した。

### 3) 活動銀河NGC5793の詳細観測（Appendix）

2) と関連する研究として、活動銀河NGC5793の中心核の詳細観測を様々な電波望遠鏡を用いて行った。この研究成果は、本論文のAppendixとしてまとめられている。

本申請者は、この銀河中心核部で水分子の強いメーザー放射（メガメーザー）を初めて検出し、その空間分布を明らかにした。一方、水酸基分子の吸収線を用いて、中心核部のわずか数パーセクという狭い領域のガスの運動と分布を詳細に調べ、分子ガストーラスの存在を示唆する速度構造を見いだした。また、連続波の観測で、ジェット構造を初めて描き出す事に成功した。

本申請者の以上の諸結果は、ミリ波天文学の観測装置の開発研究にとって重要で独創的な成果であり、今後の高分解能・高感度観測のための基礎的な研究として高く評価できる。また、銀河中心核の観測的研究も、活動的中心核の統一的な描像作りの基礎となる重要な新知見を得たものであり、評価出来る。