

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20540233

研究課題名(和文) 日韓共同電波干渉計観測による若い電波銀河の活動性と進化の研究

研究課題名(英文) Investigation of Activity and Evolution of Young Radio Galaxies with Japan-Korea Joint Radio Interferometer

研究代表者

輪島 清昭 (WAJIMA KIYOAKI)

山口大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：90452630

研究成果の概要(和文)：

若い電波銀河の進化と活動性の探査に要求される高感度での電波干渉計観測を実現するため、ハードディスクを記録媒体とするシステムを構築しこれを用いた広帯域観測に成功した。また、短時間強度変動を示す活動銀河の同時観測を山口 32 m 電波望遠鏡および韓国宇宙電波観測網との間で行い、ミリ波帯での強度変動の特徴について新たな結果を得た。さらに、電波銀河の中心核周囲の降着円盤モデルに基づく放射スペクトルの計算機シミュレーションを行い、電波銀河で観測される電波から X 線にわたるスペクトルを再現できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：

We successfully carried out wideband radio-interferometric observations with the new disk-based observation system to investigate activity and evolution of young radio galaxies, for which a high sensitivity data acquisition system is required. We also made simultaneous observations with Yamaguchi 32-m radio telescope and Korean VLBI Network toward active galaxies which show short-term variability, and obtained new results on the variability feature at mm-wavelength. We concurrently performed numerical calculations of the wideband spectral energy distribution toward a nucleus of a radio galaxy on the basis of an accretion disk model, and successfully reproduce the observed spectral features from radio to X-ray.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	300,000	90,000	390,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：電波天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：電波天文学、宇宙物理、国際協力

1. 研究開始当初の背景

活動銀河中心核 (AGN) は通常銀河の 1 千万倍以上のエネルギーを放出する銀河中

心核の総称である。AGN のエネルギー発生の起源となる中心領域は 1 - 10 パーセクのコンパクトな構造を持つため、超長基線電波干渉計 (VLBI) を用いた観測が必須である。

しかし、VLBI でこれまでに行われてきた研究の大半は十分に進化が進んだ AGN を対象としており、これらの天体よりも電波放射が比較的弱くかつコンパクトな構造を持つ若い AGN の観測研究は十分には行われていない。AGN が発生してから進化を経て十分に成長するまでの過程を理解するためにはこれらの若い AGN を観測する必要がある。

AGN の進化と活動性を探るひとつの鍵となるのは CSS (compact steep spectrum source) や GPS (gigahertz-peaked spectrum source) と呼ばれる若い電波銀河の進化過程を調べることであり、これらの天体の周波数スペクトル測定が重要なアプローチとなる。AGN の電波放射はシンクロトロン放射が担っており、その周波数スペクトルにはシンクロトロン電子のエネルギー分布および高エネルギー電子のエネルギー損失に由来する「シンクロトロンブレーク」と呼ばれる折れ曲がりが存在する。この折れ曲がり周波数 (ν_{br}) はシンクロトロン電子の年齢および磁場強度に依存するため、広い周波数範囲のスペクトルを測定して ν_{br} を求め、エネルギー等分配などの仮定を置いて磁場強度を推定することによりシンクロトロン電子の年齢を推定できる。これまでの研究から多くの GPS、CSS 電波源では ν_{br} が数十 GHz にあると考えられているが、電波干渉計を用いた従来の研究では限られた天体について低周波 (15 GHz 以下) での観測のみを用いてスペクトルのフィッティングを行うことにより ν_{br} を推定しており、精度の高い結果を得るに至っていない。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、本課題では主に以下の 2 点に着目し研究を行った。

(1) 広帯域 VLBI 観測実現のための観測システム構築

若い電波銀河は従来の VLBI 観測で対象にしてきた強電波活動銀河や十分に進化が進んだ電波銀河に比べて電波放射が弱く、また電波源の差し渡しの大きさが数千分の 1 と非常に小さいため、高感度かつ高分解能の VLBI 観測システムの実現が鍵となる。

(2) 計算機シミュレーションに基づく若い電波銀河の中心核領域の構造の解明

いくつかの電波銀河では電波から X 線にわたる広帯域での放射が観測されており、その放射の強さおよびスペクトルの形状は中心核領域の構造と物理的特徴を反映していると考えられる。この問題の一端を解明するため、降着円盤モデルに基づき電波銀河の広帯域スペクトルを計算機シミュレーションにより再現する。

3. 研究の方法

従来の VLBI 観測は主に磁気テープによるデータ記録が行われてきたが、これに代わりハードディスクを記録媒体とする観測システムを導入する。大学連携 VLBI 観測網では現在每秒 128 メガビット (Mbps) の記録速度により典型的に 32 MHz の帯域幅での観測を行ってきたが、新システムの導入により記録速度が最高で 2 Gbps (観測帯域は典型的に 512 MHz) となり、連続波天体に対する感度が従来の 4 倍となる。この観測システムを導入し試験観測を実施した。併せて韓国との VLBI 観測実施に向けた共同観測を行った。

また、若い電波銀河の活動性と中心核領域の構造との関連を探るため、電波銀河の中心核領域で観測される電波から X 線に掛ける放射スペクトルを降着円盤モデルを構築することにより再現することを試みた。

4. 研究成果

(1) 広帯域 VLBI システムの構築およびそれを用いた VLBI 試験観測

本研究で要求される広帯域観測システム構築のため、情報通信研究開発機構 (NICT) で開発された K5/VSI システムを山口 32 m 電波望遠鏡に新たに導入し、これを用いた VLBI 試験観測を NICT 鹿島 34 m 電波望遠鏡との間で実施した。データ記録速度 1 Gbps および 2 Gbps でキューサー 3C 273 を積分時間長 1 秒から 10 秒の間で順次変化させて観測信号を記録し、全てのデータに対して相互相関フリンジを検出した。また、各局のサンプリングビット数を 1 ビット (2 レベル) 同士、2 ビット (4 レベル) 同士、および 1 ビット (山口局) と 2 ビット (鹿島局) の混合方式に順次変化させ、全てのサンプリングモードで相互相関フリンジの検出に成功した。

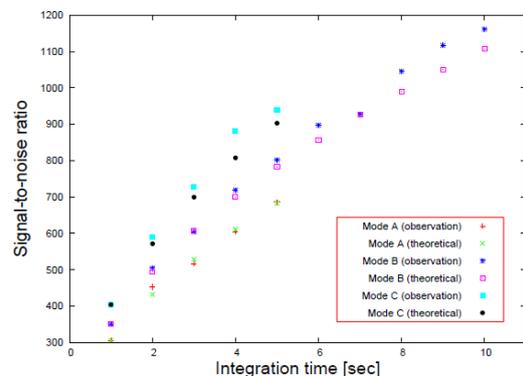


図 1: 同一サンプリングモードの 1 秒積分での信号雑音比を基準とした各積分時間での信号雑音比の理論値 (図の 'theoretical' の点) および実測値 (図の 'observation' の点) の結果 (輪島他 2008; 2009)

フリッジの信号雑音比は、1 秒積分および 1 ビットサンプリングでの信号雑音比を基準とし積分時間長および量子化効率の効果により理論的に予想される値に対して全ての観測モードで 10%以内の差であり、観測結果はこれらの効果を概ね再現していると考えられる。これらは将来の東アジア VLBI ネットワークでの広帯域観測の実現に向けた重要な成果である。これらの成果は〔雑誌論文〕リスト中の(4), (5)に詳述している。

(2) 日韓共同観測

山口大学と韓国 VLBI ネットワーク (KVN) との共同観測を 2010 年度より開始した。AGN の中で 1 日以下の時間スケールで強度変動 (IDV) する活動銀河の中心核の性質を明らかにするため、山口 32 m 電波望遠鏡 (観測周波数 8 GHz) と KVN ソウル 21 m 電波望遠鏡 (同 22, 43 GHz) とを用いて IDV 活動銀河 2 天体 (0716+714, 0954+658) の 48 時間連続同時観測を行った。その結果、いずれの天体でも 3 周波数間で時間遅延なくほぼ同様の変動傾向が見られた。IDV 現象は従来主にセンチ波帯の低周波で検出され星間プラズマのシンチレーションに起因すると解釈されてきたが、KVN の高周波観測でも同様の変動が見られており、IDV 現象の解釈に新たな視点をもたらすものである。

(3) 電波銀河で観測される広帯域スペクトルに関する理論研究

上記の観測的研究と並行して、電波銀河で観測される広帯域スペクトルから予想される降着円盤の構造を計算機シミュレーションから探る理論的研究を共同で行った。電波銀河の中心にある巨大ブラックホールの周囲には降着円盤が存在し電波銀河でのエネルギー収支において重要な役割を担っていると考えられているが、降着円盤はサブパーセクスケールの極めてコンパクトな構造であるため、VLBI 観測によっても分解することができない。一方、いくつかの電波銀河では電波から X 線にわたる広帯域での放射が観測されており、これらを基に降着円盤の物理的性質を間接的に探ることができる。

我々は近傍の電波銀河 NGC 4261 の中心核において大局磁場中に存在し放射による冷却が非効率的な降着流を持つ降着円盤 (resistive RIAF) のモデルを新たに導入し、輻射輸送方程式をフルに解くことにより NGC 4261 の広帯域スペクトルを求めた。その結果、NGC 4261 の中心領域で観測される電波でのカウンタージェットのギャップが従来考えられてきた低温プラズマのガス円盤による自由-自由吸収に起因するものでなくシンクロトロン自己吸収に起因することを示した。また、同モデルを用いた計算機シ

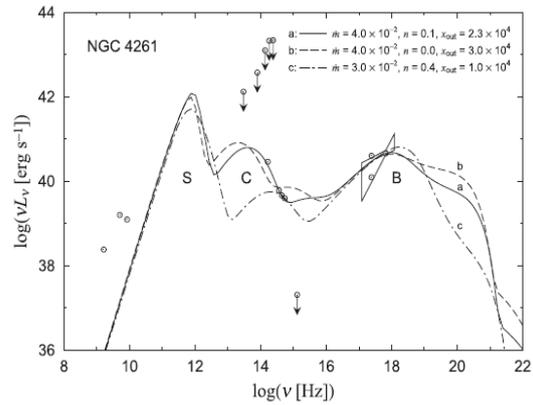


図 2: NGC 4261 で観測された広帯域スペクトルに対する今回のモデルによるフィッティング。線種はモデルパラメタの違いを示す (Kaburaki et al. 2010)

ミュレーションにより NGC 4261 において電波から X 線にわたって観測される広帯域スペクトルをほぼ再現することに成功した。これらの成果は〔雑誌論文〕リスト中の(2)に詳述している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① Koichiro Sugiyama, Kenta Fujisawa, Akihiro Doi, Mareki Honma, Yasuko Isono, Hideyuki Kobayashi, Nanako Mochizuki, Yasuhiro Murata, Satoko Sawada-Satoh, Kiyoaki Wajima, 'Internal Proper Motions of Methanol Masers at 6.7 GHz in Massive Star-Forming Region Onsala 1', 2011, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.63, No.1, pp.53 – 61 (査読有)
- ② Osamu Kaburaki, Takanobu Nankou, Naoya Tamura, Kiyoaki Wajima, 'What Kinds of Accretion Disks Are There in the Nuclei of Radio Galaxies?', 2010, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.62, No.5, pp.1177 – 1184 (査読有)
- ③ 輪島 清昭, 藤沢 健太, 木村 守孝, 川合 栄治, 「山口 32 m 電波望遠鏡の K5/VSI システム 2 号機を用いた VLBI 観測」, 2009, JVN Reports. Vol.2, No.2, pp.11 – 15 (査読無)
- ④ Akihiro Doi, Noriyuki Kawaguchi, Yusuke Kono, Tomoaki Oyama, Kenta Fujisawa, Hiroshi Takaba, Hiroshi Sudou, Ken-ichi Wakamatsu, Aya Yamauchi, Yasuhiro Murata, Nanako

Mochizuki, Kiyoaki Wajima, Toshihiro Omodaka, Takumi Nagayama, Naomasa Nakai, Kazuo Sorai, Eiji Kawai, Mamoru Sekido, Yasuhiro Koyama, the VLBI group at Geographical Survey Institute, Shoichiro Asano, Hisao Uose, 'Japanese VLBI Network Observations of Radio-Loud Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies', 2008, Publications of the Astronomical Society of Japan, Vol.61, No.6, pp.1389 - 1398 (査読有)

- ⑤ 輪島 清昭, 藤沢 健太, 木村 守孝, 川合 栄治, 「K5/VSI システムを用いた VLBI 試験観測」, 2008, JVN Reports, Vol.1, No.3, pp.4 - 9 (査読無)

[学会発表] (計 15 件)

- ① 輪島 清昭, 「山口 32 m 電波望遠鏡と韓国 VLBI ネットワークとの共同観測」, VLBI シンポジウム, 2010 年 12 月 1 日, 茨城, 茨城大学
- ② 輪島 清昭, 「東アジア VLBI の広帯域観測で探る AGN の核周構造」, 大学連携 VLBI ワークショップ, 2010 年 11 月 22 日, 山口, 山口大学
- ③ 輪島 清昭, 「山口 32 m 電波望遠鏡と韓国 VLBI ネットワークを用いた IDV 活動銀河の多周波同時観測」, 日本天文学会 2010 年秋季年会, 2010 年 9 月 22 日, 金沢, 金沢大学
- ④ Kiyoaki Wajima, 'Parsec-Scale Structure in Gamma-Ray Loud Quasars with Relatively Weak Radio Emissions', 3rd East Asia VLBI Workshop, 2010 年 4 月 22 日, 鹿児島, 鹿児島大学
- ⑤ 輪島 清昭, 「KVN - 山口アレイの性能」, ミニワークショップ「KVN - 山口アレイで狙うサイエンス」, 2010 年 3 月 16 日, 山口, 山口大学
- ⑥ 輪島 清昭, 「KVN - 山口アレイの広帯域観測で狙う AGN」, ミニワークショップ「KVN - 山口アレイで狙うサイエンス」, 2010 年 3 月 16 日, 山口, 山口大学
- ⑦ 輪島 清昭, 「弱い電波放射を伴う γ 線活動銀河のパーセクスケールの構造」, VLBI シンポジウム, 2009 年 12 月 4 日, 国立天文台 岩手県 水沢市
- ⑧ 輪島 清昭, 「弱い電波放射を伴う γ 線活動銀河のパーセクスケールの構造」, 日本天文学会 2009 年秋季年会, 2009 年 9 月 14 日, 山口, 山口大学
- ⑨ 輪島 清昭, 「VSOP によるブレーザーの観測と VSOP-2 で狙うサイエンス」, VSOP-2 ワークショップ, 2009 年 9 月 4 日, 国立天文台 岩手県 水沢市
- ⑩ Kiyoaki Wajima, '1 Gbps Disk-Based

VLBI Observation for Future East Asia VLBI Observations', 2nd East Asia VLBI Workshop, 2009 年 3 月 18 日, 梨花女子大学校, 韓国

- ⑪ 輪島 清昭, 「短時間強度変動を示す活動銀河の高分解能観測」, ミニワークショップ「宇宙の構造形成と物質進化」, 2009 年 3 月 4 日, 北海道, 北海道大学
- ⑫ Kiyoaki Wajima, 'KVN 과 야마구치 전파망원경을 이용한 젊은 전파은하의 관측 계획' (KVN と山口電波望遠鏡を用いた若い電波銀河の観測計画), 2009 宇宙電波ワークショップ, 2009 年 2 月 13 日, 韓国天文研究院, 韓国
- ⑬ 輪島 清昭, 「東アジア VLBI に向けた国際間 1 Gbps VLBI 観測の提案」, VLBI シンポジウム, 2008 年 12 月 23 日, 岐阜, 岐阜大学
- ⑭ 輪島 清昭, 「K5/VSI を用いた VLBI 試験観測と EAVN での観測計画」, 大学連携 VLBI ワークショップ, 2008 年 10 月 1 日, 東京, 宇宙航空研究開発機構
- ⑮ 輪島 清昭, 「K5/VSI システムを用いた 1 Gbps VLBI 観測」, 日本天文学会 2008 年秋季年会, 2008 年 9 月 11 日, 岡山, 岡山理科大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
○取得状況 (計 0 件)

[その他]

報道関連情報

- ①山口大学理学部と韓国天文研究院電波天文研究本部との学術交流協定締結
読売新聞 2010 年 3 月 26 日朝刊, 産経新聞 2010 年 3 月 26 日朝刊
- ②理学部ハイライト研究記者発表
朝日新聞 2008 年 1 月 26 日朝刊, 山口新聞 2008 年 1 月 26 日朝刊, 中国新聞 2008 年 1 月 31 日朝刊

ホームページ等

<http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~wajima/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

輪島 清昭 (WAJIMA KIYOAKI)
山口大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 90452630

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

藤沢 健太 (FUJISAWA KENTA)

山口大学・時間学研究所・教授

研究者番号：70311181

澤田 聡子 (SAWADA SATOKO)

国立天文台・水沢 VLBI 観測所・研究員

研究者番号：00452631