

γ -detected radio-loud NLS1 PKS 1502+036 の電波放射の調査

柳楽央至 藤沢健太 輪島清昭 新沼 浩太郎 (山口大学) 土居明広 (ISAS/JAXA)

概要

狭輝線セイファート 1 型銀河 (NLS1) は低質量ブラックホール、高降着率の AGN として知られている。降着率が高いと radio-quiet な AGN になることが示唆されており、大部分の NLS1 も radio-quiet である。しかしながら、僅かではあるが radio-loud な NLS1 も存在している。radio-loud NLS1 の電波での研究は進んでおらず、radio-loud の起源は明確ではない。本研究では 線が検出されている天体である radio-loud NLS1 PKS 1502+036 の電波放射をしている領域の詳細な構造を明らかにするために多周波 VLBI データの解析を行った。得られたスペクトル指数から、VLBI コアに対して SSA とエネルギー等分配を仮定してドップラー係数を見積もった。見積もられたドップラー係数の値は 5.7 であり、この天体の真の radio-loudness は 8.5 であると推測される。以上のことからプレーザー的な描像を示す NLS1 であると考えられる。

1 導入

1.1 狭輝線セイファート 1 型銀河 (NLS1)

NLS1 はセイファート銀河の一種であり、セイファート 1 型銀河の約 10% を占めている [1]。典型的なセイファート 1 型よりも狭い許容線が観測されており、NLS1 は次の可視光スペクトルの特徴で定義される [2]。1. $[OIII]/H\beta < 3$ (トータルフラックス比)。2. 禁制線幅よりもやや広い許容線幅を持つ。 $(FWHM(H\beta) < 2000 \text{ km s}^{-1})$ 3. Fe II 輝線が存在する。NLS1 の研究は可視光、X 線領域ではよくなされており、高いエディントン比 ($L_{bol}/L_{edd} \sim 1$) から高い降着率、低質量ブラックホール ($\sim 10^{6-7} M_{\odot}$) を持つことが明らかになっている [3]。AGN の中でも極端な降着率とブラックホール質量を持っていることが明らかになっている一方で、電波領域での研究はあまり進んでおらず、多くの天体は VLBI 観測がされていない。

1.2 Radio loudness

Radio loudness は $R = f(1.4 \text{ GHz})/f(4400\text{\AA})$ で定義される量であり、ジェットと円盤のフラックス密度比を示していることになる。R が 10 以上の AGN を radio-loud AGN と呼び、R が 100 を超える AGN を very radio-loud AGN と呼ぶ。AGN で一般に radio loudness と降着円盤の降着率には逆相関があることが知られている [4][5]。この観測結果に対する解釈は次の通りである。低 L_{bol}/L_{edd} AGN が radio-loud な天体になるのは、低 L_{bol}/L_{edd} AGN おいて降着円盤は RIAF が支配的になることで、可視光の熱的放射が弱くなり、かつジェットの放射が強くなるからである。一方で高 L_{bol}/L_{edd} AGN は radio-quiet な天体となるのは光学的に厚い標準円盤、slim disk からの熱的放射が強くなり、かつ高降着率な降着円盤によってジェット放射が抑制されることで radio-quiet になっている。一方ではブラックホール質量と radio loudness には正の相関があることが観測的に知られている ([6][7])

これらの観測結果から、ブラックホール質量が大きく、質量降着率が低い AGN は radio-loud になる傾向があり、逆に、ブラックホール質量が小さく、高質量降着率な AGN は radio-quiet になる傾向があるといえる。

1.3 Radio-loud NLS1

NLS1 は高 $L_{\text{bol}}/L_{\text{edd}}$ AGN に分類され、大部分の NLS1 は radio-quiet な天体として観測されているが、radio-loud な NLS1 も確かに存在している。radio-loud NLS1 の存在比は約 4% [8] で、NLS1 クェーサーの radio-loud の比率 (10-15% [9]) に比べて低い割合を示している。先行研究では 18 天体に対して VLBI 観測が行われ、その内の 5 天体に対して、高い輝度温度 $T_B > 10^{8-9}$ K (4 天体, JVN 8.4 GHz)、 $T_B > 5.5 \times 10^{11}$ K (1 天体, VLBA 15 GHz) が見積もられた [10][11]。このことから相対論的なジェットにより radio-loud になっていることが示唆される。しかし、天体数が少ないため RL-NLS1 の radio loudness の起源は統一的には明らかになっていない。

1.4 PKS 1502+036

表 1 [12] に PKS 1502+036 の可視光スペクトル、ブラックホール質量、エディントン比、radio-loudness を示す。可視光スペクトルから NLS1 の定義に当てはまる天体であり、ブラックホール質量、エディントン比はともに典型的な NLS1 の値になっている。Radio-loudness の値は NLS1 の中でも最も大きい部類に該当し、very radio-loud な NLS1 であるといえる。先行研究 [13] ではこの天体の電波イメージが捉えられている。このイメージからはコア+西方向に噴出するジェットの構造が確認できる。また、Fermi/LAT によって 線が検出されており (NLS1 の中では 5 天体しかないうちの 1 天体)、かつ、SED はシンクロトロン放射+逆コンプトン散乱のモデルによくフィットしていることから 線はスターバーストではなくジェット起源であることが示唆されている [14]。以上のことから相対論的で活動的なジェットの存在を示唆されている。

表 1: 天体パラメータ

Object	[O]/H β	FWHM(H β) (km s $^{-1}$)	R_{4570}	$\log(M_{\text{BH}}/M_{\odot})$	$L_{\text{bol}}/L_{\text{edd}}$	$\log R$
PKS 1502+036	1.11	1082	1.53	6.6	0.8	3.19

2 目的

NLS1 は低質量ブラックホール、高降着率の極端なパラメータを持つ AGN である。低ブラックホール質量・高降着率に関係して大部分の NLS1 は radio-quiet である。しかし、他の AGN に比べて少ない割合ではあるが radio-loud な NLS1 も存在している。なぜ radio-loud な NLS1 が存在しているかは、明らかになっていない。本研究では radio-loud NLS1 の中でも最も大きい radio-loudness を持つ天体の一つである が検出されている天体の PKS 1502+036 を対象とした。この天体に対し、多周波数 VLBI 観測を行うことで、輝度温度、ドップラー係数を求め、radio loudness の起源を明らかにする。

3 観測・解析

本研究で用いた VLBI 観測のデータは VLBA アーカイブデータである。観測に日は 2006 年 7 月 22 日で、観測周波数は 1.7, 2.3, 5, 8.4, 15, 22 GHz である。各周波数の典型的な観測時間は 3 分 \times 3 スキャンである。MK 局は観測に参加しておらず、15, 22 GHz では PT 局を解析途中に省いている。データの振幅・位相較正には AIPS を用い、clean, selfcal, イメージング, モデルフィットを Difmap を用いている。

4 結果・考察

図 1 は多周波数 VLBA 観測で得られた 5 GHz のイメージである。全周波数でコア+ジェット成分に分解されており、周波数が高くなるにつれてジェット成分がコアの方向に近づいていく傾向がみられる。

本結果から断定することは難しいが、コアから噴出している連続的なジェットを捉えている可能性がある。VLBI イメージ (図 2) に対するモデルフィッティングのパラメータから得られた輝度温度はどの周波数でも典型的に $\sim 10^{11}$ K であり、エネルギー等分配を仮定した時の輝度温度を超えており、むしろ逆コンプトン限界を仮定した時の輝度温度に近い。次に VLBI コアのフラックス密度から作成した周波数スペクトルを図 1 に示す。非常にフラットなスペクトルをしており、複数の成分の重ね合わせを見ている可能性がある。このスペクトルに対し SSA を仮定してフィッティングを行った。この時のスペクトル指数は -0.19 、ピークフラックス密度は 630 mJy 、ピーク周波数は 4.48 GHz である。さらにエネルギー等分配を仮定して [15,16] 推定されたドップラー係数は 5.4 である。この値は先行研究で報告されている別の radio-loud NLS1 の値 [10][11][14] と矛盾がない。このドップラー係数を考慮した radio-loudness の値は 9.6 であるので、この天体は相対論的なジェットのドップラー増幅効果によって見かけ上 radio-loud NLS1 として観測されていたといえる。

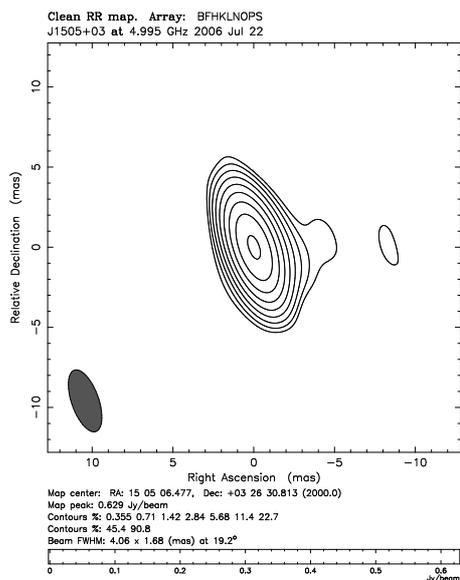


図 1: VLBI イメージ (5 GHz) 西方向に連続的なジェットが見えている。他の周波数でも西方向へのジェットが検出された。

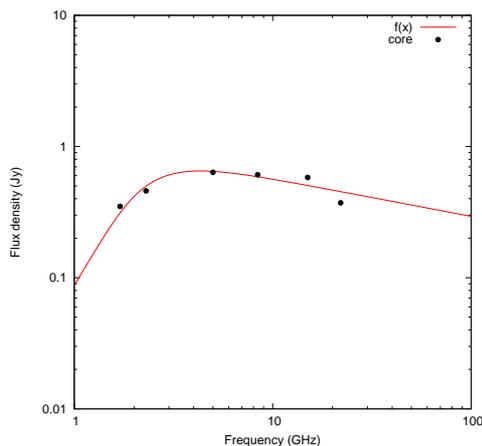


図 2: 周波数スペクトル。黒点が VLBI コアのフラックス密度で、曲線は SSA を仮定したときのフィッティングである。

参考文献

- [1] Stephen 1989 AJ, 97, 10
- [2] Osterbrock et al. 1985 PASP, 97, 25
- [3] Pounds & Osborne 1995 MNRAS, 277, L5
- [4] Greene et al. 2006 ApJ, 636, 56
- [5] Ho et al. 2002 ApJ, 564, 120
- [6] Frey et al. 2006 PASJ 58,217
- [7] Raiteri et al. 2008 A & A 480,339
- [8] Zhou et al. 2006 ApJ, 166, 128
- [9] Ivezić et al. 2002 ApJ, 121, 2368
- [10] Doi et al. 2006 PASJ, 58, 829
- [11] Doi et al. 2007 PASJ, 59, 73
- [12] Yuan et al. 2008 ApJ, 685, 801
- [13] VLBA MOJAVE program (<https://www.physics.purdue.edu/astro/mojave/>)
- [14] Abdo et al. 2009 ApJ, 707, L142
- [15] Readhead 1994, ApJ, 426,51
- [16] Hirotani et al. 2000, ApJ, 545, 100