

# 狭輝線セイファート1型銀河の Radio loudness の起源

柳楽央至 藤沢健太 (山口大学) 輪島清昭 (上海天文台) 土居明広 (ISAS/JAXA)

## 概要

電波放射の強弱の指標に Radio loudness があり、10 より大きい AGN は radio-loud(強電波)、10 よりも小さい AGN は radio-quiet(弱電波) に分類される。Radio loudness とブラックホール質量の間には正相関、質量降着率の間には逆相関があるので低ブラックホール質量、高質量降着率な AGN は radio-quiet AGN になる傾向がある。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 として知られており、大部分の NLS1 は radio-quiet である。僅かに radio-loud NLS1 も存在しているが、Radio loudness の起源は明確ではない。本研究ではビーミング効果によって、radio-quiet NLS1 が radio-loud NLS1 として観測されるという説を検証するために、ビーミング効果を受けていないローブのみの Radio loudness を VLA と JVN を用いることで推定した。その結果、4/5 天体がローブのみの Radio loudness で radio-loud であることを示した。この4天体は Radio loudness がブラックホールと質量降着率では決まらない可能性を示唆している。

## 1 Introduction

### 1.1 Radio loudness

Radio loudness は ( $R \equiv S_\nu(5 \text{ GHz})/S_\nu(4400\text{\AA})$ ,  $S_\nu$  はフラックス密度) ジェットの電波放射の強弱 (radio-loud/radio-quiet) を示し、ジェット形成に関わる物理量であると考えられている。Radio loudness の大きさが10よりも小さいAGNをradio-loud AGN、10よりも大きいAGNをradio-loud AGN、100よりも大きいAGNをvery radio-loud AGNと分類する。Radio loudness と中心エンジンのパラメータ (ブラックホール質量、質量降着率) には以下に示す相関関係がある。Radio loudness と降着円盤の降着率との間には逆相関 [1]、ブラックホール質量の間には正の相関 [2] があることが観測的に知られている。これらの観測結果から、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。

### 1.2 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 [3]。典型的なセイファート1型銀河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 [4]。1).  $[\text{OIII}]/\text{H}\beta < 3$ , 2).  $\text{FWHM}(\text{H}\beta) < 2000 \text{ km s}^{-1}$ , 3). Fe II 輝線が存在する。この定義は、低質量ブラックホール ( $M_{\text{BH}} \sim 10^{6-7} M_\odot$ ,  $M_\odot$ : 太陽質量)、高い質量降着率 ( $\dot{m} \sim 1$ ) を持つことを示している。この二つのパラメータは radio-quiet になる強い傾向を示しており、実際に観測からも大部分が radio-quiet であることが分かっている。

#### 1.2.1 Radio-loud NLS1

Radio loudness の傾向から NLS1 は radio-quiet AGN に分類されるが、radio-loud NLS1 も存在しており、radio-loud NLS1 の存在比は約7%であることが知られている [5]。  $M_{\text{BH}}$  と  $L_{\text{bol}}/L_{\text{edd}}$  の傾向から外れた Radio loudness を説明するのに (1) ブラックホール質量と質量降着率以外にパラメータが存在している。(2) ビーミング効果によって Radio loudness が増幅する。などの仮説がある。仮説 (1) は先行研究から真に radio-loud と真に radio-quiet の両方が報告されている [6] が、天体のサイズやスペクトルによる詳細な研究をされておらず、Radio loudness の起源は明らかになっていない。

## 2 目的と方法

本研究の目的は Radio loudness の起源を明らかにすることである。そこで作業仮説「ビーミング効果によって Radio loudness が増幅」を検証する。検証方法に次の2つの方法を以下に示す。

(1) VLBI イメージから高い輝度温度を推定し、非熱的な放射が付随していることを調べる。この方法で用いる輝度温度は

$$T_{B,\text{image}} = 1.77 \times 10^9 \frac{S_\nu(1+z)}{\nu^2 \phi_{1.8,\text{maj}} \phi_{1.8,\text{min}}} \quad [\text{K}] \quad (1)$$

である。 $\nu$  は周波数 [GHz]、 $\phi_{1.8,\text{maj}}$  [mas] と  $\phi_{1.8,\text{min}}$  [mas] は使用した電波干渉計の合成ビームの長軸と短軸をそれぞれ 1.8 倍したサイズ [7]、 $z$  は赤方偏移を示す。

(2) ビーミング効果が効かない広がった構造のみの Radio loudness を推定する。ローブの Radio loudness  $R_{\text{lobe}}$  はビーミングが働かない真の Radio loudness を示している。天体のトータルフラックス密度  $S_{\text{total}}$  と VLBI コアフラックス密度  $S_{\text{VLBIcore}}$  のスペクトルの差分をローブによるフラックス密度  $S_{\text{lobe}}$  としすることで  $R_{\text{lobe}}$  を推定する。以上の研究のために very radio-loud NLS1 5 天体を選出した (表 1)。

表 1: 観測天体のリスト

NO.	天体名	$z$	R.A.(J2000) (h m s)	Dec(J2000) ( $^{\circ}$ )	$R$	[OIII]/H $\beta$	FWHM(H $\beta$ ) (km s $^{-1}$ )	$R_{4570}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	PMN J0902+0442	0.532	09 02 27.1	04 43 10	1047	0.56	2089 $\pm$ 205	1.10
2	B3 1044+476	0.798	10 47 32.6	47 25 32	7413	0.77	2153 $\pm$ 267	0.66
3	B3 1441+476	0.703	14 43 18.6	47 25 56	1175	0.31	1848 $\pm$ 113	1.45
4	PKS 1502+036	0.408	15 05 06.5	03 26 31	1549	1.11	1082 $\pm$ 113	1.53
5	B2 1546+35A	0.478	15 48 17.9	35 11 28	692	0.43	2035 $\pm$ 52	1.24

Column 1:天体番号 Column 2:赤方偏移 Column 3:観測天体 Column 4,5:天体座標

Column 6:radio loudness( $S_\nu(1.4 \text{ GHz})/S_\nu(4400 \text{ \AA})$ ) Column 7:禁制線のフラックス密度比

Column 8:H $\beta$  の視線速度 Column 9:FeII/H $\beta$  のフラックス密度比

この5天体は 8.4 GHz で VLBI 観測がされておらず、内3天体は VLBI 観測そのものが初めてとなる。JVN で観測することで輝度温度を見積もり、他論文からトータルフラックス密度を引用し、電波帯での SEDs(Spectrum Energy Distributions) を作成する。

## 3 結果・考察

JVN で観測された5天体の VLBI イメージを図 1 に示す。観測した5天体の内3天体は本研究で初めて VLBI イメージが得られる。JVN 観測で得られた輝度温度はそれぞれ  $> 10^{8.2} \sim 10^{11.2}$  [K] であり、非熱的な放射が付随していることを示している。

次に  $S_{\text{lobe},5\text{GHz}}$  を  $S_{\text{total},5\text{GHz}}$  と  $S_{\text{VLBIcore},5\text{GHz}}$  から計算する。 $S_{\text{total},5\text{GHz}}$  は  $S_{\text{total}}$  のスペクトルから  $S_{\text{total}} \propto \nu^\alpha$  でフィッティングすることで推定する。 $S_{\text{VLBIcore},5\text{GHz}}$  は  $S_{\text{VLBIcore},8.4\text{GHz}}$  と  $S_{\text{VLBIcore}} \propto \nu^{-0.6}$  を仮定したフィッティングから見積もる。この方法を用いることで、PKS 1502+036 を除く4天体では  $S_{\text{lobe},5\text{GHz}}$  を得ることが出来た。PKS 1502+036 は  $S_{\text{total},5\text{GHz}}/S_{\text{VLBIcore},5\text{GHz}}$  となってしまうため  $S_{\text{lobe},5\text{GHz}}$  を推定できなかった。以上の方法で推定された  $S_{\text{lobe},5\text{GHz}}$  とそれによって得られた  $R_{\text{lobe}}$  を表 2 に示す。4天体の  $R_{\text{lobe}}$  は 97 ~ 9575 であり、ビーミング効果に寄らずに very radio-loud NLS1 であることが分かった。従って、Radio loudness に関わるパラメータはブラックホール質量と質量降着率以外

にも存在することが示唆される。ここでブラックホールスピンを導入することで、本研究によって示された Radio loudness の傾向に従わない天体の Radio loudness を説明できるかを考える。スピンパラダイム [8] では、銀河同士のメジャー-メジャーによるブラックホールマージャーによりスピンアップできることが示唆されている。だがこの方法ではブラックホールスピンの大きい AGN は、ブラックホール質量も大きくなることになり、NLS1 のようなブラックホール質量が小さくかつ円盤銀河に付随する AGN の Radio loudness を説明できないかもしれない。従って、スピンによって Radio loudness を大きくする可能性はあるが、NLS1 を含むブラックホール質量が小さい AGN でのスピンアップの方法を別に考える必要がある。

表 2: 観測天体のリスト

NO.	天体名	$S_{\text{VLBIcore},5\text{GHz}}$ (mJy)	$S_{\text{total},5\text{GHz}}$ (mJy)	$S_{\text{lobe},5\text{GHz}}$ (mJy)	$R_{\text{lobe}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	PMN J0902+0442	121.9	128.8	6.9	97
2	B3 1044+476	32.3	463.0	430.1	9576
3	B3 1441+476	37.3	62.4	25.2	361
4	PKS 1502+036	709.9	510.3	-	-
5	B2 1546+35A	40.4	77.7	37.3	384

Column 1:天体番号 Column 2:観測天体 Column 3:VLBI コアフラックス密度 (5 GHz)  
Column 4:トータルフラックス密度 (5 GHz) Column 5:ローブフラックス密度 (5 GHz)  
Column 6:ローブのみの Radio loudness

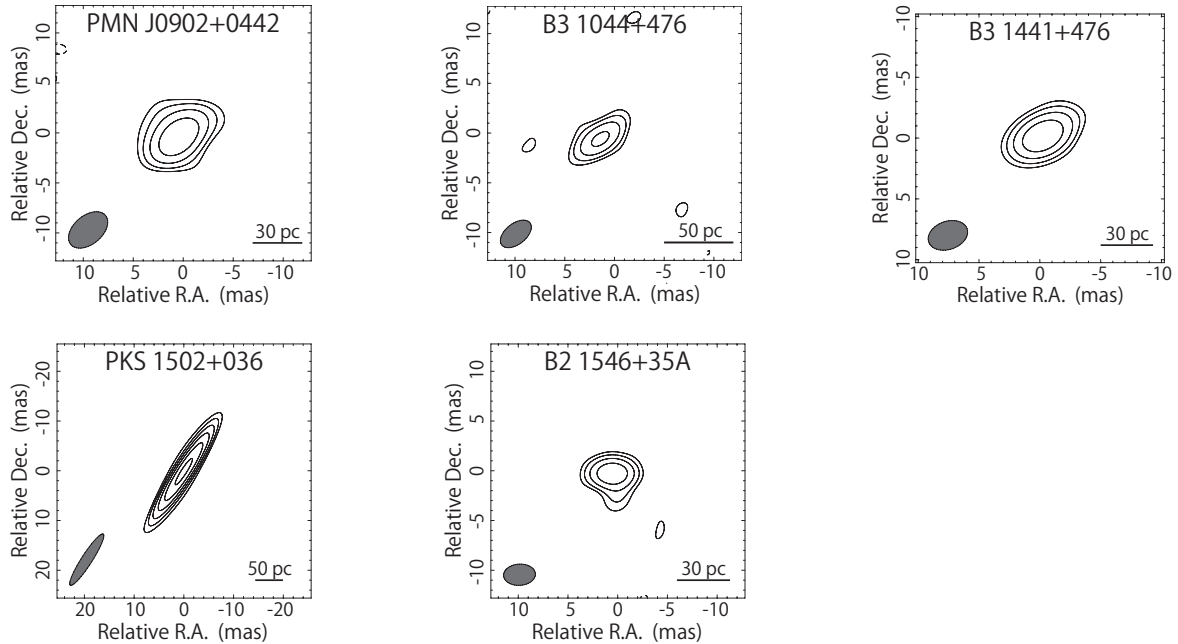


図 1: JVN 観測で検出した VLBI イメージ。PMN J0902+0442, B3 1441+476, B2 1546+35A は初 VLBI イメージである。

## 参考文献

- [1] Greene et al. 2006 ApJ, 636, 56
- [2] Liu et al. 2001 ApJ, 637, 669
- [3] Stephen 1989 AJ, 97, 10
- [4] Osterbrock et al. 1985 PASP, 97, 25
- [5] Zhou et al. 2006 ApJ, 166, 128
- [6] Doi et al. 2012 ApJ, 760, 41
- [7] Marscher & Broderick 1981, ApJ, 247, 49
- [8] Sikora et al. 2007, ApJ, 658, 815