

JVN Reports

大学VLBI連携研究成果報告書

2009年1月1日 第1巻 第4号

目次

U08230A JVN 観測の報告	・・・	1
JVN で初めての S / X バンド同時観測 & 内之浦局の JVN 観測初参加 のイベントを含むデータ		
土居明広 (ISAS/JAXA)		
再帰する活動を示す活動銀河中心核の JVN 観測	・・・	18
藤沢健太、原田慶一郎 (山口大学)、土居明広 (JAXA)		
編集担当者より	・・・	32

発行者 : 大学VLBI連携観測事業

編集 : 山口大学

U08230A JVN 観測の報告

(JVN で初めての S/X バンド同時観測 & 内之浦局の JVN 観測初参加 のイベントを含むデータ)

執筆者： 土居明広 (ISAS/JAXA)

関係者： 望月奈々子、村田泰宏、浅田圭一 (ISAS/JAXA)、
藤沢健太 (山口大学)、柴田克典、寺家孝明、小山友明 (NAOJ)、
東島英志 (鹿児島大学)

2008 年 12 月 1 日

概要

JVN 観測 U08230A (2008 年 8 月 17 日) は、Broad-Absorption Line (BAL) Quasars の多周波観測でした。この観測には、S/X バンド同時観測への初めての挑戦と、内之浦の JVN デビュー戦というイベントが盛り込まれていました。本報告では主に、観測計画とデータ解析についてご紹介いたします (S/X 同時観測と内之浦 VLBI 局化の実現については、担当者による紹介の機会に譲るとします)。いずれの試みも概ね成功していました。

1. U08230A とは？

この観測は、JVN へ提出された観測提案「BALクェーサー 2 天体の 8.4 GHz JVN 観測 (土居明広・浅田圭一)」が実行されたものです。光結合 VLBI 網 OCTAVE による世界初の BAL クェーサー VLBI サーベイにより、21 天体のベースライン検出を報告いたしました¹、その中から連続波スペクトルが右上がりになっている ($S_\nu \propto \nu^\alpha$: $\alpha > 0$) らしい興味深い天体を抽出し、イメージング観測をおこなうという提案でした。

当時、提案書のカバーシートには「内之浦34m」は選択肢にはありませんでしたが、書き加えて提出しました。VSOP ターミナルによる VLBI フリンジ試験に成功したばかりでした。内之浦局の JVN デビュー戦では成果創出が求められたため、試験観測ではなく科学観測に参加する必要がありました。宇宙研の人間が PI になっているこの観測が、内之浦局デビュー戦のリスクを負う形としました。

また、提案書では X バンド 1 周波でしたが、観測 2 週間前になってから、この研究テーマ本来の科学



図 1 : JAXA 内之浦 34 m

¹ JVN レポート [2008 年 4 月 1 日第一巻第一号](#) を参照。

的見地から、S/X バンド同時観測の実現を関係者にお願ひしました。図2はターゲットの BAL ケーサーの連続波電波スペクトルのプロットです。GHz 帯にスペクトルピークを持つ可能性があり、シンクロトロン自己吸収または自由-自由吸収のメカニズムが働いている可能性がありました。これは謎となっている BAL ケーサーの正体を明らかにする、直接的な情報になります。シンクロトロン自己吸収ならば、ブレーザーのように pole-on で見るジェットを持つ可能性を示唆し、BAL ケーサーの face-on パラダイムを破綻させます。自由-自由吸収ならば、非熱的ジェットを包み込む BAL outflow の熱的プラズマガスのパラメータを直接測定することができるようになる可能性があります。また、GPS 天体のように若い電波源であるならば、BAL ケーサーのもう一つの対立するパラダイムである進化シナリオに対し、観測的な証拠を提供できます。S/X 観測は、BAL ケーサーの研究に対し、決定的な情報を提供する可能性があったのです。

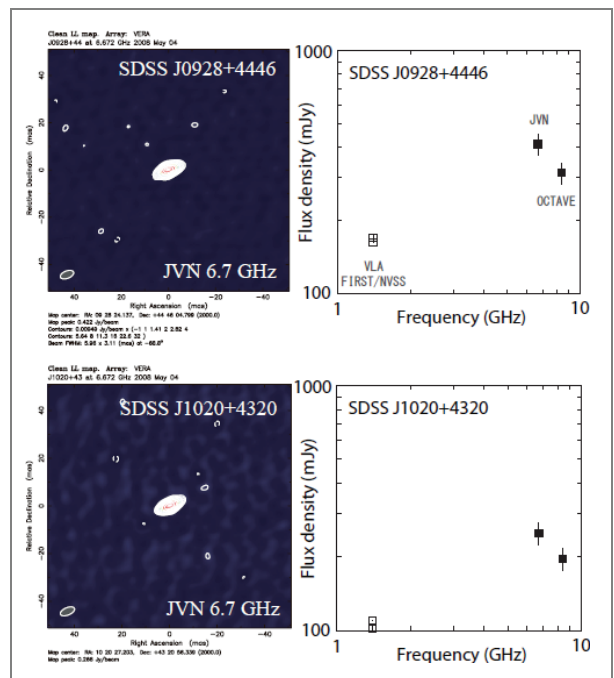


図2： 2つの BAL ケーサーの JVN 6.7 GHz イメージと、電波スペクトルのプロット。

JVN の多くの局は測地観測をしてきた関係上 S/X 同時観測の能力を持っていましたが、JVN 天文観測としては実現していませんでした。この U08230A に限らず、科学的観点からの要求が周囲から聞こえていたこともあり、この機会に挑戦させていただくことにしました。急ごしらえのセットアップはリスク要因になりますが、得られる科学的意味は、本観測にとって絶大でした。私たちは、内之浦デビュー戦とともに、2重のリスクを負うことにしました。S バンドを受信できる JVN 局は、VERA×4、臼田、鹿島、筑波、内之浦の計8局も存在します。さらに、43 GHz 帯とともに実現すれば、JVN は5周波の本格アレイとなります² (図3)。

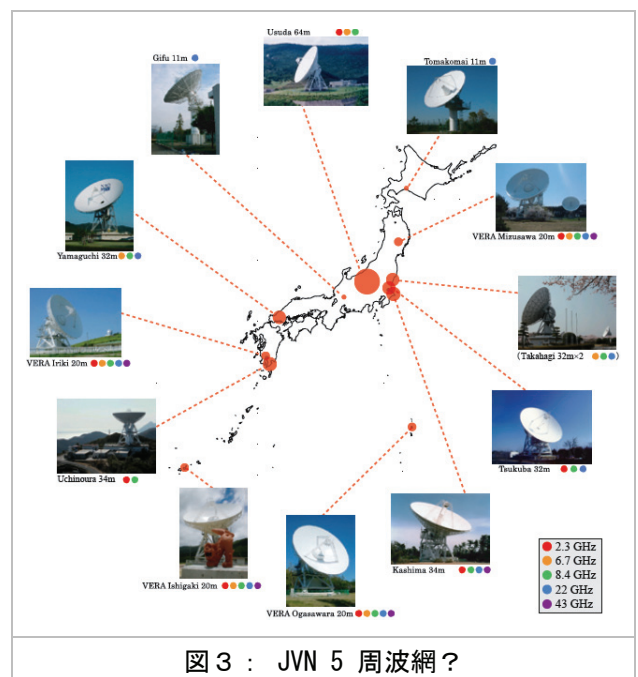


図3： JVN 5周波網？

² JVN レポート [2008年10月1日第一巻第三号](#)を参照。

2 観測計画

■ 観測の概要

日時	2008年8月17日	00:00-09:00 (UT)
参加局	VERA 20m × 4	(S/X 同時)
	臼田 64m	(S/X 同時)
	内之浦 34m	(S → X 時間切替)
	鹿島 34m	(X のみ)
	山口 32m	(X のみ)
CH 設定	CH1 = X-band 8400-8416 MHz	偏波=RHCP
	CH2 = S-band 2256-2272 MHz	偏波=RHCP
記録	VSOP モード	128 Mbps, 2bit, 2ch
モード	スイッチング位相補償 (1 サイクル= 6 分間)	

CH1 は通常の JVN X-band の設定と同じにし、ここではミスが起こらないようにしました。CH2 の S-band の周波数帯を選んだ観点は、(1) JAXA 2局の通過特性の範囲内、(2) VERA のデジタルフィルターで対応可能なところ、でした。VERA の GE01SX モードの設定に特別に変更を加えていただき、S11→DIR1000 ch1, S2→DIR1000 ch2 としていただきました。内之浦が S/X 同時となっていないのは、ダウンコンバータ入力が1つであったからです。鹿島はもちろん S/X 同時可能で VERA 観測で実績もあったのですが、準備は直前であったため、今回は無理をしないことにしました。山口は S-band を持っていません。鹿島と山口の CH2 は無駄にすることにしました。

■ 観測スケジュール

天体名	別名	座標	役割
J0958+47	POINT	09 58 19.67164 +47 25 7.8424	ゲイン較正天体
J0928+44	BAL1	09 28 24.13711 +44 46 4.7995	ターゲット A
J0920+44	BALPR1	09 20 58.45849 +44 41 53.9851	位相較正天体 A
J1020+43	BAL2	10 20 27.20311 +43 20 56.3394	ターゲット B
J1023+39	BALPR2	10 23 11.56567 +39 48 15.3853	位相較正天体 B
J0854+20	OJ287	08 54 48.87493 +20 06 30.6409	フラックス標準天体
4C39.25	\$	09 27 3.01393 +39 02 20.8519	バンドパス較正天体

ターゲットは BAL1, BAL2 ですが、2/3 の時間は較正天体を見るのに費やしています。その理由は、較正天体のスキャンがしっかりあれば、想定外・想定内の解析上の問題をかなり救えることができるからです。

位相補償較正天体： ターゲット強度は、臼田局の感度があればFRINGE検出できる程度でしたが、臼田局（筆者が運用）が失敗した場合に備えて、位相補償観測にしました。ターゲットのオンソース時間が 1/4 程度に減ってしまいますが、全滅するよりはマシです。

ゲイン較正天体： 今回参加局の多くは T_{sys} 測定ができませんでしたので（これはもはや不測の事態ではないが。。。）、ゲイン較正天体も必要でした。1時間に1回程度点源を見て（JVNの基線長では、VLBIといえども点源である天体は10度以内に1つ程度は見つかります）、セルフキャリブレーションを使ってアレイの振幅項を結合させます。位相較正天体は構造を持っていたり強度不足で、たいてい代用できません。また、ゲイン較正天体の強度は、FRINGEのDelay項の決定にも利用します。位相較正天体はあくまで位相の較正のためのもので、その程度の強度しかない可能性があります（そういうことは多いです）。つまり、FRINGEフィッティングは、たまに見るゲイン較正天体でしかできない事態を想定します。その点で、ゲイン較正天体は、この観測で最も大事な天体であり、慎重に配置しました。

フラックス較正天体： ゲイン較正天体では絶対フラックス強度を得られませんので、とくにこの較正天体が必要です。JVNではOJ287を推奨しています。理想的には、単一鏡フラックスとVLBI相関フラックスが一致する天体である必要があります。いくつかコンパクト電波源を調査しましたが³、実際にはそのような天体はなく、OJ287は単一鏡フラックスの90%をVLBIで拾える最善のものでした。OJ287

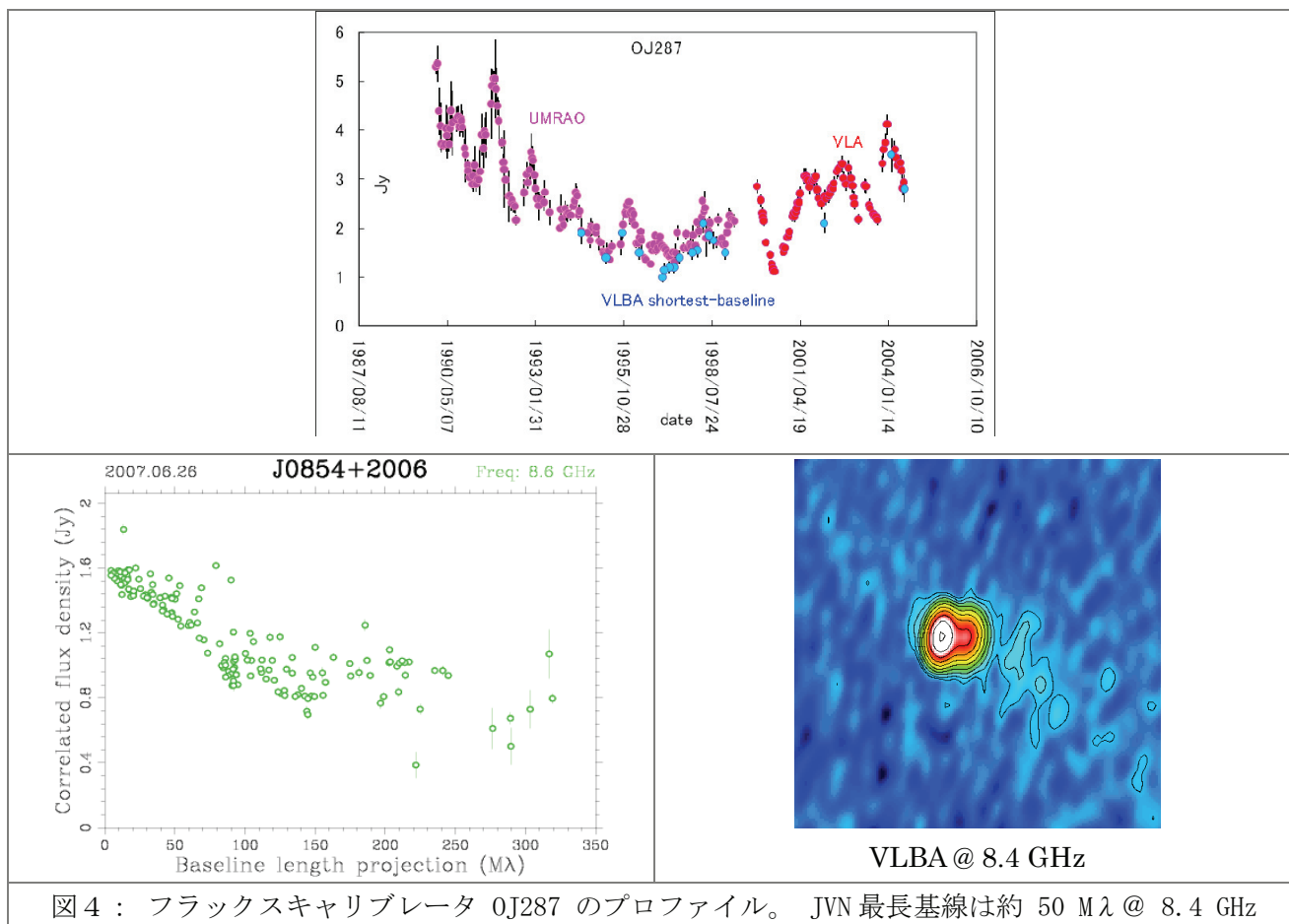


図4：フラックスキャリブレーション OJ287 のプロファイル。JVN 最長基線は約 50 Mλ @ 8.4 GHz

³ <http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~kenta/jvnhp/VLBIfluxcalib.html>

は激しく強度変動しますので、VLBI の観測日の数日以内に取得された単一鏡フラックス測定値(山口 32m へ単一鏡測定を依頼するか、VLA モニターを参照⁴)の 90%の値を AIPS に入力して校正します。しかし、OJ287 は JVN の基線長で分解しますので(図 4)、VLBA など取得された天体構造をアプリアリで入れる必要があります。フラックスは大きく変わりますが、短い基線に反応する構造は大きく変わりませんので、比較的近い時期ならばどのデータでも良いと思います。例えば NED から OJ287 の FITS イメージをダウンロードし⁵、AIPS タスク CALIB に入力します。フラックス校正天体とゲイン校正天体の比較によって、ゲイン校正天体のフラックス密度を決定します。これは VLA で使われている一般的な手法なため、これをおこなうタスクが AIPS に用意されています。比較は、アンテナ感度が同じ状態でやる必要があります。2つの天体の EL が同じなる時間帯を見計らって、連続スキャンをスケジュールに組みます。保険として、EL の違う時間帯にもスケジュールを組みます。

バンドパス校正天体： 全局で高い SN 比のフリッジを検出する必要があります。10 分間程度のスキャンを 1 度得られれば良いのですが、どこかの局かがダウンしている状況は多々あります。観測中、何度もスキャンを入れるようにしました。

(観測計画、解析については <http://www.astro.sci.yamaguchi-u.ac.jp/~kenta/jvnhp/manual.html> を参照ください)

⁴ <http://www.vla.nrao.edu/astro/calib/polar/>

⁵ <http://nedwww.ipac.caltech.edu/cgi-bin/nph-imgdata?objid=61911&objname=OJ%20%2B287>

■ スケジュール

観測スケジュールを以下に示します。これは DRG スケジュールではなく、関連処理ログとしてのスケジュールです。三鷹相関器は、スキャンの頭5秒間とスキャンの尾1秒間を捨ててしまいます。位相補償観測には不利なのですが。。。

Scan	Source	Qual	Calcode	Sub	Timerange	FrqID	START
1	4C39.25	: 0000	1	0/00:00:04 - 0/00:05:49	1	1	
2	0J287	: 0000	1	0/00:08:37 - 0/00:11:39	1	5191	
3	POINT	: 0000	1	0/00:15:25 - 0/00:18:19	1	8794	
4	BALPR1	: 0000	1	0/00:19:05 - 0/00:21:39	1	12469	
5	BAL1	: 0000	1	0/00:22:05 - 0/00:24:39	1	15724	
6	BALPR1	: 0000	1	0/00:25:05 - 0/00:27:39	1	18979	
7	BAL1	: 0000	1	0/00:28:05 - 0/00:30:39	1	22234	
8	BALPR1	: 0000	1	0/00:31:05 - 0/00:33:39	1	25510	
9	BAL1	: 0000	1	0/00:34:05 - 0/00:36:39	1	28765	
10	BALPR1	: 0000	1	0/00:37:05 - 0/00:39:49	1	32020	
11	BALPR2	: 0000	1	0/00:41:05 - 0/00:43:24	1	35485	
12	BAL2	: 0000	1	0/00:44:05 - 0/00:46:24	1	38425	
13	BALPR2	: 0000	1	0/00:47:05 - 0/00:49:24	1	41365	
14	BAL2	: 0000	1	0/00:50:05 - 0/00:52:24	1	44305	
15	BALPR2	: 0000	1	0/00:53:05 - 0/00:55:24	1	48225	
16	BAL2	: 0000	1	0/00:56:05 - 0/00:58:24	1	52145	
17	BALPR2	: 0000	1	0/00:59:05 - 0/01:01:24	1	56093	
18	BAL2	: 0000	1	0/01:02:05 - 0/01:04:24	1	60013	
19	BALPR2	: 0000	1	0/01:05:05 - 0/01:07:39	1	63933	
20	BALPR1	: 0000	1	0/01:09:05 - 0/01:11:39	1	68273	
21	BAL1	: 0000	1	0/01:12:05 - 0/01:14:39	1	72613	
22	BALPR1	: 0000	1	0/01:15:05 - 0/01:17:39	1	76953	
23	BAL1	: 0000	1	0/01:18:05 - 0/01:20:39	1	81293	
24	BALPR1	: 0000	1	0/01:21:05 - 0/01:23:39	1	85633	
25	BAL1	: 0000	1	0/01:24:05 - 0/01:26:39	1	89973	
26	BALPR1	: 0000	1	0/01:27:05 - 0/01:29:39	1	94313	
27	BAL1	: 0000	1	0/01:30:05 - 0/01:32:39	1	98653	
28	BALPR1	: 0000	1	0/01:33:05 - 0/01:35:39	1	102993	
29	POINT	: 0000	1	0/01:36:25 - 0/01:40:19	1	107333	
30	0J287	: 0000	1	0/01:47:37 - 0/01:51:29	1	113913	

31	BALPR1	: 0000	1	0/02:00:05	-	0/02:02:29	1	120437
32	BAL1	: 0000	1	0/02:03:05	-	0/02:05:19	1	124497
33	BALPR1	: 0000	1	0/02:06:05	-	0/02:08:19	1	128277
34	BAL1	: 0000	1	0/02:09:05	-	0/02:11:19	1	132057
35	BALPR1	: 0000	1	0/02:12:05	-	0/02:14:19	1	135837
36	BAL1	: 0000	1	0/02:15:05	-	0/02:17:19	1	139617
37	BALPR1	: 0000	1	0/02:18:05	-	0/02:20:19	1	143397
38	BAL1	: 0000	1	0/02:21:05	-	0/02:23:14	1	147177
39	BALPR1	: 0000	1	0/02:24:05	-	0/02:26:14	1	150817
40	POINT	: 0000	1	0/02:28:05	-	0/02:30:29	1	154485
41	BALPR2	: 0000	1	0/02:33:05	-	0/02:35:09	1	158545
42	BAL2	: 0000	1	0/02:36:05	-	0/02:38:09	1	162045
43	BALPR2	: 0000	1	0/02:39:05	-	0/02:41:09	1	165545
44	BAL2	: 0000	1	0/02:42:05	-	0/02:44:09	1	169045
45	BALPR2	: 0000	1	0/02:45:05	-	0/02:47:09	1	172545
46	BAL2	: 0000	1	0/02:48:05	-	0/02:50:09	1	176045
47	BALPR2	: 0000	1	0/02:51:05	-	0/02:53:09	1	179545
48	BAL2	: 0000	1	0/02:54:05	-	0/02:56:09	1	183045
49	BALPR2	: 0000	1	0/02:57:05	-	0/02:59:09	1	186545
50	BALPR1	: 0000	1	0/03:05:05	-	0/03:07:29	1	190045
51	BAL1	: 0000	1	0/03:08:05	-	0/03:10:29	1	194105
52	BALPR1	: 0000	1	0/03:11:05	-	0/03:13:29	1	198165
53	BAL1	: 0000	1	0/03:14:05	-	0/03:16:29	1	202225
54	BALPR1	: 0000	1	0/03:17:05	-	0/03:19:29	1	206285
55	BAL1	: 0000	1	0/03:20:05	-	0/03:22:29	1	210345
56	BALPR1	: 0000	1	0/03:23:05	-	0/03:25:29	1	214405
57	4C39. 25	: 0000	1	0/03:27:05	-	0/03:36:59	1	218465
58	POINT	: 0000	1	0/03:40:25	-	0/03:44:19	1	235125
59	OJ287	: 0000	1	0/03:52:05	-	0/03:55:59	1	241705
60	POINT	: 0000	1	0/04:00:05	-	0/04:04:09	1	248285
61	BALPR1	: 0000	1	0/04:06:05	-	0/04:08:39	1	253451
62	BAL1	: 0000	1	0/04:09:05	-	0/04:11:39	1	256706
63	BALPR1	: 0000	1	0/04:12:05	-	0/04:14:39	1	259961
64	BAL1	: 0000	1	0/04:15:05	-	0/04:17:39	1	264161
65	BALPR1	: 0000	1	0/04:18:05	-	0/04:20:39	1	268501
66	BAL1	: 0000	1	0/04:21:05	-	0/04:23:39	1	272841

67	BALPR1	: 0000	1	0/04:24:05	-	0/04:26:59	1	277181
68	BALPR2	: 0000	1	0/04:28:05	-	0/04:30:39	1	282081
69	BAL2	: 0000	1	0/04:32:05	-	0/04:34:04	1	286449
70	BALPR2	: 0000	1	0/04:35:05	-	0/04:37:04	1	289809
71	BAL2	: 0000	1	0/04:38:05	-	0/04:40:04	1	293169
72	BALPR2	: 0000	1	0/04:41:05	-	0/04:43:04	1	296529
73	BAL2	: 0000	1	0/04:44:05	-	0/04:46:04	1	299889
74	BALPR2	: 0000	1	0/04:47:05	-	0/04:49:04	1	303249
75	BAL2	: 0000	1	0/04:50:05	-	0/04:52:04	1	306609
76	BALPR2	: 0000	1	0/04:53:05	-	0/04:55:14	1	309969
77	POINT	: 0000	1	0/04:56:37	-	0/04:59:59	1	313609
78	BALPR1	: 0000	1	0/05:01:05	-	0/05:03:39	1	319321
79	BAL1	: 0000	1	0/05:04:05	-	0/05:06:39	1	323661
80	BALPR1	: 0000	1	0/05:07:05	-	0/05:09:39	1	328001
81	BAL1	: 0000	1	0/05:10:05	-	0/05:12:39	1	332341
82	BALPR1	: 0000	1	0/05:13:05	-	0/05:15:39	1	336681
83	BAL1	: 0000	1	0/05:16:05	-	0/05:18:39	1	341021
84	BALPR1	: 0000	1	0/05:19:05	-	0/05:21:39	1	345361
85	BAL1	: 0000	1	0/05:22:05	-	0/05:24:39	1	349701
86	BALPR1	: 0000	1	0/05:25:05	-	0/05:27:39	1	354041
87	BAL1	: 0000	1	0/05:28:05	-	0/05:30:39	1	358409
88	BALPR1	: 0000	1	0/05:31:05	-	0/05:33:39	1	362749
89	POINT	: 0000	1	0/05:34:37	-	0/05:38:29	1	367089
90	4C39.25	: 0000	1	0/05:40:05	-	0/05:49:59	1	373613
91	OJ287	: 0000	1	0/05:52:05	-	0/05:55:59	1	390273
92	BALPR2	: 0000	1	0/06:00:05	-	0/06:02:19	1	396881
93	BAL2	: 0000	1	0/06:03:05	-	0/06:05:19	1	400661
94	BALPR2	: 0000	1	0/06:06:05	-	0/06:08:19	1	404441
95	BAL2	: 0000	1	0/06:09:05	-	0/06:11:19	1	408221
96	BALPR2	: 0000	1	0/06:12:05	-	0/06:14:19	1	412001
97	BAL2	: 0000	1	0/06:15:05	-	0/06:17:19	1	415781
98	BALPR2	: 0000	1	0/06:18:05	-	0/06:20:19	1	419561
99	BAL2	: 0000	1	0/06:21:05	-	0/06:23:19	1	423341
100	BALPR2	: 0000	1	0/06:24:05	-	0/06:26:19	1	427121
101	POINT	: 0000	1	0/06:27:37	-	0/06:30:59	1	430929
102	BALPR1	: 0000	1	0/06:32:05	-	0/06:34:39	1	436613

103	BAL1	: 0000	1	0/06:35:05	-	0/06:37:39	1	440953
104	BALPR1	: 0000	1	0/06:38:05	-	0/06:40:39	1	445293
105	BAL1	: 0000	1	0/06:41:05	-	0/06:43:39	1	449633
106	BALPR1	: 0000	1	0/06:44:05	-	0/06:46:39	1	453973
107	BAL1	: 0000	1	0/06:47:05	-	0/06:49:39	1	458313
108	BALPR1	: 0000	1	0/06:50:05	-	0/06:52:39	1	462653
109	BAL1	: 0000	1	0/06:53:05	-	0/06:55:39	1	466993
110	BALPR1	: 0000	1	0/06:56:05	-	0/06:58:59	1	471361
111	BALPR2	: 0000	1	0/07:00:05	-	0/07:02:24	1	476261
112	BAL2	: 0000	1	0/07:03:05	-	0/07:05:24	1	480181
113	BALPR2	: 0000	1	0/07:06:05	-	0/07:08:24	1	484101
114	BAL2	: 0000	1	0/07:09:05	-	0/07:11:24	1	488021
115	BALPR2	: 0000	1	0/07:12:05	-	0/07:14:24	1	491941
116	BAL2	: 0000	1	0/07:15:05	-	0/07:17:24	1	495861
117	BALPR2	: 0000	1	0/07:18:05	-	0/07:20:24	1	499781
118	BAL2	: 0000	1	0/07:21:05	-	0/07:23:24	1	503701
119	BALPR2	: 0000	1	0/07:24:05	-	0/07:26:39	1	507649
120	OJ287	: 0000	1	0/07:28:37	-	0/07:33:29	1	511989
121	POINT	: 0000	1	0/07:36:05	-	0/07:41:59	1	520193
122	4C39.25	: 0000	1	0/07:43:05	-	0/07:54:59	1	530133
123	BALPR1	: 0000	1	0/08:00:05	-	0/08:02:39	1	550181
124	BAL1	: 0000	1	0/08:03:05	-	0/08:05:39	1	551731
125	BALPR1	: 0000	1	0/08:06:05	-	0/08:08:39	1	553281
126	BAL1	: 0000	1	0/08:09:05	-	0/08:11:39	1	554831
127	BALPR1	: 0000	1	0/08:12:05	-	0/08:14:39	1	556381
128	BAL1	: 0000	1	0/08:15:05	-	0/08:17:39	1	557931
129	BALPR1	: 0000	1	0/08:18:05	-	0/08:20:59	1	559481
130	BALPR2	: 0000	1	0/08:22:05	-	0/08:24:29	1	561241
131	BAL2	: 0000	1	0/08:25:05	-	0/08:27:29	1	562691
132	BALPR2	: 0000	1	0/08:28:05	-	0/08:30:29	1	564141
133	BAL2	: 0000	1	0/08:31:05	-	0/08:33:29	1	565591
134	BALPR2	: 0000	1	0/08:34:05	-	0/08:36:29	1	567041
135	BAL2	: 0000	1	0/08:37:05	-	0/08:39:29	1	568491

3 観測結果

いくつかの局でフリッジが検出できませんでした。しかし、大満足といえる結果を得ることができました。

局	S-band フリッジ	X-band フリッジ	コメント
VERA×4	○	○	S/X 同時
白田 64	○	○	S/X 同時
内之浦 34	×	○	S→X 時間切替の予定が、ミスで X→S と運用。S-band の LO 周波数設定ミス。相関処理で周波数ズレを吸収させてフリッジが見えたが、損失が大きく断念。
鹿島 34	—	○	もともと X-band のみ。
山口 32	—	×	もともと X-band のみ。フリッジ未検出は原因不明。

表 1 : フリッジ検出のステータス

4 データ解析

以下に解析メモを示します。

■ 初期解析

```
fitld
msort
indx  -> NX1, CL1
listr
prtan
accor  -> SN1, CL2
```

■ フラッキング

```
split, fittp -> **_flag.fits (for into DIFMAP), -> flag.txt
```

※ 視覚的にフラッグすべきデータを見つけるために、DIFMAP に入れてビジビリティをチェック。

```
uvflg -> FG1
```

```
-----
antenna 0; baseline 0
```

antenna 7,5,0
bif 1:eif 1
timerang 0 00 00 00 0 08 40 00:go

antenna 7,0
bif 1:eif 2
timerang 0 04 00 00 0 08 40 00:go

※ ここからアンテナスルーが追い付いていない時間帯のフラッグ

antenna 6,0
bif 1:eif 2
timerang 0 04 00 00 0 05 18 40:go
timerang 0 03 05 00 0 03 13 30:go
timerang 0 02 24 40 0 02 26 15:go
timerang 0 02 36 00 0 02 36 25:go
timerang 0 02 39 00 0 02 39 25:go
timerang 0 02 42 00 0 02 42 25:go
timerang 0 02 45 00 0 02 45 25:go
timerang 0 02 48 00 0 02 48 25:go
timerang 0 02 51 00 0 02 51 25:go
timerang 0 02 54 00 0 02 54 25:go
timerang 0 02 57 00 0 02 57 25:go

antenna 5,0
bif 1:eif 2
timerang 0 01 18 00 0 01 35 40:go
timerang 0 04 14 00 0 01 14 40:go
timerang 0 01 16 00 0 01 17 40:go
timerang 0 05 32 00 0 05 33 40:go

antenna 1,0
bif 1:eif 2
timerang 0 02 51 00 0 02 59 00:go

※ここから意味不明の不具合フリンジ（5章参照）の基線フラッグ

antenna 0

bif 1:eif 1

baseline 3,6,0

timerang 0 00 00 00 0 00 05 00:go

timerang 0 00 56 00 0 01 01 25:go

baseline 3,5,0

timerang 0 01 09 00 0 01 10 30:go

baseline 1,3,0

timerang 0 02 42 00 0 02 47 10:go

baseline 1,5,0

timerang 0 03 40 25 0 03 44 20:go

baseline 1,6,0

timerang 0 05 31 00 0 05 33 40:go

timerang 0 05 40 00 0 05 50 00:go

baseline 1,2,0

timerang 0 06 50 00 0 06 50 30:go

baseline 2,4,0

timerang 0 06 56 30 0 06 58 00:go

timerang 0 07 36 00 0 07 42 00:go

baseline 6,7,0

timerang 0 07 36 00 0 07 42 00:go

bif 2:eif 2

baseline 2,4,0

timerang 0 07 36 00 0 07 42 00:go

■ Parallaxic angle 補正

CLCOR (PANG)

(本来はやるべきだが、やるの忘れた。結局ターゲットでセルフキャルしたので影響なし)

■ バンドパス較正

fring (4C39.25) → SN2
snsmo (delay, rate) → SN3, 4
clcal → CL3
bpass → BP1

■ Delay 補正

fring (OJ287 & POINT) with CL2 → SN5
snedt (solution flag) → SN6, 7
snsmo (Delay) → SN8, 9
sncor, opcode=ZPHS, ZRAT → new SN9
clcal CL2 → CL4 (delay-calibrated table)

■ 振幅較正

setjy OJ287 = 1.7685 Jy (S-band IF1), 2.6028 Jy (X-band IF2)
※ 単一鏡フラックスの 90 %
※ OJ287 & 3C147 単一鏡強度比較@臼田 64m → OJ287/3C147 = 0.1283
3C147 15.315 Jy @ 2.264 Jy (calculation, see VLA calibrator manual)
→ OJ287 = 1.965 Jy @ 2.264 GHz
※ VLA monitor より
20080810 2.915±0.027 Jy
20080823 2.869±0.014 Jy (X-band)
→ OJ287= 2.892 Jy @ 20080817
Download FITS of OJ287 from NED
calib (OJ287 & POINT) → SN10
※ OJ287 image FITS を使った。
※ EL がほぼ同じ時間帯のみの timerange で。
snedt (solution flag) → SN11
getjy

calib (POINT & OJ287) → SN12
snedt → SN13
snsmo → SN14 ← SEFD
sncor, opcode=ZPHS → new SN14 : gain-table !!
clcal CL4 → CL5 (delay- & amp-calibrated table)

※ rate は補正する必要がないほど小さかった。以降無視。

■ 位相補正

(IF-1 S-band)

split (BALPR1, BALPR2) with CL5 -> BALPR1.S-band.1, BALPR2.S-band.1
fittp -> BAL1PR-Sband.fits, BALPR2-Sband.fits
DIFMAP imaging (CLEAN & selfcal) -> calibrator image FITS

AIPS へ読み込み

calib (BALPR1) CL4 -> SN21
calib (BALPR2) CL4 -> SN21
snedt -> SN22
snsmo (amp) -> SN23
clcal CL4 -> CL6

(IF2 X-band)

※ 同様

■ ターゲットイメージング

split (BAL1, BAL2) with CL6 -> BAL1.S-band.1, BAL2.S-band.1
fittp -> BAL1-Sband.fits, BAL2-Sband.fits
DIFMAP imaging (CLEAN & selfcal) -> target image FITS

5 解析結果

■ SEFD

上記解析メモ SN14 に SEFD の平方根が書かれている。 多少は時間変化するが、最小値を以下に示す。

局	SEFD S-band (Jy)	SEFD X-band (Jy)
水沢	14220	5041
入来	10502	5329
小笠原	16053	12100
石垣	11478	6084
鹿島	—	289
臼田	231	121
内之浦	×	625

表 2 : U08230A VLBI データから逆算した SEFD 値

■ バンドパス特性

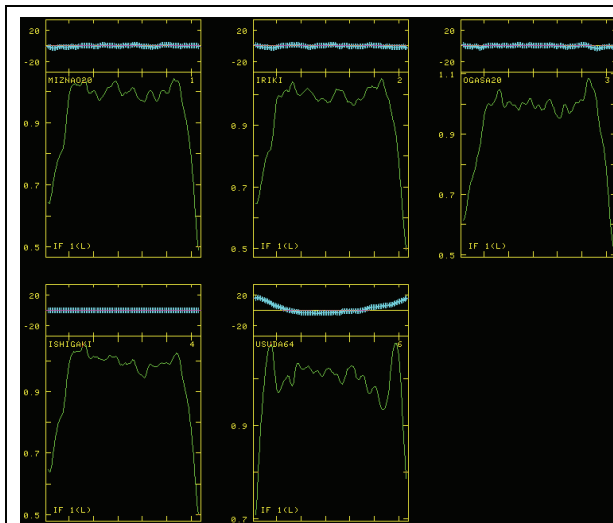


図 5-1 : S-band バンドパス較正テーブル。
Refant = 石垣

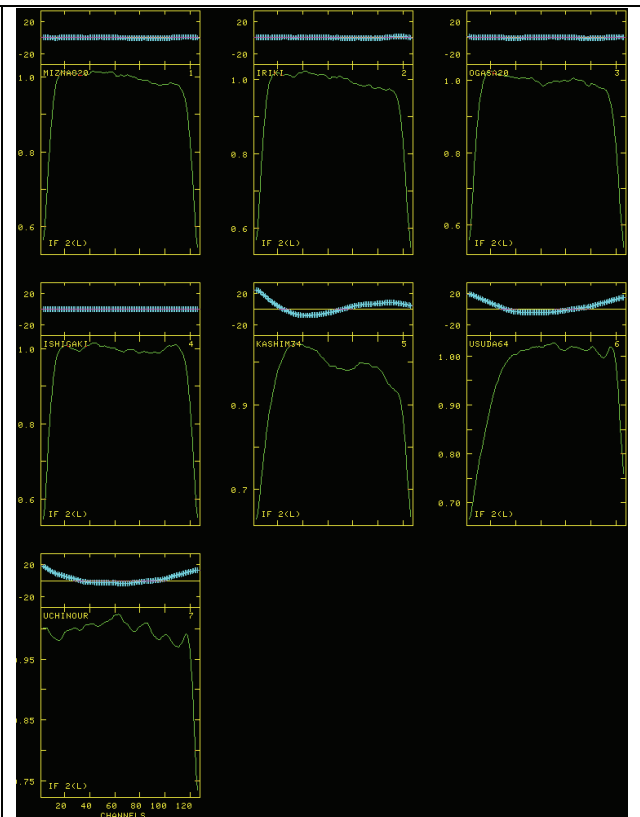


図 5-2 : X-band バンドパス較正テーブル

■ 不具合？

1 分間程度のタイムスケールで、フリッジ振幅が急増し、フリッジ位相が高い SN 比で現れ高速回転する(図5)。この現象はどの JVN データにもよく見られる現象である(以前にも報告)。特定の局、基線、天体、時間帯はないように感じる。このデータでは S-band に頻発し、X-band では 1 回見られた。フラッグするしかない。

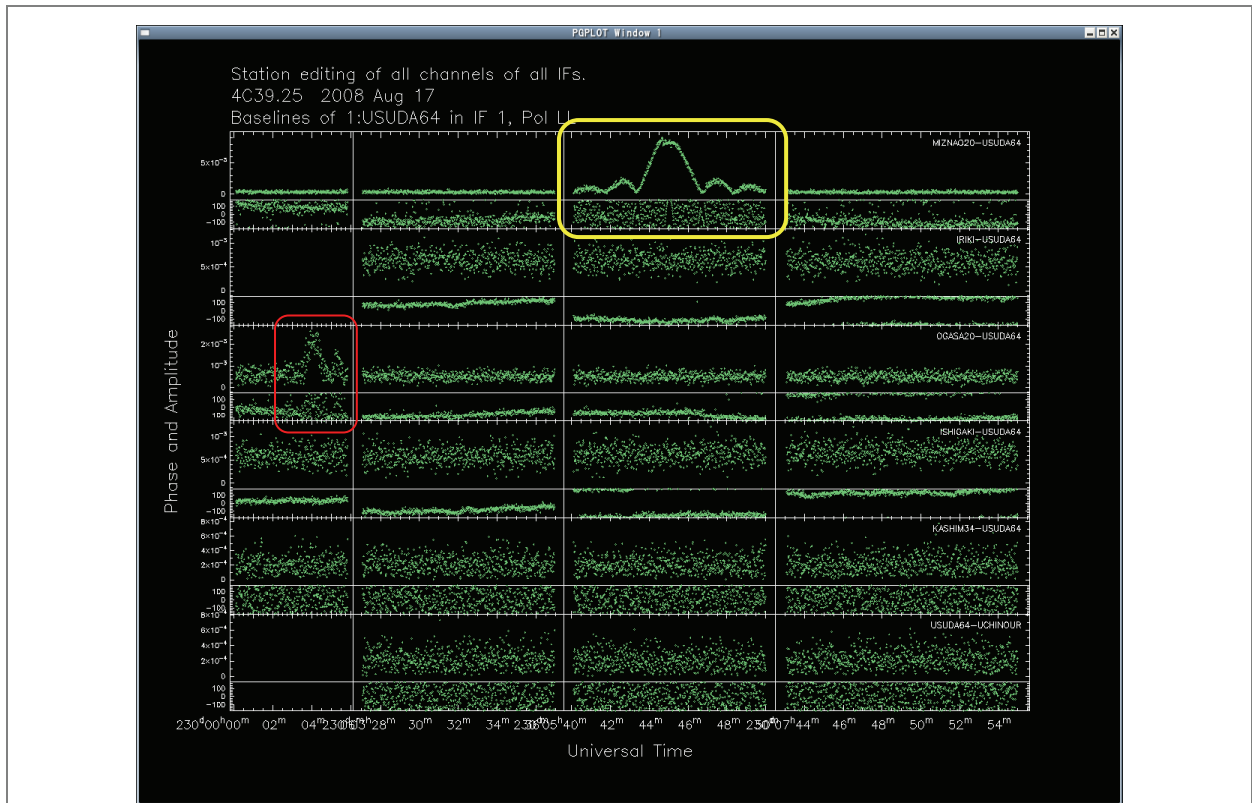


図 6 - 1 : 臼田基線のジジビリティの時間プロット

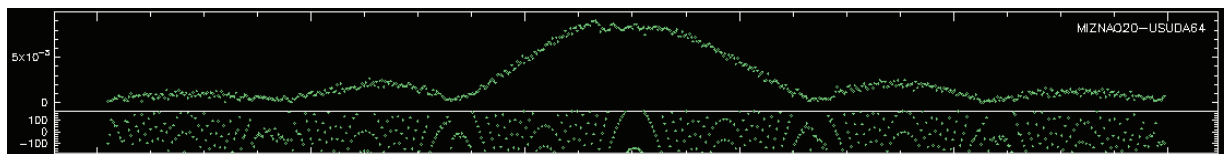


図 6 - 2 : 黄枠部分の拡大図。振幅(上段)位相(下段)。期間は 10 分間。

■ 結果イメージと連続波スペクトル

U08230 を含め、この研究テーマのために合計 4 周波 5 観測の VLBI 観測をおこなった。すべて 1 年以内の観測である。図 6 に本観測で得られた VLBI イメージと、連続波電波スペクトルのプロットを示す。プロット中の黒点は VLBI、白点は干渉計 (VLA FIRST/NVSS, MERLIN) のデータである。美しいピークスpekトルを示している。今回の S/X 同時観測が重要な役割を果たしていることがわかりいただけるだろう。なお、8.4 GHz の OCTAVE と JVN の観測のフラックス密度値は、いずれの天体でも 5% 以内で一致した。

---- our VLBI observations-----

1.7 GHz EVN+MERLIN	2008Mar	
2.3 GHz JVN	2008Aug	<- U08230A
6.7 GHz JVN	2008May	
8.4 GHz OCTAVE	2007Nov	
8.4 GHz JVN	2008Aug	<- U08230A

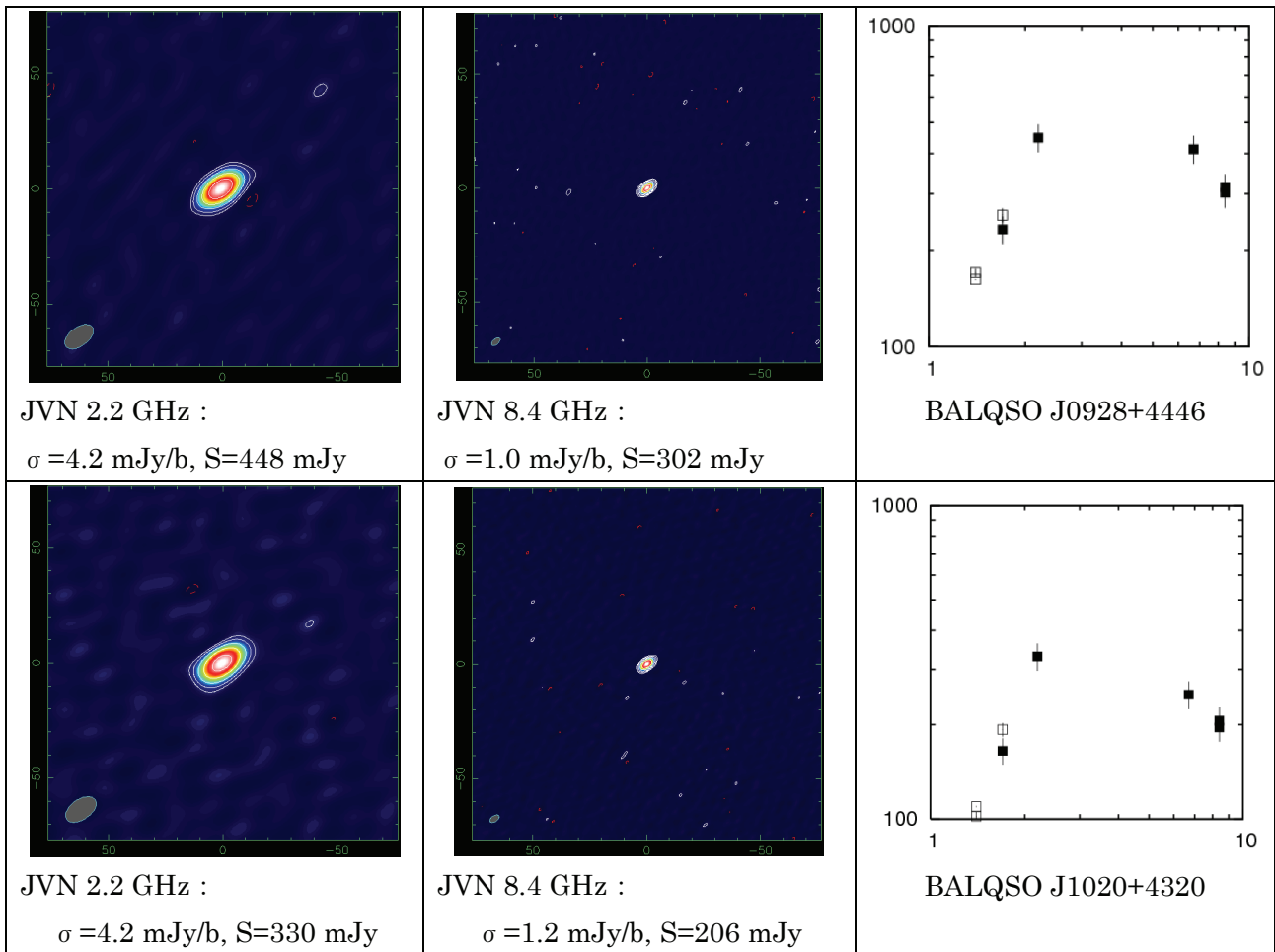


図 7 : U08230A の結果イメージと連続波スペクトルプロット。

再帰する活動を示す活動銀河中心核の JVN 観測

藤沢健太、原田慶一郎（山口大学）、土居明広（JAXA）

2008年11月30日

要旨

GPS 天体はコンパクトな構造などの特徴から 10^{2-3} 年という若い天体であると考えられている。しかし、この単純な解釈では若い AGN が多すぎるという AGN の人口分布問題が生じる。GPS 天体にはしばしば kpc スケールに広がる構造が見られる。これは 10^5 年程度の年齢に相当するため、このような構造を持つ GPS 天体は、活動が再帰したという解釈がなされている。活動の再帰性は若い天体の数を増大させるため、AGN の人口分布問題を解決する可能性がある。

我々は JVN を用いて活動が再帰する特徴を示す 0108+388、0424+328、1758+388 の 3 天体について観測をおこない、 10^5 年以下の時間スケールの活動の痕跡を示す構造の探査をおこなった。その結果、単色体積放射率に換算して 0108+388 では 3.29、0424+328 では 1.90、1758+388 では 5.53 [$10^{-29} \text{Js}^{-1} \text{Hz}^{-1} \text{m}^{-3}$] を検出限界としてマップ中心から 50 [mas] の範囲に過去の活動の痕跡がないことが明らかになった。

また、今回得られた観測結果と VLBA アーカイブデータを用いて、 10^{2-3} 年に対応する VLBI 構造のシンクロトロン自己吸収スペクトルの重ね合わせをおこない、VLA で観測されるスケール (10^{4-5} 年の構造に対応) のスペクトルを表現できるかどうかを調べた。その結果 0108+388、0424+328 では 10^{2-3} 年に相当する VLBI 構造の足し合わせで 10^{4-5} 年のスペクトルを表現できることがわかった。

マップ上の構造とスペクトルの重ね合わせの 2 つの独立な方法によって、検出された VLBI 構造と kpc スケールに広がる過去の活動の痕跡以外に放射構造がなく、再帰の時間スケールが 10^{4-5} 年であることが推定された。

1758+388 は高周波数で単一のシンクロトロン自己吸収スペクトルでは説明できない、フラットなスペクトルを示したため、若い電波銀河ではないと考えられる。

1. イントロダクション

1-1. コンパクトな電波銀河

AGN に付随する電波ローブの広がり典型的に、100 kpc ~ 1 Mpc である。しかし VLBI 観測により 1 kpc 以下の小さい電波銀河も発見されている (Phillips & Mutel, 1982; Carvalho, 1985)。Fanti et al. (1990) は全体の大きさが 15 kpc 以下のコンパクトな天体、かつスペクトルインデックス α が -0.5 以下のスティーブスペクトル天体を CSS (Compact Steep Spectrum) と定義した。CSS 天体は電波銀河と同様に 2 つ (または 1 つ) の電波ローブを有する天体である。さらに、O'Dea, Baum & Stanghellini (1991) は大きさが 1 kpc 以下、凸型のスペクトルを持ち GHz 帯にスペクトルピークを持つ天体を Gigahertz Peaked Spectrum (GPS) 天体と定義した。CSS 天体と GPS 天体は、低周波数で吸収を受け凸型のスペクトルを取っている。統計的な研究によって、吸収のメカニズムはシンクロトロン自己吸収である可能性が高いことが示されている。

1-2. 電波銀河の進化と GPS 天体

GPS 天体や CSS 天体のコンパクトな構造を説明する物理的な解釈として、若い電波銀河であるためにコンパクトであるとする考えが主流である。天体が若いためにコンパクトな構造を示すとする説は、"Youth Scenario" と呼ばれている。この考えによれば、天体の大きさは電波源の活動が経過してからの時間を指標となる。ほとんどの GPS 天体は電波銀河のような対称なローブを電波銀河の 10^3 - 10^2 倍の空間スケールで持っていることから、GPS 天体は電波銀河の進化の初期段階であるとみなされている。巨大電波銀河が 10^8 年の年齢を持っているのに対し

て、GPS 天体は $10^{2.3}$ 年という非常に若い天体であると考えられている。

1-3. Youth Scenario の問題点

GPS 天体が電波源に占める割合は、S4 カタログ (Peacock & Wall, 1982) では 8.5%、1Jy カタログ (Kühr et al. 1981) では 10% である。巨大電波銀河の年齢 10^8 年が AGN の最高齢であり、AGN の出生が時間に対して一定であると仮定すると $10^{2.3}$ 年の年齢の GPS 天体が AGN 全体に占める割合は、0.001-0.0001% (10^{-5} ~ 10^{-6} 倍) になるはずである。しかし、カタログに占める GPS 天体の割合は約 10% であり、若い天体が多すぎる。この問題は AGN の人口分布問題と呼ばれている。この問題が提起することは、GPS 天体が単なる若い天体ではないということである。

1-4. GPS 天体に見られる kpc スケールの構造と活動の再帰

GPS 天体 0108+388 において中心核から東に 60kpc はなれた場所に kpc スケールに広がる構造が検出された (Baum et al. 1990)。Stanghellini et al. (1998) のサンプル 33 天体のうち 3 天体で、Tinti et al. (2005) では 45 天体の GPS 天体の内 14 天体で kpc に広がった構造が検出されている。この kpc スケールに広がった構造の放射強度は弱く 0108+388 では 20mJy 程度であり、大部分の天体は中心構造から 15-100 kpc 程度、離れているとされている (Tinti et al. 2005)。Baum et al. (1990) は、動力学的な年齢の観点から kpc スケールに広がった構造が現在 pc スケールで検出されている中心核の「過去の活動の残骸」であると考え、pc スケールの構造は中心核の最近の活動性を示し、pc スケールと kpc スケールの構造を結ぶ放射がないことから、活動性が再起したという解釈をしている。この GPS 天体の活動の再帰のことを recurrent activity、活動が再帰した天体であるという解釈は reborn scenario と呼ばれている (Augusto et al. 2006)。

reborn scenario は、GPS 天体の pc スケールの構造は若いという観測的な事実と AGN の人口分布問題を解決する 1 つの考えとなりうる。本研究では、広がった構造として存在するかもしれない過去の活動性について観測的研究をおこなった。直接的な画像観測として JVN による VLBI 観測を、またスペクトルの再現性という観点から JVN および文献・アーカイブデータを用いた。

2. 観測天体

2-1. 天体の選択

recurrent activity が期待される GPS 天体を以下の 3 つの条件で選択した。

1. 数年の時間スケールをおいても、GPS 天体である
2. pc スケールに構造をもっていること
3. kpc スケールに広がった電波構造があることが知られている

1 番の条件は、一時的に GPS を示すブレイザーを除外するためである。2, 3 の条件は、recurrent activity が期待される天体を選択する基準である。

この条件を満たす天体として、0108+388, 0424+328, 1758+388 の 3 天体を Tinti et al. (2005) から選択した。この 3 天体の座標および赤方偏移を表 1 に、2002 年に VLA で観測されたスペクトルを表 2 と図 1 に示す。

表 1. 観測天体

観測天体		種別	赤経	赤緯	赤方偏移	距離*	1 mas*
IAU	common		(J2000.0)			[10^{27} cm]	[10^{19} cm]
0108+388	OC314	G	01 11 37.3168	+39 06 28.103	0.669	12.4	2.16
0424+328		G	04 28 05.8087	+32 59 52.043	0.479	8.28	1.84
1758+388	OT398	QSO	18 00 24.7653	+38 48 30.697	2.092	51.4	2.61

* $H_0=71$, $\Omega_M=0.27$

表 2. V L A で観測した全フラックス密度

天体	周波数 (上段、GHz) 毎のフラックス密度 (mJy)							
	1.4	1.7	4.5	4.9	8.1	8.5	15.0	22.5
0108+388	476	594	1313	1286	978	937	507	315
0424+328	117	202	493	506	525	514	375	263
1758+388	313	331	702	748	1044	1063	1174	1076

(Tinti et al. (2005) による。フラックス密度測定精度は 1.4-8.5GHz は 3%、15.0GHz では 5%、22.5GHz では 10%)

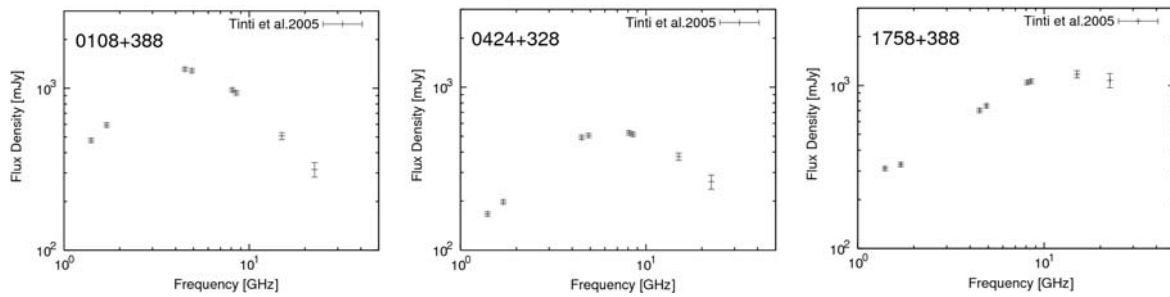


図 1. 観測天体のスペクトル。左から 0108+388, 0424+328, 1758+388。

2-2. 個別の天体について

2-2-1. 0108+388

0108+388 は Baum et al. (1990) により中心核から東に 20 秒角離れた位置に kpc スケールの構造が検出されている。pc スケールの構造について Taylor et al. (2000) は 8-43GHz でのスペクトルの形状とコンパクトな構造から、図 2 右に十字で示した C3 が中心核であるとしている。両端の構造 (C1 と C7) のセパレーション速度は Taylor et al. (2000) は 11 ± 2 、Owsianik, Conway & Polatidis (1998) は $9.27 \pm 1.21 \mu\text{as yr}^{-1}$ であるとしている。

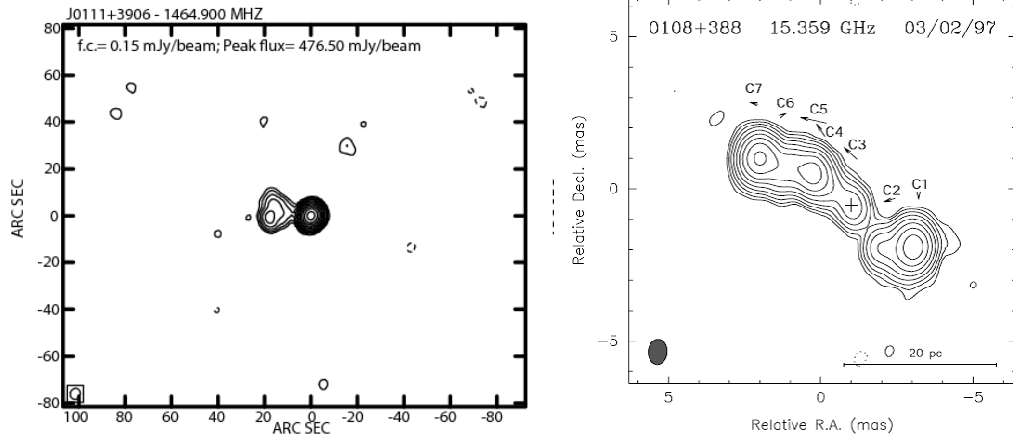


図 2. 0108+388 のマップ。左 : VLA, 1.4GHz による kpc スケール構造 (Tinti et al. 2005)。右 : VLBI, 15 GHz による pc スケール構造 (Taylor et al. 2000)。

2-2-2. 0424+328

0424+328 は $z = 0.429$ にある電波銀河である。Tinti et al. (2005) の VLA 観測で、1.465GHz と 1.665GHz において NW-SE 軸に僅かに分解された kpc スケールの構造 (図 3 左) が検出されている。pc スケールの構造では 15GHz と 22GHz での VLBA による観測 (Oriente et al. 2006) により、3つの構造 (図 3 右) が検出されている。

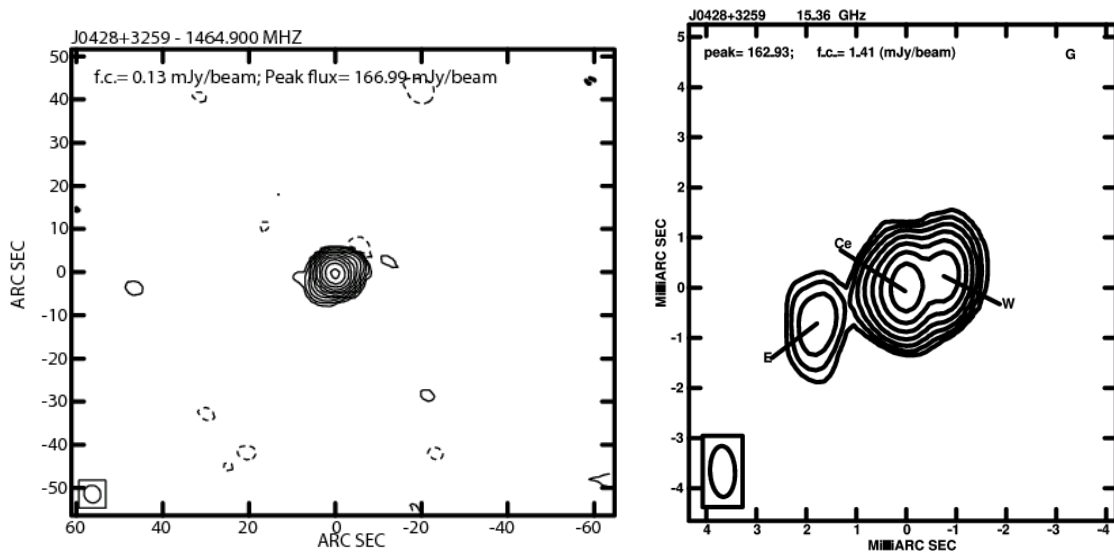


図 3. 0424+328 のマップ。左 : VLA, 1.4GHz による kpc スケール構造 (Tinti et al. 2005)。右 : VLBA, 15 GHz による pc スケール構造 (Oriente et al. 2006)。

2-2-3. 1758+388

1758+388 は $z = 2.092$ のクエーサーと分類される天体で、Tinti et al. (2005) の VLA 観測で 1.465GHz と 1.665GHz で、kpc スケールのわずかに分解された構造が得られている (図 4 左)。pc スケールの構造は、Kellermann et al. (1998) の VLBA, 15 GHz の観測で、放射のピークから西の方向に天体の構造が見えている (図 4 右)。VLBA 2cm survey によれば、同図で見えているコンポーネントの速度が $1.18c$ ($14 \pm 4 \mu\text{as yr}^{-1}$ であるとされている)。

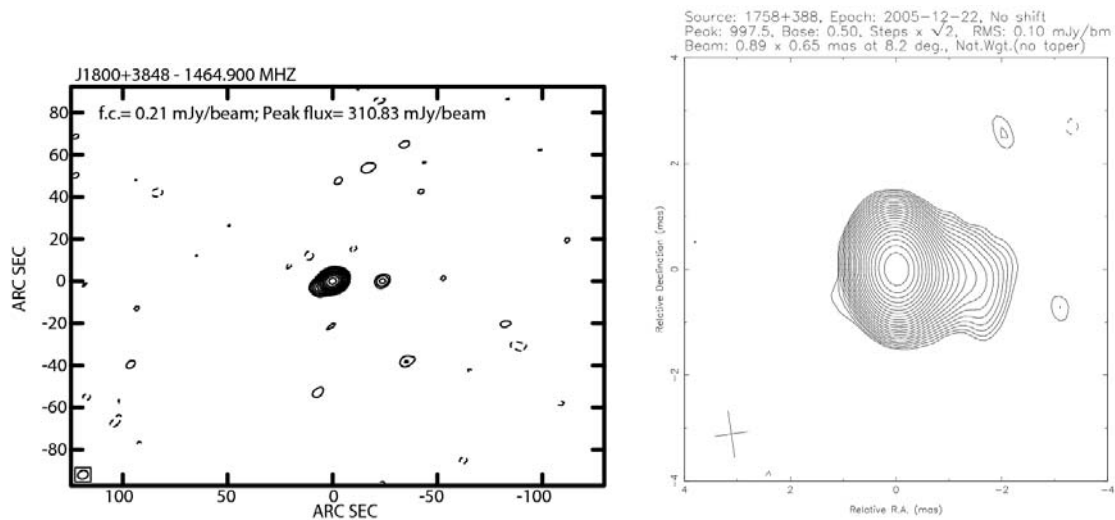


図4. 1758+388 のマップ。左 : VLA, 1.4 GHz による kpc スケールの構造 (Tinti et al. 2005)。右: VLBA, 15 GHz による pc スケールの構造(VLBA 2cm survey)。

3. JVN 観測とデータ解析

観測は JVN の 8GHz 観測における標準的なパラメータで行われた。すなわち、周波数は 8400-8416, 8432-8448MHz、偏波は RHCP、VSOP/K4 ターミナルを用いて、2bit-2ch-32Msample/s、全ビットレートは 128 Mbps である。観測は、0108+388 に対して 3 回、0424+328 と 1758+388 は各 2 回行われている。観測システムの不備などを補うために、複数回の観測を行った。表 3 に観測の概要を示す。

表 3. 観測概要

天体	コード	観測時間 UT	参加局
	U05296	12:15-13:55	RR,II,GG,MM,UD,TK,YM
0108+388	U05306*	13:00-20:55	RR,II,GG,MM,UD,KB,YM,GF
	U06069	23:00-09:00	UD,KB,TK,YM,GF
0424+328	U05307	15:00-20:55	RR,II,GG,MM,KB,TK,YM,GF
	U06099*	00:00-07:55	RR,II,GG,MM,UD,KB,TK,YM,GF
1758+388	U05352*	00:00-07:55	RR,II,MM,UD,KB,YM,GF
	U06007	00:00-05:55	RR,II,GG,MM,KB,YM,GF

*以下の解析で重点的に説明するデータ。

データ解析は、Astronomical Image Processing System(AIPS)と Difmap を併用して相対較正法にておこなった。JVN は人工雑音源を搭載していない観測局、有効開口面積がわかっていない観測局がありアプリオリ較正をおこなうことができないため、フラックス密度と構造が既知である点源の較正天体を観測することで SEFD を導出し、観測目標天体に適用する (相対較正法、Doi et al. 2006)。キャリブレータ天体のフラックス密度は、2005 年 11 月 12 日に山口 32m 電波望遠鏡の単一鏡観測で得られたフラックス密度を用いた。

すべての観測のうち、U05306、U05307、U05352、U06007、U06069、U06099 の観測では岐阜局、U06069、U06099 ではつくば局にデータの異常が見られたため、各観測のデータを解析するにはデータを利用しなかった。各天体について行った複数の観測のうち、条件が良いものをそれぞれ1つ選んで（表3の観測コードに*印を付した）以下で述べる。

4. 結果

全ての較正が終えたデータに対して、クリーンアルゴリズムを用いて描いた天体の輝度分布を、図5-7に示す。各マップともイメージr.m.s.の5倍を最小のコントアとしてとった。この結果に対して Difmap のモデルフィット機能を用いて、円形ガウシアンモデルでフィッティングを行い、輝度構造をモデル化した。各観測のイメージングの結果とモデルフィットの結果をそれぞれ表4、表5に示した。

表4. イメージングの結果

天体	コード	時間 (hr)	合成ビーム			画像ノイズ 1 σ (mJy/beam)	利用可能データ
			θ_{maj} (mas)	θ_{min} (mas)	p.a. ($^{\circ}$)		
0108+388	U05306	8	4.83	2.35	-76.6	0.82	RR,II,GG,MM,UD,KB,YM
0424+328	U06099	8	5.12	2.82	-32.4	0.79	RR,II,GG,MM,UD,KB,YM
1758+388	U05352	8	5.09	2.28	-54.9	1.23	RR,II,MM,UD,KB,YM

表5. モデルフィットの結果

天体	コード	成分	フラックス	中心距離	位置角	サイズ
			Sv (mJy)	r (mas)	Θ ($^{\circ}$)	θ (mas)
0108+388	U05306	A	292	4.67	-121.6	0.60
		B	229	0.57	-87.0	0.43
		C	318	0.90	69.9	0.37
		D	25	3.26	76.7	3.30
0424+328	U06099	E	37	2.41	109.4	<0.38
		Ce	323	0.06	24.7	<0.38
		W	99	0.96	-65.7	0.43
1758+388	U05352	Ce	1270	0.01	126.0	0.95
		W	15	2.38	-78.0	<0.34

※モデル成分の位置は画像の中心に対する位置である。モデルフィッティングによって得られた天体サイズ θ がビームの10分の1以下のサイズである場合は、上限値として円形のビームサイズの10分の1を示している。

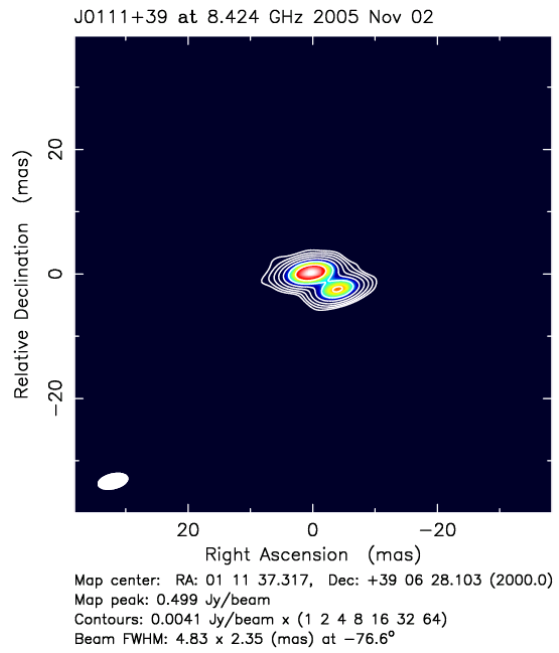


図 5. 0108+388

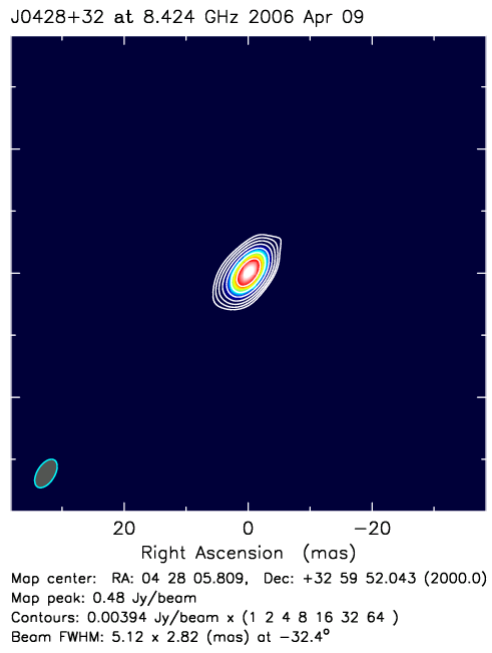


図 6. 0434+328

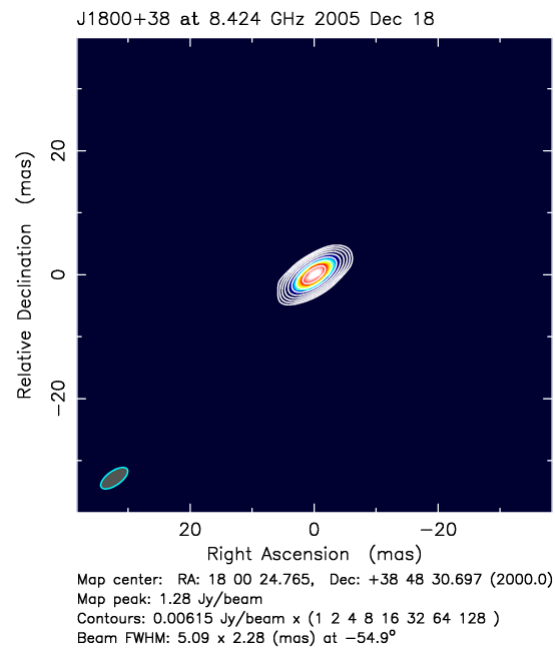


図 7. 1758+388

5. 考察

5-1. 構造

5-1-1. 構造成分の同定

観測で得られた成分を同定するために過去の観測結果と比較をおこなった。0108+388はTaylor et al. (2000) により中心核の位置が決定されている。Taylor et al. (2000) による 15GHz の観測画像 (図 2 右) の C1 と我々の観測で得られた成分 A を重ねると、我々の成分 B は Taylor et al. (2000) の C4 と C5 に、我々の成分 C は同 C6、

我々の D は同 C7 によく対応する (図 8)。今回の観測では中心核を検出できていない。

0424+328 については、Orienti et al. (2006) で 3 つの構造が検出されている (図 3 右)。今回検出された構造は、この 3 つの構造とよく一致しているが、中心核の位置については明らかになっていない。また 1758+388 の観測は多数おこなわれているものの、中心核の位置はわかっていない。よって、この 2 天体について成分を同定することはできなかった。

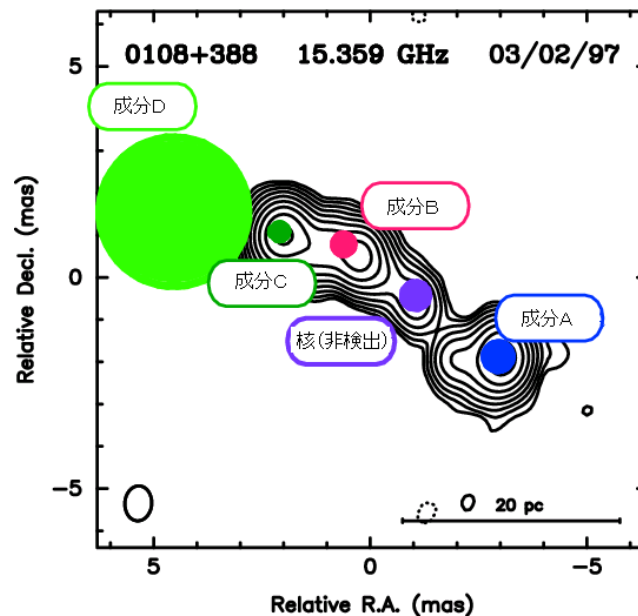


図 8. と U05306 で得られた構造の重ね合わせ。コントアは Taylor et al. (2000)、円は JVN の観測で得られた構造モデルを示す。中心核と考えられる位置もあわせて示した。

5-1-2. 動力学的な年齢の推定

ホットスポット膨張速度(セパレーション速度)と空間的な広がりから年齢を推定した。セパレーション速度は今回の観測では得ることができなかったため、0108+388 と 1758+388 については論文とウェブ上のデータを使い、0424+328 については観測で得られていないため GPS 天体のセパレーション速度の一般的な値 $0.2c$ を仮定した。参照したセパレーション速度とその値を表に示す。

表 6. 各天体のセパレーション速度の値

天体	v		Ref
	$h^{-1}c$	$\mu\text{as yr}^{-1}$	
0108+388	0.197 ± 0.026	9.27 ± 1.21	1
0424+328	$0.2 \pm 0.1^*$	11 ± 6	
1758+388	1.18	14 ± 4	2

Ref 1 : Owsianik et al. (1998), 2 : VLBA 2cm survey

*仮定値

この値を用いてそれぞれの観測で得られた構造の年齢を表 7 に示す。ただし、0108+388 については中心核の位置を Taylor et al. (2000) との重ね合わせによって推定し、ジェットは中心核からの伝播速度が表 6 に示す値を 0.5

倍した速度で伝播すると仮定して、動力的な年齢を算出した。こうして得られた年齢は、 10^2yr であり、現在観測されているジェットの高年齢を示している。

表 7. 動力的な年齢

天体	成分	R [mas]	t [yr]
0108+388	A	3.0	650 ± 220
	B	1.0	210 ± 200
	C	2.4	520 ± 200
	D	4.8	1030 ± 730
0424+328	E	3.4	310 ± 220
	Ce	1.0	90 ± 50
	W*	-	-
1758+388	Ce*	-	-
	W	2.4	170 ± 70

*基準とした成分。0108+388 は Taylor et al. (2000) のマップとの比較によって中心核の位置を決め、そこからの距離を使っている。

5-2. 輝度分布と体積放射率

図 5-7 のコントアは、イメージ上の揺らぎを表すイメージ r.m.s. の値の 5 倍を最小の単位として取っている。図には中心の構造から 50mas の範囲にイメージ r.m.s. の 5 倍以上の放射はない。観測量である輝度 B_ν (単位は Jy/beam) の上限値はビームの大きさに依存する量であるため、次の式によって天体の系の量である単色体積放射率 ϵ_ν (単位は $\text{Js}^{-1}\text{Hz}^{-1}\text{m}^{-3}$) の上限値に変換した。

$$\begin{aligned} \epsilon_\nu &= 4\pi \frac{D^2 B_\nu}{V} \\ &= 24 \frac{D^2 B_\nu}{\theta_{\text{beam}}^3} \end{aligned}$$

ここで、 V は観測ビームサイズ θ_{beam} を直径とした球の体積である。広がった構造に対する輝度および単色体積放射率の上限値を表 8 にまとめて示した。

表 8. 広がった構造に対する輝度・体積放射率の上限値

天体	輝度上限値(5σ) [$10^{-29} \text{Js}^{-1}\text{Hz}^{-1}\text{m}^{-2}\text{beam}^{-1}$]	ビームサイズ [10^{17}m]	天体距離 D [10^{27}m]	単色体積放射率 ϵ_ν ($10^{-29} \text{Js}^{-1}\text{Hz}^{-1}\text{m}^{-3}$)
0108+388	4.10	7.28	12.4	3.92
0424+328	3.94	6.99	8.28	1.90
1758+388	6.15	8.90	51.4	55.3

5-3. スペクトル

VLBI 観測で検出された各成分のスペクトルをシンクロトロン放射の式であてはめを行う。VLBI 構造のスペクトルを得るために、今回の観測で得られたデータに加えて、論文で紹介されているデータ、VLBA アーカイブデータを用いた。各コンポーネントのスペクトルを表に示す。

表9 各成分のスペクトル

天体	成分	フラックス密度 (mJy)					
		1.7 GHz	2.3	5.0	8.4	15.3	22.2
0108+388	A	42	98	400	292	134	-
	B	214	340	409	229	153	-
	C	31	54	291	318	158	-
	D	-	-	-	25	-	-
	E	44	61	-	-	-	-
	F	221	180	30	-	-	-
	G	-	-	-	-	22	-
0424+328	E	-	-	-	39	23	12
	Ce	-	-	-	319	233	168
	W	-	-	-	99	93	40
1758+388	Ce	-	342	828	1270	1060	768
	W	-	130	91	15	39	-

※8.4 GHz の値は我々の観測結果から、0424+328 の 15.3, 22.2 GHz の値は Orienti et al. (2006)、1758+388 の 5.0 GHz は Xu et al. (1995)、その他は VLBA アーカイブデータを解析して得た値。0108+388 の成分 E、F、G は我々の観測では検出されていない。

GPS 天体は低周波数ではシンクロトロン自己吸収が起きていると考えられる。3 周波数以上で検出された VLBI 構造に対してスペクトルフィッティングをおこなった。フィッティングをおこなった式は

$$S_\nu = S_0 \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{2.5} k^{-\alpha+2.5} \left\{ 1 + \exp \left[-\tau_s \left(\frac{\nu}{\nu_0} k \right)^{\alpha-2.5} \right] \right\}$$

である。ここで、 S_ν は周波数 ν での放射強度を表し、 $\nu_0 = 1$ GHz は、GHz で規格化するための値、 S_0 はシンクロトロン自己吸収のスケールリングファクター、 τ_s はシンクロトロン吸収係数、 α はスペクトルインデックス ($S_\nu \propto \nu^\alpha$) である。フィッティングの際には、 S_0 、 τ_s 、 α をフリーパラメータとしてフィッティングをおこなった。データのある周波数帯にスペクトルピークが無い場合、 k をフリーパラメータとして、全 VLBI 構造のフィッティング結果を重ね合わせた関数を VLA で得られたデータ Tinti et al. (2005) に対してフィッティングをおこなった。観測周波数内で吸収が起きていないと考えられる 0108+388 の成分 F と 1758+388 の成分 W については光学的に薄い場合のシンクロトロン放射の式

$$S_\nu = S_0 \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^\alpha$$

において、スケールリングファクター S_0 とスペクトルインデックス α をフリーパラメータとしてフィッティングをおこなっている。

フィッティングで得られたパラメータの値を表 1 0、各天体のスペクトルフィッティングの結果と各構造の足し合わせたスペクトルを図 9 に示す。

表 1 0. スペクトルフィッティング結果

天体	成分	S_0	τ_s	α	reduced χ^2
0108+388	A	11.8±0.4	483±103	-1.38±0.10	0.60
	B	54.6±5.2	26.0±9.9	-0.80±0.16	4.41
	C	7.38±0.9	387±210	-1.05±0.19	1.26
	F	696		-1.91	
0424+382	E	25.3	15.7	-1.14	
	Ce	3.3	980	-0.95	
	W	0.5	2.10x10 ⁵	-2.53	
1758+388	Ce	42.7±6.2			
	W	4.08±2.8x10 ²		-1.37±0.5	44.0

図 9 から分かるように 0108+388、0424+328 では、VLBI 観測で得られた成分のフラックス密度をシンクロトロン放射のモデル関数で良くスペクトルフィッティングできた。さらに、VLBI で得られた成分のスペクトルの重ねあわせが、VLA で観測されたフラックス密度をよく再現している。このことは、VLBI で検出された pc スケールの構造がこれらの天体の放射のほとんど全てを占めていることを意味する。そのほか VLA で観測された微弱な kpc スケールのジェット構造が存在するが、それ以外に放射構造がなく、kpc-pc スケール (10^{4.5}-10^{2.3}yr) の間はこれらの天体の活動性はごく低かったことが推測される。

1758+388 については、成分 Ce がフラットスペクトルを示すためシンクロトロン自己吸収スペクトルでは表現できなかった。この天体のフラットなスペクトルは、ドップラービーミングの効果によって現れた可能性が高く、したがって 1758+388 は若い電波銀河ではなく、ビーミングが効いているブレイザーである可能性が高い。

5-4. 活動再帰の時間スケール

観測した 3 天体のうち、0108+388、0424+328 は活動が再開した AGN であり、年齢が 10^{2.3} yr であると考えられる結果が得られた。また、これらの天体には 10^{4.5} yr の過去の活動性が存在する。単純に、活動期と停止期が繰り返していると仮定すると、活動期と停止期の時間比率は 10⁻¹ ~ 10⁻³ である。これは電波で活動的とされる AGN において GPS などの天体が占める割合に近い。すなわち、電波で見た AGN の活動性は 10⁻¹ ~ 10⁻³ の割合で「若い」、Youth Scenario を支持する可能性が考えられる。

しかし、この単純な過程を受け入れると、GPS として活動を再開する前の約 10⁵ yr の間は、過去に活動して現在は活動が停止している状態の天体が多く存在し、それが観測される AGN の 90-99.9% を占めることになる。こ

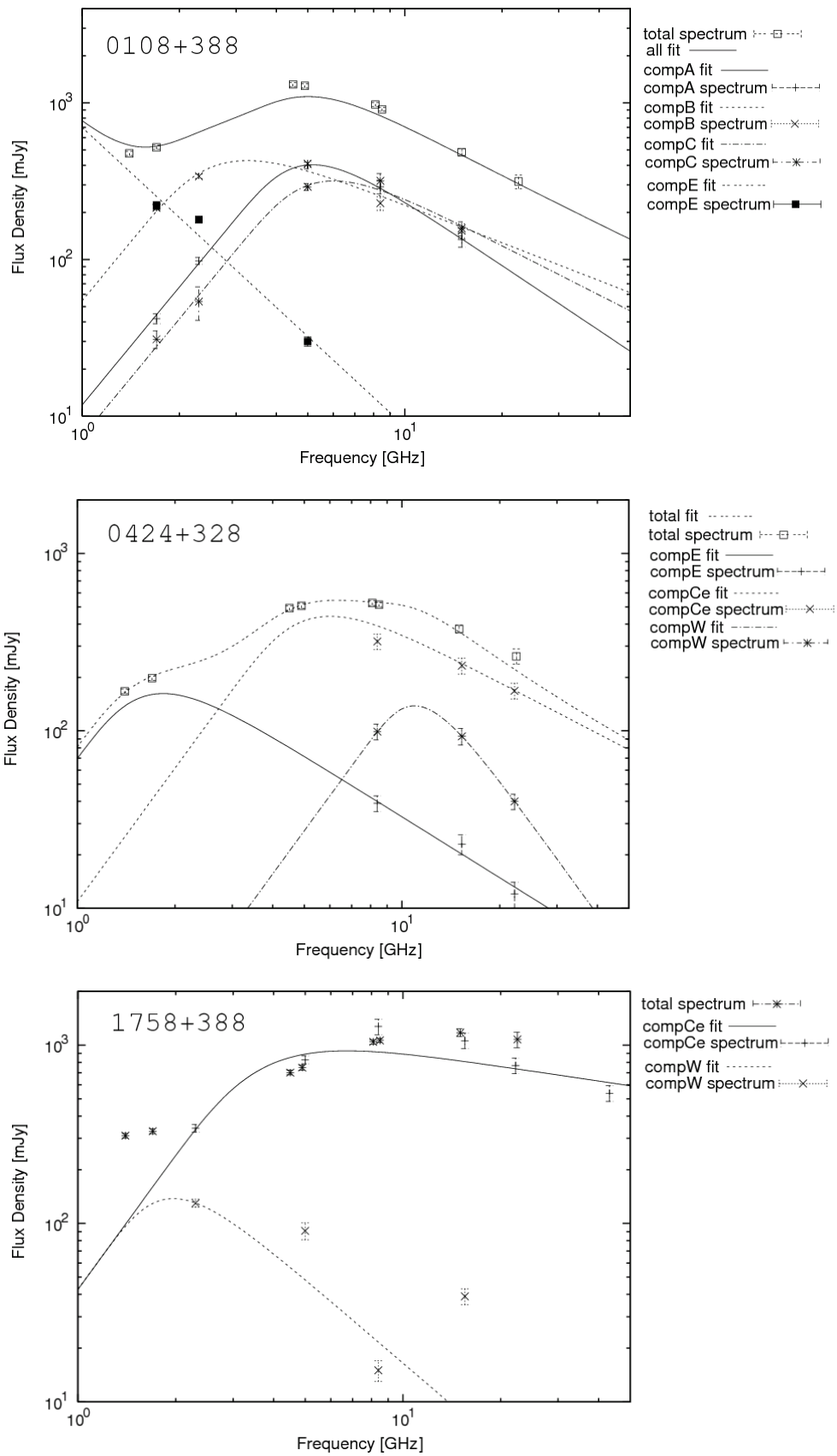


図9. VLBI 構造のスペクトルフィッティングと VLBI 構造の足し合わせでのトータルフラックス密度。トータルは、未検出は2つ以下の周波数で見つかったフラックス密度を除いたトータルフラックス密度、comp は各成分、fit はフィッティング結果、spectrum はスペクトルを表している。

れは現実の観測結果と一致しているようには思われぬ。

Youth Scenario と AGN の人口分布問題において、GPS などの若い天体はやがて巨大電波銀河に進化するという仮定がある。しかし必ずしも全ての GPS が巨大電波銀河に進化しない可能性も考えられる。GPS として誕生しても、短時間のうちに活動が停止し、AGN として認識されなくなるのかも知れない。その場合、GPS として出現したジェットが観測限界以下になるまでの時間などのジェットの消長を含めた観測と考察が必要である。

6. まとめ

GPS 天体はコンパクトな空間的な広がりから、 10^{2-3}yr の「若い」天体であると考えられている。しかし GPS 天体には kpc スケールに広がる構造 (10^{4-5}yr に対応) がしばしば見られる。このような構造を持つ GPS 天体は、活動が再帰したという解釈がなされている。これを確かめるには GPS の活動の再帰の時間スケールを明らかにすることが必要である。

我々は、活動が再帰する特徴を示す 3 つの GPS 天体 0108+388、0424+328、1758+388 について JVN を用いて観測をおこなった。その結果、5mas 以下の範囲に複数の成分からなる放射構造を検出した。これは過去の観測と対応させることができる結果である。いっぽう、観測を行った 50mas の範囲内で、5mas 以上はなれた位置には放射構造が見られなかった。このことは体積放射率に対する強い上限を与え、この空間スケールに対応する過去の活動がない、あるいはごく小さいことが明らかになった。

また、今回得られた観測結果と VLBA アーカイブデータを用いて、VLBI で観測される個々の成分に対してシンクロトロン自己吸収スペクトルを当てはめた。その結果、0108+388、0424+328 のスペクトルはシンクロトロン自己吸収スペクトルでよく当てはめることができた。さらに、個々の成分のスペクトルを足し合わせると、VLA で観測された全フラックス密度のスペクトルをよく再現することができた。すなわち、VLBI で検出された pc スケールの構造がこれらの天体の放射のほとんど全てを占めていて、これらの天体の活動性はごく最近だけ出現していると考えられる。また VLA では微弱な kpc スケールのジェット構造が観測されている。この kpc スケールには 10^{4-5}yr の時間スケールに対応するため、VLBI で観測された 10^{2-3}yr の活動性と、VLA で観測された 10^{4-5}yr の活動性の間は、これらの天体の活動性はごく低かったことが推測される。

輝度分布とスペクトルの 2 つの手法から、 10^{3-4}yr に対応する過去の構造が無い、あるいはごく小さいことを示す結果を得た。

1758+388 のスペクトルフィッティングの結果は、高周波数で単一のシンクロトロン自己吸収スペクトルでは説明できない、フラットなスペクトルを示した。この天体は若い GPS というより、ドップラー増幅効果が強く作用する高速なジェットを持ったブレーザーであると考えられる。

参考文献

- Augusto P., Gonzalez-Serrano J. I., Perez-Fournon I., Wilkinson P.N. 2006, MNRAS, 368, 1411
Baum S. A., O'Dea C. P., de Bruyn A. G., Murphy D. W. 1990, A&A, 232, 19
Carvalho J. C. 1985, MNRAS, 215, 463
Doi A., Fujisawa K., Habe A., Honma M., Kawaguchi N., Kobayashi H., Murata Y., Omodaka T., Sudou H., Takaba H. 2006, PASJ, 58, 777

Fanti R., Fanti C., Schilizzi R. T., Spencer R. E., Nan Rendong, Parma P., van Breugel W. J. M., Venturi T.
1990, *A&A*, 231, 333

Kellermann K. I., Vermeulen R. C., Zensus J. A., Cohen M. H. 1998, *AJ*, 115, 1295

Kuehr H., Witzel A., Pauliny-Toth I. I. K., Nauber U. 1981, *A&AS*, 45, 367

O'Dea C. P., Baum S. A., Stanghellini C. 1991, *ApJ*, 380, 66

Orienti M., Dallacasa D., Tinti S., Stanghellini C. 2006, *A&A*, 450, 959

Owsianik I., Conway J. E., Polatidis A. G. 1998, *A&A*, 336, L37

Peacock J. A., Wall J. V. 1982, *MNRAS*, 198, 843

Phillips R. B., Mutel R. L. 1982, *A&A*, 106, 21

Stanghellini C., O'Dea C. P., Dallacasa D., Baum S. A., Fanti R., Fanti C. 1998, *A&AS*, 131, 303

Taylor G. B., Marr J. M., Pearson T. J., Readhead A. C. S. 2000, *ApJ*, 541, 112

Tinti S., Dallacasa D., de Zotti G., Celotti A., Stanghellini C. 2005, *A&A*, 432, 31

Xu W., Readhead A. C. S., Pearson T. J., Polatidis A. G., Wilkinson P. N. 1995, *ApJS*, 99, 297

VLBA 2cm survey <http://www.cv.nrao.edu/2cmsurvey/>

JVN Reports (大学V L B I 連携研究成果報告書) 原稿募集のお知らせ

(1) JVN Reports とは

大学V L B I 連携観測事業の一環として、定期的に発行する研究成果報告書が JVN Reports です。内容は研究報告、実験のメモ、開発メモ、対外的・政治的な取り組み、各種情報などです。この報告書の目的は、連携事業の成果を公表・共有・保存すること、研究内容を文書にすることで研究を促進すること、連携事業の活力を維持・発展させること、将来の展開の素地となることです。発行は1年に4回、投稿資格者は大学V L B I 連携観測事業のメンバーです。査読は行いません。

(2) 原稿募集

JVN Reports は、連携の研究に参加する多くの方に寄稿されることで成立します。ぜひ、多くの方に原稿を書いていただきたいと思います。内容は、連携運用会議に出される資料の程度、またはそれ以上の内容であることとします。具体的な内容の例を挙げます。

- **研究報告** 連携の観測で行った研究に加え、他のアレイで行った研究も歓迎する。V L B I でなくても良い。観測提案にかかわる研究報告でも良い。論文のドラフトでも良い。
- **実験・開発メモ・各種情報** 連携に関連した各種実験や開発の報告、もっと小さなメモなどでも良い。
- **対外的・政治的な取り組み** V L B A問題など外部の情勢の報告、東アジア観測網の構築やV S O P - 2 対応などの取り組みに関する報告なども良い。

次回の原稿締め切りは2009年3月1日です

JVN Report 原稿のスタイル

- 入稿：印刷可能状態の原稿、ファイル形式は基本としてPDFとする。
- 原稿サイズ：A4、横書き。上下左右には20mm以上の余白を作る。
- フォント：以下は例。およそこのようなスタイルとなっていれば良いとする。
 - タイトル=ゴシック、12ポイント
 - 著者名、所属、本文=明朝系、10ポイント
 - 章の表題=ゴシック、10ポイント
 - 段組、図=特に指定しない。カラーでも良いが、印刷は白黒。
- 章立て：以下の規則とする。
 - 先頭にタイトル、次の行に著者と所属、次に日付。それに続けて本文。
 - 本文の章立ては原則として任意。アブストラクト、謝辞などはあってもなくてもよい。

藤沢健太、中川亜紀治（編集担当）