

山口 VLBI 用相関器の性能評価

齋藤直斗 藤澤健太 新沼浩太郎 (山口大学)

概要

VLBI 観測を行う際、天文台が所有する相関器を用いた相関処理を行う必要がある。そこで、我々は山口大学 VLBI 用相関器を立ち上げ、大学間での VLBI 観測の相関処理を大学所有の相関器で行うことで、よりスムーズに研究を行うことを目指している。そこで、山口 VLBI 用相関器を立ち上げ、鹿島 34m 電波望遠鏡、山口 32m 電波望遠鏡で 2 度の VLBI 観測を実施し、相関器の性能評価を行った。試験観測 1 ではキューサー 4C39.25 の観測を実施し、山口相関器を用いた相関処理により、フリッジを検出することに成功した。また、鹿島相関器による相関処理の結果が 0.1-16% の差で一致した。試験観測 2 では銀河中心領域のコンパクト電波源の探査を行ったが、観測に行ったターゲット天体 16 天体すべてについて現段階ではフリッジ検出に至っていない。

1 はじめに

現在、VLBI 観測を行う際、天文台が所有する相関器を用いて相関処理を行っている。そこで、山口大学では VLBI 用相関器を立ち上げ、相関処理と解析をすべて大学が所有する相関器で行い、より、スムーズに研究を行える環境構築を目指した。この相関器が完成すると、日本では初となる大学所有の VLBI 用相関器となる。

2 観測

観測は鹿島局、山口局の 2 つのアンテナを用いて行った。また、2 度の鹿島-山口での VLBI 観測を実施し、山口相関器の性能について確かめた。観測はいずれ周波数は 8.192 GHz、帯域幅は 512 MHz で行った。

2.1 試験観測 1 キューサー 4C39.25

本試験観測の観測日は 2015 年 10 月 5 日の 01:00-04:00 (UT) で全観測時間は 3 時間である。今回の性能評価では観測のなかでも、明るい天体であるキューサー 4C39.25 の 10 分間のデータを用いて相関器の性能を評価を行った。

2.2 試験観測 2 銀河中心領域方向のコンパクト電波源の探査

本試験観測では、様々な天体強度を持つ天体の観測を目的とし行った。観測日は 2015 年 12 月 7 日の 01:00-06:00 (UT) で全観測時間は 5 時間である。ターゲット天体は 1.4-5 GHz 帯での銀河面の探査を行った Becker et al. (1994, ApJS, 90, 949B) のカタログより下記の条件を満たす天体を選出した。

1. 山口大学修士 1 年の木村さんの観測で選出されていない天体
2. 5 GHz, 1.4 GHz の両方で観測されている天体
3. 銀河中心領域から 5 度以内の天体
4. 5 GHz の観測でのサイズが 3 秒角以下の天体
5. 1-5 GHz でのスペクトル指数が -1.5 以上
6. 8 GHz での予想フラックスが 10 mJy 以上

1 天体につき観測時間 10 分間とした。また、ターゲット天体が検出できなかった場合、観測システムの問題と切り分けられるよう、VLBI で検出されているコンパクト天体をキャリブレーションとして観測を行った。

表 1 試験観測 2 でのキャリブレーション

Name	RA (J2000) hh mm ss	Dec (J2000) ddd mm ss
NRAO530	17 33 02.71	-13 04 49.5
J1724-14	17 24 46.97	-14 43 59.8
J1744-31	17 44 23.58	-31 16 36.3
J1711-25	17 11 23.10	-25 09 01.6
J1705-28	17 05 37.51	-28 38 10.2
J1751-19	17 51 41.35	-19 50 47.5

表 2 試験観測 2 でのターゲット天体

No	Name	RA	Dec	5GHz		1.4-5 GHz	8GHz
		(J2000) hh mm ss	(J2000) ddd mm ss	S [mJy]	size [sec]	Spectral Index	flux density
1	J1755-2A	17 55 51.08	-24 35 39.8	17.9	0	-0.4	14.7
2	J1755-2B	17 55 33.43	-24 43 29.9	31.3	1.4	-1.3	16.3
3	J1755-2C	17 55 07.98	-24 49 21.3	19.3	1.4	-1.1	11.2
4	J1754-26	17 54 55.68	-26 09 47.5	58.0	2.3	-0.1	55.7
5	J1748-27	17 48 55.83	-27 44 43.4	18.0	0	-0.3	15.5
6	J1747-28	17 47 52.76	-28 00 42.6	16.2	1.2	0.1	16.7
7	J1748-28	17 48 55.92	-28 11 58.1	14.8	0	-0.6	10.7
8	J1746-28	17 46 29.81	-28 56 21.4	57.6	1.7	-0.1	53.5
9	J1743-29	17 43 26.80	-29 47 31.3	11.8	0	-0.2	10.7
10	J1742-29	17 42 44.03	-29 49 15.5	72.7	0	-1.2	39.3
11	J1740-30	17 40 03.63	-30 19 06.5	45.0	1.1	0.3	53.1
12	J1742-30	17 42 21.07	-30 28 00.4	22.3	0	0.0	22.0
13	J1741-30	17 41 02.92	-30 29 22.6	25.1	2.3	-0.7	17.6
14	J1737-31	17 37 10.27	-31 11 06.1	17.9	2.0	-0.1	16.8
15	J1738-31	17 38 00.59	-31 40 54.4	50.6	1.9	0.2	55.7
16	J1737-32	17 37 44.92	-32 15 29.2	49.7	1.6	0.3	58.7
17	J1735-3A	17 35 39.72	-32 18 54.9	27.0	2.4	-0.9	17.3
18	J1736-32	17 36 49.52	-32 38 01.9	15.4	0.8	-0.2	13.8
19	J1734-32	17 34 59.76	-32 46 22.3	17.8	0	0.3	20.9
20	J1733-3B	17 33 28.99	-32 47 57.4	240	3.0	0.2	273.3
21	J1735-32	17 35 04.80	-32 51 24.1	11.9	0	-0.1	11.5

3 結果

3.1 試験観測 1 クェーサー 4C39.25

試験観測 1 を山口相関器で相関処理を行った結果、積分時間 1 秒とした場合、SNR=226 で検出した。この結果より、山口相関器が正常に作動していることが確認された。また、鹿島、山口各相関器の解析パラメータを等しくし、相関処理結果を比較した結果、以下ようになった。

表 3 鹿島、山口それぞれの相関処理結果

	鹿島相関器	山口相関器
積分時間 [sec]	4.00	4.00
強度 [%]	0.686	0.687
位相 [deg]	10.4	12.1
Delay[spl]	-0.502	-0.506
Rate[mHz]	-25.3	-25.1
SNR	412	416

等しい相関処理手順であるにも関わらず違いが生じたが、位相以外のすべてのパラメータが 0.1-16% の誤差で一致した。

3.2 試験観測 2 銀河中心領域方向のコンパクト電波源の探査

試験観測 2 の結果、山口局でのシステムトラブルにより、ターゲット天体の source1-6 の観測が行うことが出来ず、source7 - 21 に対して観測を行った。SNR の閾値を 5 としてフリッジ検出を目指したが、すべてのターゲット天体が現在検出に至っていない。較正天体と同時に VLBI で検出されているコンパクト天体はフリッジが検出できているため、観測自体は問題がなく行われている。よって、今回の観測ではターゲット天体に問題があることが考えられる。

4 考察

試験観測 1 での鹿島相関器の比較した際に生じた差異の原因は未だ解明できておらず調査中である。試験観測 2 のターゲット天体が検出することができていない理由として、以下のものが挙げられる。

1. 広がった天体であったため
2. スペクトル指数から見積もった予想フラックス密度より実際のフラックス密度より低かったため
3. カタログが古く、天体が強度変動している。
4. 上記以外の要因で観測できるフラックス密度の理論値より実際に観測できる値が低かったため

上記の 4 以外に関しては、カタログから選出した天体に問題があったと言える。今回の試験観測から上記の 4 に関して考察を行った。

$$SNR = \frac{S_\nu \sqrt{A_1 A_2} \sqrt{2\Delta\nu\tau}}{2k\sqrt{T_1 T_2}} \quad (1)$$

式 (1) より、積分時間 τ を n 倍することで SNR は理論上 \sqrt{n} 倍になると考えられる。そこで、実際に積分時間変え相関処理を行い、SNR がどのように変動するかを求めた。ここでは NRAO530 の積分時間を 1 秒、4 秒、16 秒、64 秒と行い、それぞれの SNR を比較し、その結果を表 4 にまとめた。

表 4 NRAO530 のそれぞれの積分時間における相関処理で得られた SNR

積分時間 [sec]	SNR
1.00	92.3
4.00	173
16.0	406
64.0	858

表 4 より、積分時間の平方根と SNR の間に比例関係であると言える。相関処理での遅延補正が正確に行えていることが言える。今回の観測では NRAO530 のフラックス密度を求めることができないので 2015 年の夏に山口大学修士 1 年の木村さんが行った VLBI 観測で得られた NRAO530 のフラックス密度 4.4Jy を用いた。積分時間 10 分での $SNR=5.00$ となるフラックス密度を計算すると 9.1mJy であれば、検出可能であると言える。よって、試験観測 2 でのターゲット天体が検出することが出来なかった要因は 1 以外の天体選出に原因であったと考えられる。

5 今後の展望

今回の結果より、山口 VLBI 用相関器には鹿島相関器との違いが生じている問題があったが、相関処理は正常に機能していることが分かった。今後はこの相関器を利用し相関処理を行い、よりスムーズに研究を行える環境構築をすることができれば、ブラックホールなどのコンパクト天体の研究を推し進めていくことができるだろう。

6 謝辞

今回の山口 VLBI 用相関器を立ち上げるにあたり、多忙な中、NICT 鹿島の関戸衛様、岳藤一宏様には研究を進めるうえで時間を割いて協力として頂いたことに大変感謝しております。深く御礼申し上げます。