

# 高感度 VLBI 観測による Sgr A\* 近傍のブラックホールの探査

木村靖伊奈、藤沢健太、新沼浩太郎 (山口大学)、米倉覚則 (茨城大学)

## 概要

多くの銀河の中心部には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在し、AGN として観測されている。しかしながら、これらのブラックホールの形成過程は未だ明らかにされていない。超大質量ブラックホールの形成メカニズムの 1 つに銀河の衝突合体に伴うブラックホール合体が考えられている。この過程が生じる途中では母銀河の中心核近傍に吸収された銀河の中心核が浮遊していることとなり、銀河系以外のいくつかの銀河においてはそのような浮遊ブラックホールの候補はすでに発見されている。合体成長によりブラックホールが進化するのであれば、Sgr A\* の近傍にも比較的大型のブラックホールが浮遊している可能性がある。銀河中心付近にブラックホール同士の合体の証拠となるような天体を発見することが本研究の目的である。銀河中心方向にあるコンパクト電波源 5 天体に対して高感度 VLBI 観測を行い、4 天体を検出した。この結果と現状および今後の観測予定について報告する。

## 1. イントロダクション

$10^6$ - $10^9 M_{\odot}$  程度の SMBH は銀河の中心領域に存在することが発見されているが、これらの形成過程は明らかにされていない。このような SMBH は成長途中でガス降着を通じてその質量の大部分を取得すると考えられている。しかしながら、 $Z \sim 6$  における SMBH の発見により種ブラックホールが小さい場合、ガスの降着のみではエディントン降着限界が原因でその時間内に SMBH まで成長することは困難である。そこで現在考えられている SMBH 形成メカニズムは主に以下の 3 つである。

- (1) エディントン比 1 または Super-Eddington での降着
- (2) 超大質量星からの恒星質量ブラックホール以上の質量のブラックホールの形成
- (3) ブラックホール同士の合体成長

本研究では SMBH の成長の過程としてブラックホールの合体の可能性について検討する。ブラックホールの合体は銀河の衝突合体に伴って起きると考えられている。CDM 宇宙論では、大質量銀河は複数の小さな銀河の合体を通して形成される。小さな銀河が SMBH を有している場合、大質量銀河は合体後に複数の SMBH を含むはずである。しかしながら複数の SMBH がある銀河はほとんど発見されていない。これは合体吸収された銀河の中心核であった SMBH は母銀河の中心核と合体しているためであると推測される。また、複数の SMBH の系では 1 つの SMBH のみが合体成長することが N 体シミュレーションによって示されている [1]。別のシミュレーションでは銀河合体に伴うブラックホール同士の合体により  $Z \sim 6$  で SMBH が形成されるという結果が出されている (Fig 1)。この成長過程の途中では銀河の中に吸収された銀河の中心核であった比較的大型のブラックホールが浮遊していることとなる。我々の銀河系の中心領域にも SMBH である Sgr A\* が存在している。合体成長によってブラックホールが成長するならば、Sgr A\* の近傍にも比較的大型のブラックホールが浮遊している可能性がある。このような浮遊ブラックホールは Sgr A\* からの類推により以下のような特徴を持つと考えられる。

- (1) コンパクト
- (2) スペクトルがフラット
- (3) 短期の強度変動を示す
- (4) 背景 AGN とは異なる固有運動を示す

このような性質を示す天体を探査することが本研究の目的である。

## 2. 観測対象天体

研究の第一歩として、上記の (1)、(2) の条件を満たす天体を JVN 観測によって探査した。天体選出には Lazio & Codes (2008) の 2LC カタ

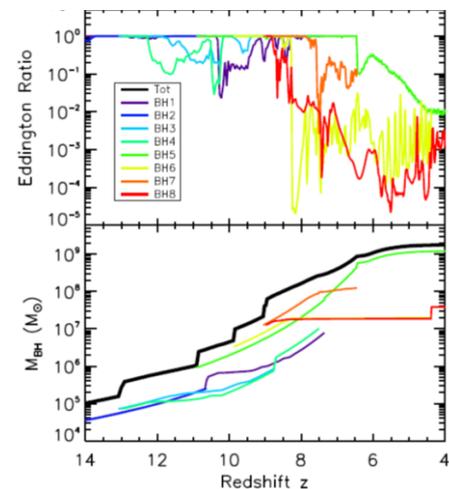


Fig. 1: 銀河合体に伴うブラックホール同士の合体のシミュレーション [2]

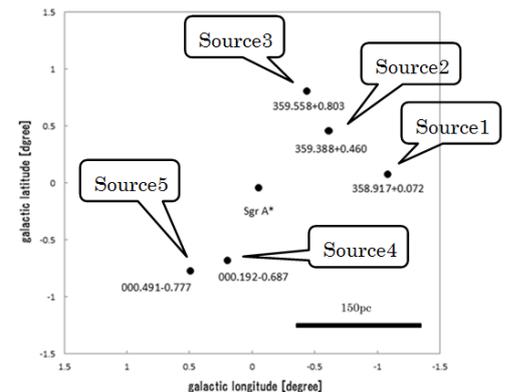


Fig. 2: 観測天体の空間分布図

ログを用いた。このカタログは銀河中心から直径 $2^\circ$ 内部のコンパクト電波源をVLAを用いて、1.4 GHzと5 GHzで探査したものであり、170個のコンパクト電波源が検出されている。このうち次の条件を満たすものを選出した。

- (1) 1.4/5 GHzの両方で検出
- (2) 5 GHzのフラックス密度が10mJy以上
- (3) 5 GHzでのサイズは0.25秒角以下
- (4) スペクトル指数が-1より大

この条件を満たす天体は5天体あり、これが今回の観測対象となる天体である (Table 1)。また、5天体の空間分布をFig 2に示す。Table 1のNo1からNo5までの天体をそれぞれsource1からsource5とする。

Table 1: 観測天体

No	Name	RA (J2000.0)			Dec (J2000.0)			5 GHz			1.4-5 GHz
		hh	mm	ss	ddd	mm	ss	I [mJy /beam]	S [mJy]	size [sec]	Spectral Index
1	358.917+0.072	17	42	44.013	-29	49	15.98	93.2	99.4	0.08	-0.7
2	359.388+0.460	17	42	21.46	-29	12	59.96	30.2	37.2	0.25	-0.7
3	359.558+0.803	17	41	26.158	-28	53	28.97	13.1	15.2	0.23	-0.8
4	000.192-0.687	17	48	45.68	-29	7	39.2	84.5	83.8	0	1
5	000.491-0.777	17	49	49.018	-28	55	5.36	11.4	12.1	0.16	-0.1

### 3. 観測 (1)

観測は山口、つくば、日立の3局を用いて行った。観測日時は2014年6月9日の12:30 - 18:00(UT)で、全観測時間は5.5時間である。1天体につきそれぞれ5回の観測を行い、1回の観測時間は10分とした。周波数は8.192-8.704GHzで、帯域幅は512MHzの観測を行った。

### 4. 結果

観測天体のSNRをFig 3に示す。この時、日立局を基準のアンテナとし、SNRの閾値は3とした。Fig 3は、左より順番に観測天体のsource1からsource5の繰り返しとなっている。Fig 3から分かるように上記の観測の結果、source1,2,4,5の4天体が検出された。

検出天体4天体の基線長に対するフラックス密度をFig 4に示す。source1,5は基線長の変化に対しフラックス密度がほとんど変化していないことからこの2天体は非常にコンパクトな天体であることが分かる。

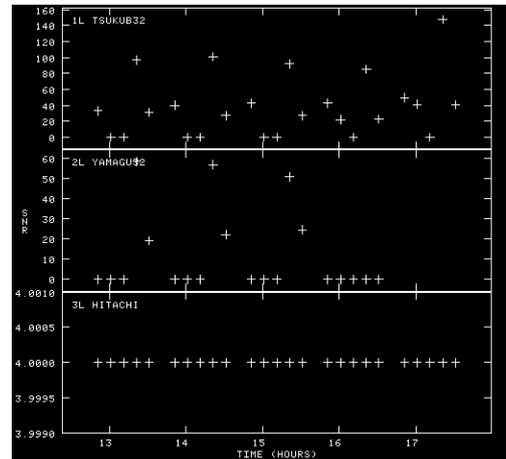


Fig. 3: 観測天体のSNR

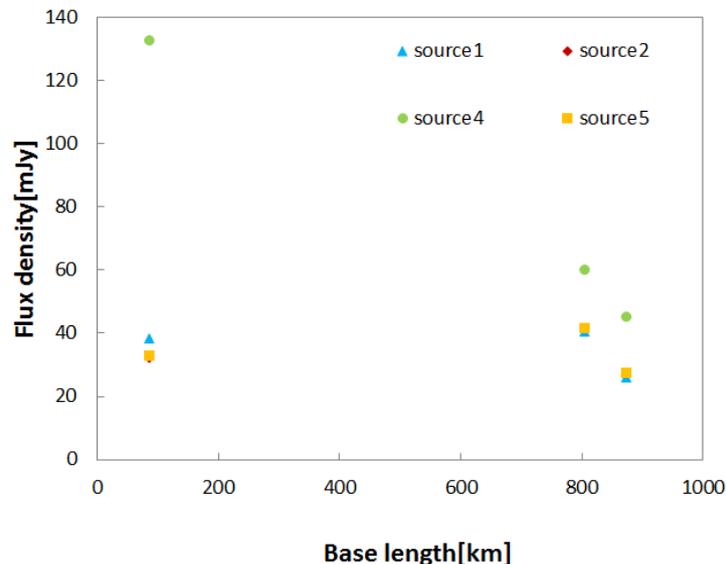


Fig. 4: 検出天体のフラックス密度

## 5. 考察

まず検出天体について天体サイズの推定を行った。簡単のため山口局を含む長基線のフラックス密度は平均し、その値と短基線のフラックス密度を用い、ガウス型輝度分布天体を仮定して推定を行った。ガウス型で仮定できたのは source1,4 の2天体であり、その推定サイズはそれぞれ 1.77 mas, 4.49 mas であった。source2,5 についてはサイズは推定できなかったが、source5 は Fig 4 より source1 と似たフラックス密度を示していることから同程度のサイズであると考えられる。また、source2 は長基線で非検出であることから広がった天体であると思われるが、少なくとも VLBI で検出可能な程度にコンパクトであるといえる。

また、輝度温度についても推定を行った。上記のガウス型輝度分布を仮定できた天体についてその仮定のまま輝度温度を算出したところ source1,4 はそれぞれ  $2.1 \times 10^8$  K,  $1.2 \times 10^8$  K であった。残りの2天体は一樣輝度分布を仮定し下限値を算出したところ、source2,5 の輝度温度はそれぞれ  $8.5 \times 10^4$  K,  $7.6 \times 10^6$  K であった。

以上の推定により検出天体はコンパクトで高輝度な天体であることが分かった。source4 については観測後、系外天体であったことが判明したため、他の3天体が目的とする天体の可能性があるといえる。そこでこの3天体について固有運動の測定を行う。

## 6. 観測 (2)

観測 (1) で検出された3天体の固有運動の測定を目的とした観測を行った。観測は山口、つくば、日立の3局を用いて行った。観測エポックは2015年6月17日、7月20日、8月20日、10月15日の計4エポックであり、1回の観測時間は6時間である。固有運動測定が目的であるため、位相補償観測を行った。観測周波数は8.192-8.704GHzで、帯域幅は512MHzである。

## 7. 中間報告

観測 (2) のデータは現在解析中であり、その中間報告を行う。現在解析を行っているのは1エポック目のデータであり、3天体とも強度が非常に弱い天体であるため、まず天体が検出されているかを確認している。3天体中1番強度の強い source5 のマップを Fig 5 に示す。このマップより強度は弱いが、source5 は検出できていることが分かる。フラックスキャリブレーターである NRAO530 とのピークフラックスとの比より算出した source5 のフラックス密度は 16.1 mJy であった。

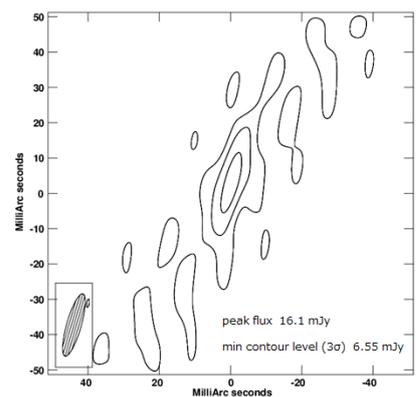


Fig. 5: 1 エポック目の source5 のイメージ

## 8. 展望

まず、上記の観測 (2) の解析を進めることで3天体の固有運動の検出を目指す。また、現在 VERA を用いた固有運動の測定を行っている。この観測は2ビーム観測で行っており、source2 についてのみの測定である。4エポックの観測を予定しており、現在2エポックまで観測を終えている。この他の今後の観測としては広範囲でのコンパクト電波源サーベイを JVN 観測で行う予定である。観測 (1) では銀河中心から直径  $2^\circ$  内部をサーベイしたカタログより選出した5天体について探査を行い候補天体3天体を検出した。そこで、より広範囲のサーベイカタログから天体選出を行い、合体の証拠となるようなブラックホール候補天体の増加を目的とする。天体選出には Becker(1994)<sup>[4]</sup>、Lazio & Codes(1998)<sup>[5]</sup>、Lazio & Codes(2008)<sup>[3]</sup>、Roy(2005)<sup>[6]</sup> の4つのカタログを用い、55天体を選出した。この55天体に対し観測 (1) とほぼ同様の観測を行う予定である。

## 9. 参考文献

- [1] Tanikawa & Umemura, 2011, ApJL, 728, L31
- [2] Li, Y., Hernquist, L., Robertson, B., et al. 2007, ApJ, 665, 187
- [3] Lazio, T. J. W., & Cordes, J. M. 2008, ApJS, 174, 481
- [4] Becker, R. H., White, R. L., Helfand, D. J., & Zoonematkermani, S. 1994, ApJS, 91, 347
- [5] Lazio, T. J. W., & Cordes, J. M. 1998, ApJS, 118, 201
- [6] Roy, S., Rao, A. P., & Subrahmanyan, R. 2005, MNRAS, 360, 1305