

## VLBI モニター観測による電波銀河 3C 84 の長期変動

千田 華 (東海大学大学院 理学研究科 / 国立天文台)

### Abstract

3C 84 は近傍の電波銀河の典型例である。本天体では 2007 年頃の VLBI 観測によりブラックホール近傍から新たに出現する成分 (C3) が発見されている。一般的に電波銀河の若い電波源の年齢は 1000–10000 年であるために、このように出現して 10 年に満たない電波源は非常に珍しく、生まれたばかりの成分の進化過程を研究するのに適している。我々は、ブラックホール近傍から生まれたばかりの電波源の進化過程を明らかにするために、電波銀河 3C 84 を VLBI モニター観測した。2007 年に出現した成分 C3 が 7 年間に渡り増光している様子から、C3 は濃い星間物質を進むジェットの先端に形成された電波ローブであると考えた。C3 のサイズを、出現した 2007 年から調査すると、1 年ほど膨張しその後は一定のサイズを保っている様子が見られた。これは電波ローブの先端の断面積の時間変化のシナリオと類似する。よって C3 は電波ローブの先端部の断面を観測しているという事が明らかとなった。

## 1 Introduction

我々の住んでいる天の川銀河の外にある銀河の、活動性の高い中心領域の事を活動銀河核 (AGN) という。中心には超巨大質量ブラックホールが存在していると考えられており、ブラックホール周辺では様々な高エネルギー現象がおこり、噴出するジェットからの放射は電波から X 線までの電磁波帯に及ぶ。

本研究の目的は、ブラックホール近傍から生まれたばかりの電波源の進化過程を明らかにする事である。一般的に言われる若い電波源の典型的な年齢は 1000–10000 年であるため (e.g., Polatodus et al. 1999, Conway et al. 2002)、生まれたばかりの成分を観測できた例はない。また、ブラックホールの根元に迫るためには、近傍で明るい天体に対して高空間分解能な観測を行う必要がある。

それらの条件を満たしている天体として、電波銀河 3C 84 が挙げられる。電波銀河 3C 84 は、巨大楕円銀河 NGC 1275 に付随する電波源である。非常に近傍なことから ( $z = 0.0176$ )、VLBI 観測を用いて中心の数 pc 領域の研究を行うのに非常に適している。3C 84 は近年の電波での活動が非常に活発である。2006 年頃からの国立天文台 VERA を用いた観測では、2007 年頃から新成分の出現による電波増光が見られており (Nagai et al. 2010)、ブラックホール付近のコア成分から新たな成分が生まれる様子を

捉えた。この新成分 (以下 C3 と記載) は、出現後増光をし続けており (Nagai et al. 2012, Suzuki et al. 2012)、

電波強度のモニター観測に関してはよく研究がされてきたが、新たに生まれた電波源のサイズ進化についてはこれまで研究が成されていない。ブラックホール近傍から噴出したジェットは時間と共に膨張していくと予想されるが、実際にモニターした例がないため、明らかではない。そのため、本研究では、3C 84 の C3 のサイズをモニターすることにより、生まれたばかりの電波源の進化過程を明らかにする。

## 2 Observations: GENJI Programme

我々は、GENJI プログラム (Gamma-ray Emitting Notable AGN Monitoring by Japanese VLBI) の一環として 3C 84 のモニター観測を行った。GENJI プログラムでは、2010 年 11 月から VERA を用いて、3C 84 を含む  $\gamma$  線が検出されている AGN を 22 GHz 帯でモニター観測している (Nagai et al. 2012) モニター天体は VERA の位置天文観測のフリンジファインダーとして、80 分に 1 回程度 (5-6 スキャン) 観測されるため、1-2 週間に 1 度程度の頻度で観測され

る。我々は 2011 年から 2013 年までの観測結果について解析を行った。

### 3 Results

#### 3.1 VERA 22 GHz における長期トレンド (2011-2013 年)

図 1 には VERA 22 GHz のイメージを示した。二つの明るい成分 C1 と C3 は南北の方向におよそ 2 milli-arcsec(mas) 離れている。

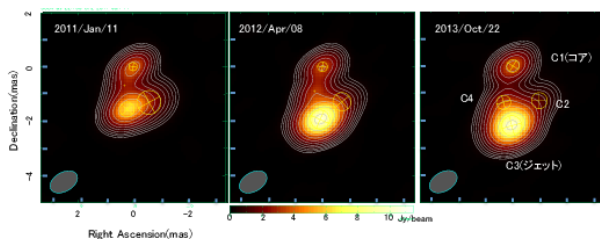


図 1: VERA 22 GHz でのイメージとモデルフィットイメージ。restoring beam の大きさは  $(1.1 \times 0.7)$  mas, position angle は  $-60^\circ$  である。

また、図 2 には GENJI による観測結果の光度曲線を示した。図 2 より、C3 光度はこの 3 年間で増光しており、全光度はそれと同様な増光の傾向が見られる。また、C3 の速度は  $0.21c$  であり、Nagai et al. (2010) の結果とほぼ変わらないことから、ジェット成分 C3 は 2009 年以降も sub-relativistic な速度で南下していることがわかる。

#### 3.2 C3 のサイズ変化

次に、C3 にモデルフィットした円ガウシアンサイズの变化を調査した。2011-2012 年では、大きな変化が見られなかった。そのため、GENJI プロジェクトが開始される前に観測した VERA データを用いて、C3 が出現した 2007 年からのサイズの変化を追った (図 3)。図 3 より、約 7 年間に於いてサイズ変化に 2 つの段階が見られる。一つ目は 2007-2008 年にかけて膨張する段階で、二つ目は 2008 年以降の一定の段階である。

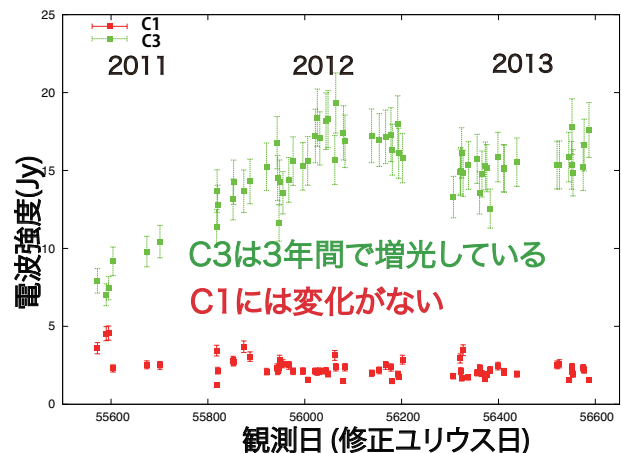


図 2: VERA 22 GHz 光度曲線 (2011-2013 年)。縦軸は Flux(Jy), 横軸は時間であり、C1 はコア成分 (赤)、C3 は 2007 年頃から出現した成分 (緑) を示している。

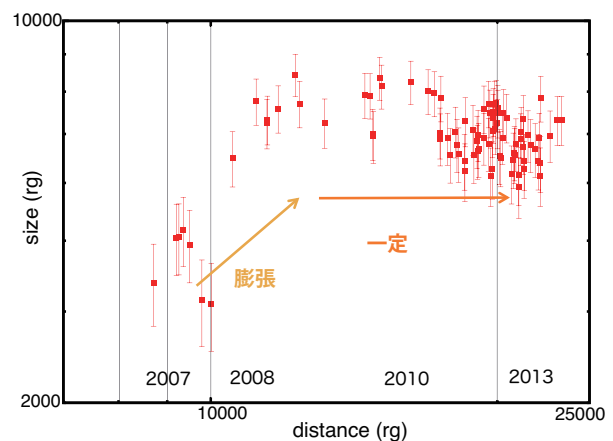


図 3: C3 のサイズ変化。横軸は C1 からの距離、縦軸は C3 にフィットした円ガウシアンサイズを示している。 $r_g$  はシュバルツシルト半径 ( $1r_g = 9.5 \times 10^{-5}$  mas)

## 4 Discussion

### 4.1 C3 の光度変動

ジェットの光度の時間変化には大きく分けて二通りの変化の仕方がある (図 4)。

一つは単純にブラックホールのそばで加速された粒子が、断熱膨張や放射冷却で冷えて暗くなっていく

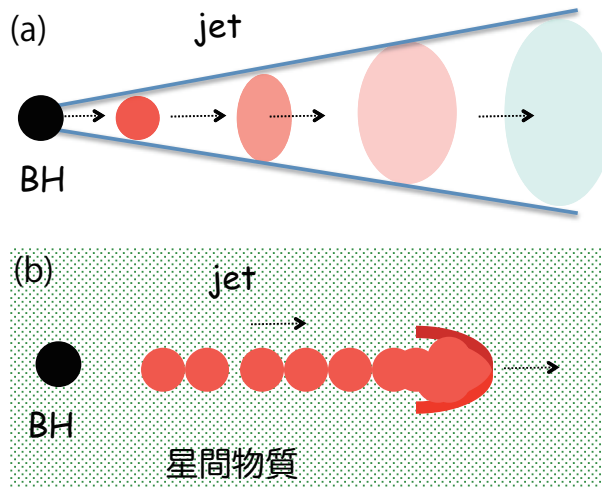


図 4: ジェット強度の時間変化:(a) 一般的な AGN ジェット、(b) 濃い星間物質内を進むジェット

という描像である (図 4(a))。一方で濃い星間物質の中をジェットが進んでいるときには (図 4(b))、ジェットと星間物質の境界面にプラズマが吹き溜ったり、衝撃波面で粒子加速が起こることにより時間とともにジェット成分が明るくなる事が考えられる。放射冷却シナリオでは、0.3 - 3.3 年で減光が起こるが、実際には、2007 年以降約 7 年間で増光している。また、C3 の速度が sub-relativistic であることを考慮すると、ジェット中で粒子加速が起きていると考えたと説明がつく。しばしば電波銀河ではジェットと濃い星間物質の衝突面ではプラズマが吹き溜ることで電波ローブが形成される。そのため、C3 は電波ローブと深く関係していることが示唆される。

#### 4.2 C3 のサイズ進化

C3 のサイズについて、出現した 2007 年から調査すると、1 年ほど膨張しその後は一定のサイズを保っている様子が見られた。これは電波ローブの先端の断面積の時間変化のシナリオ (図 5: e.g., Scheck et al. 2002) と類似する。C3 の出現直後 1 年の膨張については、シュミレーションされていないが、2008 年以後の振る舞いは Scheck et al. 2002 の 1D phase が当てはまる。C3 では数千年後に膨張する描像が期待される。よって C3 は電波ローブの先端部の断面を

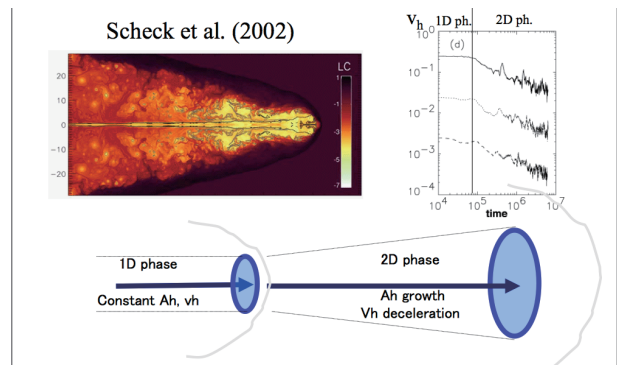


図 5: 電波ローブ先端の断面のシュミレーション (Scheck et al. 2002)。初期 (1D phase) には一定のサイズで進むが、押しのけた周辺物質の重さ等によって膨張する (2D phase)。

観測していると予測できる。電波ローブの進化を捉えたのは初の例である。

## 5 Conclusion

我々は、ブラックホール近傍から生まれたばかりの成分の進化過程を明らかにするために、非常に近傍で明るく、出現してから 10 年以内という成分をもつ電波銀河 3C 84 を VLBI モニター観測した。2007 年に出現した成分 C3 が 7 年間に渡り増光している様子から、C3 は濃い星間物質を進むジェットの先端に形成された電波ローブであると考えた。C3 のサイズを、出現した 2007 年から調査すると、1 年ほど膨張しその後は一定のサイズを保っている様子が見られた。これは電波ローブの先端の断面積の時間変化のシナリオと類似する。よって、C3 は電波ローブの先端部の断面を観測しているという事が明らかとなった。

## Reference

- Conway, J. E., 2002, New A Rev., 46, 263
- Nagai, H., Inoue, M., Asada, K., Kameno, S., and Doi, A., 2006, APJ, 648, 148
- Nagai, H., Suzuki, K., Asada, K., Kino, M., Kameno, S., Doi, A., Inoue, M., Kataoka, J., Bach, U., Hirota,

2014 年度 第 44 回 天文・天体物理若手夏の学校

- T., Matsumoto, N., Honma, M., Kobayashi, H., and Fujisawa, K., 2010, PASJ, 62, L11
- Nagai, H., Orienti, M., Kino, M., Suzuki, K., Giovannini, G., Doi, A., Asada, K., Giroletti, M., Kataoka, J., D'Ammando, F., Inoue, M., Lahteenmaki, A., Tornikoski, M., Leon-Tavares, J., Kamenno, S., and Bach, U., 2012, MNRAS, 423, L122-L126
- Nagai, H., Kino, M., Niinuma, K., Akiyama, K., Hada, K., Koyama, S., Orienti, M., Hiura, K., Sawada-Satoh, S., Honma, M., Giovannini, G., Giroletti, M., Shibata, K., and Sorai, K., 2013, PASJ, 65, 14
- Polatidis, A., Wilkinson, P. N., Xu, W., Readhead, A. C. S., Pearson, T. J., Taylor, G. B., and Vermeulen, R. C., 1999, New A Rev., 43, 657
- Scheck, L., et al., 2002, MNRAS., 331, 615
- Suzuki, K., Nagai, H., Kino, M., Kataoka, J., Asada, K., Doi, A., Inoue, M., Orienti, M., Giovannini, G., Giroletti, M., Lahteenmaki, A., Tornikoski, M., Leon-Tavares, J., Bach, U., Kamenno, S., and Kobayashi, H., 2012, ApJ, 746, 140