

## 電波銀河 3C84 の VLBI 観測による電波強度とガンマ線強度の長期変動

千田 華 (東海大学大学院 理学研究科)

### Abstract

本研究の目的は、電波銀河 3C 84 からの電波強度とガンマ線強度それぞれの長期にわたる時間変動の相関を調べることにより、電波とガンマ線の放射領域について物理的な考察を行なうことである。そのためにまず、2013 年 1 月 21 日に発生したガンマ線フレアの直前の 2013 年 1 月 15 日に、VERA 22 GHz で観測された 3C 84 のアーカイブデータを解析した。本解析により得られたデータイメージから、既に知られている 3 つのジェットコンポーネントが確認でき、中心核の C1 より 2mass ほど離れた C3 コンポーネントの方が明るい構造が確認できた。

また、全フラックス密度は 26.0Jy と得られ、過去の 3 年間の VERA 22 GHz の観測データ (Nagai et al. 2010) と比べると電波強度は増大していることがわかった。一方、Fermi-LAT で観測された 3C 84 の母銀河 NGC 1257 のガンマ線モニターデータによる 2008 年から現在までのライトカーブでは、電波強度の時間変動のような長期にわたる増光は見られないが、2010 年にはその前後より 2.5 倍ほどフラックスが高くなっているのがわかる。1 日という短いスケールのガンマ線フレアに起因した電波変動は確認されていないが、観測開始から現在にいたる長期間でみると、電波とガンマ線の強度変動に何か関係がみられるのではないかと考える。今後はガンマ線フレア後から現在までの VERA 22GHz の観測データの解析を行い、今回のガンマ線フレアに起因した電波変動を調べ、また観測開始から現在までの長期間でのガンマ線と電波の強度変動から相互の関係について考察していきたい。

## 1 Introduction

無数に存在する銀河の中には、銀河中心核と呼ばれる銀河中心部の数 pc という非常に狭い領域から銀河を凌駕する様な莫大なエネルギーを放射しているものがある。激しい活動性を示す銀河中心領域を活動銀河核 (AGN) と呼ぶ。AGN の放射は非常に広い波長域に渡り、中でも電波を強く放射している銀河を電波銀河という。電波銀河はコアに超大質量ブラックホールを持ち、ブラックホールへ落ち込むガスの重力ポテンシャルエネルギーの解放により、コア付近から数百万光年に渡りジェットを噴き出す。電波銀河 3C84 はペルセウス座銀河団に属する NGC1275 の AGN 電波源である。3C84 は電波銀河でもあるが、セイファート 2 としても分類される。3C84 の赤方偏移は  $z=0.00176$ 、ジェットの向きは視線方向に  $30 \sim 55^\circ$ 、ジェットの速度は  $0.3c \sim 0.5c$  と見積もられている (Walker et al. 1994)。電波での強度変動が起こっている中心 1pc 以内の領域の構造は図 1 右のように C1, C2, C3 の 3 つのジェットコンポーネントが

あり、C1 がコアであり、C2 は過去に噴出したジェットではないかと考えられる。図 1 右は 2006 年から 2009 年の VERA 22GHz の観測によって得られた全 14 エポック分の電波イメージである。C3 は 6 エポック目 (g) のイメージ以降出現し、南側へ動いているように見え、C3 が新たに噴出したジェットだと考えられている。(Nagai et al. 2010) 2008 年には Fermi ガンマ線衛星で 3C84 からのガンマ線が検出され、それまでの EGRET による観測で得たガンマ線 flux より 7 倍増光していた (Abdo et al. 2009)。図 2 は 3C84 の Fermi の観測データを加えた他波長データに、ガンマ線放射モデルを fitting した 3C84 のスペクトルエネルギー分布 (SED) である。最も受け入れられているガンマ線モデルはシンクロトロン自己コンプトン (SSC) モデルで、中でも、一つの円柱の形をした放射領域から、電波やガンマ線など多波長の電磁波を放出していると近似した one-zone SSC モデル (図 2 破線) と、ジェットが進行する途中で減速すると仮定した減速モデル (図 2 実線, Georganopoulos & Kazanas.

2003a) が考えられている (Abdo et al. 2009,)。2005 年頃から 3C 84 の中心核付近で電波増光が発見されていて、電波増光とガンマ線増光に何らかの関係があるのではないかと注目されていた。2009 年から約 2 年間に渡る国立天文台の VERA と米国の VLBA を使って行われた電波観測では、期間中に 2 回のガンマ線フレアが報告されたが、電波ではガンマ線に応じた変動がみられなかった。電波とガンマ線に相関が見られない理由として考えられることは、ガンマ線フレアが起こっている領域が電波では見えていないことである。相対論的ジェットは根元に近くなるほど、電子密度や磁場強度が高くなり、電波が出てこられなくなる。そのため、電波が抜け出てこられない領域にガンマ線放射領域が潜んでいると予想できる。(Nagai et al.2012) 本研究では、3C 84 からの 2013 年までの長期間における電波強度とガンマ線強度の時間変動から相関関係を調べ、相関の有無から電波とガンマ線それぞれの放射がおきている領域について物理的な考察をすることを目的とする。

## 2 Data Analysis

### 2.1 VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry) data

極めて高い角度分解能での観測を行うために、日本列島および周辺の島の 4 箇所に直径 20m のアンテナを設置して VLBI(Very Long Baseline Interferometry: 超長基線干渉法) 観測する VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry) を用いた。VERA の電波望遠鏡間の基線長は 1000-2300km であり、1mas の分解能をもつ。本研究では、VERA を用いた  $\gamma$  線放射が確認されている明るい活動銀河核電波源のモニター観測「Gamma-ray Emitting Notable-AGN Monitoring by Japanese VLBI (GENJI) プログラム」の VERA 22GHz による観測データを使用した。

今回はガンマ線フレアのあった 2013 年 1 月 21 日の直前である 2013 年 1 月 15 日の VERA の観測データの解析を行った。2013 年 1 月 15 日は、3C84 のデータは 8 分間隔で 6 スキャン分得ており、得られたデータは、National Radio Astronomy Obser-

vatory(NRAO) の解析ソフト Astronomical Imaging Processing System(aips) を用いて解析した。

### 2.2 Fermi data

ガンマ線のデータには、Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡のアーカイブデータを用いた。Fermi ガンマ線宇宙望遠鏡は、エネルギー 200MeV~300GeV のガンマ線の広視野観測が可能な LAT(Large Area Telescope) 検出器と 8keV~40MeV の X 線からのガンマ線に感度を持つ GBM(Gamma-ray Burst Monitor) 検出器を搭載した科学観測衛星である。今回は Fermi Hp(<http://fermi.gsfc.nasa.gov/ssc/data/access/lat/msl1c/>) で公開されている *Fermi* 宇宙望遠鏡が打ち上げられてから 2013 年 7 月までモニターされた 3C84 の母銀河 NGC1257 の *lightcurve* を用いた。

## 3 Results

図 3 は、VERA 22GHz の 3C84 の解析データイメージである。VERA のビームサイズは  $1.1 \times 0.7$  mas である。図 3 の黄色の楕円はモデルフィットしたコンポーネントを示している。この図から、図 1 の C1, C2, C3 のコンポーネントがある構造が確認できる。トータルフラックス密度は 26.0Jy であり、C1 は 8.58Jy, C2 は 5.52Jy, C3 は 11.9Jy であった。このことから中心核 C1 よりも C3 のコンポーネントの方が明るいことがわかる。

## 4 Discussion

### 4.1 電波強度の長期変動

電波強度の変動をみるため、同じ VERA 22GHz を用いた観測結果 (Nagai et al. 2010) および周波数は違うが MOJAVE の VLBA 15GHz の観測結果 (Nagai et al. 2012) を参照する。VERA 22GHz による 2006 年 5 月から 2009 年までの観測において、トータルフラックス密度は、約 5Jy から約 13Jy への増光がみられており、今回の結果まで 4 年の間が空いているが、約 10Jy も増光しているのがわかる。各コンポーネン

トをみても、2006 年に C1,C2,C3 のコンポーネントの強度はそれぞれ 3Jy,3Jy,5Jy であり 2009 年には 4.5Jy,2.5Jy,13Jy であった。これも 4 年の月日が経った 2013 年では C1,C2 は増光しているが C3 では減光しているため、この結果をみると C1,C2 が明るくなったように思われる。

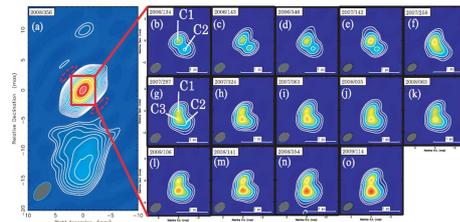


図 1: (a)JVN image of 3C84 at 8Ghz,(b)-(o)VERA image of 3C84 at 22GHz(Nagai et al. 2010)

## 4.2 ガンマ線の長期変動

次に,Fermi 衛星の観測結果からガンマ線と電波の強度変動の相互関係について議論する。図??は Fermi 衛星が観測した 3C 84 の母銀河 NGC 1275 のガンマ線強度の light curve である。Fermi 衛星が打ち上げられた 2008 年から 2013 年 6 月までの観測を一日で積分してプロットされたものである。横軸は日付(ユリウス日)で縦軸はフラックスである。赤の矢印は upper limit を示し、青の矢印は今回観測した 20013 年 1 月 15 日にあたる。この light curve をみると電波強度の時間変動のような長期にわたる増光は見られないが、2010 年にはその前後より 2.5 倍ほどフラックスが高くなっているのがわかる。2009 年から 2011 年の VERA 43GHz と VLBA の観測において期間中におきた 2 度のガンマ線フレアと電波強度との相関はみられていない。(Nagai et al. 2012) 1 日という短いスケールのガンマ線フレアに起因した電波変動は確認されていないが、観測開始から現在にいたる長期間でみると、電波とガンマ線の強度変動に何か関係がみられるのではないかと考える。

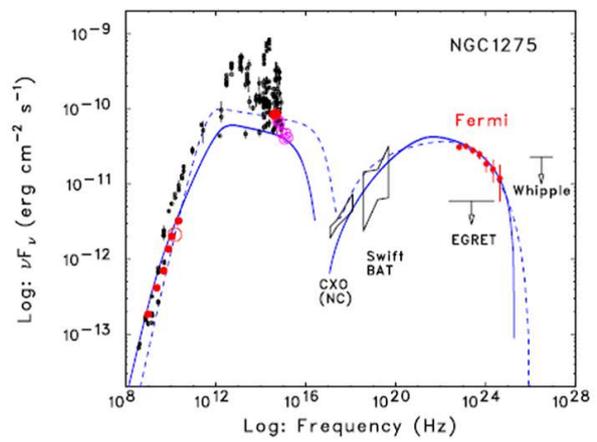


図 2: 3C84 SED

## 5 今後の展望

今回は 2013 年 1 月 21 日の NGC1275 のガンマ線フレアがおこる前である 1 月 15 日の VERA 22GHz の観測結果の解析を行った。今後はそれ以後から現在までの VERA 22GHz の観測結果の解析を行い、電波強度の変動をみる。また、過去のガンマ線フレアと電波強度の相関は得られていないが、観測開始されてから現在までの長期的な変動を見ていくことで、3C 84 の電波とガンマ線の強度変動からそれぞれの放射について考察していく。

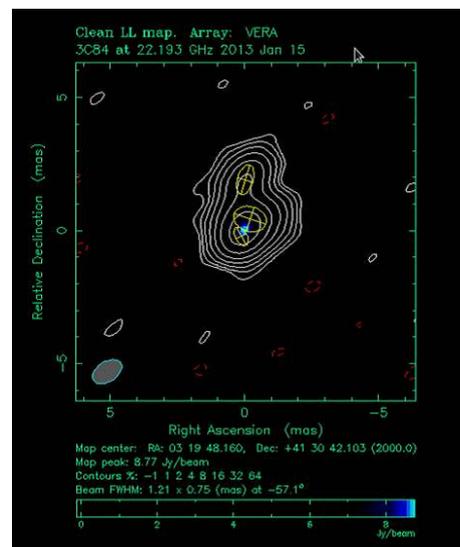


図 3: 3c84 解析データイメージ

## Reference

- [3] Nagai et al. 2012,MNRAS,423,L122-L126

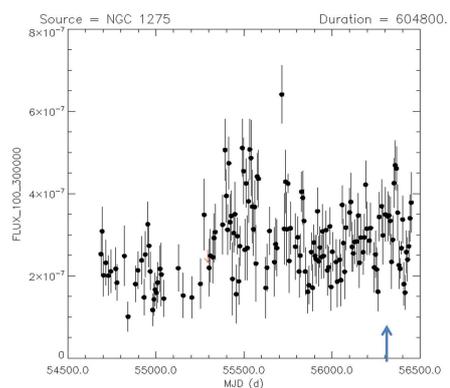


図 4: Fermi 衛星による NGC1275 の light curve (weekly) 青矢印:解析をした 2013 年 1 月 15 日, 赤矢印:upper limit

[2] Nagai et al. 2010,PASJ,62,L11-L15

[3] Nagai et al. 2013,PASJ,65,14

[4] Abdo A A et al. 2009,AJ,699,31-39

[5] Suzuki et al. 2012,AJ,746,140

[6] Walker et al. 1994,PASJ,62,L11-L15

[Markos et al.2003] Marcos et al. 2003,AJ,594,L27-30