

GENJI プログラム : VLBI モニター観測により明らかになった電波銀河 3C 84 における新たな電波ローブの形成

東海大学 / 国立天文台 博士課程1年 千田 華

共同研究者:永井洋(NAOJ), 紀基樹(KASI), 本間希樹(NAOJ), 西嶋恭司(東海大学), 秋山和徳(MIT), GENJIプログラムメンバー

Abstract:

ペルセウス座銀河団の中心である電波銀河3C 84では、2007年頃にsub-pcスケールでコアから新たな成分(C3)が噴出し、その後数年にわたって増光し続けている様子が報告されている。本研究では電波銀河3C 84の電波コアから出現したC3の増光原因を探るために、GENJIプログラムを通して高頻度なモニター観測を行った。更にC3内部のどの構造が増光に関与しているかをVLBAを用いた高分解能観測を行った。その結果、C3のスペクトルから光学的に薄いことがわかり、フラックス密度とサイズの時間変化から膨張と増光が同時に起きていることが明らかとなった。一般に光学的に薄いプラズマの断熱膨張では高エネルギー電子は冷却されフラックス密度は減少するが、C3は増光していることから、我々は、電波ローブ先端のhotspotに見られる粒子加速がC3内部で発生していると考えた。更に、C3を空間分解したところ、C3中に見られる構造うち、hotspotが増光を担っていることがわかった。hotspotを持つ一般的なFR II 電波銀河は系の時間スケールがkpcと大きくて長いため、今回初めてhotspotの粒子加速が時間変化する現象を捉えることができたと言える。

Introduction: 電波銀河 3C 84

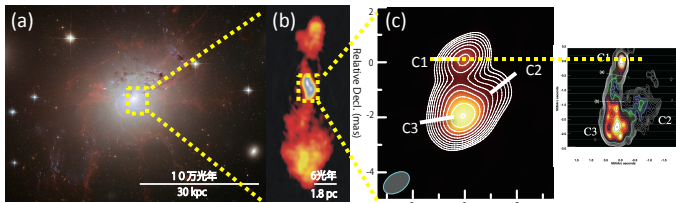


Fig.1 3C 84のイメージ (a)母銀河スケールの可視光イメージ(NASA), (b)15 GHzの電波イメージ(Walker et al. 2000), (c) VLBIによる電波イメージ: 22 GHz(左), 43 GHz(右: Nagai et al. 2014)

電波銀河 3C 84

- ペルセウス座銀河団の中心にある電波銀河
- 様々な空間スケールに渡りlobe-likeな構造がみられる(Asada et al.2006)が、いつどこで電波ローブが形成されたかは不明

近年の3C 84の活動

- 2007年~ sub-pcスケールでコアから新たな成分(C3)が噴出した(Nagai et al. 2010; Suzuki et al. 2011)
- C3は噴出後も増光しており(Nagai et al. 2012)他のジェット天体とは異なる性質であるためC3は電波銀河の特徴であるhotspotや電波ローブ等の構造である可能性ができた。
→疑問①:C3の増光原因および考えられる描像は?

VLBA 最高分解能(43 GHz)イメージ

- hotspot-likeな構造
- spot周りの構造 など様々な構造があることがわかる(Nagai et al. 2014)
→疑問②:C3の内のどの構造が増光をになっているのか?

Results and Discussions:

① C3の増光原因及び描像について

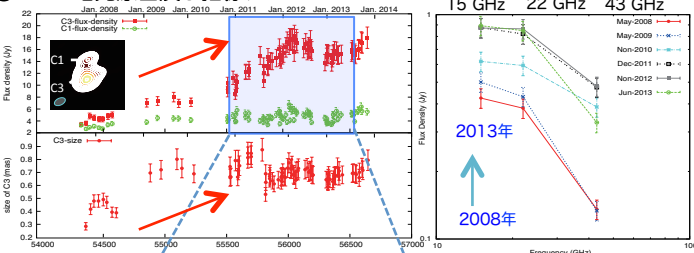


Fig.4 (左)VERA22 GHzの観測結果: C1, C3成分のLight curve(上), C3のサイズ変化(下), (右)VERA 22 GHzとVLBA15, 43 GHzのデータを使用したC3のスペクトル変化。

目的

- ①VERA 22 GHzでC3を詳しく調査し増光の原因及びC3の描像を理解する
- ②VLBA 43 GHzでC3を空間分解し、増光を担う構造を明らかにする

Observation:

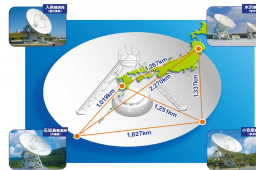


Fig.2 VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry)概念図

GENJI(Gamma-ray Emitting Notable AGN Monitoring by Japanese VLBI, Nagai et al. 2013)

2011年よりVERAの22 GHz帯で2週に1回の頻度でモニター観測している(Nagai et al. 2013). 2011年~2013年のデータを解析した。2007~2010年までは過去に解析されたデータを使用した。

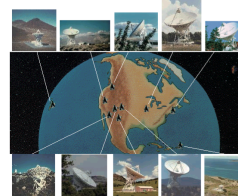


Fig.3 VLBA(Very Long Baseline Array)概念図

MOJAVE Project

15 GHz 帯で年に1~2回モニター観測している(Lister & Homan 2005) スペクトル作成のため2008-2013年間の各年1エポックのアーカイブデータを使用した。

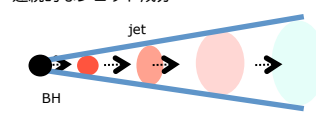
ポストン大学によるモニター観測

43 GHz 帯で月1回程度モニター観測している(Jorstad et al. 2005) スペクトル作成のため2008-2013年間の各年1エポック、C3を空間分解するために2010-2013年間の計10エポックのアーカイブデータを使用した。

- C3では増光と膨張が同時に起きている(Fig4左より)
- スペクトルは負、つまり光学的に薄い状態である(Fig4右より)

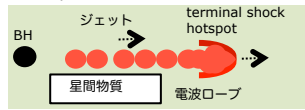
増光と膨張が同時に起きるには

連続的なジェット成分



加速された粒子はシンクロトロン放射冷却や断熱膨張によって冷えて暗くなる

hot-spot-likeな成分



形成初期のhotspotでの電波フラックスは、未だ衝撃波での粒子加速により増光/維持できる

Fig 5. ジェット成分の時間変化の描像
C3の増光はhotspotでの粒子加速によるものと考えられ、C3はジェット先端に形成されるhotspotを含む電波ローブの初期段階であると推測できる。

② C3の増光に関与している構造について

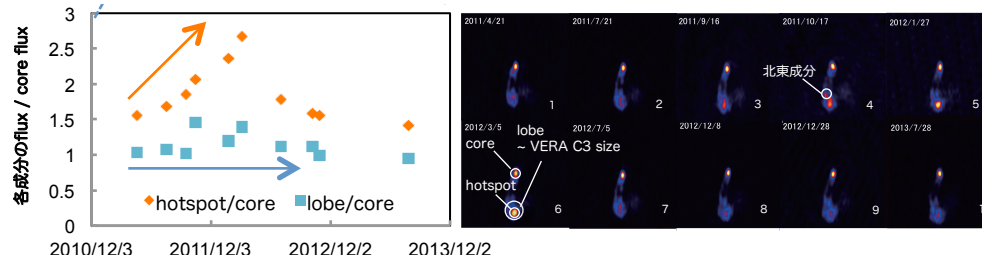


Fig.6 VLBA 43 GHzの解析結果: (左)hotspot成分とlobe成分のfluxをcoreで規格化した値を使用したlight curve,(右)各エポックのイメージ

- lobeの光度は変化はなく(4エポック目は除く)、hotspotの増光が顕著に現れている(Fig5左より)
- 4エポック目にはhotspotの北東側に明るい成分が出現している(Fig5右より)

hotspotの増光がC3の増光を担っていると考えられ、これまでのFR II 型電波銀河では系の空間スケールが大きくて捉えることのできなかったhotspotでの粒子加速を初めて動的に捉えることができた

Conclusion :

- ①VERAを用いたC3の詳細を調査
C3では粒子加速を伴う光学的に薄いプラズマの膨張による増光が起きており、C3が進化の初期段階の電波ローブである強い示唆を得た。
- ②VLBAを用いたC3増光場所の特定
C3の増光は、C3内部にみられるhotspot成分での粒子加速による増光によるものだと考えられる。

電波ローブがブラックホールの近傍で既に形成される強い証拠を得たとともに、初めて電波銀河におけるhotspotでの粒子加速を動的な観測で捉えることができた。

Future woke :

- ・ hotspotの北東に現れた成分を詳細に調査する。
- ・ VERA、VLBA共に厳密な誤差の見積もりを行い、C3とhotspotの増光について関係性を調査する。

Reference :

Asada et al. 2006, PASJ, 58, 261
Nagai et al. 2010, PASJ, 62, L11
Nagai et al. 2013, PASJ, 65, 24
Nagai et al. 2014, ApJ, 785, 53
Suzuki et al. 2012, ApJ, 746, 140
Walker et al. 1994, ApJ, 430, L45