

BL Lac 天体 OT 081 における短期電波フレアの研究

山口大学大学院 電磁宇宙物理学研究室 修士 2 年 石田貴史

1. はじめに

活動的な銀河の中心部を銀河中心核(AGN)と呼ぶ。AGN は中心に大質量のブラックホールがあり、AGN から放出されるエネルギーは双方向にジェットと呼ばれる相対論的なプラズマの流れとなって放出される。このジェットは電波～X線はシンクロトロン放射、X線～ γ 線は逆コンプトン散乱でエネルギー放射していると考えられている。AGN ジェットの電波強度の本質的な変動は強度変動が激しい天体では数カ月～数年スケールである。一方、AGN ジェットは1日以内で強度変動する IDV 現象もあるが、これは天体の本質的な変動ではなく、星間シンチレーションによるものだと考えられている[2]。時間スケールが一月以内の電波フレア(短期電波フレア)の詳細な研究はほとんど行なわれておらず、[1]で初めて報告された。[1]では山口 32 m 電波望遠鏡 8.4 GHz を用いてブレーザー PKS 1510-089 をほぼ毎日観測を行うことで 30 日の強度上昇を捉えた。しかし、観測期間の制限のため短期電波フレアの上昇期間しか観測出来ず、減少期間は観測出来なかった。我々は一か月以内の短期電波フレアの全体を検出し、その性質について研究を行った。

2. 観測天体の選定・方法

観測天体の選定は[1]を参考にした。天体の選択にあたって ①電波強度が観測周波数 8.4 GHz で 1 Jy 以上、②変動のタイムスケールが短い(1年以内)、③電波・可視光・ γ 線などの多波長で強度変動が激しい、④高頻度に VLBI 観測が行なわれている(2ヶ月に1回以上)、⑤ドップラー係数が大きい([1]では PKS 1510-089 がドップラー効果でフレアの時間スケールが短いと示唆されていた)ことを条件として BL Lac 天体 OT 081 を観測天体として選択した。

この BL Lac 天体 OT 081 に対して以下の四つのことを行なった。観測期間は 2010 年 2 月 1 日から 6 月 30 日である。

- 短期電波フレアを検出するため⇒(1)山口 32 m 電波望遠鏡を用いて 8.4 GHz 帯でほぼ毎日観測
- 短期電波フレアが本質的な変動か調査するため⇒(2)多周波データ (UMRAO 4.8/8.0/14.5 GHz) との比較
- 短期電波フレア時の γ 線の強度変動の有無を調査するため⇒(3)Fermi 衛星の観測データを解析
- 短期電波フレア領域の位置の特定のため⇒(4)多周波同時 VLBI 観測である VLBA アーカイブデータの解析

3. 結果・考察

- 山口 32 m 電波望遠鏡 8.4 GHz

山口 32m 電波望遠鏡による観測の結果(図 1 の左図)、フラックス密度は観測開始日から通算日 58 日(通算日;その年の何日目かを表している)まで強度上昇した後、観測終了日まで減少していた。これは観測期間(150 日)以上のスケールの長期電波フレアだと考えられる。また、長期電波フレアの減少中である 2010 年の通算日 113 日付近に小さな上昇と減少(短期電波フレア)を検出した。

- 多周波データ (UMRAO 4.8/8.0/14.5 GHz) との比較

UMRAO の 4.8/8.0/14.5 GHz でも同時期に山口の結果と同様の強度変動が見られた(図 1 の右図)。そのため長期電波フレアと短期電波フレアの変化を仮定して関数フィッティングを行ない、短期電波フレアの詳細を調べ

た（例：図 2 の左図）。光度曲線から長期フレア成分を引いて短期フレア成分だけの光度曲線を求めると（図 2 の右図）、短期電波フレアは山口 8.4 GHz でフレアの継続時間は 19.3 ± 3.3 日、振幅は 0.73 ± 0.13 Jy であった。

短期電波フレアはすべての周波数で似たような変化を示し、高周波側でも変動していた。このことから短期電波フレアは IDV 現象のような星間シンチレーションではなく、天体の本質的な現象と考えられる。本質的な天体の現象としては今回の観測で捉えた OT 081 の短期電波フレアが過去報告された中で最も継続時間が短い電波フレアである。

一般的な電波フレア（年スケール）は周波数間でピーク・減少時間の遅れが見られることから光学的に厚い領域からの放射であると考えられているが(e.g., [3])、短期電波フレアのピーク・減少時間は 8.4-14.5 GHz でエラーの範囲内で同期していた。このことから短期電波フレアは 8.4-14.5 GHz で光学的に薄い領域からの放射であると考えられる。

● Fermi 衛星の観測データの解析

関数フィッティングの結果から短期電波フレアの振幅変動の割合は約 20%であった。しかしながら、短期電波フレアの前後の時期に γ 線の強度は顕著な（15%以上の）変動は見られなかった。このことから短期電波フレア領域はシンクロトロン放射だけ強くなり、逆コンプトン散乱は強くなっていないと考えられる。

● 多周波 VLBA アーカイブデータの解析

VLBA アーカイブデータの解析の結果、3 エポック×8 周波=24 個の CLEAN イメージを得られた。この 3 エポックは短期電波フレア前・中・後（通算日 91 日・111 日・139 日）に相当するデータであった。得られた CLEAN イメージに対して円形ガウシアンモデルフィッティングを行ってコア・ジェット成分を同定した（例：図 3 の左図）。山口と同じ周波数である VLBA 8.4 GHz のコア・ジェット成分・全フラックス密度の光度曲線を図 3 の右図に示す。VLBA 8.4 GHz のコアは短期電波フレアに同期して強度変動していた。このことは短期電波フレアが VLBA 8.4 GHz のコア内部(1 pc 以下)での現象であることを示している。

各周波数の全フラックス密度の光度曲線について長期電波フレアの影響を補正するために短期電波フレア前後のデータを直線で結び（図 4 左図）、短期電波フレア中との差を求めて短期電波フレア成分の周波数スペクトルを描いた（図 4 右図）。この周波数スペクトルから短期電波フレアは 10 GHz 付近が最も強度上昇が大きいと考えられる。

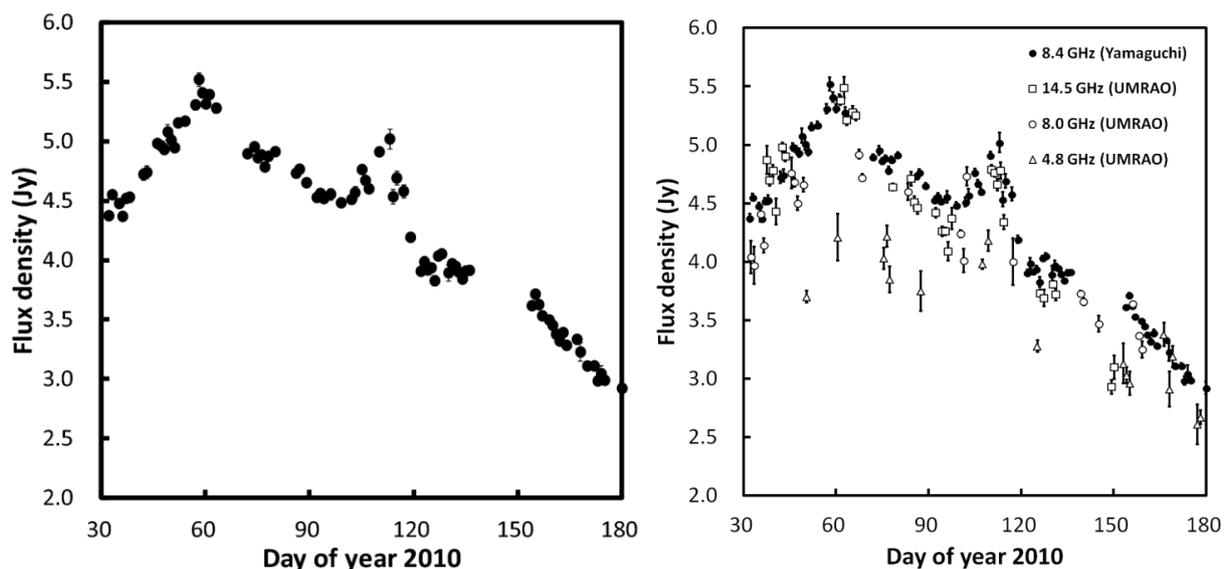


図1： OT081の光度曲線。横軸は2010年の通算日、縦軸はフラックス密度である。左図は山口8.4 GHz、右図は山口8.4 GHz とUMRAOとの比較である。黒丸は山口8.4 GHz、白四角はUMRAO 14.5 GHz、白丸はUMRAO 8.0 GHz、白三角はUMRAO 4.8 GHzである。

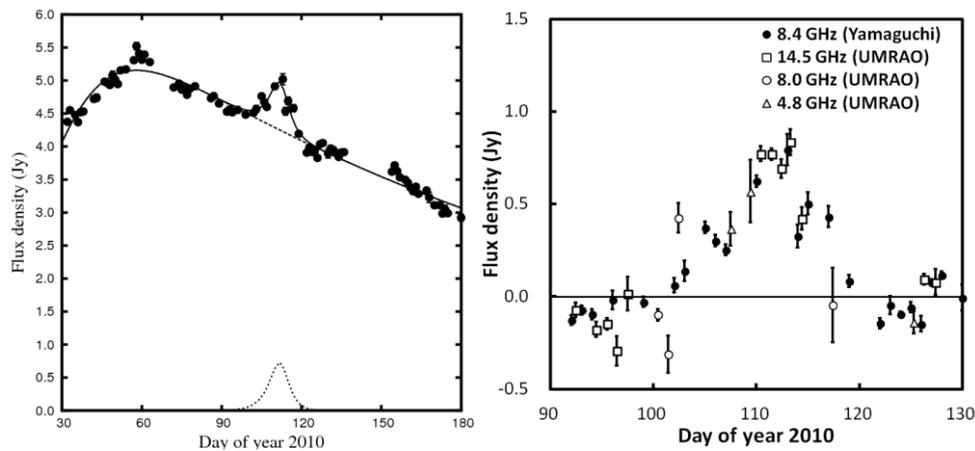


図2： (左図)関数フィッティングの例(山口8.4 GHz)。点線は短期フレア成分、波線は長期フレア成分、実線は短期+長期成分を表している。(右図)短期フレア成分の光度曲線。

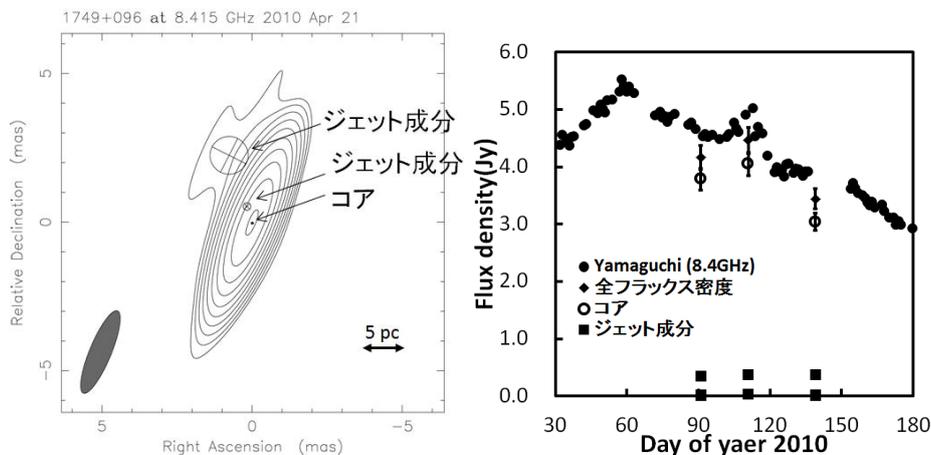


図3： (左図)CLEANイメージ(例：短期電波フレア中の8.4 GHz)。(右図) VLBA 8.4 GHzのコア・ジェット成分・全フラックス密度の光度曲線。黒丸は山口8.4 GHz、黒ダイヤは全フラックス密度、白丸はコア、黒四角はジェット成分である。

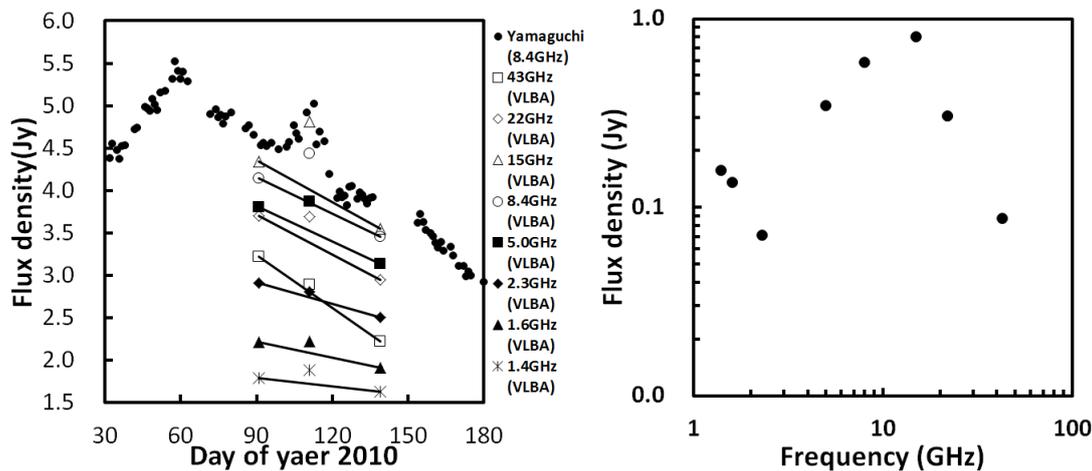


図4： (左図)多周波VLBI観測の光度曲線。黒丸は山口8.4 GHz、白四角は43 GHz、白ダイヤは22 GHz、白三角は15 GHz、白丸は8.4 GHz、黒四角は5.0 GHz、黒ダイヤは2.3 GHz、黒三角は1.6 GHz、十字は1.4 GHz のデータを表している。直線は短期フレア前後(通算日91日-139日)を結んでいる。(右図)短期フレア成分の周波数スペクトル

- [1] Kadota, A., Fujisawa, K., Sawada-Satoh, S., Wajima, K., & Doi, A. 2012, PASJ, 64, 109
 [2] Jauncey, D. L., Kedziora-Chudczer, L. L., Lovell, J. E. J., Nicolson, G. D., Perley, R. A., Reynolds, J. E., Tzioumis, A. K., & Wieringa, M. H. 2000, Astrophysical Phenomena Revealed by SpaceVLBI, 147
 [3] Aller, M. F., Hughes, P. A., & Aller, H. D. 2010, arXiv:1007.025