

VSOP による CSS 電波源 3C 380 の観測結果

亀野 誠二*, 沈 志強*, 井上 允*, 藤沢 健太*, 輪島 清昭†

1 はじめに...3C 380 について



図 1: 3C 380 の VLA による電波像 (等輝度線) と HST による可視光像 (グレースケール)。O’Dea et al. (1999)

3C 380 は赤方偏移 $z = 0.692$ にあるクェーサーで、電波 (178 MHz) での単色光度 $10^{28.5} \text{ W Hz}^{-1}$ (Wilkinson et al. 1984) と、系外電波源の中ではかなり明るい天体である。ハッブル定数 $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ を仮定すると、1 mas は約 6 pc に相当する。この天体は、電波帯のスペクトルが $\alpha = \frac{d \log S_\nu}{d \log \nu} = -0.7$ と右下がり、広がりが約 10 kpc と母銀河と同程度に小さいことから、Compact Steep-Spectrum (CSS) 電波源に分類されている (Fanti et al. 1990)。VLA による観測結果 (O’Dea et al. 1999) では、中心核から北西方向にジェットが伸びていて、6 kpc の距離に明るいホットスポットを形成し、半径 10 kpc に渡る繭状の電波ローブに包まれている構造が明らかになっている。6 kpc のホットスポットは可視光の波長域でハッブル望遠鏡によっても同定されている (図 1 を参照)。

100 pc スケールでは北西に延びたジェットがクランク状に折れ曲がっている構造を持っている。ジェットに

*国立天文台 VSOP 室
†茨城大

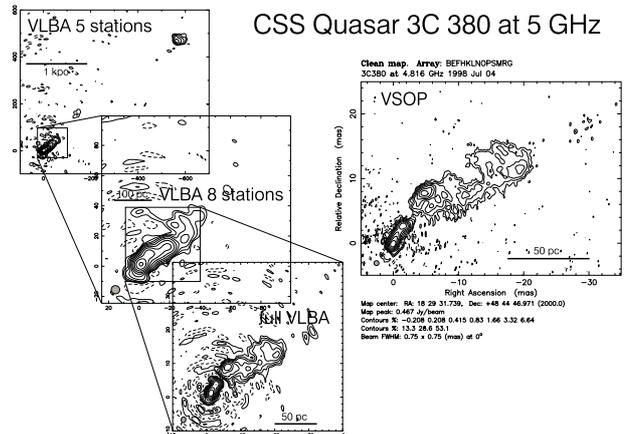


図 2: さまざまなスケールで作成した 3C 380 の 4.8 GHz における電波像。

沿って明るいノットがいくつか同定されており、このうち中心から約 50 pc に位置する成分 A は $\beta_{\text{app}} = 5.9 \pm 0.7$ で運動する超光速現象を示す (Polatidis, Wilkinson 1998)。成分 A がジェットの折れ曲がり開始点に位置し、運動の方向がジェットの折れ曲がり方向に沿っていて、見かけの速度が観測時期によって $\beta_{\text{app}} = 2 - 10$ と変動することから、Polatidis, Wilkinson (1998) はジェットが周囲のガスと相互していると主張している。もしこれが正しければ、相対論的速度のジェットと周囲のガスとの衝突という、天体物理的に興味深い現象を調べるよい実験場が得られることになるので、この検証は重要である。VSOP で 1.7 GHz と 5 GHz の 2 周波で観測すれば、衝撃面でのスペクトル指数の分布などから相互作用の有無を検証できると期待できる。このような動機で、3C 380 の観測を行った。

2 観測と結果

観測は VSOP によって、周波数 1672 MHz (L 帯) および 4824 MHz (C 帯) で、それぞれ 1998 年 7 月 5 日および 4 日に、それぞれ 12 時間に渡って行われた。地上局は VLBA10 局と Effelsberg 100m 鏡の 11 局で、これに「はるか」を加えた計 12 局で観測を行った。

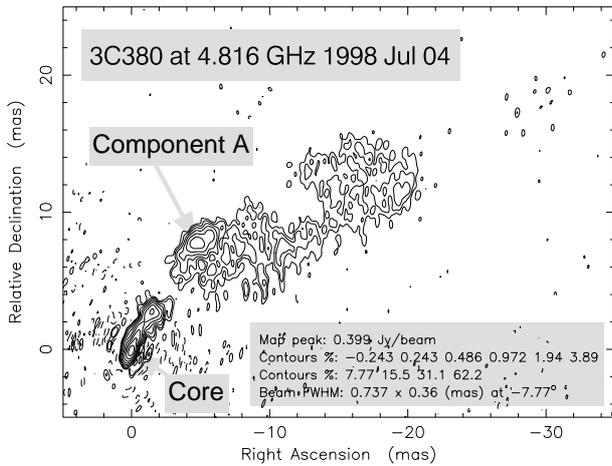
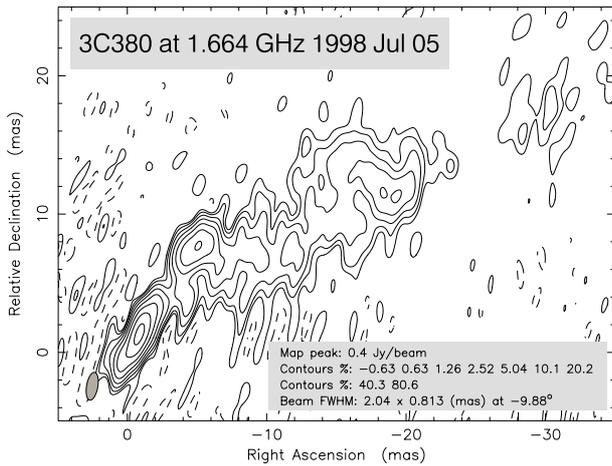


図 3: VSOP による 1.7 GHz (上) および 4.8 GHz (下) での 3C 380 の電波像

図 2 は使用するアンテナを変えることによってさまざまな分解能で得た電波像である。VLBA の PT, LA, FD, OV, KP の 5 局だけを用いたコンパクトな配列による電波像では、VLA や HST で観測された 6 kpc のホットスポットが検出できている。100 pc スケールと 6 kpc スポットとの間には有意な電波放射は見られず、ジェットは連続的には分布していない。

図 3 は VSOP による最高分解能の電波写真である。分解能と画質は表 1 にまとめた。ノット成分 A がはっきりと分離されており、その先に延びるジェットの折れ曲がりが見えやすくなっている。

表 1: VSOP 観測の分解能と画質

周波数 (MHz)	合成ビーム		ダイナミック レンジ
	長軸 (mas)	短軸 (mas)	
1664	2.04	0.81	480
4816	0.74	0.36	1230

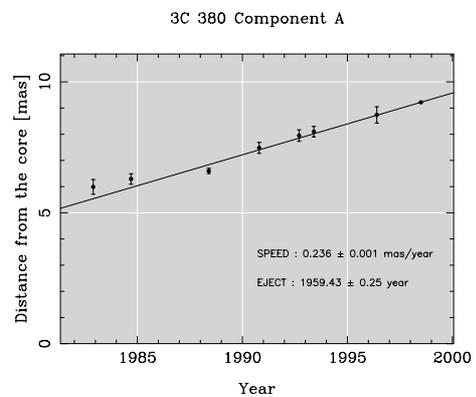
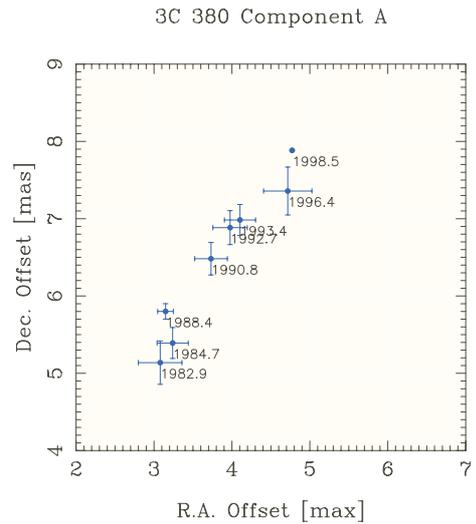


図 4: ノット成分 A の中心核に対する相対位置の時間変化 (上) と、離角の時間変化

3 考察

VSOP によって得られた結果に基づいて、ジェットと周囲のガスとの相互作用が起こっているのかどうかを検証する。ここでは、ノット成分 A の運動、ジェット吹き出しの方向、スペクトル指数分布の三つの観点から考察する。

3.1 ジェットの運動

図 4 に成分 A の 1982 年から 1998 年の 16 年間に渡る動きを示す。1996 年以前のデータは全て Polatidis, Wilkinson (1998) によるもので、1998.5 年のデータが今回の観測結果である。中心核を原点とした成分 A の相対位置 (図 4 上) は、運動がほぼ直線的であることを示している。また観測時期に対する成分 A の中心核からの離角変化 (図 4 下) も、ほぼ等速度の運動を示している。平均した固有運動は $\mu = 0.236 \pm 0.001$ mas

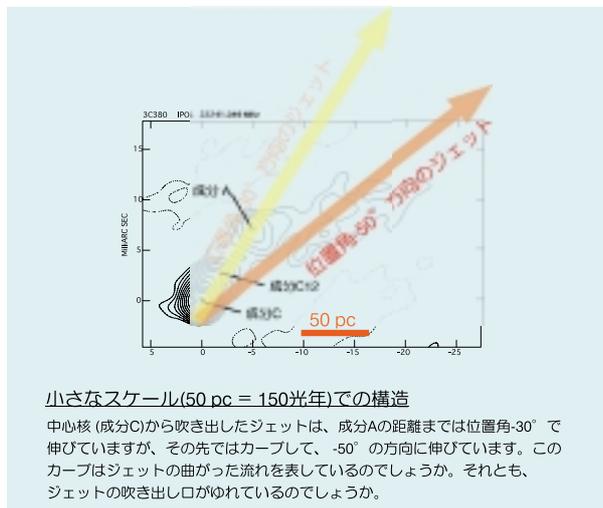
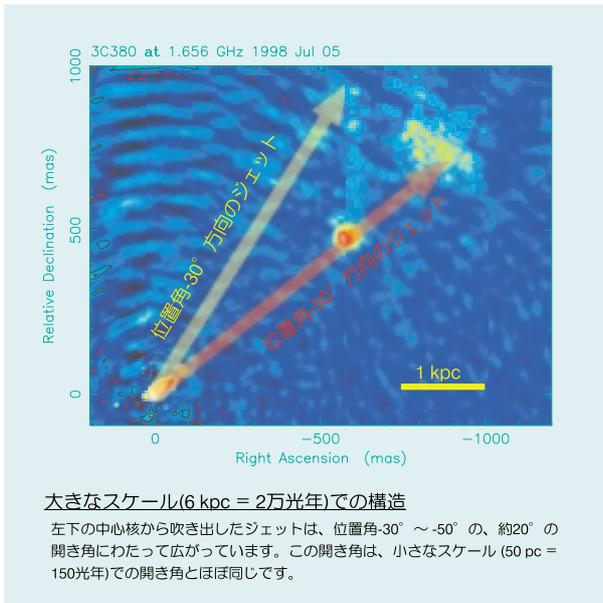


図 5: pc スケールと kpc スケールのジェットの関係

yr^{-1} で、 $\beta_{\text{app}} = 6.33 \pm 0.03$ に相当する。VSOP の結果からは、Polatidis, Wilkinson (1998) が指摘したような直線運動からのずれ(加減速)は見られなかった。

3.2 pc スケールと kpc スケールのジェットの関係

ジェットが直線的な弾道で運動していることを検証するために、pc スケールと kpc スケールとでジェットの位置角を比較する。中心核から成分 A まで(60 pc 以内)では、ジェットは位置角 -30° の方向に伸びている。この方向を延長した、6 kpc スケールにもジェットの稜線が存在することが、低分解能のマップ(図 5 上)から明らかになった。また、中心核から 60 – 120 pc の

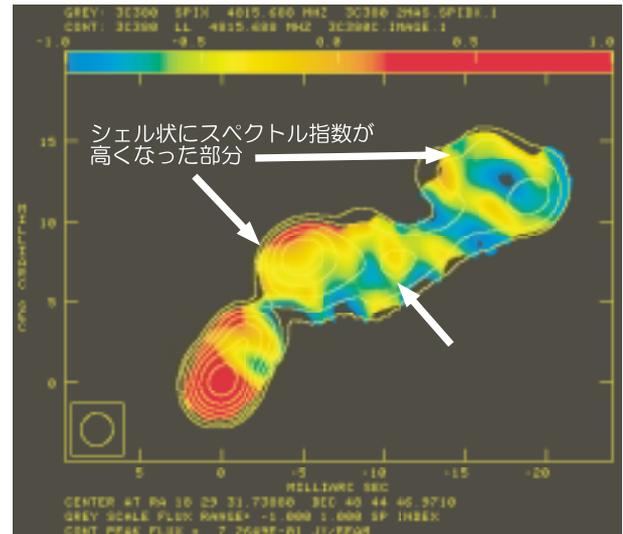


図 6: スペクトル指数(グレースケール)の分布を 4.8 GHz の電波写真(等輝度線)に重ね合わせた図。スペクトル指数は 1.7 GHz と 4.8 GHz の 2 周波から求めた。

スケールではジェットは位置角 -50° の方向に伸びている。この延長やはり 6 kpc の位置にホットスポットが存在し、さらに 8 kpc の付近にローブを形成している。従って、ジェットは開き角 20° に渡って方向を変えていると考えられる。

3.3 スペクトル指数分布

ジェットと周囲のガスとの相互作用を検証目的で、L 帯と C 帯の 2 周波でスペクトル指数の分布を調べた。スペクトル指数マップを作成するにあたっては、ビームサイズの違いを補正するために、両方のマップを 2 ミリ秒角のビームで畳み込んだマップを作成した。両周波数ともに S/N 比が 5 を越える領域についてのみ、スペクトル指数を求めた。従って、スペクトル指数の精度 $\delta\alpha$ は

$$\delta\alpha = \frac{1}{\log \nu_C - \log \nu_L} \sqrt{\left(\frac{\delta S_C}{S_C}\right)^2 + \left(\frac{\delta S_L}{S_L}\right)^2} \leq 0.27$$

となる。

成分 A より下流のジェットではスペクトル指数は $\alpha < -0.5$ と右下がり、全フラックス密度で示されるスペクトル指数を反映している。一方、中心核付近では $\alpha > 0.5$ と右上がり、光学的に厚い領域であることがわかる。スペクトル指数は最大でも $\alpha \sim 1$ 程度であることから、シンクロトロン自己吸収で説明できる。

注目すべき点は、中心核から 10 mas, 15 mas, 20 mas

付近に見られるリング状のスペクトル指数の盛り上がりである。これらの盛り上がりは、ジェット状のノットに付随している。スペクトル指数はプラズマの光学的厚みを反映した量であり、これがノットの縁で高くなっているということは、ノットは中空の構造を持っていることを示している。つまり、断熱的に膨張したプラズマ塊がノットとして見えていると考えられる。

ジェットと周囲のガスとが衝突している領域では、圧縮+フェルミ加速によってスペクトル指数が高くなることが期待されるが、ジェットが折れ曲がっている箇所そのようなスペクトル指数の盛り上がりは特に見られない。

これらの結果から、ジェットと周囲のガスとの相互作用は明らかでなく、ノットは断熱膨張したプラズマ塊であると結論する。

4 まとめ

VSOP による観測結果からは、ジェットと周囲のガスとの相互作用を示す証拠は見つからず、むしろ相互作用がほとんど無いという結論が得られた。さらに精密なジェットの運動を明らかにするために、第2期のVSOP観測がスケジュールされたが、残念ながら観測直前にキャンセルとなってしまった。今後VSOP観測の機会を得て精度の高い観測を行い、ジェットの加減速・曲りについて制約をつける必要がある。

参考文献

- Fanti R., Fanti C., Schilizzi R. T, Spencer R. E., Nan R., Parma P., van Breugel W. J. M., Venturi T. 1990, A&A 231, 333
- O'Dea C. P., de Vries W., Biretta J. A., Baum S. A. 1999 AJ 117, 1143
- Polatidis A. G., Wilkinson P. N. 1998, MNRAS 294, 327
- Wilkinson P. N., Booth R. S., Cornwell T. J., Clark R. R. 1984, Nature 308, 619