

VLBIで探るキロパーセクサイズノットの内部構造:クエーサー 3C 380 の場合

東京大学天文学専攻博士1年/国立天文台 水沢VLBI観測所 VSOP-2 小山 翔子
共同研究者:紀 基樹(NAOJ)、永井 洋(ISAS)、秦和弘(総研大)、亀野誠二(鹿児島大学)

概要

活動銀河核ジェットにおいて、キロパーセクサイズのノットの内部構造を調べることは、衝撃波によって増幅された磁場を始めとする物理状態を理解する上で重要である。しかし、低分解能の観測イメージをVLBIで分解してしまうと、単位分解能あたりに期待されるフラックスが少なく検出感度に達しないため、観測例はごくわずかである。本研究では、VLBI(超長基線電波干渉計)でキロパーセクサイズのノットを分解しても検出できる天体を厳選し、ノットの内部構造を撮像することを試みた。そのために最適な天体として、中心核からおよそ1秒角に輝度の高いノット K1 をもつクエーサー 3C 380 を選び、VLBIアーカイブデータの解析を行った。その結果、VLA 22GHz で観測されていた直径2キロパーセクのノット K1 の中に、領域中の平均輝度より輝度が集中した、サイズにして約7分の1(直径約300パーセク)のコンパクトな領域を検出した。さらに、今回VLBIでみえたノットK1には、VLA22 GHzで観測されていたキロパーセクサイズのノット中に存在する一様平均化した等分配磁場強度と比べて、最大で約7倍大きい等分配磁場が局在している可能性があることがわかった。

背景

活動銀河核ジェットにおけるノットと呼ばれる明るい成分は、ジェット中の衝撃波によって磁場や粒子のエネルギー密度が増幅された領域であると考えられる。ノットの微細構造を調べることは、衝撃波中での磁場を始めとする物理状態を理解する上で非常に重要である。しかし、低分解能の観測イメージをVLBIで分解してしまうと、単位分解能あたりに期待されるフラックスが少なく検出感度に達しないため、観測例はごくわずかである。

手法

VLAで見ていたものの中の微細構造を、VLBIを使って探る。



Very Large Array
分解能0~1秒角

$$\theta = \frac{\lambda}{D}$$

λ : 観測波長
 D : 最大基線長

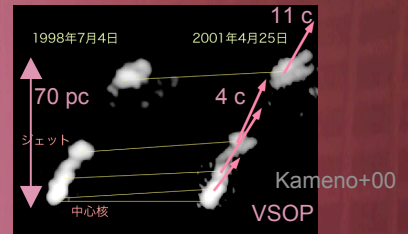
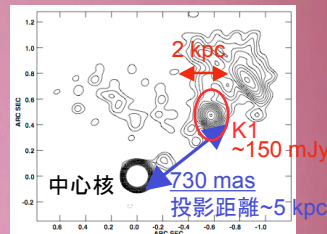


Very Long Baseline Array
分解能0~数ミリ秒角

分解能約200倍!!

選んだ天体: 3C 380

$z=0.69$
1 arcsec=6.9 kpc



中心核付近にあるジェット見かけの速度
→ジェット傾き角<16°

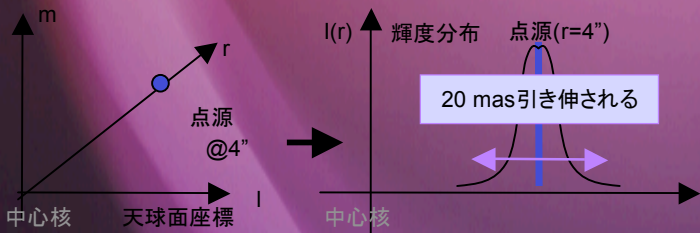
離角は小さいが大規模で非常に明るいノットK1に注目!

VLBI解析の問題点

位相中心からの離角が大きいと
スミアリングする(主に像が引き伸される)

例: 位相中心から4秒角の位置にある点源を、周波数5 GHzで観測し、積分帯域幅16 MHz、データ点積分時間20秒でイメージングした時のスミアリング量
積分帯域幅: $r \times \frac{\Delta\nu}{V_{obs}} = 4'' \times \frac{16\text{MHz}}{5\text{GHz}} = 13\text{mas}$ ω_e : 地球自転角速度
積分時間: $r \times \omega_e \times \tau_{ave}$

$$= 6\text{mas} \times (7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}) \times 20\text{sec} = 6\text{mas}$$



20 mas引き伸される

見たい成分サイズや構造変化に対してスミアリング量を無視できない

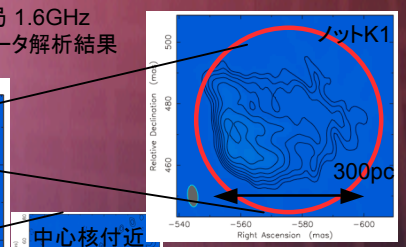
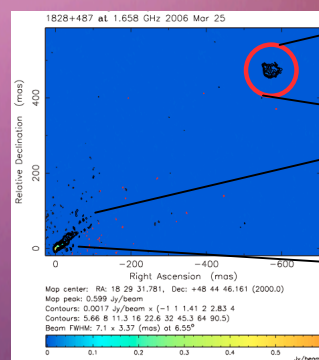
解決策

- 天体選定の基準
 - 視直径が小さい
 - 比較的遠方であれば、実距離では大規模なジェット天体
 - 明るい大規模ジェットを持つ
 - 1 masで分解しても検出できる
- 解析手法を工夫
 - 短基線が入っているアーカイブを用いる(VLBA+VLA1)
 - 帯域幅を分光(-500 kHz)して描いたイメージを足した
 - 積分時間を短くした(-2-4 sec)

@1''でのスミアリングを<1masに抑える

結果

VLBA10局+VLA1局 1.6GHz
VLBAアーカイブデータ解析結果



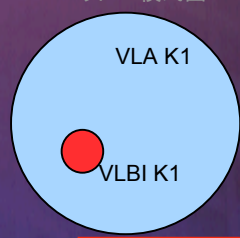
K1トータルフラックス:
388±39 mJy
S/N~24で検出

VLAでみたサイズの約1/7の領域に
輝度が集中している

考察

ノットK1の等分配磁場をVLAとVLBI両スケールの場合で比較
但し、一様な球体を仮定

ノットK1模式図



$$B_{eq,VLA} = 0.38 \text{ mG} \left(\frac{S_{22\text{GHz}}}{150 \text{ mJy}} \right)^{2/7} \left(\frac{R}{1 \text{ kpc}} \right)^{-6/7}$$

$$B_{eq,VLBI} = 2.8 \text{ mG} \left(\frac{S_{1.6\text{GHz}}}{388 \text{ mJy}} \right)^{2/7} \left(\frac{R}{150 \text{ pc}} \right)^{-6/7}$$

VLBI領域には約7倍大きい磁場が局在している可能性がある

今後の展望

低周波(330~600 MHz)のVLBI観測を行い、仮定を用いずに、シンクロtron自己吸収から磁場を一意に求め、大規模磁場と比較する。

O'dea C. P., de Vries W., Biretta J. A., Baum S. A., 1999, AJ, 117, 1143
Kameno S., Inoue M., Fujisawa K., Shen Z.-Q., Wajima K., 2000, PASJ, 52, 1045