

論文の内容の要旨

論文題目

Precise Position Determination of Radio Core
in Blazar Mrk 501 by mm-VLBI Observations

(ミリ波 VLBI 観測による
ブレイザー Mrk 501 の電波コアの高精度位置決定)

氏名：小山 翔子

活動銀河核 (AGN) から相対論的速度で噴出するプラズマジェットは、中心核に潜む巨大ブラックホールが駆動源とみなされている。AGN ジェットの中でも特にブレイザーと呼ばれる種族は、ジェット軸がほぼ観測者の視線方向を向いているため、強いビーミング効果で増幅されたジェット放射が卓越している。そのため、ジェット根元の放射を観測することができる天体として注目されている。近年の高エネルギー観測技術の進展によって、ブレイザーの X 線光度曲線はおよそ半日スケールという短時間で激しい時間変動を起こしていることが明らかになった。この時間変動から X 線放射成分のサイズへの制限は得られているが、ジェット中の存在位置に関してはわかっていない。ブレイザーの X 線光度曲線を最も自然に説明する内部衝撃波モデルに基づくと、X 線放射成分の位置は、およそ $0.1 - 10$ pc の範囲 (角度距離 1 Gpc で数百マイクロ秒角に相当) にばらつくことが示唆されているが、高エネルギー望遠鏡は勿論、通常の VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 観測でさえ、空間分解能の不足から測定できなかった。そこで、ブレイザージェットにおける内部衝撃波モデルの妥当性を世界で初めて検証するために、典型的に 150 マイクロ秒角という最も高い位置決定精度を有する VLBI 位相補償観測を複数期間行い、X 線放射領域の位置のばらつきを調査した。観測天体は、ジェット最深部の領域で X 線放射成分の位置に制限をつけるために、最近傍 ($z = 0.034$) に位置する TeV ブレイザー Mrk 501 を選んだ。観測周波数は、自己吸収の影響を避けるため、VLBI 位相補償観測が実現可能な最高周波数である 43 GHz を選択した。43 GHz において、Mrk 501 の電波コアはシンクロトロン自己吸収に対して光学的に薄い。また、TeV ブレイザーは電波から X 線まで単一領域からのシンクロトロン放射で説明できるため、X 線放射成分の存在範囲を VLBI で直接測定することができる。

本研究では、VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry) と VLBA (Very Long Baseline Array) の 43 GHz 帯で位相補償観測を複数回行い、Mrk 501 における X 線放射成分の存在範囲を測定することに成功した。VERA で 2011 年 2 月と 10 月に行った連続 4 日の観測では、X 線放射成分の位置は 1 観測あたり約 200 マイクロ秒角の位置決定精度の範囲で一致していた。4 日間の位置を平均した位置の比較から、110 マイクロ秒角以下の位置決定精度を達成し、ジェット方向に沿った X 線放射成分の存在範囲は 83 ± 140 マイクロ秒角であることがわかった。VLBA では 2012 年 2,3,5,6 月に各 1 日、合計 4 期間の観測を行い、1 観測あたり 35 マイクロ秒角以下の位置決定精度を達成した。また、ジェット方向に沿った X 線放射成分の存在範囲は 89 ± 43 マイクロ秒角であることがわかった。連続 4 日間で X 線放射成分の位置が一致していたことは、連続 10 日間の X 線ライトカーブと内部衝撃波モデルの比較から制限されている、中心エンジンから放出されたローレンツ因子の最大値と最小値の比が 1.01 以下であるということと整合的である。また、1ヶ月以上離れた 2 期間の X 線放射成分の位置の存在範囲から、ローレンツ因子の最大値と最小値の比が 1.9 以下であることがわかった。内部衝撃波モデルは、ローレンツ因子の最大値と最小値の比が大きい(小さい)ほど、X 線の光度変動が強く(弱く)なることを予言する。本観測は X 線の光度変動が弱い時期だったため、ローレンツ因子の最大値と最小値の比が小さかったこと(電波コアの位置が有意に変動しなかったこと)は内部衝撃波モデルと矛盾しない。活動期には、ローレンツ因子の最大値と最小値の比が大きくなることで 500 マイクロ秒角以上の電波コアの位置の変動が見込まれるため、本研究で達成した位置決定精度によってモデルの妥当性が明らかになる。すなわち本研究で、ブレーザーにおける内部衝撃波モデルの妥当性を検証する手法を確立することができた。

さらに、位相補償観測によって得られた電波コアの位置情報を用いて、Mrk 501 のジェット根元の詳細構造および運動学を高い位置決定精度で調査した。VLBA 43 GHz による 2010 年 5 月以降のイメージング解析の結果、電波コアの北東約 200 マイクロ秒角の位置に、ジェット軸とほぼ垂直方向という過去に例の無い方向に数十 mJy の光度をもつ NE 成分が存在することを発見した。電波コアに対する NE 成分の位置はランダムに分布しており、ばらつきの範囲は、電波コアの位置のばらつきと同程度の約 200 マイクロ秒角以内であった。電波コアと NE 成分のフラックス比は、内部衝撃波モデルの枠組みで解釈することができた。Mrk 501 の電波コアと NE 成分が異なるジェット軸上の内部衝撃波領域であるとする、中心エンジンに相当するジェット軸の交点の位置は電波コアよりも 550 マイクロ秒角 (5.2 pc) 上流にあり、根元におけるジェット軸の開き角度は天体系で 1.8° と予想することができた。