

平成21年 6 月 9 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19540241

研究課題名（和文） 電波干渉計による連星ブラックホールの探索

研究課題名（英文） Search for binary black holes using interferometry

研究代表者

亀野 誠二（KAMENO SEIJI）

鹿児島大学・理学部・准教授

研究者番号：20270449

研究成果の概要：

活動銀河核の大質量ブラックホールの形成過程を調べる目的で、活動銀河核ジェットの形状と運動を調査した。(1) VLBA アーカイブデータを用いて電波銀河 NGC 1052 のジェット運動を解析したところ歳差運動を検出し、連星 BH の存在が示唆された。(2) VSOP データアーカイブを用いてキューサー3C 380 のジェットうねり形状を解析し、連星 BH の軌道パラメーターを推定した。(3) VERA を用いて双極ジェットを持つ電波銀河3天体で、ジェットの歳差運動によって連星ブラックホールを探索した。3天体のサンプル中1天体（Cygnus A）で歳差運動を示すジェットの運動が見られ、連星ブラックホールの存在が示唆された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2004年度			
2005年度			
2006年度			
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：天文学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：ブラックホール（進化、連星）、ジェット、活動銀河核、電波干渉計（VLBI, VERA, VSOP）、質量降着

1. 研究開始当初の背景

活動銀河核（AGN）は、大質量（ $>10^7$ 太陽質量）ブラックホール（BH）に降着する物質の重力エネルギーで輝いている。大質量 BH の形成過程は未解明の問題である。銀河形成初期にできたという説、降着物質により成長したという説、中小質量 BH の合体で成長したという説（e.g. Makino, J., Progress of Theoretical Physics Supplement, 155, 190）がある。スターバースト銀河 M 82 に中間質

量（ ~ 1000 太陽質量）のブラックホールが発見されたこと（Matsushita et al. 2000, ApJ, 545, L107; Matsumoto et al. 2001, ApJ, 547, L25）は、合体・成長仮説の根拠の1つである。合体・成長仮説が正しいなら、合体・成長過程の最終段階に大質量BHの連星系をなすAGNが存在するはずである。これまでにAGNに大質量連星BHを探索する試みは、片方向にジェットを持つ天体のジェット根元の運動を調べる方法で行われてきた（e.g. Sudou et al.

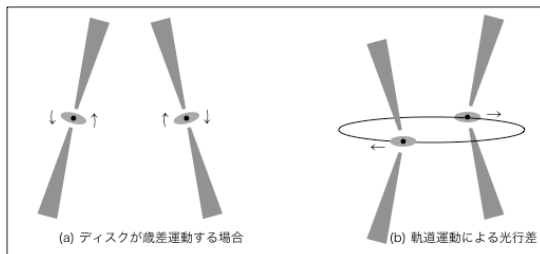
2003, Science, 300, 1263)。この方法では、ジェットの根元の運動が、降着円盤の姿勢ゆらぎや、ジェットの流体不安定性などのゆらぎによって生じる可能性を排除しきれなかった。

そこで、本研究では両側にジェットを噴き出している天体のジェット根元の運動を観測することで、連星BHの探査を試みる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、両側にジェットを噴き出す電波銀河のジェット根元の運動をモニター観測することで、ジェットの「うねり」が連星BHの軌道運動によるものか、歳差運動によるものか、あるいは流体不安定性などの原因かを切り分けることである。本研究で連星BH探査の手法が確立できれば、より大規模な探査によってAGNに連星BHが見つかる頻度が調べられ、合体・盛業仮説を検証できる。

3. 研究の方法



AGNに連星BHを探すには、ジェットの噴き出す方向が歳差や軌道運動の光行差でうねる現象を観測すればよい。

もし降着円盤が歳差運動することでジェットのうねりの形状が生じるなら、ジェットの成分は弾道運動を示し、ジェットの形状はS字対称にうねる(上図(a))。この場合は、歳差運動を起こすトルク源が降着円盤の近傍に存在すると示唆され、連星BHの候補となる。

根元のBHが連星軌道運動をする場合は、ジェットの成分は弾道運動を示し、軌道運動に伴う光行差によってジェットは軌道進行方向に向きがずれるため、C字対称にうねる(上図(b))。この場合も連星BHの候補となる。ジェットのうねり形状が流体の不安定性に起因するのであれば、ジェットの成分は弾道運動ではなく、うねりの流線に沿って運動する。このようにして、双極ジェットを持つAGNのジェット形状をモニター観測することで、連星BHの有無およびその原因を切り分けられる。

本研究では、電波干渉計を用いて、以下の3つの研究計画で連星BHを探査した。

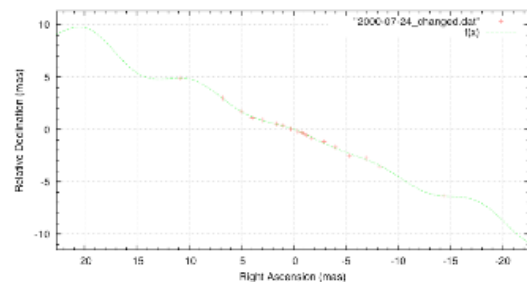
(1) 双極ジェットを持つ電波銀河 NGC 1052 について、VLBA アーカイブデータを解析し、ジェットの歳差運動の周期と開口角を測定して、歳差の原因となるトルク源 (BH) の距

離と質量を推定する。

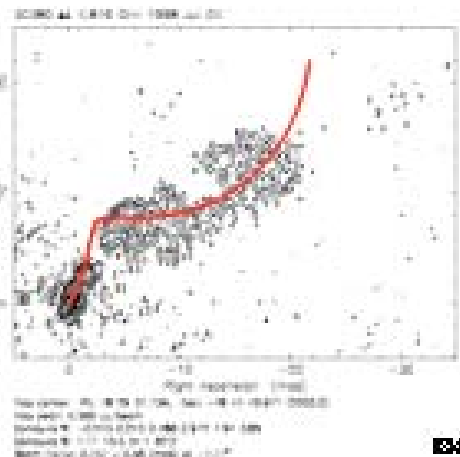
(2) すでにジェットがうねる運動を示すことが知られているクェーサー3C 380 について、VSOP (VLBI Space Observatory Program) で得られている観測結果を用いて、ジェットのうねり形状を解析し、連星BHの軌道パラメータを算出する。

(3) 双極ジェットを持つAGNについて3天体 (M84, NGC 4261, Cygnus A) を、VERA (天文広域精測望遠鏡) を用いて2年に亘り6回モニター観測し、ジェットの運動を計測した。VERA では位相補償観測によって多期間の電波像を重ね合わせることができるので、差分マップを取ることでジェットの運動を検出することができる。

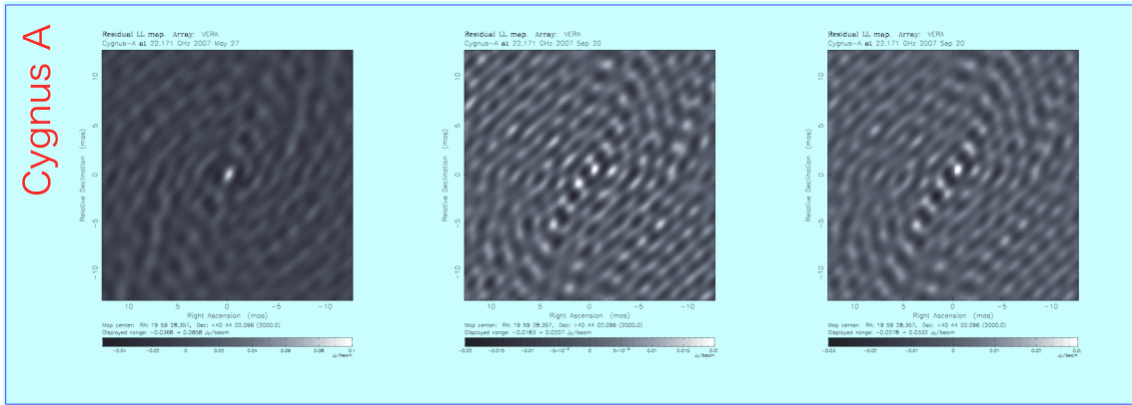
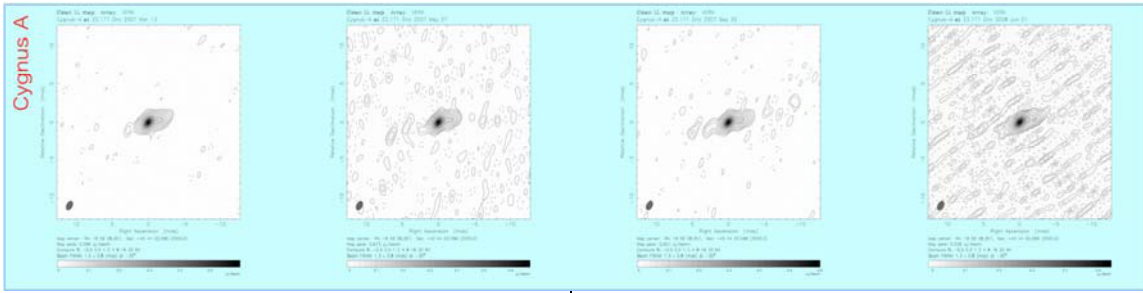
4. 研究成果



(1) NGC 1052 のジェット形状を解析した結果、開口角 6.7° 、周期 10.6 年で歳差運動しているモデルでフィットできた(上図)。これが、ジェットの噴き出し口における降着円盤の歳差運動に起因すると仮定し、必要なトルク源 (連星BH) の大きさからトルク源 (連星BH) の距離と質量を見積ると、距離 0.2 pc、質量 1.2×10^8 太陽質量と求めた (ただし質量と距離はカップルしており、質量の見積りには光度から見積った値を別途用いた)。この結果は現在投稿論文にまとめている。



(2) 過去のVSOPを用いた3C 380のジェットのうねりの解析では、軌道長半径 9.2 pc、合成質量 9×10^9 太陽質量の連星BHでジェットのうねった形状が説明できることがわかった。この結果はVSOP-2シンポジウムで発表し、現在投稿論文を準備している。



(3) VERA によるモニター観測は、すでに 6 エポックの観測は終了しており、そのうち 4 エポックについて解析が終了している。

M 84, NGC 4261 の 2 天体については、4 エポックの観測では有意なジェット噴出方向の変化は見られなかった。残りの 2 エポックの解析を行い、ジェットの運動の有無を検証する。

Cygnus A については、4 エポックの観測の結果、歳差運動に起因する S 字対称のジェット噴出方向の変化が見られた。強度分布マップからもジェット形状の変化が確認できるが、差分マップを取ることで S 字対称の変化が明らかとなり連星 BH の存在が示唆された。この変化の測定には、VERA の位相補償観測によって不定性なく多期間のマップを重ねあわせて差分マップが得られたことが寄与している。この結果は 2008 年度 VLBI 懇談会シンポジウムで発表した。現在、観測終了したばかりの 6 エポックのデータを解析しており、結果を投稿論文にまとめるべく準備している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

① “H₂O maser and a plasma obscuring torus in the radio galaxy NGC 1052”, Sawada-Satoh, S., Kameno, S., Nakamura, K., Namikawa, D., Shibata, K. M., *Astronomische Nachrichten*, Vol. 330, pp. 249–252 (2009) 査読有

② “Probing the nature of multiple lobe-like emissions in 3C 84”, Nagai, H., Asada, K., Doi, A., Kameno, S., Inoue, M., *Astronomische Nachrichten*, Vol. 330, pp. 161–164 (2009) 査読有

③ “Positional Coincidence of H₂O Maser and a Plasma-Obscuring Torus in Radio Galaxy NGC 1052”, Sawada-Satoh, S., Kameno, S., Nakamura, K., Namikawa, D., Shibata, K. M., Inoue, M., *Astrophysical Journal*, Vol. 680, pp. 191–199 (2008) 査読有

④ “Time Variation of the Rotation Measure Gradient in the 3C 273 Jet”, Asada, K., Inoue, M., Kameno, S., Nagai, H., *Astrophysical Journal*, Vol. 675, pp. 79–82 (2008) 査読有

[学会発表] (計 4 件)

① 亀野誠二, 「VERA による連星ブラックホール探査観測の報告」, VLBI 懇談会シンポジウム 2008, 岐阜大学 2008年12月23日

② 松井隆正, 亀野誠二, 「Analysis of the Orbit Elements of Binary Black Holes in the Quasar 3C 380」, “Approaching Micro-Arcsecond Resolution with VSOP-2: Astrophysics and Technology”, 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部 2007年12月3日

③ 並河 大地、中村 佳代子、亀野 誠二、澤田佐藤 聡子、「NGC 1052 のプラズマ空間分布を単一周波で探る」、日本天文学会 2007 秋季年会、岐阜大学 2007年9月26日

④ 中村 佳代子、並河 大地、亀野 誠二、澤田-佐藤 聡子、吉川 亮、中井 直正、佐藤 奈穂子、「活動銀河 NGC 1052 のプラズマトーラス構造とメーザースポットの分布」、日本天文学会 2007 秋季年会、岐阜大学 2007年 9月26日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

亀野 誠二 (KAMENO SEIJI)
鹿児島大学・理学部准教授
研究者番号：20270449

(2) 研究分担者

面高 俊宏 (OMODAKA TOSHIHIRO)
鹿児島大学・理事
研究者番号：50129285

今井 裕 (IMAI HIROSHI)
鹿児島大学・理学部・准教授
研究者番号：70374155

(3) 連携研究者

該当なし