

電波ローブの X 線観測 – ジェットのエネルギー測定 –

磯部直樹 (ISAS/JAXA, 理化学研究所),

田代信, 鈴木雅也, 阿部圭一, 伊藤光一 (埼玉大学), 牧島一夫 (東京大学, 理化学研究所)

伊予本直子 (GSFC/NASA), 金田英宏 (ISAS/JAXA)

1 電波ローブからの X 線

電波銀河やクェーサーなどのローブは、活動銀河中心核から噴出したジェットの終端に広がる巨大なシンクロトロン電波源である。ジェットの運搬した粒子や磁場は、最終的にこのローブに蓄積されると考えられる。したがって、ローブ中の電子と磁場のエネルギーを測定すれば、ジェットの永年にわたる活動を探ることになる。

ローブ中の電子はシンクロトロン電波を放出すると同時に、宇宙のいたるところに存在する宇宙マイクロ波背景放射の光子を逆コンプトン散乱 (IC) することで、X 線を放射する。この IC X 線とシンクロトロン電波の強度を比較すれば、ローブ中の電子と磁場のエネルギー密度を求めることが出来る (Harris & Grindlay 1979)。

我々は 1995 年、「あすか」衛星によって世界で初めて電波銀河 Fornax A のローブから IC X 線の検出に成功 (Kaneda et al. 1995) した。それ以来、「あすか」、Chandra, XMM-Newtonなどを駆使して、世界をリードする観測結果を次々と挙げて来た。その一例を図 1 に示す。

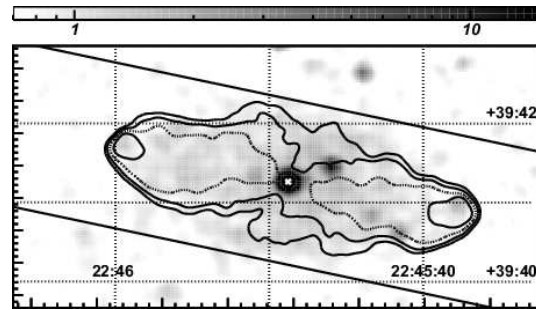


図 1: Chandra 衛星による電波銀河 3C 452 の X 線画像 (Isobe, et al., 2002)。電波干渉計による 1.4GHz の画像を等高線で重ねた。ローブを埋め尽くすように広がった IC X 線が検出されている。

2 電波ローブとジェットのエネルギー

図 2 に、IC X 線の強度から求めた、ローブ中の電子と磁場のエネルギー密度 (u_e と u_m とする) の関係を示す。既に、10 個を超える電波銀河のローブで u_e と u_m を求めることに成功している。驚くことに、ほぼ全てのローブで、従来仮定されてきたような磁場と電子のエネルギー等分配は成立していない。それどころか、典型的に $u_e \sim 10 u_m$ 程度の電子優勢が実現されている。この我々の発見は、最近になって次々と追認されはじめている (Croston, et al., 2005 など)。このように、ジェットの運搬したエネルギーは、その貯蔵庫であるローブに磁場ではなく電子 (つまりは粒子) のエネルギーとして格納されているのである。もしかすると、この観測結果はジェットが粒子駆動であることを示唆しているのかも知れない。

ローブ中のエネルギーの担い手である電子は、電波と X 線を放出しながら絶えずエネルギーを失い続けている。ジェットがこのエネルギー損失に見合うだけのエネルギーをローブに供給し続けているために、ローブはその状態を保つことが出来る。したがって、ローブ中の全エネルギーを放射冷却の時間で割れば、ジェットが単位時間に供給するエネルギーを求めることが出来る。これをジェットのパワー L_{jet} と呼ぶことにする。 L_{jet} はジェットの活動の強さの良い指標となるはずである。

図 2 は、このようにして求めた L_{jet} をジェットを噴出している中心核の X 線光度 L_X に対して図示したものである。 L_X が大きくなると L_{jet} も大きくなる様子が良くわかる。中心核のエネルギー源は、中心核への質量降着と考えられる。したがって、この L_X と L_{jet} 相関関係はジェットのエネルギー源も質量降着であるという一般的な予想を証明する観測結果ではないかと考えている。

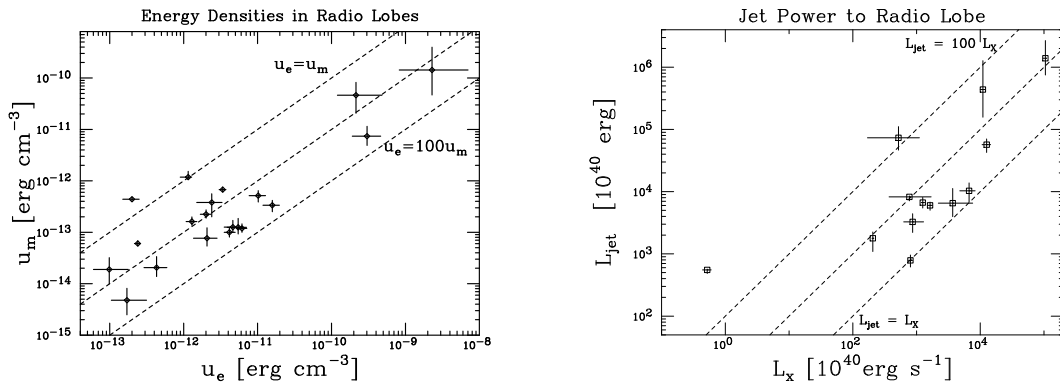


図 2: (左) IC X 線の観測で求めたローブ中の u_e と u_m の関係。斜めの点線は、上から $u_e = u_m$, $10 u_m$, $100 u_m$ を表す。なお、 $u_m = 10^{-13}$ erg cm $^{-3}$ は、 $5 \mu\text{G}$ の磁場に相当する。(右) ジェットのパワー L_{jet} と中心核の X 線強度 L_X の関係。斜めの点線は、上から $L_{\text{jet}} = 100 L_X$, $10 L_X$, L_X を表す (田代 & 磯部 2004)。

3 ASTRO-E2にむけて

これまで我々が測定してきた物理量はすべて、ジェットやローブの活動を時間積分したものであった。しかし、何とかしてローブの動的発展の姿をとらえたいと考えている。

図 3 の左に、最も近傍の電波銀河 Centaurus A のインナーローブの X 線画像 (Kraft, et al., 2003) を示す。南ローブの端にシェル状の明るい領域があることがわかる。Kraft, et al. (2003) は、この画像と観測された 3 keV という温度をもとに、ローブが周囲のガス中を超音速で膨張するために衝撃波が生じ、その背後が加熱されて X 線で明るいシェルとなるという描像を考案し (図 3 の右を参照)、ローブの膨張速度は 2400 km s^{-1} と見積もっている。

高いエネルギー分解能と検出感度を誇る ASTRO-E2 衛星搭載 XRS を用いれば、この膨脹にともなう輝線のドップラーシフトの検出、膨脹速度を実測することが可能である。我々は既に、このローブ南端の観測時間を確保しており、どのような観測結果が得られるか非常に期待している。

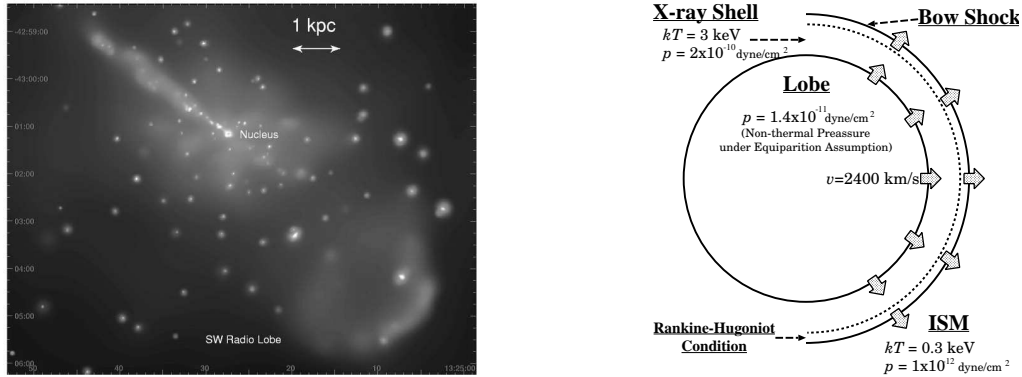


図 3: (左) *Chandra* による電波銀河 Centaurus A のインナーローブの X 線画像 (0.4 – 2 keV)。 (右) Centaurus A 南インナーローブの描像 (Kraft, et al., 2003)。

References

- Croston, J.H., et al., 2005, ApJ, 626, 733
- Kaneda, H. et al. 1995, ApJ, 453, L13
- Kraft, R.P. et al., 2003, ApJ, 592, 129
- Harris, D.E., Grindlay, J.E., 1979, MNRAS, 188, 25
- Isobe, N., et al., 2002, ApJ, 580, L111
- 田代 信, 磯部 直樹, 2004, 天文月報, 97, 400