

山口-日立基線による高赤方偏移活動銀河核の大規模VLBI探査

山口大学 B4 鶴田大樹

共同研究者：藤沢健太、新沼浩太郎、古谷庸介、松田将紀

背景

クェーサーをはじめとする活動銀河核 (Active Galactic Nuclei ; AGN)とは銀河中心のコンパクトな領域から高エネルギーなAGNジェットというプラズマ噴出流を放射している天体である。低赤方偏移AGNの電波構造は図1のように電波コアからpc~kpcスケールに広がる電波ジェットを有し、電波ローブを形成している天体も存在する。一方で、高赤方偏移AGNは図1のようなkpcスケールに広がった電波構造はほとんど検出されておらず、図2のようなpcスケールほどの非常にコンパクトな電波構造をしている。そのため、高赤方偏移クェーサーの空間分解したイメージを得るためには、VLBI (Very Long Baseline Interferometry) で観測を行う必要がある。ここで、高赤方偏移クェーサーと低赤方偏移クェーサーの電波構造の違いに着目すると、クェーサーの電波構造はコンパクトな構造からkpcスケールに広がった構造に宇宙論的に進化しているのではないかと示唆される。その宇宙論的進化の要因として、赤方偏移を z とすると低赤方偏移と高赤方偏移の宇宙を比較した時、

- ① ガス密度は $(1+z)^3$ に比例する。
 - ② CMB (Cosmic Microwave Background) のエネルギー密度は $(1+z)^4$ に比例する。
 - ③ AGNジェットからの放射が弱い。
- などの要因が考えられる [2]。

本研究では高赤方偏移における、光度の赤方偏移に対する依存性に着目する。そのためには、多数の高赤方偏移クェーサーに対して大規模なVLBI探査を行う必要がある。JVN (Japanese VLBI Network ; [3]) における高感度な基線が高赤方偏移クェーサーが検出可能であることがわかっているので、本観測では山口局 (第一) と日立局の高感度な1基線を用いたサーベイ観測を行なっている。

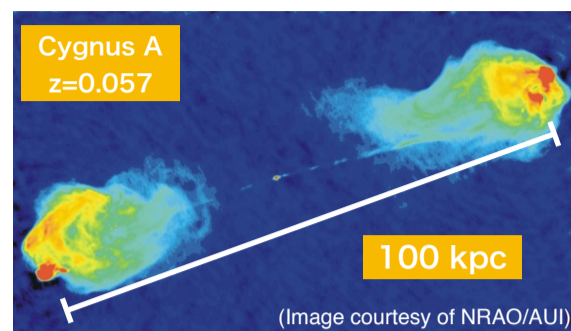


図1 低赤方偏移AGNの構造例

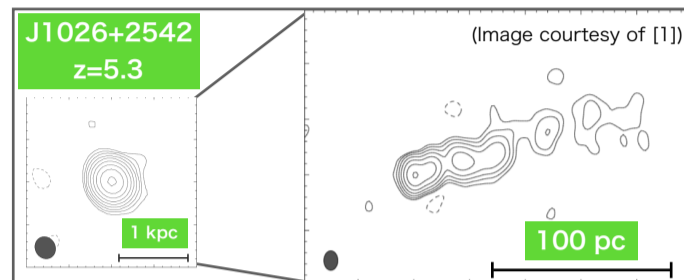


図2 高赤方偏移AGNの構造例

目的

高赤方偏移クェーサーの光度と赤方偏移の依存性について統計的議論を行う

天体選出

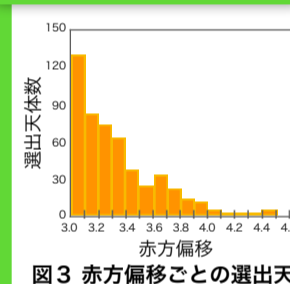


図3 赤方偏移ごとの選出天体数

選出天体はFIRST (Faint Imaging of Radio Sky at Twenty centimeter ; [4]) カタログから選出し、SDSS (Sloan Digital Sky Survey ; [5]) カタログとのクロスチェックによって赤方偏移を対応づける。本研究では、赤方偏移が3以上に存在し、FIRSTで検出された1.4 GHzのフラックス密度から予想される8.4 GHzのフラックス密度が4 mJy以上 ($\alpha = -0.3$ を仮定) を満たす天体に対して観測を行う。この中でからVLBI global solution rfc_2017a [6] で報告されていない522天体を選出した。この522天体を7epochに分けて観測を行う。

観測結果

142天体中73天体が7σ以上で検出された(検出率は51%)。

以下については検出天体の特徴を捉えるために赤方偏移、スペクトル指数、光度ごとの検出天体数を示す。

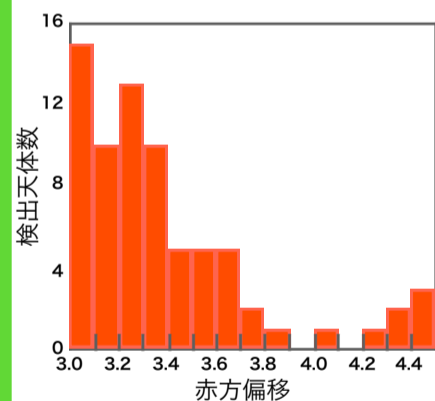


図6 赤方偏移ごとの検出天体数

赤方偏移	検出率(%)
3.0	42
3.1	45
3.2	62
3.3	59
3.4	56
3.5	56
3.6	45
3.7	33
3.8	33
3.9	0
4.0	100
4.1	100
4.2	100
4.3	67
4.4	100

表1 赤方偏移ごとの検出率

図6と表1に検出天体数と検出率を示す。赤方偏移が3.6以下の天体は観測した数が多いため検出数も多いが、検出率は50%程度である。一方で赤方偏移が4以上の天体では検出率が100%の場合もある。この検出率に対し仮説検定を行うと、高赤方偏移での高検出率はデータの偏りとは言えないので、統計的に有意性があると言える。

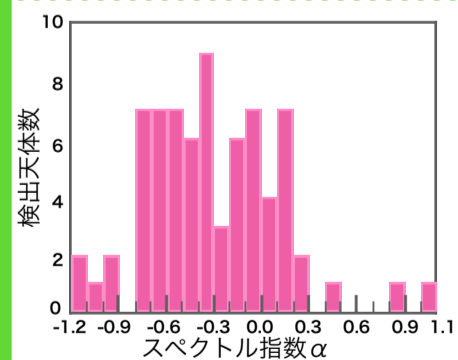


図7 スペクトル指数ごとの検出天体数

スペクトル指数 α はFIRSTカタログの1.4GHzのフラックス密度と本観測で得た8.4GHzの相関フラックス密度を用いて以下の式から求めた。

$$S \propto \nu^\alpha \Rightarrow \alpha = \frac{\log(S_{\nu_{8.4\text{GHz}}}/S_{\nu_{1.4\text{GHz}}})}{\log(\nu_{8.4\text{GHz}}/\nu_{1.4\text{GHz}})}$$

AGNのスペクトルの特徴として、多くのAGNは高周波になるにつれて減少することが挙げられるが、図7に $\alpha > 0$ 、 $\alpha < -1$ の天体が存在するのは角度分解能の違いや強度変動によるものだと考えられる。

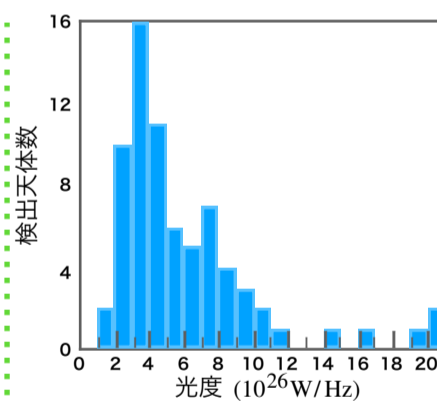


図8 光度ごとの検出天体数

光度 L_ν は天体の赤方偏移と本観測で得た相関フラックス密度を用いて以下の式から求めた [7]。

$$L_\nu = 4\pi D_L^2 \frac{S_\nu}{1+z} \quad (D_L \text{ は赤方偏移から求めた光度距離})$$

図8は光度ごとの検出天体数を示したもので $3 \times 10^{26} \text{ W/Hz}$ 程度の天体の検出数が16天体と最多である。また、図9は 検出天体の赤方偏移ごとの光度の分布を示したもので、現段階では光度の赤方偏移に対する依存性はみられなかった。これは赤方偏移の違い、つまり宇宙の環境が異なる状態であっても変わらない光度であることを意味している。

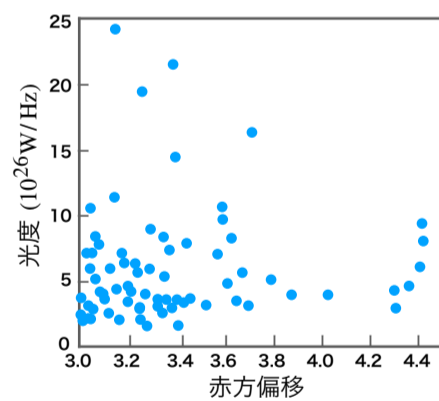


図9 赤方偏移ごとの検出天体の光度

まとめ

- ・ 本観測の検出率は51%であり、赤方偏移が高くなると検出率も高くなる傾向が見受けられる。
- ・ 検出天体の75%のスペクトル指数は $-1 < \alpha < 0$ の範囲の天体であった。
- ・ 検出天体の光度は $3 \times 10^{26} \text{ W/Hz}$ 程度が検出数が多く、赤方偏移に対する依存性は見られなかった。

展望

- ① 本観測に続き、残りの380天体に対してJVNで観測を実施し、検出された天体について光度の赤方偏移に対する依存性の統計的議論を行う。
- ② JVNによって検出された天体を高感度、高角度分解能なEAVN (East Asia VLBI Network ; [8]) によって観測を実施し、高周波での高赤方偏移クェーサーのVLBIイメージを増やす。
- ③ 高赤方偏移クェーサーと低赤方偏移クェーサーの電波構造の比較を行うことで、クェーサーの電波構造の進化を統計的に議論していく。