

# 論文内容の要旨

## The size –redshift relation for compact radio sources

コンパクト電波源に対するサイズ - 赤方偏移関係

氏名 岡島 礼奈

宇宙論パラメータを求めるための方法は、大別して3つある。銀河の個数密度が一定だと仮定する「ナンバーカウント法」、天体の明るさが一定だと仮定する「スタンダードキャンドル法」、そしてもうひとつが、この論文の焦点である、天体の大きさを一定と仮定し、見かけのサイズと赤方偏移の関係から宇宙論パラメータを求める「スタンダードロッド法」である。このうち「スタンダードロッド法」以外は、低密度宇宙を示唆する点で結果は一致しているが、「スタンダードロッド法」はその精度も信頼度も低く、とりわけどの天体をスタンダードロッドと考えれば良いかが争点となってきた。

第1章では、「スタンダードロッド法」の精度が低い理由について概説している。すなわち、銀河の大きさや銀河団中の銀河間距離をサイズとする従来の方法では、主要にはサイズの進化効果により、「スタンダードロッド法」の精度や信頼度が低くなっていたため、それに代わるサイズ進化効果のない天体が模索されてきた。その結果、Kellermann や Gurvits の考察に基づいてコンパクト電波源天体が理想的なスタンダードロッド天体として考えられるようになったが、それから導かれた宇宙論パラメータは相互に矛盾していたり、その決定精度が低いという予想外の困難に直面している。そのような背景から、コンパクト電波源天体のサイズをどのように定義すべきかが緊急の課題として浮上しているが、いまだ満足いく考察がなされていないという現状がこの章で述べられている。

第2章ではコンパクト電波源を使った  $\theta - z$  relation におけるサイズの定義について論じている。これまで Kellermann や Gurvits が行ってきた手法は、サブピークを使ったもので、現在までこのサブピーク法が主流となっている。これは電波源の輝度分布の等高線マップで、一番明るいコア成分の2%の明るさのところで天体を切り出し、コアから一番

遠いサブピークまでの距離をサイズと定義する手法である。この手法ではビームの影響を回避してサイズを決定できる利点はあるものの、2%のパーセンテージを変えると結果も変わるという欠点がある。また、サブピーク成分には超光速運動を示すものが多く、結局見ているのはジェットなので、時間変化する成分を使ってサイズを定義してよいかという疑問がある。また、そもそもサブピークがない電波源のサイズは測れず、結果としてサンプルにバイアスが持ち込まれるという欠点もある。そこで新しい方法として楕円 FIT 法という方法を考えた。これは、輝度分布の等高線マップから、FWHM 楕円を切り出し、それからビームの影響を deconvolution で除去して電波源の大きさを FWHM 楕円で定義するという方法である。これにより、サブピーク法で問題となったサブピークのないもの電波源野の大きさも求めることができるようになった。また、大きさを FWHM 楕円で求めたことにより、楕円の長軸、短軸、傾きという 3 つの量を定義することができた。ここで、楕円の長軸の傾きがサブピーク成分の proper motion の方向にほぼ一致していることを見出したことから、長軸だけにジェットの情報が含まれており、短軸はジェットの影響を受けないサイズとして  $\theta - z$  関係に利用できることを結論とした。しかし、輝度分布の等高線マップはオリジナルな visibility データからフーリエ変換されて求められているため、輝度分布の等高線マップを使って大きさを定義することに対して、その信憑性に疑問がのこった。

第 3 章では、上記の理由により、オリジナルな visibility データから直接に電波源の大きさを定義する方法を使うことにした。その結果、より確かな大きさを求めることができた。ここでは 3 つのサンプルを用いた。3 つのサンプルとは、Caltech- Jodrell Bank VLBI survey における、5GHz (波長 6cm、以下 6cm CJ と表記)、1.6GHz (波長 18cm、以下 18cm CJ と表記) のサンプルと、VSOP 5GHz survey における 5GHz (波長 6cm、以下 6cm VSOP と表記) のことである。visibility data が手に入ったものは 6cm CJ が 193 個、18cm CJ が 112 個、6cm VSOP が 102 個であり、このうち大きさが定義できたものは 6cm CJ が 188 個、18cm CJ が 88 個、6cm VSOP が 75 個であった。ここから、電波光度、赤方偏移、スペクトルインデックス、大きさの全てが揃う天体は 6cm CJ が 153 個、18cm CJ が 71 個、6cm VSOP が 65 個であり、これから  $\theta - z$  関係を求めた。短軸を「スタンダードロッド」とすることが適切であるという第 2 章の結論に基づいて、短軸の  $\theta - z$  関係から宇宙論パラメータを求めると、6cm CJ の場合には  $\Omega_m = 0.29 \pm 0.12$  ( $\Omega_m + \Omega_\Lambda = 1$ ) となり、SNIa や WMAP などによる最近の傾向と一致することがわかった。今回 18cm の結果はサンプル数が少なく、また 18cm の電波は 6cm よりもエネルギーが低くてコアの外側の領域から放射されているため、サイズが大きく見積もられ、ジェットの情報も入ってきてしまっていると思われる。また、VSOP もサンプル数が少なく、また visibility マップもデータ点がまばらなため、フィッティング精度を示す  $\chi^2$  の値が大きいことから判断しても、大きさを精度よく定義することが難しかった。以上のことからコンパクト電波源を「スタンダードロッド」として使うには、6cm CJ の短軸が最も望ましいと結論した。

第4章では、超光速運動のある電波源の運動方向と楕円長軸の向きは約30%の範囲で一致していることを示し、それに基づいて長軸のデータからジェットの状態を統計的に制限する新しい可能性を論じている。ジェットの放出方向と視線との角度についての確率分布に赤方偏移の重み付けをし、長軸の頻度分布を理論的に予想し、それと観測で求めた長軸の頻度分布を比較した。この理論予想はジェットのローレンツファクター $\gamma$ と、電波源カウソンの冪数 $p$  ( $dN \propto S^{-p-1} dS$ ) とスペクトルインデックス $\alpha$ を組み合わせた量である  $a = (2 - \alpha)p - 1$  に依存しており、標準的には $a=2$ 付近の値を持つと考えられている。また、この理論予想は宇宙論パラメータにも依存するが、これは短軸の $\theta-z$ 関係から求めた $\Omega_m$ と $\Omega_\Lambda$ の値を使うことができる。その結果、6cm CJでは $a=2$ で、 $\gamma=1.5$ が観測を最も良く再現することがわかった。また、18cm CJでは $(a, \gamma) = (3.5-5, 18-25)$ 、6cm VSOPでは $(a, \gamma) = (1-2, 10-12)$ が観測を最も良く再現することがわかった。ここで18cm CJの赤方偏移分布をみるとピークのない平坦な分布をしているため、赤方偏移については適切なサンプルになっていないと考えられる。このことから6cm CJと6cm VSOPの結果に基づいたジェットの性質の制限が適切と結論した。また、ここにおいて、宇宙パラメータの値を変えて理論予想の長軸頻度分布を計算し、6cm CJの観測頻度分布と比較すると、分布のピーク位置が再現できなくなることが分かった。この結果、コンパクト電波源の短軸の $\theta-z$ 関係から求めた宇宙論パラメータを使って、長軸の頻度分布からジェットの性質を制限することが、整合した結論を導くことがわかった。

第5章は論文の結論を述べている。コンパクト電波源のサイズを短軸と長軸と区別することにより、ひとつの種族で宇宙モデルとジェット性質の両方同時に制限できる従来にない新しい手法を開発し、その制限をVLBIのvisibilityデータ解析から定量的に求めたことが、この論文の最も独創的な点であることを述べた。