

LoCuSS 銀河団サンプルに基づいたアーク統計

東北大学 M1 森岡真代

研究要旨

LoCuSS 銀河団サンプルに対し様々なレンズモデルを用いてアーク統計を行い、レンズモデルと生じるアークの個数の依存性を調べる。より現実に近いモデルを用いることでアークの数も観測結果と近い値になると予想されるが、実際には数値計算によるアークの予想個数と、観測結果の値はうまく一致しなかった。そのため、アーク統計で生じる矛盾は今回利用したレンズモデルの形に起因するものではないと考えることができる。

研究背景

重力レンズはその効果を利用して宇宙論パラメータについて考察したり、物質の密度分布を推定したりと、観測的宇宙論の分野で現在注目を集めている現象のひとつである。レンズ効果が生じる確率は宇宙定数に大きく依存していることが先行研究から分かっており、レンズ効果による宇宙定数の制限は WMAP によって予言された宇宙定数の値とほぼ一致している。しかし、この値を用いてアーク統計を行うと、計算結果と観測結果が一致しない。この矛盾を解決することを目的に本研究を行っている。

研究方法

アーク統計とは、重力レンズ効果によって生じた弓状のイメージ、アークの発生確率を計算して複数の天体に対し平均アーク数を求め、そのアーク数を用いて統計計算を行うことである。実際には生じるアークの個数は宇宙定数だけでなく、物質の質量分布やソース銀河の密度分布など様々な要因に起因している。今回の研究では、レンズ天体の質量分布を変更することで生じるアークの個数がどのように変化するかを調べた。

まず用いたレンズモデルは、SIS モデルと NFW profile である。SIS モデルは比較的簡単に計算することができるので強い重力レンズ効果の研究で用いられることの多いモデルである。もう 1 つの NFW profile は銀河団の質量分布を最もよく表す profile と言われているのでこれを利用した。

また、球対称のモデルだけでなく、楕円率を導入した SIS モデルである SIE モデルを用いた計算も行った。レンズモデルが楕円体の場合、生じるイメージの個数が 4 個になるので計算結果が増加すると予想される。SIE モデルは SIS モデルにおけるアインシュタイン半径に相当するパラメータ b に依存しているが、i) b を固定した場合、ii) Critical line の長さを固定した場合、iii) アークが生じる面積を固定した場合、の 3 通りの計算を行った。

アークの定義としては、radial 方向への拡大率と tangential 方向への拡大率の比 R をとり、 $R > 10$ 以上になるものをアークと考える、とした。

アークの個数は

$$N = \int_{z_i}^{\infty} n(z) \sigma \frac{c}{H_0(1+z)\sqrt{(1+z)^3\Omega_m + \Omega_\Lambda}} dz$$

で計算できる。ここで $n(z)$ はソース銀河の個数密度、 σ はアークが生じるための条件を満たす範囲の面積（断面積）、 c は光速、 H_0 はハッブル定数、 z は赤方偏移、 $\Omega_m \cdot \Omega_\Lambda$ は物質とダークエネルギーそれぞれの密度パラメータである。 $n(z)$ は、共同体積あたり一定のソース銀河が存在する、とした場合と、COSMOS の観測に基づく密度分布を用いた場合の 2 通りの計算を行った。

研究結果

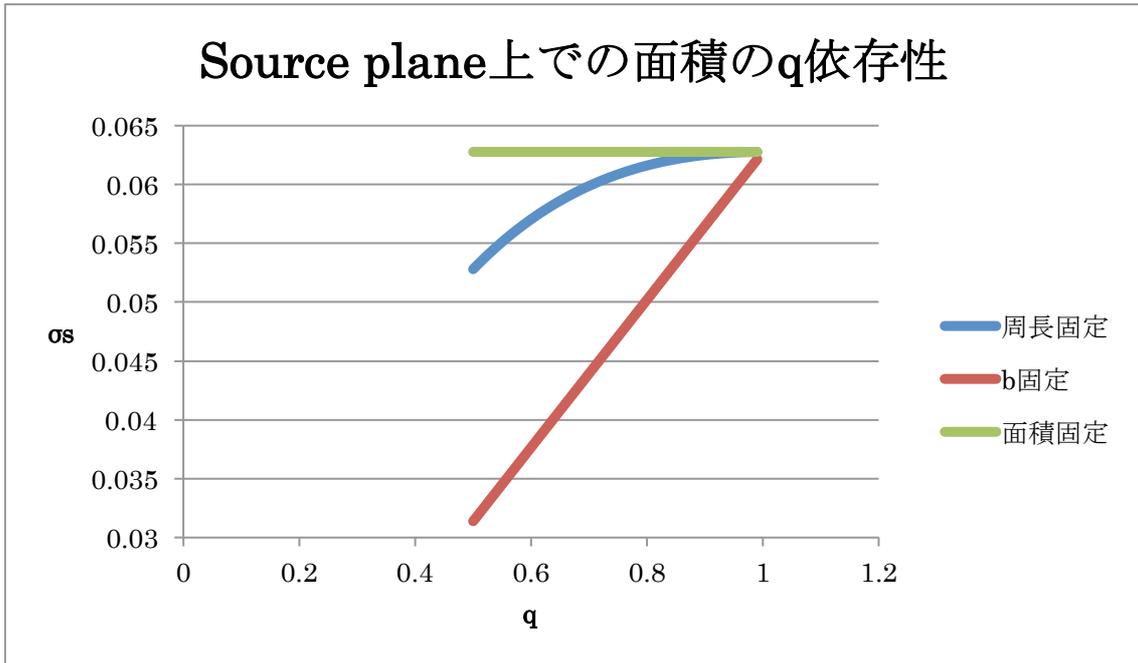
まず、球対象の場合の計算結果は以下の通りである。

	SIS	NFW
共同体積あたり一定	24.4	4.00
COSMOS による個数密度 (Ilbert et al. 2009)	7.56	1.09

生じるアークの個数は断面積 σ に比例しているので、SIE モデルの場合では、断面積 σ を軸比 q の関数として σ の q 依存性を調べた。

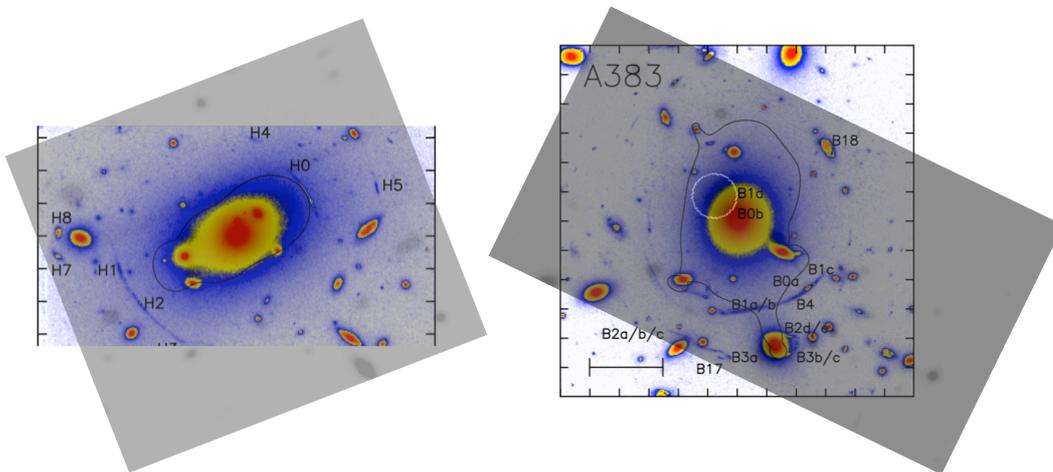
結果は次図のようになった。

楕円体のレンズモデルを用いると計算結果が増加することが予想されたが、結果は楕円体の方が生じるアークの個数が少なくなるというものになった。



一方、観測結果を見てみると、50個のクラスターに対し十数個のアーキが生じていることが分かる。

例)



(Smith et al. 2005)

考察

楕円率を導入して計算した場合、生じるアーキの数は減少してしまった。これは、イメージが4個生じる caustics 内で $R > 10$ となる範囲が小さく、それ

以外の場所での σ も SIS に比べ小さくなってしまったことが原因ではないかと考えられる。つまり、生じるイメージの数が増える効果よりも、 $R > 10$ の範囲が小さくなった効果の方が大きかったため、アークの数が減少してしまったのではないかとと思われる。この結果から、レンズポテンシャルのゆがみ以外にアーク統計の矛盾を引き起こす原因があることが予想される。