

弱い重力レンズ効果による 2 点相関関数の計算

伊勢田 竜也 (弘前大学大学院 理工学研究科)

Abstract

本研究の目的は、すばる望遠鏡を用いた HSC 計画により、遠方銀河の弱い重力レンズ効果の 2 点相関関数から宇宙論パラメータ Ω_m, σ_8 がどれだけ制限できるかを求める事である。

ここで本研究に関わりのある HSC 計画について述べる。HSC 計画とは HSC(Hyper Suprime-Cam) を搭載しているすばる望遠鏡を用いた大規模銀河サーベイの計画である。今年度から観測を始めており、今後 5 年間で 1500 平方度の面積を観測する予定である。主な目的は、遠方銀河の弱い重力レンズサーベイからダークマターやダークエネルギーの性質を探ることである。HSC は Wide/Deep/Ultradeep の 3 層構造のサーベイであり、本研究では 1500 平方度の広い視野を持つ HSC-Wide の観測領域内で 2 点相関関数の計算を行った。

本研究では、HSC 計画へ向けて国立天文台の浜名さんが作成したシミュレーションを用いた。そのシミュレーションは光源を遠方銀河、レンズを手前の 3 次元密度ゆらぎ、観測量を銀河の形の歪み (コンバージェンス) として作成したものである。それを使い、HSC-Wide の観測領域内における弱い重力レンズ効果によるコンバージェンス κ の 2 点相関関数を計算した。その関数は、観測者を中心に極座標 (θ, ϕ) をとるとき

$$w(\theta_{12}) = \langle \kappa(\theta_1, \phi_1) \kappa(\theta_2, \phi_2) \rangle$$

で表されるものである。ここで θ_{12} は天球面上の 2 点 $(\theta_1, \phi_1), (\theta_2, \phi_2)$ の間の角度である。

今回は HSC-Wide の観測領域内での 2 点相関関数を計算し、それが理論モデルと一致するか確認するまでを紹介する。

1 Introduction

まず本研究に関わりのある HSC 計画について述べる。HSC 計画とは、従来の Suprime-Cam (主焦点カメラ) の 7 倍の視野を持つ HSC(Hyper Suprime-Cam) を搭載しているすばる望遠鏡を用いた大規模銀河サーベイの計画である。今年度から観測を始めており、5 年間で 1500 平方度の面積を観測する予定である。主な目的は、遠方銀河の弱い重力レンズサーベイからダークマターやダークエネルギーの性質を探ることである。HSC は Wide/Deep/Ultradeep の 3 層構造のサーベイであり、本研究では 1500 平方度の広い視野を持つ HSC-Wide の観測領域内で 2 点相関関数の計算を行った。

本研究では HSC 計画へ向けて国立天文台の浜名さんが作成した N 体シミュレーションのデータを用いた。そのシミュレーションとは、以下のように作成されたものである。

1. 宇宙初期のパワースペクトルを再現するようにダークマター粒子を配置。

2. 周期境界条件を満たす、立方体の一辺の長さが $L=450,900,1350,1800,2250,2700,3150,3600$ [Mpc/h] の 8 種類のシミュレーションボックスを用意する。
3. シミュレーションボックス内でのダークマター間の重力進化を数値的に計算。
4. シミュレーションボックスを観測点を中心に 8 つ置く。(図 1 参照)
5. 観測点から 150Mpc ごとに球殻を作る。
6. 各球殻上で密度ゆらぎ $\delta(\theta, \phi)$ を計算。
7. 3 次元ゆらぎを 2 次元に射影する。

本研究の目的は、HSC-Wide による観測領域内での弱い重力レンズ効果による 2 点相関関数から宇宙論パラメータ Ω_m, σ_8 がどれだけ制限できるかを求める事である。HSC-Wide の観測領域は Spring equatorial, Fall equatorial, Northern sky の 3 つに分かれている (以下ではそれぞれ Spring, Fall, Northern と書く)。図 2 の赤い部分が HSC-Wide の領観測域で

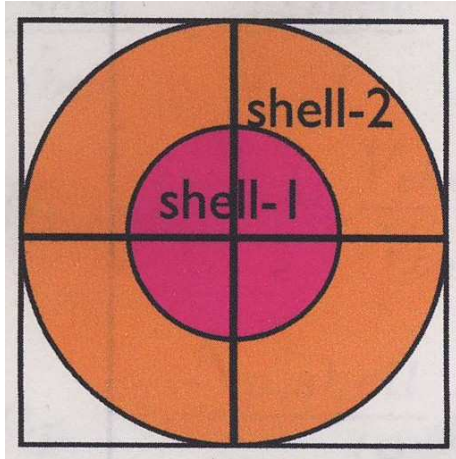


図 1: シミュレーションボックスの配置のイメージ図。中心が観測者の位置である。(浜名 2012)

あり、右下が Spring、左下が Fall、上が Northern である。表 1 は HSC-Wide の観測領域を 赤経 (RA)、赤緯 (Dec) で表したものである。

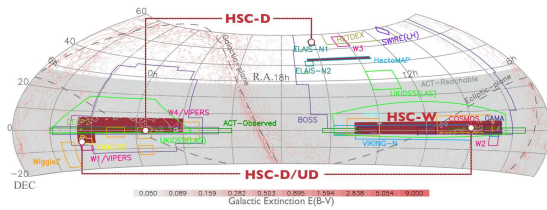


図 2: HSC の観測領域

表 1: HSC-Wide の観測領域

Name	RA, Dec	Area [deg ²]
Fall equatorial	22:00 ≤ RA ≤ 02:40 & -1° ≤ Dec ≤ +7° 01:50 ≤ RA ≤ 02:40 & -7° ≤ Dec ≤ -1°	≈ 640
Spring equatorial	08:30 ≤ RA ≤ 15:00 & -2° ≤ Dec ≤ +5°	≈ 680
Northern sky	13:20 ≤ RA ≤ 16:40 & +42.5° ≤ Dec ≤ +44°	55

2 Methods

さきに述べたシミュレーションを用いて、HSC-Wide の観測領域内での弱い重力レンズ効果によるコンバージェンス κ の 2 点相関関数を計算した。それを 10 枚の異なるデータのマップで行い、平均値と分散を求めた。なお使用したマップの赤方偏移は $z = 1$ である。

そうして得られた 2 点相関関数(の平均値と分散) を全天の 2 点相関関数(の平均値と分散)、理論モデルと比較した。

また、計算時間の都合上、計算に用いるデータのスキップ数を全天では 500、Spring と Fall は 10 とした。ここでスキップ数が 500 というのはデータを 500 個ごとに 1 つ使い計算したということである。

3 Results

2 点相関関数は 10 枚の異なるデータのマップから平均値と分散を求めたものである。以下の図で θ は天球面上の 2 点間の角度、 ξ は 2 点相関関数の値である。赤線は理論モデル (theoretical model) の数値、緑線は全天の ξ 、青線は観測領域内の ξ である。

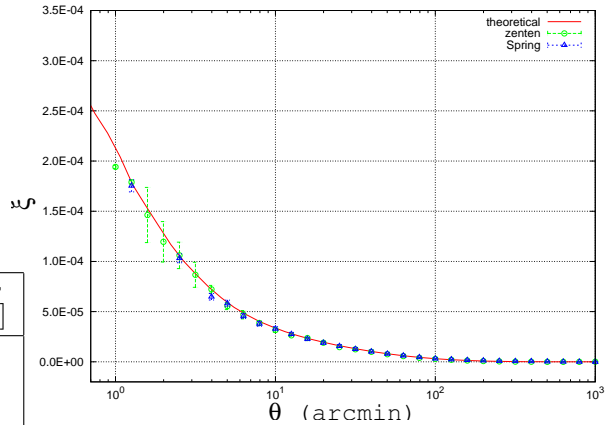


図 3: Spring

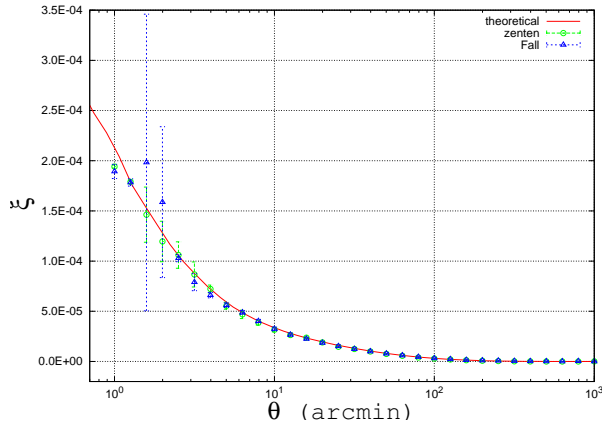


図 4: Fall

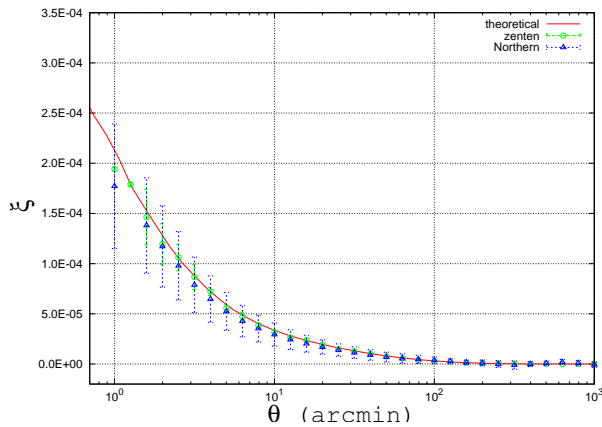


図 5: Northern

4 Conclusion

理論値と全天・観測領域内の 2 点相関関数の計算結果をそれぞれ比較すると、よく一致しているといえる。しかし、全天と観測領域内の 2 点相関関数をエラーバーを比較すると、観測領域内のエラーバーの方が小さい場所がある。エラーバーは面積の平方根の逆数に比例するため、この点では矛盾している。全天の ξ の計算でスキップ数が大きく、ペアの数が少ないためにエラーバーが大きくなっていることが考えられる。

Reference

the HSC Science Collaborations. 2012. HSC Science White Paper

L.Fu et al. 2008. A&A479,9

The HSC collaboration team. 2013. wide-field imaging with Hyper Suprime-Cam:Cosmology and Galaxy Evolution

Martin Kilbinger et al. 2013 MNRAS,430,2200-2220