

## 弱い重力レンズ効果における 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

天体などから放出された光は、我々のところへ届くまでに途中にある天体などの重力によってその進路が曲げられ、天体の像を歪ませたり、光が集まるため増光する。これを重力レンズ効果と呼ぶ。重力レンズ現象には 2 種類あり、強い重力レンズ (strong gravitational lens) と、弱い重力レンズ (weak gravitational lens) とに分けられる。強い重力レンズ効果は、天体像が 2 つ以上の像に分離して見えたり、あるいは像が変形しているのをはっきりと識別できるなど、個々の天体像のレンズ効果が明らかな場合を指す。それに対し、弱い重力レンズ効果は像の歪みや増光はわずかなので、1 つの光源天体を調べても本来持っている明るさや形と区別することはできない。だが、光源天体固有の形やその向きなどの特徴は、多数の天体を平均化することで小さくできる。重力レンズ効果は光源に対して系統的に作用するため、多数の銀河で平均してもその効果が消えることがない。光源天体の手前にある構造が弱い重力レンズ効果を生むことで、複数の光源天体が同じ方向に歪んで見え、また全体的に見かけの明るさが変化する。

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。今年度から試験観測を始めており、今後 5 年間で 1500 平方度の面積を観測する。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。

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、弱い重力レンズ効果によるコンバージェンス  $\kappa$  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  $(\theta, \phi)$  をとるとき

$$w(\theta_{12}) = \langle \kappa(\theta_1, \phi_1) \kappa(\theta_2, \phi_2) \rangle \quad (1)$$

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

計算の結果、theoretical model とよく一致していると言える。

## 1 Introduction

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、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。今年度から試験観測を始めており、今後 5 年間で 1500 平方度の面積を観測する。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。

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  $L=600, 1200, 1800, 2400, 3000$  [Mpc/h] の 5 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??参照)
5. 観測点から 200Mpc 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。

研究の過程で、Healpix という、NASA のホームページで無料で公開されている全天の観測データの解析に使うことが出来るプログラムを使用した。以下は Healpix の中で自分が用いたプログラムである。

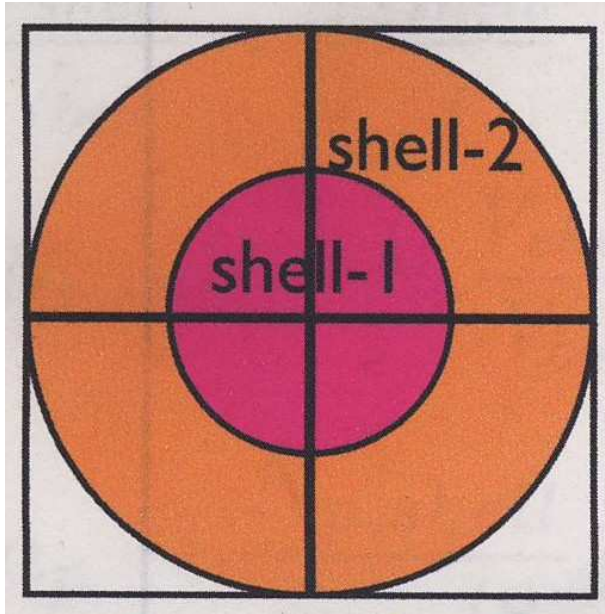


図 1: シミュレーションボックスの配置のイメージ図。中心が観測点である。(浜名,2012)

## 2 計算方法

さきに述べたシミュレーションを用いて、弱い重力レンズ効果によるコンバージェンス  $\kappa$  のパワースペクトルの 2 点相関関数を計算した。その関数は、式(??)の  $\delta_{2D}$  を  $\kappa$  に置き換えたものを用いた。そして、以下を行うプログラムを用いて計算した。

1. シミュレーションのデータから  $\kappa[i]$  ( $i=0 \sim$  データ数 1) を読み込む。
2. 番号  $i$  を  $\theta, \phi$  に変換。
3. 天球面上の 2 点間の距離  $\theta_{12}$  を計算。
4. その 2 点の  $\kappa$  の積を計算 ( $\kappa_1 \kappa_2$ )。
5.  $\theta_{12}$  が等しいものについて  $\kappa_1 \kappa_2$  を足し合わせ、足し合わせた個数で割る。
6. 以上の計算をデータをすべてのデータにおいて行い、 $\theta_{12} = 1$  分  $\sim 200$  分まで計算。

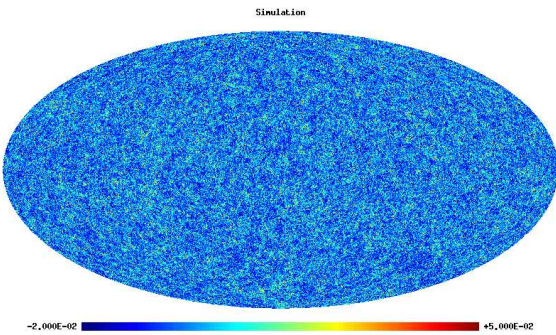


図 2:  $\kappa$  の全天マップ

- map2gif.f90 ( $\kappa$  の値のデータから全天マップをプロットする)
- pix2angring.c (データの番号を与えると  $\theta, \phi$  を返す)

図??は map2gif により作成した  $\kappa$  の全天マップである。

### 3 結果

この結果は  $12 \times 4096^2$  個のデータをそれぞれ 50、100、250、500、1000、10000 個ごとに 1 つ使い、計算したもの (図??) である。

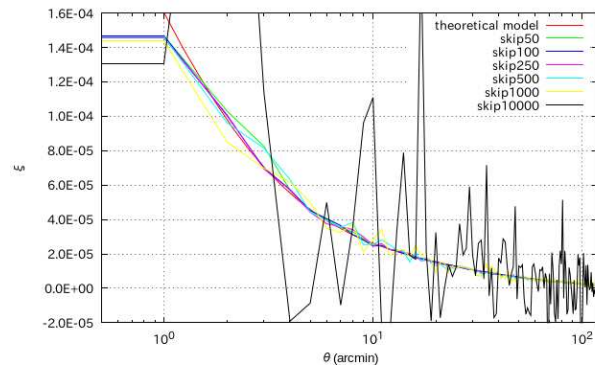


図 3:  $\theta$  は天球面上の 2 点間の角度,  $\xi$  は 2 点相関関数の値である。赤線は theoretical model の数値、その他の線はそれぞれの計算結果である。

のデータを正しく解析することができたということが言える。

### Reference

L.Fu et al.2008 ,A&A,479,9  
Very Weak lensing in the CFHTLS wide:cosmology from cosmic shear in the linear regime

計算結果	計算時間
skip50	24104m7.274s
skip100	5911m37.639s
skip250	997m4.568s
skip500	251m48.000s
skip1000	63m48.599s
skip10000	0m41.729s

図 4: 図??のそれぞれの計算の完了に要した時間

### 4 まとめ

計算結果と観測データを比較したところ、theoretical model とよく一致していた。これから、球面