

## 弱い重力レンズ効果を用いた 2 点相関関数の解析

小島 由嗣 (弘前大学大学院 理工学研究科)

### Abstract

我々が住んでいるこの宇宙はクォークなどの素粒子や我々生命体等の小さなスケールから、銀河や銀河団の巨大なスケールに至るまで、様々なスケールに渡る階層に構造が存在している。これらの構造は宇宙が進化していく過程で形成されたと考えられている。もし、宇宙の初期が全くの一樣であったなら、我々は存在してなかっただろう。なぜなら、今日の構造ができるためには、なんらかの非一樣性が初期に必要なからである。初期の段階で宇宙の密度の空間分布に少しでもゆらぎをあるとするシナリオは、現在の宇宙論では、最も自然なシナリオである。このシナリオが現在の宇宙で正しいか否かを定めるには、観測事実と矛盾がないかどうかをチェックしなければならない。そこですばる望遠鏡を用いた HSC 計画に向けてシミュレーションをし、そのデータを解析した。

今年度から試験運用が始まっている HSC 計画は今後 5 年間で従来の望遠鏡の Suprime-Cam に比較して 7 倍の観測視野、カメラ部には計 8 億 7000 万画素の巨大なデジタルカメラ HSC(Hyper Suprime-Cam) をすばる望遠鏡に設置し大規模な銀河サーベイをする。主な目的は、弱い重力レンズを用いてダークマター分布やダークエネルギーの性質を直接調べるといものである。

重力レンズとは強い重力レンズ (strong gravitational lens) ・弱い重力レンズ (weak gravitational lens) ・重力マイクロレンズ (microlensing effect) の 3 つに分類される。そのうち本研究で用いた弱い重力レンズは、銀河 (光源) のゆがみを測定する。本来の銀河の形はわからないが、1 個の銀河を観測しただけでは重力レンズ効果による変形度合いを抜き出すことはできない。そこで今、光源が遠方の銀河にあり、レンズとなる手前の 3 次元密度ゆらぎ、観測量を遠方銀河の形のゆがみを考える。私はこの状況下で銀河の形のゆがみ (コンバージェンス) のパワースペクトルと 2 点相関をシミュレーションデータから調べた。なおコンバージェンスとは銀河のゆがみの程度を表す。

本研究では以下の式を用いて 2 点相関関数  $w(\theta)$  を求めた。ここで  $l$  は多重極モーメント、 $C_l$  は角度パワースペクトル、 $P_l(\cos \theta)$  はルジャンドル多項式である。

$$w(\theta) = \sum_{l=0}^{\infty} \frac{2l+1}{4\pi} C_l P_l(\cos \theta) \quad (1)$$

計算の結果、シミュレーションの値と theoretical-model を比較してみると一致した。これから観測事実と矛盾がなくシミュレーションに用いた値が正しいことがわかり 2 次元球面のデータを正しく解析することに成功した。

## 1 Introduction

本研究と関わりある HSC 計画について述べる。今年度から試験運用が始まっている HSC 計画は今後 5 年間で従来の望遠鏡の Suprime-Cam に比較して 7 倍の観測視野、カメラ部には計 8 億 7000 万画素の巨大なデジタルカメラ HSC(Hyper Suprime-Cam) をすばる望遠鏡に設置し大規模な銀河サーベイをする。主な目的は、弱い重力レンズを用いてダークマター分布やダークエネルギーの性質を直接調べるといものである。

本研究では HSC 計画に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。以下のようなシミュレーションである。

- 1: 一様な空間に初期のパワースペクトル再現するようにダークマター粒子を配置させる。
- 2: 周期境界条件をみたす、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のダークマター間の重力進化を数値的に計算する。
- 4: 図 1 のように 3 次元なので周期境界条件のボックスを観測点を中心に 8 つ置く。
- 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  $\delta(\theta, \phi)$  を計算する。
- 7: 3 次元密度ゆらぎを射影して 2 次元にする。
- 8: 式  $\kappa(\vec{\theta}) = \frac{4\pi G}{c^2} \int_0^{x_s} dx \frac{S_K(x_s-x)S_K(x)}{S_K(x_s)} a^2 [t(x)] \bar{\rho} [t(x)] \delta[x, \vec{\theta}, t(x)]$

を用いて  $\kappa$  を  $\delta$  に変換する。

解析は NASA で公開されているソフトである

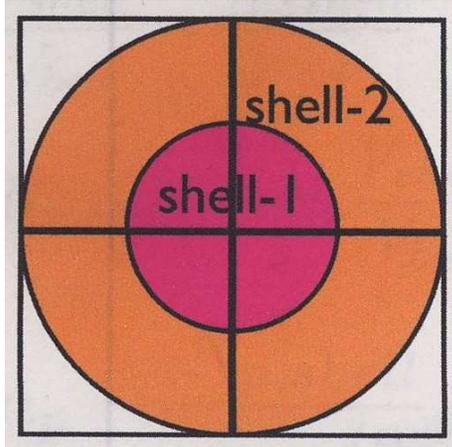


図 1: 観測点を中心に置いた 2 次元でのイメージ図  
( 国立天文台 浜名)

HEALPix を用いた。

- 手順 (1) では HEALPix の anafast を用い、 $\kappa[i] (i = 1 \sim 12 \times 1024^2)$  を読み込み  $l = 0 \sim 3000$  の範囲で  $C_l$  を計算した。

- 手順 (2) では NUMERICAL RECIPES in C++ から  $P_l^m(\cos \theta)$  を計算した。 $P_l(\cos \theta)$  は  $P_l^m(\cos \theta)$  が  $m = 0$  のときのみ成り立つことを利用した。

- 手順 (3) では (1),(2) を式 Abstract(1) に入れ  $l = 0 \sim 3000$  まで計算するプログラムをつくり計算。

HEALPix の map2.gif を使って作ったこれらのシミュレーションの全天  $\kappa$  マップは以下の図である。コンバージェンス ( $\kappa$ ) には、むらがあることがわかる。

## 2 Methods

以下の手順で 2 点相関関数を計算していく、

- (1)  $C_l$  を計算
- (2)  $P_l(\cos \theta)$  も計算
- (3) Abstract 式 (1) に (1),(2) で求めた値を代入し 2 点相関関数を計算する。

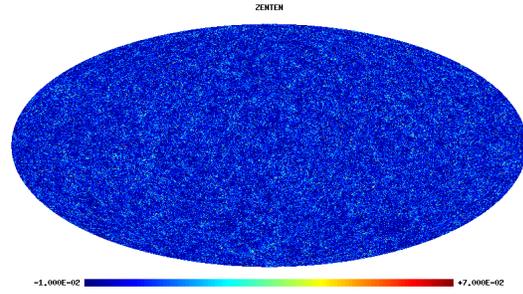


図 2:  $z_s = 0.9$  の時の全天  $\kappa$  マップ

## 3 Results

シミュレーションの計算結果と観測データをプロットしたのが図 3 である。図の黒点が計算した値、青色が観測データの値である。

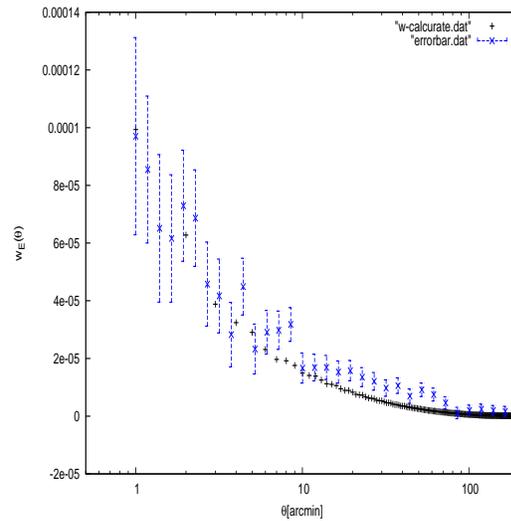


図 3: 計算した 2 点相関関数と観測データとの比較

この図の青点は観測データのエラーバーであり  $1\sigma$  の観測誤差である。なお Fu et al.(2008) より引用した。

## 4 Conclusion

シミュレーションの値と theoretical-model を比較してみるとほとんど一致していることがわかる。 $\theta$  が  $10 - 100[\text{arcmin}]$  の時少しずれているが、これはエラーバーが大きいためである。この結果から観測観測事実と矛盾がなくシミュレーションに用いた値が正しいことがわかり 2次元球面のデータを正しく解析することに成功したと言える。

## Reference

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