Weak Lensing Fieldのトポロジー

名古屋大学・理　松原隆彦

I　序説

近年の測定技術の進歩により、宇宙の質量分布を弱レンズ効果により見積もることが現実的な方法となりつつある。これまでのように、銀河など宇宙にある天体を用いて質量分布をトレースする方法は常にバイアスを受けたトレーサーを見ているのではないかという危険を回避できない。だが、重力レンズ効果を用いると重力ポテンシャルをより直接的にトレースすることが可能になる。宇宙論的に特に興味深い弱レンズ効果による質量分布のトレースは、暗い銀河の形をはっきりと観測する必要があり、これまで難しかった。だが、この数年の間の技術の進歩によりこれが現実的に測定されはじめてきた。

通常、質量などの分布は相関関数を用いて定量化することが多いが、それだけでは特徴づけられない性質がある。特にゆらぎのガウス性は相関関数で測ることは原理的にできない。このため、相関関数に相補的な統計量がいろいろと考案されているが、なかでも特に有力なものは分布のクラスタリングのトポロジーを特徴づける量である、ジーナス統計である。この統計量はガウス的ゆらぎに対して普遍的な特徴を持ち、逆に言えば、ゆらぎのガウス性の判定を可能にする。

このジーナス統計をここで重力レンズの新たな解析方法として用いることで、より直接的なバイアスを受けない質量密度ゆらぎのガウス性をチェックできるという新しい宇宙論の窓が開けることになる。

理想的にはゆらぎの線形領域でガウス性をチェックできることが望ましい。ゆらぎのガウス性は線形成長について保存するからである。観測が究極的に進めばそれも可能であり、１０年スケールで見ればそれも現実的な方法である。しかしながら、線形領域はスケールが大きく、測定データ量がかなり大きくならないと観測誤差がけっこう無視できない。小さなスケールをみれば誤差は小さくなり、データが究極的に大きくなくても誤差は十分小さくできるのだが、重力的成長の非線形性が入るので、初期にガウス的なゆらぎも、非ガウス的になる。この非ガウス性の入るパターンは力学的に決まっているため、その振舞いを調べておけば、少なくとも非線形性のみから発生した非ガウス性は同定することが可能である。

そこで、これを調べるため、数年スケールの近い将来に得られてくるであろう弱レンズサーベイのデータをいくつかの宇宙論モデルによりシミュレートして、ジーナス統計の現実的有用性を示した。

II　方法

ここでは弱レンズサーベイの観測量としては基本的な量であるコンバージェンス場を N 体シミュレーションと光追跡 (レイトレース) の方法を用いて、構成した。我々は宇宙論モデルとして、“タウモデル” $(\Omega_0 = 1, \Gamma = 0.21)$ および、“オープンモデル” $(\Omega_0 = 0.3, \Gamma =$

0.21) を例に取って振舞いを調べた。また、形のトレースに用いる銀河は簡単のためすべて $z = 1$ に配置した。それぞれのモデルについて、コンバージェンス場は 166.28 分角、および 235.68 分角を 1 辺とする正方形状の 2 次元領域上にシミュレートされ、2048x2048 グリッド上にサンプルされる。また、ジーナス統計の評価はワインバーグらによって開発された “CONTOUR2D” というコードを元にこれを改良して用いた。コンバージェンス場はいくつかの角度でスムージングを行ってから解析する。これにより、大きなスケールから小さなスケールまで調べる。

理想的なコンバージェンス場のジーナス統計に加えて、現実的なノイズの効果を含んだデータも解析した。このノイズはトレースに使う銀河の数が有限個であることからくるポアソンノイズおよび、銀河の内在的偏平率からくるコンバージェンス場の不定性である。

III　結果

解析結果を簡単にまとめると次のようになる。

- １０分角の大きなスムージングを行った場合、統計誤差の範囲内ではランダムガウス性は保たれている。
- １ ~ ３分角の小さなスムージングの場合、ガウス性はくずれ、よりクランプ的なトポロジーの様相を得る。このクランプ性はオープンモデルの方がより大きく、これは大きな z まで非線形性が強いことを反映している。さらにジーナスそのものの絶対値が大きい。これは密度ゆらぎのピークの数が多いことを意味するが、宇宙が開いていることによる幾何学的効果であると考えられる。
- ノイズの効果が加わった場合でも１０分角のスムージングスケールの結果に影響はない。１ ~ ３度角の小さなスケールではより複雑な振舞いをするが、モデルの違いが消されてしまうことはない。

以上により、ここで調べたような２００分角四方の弱レンズサーベイを行えば、宇宙論モデルの区別は可能である。線形領域を精度良く調べるにはさらに１００倍程度広い領域を調べる必要がある。そのようなことができるようになるのも時間の問題と考えられる。実際、The Dark Matter Telescope という、弱重力レンズの観測専用の 8 メートル級望遠鏡の建設計画も提案されている。これは１０００度立体角にもわたる領域のサーベイを行うものである。重力レンズを用いた宇宙論の今後の発展が楽しみなところである。

IV　リファレンス

より詳しいことは次の文献およびその中のリファレンスを参照されたい：
“The Topology of Weak Lensing Fields”, T. Matsubara, & B. Jain, astro-ph/0009402 (submitted to ApJL)