

論文審査の結果の要旨

氏名 李 翔翀

本論文は全6章からなり、すばる望遠鏡に搭載された Hyper Suprime-Cam (HSC) による銀河サーベイデータを用いた重力レンズ効果、特に弱レンズ効果の測定、およびそれを用いた3次元質量分布マップの再構成を議論する。新しいデータについてデータ解析を行なったのみならず、銀河の扁平率測定や3次元マップ再構成において新しい手法を開発した。

第一章では、本論文の研究の背景としての宇宙論基礎、特に宇宙の密度ゆらぎや高密度部の質量分布関数について背景知識を議論する。その後、本論文の主題でもある重力レンズ効果を導入し、弱レンズ効果による質量分布について記述する。最後に本論文の内容・構成とその動機付けを行なう。

第二章では、すばる HSC サーベイから得られた3年分のデータ (Three Year data) を新たなデータセットとして解析する。弱レンズ効果測定においては銀河の歪みを楕円率およびその方向を用いて測定するため、これらの測定値を含むカタログの作成、その較正がデータ解析・データセットの定義として重要となる。本章では、HSC サーベイの概略を述べ、系統誤差をどう制御するのかについて、楕円率測定の加算的バイアス (additive bias) および乗算的バイアス (multiplicative bias) における要求値について述べる。そして、これらの較正に重要な位置を占めるシミュレーションの概要を述べた後に、そのシミュレーションを用いたバイアス較正、その検証について議論する。この解析は、多くのすばる HSC データ解析・宇宙論解析を可能にする、重要な基礎的科学成果である。

第三章では、第二章で議論したようなバイアスをできる限り低減した楕円率推定の新手法について述べる。Fourier power function shapelets (FPFS) と呼ばれるこの手法は銀河のフーリエ変換パワーをテンプレート分解し、そこから楕円率を計算するもので、特に解析で問題となる乗算的バイアスについて1%以下という優れた性能を発揮するなど、優れた特徴を持つことが示される。一方で、複数の銀河同士が重なった場合にはバイアスが大きくなってしまう事も同時に示し、さらなる改善の必要性を議論する。

第四章では、弱レンズサーベイを用いた3次元質量マップ再構成について議論する。弱レンズサーベイでは、質量源により背後の銀河からの光が曲げられることを用いるため、観測者から質量源への距離は一意に決まらない。また、背後の銀河までの距離も誤差の範囲でしか決定できないため、これらの影響を加味したうえで、情報を保管して再構成を行なう必要がある。本論文においては、新しい手法として、物理的に動機付けの強い NFW と呼ばれるテンプレート質量分布を用い、また Adaptive LASSO というスパース解析手法を用いてスパース性を利用した再構成を行なう。従来の手法に比べて再構成された質量分布の「滲み」が少なく、収束性が改善されているために、より大規模なデータへの適用が期待できる。

第五章では、第二章で作成した HSC サーベイカタログに、第四章で記述した新しい 3 次元質量マップ再構成手法を適用する。再構成結果は、直接銀河団の赤方偏移が推定できる光学スペクトル測定と比較し、赤方偏移推定値との相関があることを確認した。

第六章が最終章であり、本論文の総括と将来への見通しを述べる。

本研究は、すばる HSC サーベイを主題に弱レンズ測定の最先端研究を推進するものである。サーベイカタログの作成は今後様々な宇宙論解析結果の土台となる研究であり、重要度が高い。また、二つの新アルゴリズムの作成、うち一つについてはすばる HSC データに実際に適用して検証するなど、新規性・独自性の高い研究成果である。

なお、本研究は複数の研究者との共同研究として行われているが、本論文に関連する原著論文二編および出版予定の一辺が全て論文提出者の主著論文であり、大規模実験の結果として出版予定の一遍についても責任著者を務めるなど、論文提出者の主導の下に行われた研究であることは明確である。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認め、審査委員全員で合格と判定する。