

論文審査の結果の要旨

氏名 樋口 祐一

宇宙の大規模構造において、銀河密度の低いボイドと呼ばれる部分や、高密度領域の間を結ぶフィラメントと呼ばれる構造は、銀河分布と暗黒物質の分布の関係の不定性もあって、宇宙モデルや構造形成を調べるという視点では過去詳しく調べられていなかった。そこで論文提出者は、弱重力レンズ効果によってボイドやフィラメントの質量分布を直接調べる方法に着目し、近い将来の観測によって、ボイドやフィラメントがどのくらい観測で定量化できるかN体シミュレーションを用いて調べた。

本論文は、7章からなる。第1章は導入部であり、銀河の空間分布には大規模な構造があり、本論文で着目する、ボイドやフィラメントと呼ばれる構造についての過去の研究の紹介がなされている。ボイドもフィラメントも、弱重力レンズ効果を用いて観測を試みた例はあるものの、個々の構造を十分有意に検出できていない。本研究では、将来の広視野観測によるこれらの構造の検出可能性と構造形成理論へ与える影響について、N体シミュレーションを用いて調べるという研究動機が示される。

第2章は、宇宙モデルや構造形成、重力レンズ効果などについての基本的な式や原理、あるいは概念や定義の紹介がなされている。特に弱重力レンズ効果を平均化して調べる場合の有意性（信号雑音比）についての計算方法を丁寧に示し、また球対称を仮定した場合の密度超過と重力崩壊のタイムスケール、フィラメントを楕円体で近似したときのモーメントを与える式などが示されている。

第3章は、本研究に用いたN体シミュレーションおよびボイドやフィラメントをどのようにして定義したかの手法について示されている。N体シミュレーションは既存のコードを用い、約300メガパーセク立方の領域を 256^3 の粒子によって計算を行っており、5度角に投影をして弱重力レンズ効果を調べる。弱重力レンズ効果の模擬観測およびボイドを見つけるコードについては本研究に適したパラメータを選び、ボイドは質量（平均密度よりも減少した領域の総質量）がおおよそ 2.2×10^{12} 太陽質量以上のものを調べることが可能であり、またフィラメントについては赤方偏移が0.4~0.6の範囲の 1.4×10^{14} 太陽質量以上のハローに適切な条件を加えて約4600ペアを取り出したことが記されている。

第4章は、主にボイドやフィラメントをどのように定量化したかを説明している。ボイ

ドについてはある半径までは平均より低い一定密度、その後ある半径まで平均より高い一定密度の球対称のモデルを用いてフィットを行う。またフィラメントについては弱重力レンズ効果のパラメータを用いてモデル化を行う。

第5章はボイドについて、第4章までに記述したN体シミュレーションや定量化手法に基づき赤方偏移ごとの数と質量を調べた。弱重力レンズ効果によって測ることのできる質量と、球対称ボイドモデルをフィットしたときの質量を比較し、弱重力レンズ効果による測定は、投影効果によってモデルから得られる質量のおよそ数分の1に過小評価すること、さらに、実際の観測での検出の有意性を求め、HSCを用いた1400平方度のサーベイでは、個々のボイドは有意な検出はできないが、重ね合わせることで、信号雑音比3以上でボイドを検出できることを示した。またボイドの質量ごとの頻度分布と統計誤差を示し、将来的に観測によって標準的な構造形成モデルとどの程度比較ができそうかを定量的に示した。

第6章はフィラメントについてN体シミュレーションを弱重力レンズ効果で調べた結果を記している。弱重力レンズ効果のパラメータと大きさの平面で構造の分類を試み、あるグループをフィラメントと認識できることを示した後、HSCのサーベイでは、個々のフィラメントは有意な検出は難しいが、重ね合わせることで、信号雑音比5以上で検出できることを示した。

第7章は結論である。

以上、本論文において論文提出者は、弱重力レンズ効果に着目し、N体シミュレーションを用いたボイドとフィラメントの観測可能性と宇宙モデルや構造形成論に与える可能性について世界で初めて定量的に調べた。その結果は、近い将来の広視野サーベイを計画する上で重要な指針の一つとなり高く評価できる。

なお、本論文の内容は大栗真宗・浜名崇・白崎正人各氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究を行っており論文提出者の寄与は十分であると判断できる。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。