

氏名 瀬戸直樹
 学位(専攻分野) 博士(理学)
 学位記番号 理博第2163号
 学位授与の日付 平成12年3月23日
 学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
 研究科・専攻 理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
 学位論文題目 Perturbative Analysis of Smoothing Methods in Quantifying Large-Scale and Velocity Fields
 (密度場・速度場の定量化における粗視化の手法の摂動的解析)

論文調査委員 (主査) 教授 佐藤文隆 教授 九後太一 教授 富田憲二

論文内容の要旨

膨張宇宙論の標準的なシナリオによると、今日観測されている宇宙の大規模構造は、初期宇宙に存在した小さな原始ゆらぎの重力不安定による成長で説明される。したがって銀河分布の大規模構造の定量的な解析はこの理論的シナリオを検証する上で重要である。とくに、その弱非線形効果は原始ゆらぎの性質を制限するために有用であると考えられる。

観測データあるいはN体シミュレーションなどの結果から得られる分布を用いて数値的に議論する際には、粗視化という操作が重要になる。これは、1) 銀河などの点を持つ不連続な情報を扱いやすい連続な場に変換する、2) 複雑な小スケールは見ないでより単純な大スケールの情報を取り出す、3) 誤差を大きく含んだ観測データから有意義な情報を構成する、という3つの側面を持っている。粗視化の方法は数値的には様々な手法が提案されており、これらの手法の差は摂動論的には二次の項から現れてくる。しかしながらごく少数の例外を除いては、数値的な結果と比較すべき解析的な表式は最も単純な粗視化の手法に対するものしか与えられていなかった。

こうした現状を踏まえて、申請者は粗視化の手法が密度場や速度場の弱非線形解析に与える影響を研究する上で必要となる解析的な枠組みを摂動論的手法で構築した。

始めに、密度場に対する適応的(adaptive)な粗視化の影響を考察した。これは局所的な密度分布に応じて情報の平均をとる空間領域を変化させ、構造の分解能を上げようというものである。このような粗視化の方法は情報のSN比を改善する上で非常に有効であることが最近指摘されている。申請論文では、SPH(smoothed particle hydrodynamics)などで用いられている特定の二手法を取り上げ、それぞれについて新たに生じた摂動の二次の項を導出した。また、その解析的な表式を利用して、等密度面のジーナス解析、密度分布関数の形状を記述するスキューネス・パラメーターなどが粗視化の方法にどのように依存するかを定量的に明らかにした。

次に速度場の粗視化において特に問題となってくる課題を議論した。まず、粒子を持つ不連続な情報から連続な場を構成する場合、速度場と密度場ではその構成法が大きく異なってくることを指摘した。密度場では体積の重みで平均化をとることが容易に実行できるが、速度場については粒子の非一様な分布が情報の重みの取り方に大きく反映されてしまい、注意深い取り扱いが必要なのである。申請者はN体シミュレーションの解析で実際に用いられている速度場の粗視化の方法を摂動的に解析し、この方法に固有な高次の補正項を導いた。また、先に述べた密度場の粗視化と同様に適応的な粗視化を行ったときに生じる補正項も導出した。これにより速度場の非線形性を特徴づける様々な統計量について、数値的な結果と直接比較することが可能な解析的表式を与えた。

論文審査の結果の要旨

銀河分布の大規模構造に関する理論的、観測的解析は現代膨張宇宙論の重要な研究テーマである。特に昨今の広領域の天文観測面での急速な進展を考えると、こうして得られた観測データからいかにして効果的に理論的シナリオに結びつく情報を引き出すかという立場での研究が重要性を増している。申請論文はこうした課題に応えるもので時宜にかう研究であり評価できる。

このような立場で、申請者は弱非線形効果を数值的に議論する際に不可欠となる粗視化の操作について解析的に分析を行ったのは時宜を得た研究であり評価できる。これまで数値的な結果と直接比較できるような解析的な予言を与えるという方向性は従来あまり考えられていなかった。今後もたらされる膨大な観測データを利用して観測的宇宙論の議論を詳細に行うために必要な枠組みを整備したもので高く評価できる。

申請論文においては様々な粗視化の方法の差が摂動論的には二次の効果として現れることに注目した。まず粒子の離散的な分布から密度場の空間構造を分解するために有効と考えられている適応的な粗視化の手法を採用した場合、どのように非線形効果に影響を与えていくかを定量的に議論したことは評価出来る。その結果、特に等密度面のジーナス統計に対しては粗視化の手法の差が非常に大きく効いてくることを明らかにしたことは興味ある結果である。

粗視化された速度場については、解析的な予言と数値的な結果の間には情報の重みの取り方の差から生じる溝が存在していた。しかし、申請者が新たに構築した解析的な枠組みを利用することにより、両者の直接的な比較が容易となった。申請論文では、幾つかの速度場の統計量を取り上げて、この枠組みで極めて精度の高い議論が可能であることを具体的に例示している。

今後重要になる大規模構造の定量的解析に必要な粗視化の手法の影響を解析する包括的な枠組みを摂動論的手法で構築したことは高く評価できる。

以上に述べたように本論文は今後の観測的宇宙論の研究に対して重要な寄与を含んでいると認められる。参考論文はいずれも大規模構造の密度場、速度場のゼルドビッチ近似の計算法、N体問題シミュレーション結果の解析法、などに関するもので、申請論文の課題に発展していった内容である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文としての価値があるものと認める。

なお、本論文及び参考論文に報告されている研究業績を中心とし、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。