

論文審査の結果の要旨

氏名 日影千秋

現在稼働中(稼働期間 2000 年～2005 年)の Sloan Digital Sky Survey(SDSS)は、全天のおよそ 4 分の 1、銀河の数にしておよそ 100 万個の 3 次元宇宙地図を作る壮大な計画であり、宇宙の大構造の詳細な解析を可能とする。宇宙の大構造の観測は、宇宙初期の密度ゆらぎ分布の統計を調べる上で、また、宇宙論的パラメータへの制限をする手段として、さらには銀河の生成・進化を探る糸口として大変重要である。

宇宙の大構造の解析には、これまではもっとも基本的統計量である 1 点確率密度関数や 2 点相関関数を用いた解析が詳細に行なわれてきた。しかし、現在観測される宇宙の大構造は、非線形な重力進化によって、また銀河の形成過程の複雑性に伴う暗黒物質と銀河分布の密度ゆらぎとの間の不一致(銀河バイアス)によって、ガウス統計から大きくずれた分布であることが示唆されてきた。この非ガウス性は、1、2 点統計だけからでは完全に記述することはできない。例えば、大構造に特徴的なボイド構造、シート状やフィラメンタリー状の構造は、1、2 点統計量からでは区別できない集団的性質であり、より高次の情報を含む統計量を使った解析が必要になる。本研究では、2 種類の高次統計量 - ミンコフスキー汎関数と位相和の分布関数 - を用いて SDSS 銀河データを解析し、宇宙の大構造の非ガウス性を明らかにしている。

論文は 8 章からなる。第 1 章では宇宙の大構造に対するこれまでの解析の歴史および本研究の紹介が述べられている。第 2 章では標準的な宇宙の構造形成理論モデルが説明されている。第 3 章では SDSS 計画に関する概要、データ取得法および本研究において用いられたデータについて述べられている。第 4 章から 6 章において、本論文の主要な解析結果が説明されている。そして、7 章では結果に対する考察がなされ、8 章で全体の結果がまとめられている。

4 章で示された第一の解析結果は、ミンコフスキー汎関数を用いた結果である。ミンコフスキー汎関数は、並行・回転移動の不変性、加法性、連続性を満たす、構造の形状やトポロジー情報の完備な集合であり、空間 3 次元の場合には体積、表面積、平均曲率、オイラー曲率がある。これら 4 つの量が、相対密度で定義した閾値以上の密度をもつ領域でそれぞれ計算され、閾値とともにどのように変化するかが SDSS 銀河データに対して調べられている。その結果、SDSS カタログの統計的信頼性、および現在標準的な構造形成モデルであるガウス統計に従う初期分布から進化した宇宙項入りの冷たい暗黒物質モデル(LCDM モデル)の予測する結果との一致が明らかにされた。さらに、サーベイ領域の体積と形状、およびデータ点の総個数が等しく、また特異速度に伴う赤方偏移のずれの影響を考慮した擬似サンプルを N 体シミュレーションから作成し、理論的予言と観測結果とを比較している。その結果、大構造の非ガウス性は非線形重力による影響が卓越しており、標準モデルから予測される非ガウス性と矛盾しないことが明らかにされている。

5 章、6 章では、位相和の確率分布を用いた第二の解析結果が示されている。位相和の確率分布は、フーリエ位相の値から位相相関の大きさを特徴づけることに成功した初めての統計量である。まず 5 章では、位相和分布関数の基本的性質を詳細に理解するため、宇宙の大構造の N 体シミュレーション結果の解析に適用している。その結果、位相の相関は、データ領域の体積が小さいほど、またスケールの大きな密度ゆらぎに対してほど強くなるという、他の統計量には見られない特徴を備えていることが明らかにされている。

6 章では、SDSS 銀河データに対して位相和の分布関数を世界で初めて解析している。そして、大構造の位相相関の強さをさまざまなスケールで計測された結果が提示されている。そして、位相相関についても、銀河の光度によらず、LCDM モデルの予測する結果とよく一致することが明らかにされている。

本研究結果は、1、2点統計量だけでなく、ミンコフスキー汎関数や位相情報の統計に関してもLCDMモデルと矛盾しない結果を示すことで、宇宙の大構造は標準的な構造形成モデルを一層支持することを明らかにしている。よって、本論文の価値は高いと判断する。

なお、本論文に紹介された研究は、主として名古屋大学松原隆彦氏との共同研究で行なわれたものであるが、論文提出者が主体となってデータ解析を行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。