

# 論文審査の結果の要旨

氏名 加用 一 者

現在の宇宙では、銀河や銀河団がフィラメント状に連なり、顕著な大構造を示す。これは密度パラメータ 0.3、宇宙定数 0.7 のユークリッド的な時空の中で、初期宇宙に内在した小振幅のガウスの密度揺らぎが、冷たい暗黒物質 (CDM) の重力により極度に非線形な増幅を受けた結果として、大筋は説明できる。しかし一歩進んで構造形成を定量的に理解しようとする、(1) 暗黒物質の分布が直接は観測できないこと、(2) 3 次元的な銀河分布の測定が不十分なこと、(3) 銀河の複雑な空間分布を定量化する方法が不十分なこと、(4) 銀河の分布は暗黒物質の分布とは必ずしも一致せず、銀河形成に伴う複雑な過程により「バイアス」が生じること、などの困難に遭遇する。

そこで申請者は、(1) に対しては他の研究者による N 体シミュレーションの結果を採用し、(2) は稼動を始めたスローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) の初期観測データから、約 47,000 個の銀河の 3 次元的な位置を抽出して用い、(3) に対しては古典的な 1 点統計や 2 点統計解析に加え、これまで研究の乏しかった 3 点統計解析を行った。研究手法は、大量データ (N 体シミュレーションおよび SDSS) の精密な統計処理であり、その結果として、おもに (4) に対する知見が得られることになる。

第 1 章での序論、第 2 章でのレビューに続き、第 3 章で申請者は、他の研究者が N 体シミュレーションで得た「現在の宇宙における暗黒物質分布」から、1 体の密度分布関数を導いた。その結果、宇宙論パラメータや初期揺らぎのパワースペクトルによらず、暗黒物質の分布は様々な空間スケールにわたり、「対数正規分布」でよく表現できることがわかった。これは、初期揺らぎのスペクトル指数が  $-1$  の場合に限り対数正規分布になるという、摂動論による予測を覆すものである。申請者はまた、ハローモデルと呼ばれる現象論的な考え方 (カスプ的密度分布をもつ暗黒物質の塊がある確率分布で散在する) に従うと、対数正規分布が自然に説明できることを示した。

第 4 章では、N 体シミュレーションと SDSS 観測データの両方に対し、2 点統計解析が行われ、それらの 2 体分布関数も対数正規分布で良く表現できることが示された。第 3 章の結果と合わせて、対数正規分布を実現する、未知の理由があることが示唆される。

第5章では、2体相関関数を用いて2点統計解析が続行された。その結果、2桁の距離スケール(0.3~30 Mpc)にわたり、暗黒物質(N体計算の結果)と実在の銀河(SDSS)は良く似た2体相関関数を示し、相関の強さは実在銀河の方が0.8~1.5倍ほど大きいことがわかった。これは銀河形成の「バイアス」が空間スケールにあまり依存せず、かつ比較的弱いことを意味する、新しい知見である。申請者はさらにSDSSデータを様々なサブサンプルに分類して解析した結果、渦巻銀河より楕円銀河が、青い銀河より赤く古い銀河が、また暗い銀河より明るい銀河が、より強い2体相関を示すことを示した。これは過去の研究で指摘されていたことだが、現時点で最大のデータ量を誇るSDSSでそれが確認された点に意義がある。

申請者は第6章では3点統計に挑戦した。焦点は、3体相関関数とその基になる2体相関関数で規格化した $Q$ という量が、ほぼ1に近い定数をとるという「階層仮説」が成り立つか否かである。その結果、第1体と第2体を結ぶ直線上に第3体に来る確率が高いという、フィラメント構造の特徴が得られたが、それを除けば $Q$ はほぼ1に近く、3体の間隔、銀河の明るさ、形態、色などにほとんど依存しないことがわかった。2点相関関数に見られた差が、みごとに消え去っていることになる。一方、他の研究者がN体計算を行った結果によれば、暗黒物質の $Q$ は、3体の間隔などに強く依存する。もし銀河形成のバイアスが線形なら、暗黒物質の $Q$ と銀河の $Q$ は定数倍だけしか違わないはずなので、以上の結果を合わせると、銀河形成のバイアスには、かなりの非線形性があることが示唆される。

第7章では、各章の結果をまとめた簡潔な議論が行われ、第8章で結論が述べられている。以上の成果は、宇宙の構造形成に関し新しい知見をもたらすものであり、今後の理論的発展およびSDSS観測のさらなる推進を促すものである。よって本研究は博士(理学)の学位を授与するに値することを、審査員の全員一致により確認した。本研究の一部は、須藤靖氏、樽家篤史氏、および濱名崇氏との共同研究であるが、その中で申請者は中心的な役割を果たしており、共同研究者からの同意承諾書も完備している。