

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 河野 海

論 文 題 目

A statistical study of galaxy spatial distribution and evolution

(銀河空間分布と銀河進化の統計的研究)

### 論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	竹内 努
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	金田 英宏
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	犬塚 修一郎
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	田村 陽一
委 員	名古屋大学素粒子宇宙起源研究所	准教授	博士(理学)	市來 淨與

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1 - 2

宇宙の誕生以来、初期の密度揺らぎが重力相互作用により成長することで銀河や大規模構造(LSS)などの構造を形成した。また宇宙膨張に伴い物質は冷却する。初期宇宙で通常物質(バリオン)は電離した状態から始まり、トムソン散乱を通じて光子と強く相互作用しているが、冷却によってある時点で光子はバリオンと脱結合する。脱結合前に生じた疎密波をバリオン音響振動(BAO)と呼び、銀河分布にそのパターンが刻まれている。その後、一度中性化したバリオンは最初期に形成した天体によって再び電離された(宇宙再電離期: EoR)。銀河は、星や星間物質、ダークマターからなる宇宙の主要なエネルギー源であるとともに、LSSの基本構成単位である。また銀河中心の超巨大ブラックホール(SMBH)への物質降着をエネルギー源とする活動銀河核(AGN)は、銀河および銀河間物質の進化にも影響を与える。このように、銀河形成・進化モデルの構築には宇宙論・天文学双方からの多角的考察が不可欠である。申請者は位相的データ解析(TDA)による銀河空間分布解析(第一部)及び、EoRから現在に至るまでの銀河光度関数進化モデルの構築(第二部)を行った。

従来、BAOの検出には銀河の2点相関関数やパワースペクトルが用いられてきたが、BAOの相関関数シグナルはLSSの相関の1%程度と微弱であるため、検出には大規模かつ密な銀河探査データが不可欠であった。申請者は、データの幾何学的特徴を抽出する手法であるTDAを用いた新しいBAOシグナル検出と誤差評価法を構築した。TDAではデータが内包する中空の構造の情報を代数的に取り扱い、パーシステントダイアグラム(PD)によって構造の位相情報とスケールを評価する。まずTDAによるBAOシグナル検出の妥当性を検証するため、バリオンを含む場合と含まない場合についてのN体シミュレーションから算出されるPDの比較を行い、バリオンを含むサンプルにのみ有意な3次元の中空構造が含まれていることを示した。これを観測データ(SDSS DR14 eBOSS サーベイ)に対して適用し、BAOスケールに対応する構造が有意(> 99%)に存在することを明らかにした。

第二部では米国の電波干渉計 Karl G. Jansky Very Large Array (VLA)によって得られた COSMOS 領域における 3 GHz 電波源探査を用い、赤方偏移 6 までの光度関数を推定することにより、電波源天体(星形成銀河および AGN)の進化モデルを構築した。3 GHz の電波は、銀河での超新星残骸や AGN によって加速された電子と磁場との相互作用を起源とするシンクロトロン放射が主たる放射源である。更に建設中の超大型センチ波・メートル波電波干渉計 Square Kilometre Array (SKA)で計画されている銀河探査を想定し、銀河計数(見かけの明るさと天球上の面密度の関係)を通じた光度関数進化モデルパラメータ推定への重力レンズ効果による影響を定量評価した。その結果、申請者は SKA 観測で期待される星形成銀河、活動銀河核の計数が十分に得られるよう設計した電波連続波源探査では、光度関数パラメータ制限に有意な影響を与えることを示した。

より早期の宇宙、EoR においては中性化した水素ガスが形成直後の活発な銀河や AGN によって非一様に電離される過程が進む。申請者は AGN 周辺の電離領域の電波輝度分布を輻射輸送計算に基づいてモデル化した。この方法により、SKA による中性水素起源の 21 cm 線観測によって赤方偏移 10-15 における光度関数のパラメータを統計的に制限できることを示した。さらに、本論文では多変数分布関数による電波光度以外の波長情報を統合することで現在から EoR に至るまでの銀河進化を記述する方法を考案した。

これらにより、申請者はバリオン-光子脱結合から再電離期、そして続く銀河進化の時期について、宇宙の進化を推定・記述する統計的方法を体系的に構築した。本論文で示した方法論および結果は過去に例を見ない新しいもので、銀河進化および観測的宇宙論に新たな可能性を拓く研究である。参考論文では多波長銀河探査データから多数の物理量の分布関数を求める統計的手法の開発に本質的に寄与した。以上から、申請者は博士(理学)を授与される十分な資格があると認められる。