

氏名・(本籍)	はやし ひろ ひと 林 寛 人
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	理博第2484号
学位授与年月日	平成21年3月25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	東北大学大学院理学研究科(博士課程)天文学専攻
学位論文題目	Evolution of a Galactic Disk in Hierarchical Merging of Dark Halos (ダークハローの階層的合体過程における銀河円盤の進化)
論文審査委員	(主査) 教授 千葉 征 司 教授 二間瀬 敏 史 准教授 野 口 正 史

論 文 目 次

Abstract	i
Chapter 1 Introduction	1
1.1 Structure Formation in Cold Dark Matter Models	1
1.2 Formation and Evolution of a Disk Galaxy in CDM Models	3
1.3 Outline of This Work	11
Chapter 2 The dynamical effect of subhalos on a galactic disk	12
2.1 Introduction	12
2.2 Models	14
2.2.1 The Galaxy Model	14
2.2.2 Subhalo Models	15
2.2.3 Method for Numerical Simulation	18
2.3 Results	20
2.3.1 Global Properties of the Disk Evolution	22
2.3.2 Disk Thickness vs. Subhalo Masses	23
2.4 Discussion	27
2.4.1 Dependence of the Disk Heating on Subhalo Masses	27
2.4.2 Comparison with an Observed Thin Disk	31
2.4.3 The Relation to the Origin of a Thick Disk	32
2.5 Conclusions	33
Chapter 3 The size evolution of a galactic disk in hierarchical merging of CDM halos	37
3.1 Introduction	37
3.2 Model	39
3.2.1 Merger Trees	40

3.2.2 Halo Density Structure	42
3.2.3 Orbital Evolution of Subhalos	44
3.3 Result	49
3.3.1 Example of the Model	49
3.3.2 The Effect of Subhalos on a Galactic Disk	52
3.4 Summary & Discussion	55
Chapter 4 Conclusion	67
Appendix A NFW profile	70
Appendix B Derivation of equation (2.8)	72
Appendix C Test for merger trees	74
Appendix D The case of “centrally merged” subhalos	77
Acknowledgement	81

論 文 内 容 要 旨

In this thesis, we present a theoretical study of the interaction between a galactic disk and cold dark matter (CDM) substructures, to obtain important insights into both the recently concerned CDM power spectrum at small scales and the evolution of a galactic disk within the context of the CDM scenario. Firstly, we investigate the detailed interaction process between a galactic disk and subhalos based on the N-body simulations. The dynamical effects of subhalos on a disk are represented by the relation between the change of the disk scale height Δz_d (measured at the disk edge $R = 3R_d$) and individual masses of subhalos M_{sub} , i.e., $\Delta z_d/R_d \sim 8 \sum (M_{\text{sub},j}/M_d)^2$, where R_d is a disk scale length, M_d is a disk mass, and this sum is the total number of accretion events of subhalos inside a disk region ($< 3R_d$). Using this relation, we find that if subhalos with the total mass of more than 15% disk mass interact with a disk, then the disk thickness is made larger than the observed range. Stars in a significantly thickened disk by subhalos appear to be well mixed and show a vertical gradient in their rotation velocity, being similar to the observed properties of the thick disk in the Galaxy. Secondly, we study the evolutionary effects of subhalos on the structure of a galactic disk using semi-analytic method that includes approximated and empirical relations as observed in detailed numerical simulations of the CDM model. We determine the upper limit for the size of a galactic disk at redshift z , based on the orbital properties of subhalos characterized by their pericentric distances from a halo center. We find that this size of the galactic disk limited by subhalos shows the characteristic properties, which are in agreement with observed galactic disks at low and high redshifts. Our results suggest that the presence and structure of a galactic disk is dynamically limited by the interaction with dark matter substructures, especially at high z .

論文審査の結果の要旨

本論文は、宇宙の構造形成を説明する標準理論である冷たい暗黒物質（略してCDM）に基づき、円盤銀河がどのような形成過程や力学進化を経て現在観測される構造に至ったのか、また、逆に観測されるような円盤構造を再現するためには、CDMから期待される密度揺らぎはどのような特徴であるか、という銀河天文学における最新の問題を研究したものである。その背景として、CDMに基づく構造形成理論では、1メガパーセックを越えるような大きな空間に渡る構造を自然に説明する一方、銀河やそれよりも小さな空間の構造について理論予言と観測との間の不一致が深刻な問題になっている。特に、理論で予言される数百から千にもものぼる小さな質量のダークハロー（以下、サブハロー）と、観測される数十個程度の小銀河の数との相違という問題は、様々な視点から研究が進められている。

この研究では、多数のサブハローが銀河系ハローに存在した場合に、恒星系である銀河円盤の構造に与える動力的影響を調べ、現在の薄い円盤部の存在を説明できるかどうか、また、サブハローの影響の下で銀河円盤の構造はどのようにして形作られてきたか、詳細な理論計算によって調べたものである。第一部では、与えられた銀河円盤に対して、理論的なモデルに基づくサブハローを分布させ、両者の力学相互作用をN体シミュレーションによって計算を遂行した。その結果、力学的な加熱によって円盤構造の厚みが大きくなるが、それは降着するサブハローの質量の2乗に比例して増加することを初めて理論的に示した。さらに、現在のような薄い円盤構造を維持するためには、銀河円盤の総質量の15パーセントを超えないような質量のサブハロー降着が許されることを示した。第二部では、このようなサブハローの降着や合体過程の時間進化、すなわちサブハローの合体の歴史を構造形成の理論モデルによって追跡し、時刻を遡って円盤銀河の構造がどのような進化を経てきたのか、円盤の大きさはどのように制限されてきたのか理論計算を遂行した。そして、この結果を最新の遠方銀河の観測と比べ、銀河円盤の構造はサブハローによって力学的に制限されて形成・進化していることを初めて示した。

以上の論文の内容は、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、林寛人提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。