

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20740119

研究課題名（和文） 宇宙階層構造の進化史における暗黒エネルギーと有限質量ニュートリノの効果の研究

研究課題名（英文） Exploring effects of dark energy and finite-mass neutrinos on cosmic structure formation

研究代表者 高田 昌広 (TAKADA MASAHIRO)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号：40374889

研究成果の概要（和文）：冷たい暗黒物質および有限質量ニュートリノが混在する宇宙構造形成モデルについて、非線形重力クラスター効果および非線形銀河バイアス効果を考慮した銀河パワースペクトルを計算するための理論モデルを構築した。この理論モデルを SDSS データの銀河パワースペクトルの結果と比較することで、3世代ニュートリノの質量和が  $0.81eV$  (95% C.L.) 以下という上限を導くことに成功した。

研究成果の概要（英文）：We developed a novel method for computing galaxy power spectrum in a mixed dark matter (cold dark matter plus finite-mass neutrinos) model, taking into account effects of nonlinear clustering and nonlinear, scale-dependent galaxy bias. By comparing the model predictions to the SDSS galaxy power spectrum, we succeeded in deriving the upper limit on the sum of three-flavor neutrinos given as  $M_{\nu, \text{tot}} < 0.81eV$  (95. %C.L.).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：宇宙物理（理論）

1. 研究開始当初の背景 暗黒エネルギーおの性質およびニュートリノ質量の解明は、現代宇宙論の最重要課題の一つである。これらをサイエンスの主目的とした大規模銀河サーベイが、世界中で進行中あるいは計画中である。しかしながら、これらの大規模サーベイが達成する統計精度に比べ、宇宙論観測を予言する理論モデルの整備が不十分である。

2. 研究の目的 この背景のもと我々は、有限質量ニュートリノおよび暗黒エネルギーの影響を正しく考慮した宇宙構造形成の理論モデルの構築を試みた。この際、重力の非線形効果、銀河バイアスの効果も考慮する必要がある。また、その理論モデルと実際の宇宙論データを比較することにより、ニュートリノの質量に制限を与えることを目的とした。

### 3. 研究の方法

- (1) 有限質量ニュートリノと暗黒エネルギーの効果を取り入れた構造形成モデルの構築の研究では、摂動論的アプローチを用いる。この際、冷たい暗黒物質（およびバリオン）の密度揺らぎ、非線形銀河バイアスの影響を同じオーダーの摂動量まで取り入れることで、無矛盾な理論モデルを構築することが重要になる。より正確には、冷たい暗黒物質と有限質量が混在する宇宙モデルにおける銀河パワースペクトルを計算する方法を摂動論に基づき開発する。また、N体シミュレーション（有限質量ニュートリノなし）を用い、開発した方法の精度をテストする。
- (2) 開発した理論モデルを実際の観測データに適用し、ニュートリノの質量の制限を導出する。
- (3) 計画されている銀河サーベイで期待されるニュートリノ質量および暗黒エネルギーの制限の精度を評価する。この際、重力の非線形進化、非線形銀河バイアスを無視した場合に、推定する宇宙論パラメータの決定に対してどのようなバイアス（系統誤差）が生じ得るか詳細に調べる。

### 4. 研究成果

- (1) 有限質量ニュートリノと冷たい暗黒物質が混合する宇宙モデルにおける構造形成過程を記述する解析モデルを調べた。有限質量ニュートリノは熱いつまり大きい熱的速度分散を持つため、小スケールでは冷たい暗黒物質が作る重力ポテンシャルに捕獲されない。結果として、有限質量ニュートリノの存在は、構造形成過程において冷たい暗黒物質の集積クラスター強度を抑制する効果として現れる。そこで、我々は宇宙構造形成論の摂動論的手法を用い、このニュートリノ+冷たい暗黒物質混合宇宙モデルにおける、構造形成の弱非線形段階まで適用可能な銀河パワースペクトルを計算する方法を開発することに成功した。このモデルでは、無矛盾に有限質量ニュートリノの効果、暗黒エネルギーの影響、非線形重力進化、非線形銀河バイアスの効果を考慮することに成功した。結果として、有限質量ニュートリノ

による冷たい暗黒物質あるいは銀河の集積クラスター強度の抑制効果は、弱非線形段階で増幅されることを発見した。この結果に基づき、本理論モデルと観測データを比較することで、ニュートリノの質量をより厳しく制限できる可能性があることを指摘した。

- (2) 開発した理論モデルとSDSSで測定された銀河パワースペクトルを比較した。まず、上述の理論モデルにおいて、非線形バイアスパラメータを正しく考慮することで、SDSS銀河パワースペクトルを良く再現する理論モデルが存在することが分かった。本モデルに用いられているモデルパラメータは全て構造形成摂動論が预言するパラメータであり、先行研究に比べ、より物理的モデルと言える。さらに3世代ニュートリノ質量和をパラメータに考慮し、その理論モデルとSDSS銀河パワースペクトルを比較した。結果として、3世代ニュートリノ質量和が0.81eV(95% C.L.)以下という上限値を得ることに成功した。この制限には、上述したように重力の非線形効果、非線形銀河バイアスの効果の不定性を正しく考慮しているため、先行研究と比較してより信頼性の高い、正確な下限値になっていると言える。(図1参照)

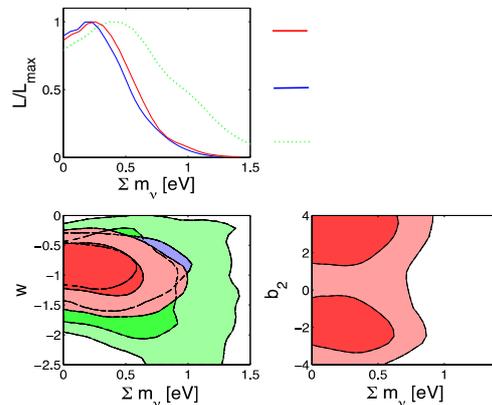


図1 SDSS データから得られたニュートリノ質量和の制限

- (3) 計画されている銀河サーベイ（例えばすばる望遠鏡による銀河サーベイ）を想定し、ニュートリノ質量および暗黒エネルギーの性質の決定精度を評価した。これらの将来計画で

は、ニュートリノ質量については0.1eV レベルの決定精度が達成可能であることを見つけた。また、パラメータ推定の際には、重力の非線形効果、非線形銀河バイアスの効果を正しく考慮する必要があることを明確に指摘した。例えば、これらの効果を見逃すと、間違っ暗黒エネルギーが宇宙項からずれているという結果を統計的に有意に導出することがあり得ることを指摘した(図2参照)。

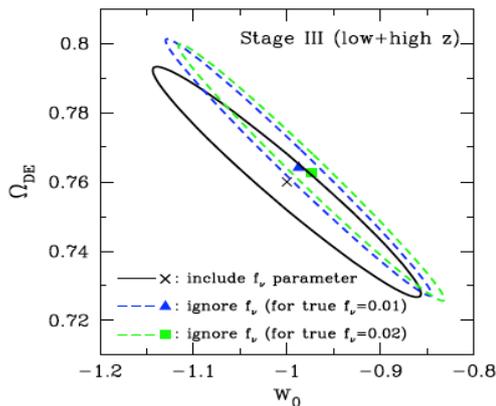


図2 ニュートリノの効果を見逃した場合に引き起こされる暗黒エネルギーパラメータの系統誤差。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

- ① Masamune Oguri, Masahiro Takada, “Combining cluster observables and stacked weak lensing to probe dark energy: Self-calibration of systematic uncertainties”, PRD, 83, 023008 (2011) 査読有
- ② H.-J. Seo, M. Sato, S. Dodelson, B. Jain, M. Takada, “Re-capturing cosmic information”, ApJ Letters, 729, 11 (2011) 査読有
- ③ Chiaki Hikage, Masahiro Takada, Takashi Hamana, David N. Spergel, “Shear power spectrum reconstruction using pseudo-spectrum method”, MNRAS, 412, 65 (2011) 査読有
- ④ S. Saito, M. Takada, A. Taruya, “Neutrino mass constraint with SDSS LRG power spectrum and perturbation theory”, PRD, 83, 043529 (2011) 査読有
- ⑤ R. Takahashi, N. Yoshida, M. Takada, et al., “Non-Gaussian Error Contribution to Likelihood Analysis of the Matter Power Spectrum”, ApJ, 726, 7 (2011) 査読有
- ⑥ Jacek Guzik, Bhuvnesh Jain, Masahiro Takada, “Tests of Gravity from Imaging and Spectroscopic Surveys”, PRD, 81, 023503 (2010) 査読有
- ⑦ N. Okabe, M. Takada, K. Umetsu, T. Futamase, G. P. Smith, “LoCuSS: Subaru Weak Lensing Study of 30 Galaxy Clusters”, PASJ, 62, 811 (2010) 査読有
- ⑧ S. Saito, M. Takada, A. Taruya, “Nonlinear power spectrum in the presence of massive neutrinos: perturbation theory approach, galaxy bias and parameter forecasts”, PRD, 80, 083528 (2009) 査読有
- ⑨ M. Sato, T. Hamana, R. Takahashi, M. Takada, et al., “Simulations of Wide-Field Weak Lensing Surveys. I. Basic Statistics and Non-Gaussian Effects”, ApJ, 701, 945 (2009) 査読有
- ⑩ K. Ichiki, M. Takada, T. T. Takahashi, “Constraints on Neutrino Masses from Weak Lensing”, PRD, 79, 023520 (2009) 査読有
- ⑪ M. Takada, B. Jain, “The Impact of Non-Gaussian Errors on Weak Lensing Surveys”, MNRAS, 395, 2065 (2009) 査読有
- ⑫ R. Takahashi, N. Yoshida, M. Takada, et al., “Simulations of Baryon Acoustic Oscillations. II. Covariance Matrix of the Matter Power Spectrum”, ApJ, 700, 479 (2009) 査読有
- ⑬ S. Saito, M. Takada, A. Taruya, “Impact of massive neutrinos on nonlinear matter power spectrum”, PRL, 100, 191301 (2008)

[学会発表] (計4件)

- ① M. Takada, “Neutrino masses and cosmic simulations”, Workshop: The Future of Neutrino Mass Measurements: Terrestrial, Astrophysical, and Cosmological Measurements in the Next Decade, Feb 8 -11, Institute for Nuclear Theory, U. Washington, USA
- ② M. Takada, “The impact of finite-mass neutrinos on nonlinear matter power spectrum”, Conference: Cosmology and Structure Formation, Oct 26- 28 2008, Seoul, Korea
- ③ M. Takada, “Neutrino Mass and Cosmology”, Summer School and Conference: Cosmology with CMB and LSS, July 21- Aug 31 2008, Pune, India

[図書] (計1件)

東京大学数物連携宇宙研究機構監修 (村山斉、高田昌広他)、学研教育出版、宇宙のしくみ—わかったことわからないこと最新宇宙論 IPMU の6人の頭脳がわかりやすく解説、2010年7月

[その他]

ホームページ等

<http://www.astr.tohoku.ac.jp/~takada/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

高田 昌広 (TAKADA MASAHIRO)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任准教授

研究者番号：40374889

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

