

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25887012

研究課題名(和文) BOSS銀河の赤方偏移歪みから探る重力理論の検証とダークマターハローと銀河の関係

研究課題名(英文) Constraining general relativity and the galaxy-halo connection by the redshift-space distortion in the BOSS galaxy

研究代表者

齋藤 俊 (SAITO, SHUN)

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：10704215

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Sloan Digital Sky Survey第III期(SDSS-III, 2009-2014)におけるBaryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS)で観測された史上最大規模の銀河カタログの、3次元クラスタリング分布における大小スケールの赤方偏移歪みという効果を用いて、一般相対性理論の検証を行った。宇宙論的スケールで一般相対性理論が破れる証拠は見つからなかった他、ニュートリノ質量の厳しい制限を得た。また理論的に予言されるダークマターハロー分布の理論予言法や、ダークマターハローとBOSS銀河を結びつける新しい方法論を発展させた。

研究成果の概要(英文)：We constrained general relativity at cosmological scales by making use of the redshift-space distortion over a wide range of scales in the three-dimensional clustering of galaxies observed in Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) in Sloan Digital Sky Survey III (SDSS-III, 2009-2014). We find no evidence of violation in general relativity and also derive a stringent constraint on neutrino masses. Through the research, we develop a way to predict the distribution of dark matter halos, and also develop a novel way to connect simulated dark matter halos with the observed BOSS galaxies.

研究分野：観測的宇宙論

キーワード：宇宙大規模構造 宇宙論 銀河サーベイ 赤方偏移歪み

### 1. 研究開始当初の背景

Sloan Digital Sky Survey III (SDSS-III, 2009-2014) における Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) は、約百万個の銀河を分光観測し、史上最大規模の 3 次元銀河地図を提供している。BOSS の中でも、メインのサンプルである CMASS 銀河カタログの 3 次元クラスタリング分布を用いて、バリオン音響振動スケール、赤方偏移歪みを測定することによって、これまでにないほど精密に加速度宇宙膨張史の詳細を調べたり、一般相対性理論の検証を行うことができると期待されていた。

### 2. 研究の目的

SDSS-III BOSS CMASS 銀河サンプルにおける赤方偏移歪みという効果を用いて、一般相対性理論の検証を行う。従来行われてきた大スケール (~10-100Mpc) の赤方偏移歪みシグナルだけでなく、比較的小スケール (~0.1-1Mpc) の赤方偏移歪みの情報を用いて、ダークマターハローと CMASS 銀河との関係を明らかにする。

### 3. 研究の方法

BOSS CMASS 銀河の 3 次元クラスタリング分布から、バリオン振動スケールの測定、赤方偏移歪みをロバストに測定する方法論を確立し、擬似銀河カタログによってその正当性を検討する。

また、より現実的な擬似銀河カタログを得るため、小スケールの 3 次元クラスタリング分布を用いて N 体計算で得られたダークマターハローと観測された CMASS 銀河の関係の詳細を明らかにする方法論を確立する。

### 4. 研究成果

最新(Data Release 10, 11) の BOSS CMASS サンプルの銀河クラスタリングを用いて、約 1% のバリオン振動スケールの測定 [論文 ]、約 10% の赤方偏移歪みシグナルの測定に成功した [論文 ]。特に本研究の貢献として挙げられるのは、フーリエ空間でクラスタリング分布の非等方成分において、複雑なサーベイの形状を評価する方法論を確立した [論文 ] こと、大スケールのダークマターハローを理論的に予言する上で非局所バイアスの効果の重要性を発見したこと [論文 ] である。これらの結果から、宇宙定数からのずれや、一般相対性理論を破るような優位な証拠は見つかっていないが、 $\sim 0.35eV \pm 0.1eV$  ほどの有質量ニュートリノがあれば赤方偏移歪みシグナルを説明できることを示した [論文 ]。

また銀河・ハロー関係については、当初予定していた方法論の見直しに迫られたものの、CMASS 銀河の選択条件を考慮に入れた上で、銀河の星質量関数とクラスタリングを同時に説明する方法論を、Subhalo Abundance and Age Matching 法に基づいて

確立しつつある [発表 - ]。

### 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 8 件)

Gong-Bo Zhao, Shun Saito (2 番目) et al. (計 18 名),

“The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: weighing the neutrino mass using the galaxy power spectrum of the CMASS sample”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 436, Issue 3, p.2038-2053, 2013, 査読有

Francisco Villaescusa-Navarro, Shun Saito (7 番目) et al. (計 7 名),

“Cosmology with massive neutrinos I: towards a realistic modeling of the relation between matter, haloes and galaxies”, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics, Issue 03, article id. 011, 2014, 査読有

Akira Oka, Shun Saito, Takahiro Nishimichi, Atsushi Taruya, Kazuhiro Yamamoto,

“Simultaneous constraints on the growth of structure and cosmic expansion from the multipole power spectra of the SDSS DR7 LRG sample”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 439, Issue 3. pp 2515, 2014, 査読有

Will Percival, Shun Saito (18 番目) et al. (計 22 名),

“The Clustering of Galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Including covariance matrix errors”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 439, Issue 3, p.2531, 2014, 査読有

Lauren Anderson, Shun Saito (アルファベット順) et al. (計 65 名),

“The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Baryon Acoustic Oscillations in the Data Release 10 and 11 galaxy samples”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 441, Issue 1, p.24, 2014, 査読有

Florian Beutler, Shun Saito (2 番目) et al. (計 18 名),

“The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey: Testing gravity with

redshift-space distortions using the power spectrum multipoles”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 443, Issue 2, pp. 1065, 2014, 査読有

Florian Beutler, Shun Saito (2 番目) et al. (計 15 名),

“The clustering of galaxies in the SDSS-III Baryon Oscillation Spectroscopic Survey:

Signs of neutrino mass in current cosmological datasets”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 444, Issue 4, pp. 3501, 2014, 査読有

Shun Saito, Tobias Baldauf, Zvonimir Vlah, Uros Seljak, Teppei Okumura, Patrick McDonald,

“Understanding higher-order nonlocal halo bias at large scales by combining the power spectrum with the bispectrum”, Physical Review D, vol. 90, id. 123522, 2014, 査読有

[学会発表](計 17 件)

齋藤 俊,

“非線形重力進化による非局所ハローバイアス”, 日本天文学会秋季年会, 2013 年 9 月 10 日, 東北大学

Shun Saito,

“Modeling and Measuring The Large-Scale Galaxy Clustering in Redshift Space”, Cosmology Seminar, 2013 年 10 月 4 日, Osservatorio Astronomico di Trieste, Italy

Shun Saito,

“Beyond Baryon Acoustic Oscillation in the BOSS CMASS galaxy clustering”, PASCOS 2013, 2013 年 11 月 25 日, National Taiwan University, Taiwan

齋藤 俊,

“Galaxy Power Spectrum in the BOSS CMASS catalog”, 第 2 回観測的宇宙論ワークショップ, 2013 年 12 月 5 日, 国立天文台

Shun Saito,

“Precise measurement of cosmic expansion history and growth of the large-scale structure from the update BOSS CMASS galaxy clustering”, YITP Seminar (招待講演), 2013 年 12 月 17 日, 京都大学

齋藤 俊,

“Precise measurement of cosmic expansion history and growth of the large-scale structure from the update BOSS CMASS galaxy clustering”, 宇宙論セミナー (招

待講演), 2013 年 12 月 19 日, 名古屋大学

齋藤 俊,

“Cosmological Constraint on neutrino properties”, 第 27 回宇宙ニュートリノ研究会(招待講演), 2014 年 1 月 20 日, 東京大学宇宙線研究所

Shun Saito,

“Implication of the latest BOSS RSD results and discrepancy with Planck”, Mini-Workshop on cosmology with redshift-space galaxy clustering, 2014 年 2 月 25 日, 京都大学

Shun Saito,

“Nonlocal Halo Bias”, IPMU Lunch Seminar, 2014 年 5 月 13 日, Kavli IPMU

Shun Saito,

“Neutrino mass constraint from robust cosmological signals in the BOSS DR11 galaxy clustering”, 2014 年 5 月 20 日, KEK theory group seminar (招待講演), KEK Theory Center

齋藤 俊,

“Implication of evolution of massive galaxies from the small-scale galaxy clustering in the BOSS CMASS sample”, 第一回銀河進化研究会, 2014 年 6 月 6 日, 国立天文台

齋藤 俊,

“Towards an accurate modeling of halo/galaxy clustering at quasi-linear regime”, Astrophysics & Cosmology Group Seminar (招待講演), 2014 年 6 月 16 日, 早稲田大学

齋藤 俊,

“Towards a robust constraint on neutrino masses from galaxy clustering”, Cosmology Colloquium (招待講演), 2014 年 7 月 4 日, 東京大学宇宙線研究所

齋藤 俊,

“Galaxy Clustering in the Baryon Oscillation Spectroscopic Survey”, 第三回観測的宇宙論ワークショップ(招待講演), 2014 年 11 月 26 日, 名古屋大学

Shun Saito,

“CMASS-Halo connection”, BOSS Lunch Seminar, 2015 年 2 月 7 日, Lawrence Berkeley National Laboratory, USA

Shun Saito,

“Subhalo abundance matching to model the relation between the BOSS CMASS galaxies

& dark matter halos”, Closing in a Cosmological Model, 2015年3月10日, Aspen Center for Physics, USA

齋藤 俊,

“ Subhalo abundance and age matching to model galaxy-dark matter halo connection of the BOSS CMASS sample ”, 日本天文学会春季年会, 2015年3月19日, 大阪大学

〔その他〕

プレスリリース

60億光年彼方まで、1%の精度で距離を測定 <http://www.ipmu.jp/ja/node/1803>

暗黒物質による宇宙大規模構造の複雑に絡み合う重力進化

<http://www.ipmu.jp/ja/node/2080>

スローン・デジタル・スカイ・サーベイが最新観測データ DR12 を一般に公開

<http://www.ipmu.jp/node/2092>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

齋藤 俊 (SAITO SHUN)

東京大学・国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構・特任研究員  
研究者番号：25887012

### (2) 研究分担者

該当無し

### (3) 連携研究者

該当無し