

## 様式 C-19

# 科学研究費補助金研究成果報告書

平成21年 4月30日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18540277

研究課題名（和文） 次世代大規模銀河赤方偏移探査による暗黒エネルギー検証に向けた理論的研究

研究課題名（英文） Study on future galaxy redshift survey for testing dark energy

研究代表者

山本 一博（YAMAMOTO KAZUHIRO）

広島大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50284154

研究成果の概要：本研究では、SDSS 銀河サンプルのパワースペクトル解析を実行しながら、現在の観測データ、及び将来の WFMOS サーベイを想定した大規模赤方偏移探査によって、拡張重力モデルのテストが可能になることを示した。また、バリオン音響振動に対する精密な理論予言のために、摂動理論の高次項を計算することによって、密度揺らぎの準非線形効果による影響を明らかにした。特に、バリオン音響振動の減衰について準解析的な表式を導出し、SDSS・LRG サンプルのバリオン音響振動に減衰が見いだされることを示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,300,000	0	2,300,000
2007年度	600,000	180,000	780,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	330,000	3,730,000

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：ダークエネルギー・重力理論・大規模銀河サーベイ・フーリエ解析

1. 研究開始当初の背景  
宇宙の加速的膨張が発見され、その起源の解

明に向けた取り組みが議論されていた。その観測的手段の一つとして KAOS/WFMOS プロジ

エクトが検討されていた。これは大規模な銀河の赤方偏移サーベイを主目的とするもので、得られた銀河の空間分布を用いて宇宙の膨張史を制限してダークエネルギー成分の起源に迫ろうというものである。

この方法では、銀河分布の統計解析を行うことでバリオン音響振動とよばれる特徴的スケールを取り出し、それを理論予言と比較することが重要な要素である。この方法の有効性を議論することが必要であり、また重力拡張模型を含めた加速膨張を説明可能な理論予言の精密化の議論が重要と考えられていた。

またスローン・デジタル・スカイ・サーベイ (SDSS) による銀河サーベイのデータが部分的に公開され初め、それを用いた解析が可能になっていた。KAOS/WFMOS プロジェクトは SDSS の発展と考えることができる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、将来の WFMOS サーベイを想定した大規模銀河探査による加速膨張宇宙の検証に向けた理論的研究である。特に、赤方偏移サーベイによるバリオン音響振動を用いた方法の有効性を検証すること、またそのために必要な技術の構築が目的である。具体的には、次の3つを研究の目的とした。

- (1) 天体の3次元分布のパワースペクトル解析を行い、バリオン音響振動を高速かつ効率良く取り出す方法を構築する。
- (2) 重力拡張模型を含めた模型の理論予言の精密化をして、将来のサーベイで模型の取舍選択を可能にする。
- (3) SDSS 銀河データを用いてバリオン音響振動の取り出しと暗黒エネルギーの検証を試す。

## 3. 研究の方法

SDSS・LRG (銀河) サンプルを用いて実際にフーリエデータ解析を実行し、銀河分布のパワースペクトルを行う。このフーリエ解析では、Fast Fourier Transformation(FFT) を用いる方法と FFT を用いない方法とを併用して比較・チェックをしながら進める。特に、パワースペクトルの誤差評価に注意を払いながら解析を進める。

一方で重力拡張模型を含めた模型のパワースペクトルの理論予言を精密化する。特に、非線形効果と赤方偏移歪みのパワースペクトルに対する影響を調べ、観測と比較する際の理論テンプレートの予言精度を上げる。また、拡張重力模型における特徴を明らかにして、有効な検証方法の開発と将来のサーベイでの示唆を検討する。

SDSS・LRG サンプルのパワースペクトルから得られる情報を整理してどのような宇宙論的制限が得られるか、また将来のサーベ

イでその制限がどの程度可能になるかを調べる。さらに、バリオン音響振動をパワースペクトルから取り出す方法について検討し、SDSS 銀河のパワースペクトルに応用して理論模型の予言と比較する。

## 4. 研究成果

ブレン・ワールド・シナリオに基づいた拡張重力模型である DGP 模型について、密度揺らぎ進化と距離・赤方偏移関係をもとに予言される銀河分布のパワースペクトルを調べた。これと SDSS・LRG (銀河) サンプルのパワースペクトルと比較することで観測とこの理論模型との整合性を調べた。その結果、DGP 模型では、宇宙項模型と比較すると大きな密度パラメーターが必要になることが分かった。この方法が将来の WFMOS による銀河サーベイではより強い制限を与えることができ、このプロジェクトが重力模型のテストにも役立つことを示した[発表論文1]。

また、重力拡張模型では密度揺らぎの成長がダークエネルギー模型との区別において独立した情報として重要である。WFMOS サーベイに関連して、すばる望遠鏡を用いて進められている Hyper Suprime-Cam(HSC)を用いた弱い重力レンズサーベイから得られる拡張重力模型の制限を調べ、WFMOS による赤方偏移サーベイとの組み合わせが、重力理論の検証に重要であることを示した。さらに、重力理論の検証のために最適なサーベイのパラメーター(サーベイ面積、パスバンド・フィルターの数)の評価を行った[発表論文2]。

バリオン音響振動に関する精密な理論予言のため、密度揺らぎの摂動理論の高次項を取り入れた準非線形理論の研究を行った。密度ゆらぎの摂動の3次までを考慮したパワースペクトルを計算して、バリオン音響振動のピークの位置が密度ゆらぎの非線形効果によってどのように影響されるかを調べた。ピークの位置はバリオン振動の取り出し方に大きく依存することを見いだした。このピークの位置のズレがダークエネルギーの制限に与える影響まで議論した[発表論文3]。

この研究の応用として、密度揺らぎの非線形効果が引き起こすバリオン音響振動の減衰について調べた。密度揺らぎの摂動の高次項を考慮した定式化を準解析的に取り扱うことで、バリオン音響振動の減衰を表す準解析的な表式を導出した。これによって密度揺らぎ進化のプロセスで、減衰がどのように進むのかを明らかにした。またN体シミュレーションの結果と比較して、その表式の妥当性を示した。バリオン音響振動の減衰を測定することで密度揺らぎの振幅の制限ができる可能性を指摘して、将来のサーベイで得られ

る制限についても評価した[発表論文5]。

さらに、SDSS・LRG サンプルのパワースペクトルから取り出されたバリオン音響振動に減衰がみられるかどうかを調べた。上記の研究で得られた理論テンプレートを用いて、カイ2乗検定により減衰があるほうがよりよく観測とフィットすることを示した[発表論文6]。

SDSS・LRGサンプルを用いたパワースペクトル解析では、4重極パワースペクトルを同時に測定した。単極子パワースペクトルと4重極パワースペクトルを組み合わせることで、赤方偏移歪みの定量的測定を行った。この結果、密度揺らぎの線形進化を表す $\gamma$ パラメータを20%程度の統計誤差で測定することができた。このパラメータは宇宙論スケールの重力理論の検証において重要な役割を果たす量で、一般相対性理論と整合性のある測定結果であった。この方法を用いてこれまでに拡張重力理論として提案されているDGP重力模型が観測的な制限を受けることを示した。この成果は、銀河分布の赤方偏移歪みを測定することで、重力理論の検証が可能であることを新しく実証するもので、今後の大規模赤方偏移サーベイに対する重要な示唆を与える結果となった[発表論文4]。

#### 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 6件)

1. H.Nomura, K. Yamamoto, G. Huetsi, T. Nishimichi,  
Confronting the damping of the baryon acoustic oscillations with observations,  
Physical Review D 査読有 Vol.79 (2009) 063512 1-7
2. H.Nomura, K. Yamamoto, T. Nishimichi,  
Damping of the baryon acoustic oscillations in the matter power spectrum as a probe of the growth factor,  
Journal of Cosmology and

Astroparticle Physics 査読有

Vol.10 (2008) 031

3. K. Yamamoto, T. Sato, G. Huetsi,  
Testing general relativity with the multipole spectra of the SDSS luminous red galaxies,  
Progress of Theoretical Physics 査読有 Vol.120 (2008) 609-614
4. T.Nishimichi, H. Ohmuro, M.Nakamichi, A.Taruya, K.Yahata, A. Shirata, S.Saito, H.Nomura, K.Yamamoto, Y.Suto,  
Characteristic Scales of Baryon Acoustic Oscillations from Perturbation Theory:Non-linearity and Redshift-Space Distortion Effects,  
Publication of Astronomical Society of Japan 査読有 Vol.59 (2007) 1049-1060
5. K. Yamamoto, D. Parkinson, T. Hamana, R. C. Nichol, Y. Suto,  
Optimizing future imaging survey of galaxies to confront dark energy and modified gravity models,  
Physical Review D 査読有 Vol.76, (2007) 023504 1-10
6. K. Yamamoto, B. A. Bassett, R. C. Nichol, Y. Suto, K. Yahata,  
Searching for modified gravity with baryon oscillations: from SDSS to wide field multiobject spectroscopy (WFMOS),  
Physical Review D 査読有 Vol.74, (2006) 063525 1-11

[学会発表] (計 10件)

1. 山本一博, 観測的宇宙論, 第2回「超弦理論と宇宙研究会」  
2009年2月19日, 城之崎
2. 山本一博, Testing gravity on the cosmological scales, すばるユーザーミーティング, 2009年1月14日, 三鷹市国立天文台
3. 山本一博, Testing gravity with large galaxy redshift surveys, Cosmology Near and Far: Science with WFM0, 2008年5月21日 Nona, Hawaii, USA
4. 山本一博, Testing general relativity on the cosmological scales using dark energy surveys, Workshop of Theoretical Physics 2008, 2008年5月14日, Bogor Agriculture University, Indonesia
5. 山本一博, 大規模構造を用いた重力モデルのテスト, HSC 研究会, 2008年3月6日, アクアヴィラ伊勢志摩
6. 山本一博, Observational tests of modified gravity models with future imaging survey of galaxies, Decrypting the universe, Large surveys for cosmology, 2007年10月25日, Edinburgh, Scotland, UK
7. 山本一博, Optimizing Weak Lensing Surveys for Dark Energy and Modified Gravity Models, Cosmology with Wide-field Imaging Surveys of Galaxies, 2007年6月7日 東京大学小柴ホール
8. 山本一博, HSC/WFMOS サーベイパラメータの最適化, Hyper Suprime-Cam

をめぐるサイエンス検討会,  
2007年3月13日, 仙台市青葉区作並岩松旅館

9. 山本一博, Testing modified Gravity with large scale structures, Cosmology with wide-field photometric and spectroscopic galaxy surveys, 2006年11月10日, 東京大学小柴ホール
10. 山本一博, 大規模構造を用いた加速宇宙モデルのテスト, 第5回「宇宙における時空・物質・構造の進化」研究会, 2006年9月4日, 鬼怒川コンベンションホール

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

山本 一博 (YAMAMOTO KAZUHIRO)

広島大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 50284154

##### (2) 研究分担者

##### (3) 連携研究者