

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22740149

研究課題名（和文） すばる H S C 銀河サーベイおよび S D S S - III による原始非ガウシアン性の探求

研究課題名（英文） Probing primordial non-Gaussianity with Hyper Supreme-Cam survey and SDSS-III

研究代表者

林 梓仁（LAM Tsz Yan）

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：90572892

研究成果の概要（和文）：

昨年度はまず、原始非ガウス性の新しいテストの開発を試みた。その際には特異速度を用いた方法を模索したが、既存の方法ほど有効ではなかったことが判明した。

そこで、大規模構造中の修正重力の痕跡を集中的に調査した。その結果として、大質量天体の数とそのクラスタリングに加え、速度から推定した質量と弱重力レンズから測定した質量の違いが新たな強力な手段になることを示した。

研究成果の概要（英文）：

The primary goal of my research in FY2011 includes the development of new methods to test primordial non-Gaussianity to complement existing probes. The areas I looked at are related to the peculiar velocity. After some investigations I found that the modifications in velocity probes are not as strong as the previous discovered probes. I then focused my research and resource on the signature of modified gravity on large-scale structure and found that modified gravity models can be constrained by both the abundance and clustering of massive objects as well as the difference in the dynamical mass compared to the weak lensing mass.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

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：宇宙物理（理論）

## 1. 研究開始当初の背景

原始非ガウス性はインフレーションの物理を探る手段の一つであり、大規模構造（単独、または、宇宙マイクロ派背景放射との組み合わせによる）からこれを制限する方法論が数多く提案されてきた。これまでのほとんどの研究は、密度揺らぎに現れる違いを用いたものであった。そこで、これらの研究と相補的な非ガウス性に対する制限を得るため、本研究では特異速度を用いる可能性について模索しようと考えた。

## 2. 研究の目的

本研究の主な目的は大規模構造を用いた新たな原始非ガウス性の調査法について探求することである。私はこれまでの研究で見過ごされてきた、特異速度の変化に注目した。

## 3. 研究の方法

私は原始非ガウス性による特異速度の変更について次の二つの方法を用いてアプローチした。まず、線形理論を用いてこの影響を計算し、これを非線形に現在まで発展させる解析的な方法を開発した。一方で、IPMUの研究員らと共同研究を行い、同じ効果を数値的に計算することで、前述の解析的方法と相互比較を行った。この結果、私の解析的計算は正しく暗黒物質の相対速度分布再現することが可能であり、またこの効果は約10%程度であることが分かった。

次に、この研究をバイアスされた天体へ拡張するとともに、赤方偏歪みについての調査を試みた。まず、数値シミュレーションからこの影響の測定を行った。その結果、原始非ガウス性に由来する変化は高々1、2パーセント程度に留まった。この変化が小さいことから、特異速度を用いた方法はこれまで提案されてきた大規模構造中のその他の原始非ガウス性のプローブには及ばないと結論した。

そこで、もう一つの非標準的な宇宙モデルである、修正重力モデルにおいて大規模構造に現れる兆候を探る研究に移行した。一般相対性理論を超えた修正重力理論の可能性は長くに渡り議論されており、特に、平坦な銀河の回転曲線を説明する際に暗黒物質を導入する通常の解釈の代替案として注目されてきた。近年では、さらに宇宙の加速膨張を説明する可能性という観点から再び脚光を浴びるよ

うになった。複数の異なる観測結果が支持するこの宇宙の加速膨張は、一般相対性理論の枠内では、宇宙定数あるいはより一般の暗黒エネルギーを加えなければならない。ところが、この新たに加えた要素の大きさは理論的に期待される値よりも約120桁小さいという点で、物理的な根拠に乏しい。宇宙論的な距離で重力法則を変更することで物理に基づいた重力モデルを構築し、宇宙定数や暗黒エネルギーを導入することなく、宇宙の加速膨張を説明することが期待されている。

しかしながら、一般相対性理論は太陽系や地上の実験から非常に良くテストされているため、重力法則を修正した場合も引き続きこれらの厳しい制限をクリアしなければならない。一つの可能性としては、高密度な環境において一般相対性理論を回復する何らかの機構を導入することで、これらの実験結果を再現する方法が挙げられる。このような機構を備えた二つの例として、カメレオン機構を備えた $f(R)$ モデルと、Vainshtein機構を持ったDGPモデルがある。これらのモデルは一般相対性理論に暗黒エネルギーを加えた場合に実現される観測とよく合う宇宙膨張則を再現するように構築することができる。この結果、一般相対性理論との違いを見極めるには膨張速度の変化に加えて構造形成の非線形進化をテストすることが必要となる。これらが私が大規模構造を用いて研究する課題である。ここでは、大質量ハローの発生頻度それらのクラスタリング、及び、速度構造を手がかりに推定した質量と、重力レンズ効果から測定した質量の違いの二つの異なるプローブについて調査を行った。

ハローの形成頻度とクラスタリングについての研究では、私は球対称崩壊モデルに基づいたエクスカージョン・セット法の応用を行った。一般相対性理論の枠内では、この方法ではハロー形成のための条件として定数の臨界密度を预言する。修正重力モデルの場合はこの形成条件が変更を受ける。この場合、距離や周囲の環境に対して依存性を持つようになる（図参照）。これまで、ラグランジアン空間で定義された環境を用いて修正重力モデルにおけるハロー質量関数が研究されてきた。この方法では、ハローの質量に上限が課されてしまう上、真の周囲の環境をよく反映していない。そこで、本研究では考えている領域の周りの環境として、オイラリアン空間で定義された環境を採用した。エクスカージョン・セット法においては、これは二つのバリア密度の第一横断確率の計算に帰着する。第一に、環境を規定するバリア、そして第二には、この環境バリアによって変化する

るハロー形成の球対称崩壊バリアである。私は数値積分とモンテカルロシミュレーションを用いてハローの質量関数がどのように変更されるか研究した。

関連する研究として、モンテカルロシミュレーションにおけるステップ同士の非自明な相関を取り入れた計算を行った。修正重力模型においてはハロー形成のバリアは環境の密度揺らぎに依存するため、相関を持ったステップへの拡張は環境とハロー形成バリアの横断するスケールの間にも更なる相関を生むことが起こり得る。私はモンテカルロシミュレーションを用いて、第一横断確率が相関を持ったステップの影響でどのように変化するか調査した。私は、条件付きハロー質量関数とハローバイアスへの拡張も行った。

銀河の速度構造から推定した質量と、重力レンズ効果により測定した質量の違いを用いることで、一般相対性理論の一般的なテストが可能になる。一般相対性理論は、これらの質量が一致する特殊なケースである。このような比較には測光サーベイに加えて、同じ領域を掃く分光サーベイが必要となる。提案されているすばる望遠鏡のSuMIRe計画はまさにこの条件を満たしている。この研究では、西道氏によって行われた一般相対性理論の元での数値シミュレーションから同定した大質量のハローの周りの視線方向の速度分散を測定することで、私は銀河団スケールでの測定によりどの程度強く重力法則への制限が可能かを示した。

この測定を複数の異なるシミュレーションを用いて行うことで、赤方偏移 0.3 での 2000 平方度のサーベイから得られる統計誤差を推定した。一般相対性理論の元での測定の後、次は Schmidt 氏による修正重力模型の基づくシミュレーションから同様の測定を行い、一般相対性理論との比較を行った。我々は、このような測定をすることで修正重力への制限をこれまでより一桁ほど改善できることを発見した。このテストは重力レンズから測定した質量の不定性にも強い。また、我々は観測結果をバイアスし得るハッブル膨張から来る寄与を取り扱う方法を開発した。

#### 4. 研究成果

原始非ガウス性に関する研究については、私は相対速度の分布関数を解析的に記述する方法を開発した。この方法は原始非ガウス性に由来する相対速度の変化を正しく予言し、また、これ以外の宇宙模型にも適用可能である。現在、大質量ハローの相対速度を計算す

るようにこの方法の拡張を試みており、赤方偏移歪みへの応用を検討している。この解析的計算の方法と暗黒物質の相対速度分布の変化についてをまとめた論文は Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 誌に掲載され、出版された。

修正重力理論の大規模構造中の痕跡についての三本の論文は査読付き論文誌に投稿済みであり、現在査読中である。

#### 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 4 件)

- ① A. Paranjape, T. Y. Lam, and R. K. Sheth, "A hierarchy of voids: more ado about nothing," Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読あり、vol. 420, pp. 1648-1655, FEB 2012  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.20154.x
- ② A. Paranjape, T. Y. Lam, and R. K. Sheth, "Halo abundances and counts-in-cells: the excursion set approach with correlated steps," Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読あり、vol. 420, pp. 1429-1441, FEB 2012  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.20128.x
- ③ D. Gruen, G. M. Bernstein, T. Y. Lam, and S. Seitz, "Optimizing weak lensing mass estimates for cluster profile uncertainty," Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読あり、vol. 416, pp. 1392-1400, SEP 2011  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.19135.x
- ④ T. Y. Lam, T. Nishimichi, and N. Yoshida, "The pairwise velocity probability density function in models with local primordial non-Gaussianity," Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 査読あり、vol. 414, pp. 289-303, JUN 2011  
DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.18390.x

[学会発表] (計 3 件)

- ① Tsz Yan Lam, "Testing Modified Gravity with Phase-Space Distribution", First LeCosPA Symposium: Towards Ultimate

Understanding of the Universe, Feb 7  
2012, LeCosPA, National Taiwan  
University, Taipei, Taiwan

② Tsz Yan Lam, “Peculiar Velocity and  
primordial non-Gaussianity”,  
Cosmological Non-Gaussianity:  
Observations Confront Theory Workshop,  
May 14 2011, The Michigan Center for  
Theoretical Physics

③ Tsz Yan Lam, “Primordial  
non-Gaussianity and large-scale  
structure,” Modern Cosmology:Early  
Universe, CMB and LSS, August 10 2010,  
Benasque, Spain

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

林 梓仁 (LAM Tsz Yan)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：90572892

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者  
( )

研究者番号：