

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05453

研究課題名(和文) 宇宙ビッグデータのニュートリノ、暗黒エネルギー研究への応用と理論的基礎研究

研究課題名(英文) Application and Theoretical Research on neutrino mass and dark energy using Cosmic big data

研究代表者

二間瀬 敏史 (FUTAMASE, Toshifumi)

京都産業大学・理学部・教授

研究者番号：20209141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：近未来に実行される大規模銀河サーベイ、大規模超新星サーベイデータを有効に利用してニュートリノ質量、暗黒エネルギー研究に応用するため、雑音が少ない銀河形状測定の新しい方法を開発した。経験則を用いず第一原理から観測画像の雑音を系統的に取り除く方法を開発し、従来の方法よりも高精度の信号を得ることを示した。超新星の見かけの明るさと赤方偏移関係における宇宙の大規模構造の影響を用いてニュートリノ質量、暗黒エネルギーの性質に対する制限を得ることができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の宇宙が加速膨張をしている原因として未知の暗黒エネルギーの存在が想定されているが、その存在の観測的証拠を確立することは現代宇宙論の最も重要なテーマの一つである。またニュートリノ質量の上限の制限は、素粒子の統一理論の構成において重要な情報である。

本研究はこれらのことを念頭に近未来に実行される大規模銀河サーベイ、大規模超新星サーベイのデータに基づいて、様々な雑音を第一原理から取り除く方法を提案し、ニュートリノ質量、暗黒エネルギーについて従来よりも厳しい制限を得る方法を開発し、また新たな方法を提案したものである。

研究成果の概要(英文)：In order to constrain useful constraints on neutrino mass and dark energy using large scale galaxy survey and supernovae survey in very near future, We have developed a new method of measurement of galaxy shape which avoids various systematic noises. We also develop a new PSF correction to avoid any systematic error such as atmospheric turbulence from the first principle without employing empirical relations. We pointed out that the lensing effect of large scale structure on the magnitude-redshift relation of Type Ia supernovae can be used to constrain the neutrino mass and dark energy parameter.

研究分野：宇宙論

キーワード：宇宙ビッグデータ 暗黒エネルギー ニュートリノ質量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

1999年、宇宙の加速膨張が発見されて以来、その原因の有力な候補が暗黒エネルギーである。暗黒エネルギーの理論はほとんど解明されていない、したがって観測的に暗黒エネルギーの性質を調べることが急務であり、そのため、日本ではすばる望遠鏡を用いた大規模サーベイが進行中であり、またヨーロッパではEUCLIDと呼ばれる宇宙からの銀河サーベイ、アメリカではLSSTという大型望遠鏡を用いた超大規模銀河サーベイが数年以内に実行される。これらのサーベイは、宇宙シアと呼ばれる宇宙の大規模構造の重力場がつくる弱い重力レンズによる遠方背景銀河形状の系統的な変形の観測である。この大規模かつ高精度なデータをどのように有効に利用して、暗黒エネルギーの性質を導き出すのが急務であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、現在の宇宙の加速膨張の原因とみなされている暗黒エネルギーの性質を調べ、その起源を明らかにするための情報を与えることである。

そのため現在、進められている、あるいは近い将来計画されている大規模銀河サーベイによる宇宙シアの観測を主に考察する。宇宙シアは、宇宙の大規模構造による遠方背景銀河形状の系統的な変形であり、この変形は非常に微小であるため、背景銀河形状の精密測定が決定的に重要となる。そこで形状測定における大気揺らぎ、CCD素子上の光子ノイズなど様々な雑音の補正を第一原理から近似なしに行う方法を開発する。

また超新星観測データをした暗黒エネルギーに対する観測方法を提案する。

3. 研究の方法

宇宙シアは宇宙の大規模構造による弱い重力レンズであるので、銀河団による弱い重力レンズに対して開発した銀河形状の高次モーメントを利用した測定法を宇宙シアに適用するために高精度化する。そのためには従来用いられている経験的な補正を使うことなく系統的な誤差を補正する方法を開発する。また従来の測定法における弱点は銀河像の周辺に測定のウェイトがかかることであるが、適当な重さ関数を考えることで中心部によりウェイトがかかるような新たな測定法も開発しており、その方法を宇宙シア観測に適用するために改良する。

超新星を用いた暗黒エネルギー研究では、一般相対論に基づいて構成された現実的な非一様宇宙モデルにおける光の伝播の基礎的研究から、超新星の見かけの明るさに対する宇宙の大規模構造の影響を調べて、その影響の宇宙論パラメータ依存性、とくに依存性が大きいと思われる暗黒エネルギー、ニュートリノ質量の依存性を詳細に調べる。

また我々の銀河が宇宙の低密度領域にあるという観測をもとに、現実的な非一様宇宙モデルを、アインシュタイン方程式を局所的に平均化することによって構築し、それによって現在、暗黒エネルギーによると考えられている観測が局所的な非一様性で説明可能かどうかを調べ、現在想定されている暗黒エネルギーが実際に必要かを検討する。

4. 研究成果

銀河形状測定における系統的な誤差を補正するために従来の方法とは全く異なる方法を開発した。この方法によって銀河形状測定における大気揺らぎの補正、CCD素子上の光子ノイズの1次補正を行うことができ、従来用いられている銀河形状のモデルを使った補正法と優劣つけがたい精度まで補正できることを確認した。

また背景形状測定における形状の定量化について従来の測定量とは異なり、背景銀河の中心付近にウェイトがかかる測定量を定義することによって雑音の影響の少ないレンズ信号が定義できることを示した。これによって従来、解析に用いられていなかった淡く小さな背景銀河も測定に用いることができ、その結果、解析に用いる背景銀河数が50%ほど増えることが予想され、統計誤差を減らすことができる可能性が得られた。宇宙からの観測では非常に暗く小さな天体数が増えることが予想されるが、それらの天体は従来の形状測定では使えないが、我々の定義した量を用いることで解析可能になることが予想される。

今後、本研究で得られた測定方法をすばる望遠鏡用の解析パイプラインに組み込んで実際の観測データに適用する。

LSSTで期待される超新星、および広視野赤外線サーベイ衛星によって観測が期待される高赤方偏移超新星の観測データを用いた暗黒エネルギー測定法を提案した。この方法は超新星の見かけの明るさと赤方偏移の関係に対する宇宙の大規模構造の影響を観測するもので、宇宙シア測定とは相補的であり、しかもニュートリノ質量に対して従来と同程度、あるいはそれ以上の制限が得られることを示した。この方法は超新星だけでなく中性子星からなる連星系の合体から放出される重力波に対しても適用でき、その場合、数百の観測で超新星を用いた場合よりも

厳しい制限を得ることができることを示した。

アインシュタイン方程式を局所的に平均化することによって現実的な非一様宇宙モデルを構築し、現在活発な議論となっている大域的なハッブル定数と局所的なハッブル定数の違いが説明できることを示した。また従来暗黒エネルギーの影響と考えられている効果の一部が局所的な非一様性によって説明できることを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Y. Okura and T. Futamase | 4. 巻 479 |
| 2. 論文標題 Analytical noise bias correction for weak lensing shear analysis with ERA | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Monthly Notices of Royal astronomical Society | 6. 最初と最後の頁 4971-4983 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1746 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 T. Morishim, T. Futamase, H. Shimizu | 4. 巻 2018 |
| 2. 論文標題 The general relativistic effects on the magnetic moment in Earth gravity | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Priogress of Theoretical and Experimental Physics | 6. 最初と最後の頁 083B07 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty066 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 M. Kasai and T. Futamase | 4. 巻 2019 |
| 2. 論文標題 A possible solution to the Hubble constant discrepancy | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics | 6. 最初と最後の頁 730 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz066 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 R. Hada and T. Futamase | 4. 巻 6 |
| 2. 論文標題 Forcasts of cosmological constraints from Type Ia supernovae including the weak lensing convergence | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Cosmology ad Astroparticle Physics | 6. 最初と最後の頁 33 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/06/033 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 T, Futamase |
| 2. 発表標題 Constraints on neutrino mass and EOS of Dark Energy from Lensing dispersion of Type IA Supernovae |
| 3. 学会等名 15th Marce Grossmann Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Futamase |
| 2. 発表標題 Can We See Large-Scale Structure by Gravitational Waves |
| 3. 学会等名 Summer Mini-Workshop of Gravitational Waves, Taipei (招待講演) |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|