

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K03937

研究課題名(和文) 近未来の大規模観測データを用いた暗黒エネルギー、ニュートリノ質量の研究

研究課題名(英文) Study of Dark Energy and Neutrino mass by near future large scale observations

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙のエネルギー密度の95%を占める暗黒物質と暗黒エネルギーの性質を解明する手段として次世代の銀河赤方偏移観測データ、およびタイプIa型超新星を用いた方法を提案した。特に銀河サーベイでは弱い重力レンズが強力な観測手段であるが、従来よりも精度の高い解析方法を提案し実際の観測データに適用し、より詳細な暗黒物質分布が得られることを示した。また今後観測される超新星データと連星中性子星からの重力波を用いて、赤方偏移と距離の関係における大規模構造による弱い重力レンズ効果を観測することで暗黒エネルギーの性質がより詳細に観測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

天文学の観測装置、および観測技術は現在進行形で発展し、従来の観測方法ではデータに含まれる化学的状態を十分引き出すことはできない。本研究では将来的な観測データが含んでいる科学的情報を十分引き出すための方法を提示し実際に実現可能であることを示した点に学術的意義がある。

研究成果の概要(英文)：It is known that Dark matter and dark energy occupy about 95% of the energy density of the present universe. I studied the observational method to study these dark side of the universe. In particular we develop a new method to study weak lensing which is actively used in the observation of dark matter and dark energy. We show that our method does improve the accuracy of the dark matter distribution compared with the previous method. Also we pointed out that the lensing dispersion in the magnitude-redshift relation obtained from the combination of the observation future supernovae and gravitational wave from merging neutron stars may be used to observe accurately the nature of dark energy.

研究分野：宇宙論

キーワード：大規模銀河サーベイ 超新星 弱い重力レンズ 赤方偏移と虚栄関係

1. 研究開始当初の背景

ジェームスウェップ宇宙望遠鏡(JWST)に代表される新世代の観測機器のどれもがその目的の一つに挙げている暗黒物質、暗黒エネルギーの解明は現代宇宙論の最大のテーマである。これらの観測機器で得られるデータは、その量はもちろんであるが質についても従来の観測データをはるかに凌いでいるため、従来の解析手法ではその科学的価値を十分引き出すには不十分である。したがって近未来の観測データに対する新たな解析法、およびそれらを使った新しい観測法の開発が期待されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、暗黒物質、暗黒エネルギーの研究手法である弱い重力レンズ効果のより高精度な解析手法を完成し、実データに適用することによって、革新的観測データの科学的価値を最大限に引き出すことにある。また近い将来莫大な数の超新星が観測され、および連星中性子星の合体現象による重力波の観測も期待されるため、それらを用いた新しい暗黒エネルギー、ニュートリノ質量などの測定法を提案する。

3. 研究の方法

近未来次のデータとして大規模銀河サーベイ、超新星データ、連星中性子星合体からの重力波データをとりあげ、それらのデータに対する宇宙の大規模構造による弱い重力レンズ効果の新たな測定法、および暗黒物質、暗黒エネルギーが弱い重力レンズ効果に及ぼす影響を理論的に研究した。

4. 研究成果

従来も大規模銀河サーベイにおける弱い重力レンズ効果は、暗黒物質および暗黒エネルギー研究のもっとも有力な観測方法のひとつであった。この方法では、多数の銀河の形状を測定し、そこに含まれる重力レンズ情報を統計的処理で取り出す。しかし近未来の観測データは多くの微小で形状が不規則な銀河が多く、従来の観測法では背景銀河の形状の四重極モーメントの測定では十分な解析ができず、銀河形状が含んでいる重力レンズ効果を十分に引き出すことができない。そのため我々は銀河形状の8重極モーメントの新たな測定法を開発して、それによる重力レンズ効果を有効に引き出す方法を確立した。この方法をすばる望遠鏡の大規模銀河サーベイの実際のデータに適用して有効に用いることができ、より精密に重力レンズ情報を引き出せることが確認された。この方法は一つの銀河に対して従来の方法よりも多くの情報量を解析するため従来の方法よりも解析に時間がかかるが、従来の解析法で得られたレンズ効果とは数%程度の違いをもたらすことが確認されたことから、今後この方法の高速化を進める予定である。

Ia型超新星はその絶対光度が正確に評価できるため(そのような天体を標準光源と呼ばれる)、その距離・赤方偏移関係の大規模構造による分散が暗黒エネルギーとニュートリノ質量に依存することを我々は以前に指摘したが、その効果が表れるのはある程度遠方(赤方偏移が0.1程度以上)であることが分かっていた。本研究では低赤方偏移における超新星の特異速度が大規模構造によること、および近未来の観測では低赤方偏移および高赤方偏移超新星が多数観測されることに着目し、低赤方偏移超新星の速度分散の情報を高赤方偏移超新星の観測データと組み合わせることで暗黒エネルギー、ニュートリノ質量に対して従来よりも数%強い制限が得られることを示した。さらに近年の重力波直接観測に鑑み、近い将来多数観測される連星中性子星の合体現象からの重力波は、超新星よりもより正確な標準光源であることから、それを超新星データと組み合わせることで暗黒エネルギーの状態方程式のパラメータとニュートリノ質量を利用することで、さらに数%程度強い制限を付けられることを示した。

そのほかの研究として現在宇宙論の話題である宇宙の膨張率の観測方法による違い(ハッブルテンションと呼ばれる)を、宇宙における物質の非一様性から説明する可能性を指摘した。実際に恒星の大多数を占める質量の小さな星による明るさの密度は我々の近傍銀河周りで平均よりも有意に低いことが観測的に示されており、観測的には我々は宇宙の低密度領域に位置している。地平線全体と局所領域の違いを定式化するためにアインシュタイン方程式をある有限領域にわたって平均化する方法を用いて、極私的な平均と地平線サイズの平均によって得られる一様等方モデルにおける宇宙の膨張率の違いを、それぞれの平均密度によってあらかず公式を導いた。地平線全体にわたる平均化による一様等方宇宙が平坦な場合、局所的な平均化によって

記述される一様等方宇宙は平均密度によって決まる曲率をもったモデルで記述されることを示した。これによって局所的な平均密度が地平線全体の平均密度よりも 30%程度低ければハッブルテンションを解決できることが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 T. Tomonaga and T. Futamase	4. 巻 2021
2. 論文標題 A comment on the averaging in an inhomogeneous cosmology and Hubble constant problem.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab117	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 X.Liu, D. Liu, Z. Gao, C. Wei, G. Li, L. Fu, T. Futamase, Z. Fun	4. 巻 103
2. 論文標題 Detection of cosmic magnification via galaxy shear-galaxy number density correlation from HSC survey data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123504
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevD.103.123504	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 該当する
1. 著者名 S. Kawamura, M. Ando, N. Seto et al, including T. Futamase	4. 巻 2021
2. 論文標題 Current status of space gravitational wave antenna DECIGO and B-DECIGO	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab019	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 A. Aniket, T. Okumura, T. Futamase	4. 巻 904
2. 論文標題 Standard Candles and Sirens Rescue H ₀	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 169
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/abffc	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 該当する

1. 著者名 A. Jaelani, A. More, M.Oguri, et al.(including T.Futamase)	4. 巻 495
2. 論文標題 Survey of Gravitationally-lensed Objects in HSC Imaging(SuGOHi).V.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notice of Royal astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1291-1310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1062	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 該当する

1. 著者名 M.Tomonaga, M. Kasai, T. Futamase	4. 巻 2023
2. 論文標題 The gauge invariant formulation of the local expansion rate driven by the local averaged density in an inhomogeneous universe	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress of theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 3, 0033F02
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptad020	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0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 二間瀬敏史	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 209
3. 書名 相対性理論 基礎と応用	

〔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
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------