

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13561

研究課題名（和文）遠方銀河団の質量関数による宇宙の加速膨張の性質とニュートリノ全質量の制限

研究課題名（英文）Constraints on the nature of cosmic acceleration and neutrino mass through the number count of high-redshift galaxy clusters

研究代表者

宮武 広直（Miyatake, Hironao）

名古屋大学・高等研究院（理）・特任助教

研究者番号：20784937

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、すばる望遠鏡Hyper Suprime-Camで得られた可視光領域の画像データとSpitzer宇宙望遠鏡で得られた赤外領域の画像データを組み合わせることで、約100億年前の銀河の赤方偏移の測定精度を向上することができた。この銀河サンプルを用いた銀河団の検出とそれを用いた宇宙の加速膨張史の推定は、最終年度前年度応募の継続研究課題に引き継がれた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙の大規模構造を用いた宇宙の加速膨張史の測定のうち、現在から約80億光年前までの観測データを用いたものは数多く行われてきたが、それより遠方の宇宙ではほとんどなされていない。本研究は、遠方銀河の赤方偏移推定を改善することにより、遠方宇宙での銀河団の検出を可能にし、さらにその銀河団を用いて宇宙の加速膨張史の測定を可能にするものである。

研究成果の概要（英文）：We were able to improve the accuracy of redshift determination of distant galaxies at approximately 10 billion years ago by combining optical imaging data from Subaru Hyper Suprime-Cam and infrared imaging data from Spitzer Space Telescope. Cluster finding based on the galaxy sample and cosmological constraints from cluster abundance are inherited by a successive research grant.

研究分野：観測的宇宙論

キーワード：観測的宇宙論 銀河団 多波長観測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

宇宙の加速膨張は現代物理学・天文学における最大の謎の一つである。加速膨張は正体不明のエネルギーである「暗黒エネルギー」によって引き起こされていると考えられているが、素粒子標準模型や一般相対性理論といった既存の基礎物理理論では説明できない現象であり、宇宙の加速膨張はそれらの理論のほころびを示唆している可能性がある。そのため、宇宙の加速膨張の解明は急務である。

宇宙の加速膨張の性質を探るのに有効なのが、銀河・銀河団がなす数 10 億光年スケールの構造(宇宙の大規模構造)の測定である。その中で銀河団は宇宙で最大の自己重力束縛系であり、その単位質量あたり・単位体積あたりの個数(質量関数)は宇宙の加速膨張の性質に敏感である。例えば、宇宙の加速膨張が強い場合は、物質が集まりづらくなり、銀河団の個数密度は現象する。銀河団を用いた宇宙の加速膨張史の研究は現在から約 80 億光年前(赤方偏移 $z \sim 1$)までの宇宙においては数多く行われてきたが、それより遠方の宇宙ではほとんど行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究では多波長データを用いて遠方銀河団を多数同定し、さらに弱重力レンズ効果を用いて銀河団の質量を正確に推定することで、赤方偏移 $z \sim 2$ までの遠方宇宙での宇宙の加速膨張の性質に制限をつけることを目指す。その上で、この制限と $z \sim 1$ までの制限と整合性をチェックする。この結果と現在まで行われてきた $z \sim 1$ までの測定を組み合わせることによって、より幅の広い時間軸で系統的に宇宙の加速膨張を理解することが可能となる。それにより、 Λ CDM 標準宇宙論だけでなく、それを越えた宇宙論模型、例えば有限質量ニュートリノや時間変化する暗黒エネルギーなどに制限を付けることを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、まず画像データを用いた $z > 1$ の遠方銀河の赤方偏移推定を改善する。画像データから赤方偏移を推定する際には、複数の広帯域フィルターの画像データから作成した測光カタログを用いる。特に、楕円銀河のスペクトルにおける 4000\AA ブレイクと呼ばれる特徴を捉えることで、測光カタログから銀河の赤方偏移を正確に推定することができる(図 1)。ここで、可視光データは $z \sim 1$ までの 4000\AA ブレイクを捉えることが可能であるが、それより遠方にある銀河の 4000\AA ブレイクを捉えることが不可能である。そこで、本研究では可視光データに赤外領域のデータを加えることによって、 $z > 1$ の銀河の赤方偏移推定を向上させることを目指す。具体的には、すばる望遠鏡広視野主焦点カメラ Hyper Suprime-Cam(HSC)による広視野深宇宙サーベイの可視光画像データと Spitzer 宇宙望遠鏡赤外線カメラ Infrared Array Camera (IRAC)による赤外面像データを組み合わせる。

次に、赤方偏移が同定された銀河の空間的クラスタリングから遠方銀河団カタログを作成する。HSC サーベイは Spitzer IRAC で行われた複数のサーベイと重なっているため、約 150 平方度の領域を用いて銀河団カタログを作成することができる(図 2)。

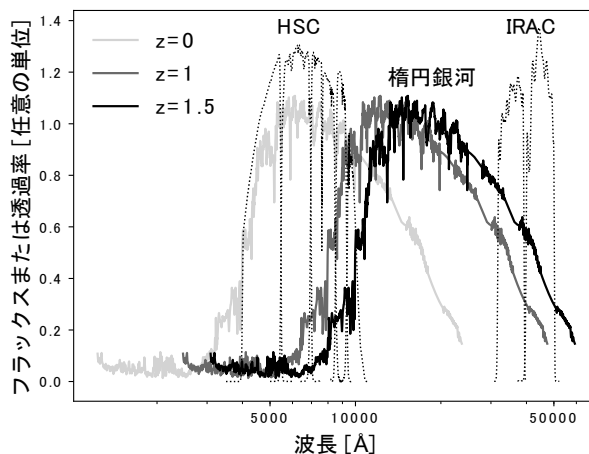


図1: 楕円銀河のスペクトルとHSC及びIRACのフィルター

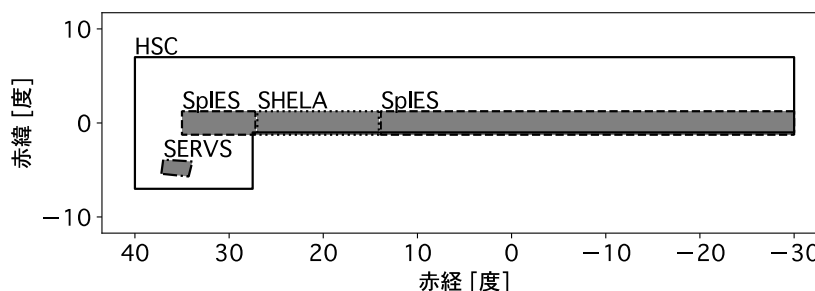


図2: HSCサーベイとIRACによるサーベイの観測領域。

銀河団の質量関数を測定するためには、銀河団の質量を正確に推定する必要がある。そのために弱重力レンズ効果と呼ばれる手法を用いる。弱重力レンズ効果は、X線やマイクロ波などの他の観測と違い、静水圧平衡などの物理的仮定を必要としないため、非常に精度良く銀河団の質量を推定することが可能である。一方、弱重力レンズ効果は遠方銀河の非常にわずかな歪みとして観測されるため、観測効率の良い望遠鏡が必要となる。すばる望遠鏡 HSC は、8.2m という大口径主鏡と 1.8 平方度の広視野により、世界で最も銀河団の弱重力レンズ効果の測定に適した望遠鏡の一つである。本研究ではすばる望遠鏡 HSC サーベイのデータを用いて、遠方銀河団の弱重力レンズ効果を測定する。こうして得られた銀河団質量関数を用いて、宇宙論パラメータに制限を付ける。

4. 研究成果

分光観測によって赤方偏移がわかっている銀河サンプルを用いて、可視光広帯域フィルターに赤外広帯域フィルターを組み合わせることによって測光的赤方偏移がどれだけ改善するか調べた (図 2)。横軸は測光的赤方偏移、縦軸は上から順に測光的赤方偏移と分光によって得られた (真の) 赤方偏移との間の差のばらつき (σ_m)、この差の平均 ($\mu_{\Delta z}$)、測光的赤方偏移が外れ値を持つ割合 ($\zeta_{0.15}$) である。HSC の 5 つの可視光広帯域フィルターによる測光データに基づいた測光的赤方偏移 (黒線) に比べて、Spitzer IRAC による 2 つの赤外広帯域フィルターによる測光データを組み合わせることによって得られた測光的赤方偏移 (赤線) は、 $z > 1$ の領域において大きな改善が得られた。

また、HSC サーベイの領域と重なる近赤外サーベイとして、VISTA 望遠鏡を用いた VIKING サーベイがある。HSC サーベイと VIKING サーベイが重なる領域は、約 500 平方度と HSC と IRAC が重なる領域に比べて大きい。よって、HSC と VIKING を組み合わせることで、赤方偏移推定がどれだけ改善するか調べたが、VIKING サーベイが HSC サーベイと比べて浅く、有意な改善が見られなかった。

この銀河サンプルを用いた高赤方偏移銀河団サンプル作成に取り掛かっていたところで、最終年度前年度応募の継続研究課題が採択されたため、本研究は継続研究課題に発展的に引き継がれた。

また、高赤方偏移銀河団サンプルの作成と並行して、Atacama Cosmology Telescope Polarimeter (ACTPol) のマイクロ波サーベイにより検出された中間赤方偏移領域の銀河団サンプル (赤方偏移の中央値 $z=0.49$) の弱重力レンズ効果を、HSC サーベイのデータを用いて測定した。この弱重力レンズ効果測定に基づいて質量を推定したところ、マイクロ波観測による質量推定は 26% 程度質量を過小評価することがわかった。この成果は論文として出版された。この研究により、銀河団の弱重力レンズ効果測定及び質量推定のソフトウェアを開発した。このソフトウェアは、高赤方偏移銀河団の宇宙論解析に用いる予定である。

また、宇宙の大規模構造の測定の一つとして、大質量銀河間のフィラメント構造を弱重力レンズ効果を用いて測定した。フィラメント構造の弱重力レンズ効果測定は現在まで数例しか報告されておらず、本研究では HSC サーベイのデータを最大限に用いることによって、最も高赤方偏移 ($z \sim 0.5$) の銀河間のフィラメント構造を測定した (図 4)。この成果は論文として出版された。

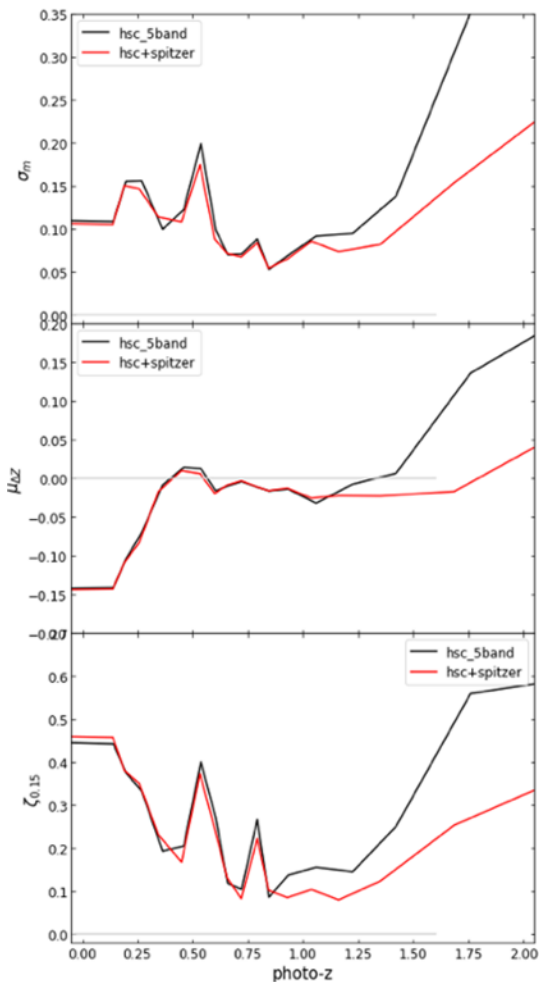


図 3: HSC に Spitzer 望遠鏡のデータを加えることによって得られた測光的赤方偏移の改善。

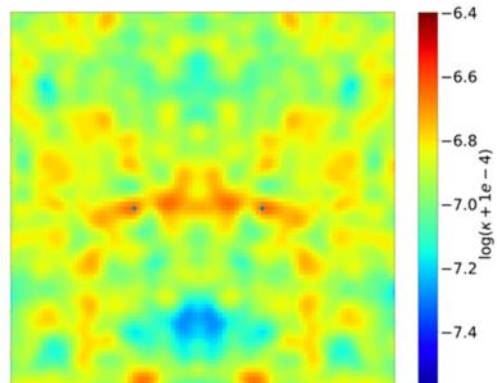


図 4: 弱重力レンズ効果によって検出された銀河間のフィラメント構造。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Miyatake, H., Battaglia, N., Hilton, M., et al.	4. 巻 875 1
2. 論文標題 Weak-lensing Mass Calibration of ACTPol Sunyaev-Zel' dovich Clusters with the Hyper Suprime-Cam Survey	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/ab0af0	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 Kondo, H., Miyatake, H., Shirasaki, M.	4. 巻 495
2. 論文標題 Weak lensing measurement of filamentary structure with the SDSS BOSS and Subaru Hyper Suprime-Cam data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3695-3704
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/mnras/staa1390	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

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 2件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Hironao Miyatake
2. 発表標題 Unveiling the Dark Sector of the Universe with Subaru Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名 Future Perspective in Cosmology and Gravity（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironao Miyatake
2. 発表標題 Weak Lensing Cosmology from Subaru Hyper Supreme-cam First Year Data
3. 学会等名 6th Korea-Japan workshop on dark energy at KMI（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮武広直
2. 発表標題 Weak Lensing Cosmology from the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey First Year Data
3. 学会等名 セミナー(千葉大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮武広直
2. 発表標題 Weak Lensing Cosmology from the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey First Year Data
3. 学会等名 セミナー(京都大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hironao Miyatake
2. 発表標題 Hyper Suprime-Cam Weak Lensing Measurement of Galaxy Clusters Selected by Atacama Cosmology Telescope
3. 学会等名 Panchromatic Panoramic Studies of Galaxy Clusters (国際学会)
4. 発表年 2019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
---------	---------------------------	-----------------------	----

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			
米国	California Institute of Technology	Center for Computational Astrophysics	Princeton University	他5機関
南アフリカ	University of KwaZulu-Natal			
カナダ	University of Toronto			
英国	Cardiff University	University of Cambridge	University of Oxford	
チリ	Pontificia Universidad Catlica de Chile			