

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05457

研究課題名（和文）暗黒物質ハロー形成進化における質量集積史効果の物理機構解明とハローモデル拡張

研究課題名（英文）Understanding physical mechanisms of mass assembly effects on evolution of dark matter halos and an improvement of the halo model

研究代表者

浜名 崇 (Hamana, Takashi)

国立天文台・科学研究部・助教

研究者番号：70399301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：暗黒物質ハローの性質に質量集積効果を引き起こす物理メカニズムを研究した。その結果暗黒物質ハローの空間相関の強度と特異速度分散の大きさが周辺密度に最も強く依存していることを確認した。この両者が関わる相関関数の赤方空間歪みも周辺密度に強く依存しており、高領域にいる暗黒物質ハローほどより強い赤方空間歪みを生じ、低領域においては通常とは逆方向の成分が相対的に強められることがわかった。これにより赤方空間歪みの測定に用いる銀河がどのような環境に存在しているかによって異なる測定結果が得られることが分かった。このことは従来の宇宙論研究では留意されていなかった点であり本研究から得られた重要な成果の一つである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日の標準的構造形成シナリオでは、暗黒物質ハローは宇宙の構造形成において骨格をなす役割を果たしていると考えられている。従来、暗黒物質ハローの性質はハロー質量のみに依存すると考えられていた。しかし近年の数値シミュレーションによる暗黒物質構造形成の研究により、暗黒物質ハローの性質は質量のみではなく質量集積史にも依存する事が分かってきた。しかしこの依存性がどういった物理メカニズムで引き起こされているのかはよく理解されていなかった。本研究では暗黒物質ハローの周辺密度が質量集積史効果を引き起こす主要な物理メカニズムであることを明らかにし、その効果を取り入れたモデル拡張を行なった。

研究成果の概要（英文）：We have investigated a physical mechanism that drives mass assembly effects on properties of dark matter halos. We found that amplitudes of spatial clustering of halos and peculiar velocity dispersion are most strongly depend on a local matter density. We also found that the redshift-space distortion of two-point correlation function of dark matter halos depends strongly on a local density as well, and that halos located at high density regions have a stronger redshift-space distortion and those at low density regions have a relatively larger redshift-space distortion in a component opposite to the normal direction. This indicates that an observed redshift-space distortion depends on a local matter density where galaxies used in the measurement of the redshift-space distortion are located. This point has not been taken into consideration in previous studies and is an important finding of this research project.

研究分野：宇宙物理

キーワード：観測的宇宙論

## 1. 研究開始当初の背景

今日の標準的構造形成シナリオでは、暗黒物質ハローはその内部で星形成を誘起し、銀河の母体となるなど宇宙の構造形成において骨格をなす役割を果たしていると考えられている。現在、暗黒物質ハローの性質（数密度や空間相関関数）はハロー質量のみの関数として記述されている。しかし近年の数値シミュレーションを用いた暗黒物質構造形成の研究により、暗黒物質ハローの性質は質量のみではなく周辺環境の密度や形成時期で特徴付けられる質量集積史にも依存する事が分かってきた。しかしこの依存性がどういった物理メカニズムで引き起こされているのかはよく理解されていなかった。いわゆるハローモデルは、標準的構造形成シナリオの解析的モデルから得られる形式を骨組みとして、それに宇宙論的構造形成数値シミュレーションによって得られた結果を組み合わせて作られた暗黒物質ハローの性質（数密度や空間相関関数などの時間変化）の現象論モデルである。このモデルは宇宙の構造進化や銀河形成の研究に広く用いられているが、質量集積史は取り入れられていないため、その効果を的確に取り入れた拡張が必要とされていた。

## 2. 研究の目的

本研究課題の目的は、質量集積史の違いが暗黒物質ハローの性質を決める主要物理メカニズムを解明し、その効果を的確に取り入れたハローモデル（数密度関数や空間相関関数）を構築する事である。

## 3. 研究の方法

本研究は大きく分けて以下の3つの要素からなる。

- (A) 質量集積史効果を取り入れた拡張ハローモデルの理論的枠組みの構築
- (B) 宇宙論的構造形成N体数値シミュレーションを用いた上記理論モデルのテスト
- (C) 理論モデルに宇宙論的構造形成数値シミュレーションの結果を取り込んだ経験的精密ハローモデルの開発

具体的には、宇宙論的構造形成N体数値シミュレーションを実施し暗黒物質ハローカタログを製作しそれを元に暗黒物質ハローの性質の環境依存性を詳細に調査して、質量集積史効果を引き起こす物理プロセスを同定する。そしてそのプロセスを取り入れた拡張ハローモデルの理論的枠組みを構築し、さらに現象論的に宇宙論的構造形成数値シミュレーションの結果を再現するような経験的精密ハローモデルの開発を行う。

## 4. 研究成果

まず本研究課題の基盤的データとなる宇宙論的構造形成N体数値シミュレーションを用いた暗黒物質ハローカタログの製作を行なった。宇宙論的構造形成数値シミュレーションは国立天文台天文シミュレーションプロジェクトのスーパーコンピューターシステムを利用して実施した。そこで得られた暗黒物質分布データから暗黒物質ハローの検出を行い、検出された暗黒物質ハローの位置、速度、質量、力学構造パラメーター、さらに周辺密度を計算し、暗黒物質ハローカタログを作成した。本カタログから、実空間と赤方偏移空間でのパワースペクトルと二点相関関数、特異速度分散、特異速度相関関数を周辺密度と力学構造パラメーターでもって分けたサンプルについて測定した。これは暗黒物質ハローの質量集積史効果を取り入れた拡張ハローモデルの理論的枠組み構築の基本情報となる。

数値シミュレーションでもって作成した暗黒物質ハローカタログの詳細な解析を行い、暗黒物質ハローの性質の環境依存性を調査した。その結果暗黒物質ハローの空間相関の強度と特異速度分散の大きさが周辺密度に最も強く依存しており、力学構造パラメーターはハローの質量集積史を介して2次的に周辺密度に依存することを確認し

た。暗黒物質ハローの空間相関と特異速度が強い環境依存性を持つため、その両者が関わる赤方偏移空間での二点相関関数の赤方空間歪みも同様に周辺密度に強く依存しており、周辺密度がより高い領域にいる暗黒物質ハローほどより強い赤方空間歪みを示すことがわかった。さらに周辺密度が平均密度より低い領域においては、通常の赤方空間歪みとは逆に視線方向に垂直な成分が相対的に強められることがわかった。これらのことは、赤方空間歪みの測定に用いる銀河がどのような環境に存在しているか（すなわちどのような質量集積史効果を受けているか）によって異なる結果が得られることを意味している。同時に銀河の赤方空間歪みの測定が暗黒物質ハロー形成進化における質量集積史効果を観測的に探る有力な手段となることを意味している。さらにこの効果は銀河の赤方空間歪みを用いて宇宙の構造形成を研究する際にこれまで留意されていなかった点であり本研究から得られた重要な成果の一つである。

これら結果より、暗黒物質ハローの周辺密度が質量集積史効果を引き起こす主要な物理メカニズムであることが明らかになった。この周辺密度依存性をハローモデルに取り入れるために、周辺密度の物理的効果を現象論的にモデル化しそれをパラメーターとして導入することでハローモデルの拡張を行い、また拡張版プレス・シェクター理論に周辺密度を変数として取り扱える拡張も行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 10件）

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Hikage Chiaki, Oguri Masamune, Hamana Takashi, et al.   | 4. 巻<br>71            |
| 2. 論文標題<br>Cosmology from cosmic shear power spectra with Subaru Hyper Suprime-Cam first-year data  | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Publications of the Astronomical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>43H     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/pasj/psz010   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |
| 1. 著者名<br>Shirasaki Masato, Hamana Takashi, Takada Masahiro, Takahashi Ryuichi, Miyatake Hironao  | 4. 巻<br>486           |
| 2. 論文標題<br>Mock galaxy shape catalogues in the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey  | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society   | 6. 最初と最後の頁<br>52 ~ 69 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stz791  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Ota Naomi, Mitsuishi Ikuyuki, Babazaki Yasunori, Akamatsu Hiroki, Ichinohe Yuto, Ueda Shutaro, Okabe Nobuhiro, Oguri Masamune, Fujimoto Ryuichi, Hamana Takashi, Miyaoka Keita, Miyazaki Satoshi, Otani Hanae, Tanaka Keigo, Tsuji Ayumi, Yoshida Atsushi | 4. 巻<br>72            |
| 2. 論文標題<br>X-ray properties of high-richness CAMIRA clusters in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program field  | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>Publications of the Astronomical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>10      |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/pasj/psz118   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |
| 1. 著者名<br>Hamana Takashi, Shirasaki Masato, Miyazaki Satoshi, et al.  | 4. 巻<br>72            |
| 2. 論文標題<br>Cosmological constraints from cosmic shear two-point correlation functions with HSC survey first-year data   | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Publications of the Astronomical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>16H     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/pasj/psz138   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>梅津敬一, 大栗真宗, 浜名崇, 日影千秋, 宮武広直   | 4. 巻<br>112           |
| 2. 論文標題<br>HSC弱重力レンズ効果による天文学            | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>天文月報                          | 6. 最初と最後の頁<br>117-125 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし          | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                   |
|---|-------------------|
| 1. 著者名<br>Ishikawa Shogo, Kashikawa Nobunari, Toshikawa Jun, Tanaka Masayuki, Hamana Takashi, Niino Yuu, Ichikawa Kohei, Uchiyama Hisakazu                          | 4. 巻<br>841       |
| 2. 論文標題<br>The Galaxy-Halo Connection in High-redshift Universe: Details and Evolution of Stellar-to-halo Mass Ratios of Lyman Break Galaxies on CFHTLS Deep Fields | 5. 発行年<br>2017年   |
| 3. 雑誌名<br>The Astrophysical Journal   | 6. 最初と最後の頁<br>8~8 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/aa6d64  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>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<br>-         |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Shirasaki Masato, Takada Masahiro, Miyatake Hironao, Takahashi Ryuichi, Hamana Takashi, Nishimichi Takahiro, Murata Ryoma | 4. 巻<br>470             |
| 2. 論文標題<br>Robust covariance estimation of galaxy-galaxy weak lensing: validation and limitation of jackknife covariance            | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society   | 6. 最初と最後の頁<br>3476~3496 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stx1477   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Takahashi Ryuichi, Hamana Takashi, Shirasaki Masato, Namikawa Toshiya, Nishimichi Takahiro, Osato Ken, Shiroyama Kosei | 4. 巻<br>850         |
| 2. 論文標題<br>Full-sky Gravitational Lensing Simulation for Large-area Galaxy Surveys and Cosmic Microwave Background Experiments   | 5. 発行年<br>2017年     |
| 3. 雑誌名<br>The Astrophysical Journal  | 6. 最初と最後の頁<br>24~24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/aa943d   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. 著者名<br>Mandelbaum Rachel、Miyatake Hironao、Hamana Takashi、et al.                                      | 4. 巻<br>70                   |
| 2. 論文標題<br>The first-year shear catalog of the Subaru Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program Survey | 5. 発行年<br>2017年              |
| 3. 雑誌名<br>Publications of the Astronomical Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>S25-1 ~ S25-43 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/pasj/psx130   | 査読の有無<br>有                   |
| オープンアクセス<br>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<br>-                    |

|  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. 著者名<br>Miyazaki Satoshi、Oguri Masamune、Hamana Takashi、et al.  | 4. 巻<br>70                   |
| 2. 論文標題<br>A large sample of shear-selected clusters from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S16A Wide field mass maps | 5. 発行年<br>2017年              |
| 3. 雑誌名<br>Publications of the Astronomical Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>S27-1 ~ S27-23 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/pasj/psx120  | 査読の有無<br>有                   |
| オープンアクセス<br>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<br>-                    |

[学会発表] 計6件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇                               |
| 2. 発表標題<br>赤方偏移歪みの環境依存性                      |
| 3. 学会等名<br>第1回科学研究部シンポジウム「銀河赤方偏移探査による宇宙論研究会」 |
| 4. 発表年<br>2019年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇、宮崎聡、日影千秋、大栗真宗、More Surhud、HSC collaboration |
| 2. 発表標題<br>HSCサーベイ初年度データのコスミックシア二点相関関数測定と宇宙論パラメーターの制限      |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2019年秋季年会                                 |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇   |
| 2. 発表標題<br>HSC初年度データによるcosmic shear2点相関関数の測定と宇宙論パラメータの制限 |
| 3. 学会等名<br>第8回観測的宇宙論ワークショップ                              |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇   |
| 2. 発表標題<br>弱い重力レンズ効果を用いた宇宙論研究とすばるHyper-SuprimeCamの初期成果 |
| 3. 学会等名<br>すばる望遠鏡による宇宙シア観測と暗黒エネルギー研究会                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇   |
| 2. 発表標題<br>HSC初年度データによるcosmic shear 2点相関関数の測定と宇宙モデルの制限 |
| 3. 学会等名<br>第7回観測的宇宙論ワークショップ                            |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>浜名崇                               |
| 2. 発表標題<br>dark matter haloの特異速度統計とアセンブリバイアス |
| 3. 学会等名<br>第6回観測的宇宙論ワークショップ                  |
| 4. 発表年<br>2017年                              |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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