

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K14273

研究課題名（和文）計算統計に立脚した宇宙論解析のための理論的基盤の開発

研究課題名（英文）Theoretical foundation of large-scale structure formation for numerical statistical cosmology

研究代表者

西道 啓博 (Nishimichi, Takahiro)

京都大学・基礎物理学研究所・特定准教授

研究者番号：60795417

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙の大規模構造のダイナミクスについて、様々な観点から理論的研究を行い、以下のような成果を得た。まず、異なるスケール間の揺らぎのモード結合構造を記述する応答関数の振る舞いについて、数値的に検証により、物理的解釈を与えた。また、この関数や伝搬関数を用いた理論予測を数値シミュレーション、機械学習と融合したハイブリッドアプローチを実現した。構築した大規模シミュレーションデータベースから、「宇宙論チャレンジ」プログラムを立案・主催した。その他には多点相関関数の整合性関係式、銀河形状の相関シグナルなどの新たなプローブを用いた宇宙論の可能性について数値シミュレーションにより検証を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、宇宙の大規模構造の背後に潜む物理的性質を炙り出すことを主目的としているが、同時に将来観測からアクセス可能な大規模精密データの解析に応用可能な理論テンプレートの形まで昇華することで、そのような観測計画の成功に欠かせない、基盤技術を提供するものである。これらの観測からは、ダークマター、ダークエネルギーの起源など、物理学のみならず一般から見ても注目度の高い、人類の宇宙観を形作る根源的課題の解決につながるものと期待できる。また、本研究成果は機械学習に物理的視点を加えることで、達成精度や解釈可能性を補完する可能性を実証しており、他分野に広く応用可能な汎用的手法へと繋がる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We studied the dynamics of the large-scale structure of the universe theoretically from various points of view, and the following results were obtained. First, the behavior of the response function describing the mode-coupling structure of fluctuations between different scales was numerically verified to give a physical interpretation. We also realized a hybrid approach that integrates theoretical predictions based on this function and also the propagator function with numerical simulations and machine learning. Based on the large-scale simulation database that we constructed, we designed and hosted the "Cosmology Challenge" program to allow robust tests of systematics in cosmological analyses of galaxy clustering. In addition to this, the possibility of cosmology using new probes such as consistency relations for multipoint correlation functions and correlation signals of galaxy shapes was tested and verified by numerical simulations.

研究分野：観測的宇宙論

キーワード：宇宙の大規模構造 数値シミュレーション 宇宙論パラメータ

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙の大規模構造の観測データに基づく宇宙モデル・宇宙論パラメータの決定は、近年の観測的宇宙論におけるメインストリームの一つとして国内外で広く推進されつつあった。特に、大規模な銀河の測光・分光観測計画が進行中、または計画中であり、そこから得られるデータを解釈するために必要な理論的枠組みの整備が進められていた。観測の大規模化に伴い、ビッグデータの手法が導入されるなど、分野全体として新しいステージに進みつつある中で、そのような解析がもたらす結果の妥当性を客観的に担保する方法論の欠如が問題となっていた。例えば、観測データに機械学習の手法を適用することで導かれた宇宙モデルは、そもそも学習に用いた数値モデルのクラスの偏りや、それらのモデルの計算精度、銀河形成仮定などの複雑な効果を表現するために採用された、簡略化されたレシピなど、様々な要素に左右される。一方で、宇宙の大規模構造が持つべき性質について物理的な考察を深めることで、モデルの仮定に依らずに観測から引き出すことが可能な量を特定し、観測データが持ちうる情報について定量的な評価をすることができれば、ビッグデータの手法と補完的な役割を果たすことができる。

### 2. 研究の目的

上記のような背景を踏まえて、本研究では宇宙の構造形成に関する様々な側面を、実際に観測可能な量と照らし合わせて理論的に考察し、理解を深めることを目的に据えた。また、本研究とは並行して進められている機械学習ツールに、本研究で得た知見をフィードバックすることで、物理、統計双方の持つ長所を取り入れたハイブリッドモデルを開発することで、観測データに直接応用可能なツールを構築することも視野に入れる。より具体的には、摂動展開に基づく宇宙の構造形成理論が破綻するスケールの特定と、より小スケール側での実効的な理論予言を行う方法論の確立、銀河の特異速度場に起因する見かけの非等方性を記述するモデルの構築、これまであまり目を向けられてこなかった、宇宙論的に有用な新たな統計量の探索が目的となる。

### 3. 研究の方法

本研究では、大規模な宇宙の構造形成シミュレーションデータベースに基づく数値的研究により、構造形成の様々な側面に対する理論的考察を行う。具体的には、宇宙論パラメータに依存する効果と、これには依らずに重力の性質だけで決まる効果の切り分け、重力相互作用を定量化する統計量の設計・測定と、その理論的解釈、新たな物理効果を取り入れるための、数値シミュレーションコードの拡張、シミュレーションから構築した模擬観測データを利用した系統誤差の理解の促進などが挙げられる。

### 4. 研究成果

#### (1) 宇宙論的応答関数の正則化の起源

本研究開始前、宇宙の大規模構造を特徴付ける最も基本的な量である、密度揺らぎのパワースペクトルに見られるモード結合の強さを定量化した「応答関数」の振る舞いが、高次の摂動理論の予言と数値シミュレーションから測定したものと間で大きく乖離していることが問題となっていた。すなわち、小さなスケールから大きなスケールへのモード輸送は、摂動理論は時間と共に促進されると予想する一方で、数値シミュレーションは近傍宇宙で抑制される。この、モード輸送の正則化がどのようなメカニズムで起きるか理解するため、単流近似の元で非摂動的な解析解が知られている1次元問題、及び、宇宙流体のシェルクロスの影響を数値的に取り入れた、近似的3次元ラグランジュ摂動ダイナミクスの解析を行なった。その結果、応答関数の正則化はまさにシェルクロス後の複流領域のダイナミクスにより引き起こされていることを実証した。

#### (2) 摂動理論、数値シミュレーションに基づくハイブリッドモデルの開発

上記の応答関数の正則化を記述する経験則的モデルを開発した。あらかじめ用意された、高精度数値シミュレーションから測定した密度揺らぎのパワースペクトルから、正則化された応答関数が予言する宇宙論パラメータ依存性を補正することで、任意の宇宙論パラメータに対して、パワースペクトルの予言を与えるハイブリッド手法を開発した。この方法では、既存の摂動理論のみに基づくモデルに対して概ね2倍程度の波数領域に対して1%未満の誤差で予言を与えることに成功した。

#### (3) 多点相関関数の間の整合性関係式を利用した、銀河バイアスの推定法の開発

摂動論による相関関数の計算は、多点になるほど煩雑になっていくが、同時に上記で指摘した摂動展開自体の破れや、複流領域のダイナミクスを取り入れて計算を実行することは一般に難しい。一方で、近年の研究から異なる点数の相関関数の間に厳密に成り立つ整合性関係式を利用することで、ある種の極限における相関関数のモデル化が容易になることが分かってきた。一方で、この関係式は、考えている系の持つ対称性(等価原理)や、ガウス初期条件などと言ったごく基本的な要請のみから導かれるものであり、その成否を観測的に検証することで、宇宙の基本的な

原理の検証を可能とする。この関係式の第3の応用として、我々は重力のダイナミクスだけで決まるダークマターの揺らぎと、複雑な素過程を経て形成される銀河の分布との間の未知の関係（銀河バイアス）の決定を行う手法を提案、実装した。最低次数の統計量である、パワースペクトルとバイアススペクトルの間の整合性関係式を手がかりに、数値シミュレーションデータから検証を行い、銀河バイアスを正しく導けることを実証した。同時に赤方偏移歪みの効果を取り入れた関係式の利用へと拡張することに成功した。

#### (4) 伝搬関数を利用した、エミュレーションツールの正則化

本研究と並行して推進していた機械学習に基づく銀河クラスタリングの理論予言ツール（エミュレータ）の開発において、訓練データとして利用する数値シミュレーション自体が持つ統計誤差の影響が問題となっていた。特に、大きなスケールに渡る相関シグナルは相対的に弱い上に、その評価に利用できるフーリエモードの数が少ないため、この問題が特に顕著となっていた。そこで、本研究で開発した伝搬関数に基づく定式化をエミュレータ内部に実装することで、大スケールシグナルが漸近すべき振る舞いを保証した形での理論予言が可能となった。

#### (5) 宇宙論チャレンジプログラムの立案と、宇宙の有効場の理論の徹底検証

(1)で指摘したシェルクロス後の複流ダイナミクスなどの非摂動な効果の影響をパラメータ化し、これを動かすことでよりフレキシブルに観測データにフィットが可能な手法として、宇宙の大規模構造の有効場の理論がある。しかるに、この枠組みに基づく計算には多数の項が現れ、これらの存在化で正しく宇宙論パラメータを推定できるか検証の余地が大いに残っていた。より一般に、宇宙の大規模構造の非線形ダイナミクスを記述する手法の妥当性を、確認バイアスなどの問題を避けつつ宇宙論パラメータレベルで実証するための枠組みが必要とされていた。そこで、シミュレーションで仮定した宇宙論パラメータや、模擬銀河カタログ作成の際に採用したレシピの詳細を解析者に完全に伏せた状態で、理論モデルの精度を検証する枠組みを新たに構築し、「宇宙論チャレンジ」を実施した。このプログラムには、プリンストン大、スタンフォード大を中心とする米国2チームが参加し、各々の持つ解析パイプラインの有効性をテストした。その結果、有効場の理論に基づく理論モデルにより代表的な宇宙論パラメータを概ね1%程度の精度で正しく推定できることを実証した。

#### (6) 銀河形状の相関シグナルを用いた宇宙論のための精密理論モデルの構築

大規模構造の中で重力の影響を受けて形成・進化する銀河の形状は、大スケールの重力場に関する情報が刻まれているものと期待できる。これまで、銀河の形状の相関は、重力レンズ効果の解析の際の系統誤差としての文脈で評価されてきた。一方で、上記の理由から、この相関シグナル自体が新しい宇宙論の窓となり得る。これを利用した宇宙論を行うため、大規模数値シミュレーションデータと、摂動理論との比較から、この効果の精密決定を行なった。特に、旧来議論されてきた銀河の形状の自己相関、密度場との共相関に加え、速度場との相関にまで議論を拡張し、将来観測からアクセス可能な様々なプローブを通じてこの効果を測定する可能性を切り拓いた。

#### (7) 局所的に非等方膨張する宇宙における構造形成シミュレーションの定式化と実装

(6)で議論した銀河の形状相関や、銀河の特異速度場がもたらす銀河分布の見かけの非等方性(赤方偏移歪み効果)の定量化には、局所的な重力ダイナミクスと大スケールの潮汐場との相互作用を理解することが肝要である。これを数値的に評価するため、宇宙の大局的な膨張則から切り離して局所的なダイナミクスを追いかける separate universe approach の枠組みを用いて、大スケールの潮汐場の影響で局所的に非等方膨張する宇宙における構造形成について定式化、数値シミュレーションコードへ実装した。特に、これまで Particle-Mesh 法に基づいて長距離力にのみ実装されてきたこの効果を、Tree 法によって計算される短距離へと整合的に実装することに成功した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件 / うち国際共著 19件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Okumura Teppei, Taruya Atsushi, Nishimichi Takahiro	4. 巻 494
2. 論文標題 Testing tidal alignment models for anisotropic correlations of halo ellipticities with N-body simulations	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 694 ~ 702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa718	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Reimberg P, Bernardeau F, Nishimichi T, Rizzato M	4. 巻 492
2. 論文標題 Failures of Halofit model for computation of Fisher matrices: a response function analysis	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 5226 ~ 5233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa152	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kobayashi Yosuke, Nishimichi Takahiro, Takada Masahiro, Takahashi Ryuichi	4. 巻 101
2. 論文標題 Cosmological information content in redshift-space power spectrum of SDSS-like galaxies in the quasilinear regime up to $k=0.3\text{-hMpc}^{-1}$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 23510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.023510	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Okabe Taizo, Nishimichi Takahiro, Oguri Masamune, Peirani Sebastien, Kitayama Tetsu, Sasaki Shin, Suto Yasushi, Pichon Christophe, Dubois Yohan	4. 巻 491
2. 論文標題 Cosmological evolution of orientations of cluster-sized dark matter haloes and their central galaxies in the Horizon-AGN simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2268 ~ 2279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Marinucci Marco、Nishimichi Takahiro、Pietroni Massimo	4. 巻 100
2. 論文標題 Measuring bias via the consistency relations of the large scale structure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.123537	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okumura Teppei、Taruya Atsushi、Nishimichi Takahiro	4. 巻 100
2. 論文標題 Intrinsic alignment statistics of density and velocity fields at large scales: Formulation, modeling, and baryon acoustic oscillation features	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 103507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.103507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Murata Ryoma、Oguri Masamune、Nishimichi Takahiro、Takada Masahiro、Mandelbaum Rachel、More Surhud、Shirasaki Masato、Nishizawa Atsushi J、Osato Ken	4. 巻 71
2. 論文標題 The mass-richness relation of optically selected clusters from weak gravitational lensing and abundance with Subaru HSC first-year data	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz092	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hamabata Akinari、Oguri Masamune、Nishimichi Takahiro	4. 巻 489
2. 論文標題 Constraining cluster masses from the stacked phase space distribution at large radii	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1344 ~ 1356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz2227	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishimichi Takahiro, Takada Masahiro, Takahashi Ryuichi, Osato Ken, Shirasaki Masato, Oogi Taira, Miyatake Hironao, Oguri Masamune, Murata Ryoma, Kobayashi Yosuke, Yoshida Naoki	4. 巻 884
2. 論文標題 Dark Quest. I. Fast and Accurate Emulation of Halo Clustering Statistics and Its Application to Galaxy Clustering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3719	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hamabata Akinari, Oogi Taira, Oguri Masamune, Nishimichi Takahiro, Nagashima Masahiro	4. 巻 488
2. 論文標題 New constraints on red-spiral galaxies from their kinematics in clusters of galaxies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4117 ~ 4125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1991	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyatake Hironao, Battaglia Nicholas, Hilton Matt, 他 (計60名、Takahiro Nishimichiを含む)	4. 巻 875
2. 論文標題 Weak-lensing Mass Calibration of ACTPol Sunyaev-Zel'ovich 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 ~ 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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Osato Ken, Nishimichi Takahiro, Oguri Masamune, Takada Masahiro, Okumura Teppei	4. 巻 477
2. 論文標題 Strong orientation dependence of surface mass density profiles of dark haloes at large scales	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2141 ~ 2153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty762	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okabe Taizo, Nishimichi Takahiro, Oguri Masamune, Peirani Sebastien, Kitayama Tetsu, Sasaki Shin, Suto Yasushi	4. 巻 478
2. 論文標題 Projected alignment of non-sphericities of stellar, gas, and dark matter distributions in galaxy clusters: analysis of the Horizon-AGN simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1141 ~ 1160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1068	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okumura Teppei, Nishimichi Takahiro, Umetsu Keiichi, Osato Ken	4. 巻 98
2. 論文標題 Splashback radius of nonspherical dark matter halos from cosmic density and velocity fields	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 23523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.023523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Taruya Atsushi, Nishimichi Takahiro, Jeong Donghui	4. 巻 98
2. 論文標題 Grid-based calculation for perturbation theory of large-scale structure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 103532
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.103532	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Child Hillary L., Takada Masahiro, Nishimichi Takahiro, Sunayama Tomomi, Slepian Zachary, Habib Salman, Heitmann Katrin	4. 巻 98
2. 論文標題 Bispectrum as baryon acoustic oscillation interferometer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123521
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.123521	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Han Jiaxin, Li Yin, Jing Yipeng, Nishimichi Takahiro, Wang Wenting, Jiang Chunyan	4. 巻 482
2. 論文標題 The multidimensional dependence of halo bias in the eye of a machine: a tale of halo structure, assembly, and environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1900 ~ 1919
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2822	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Takahashi Ryuichi, Nishimichi Takahiro, Takada Masahiro, Shirasaki Masato, Shiroyama Kosei	4. 巻 482
2. 論文標題 Covariances for cosmic shear and galaxy?galaxy lensing in the response approach	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4253 ~ 4277
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2962	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murata Ryoma, Nishimichi Takahiro, Takada Masahiro, Miyatake Hironao, Shirasaki Masato, More Surhud, Takahashi Ryuichi, Osato Ken	4. 巻 854
2. 論文標題 Constraints on the Mass?Richness Relation from the Abundance and Weak Lensing of SDSS Clusters	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 120 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaaab8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishimichi Takahiro, Noda Eugenio, Peloso Marco, Pietroni Massimo	4. 巻 2018
2. 論文標題 BAO extractor: bias and redshift space effects	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 035 ~ 035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/01/035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Uhlemann C, Pajer E, Pichon C, Nishimichi T, Codis S, Bernardeau F	4. 巻 474
2. 論文標題 Hunting high and low: disentangling primordial and late-time non-Gaussianity with cosmic densities in spheres	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2853 ~ 2870
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx2623	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Nishimichi Takahiro, Bernardeau Francis, Taruya Atsushi	4. 巻 96
2. 論文標題 Moving around the cosmological parameter space: A nonlinear power spectrum reconstruction based on high-resolution cosmic responses	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123515 ~ 123515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.123515	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

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

1. 著者名 Nishizawa Atsushi J, Oguri Masamune, Oogi Taira, More Surhud, Nishimichi Takahiro, Nagashima Masahiro, Lin Yen-Ting, Mandelbaum Rachel, Takada Masahiro, Bahcall Neta, Coupon Jean, Huang Song, Jian Hung-Yu, Komiyama Yutaka, Leauthaud Alexie, Lin Lihwai, Miyatake Hironao, Miyazaki Satoshi, Tanaka Masayuki	4. 巻 70
2. 論文標題 First results on the cluster galaxy population from the Subaru Hyper Suprime-Cam survey. II. Faint end color?magnitude diagrams and radial profiles of red and blue galaxies at 0.1?<z?<?1.1	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 S24 ~ S24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx106	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計22件(うち招待講演 10件/うち国際学会 12件)

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Emulating Halo Statistics for Large Scale Structure Cosmology
3. 学会等名 Emulator Day Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Emulating Halo Statistics for Large-Scale Structure Cosmology
3. 学会等名 The first Shanghai Assembly on Cosmology and Galaxy Formation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Dark Quest. I. Fast and Accurate Emulation of Halo Clustering Statistics and Its Application to Galaxy Clustering
3. 学会等名 15th Rencontre du Vietnam ' ' Cosmology ' ' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Dark Quest & Emulator for HSC
3. 学会等名 Emulation of Dark Matter and Galaxy Clustering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Galaxy-galaxy lensing: its emulator and the prospects for HSC analyses
3. 学会等名 CosKASI conference 2019 ``The Correlated Universe`` (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 機械学習と宇宙大規模構造
3. 学会等名 QUCS 2019「シミュレーションによる宇宙の基本法則と進化の解明に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 数値シミュレーションと機械学習による理論テンプレート構築：現状と展望
3. 学会等名 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」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Emulating halo clustering and application to data
3. 学会等名 Munich Institute for Astro- and Particle Physics Scientific Program 2019 ``Dynamics of Large-Scale Structure Formation`` (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi、Atsushi Taruya、Anaëlle Halle、Stephane Colombi
2. 発表標題 On the UV sensitivity of the power spectrum response function
3. 学会等名 PTChat@Kyoto Perturbative approaches to large-scale structure of the Universe (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 宇宙大規模構造を用いた宇宙論のデータ科学的側面
3. 学会等名 日本物理学会第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西道啓博、Massimo Pietroni、Marco Marinucci
2. 発表標題 宇宙大規模構造整合性関係式と多点相関関数におけるバリオン音響振動の兆候
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Dark Quest I.: A New Simulation Suite for Halo Clustering at 100+1 $\Lambda$ CDM Models
3. 学会等名 The 4th CosKASI-ICG-NAOC-YITP Joint Workshop on Frontiers of Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 銀河・銀河レンズ効果と銀河クラスタリングのためのエミュレータ
3. 学会等名 第7回観測的宇宙論ワークショップ(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 宇宙大規模構造理論予言の現状と展望
3. 学会等名 第31回理論懇シンポジウム「宇宙物理の標準理論:未来に向けての再考」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Dark Quest I. Emulators for the clustering of halos/galaxies
3. 学会等名 The Nonlinear Universe 2018(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西道啓博
2. 発表標題 宇宙大規模構造エミュレータとニュートリノの影響
3. 学会等名 2018年度CfCAユーザーズミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Dark Quest I.: A New Simulation Suite for Halo Clustering at 100 $\Lambda$ CDM models
3. 学会等名 Statistical Challenges in 21st Century Cosmology ( 国際学会 )
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西道啓博、樽家篤史、Anaëlle Halle、Stephane Colombi
2. 発表標題 宇宙論的応答関数に対するシエルクロッシングの影響
3. 学会等名 日本天文学会2019春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Response function of the cosmic density power spectrum and reconstruction
3. 学会等名 Next-generation cosmology with large-scale structure: CosKASI-ICG-NAOC-YITP joint workshop ( 国際学会 )
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahiro Nishimichi
2. 発表標題 Response function and reconstruction for accurate tests of dark energy using clustering statistics on BAO scale
3. 学会等名 Dark Energy and Modified-Gravity cosmologies: DARK-MOD ( 国際学会 )
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西道啓博, 高田昌広, 吉田直紀, 大木平, 大里健, 大栗真宗, 白崎正人, 浜名崇, 高橋龍一, 宮武広直
2. 発表標題 Dark Emulator Project I. 機械学習に基づく銀河空間相関量の高速予言
3. 学会等名 日本天文学会2017秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西道啓博, 小林洋祐, 高田昌広
2. 発表標題 PFSに向けた大規模シミュレーション群と機械学習を用いた精密理論予言
3. 学会等名 日本天文学会2018春季年会
4. 発表年 2018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