

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K03874

研究課題名（和文）次世代精密宇宙論を見据えた初期宇宙進化の探求

研究課題名（英文）Exploring the early Universe from the perspective of the next generation of precision cosmology

研究代表者

高橋 智（Takahashi, Tomo）

佐賀大学・理工学部・准教授

研究者番号：60432960

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）：本研究では今後の次世代精密宇宙論時代において、どのように初期宇宙進化を探っていくか、インフレーション時期を中心に様々な知見を得た。インフレーションモデルに関して、重力と非最小結合を持つフレームワーク、複数場のフレームワークにおけるインフレーションモデルを中心に研究を進め、観測量に対する理論予測、観測データとの整合性などについて解析し多くの知見を得た。また、これまでの初期宇宙論研究ではあまり考えられていなかった物理量（観測）についても検討し、現在、および、将来の観測におけるそれらの有用性について解析を行い、様々な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究においては、今後の次世代精密宇宙論を見据えた様々な解析を行った。本研究で得られた知見は、将来、観測から得られたデータを用いて初期宇宙進化を探る際、非常に有用になるであろう。また、モデル構築の観点からの研究も進め、多角的に初期宇宙進化を検証する手法を議論した。これらは本研究の意義深い点である。本研究は宇宙誕生直後に起こったと考えられるインフレーション時期から、その後の初期宇宙進化を探る研究であり、人類の宇宙観に関わる研究テーマである。これは根源知を追求するものであり、この点が本研究の社会的意義である。

研究成果の概要（英文）：We have investigated how and to what extent we can probe scenarios of the early Universe in the next-generation precision cosmology era. In particular, we studied how the inflationary epoch can be tested in future precision cosmology era. Theoretical aspects of models of inflation have also been investigated, paying particular attention to the frameworks with non-minimal coupling to gravity, multi-field models and so on. Furthermore, a new methodology has also been explored to probe the evolution of the early Universe, and then we investigated its usefulness in obtaining information on the physics of the early Universe in current and future observations.

研究分野：宇宙論

キーワード：初期宇宙進化 インフレーション

## 1. 研究開始当初の背景

近年のプランク衛星による宇宙背景放射の精密観測により、宇宙の構成要素の量（密度パラメタ）などの宇宙論的パラメタが精密に測定され、宇宙進化に関する精密な情報が得られるようになった。しかしながら、宇宙初期に起こったと考えられているインフレーションのメカニズム、原始密度揺らぎの生成機構、および、インフレーション後の再加熱時期、その後の宇宙進化過程などの十分な理解には至っておらず、本研究開始時期は、プランク衛星後の精密宇宙論においてどのようなアプローチで研究を進めることで、それらの理解へ近づけるか十分検討すべき時期であった。特に、2020年代以降の宇宙背景放射の偏光観測、銀河サーベイ、中性水素 21cm 線など、次世代の精密宇宙論観測を見据え、初期宇宙進化を解明するために、初期宇宙進化シナリオについて、どのような理論予言を行うべきか、そして、その理論予言を次世代の観測でどのように検証すべきか、という問題意識での研究開始であった。

## 2. 研究の目的

本研究は初期宇宙進化の詳細な理解に近づくため、具体的には以下のような目的で研究を行った：

- (i) 次世代の精密宇宙論において、精度の向上が期待できる物理量（観測量）は何か、また、その物理量を用いて初期宇宙進化のどのような側面を探るべきか明確にし、さらに、それらの物理量を用いた際、どこまで初期宇宙進化を検証できるか明らかにする。
- (ii) インフレーション時期のみでなく、インフレーション以後、特に再加熱時期からビッグバン元素合成時期までの初期宇宙進化モデルをどこまで検証できるか、その方法論、および、手法を構築する。
- (iii) 従来の初期宇宙研究ではあまり考えられてこなかった初期宇宙の検証方法についても模索し、新たなアプローチの可能性を拓く。

これらの目的を達成するため、以下のような研究の方法により、研究を進めた。

## 3. 研究の方法

次世代の精密宇宙観測を念頭にインフレーション時期からの初期宇宙進化、および、原始密度揺らぎの性質を探るため、まずは小スケールでの密度揺らぎ、原始重力波に着目して解析を進めた。この際、インフレーションモデルを構築するフレームワーク（重力と非最小結合を持つモデル、複数場インフレーションモデル）での予言なども踏まえ、解析を進めた。また、素粒子論におけるモデルと初期宇宙進化の整合性の観点からも研究を進めるなどし、多角的な観点での検討も行った。

さらには、原始密度揺らぎの新しいプローブの開拓について、将来観測を見据え、どのような観測、物理量が有用かについても検討を進め、次世代精密宇宙論における初期宇宙進化研究のストラテジーを構築すべく研究を行った。

## 4 . 研究成果

### (1) 重力と非最小結合をもつインフレーションモデルの一般的解析

インフラトン場が重力と最小結合している場合にはプランク衛星等の観測データによる制限で排除されるモデルであっても、重力と非最小結合を持つことにより、原始密度揺らぎのスケール依存性、重力波の振幅に対する理論予言が影響を受け、観測データと整合するようになる場合がある。そのような例としてヒッグスインフレーションがあるが、非最小結合の観測量に対する影響はインフラトン場と重力の非最小結合の形（関数形）また、インフラトン場の（ジョルダンフレームでの）ポテンシャルに依って一般には異なる。本研究では、インフラトン場が重力と非最小結合を持つモデルについて、非最小結合とインフラトン場のポテンシャルの形によって、3つのクラスに分け、それぞれのクラスにおける原始密度揺らぎのスケール依存性、重力波の振幅に対する典型的な予言を導いた [Kodama, Takahashi 2022]。

さらに、複数場インフレーションモデルにおいて、重力と非最小結合があるモデルについても解析を行った [Hyun, Kim, Park, Takahashi 2022; Hyun, Kim, Kodama, Park, Takahashi 2023]。特に、インフレーション中には宇宙膨張のダイナミクスには影響を与えないスペクテーター場が重力と非最小結合を持つ場合について、一般的な解析を行った。この複数場のセットアップにおいても、モデルを幾つかのクラスに分類し、それぞれのクラスの典型的な原始密度揺らぎのスケール依存性、重力波の振幅等に関する理論予言を与えた。これは、どのようなモデルが現在の観測と整合し得るかを理解する点において有用である。

さらに、スペクテーター場が重力と非最小結合をもつモデルにおける、ダブルインフレーション（インフレーションが2度起こるモデル）に関する研究もある [Kubota, Oda, Rusak, Takahashi 2022]。インフラトン場、スペクテーター場の両方について、カオスのインフレーション型の2次のポテンシャルを仮定して解析を行い、スペクテーター場が重力と非最小結合をもつ場合、スペクテーター場の値がインフレーション中に増大することが比較的容易に起こり、その場合にダブルインフレーションとなることを具体的に示した。このとき、原始密度揺らぎの観測量に対する予言も影響を受けるが、どのような場合（どのような非最小結合の大きさ、スペクテーター場の初期値の場合）に観測データと整合するかについても具体的に示した。

上記の研究結果は、重力と非最小結合をもつインフレーションモデル構築の際、非常に有用となるであろう。

### (2) 銀河の光度関数の観測を用いた原始密度揺らぎの探査

原始密度揺らぎの性質はプランク衛星等による宇宙マイクロ波背景放射の観測から精密に測定されている。しかしながら、宇宙マイクロ波背景放射の観測は大きなスケールの揺らぎの観測であり、より幅広いスケール（特に小スケール）で原始密度揺らぎを検証するには、他の観測による方法を模索する必要がある。その新しい方法の一つとして、本研究では銀河の光度関数による検証を提案した。銀河の光度関数はハロー質量関数に依存するが、このハロー質量関数は原始密度揺らぎの性質に依存する。よって、逆に銀河の光度関数を用いることで原始密度揺らぎを探査することができる。本研究では、赤方偏移が  $z=6-10$  の銀河の光度関数のデータを用いて原始密度揺らぎの性質（パワースペクトルのスペクトル指数およびランニングパラメタ、特定の波数領域の振幅など）に対する制限を得た [Yoshiura, Oguri, Takahashi, Takahashi 2020]。解析においては、宇宙物理学的なプロセスの不定性も考慮するため、幾つかの宇宙物理学的なパラメタを導入し、原始密度揺らぎの性質を表すパラメタと同時に解析の中に取り入れたマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた。宇宙物理学的なパラメタの不定性などもあるため、現段階ではこの方法による原始密度揺らぎの性質に対する制限は、宇宙背景放射からの制限と比較すると、厳しいものにはならないが、上記の赤方偏移領域の光度関数を用いることにより、特に波数が  $k=10-1000/\text{Mpc}$  の小スケールの原始密度揺らぎが探査できることを具体的に示した。また、本研究の解析は、宇宙物理学的なパラメタを銀河の光度関数から求める際、小スケールの原始密度揺らぎの性質が影響を与え得ることを具体的に示した点においても意義深い。

### (3) 将来の宇宙背景放射 B モード偏光観測による複数場インフレーションの検証

将来の宇宙背景放射 B モード偏光観測である LiteBIRD では、原始重力波の振幅のみでなく、(原始重力波の振幅の大きさにも依るが)原始重力波パワースペクトルのスケール依存性に対する情報もこれまでの観測よりも詳細に得られると期待できる。単一場インフレーションモデルにおいては、原始重力波の振幅を表すテンソル・スカラー比と原始重力波パワースペクトルのスケール依存性を表すスペクトル指数の間にある整合性関係が成り立つが、カーバトンモデルなどの複数場インフレーションモデルではこの整合性関係が単一場モデルのものから逸脱する。つまり、原始重力波パワースペクトルのスペクトル指数も測定することが出来れば、この整合性関係の逸脱を検証することが出来、インフレーションモデルの峻別に非常に有用となる。

本研究では、将来の LiteBIRD 実験で期待される観測精度で、原始重力波パワースペクトルのスペクトル指数がどの程度で決定(制限)されるか、また、その制限を用いた場合、どの程度複数場インフレーションモデルの検証となり得るか解析を行った [Jinno, Kohri, Moroi, Takahashi, Hazumi 2024]。その結果、プランク衛星のデータによる原始密度揺らぎ(スカラーモード)パワースペクトルのスペクトル指数の情報と合わせることにより、LiteBIRD 実験で期待される原始重力波の振幅、および、パワースペクトルのスケール依存性に対する情報(制限)は複数場インフレーションモデルを検証する上で非常に有用であることを示した。

### (4) 原始重力波による宇宙の再加熱時期の検証

本研究期間中に NANOGrav からパルサータイミングアレイによる重力波のデータに関する発表があった。NANOGrav の結果を原始重力波で説明するためには、より小スケールで振幅がより大きくなるような原始重力波パワースペクトルを仮定する必要があるが、小スケールで重力波の振幅が大きくなる場合、ビッグバン元素合成、LIGO-Virgo の観測データと矛盾する可能性がある。ただし、インフレーション後の再加熱温度が十分低ければ、これらのデータと矛盾することなく NANOGrav のデータを説明できる。どの程度の再加熱温度であれば、他の観測と矛盾することなく NANOGrav の観測を説明できるか解析を行い、その際、必要となる原始重力波パワースペクトルのスペクトル指数、再加熱温度、テンソル・スカラー比の値を具体的に調べた [Kuroyanagi, Takahashi, Yokoyama 2021]。また、インフレーション後の再加熱の後にエントロピー生成が起こるシナリオについても考え、どの程度のエントロピー生成があれば上記の観測と矛盾しないか、などの解析も行った。本研究は重力波の観測が(モデルに依存する部分はあるものの)インフレーション後の初期宇宙進化を探る上で非常に有用であることを具体的に示している点でも意義深い研究である。

### (5) 一般化した早期暗黒エネルギーモデルにおける初期宇宙進化

早期暗黒エネルギーは「ハッブル定数問題」を解決することを動機として近年様々な研究がなされている。早期暗黒エネルギーはある種のポテンシャルを持ったスカラー場として導入されるが、「ハッブル定数問題」の解決を動機とする場合、宇宙の再結合時期あたりにエネルギー密度の全体に対する割合がある程度大きくなる必要がある。しかしながら、スカラー場の初期値、ポテンシャルの中のパラメタに依っては必ずしも再結合時期にエネルギー密度の割合が大きくなり、むしろ宇宙初期の他の時期に影響を与える可能性がある。本研究では、そのような一般化された暗黒エネルギーの宇宙初期進化への影響を調べた [Kodama, Shinohara, Takahashi 2024]。幾つかのタイプのポテンシャルを考え、どのようなパラメタ領域で宇宙進化に影響を与え得るか解析を行った。早期暗黒エネルギーが進化のある時期に宇宙の支配的な成分となる場合、原始重力波が増大することを議論し、どのようなポテンシャル、スカラー場の初期値の場合に将来観測の LISA, DECIGO 等で検出される可能性があるかについても詳細な解析を行った。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 33件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Minoda Teppei, Yoshiura Shintaro, Takahashi Tomo	4. 巻 105
2. 論文標題 Probing isocurvature perturbations with 21-cm global signal in the light of HERA result	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 083523-083523
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.083523	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 Hyun Sang Chul, Kim Jinsu, Park Seong Chan, Takahashi Tomo	4. 巻 2022
2. 論文標題 Non-minimally assisted chaotic inflation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 045 ~ 045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/05/045	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 Kubota Mio, Oda Kin-ya, Rusak Stanislav, Takahashi Tomo	4. 巻 2022
2. 論文標題 Double inflation via non-minimally coupled spectator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 016 ~ 016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/06/016	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 Morishita Yukiyoshi, Takahashi Tomo, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 2022
2. 論文標題 Multi-chaotic inflation with and without spectator field	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 042 ~ 042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/07/042	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 Hashino Katsuya, Kanemura Shinya, Takahashi Tomo	4. 巻 833
2. 論文標題 Primordial black holes as a probe of strongly first-order electroweak phase transition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137261 ~ 137261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2022.137261	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 Takahashi Tomo, Yamada Toshifumi, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 2022
2. 論文標題 Sneutrinos as two inflatons and curvaton and leptogenesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 021 ~ 021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/11/021	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 Hashino Katsuya, Kanemura Shinya, Takahashi Tomo, Tanaka Masanori	4. 巻 838
2. 論文標題 Probing first-order electroweak phase transition via primordial black holes in the effective field theory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 137688 ~ 137688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2023.137688	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 Yamauchi Daisuke, Ishimaru Shoya, Matsubara Takahiko, Takahashi Tomo	4. 巻 107
2. 論文標題 Skewness consistency relation in large-scale structure and test of gravity theory	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 043526-043526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.043526	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 Sekiguchi Toyokazu、Takahashi Tomo	4. 巻 103
2. 論文標題 Early recombination as a solution to the H0 tension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.083507	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 Sekiguchi Toyokazu、Takahashi Tomo	4. 巻 103
2. 論文標題 Cosmological bound on neutrino masses in the light of H0 tension	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83516
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.083516	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 Shinohara Takumi、Suyama Teruaki、Takahashi Tomo	4. 巻 104
2. 論文標題 Angular correlation as a novel probe of supermassive primordial black holes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 23526
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.023526	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 Okamoto Fumiya、Sekiguchi Toyokazu、Takahashi Tomo	4. 巻 104
2. 論文標題 H0 tension without CMB data: Beyond the LCDM	5. 発行年 2021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.104.023523	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 -

1. 著者名 Lee Sung Mook, Modak Tanmoy, Oda Kin-ya, Takahashi Tomo	4. 巻 82
2. 論文標題 The R <sup>2</sup> -Higgs inflation with two Higgs doublets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 82:12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-021-09978-w	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 Kodama Tatsuki, Takahashi Tomo	4. 巻 105
2. 論文標題 Relaxing inflation models with nonminimal coupling: A general study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 63542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.063542	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 Takahashi Tomo, Tenkanen Tommi, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 102
2. 論文標題 Violation of slow-roll in nonminimal inflation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 43524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.043524	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 Yoshiura Shintaro, Oguri Masamune, Takahashi Keitaro, Takahashi Tomo	4. 巻 102
2. 論文標題 Constraints on primordial power spectrum from galaxy luminosity functions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.083515	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 Enqvist Kari, Sawala Till, Takahashi Tomo	4. 巻 2020
2. 論文標題 Structure formation with two periods of inflation: beyond PL $\Lambda$ n CDM	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 053 ~ 053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/10/053	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 Kuroyanagi Sachiko, Takahashi Tomo, Yokoyama Shuichiro	4. 巻 2021
2. 論文標題 Blue-tilted inflationary tensor spectrum and reheating in the light of NANOGraV results	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 071 ~ 071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/01/071	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 Allahverdi Rouzbeh, ... Takahashi Tomo, .... et al	4. 巻 4
2. 論文標題 The First Three Seconds: a Review of Possible Expansion Histories of the Early Universe	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Open Journal of Astrophysics	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21105/astro.2006.16182	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 Takahashi Tomo, Tenkanen Tommi	4. 巻 1904
2. 論文標題 Towards distinguishing variants of non-minimal inflation	5. 発行年 2019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) 10.1088/1475-7516/2019/04/035	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 Minoda Teppei, Tashiro Hiroyuki, Takahashi Tomo	4. 巻 488
2. 論文標題 Insight into primordial magnetic fields from 21-cm line observation with EDGES experiment	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 2001 ~ 2005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1860	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 Ando Shin' ichiro, Kamada Ayuki, Sekiguchi Toyokazu, Takahashi Tomo	4. 巻 100
2. 論文標題 Smallest halos in thermal wino dark matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.123519	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 Enqvist Kari, Nadathur Seshadri, Sekiguchi Toyokazu, Takahashi Tomo	4. 巻 2004
2. 論文標題 Constraints on decaying dark matter from weak lensing and cluster counts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/04/015	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 Yoshiura Shintaro, Takahashi Keitaro, Takahashi Tomo	4. 巻 101
2. 論文標題 Probing Small Scale Primordial Power Spectrum with 21cm Line Global Signal	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 83520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.083520	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 Jinno Ryusuke, Kohri Kazunori, Moroi Takeo, Takahashi Tomo, Hazumi Masashi	4. 巻 2024
2. 論文標題 Testing multi-field inflation with LiteBIRD	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 011 ~ 011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2024/03/011	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 Kodama Tatsuki, Shinohara Takumi, Takahashi Tomo	4. 巻 109
2. 論文標題 Generalized early dark energy and its cosmological consequences	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 063518-063518
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.109.063518	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 Kitajima Naoya, Takahashi Tomo	4. 巻 2023
2. 論文標題 Stochastic gravitational wave background from early dark energy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 074 ~ 074
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/10/074	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 Takahashi Tomo, Toda Yo	4. 巻 2023
2. 論文標題 Impact of big bang nucleosynthesis on the H0 tension	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 101 ~ 101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/11/101	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 Seto Osamu, Takahashi Tomo, Toda Yo	4. 巻 108
2. 論文標題 Variation of the fine structure constant in light of recent helium abundance measurement	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 023525-023525
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.023525	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 Minoda Teppei, Yoshiura Shintaro, Takahashi Tomo	4. 巻 108
2. 論文標題 Impact of the primordial fluctuation power spectrum on the reionization history	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123542-123542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.123542	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 Shinohara Takumi, He Wanqiu, Matsuoka Yoshiki, Nagao Tohru, Suyama Teruaki, Takahashi Tomo	4. 巻 108
2. 論文標題 Supermassive primordial black holes: A view from clustering of quasars at $z \sim 6$	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 063510-063510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.063510	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 Lee Sung Mook, Modak Tanmoy, Oda Kin-ya, Takahashi Tomo	4. 巻 2023
2. 論文標題 Ultraviolet sensitivity in Higgs-Starobinsky inflation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 045 ~ 045
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/08/045	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 Hyun Sang Chul, Kim Jinsu, Kodama Tatsuki, Park Seong Chan, Takahashi Tomo	4. 巻 2023
2. 論文標題 Nonminimally assisted inflation: a general analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 050 ~ 050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/05/050	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14件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Non-cold Dark Matter Cosmology
3. 学会等名 Deep insights and Multiple strategies for Deciphering the Mystery of Dark Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 What does the Hubble tension tell us?
3. 学会等名 AAPPs-DACG 2022 workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Tensions in Cosmology: Implications for new physics
3. 学会等名 2023 Winter-II NRF-JSPS Workshop in particle physics, Cosmology and Gravitation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Tensions in cosmology and its implications for new physics
3. 学会等名 Kagoshima Workshop on Particles, Fields and Strings 2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 A solution of the Hubble tension in cosmology and its impacts on other cosmological aspects
3. 学会等名 KEK-PH + KEK-Cosmo + QUP joint lectures and workshops 2023 on "Hubble Tension 2023" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Probing multi-field inflation with LiteBIRD
3. 学会等名 Non-linear nature of cosmological perturbations and its observational consequences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Constructing and probing inflationary models
3. 学会等名 27th International Conference of International Academy of Physical Sciences on Advances in Relativity and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋智
2. 発表標題 How can we really understand the inflationary Universe?
3. 学会等名 Upcoming CMB observations and Cosmology (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 智
2. 発表標題 宇宙論はいかにして進展してきたか
3. 学会等名 第33回 理論懇シンポジウム「理論天文学・宇宙物理学のブレイクスルー」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋 智
2. 発表標題 Cosmological bound on neutrino masses in the light of H0 tension
3. 学会等名 「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Does the H0 tension suggest a new physics?
3. 学会等名 KMI colloquium, Nagoya University (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 A fresh look at H0 tension
3. 学会等名 KIAS and NRF-JSPS Workshop on Particle, String and Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Probing the Primordial Universe with 21cm line
3. 学会等名 International KEK-Cosmo and APCosPA Winter School 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomo Takahashi
2. 発表標題 Aspects of non-minimal inflation
3. 学会等名 The 3rd NRF-JSPS workshop in particle physics, cosmology, and gravitation (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			
オーストラリア	The University of Melbourne			
韓国	Yonsei University			
スイス	CERN			
スペイン	Universidad Complutense de Madrid			
中国	Peking University	Tsinghua University	Tongji University	
ドイツ	Universitat Heidelberg			
フィンランド	University of Helsinki			
米国	Johns Hopkins University			