

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02875

研究課題名（和文）極弱相互作用を持つ軽い新粒子の宇宙論的進化と探索

研究課題名（英文）Cosmological Evolution and Search for Light New Particles with Ultraweak Interactions

研究代表者

高橋 史宜（Takahashi, Fuminobu）

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：60503878

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：軽くて極めて相互作用が弱い新粒子の候補として、アクシオン、ダークフォトンなどが知られており、それらの新たな宇宙論的進化や生成過程、将来実験における探索領域などを提唱した。代表的な成果として、ダークフォトンがダークマターとなるシナリオにおいて、アクシオンによる新たな生成機構を提案した。特に従来難しかった極めて軽い質量をもつダークフォトンが冷たいダークマターとなることがわかった。またインフレーション中のQCDアクシオンのstochastic dynamicsを考慮することで崩壊定数に対する宇宙論的な上限が大きく緩和することを発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

この宇宙に遍在するダークマターやダークエネルギーの候補である粒子に関して、その宇宙論的な進化および生成過程について詳細に調べることによって、新たに尤もらしい質量領域や将来実験におけるパラメータ領域を発見することができた。このような新粒子として、ダークフォトンやアクシオンといった非常に軽い質量をもちながら標準理論粒子との相互作用が非常に弱い粒子があげられる。

研究成果の概要（英文）：We have proposed new cosmological evolution and production process of the weakly interacting slim particles. As a representative result, we proposed a new production mechanism by axions in the scenario where dark photons become dark matter. In particular, it was found that dark photons with extremely low masses, which were difficult to produce, can become cold dark matter. We also find that the cosmological upper bound on the axion decay constant is relaxed significantly by considering the stochastic dynamics of the QCD axion during inflation.

研究分野：素粒子論的宇宙論

キーワード：ダークマター 初期宇宙

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

素粒子標準理論は多くの実験によって非常に高い精度で確認されている。一方で、ダークマターの正体、インフレーションがいかに生じたのか、バリオン非対称性の起源、強いICP問題など多くの重要な未解決問題が残されており、標準理論を超える新しい物理の必要性は明白である。また、新しい物理の探索のためには初期宇宙進化の正しい理解が欠かすことができない。これまで新しい物理とそれに伴う新粒子は未発見であることから、大きく分けて2つの可能性が考えられる。ひとつには、新粒子は非常に重く、そのため今までの加速器のエネルギーでは生成されなかったのかもしれない。あるいは、新粒子は軽いものの、標準理論粒子との相互作用が非常に弱いために発見を免れた可能性がある。このように非常に相互作用が弱く軽い新粒子をWISPs (very weakly interacting slim particles)と呼ぶ。これまでエネルギーフロンティアであるLHC実験において新粒子は見つかっておらず、後者のWISPを探る実験に注目が集まっている。WISPsの代表例として南部・ゴールドストーンボソンであるアクシオン (QCDアクシオン及びaxion-like-particles) 及びhidden photonがあげられる。ここでhidden photonとは、標準理論のSU(3)xSU(2)xU(1)以外の「隠れた」U(1)H対称性のゲージボソンである。これら新粒子は非常に相互作用が弱いものの、初期宇宙や天体内部といった高エネルギーの状況下においては容易に生成され、宇宙や天体の進化に影響を与える事が知られている。特に近年、アクシオンの存在を示唆する観測結果 (具体的には、水平分岐星、赤色巨星、白色矮星の進化に関する理論と観測の比較や、活動銀河核からのガンマ線スペクトル等) が複数報告されている。興味深いことに、観測から示唆されているアクシオンと光子および電子との結合は、近い将来のX線レーザーを用いた実験 (ALPS-II)、太陽アクシオン探索実験 (IAXO)、暗黒物質探索実験 (ADMX, CAPP) によって検証可能な領域にある。さらにビームダンプ実験 (SHiP) など様々なWISP探索実験が世界中で計画されている。このため、将来実験で探査されるパラメタ領域において、WISPの宇宙論的な進化を多面的かつ徹底的に究明する事が喫緊の課題である。

### 2. 研究の目的

アクシオンやhidden photonは標準理論粒子と極めて弱い相互作用を持つ軽い粒子 (WISP) の代表例であり、現在多くのWISP探索実験が進行中ないし計画中である。WISPはダークマターの正体に関する謎を解くだけでなく、インフレーション、天体進化、宇宙の熱史、大統一理論や超弦理論に関して重要な情報をもたらす。本研究の目的は、将来実験の感度領域にあるアクシオンとhidden photonといったWISPの宇宙論進化と新たな宇宙現象を解明することにある。これにより、ダークマター、インフレーション、宇宙の熱史、強いICP問題といった一連の問題の解決へ繋がると期待される。

### 3. 研究の方法

アクシオンやhidden photonはこれまで宇宙進化、天体現象、CMB、ダークマターなど様々な観点から調べられてきたものの、しばしば非常に単純化されたモデルに基づいて解析が行われている。一方、超弦理論から示唆されるアクシオンやhidden photonモデルは必ずしも単純なものではない。例えばAxiverseにおいては非常に広い質量スケールにわたり多くのアクシオンの存在が予言されており、アクシオン間の混合が多彩な現象を引き起こす事が知られている。あるいは、アクシオンがhidden photonやhidden monopoleなど別の隠れたセクターへの架け橋

になっている可能性もある。このように、超弦理論や大統一理論の観点から自然な拡張を系統的に考察することによって、WISPに関する新たな現象を発見し、その実験・観測への含意、検出可能性を明らかにする。また、Hidden photonは光子と運動項混合を持ち、質量を持つ場合には標準理論粒子と結合する。その質量に応じてHidden photonがダークマターになるだけでなく、隠れた $U(1)$ H対称性のもとで変換する物質場もダークマターとなりうる。後者の場合にはhidden photonが標準理論粒子とダークマターとの間の架け橋となる。物質場の存在しない単純なモデルにおけるHidden photonの宇宙論的進化は、過去の研究において詳しく調べられている。一方、隠れた物質場が存在するような拡張モデルの宇宙進化および現象論的含意は十分に調べられていない。以上にあげた代表的な研究課題を確実に遂行するため研究協力員を1名、2年間にわたり雇用し、緊密な連携のもと研究を行なう。

#### 4. 研究成果

アクシオンに関連した研究成果について最初に述べる。QCDアクシオンは大域的 $U(1)$ Peccei-Quinn対称性が自発的に破れることによって生じる南部・ゴールドストーン粒子である。QCDアクシオンは素粒子標準理論における強いCP問題をダイナミカルに解決することができるだけでなく、初期宇宙において大量に生成され、現在の宇宙論の最大の謎のひとつであるダークマターを自然に説明することができるなど、極弱相互作用を持つ新粒子の最有力候補として知られている。横崎は高橋とともに大学院生の大道とともに、QCDアクシオンが隠れたゲージボソンと結合するとき、アクシオンと光子との結合が通常に比べて100倍程度大きくなり、将来実験で容易に観測出来ることを示した。また高橋は川崎とともに、アクシオンがWitten効果によって隠れたセクターのモノポールとの相互作用を通じて初期宇宙において大きな質量を獲得することでそのダイナミクスが大きく変化することを示し、その存在量の解析的な評価を行った。また高橋はインフレーションスケールがQCDスケール以下であった場合、QCDアクシオンが僅かであるがポテンシャルを獲得し、その結果として十分長くインフレーションが続くのであればアクシオン初期値が量子ゆらぎと古典的運動の平衡状態で定まることを示した。その結果として従来初期振幅に微調整が必要だと考えられていた非常に大きい崩壊定数をもつQCDアクシオンの場合であっても、初期振幅の微調整の必要なくダークマターとなりうることを示した。さらに隠れたセクターにおけるモノポールがアクシオンを通じて標準理論粒子と結合するシナリオを提唱し、そのようなアクシオンが将来実験で見つかりうるパラメータ領域およびダークマター直接探査によってモノポールが見つかる領域を同定した。また高橋はaxion-like particleがインフレーションを引き起こした場合に、その質量と崩壊定数の間にシンプルな関係があることを発見し、将来ビームダンプ実験で検証可能な領域があることを示した。素粒子論において、世代の数がなぜ3であるかは大きな謎であり、標準モデルではこれを説明することができない。超対称非線形シグマモデルは世代数3を説明する一つの可能性である。横崎は、このモデルが超重力と無矛盾であることを要求するとアクシオンの存在が予言されることを示した。このアクシオンは、ABRACADABRA等の将来実験で検出が可能である。

次にダークフォトンに関連した研究成果について説明する。横崎と高橋は、隠れた光子と我々の光子が大きな運動項混合を持つ場合、力の大統一と電荷の量子化を説明することができることを示した。また、このセットアップにおいてアクシオンを考えると、我々の光子との結合が非常に大きくなり、将来実験で容易に観測できることを明らかにした。高橋は隠れた光子が暗黒物質となる場合に問題となっていた非相対論的な隠れた光子の生成機構として、アクシオンとの結合を通じた

非摂動効果を提案し、解析的およびlatticeを用いた数値計算を用いてその存在量と将来実験の感度について調べた。また本科研費雇用の松井とともに高橋は、最近提唱された超弦理論におけるSwampland Conjectureにおいて支持されるクインテッセンスシナリオの等曲率揺らぎを議論しベクトル型暗黒物質がそのConjectureにおいて有力な候補であると指摘した。

石渡は宇宙線を用いた暗黒物質の間接検出実験の理論研究を行った。特にマルチメッセンジャー天文学の発展に着目し、素粒子的暗黒物質探索への応用に向けたシミュレーションを進めた。石渡は、核子との相互作用が強く抑制される暗黒物質候補粒子に関する研究を遂行した。この候補粒子と核子との相互作用は量子補正によって記述されることを示し、その散乱断面積の正確な理論予言を与えた。さらに石渡はマルチメッセンジャー天文学を活用した暗黒物質探索の研究を遂行した。暗黒物質から発生する宇宙線粒子全てを天の川銀河内と銀河外それぞれの領域でシミュレーションし、それらを現在存在する高エネルギー宇宙線観測データ全てと比較し、暗黒物質の性質に迫るコードを完成させた。今回特に着目したのは高エネルギー領域のデータであったが、低いエネルギー領域の宇宙線観測への応用が期待でき、今後の極弱新粒子探索に繋がる研究成果を得ることができた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計32件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 19件）

1. 著者名 Yanagida Tsutomu T., Yin Wen, Yokozaki Norimi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Bino-wino coannihilation as a prediction in the E7 unification of families	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	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) 10.1007/JHEP12(2019)169	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 Ibe Masahiro, Suzuki Motoo, Yanagida Tsutomu T., Yokozaki Norimi	4. 巻 79
2. 論文標題 Muon g-2 in Split-Family SUSY in light of LHC run II	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-019-7186-5	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 Cox Peter, Han Chengcheng, Yanagida Tsutomu T., Yokozaki Norimi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Gaugino mediation scenarios for muon g ? 2 and dark matter	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 97
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2019)097	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 Ishiwata Koji, Macias Oscar, Ando Shin'ichiro, Arimoto Makoto	4. 巻 2020
2. 論文標題 Probing heavy dark matter decays with multi-messenger astrophysical data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 003 ~ 003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/01/003	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 Gunji Yoshihiro, Ishiwata Koji	4. 巻 2019
2. 論文標題 Leptogenesis after superconformal subcritical hybrid inflation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2019)065	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 Daido Ryuji, Ho Shu-Yu, Takahashi Fuminobu	4. 巻 2020
2. 論文標題 Hidden monopole dark matter via axion portal and its implications for direct detection searches, beam-dump experiments, and the H0 tension	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 185
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2020)185	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 Kitajima Naoya, Tada Yuichiro, Takahashi Fuminobu	4. 巻 800
2. 論文標題 Stochastic inflation with an extremely large number of e-folds	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135097 ~ 135097
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135097	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 Takahashi Fuminobu, Yin Wen	4. 巻 2019
2. 論文標題 QCD axion on hilltop by a phase shift of .	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2019)120	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 Fuminobu, Yamada Masaki	4. 巻 2019
2. 論文標題 Anthropic bound on dark radiation and its implications for reheating	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 001 ~ 001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/07/001	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 Matsui Hiroki, Takahashi Fuminobu, Terada Takahiro	4. 巻 795
2. 論文標題 Non-singular bouncing cosmology with positive spatial curvature and flat scalar potential	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 152 ~ 159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.06.013	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 Takahashi Fuminobu, Yin Wen	4. 巻 2019
2. 論文標題 ALP inflation and Big Bang on Earth	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2019)095	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 Ho Shu-Yu, Takahashi Fuminobu, Yin Wen	4. 巻 2019
2. 論文標題 Relaxing the cosmological moduli problem by low-scale inflation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)149	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 Agrawal Prateek, Kitajima Naoya, Reece Matthew, Sekiguchi Toyokazu, Takahashi Fuminobu	4. 巻 801
2. 論文標題 Relic abundance of dark photon dark matter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 135136 ~ 135136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.135136	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 Fuminobu, Yin Wen, Guth Alan H.	4. 巻 98
2. 論文標題 QCD axion window and low-scale inflation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	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) 10.1103/PhysRevD.98.015042	査読の有無 無
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 Ho Shu-Yu, Saikawa Ken'ichi, Takahashi Fuminobu	4. 巻 2018
2. 論文標題 Enhanced photon coupling of ALP dark matter adiabatically converted from the QCD axion	5. 発行年 2018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) 10.1088/1475-7516/2018/10/042	査読の有無 無
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 Matsui Hiroki, Takahashi Fuminobu	4. 巻 99
2. 論文標題 Eternal inflation and swampland conjectures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	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) 10.1103/PhysRevD.99.023533	査読の有無 無
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 Matsui Hiroki、Takahashi Fuminobu、Yamada Masaki	4. 巻 789
2. 論文標題 Isocurvature perturbations of dark energy and dark matter from the Swampland conjecture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 387 ~ 392
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.12.055	査読の有無 無
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 Nakayama Kazunori、Takahashi Fuminobu、Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 790
2. 論文標題 Revisiting the number-theory dark matter scenario and the weak gravity conjecture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 218 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.01.013	査読の有無 無
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 Nagai Ryo、Takahashi Fuminobu、Yokozaki Norimi	4. 巻 784
2. 論文標題 Heavy gravitino from dynamical generation of right-handed neutrino mass scale, and gravitational waves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 37 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.07.022	査読の有無 無
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 Daido Ryuji、Takahashi Fuminobu、Yokozaki Norimi	4. 巻 780
2. 論文標題 Enhanced axion-photon coupling in GUT with hidden photon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 538 ~ 542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.03.039	査読の有無 無
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 Nagai Ryo, Takahashi Fuminobu, Yokozaki Norimi	4. 巻 784
2. 論文標題 Heavy gravitino from dynamical generation of right-handed neutrino mass scale, and gravitational waves	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 37 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.07.022	査読の有無 無
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 Ishiwata Koji, Toma Takashi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Probing pseudo Nambu-Goldstone boson dark matter at loop level	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	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) 10.1007/JHEP12(2018)089	査読の有無 無
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 Ishiwata Koji	4. 巻 782
2. 論文標題 Superconformal subcritical hybrid inflation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 367 ~ 371
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.05.047	査読の有無 無
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 Matsui Hiroki	4. 巻 2019
2. 論文標題 Instability of de Sitter spacetime induced by quantum conformal anomaly	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 003 ~ 003
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2019/01/003	査読の有無 無
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 Keisuke Inomata, Masahiro Kawasaki, Kyohei Mukaida, Yuichiro Tada, and Tsutomu T. Yanagida	4. 巻 96
2. 論文標題 O(10)Msolar primordial black holes and string axion dark matter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW D	6. 最初と最後の頁 123527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.123527	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 Nakayama Kazunori, Takahashi Fuminobu, Yokozaki Norimi	4. 巻 770
2. 論文標題 Gravitational waves from domain walls and their implications	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 500 ~ 506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.05.010	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 Ryuji Daido, Fuminobu Takahashi, Wen Yin	4. 巻 2
2. 論文標題 The ALP miracle revisited	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP02(2018)104	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 Masahiro Kawasaki, Fuminobu Takahashi, Masaki Yamada	4. 巻 1
2. 論文標題 Adiabatic suppression of the axion abundance and isocurvature due to coupling to hidden monopoles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2018)053	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 Daido Ryuji, Takahashi Fuminobu	4. 巻 772
2. 論文標題 The sign of the dipole-dipole potential by axion exchange	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 127 ~ 129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.06.027	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 Daido Ryuji, Takahashi Fuminobu, Yokozaki Norimi	4. 巻 768
2. 論文標題 Gauge coupling unification with hidden photon, and minicharged dark matter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 30 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2017.01.085	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 Daido Ryuji, Takahashi Fuminobu, Yin Wen	4. 巻 5
2. 論文標題 The ALP miracle: unified inflaton and dark matter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 044 ~ 044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2017/05/044	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 Daido Ryuji, Takahashi Fuminobu, Yokozaki Norimi	4. 巻 780
2. 論文標題 Enhanced axion-photon coupling in GUT with hidden photon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 538-542
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.03.039	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33件（うち招待講演 20件 / うち国際学会 24件）

1. 発表者名 N. Yokozaki
2. 発表標題 SUSY model for dark matter and muon g-2
3. 学会等名 新学術領域「なぜ宇宙は加速するのか? - 徹底的究明と将来への挑戦-」(Why does the Universe accelerate?-Exhaustive study and challenge for the future) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Ishiwata
2. 発表標題 Leptogenesis in superconformal subcritical hybrid inflation
3. 学会等名 Planck 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishiwata
2. 発表標題 Probing heavy dark matter decays with multi-messenger astrophysical data
3. 学会等名 Scalar 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishiwata
2. 発表標題 Brief review of direct detection of dark matter
3. 学会等名 2019年度第1回CRC将来計画タウンミーティング (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Ishiwata
2. 発表標題 Phenomenology of superconformal subcritical hybrid inflation
3. 学会等名 Miyazaki Workshop on Particle Physics and Cosmology 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Anthropic Bound on Dark Radiation
3. 学会等名 43rd Johns Hopkins Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Axion-DM 理論
3. 学会等名 ダークマター懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 ALP cosmology and its experimental implications
3. 学会等名 Axions in the Lab and in the Cosmos (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Axion and Inflation
3. 学会等名 New Physics at the Low Energy Scales NEPLES-2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Dark Matter
3. 学会等名 Cosmic acceleration symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高橋史宜
2. 発表標題 An optimistic view on inflaton hunt
3. 学会等名 Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (招待講演) (国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋史宜
2. 発表標題 The QCD axion window and low-scale inflation
3. 学会等名 Identification of Dark Matter 2018 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石渡弘治
2. 発表標題 銀河外ガンマ線による宇宙暗黒物質探索
3. 学会等名 素粒子物理学の進展 2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石渡弘治
2. 発表標題 Superconformal Subcritical Hybrid Inflation
3. 学会等名 SUSY18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石渡弘治
2. 発表標題 Theoretical improvements in particle dark matter searches
3. 学会等名 Toyama International Symposium on "Physics at the Cosmic Frontier" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横崎統三
2. 発表標題 Grand unification with hidden photon, and implications for the axion-photon coupling
3. 学会等名 新学術領域「なぜ宇宙は加速するのか? - 徹底的究明と将来への挑戦-」シンポジウム (国際学会)
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 The ALP miracle
3. 学会等名 7th General IAXO Collaboration Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 The ALP miracle
3. 学会等名 Post-inflationary String Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Axions
3. 学会等名 ダークマター研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Axions
3. 学会等名 10th Anniversary Symposium of IPMU (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Fuminobu Takahashi
2. 発表標題 Cosmological evolution of axion and hidden sector
3. 学会等名 Axion physics and dark matter cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Norimi Yokozaki
2. 発表標題 Enhanced Axion-Photon Coupling in a GUT with Hidden Photon
3. 学会等名 KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Norimi Yokozaki
2. 発表標題 Enhanced Axion-Photon Coupling in a GUT with Hidden Photon
3. 学会等名 1st workshop on Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Koji Ishiwata
2. 発表標題 Constraining particle dark matter using local galaxy distribution
3. 学会等名 DESY Theory Workshop Fundamental physics in the cosmos: The early, the large and the dark Universe (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishiwata
2. 発表標題 Constraining particle dark matter using local galaxy distribution
3. 学会等名 宇宙観測と地上実験から探るダークマター研究の現状と展望
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishiwata
2. 発表標題 Theoretical improvements in particle dark matter searches
3. 学会等名 The 3rd Winter Toyama Mini-Workshop on Particle Physics and Cosmology "Basis of the Universe with Revolutionary Ideas 2018" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishidoshiro
2. 発表標題 Dark matter search with superconducting detector
3. 学会等名 TIIPP2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishidoshiro
2. 発表標題 超伝導ボロメータによる0 及び軽いIDMの探索
3. 学会等名 2017年度CRC将来計画タウンミーティング(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishidoshiro
2. 発表標題 無機結晶を基材とした超伝導検出器の開発
3. 学会等名 SMART2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koji Ishidoshiro
2. 発表標題 無ニュートリノ2重ベータ崩壊及び軽い暗黒物質探索を目指した超伝導放射線検出器の開発
3. 学会等名 超伝導エレクトロニクス研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Kawasaki
2. 発表標題 Primordial black holes in multi-field inflation models
3. 学会等名 PASCOS 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Kawasaki
2. 発表標題 Cosmological problems of QCD axion
3. 学会等名 International workshop on "Axion physics and dark matter cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro Kawasaki
2. 発表標題 Formation of primordial black holes in multi-field inflation models
3. 学会等名 14th Interational Conference of Computational Method in Science and Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 高原文郎、家正則、小玉英雄、高橋忠幸	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 912
3. 書名 宇宙物理学ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>【研究成果】大統一理論の新しい枠組み ~ 微細電荷を持った暗黒物質の予言 ~  <a href="http://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20170529-9121.html">http://www.sci.tohoku.ac.jp/news/20170529-9121.html</a></p>
--

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
研究 分 担 者	石渡 弘治  (Ishiwata Koji)  (40754271)	金沢大学・数物科学系・助教   (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	横崎 統三  (Yokozaki Norimi)  (80779322)	東北大学・理学研究科・助教    (11301)	

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1件

国際研究集会 Workshop on Beyond Standard Model and the Early Universe	開催年 2017年～2017年
--	--------------------

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
---------	---------