

令和 5 年 5 月 16 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03842

研究課題名（和文）宇宙磁場から迫る初期宇宙の諸現象

研究課題名（英文）Exploring the early Universe phenomena through cosmological magnetic fields

研究代表者

鎌田 耕平（Kamada, Kohei）

東京大学・大学院理学系研究科（理学部）・助教

研究者番号：60835362

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：初期宇宙磁場とバリオン及びカイラル非対称の発展に関してさまざまな重要な研究成果を挙げた。特筆すべき結果としては、電弱相転移時に磁場によりバリオン非対称の空間揺らぎが不可避免的に生成し、それがビッグバン元素合成と無矛盾であるための条件から、初期宇宙磁場の強さに上限を与えたことが挙げられる。これにより現在観測で示唆される銀河間磁場の起源は電弱相転移以降のプロセスに求めなければならないことになった。また、アクシオンインフレーションシナリオにおける磁場と物質の発展の包括的な理解を得たこと、磁場の引き起こす効果と類似の効果を重力波が引き起こす現象に関する先駆的な研究をおこなったことも重要な成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の宇宙のバリオン非対称の起源は、宇宙論研究の中でも最も重要な課題の一つである。磁場によるバリオン数生成は理論的整備や検証方法の提案が近年進んでいる興味深い機構である。本研究の成果により、この機構が働くためのシナリオ構築が進み、また、この機構が働いた後の宇宙の磁場や物質の発展に関する理解が深まった。観測的検証においては、宇宙の熱史全体のシナリオ依存性がありうるが、それを含めて将来の検証にむけて大きな前進が得られたといえる。

研究成果の概要（英文）：I obtained several important results on the evolution of primordial magnetic fields and baryon/chiral asymmetry. The most important result is that I have shown that the baryon isocurvature fluctuation is inevitably produced by the magnetic fields at the electroweak symmetry breaking (EWSB) which gives the strong upper bound on its abundance to avoid spoiling the success of Big Bang Nucleosynthesis. As a result, intergalactic magnetic fields suggested by gamma-ray observation should be generated after EWSB. Other important results include that I have obtained the comprehensive understanding the evolution of the magnetic field and matter in the axion inflationary scenario and that I achieved pioneering studies on the similar effect of the gravitational waves to the magnetic field on the evolution of the matter.

研究分野：宇宙論

キーワード：カイラル量子異常 バリオン数生成 初期宇宙磁場 アクシオン

1. 研究開始当初の背景

研究代表者の2016年の研究成果により、磁場によるバリオン数生成が現在の宇宙のバリオン非対称を説明する有力な機構であることが示された。そのため、この機構の詳細を解析すると同時に、この機構が働くための磁場生成機構、観測的に検証するための磁場の発展の理解を深めることが求められていた。

2. 研究の目的

磁場によるバリオン数生成機構を軸として、初期宇宙から現在までの磁場と物質の共発展の詳細な記述を定式化し、初期宇宙磁場に基づく首尾一貫した宇宙論の土台を確固たるものとするとともに、現在のバリオン数を説明できるような磁場を生成する機構の構築とその特徴を明らかにすることを目的とする。また、銀河間磁場の観測から初期宇宙で起こった諸現象にどのような示唆を与えるかを定めることも目指す。

3. 研究の方法

(1) 磁場によるバリオン数生成の機構自体の研究として、生成されたバリオン数の空間揺らぎに注目し、その影響を調べる。これまでバリオン数や磁気ヘリシティの空間平均を取って計算していた基礎方程式を、空間平均をとる前の形にすることにより、磁場の相関関数とバリオン数の2点相関関数の関係を定める。既存のビッグバン元素合成や宇宙背景放射の研究からバリオン数の2点相関関数には制限が与えられているため、そこから磁場の相関関数への制限へと焼き直せば、初期宇宙、そしてその発展にもっともらしい仮定を置くことによって現在の磁場の強度や相関長への制限を与えることができる。

(2) 磁場生成機構としてアクシオンインフレーションを考える。インフレーションを起こすアクシオン場が標準模型のハイパーU(1)ゲージ場とChern-Simons結合項を持っていた場合、ヘリカルな磁場とバリオン非対称がインフレーション終了時に同時に生成されている。それらは対消滅してしまう可能性があり、その場合宇宙にバリオン数は残らないが、右巻きニュートリノを入れることを理論に入れることにより、完全な対消滅を避ける方法を模索する。標準模型は高温でいくつかの粒子数が近似的に保存量になることに注目し、それらの粒子数と磁場の発展方程式を書き下し、その解を解析的に推定し、現在の宇宙のバリオン数を説明するための条件を定める。

4. 研究成果

(1) 磁場によるバリオン数生成の空間揺らぎに関する研究は、順調に初期宇宙の磁場の2点相関関数とバリオン数の2点相関関数の関係を定めることに成功した。特筆すべきことは、空間平均で磁気ヘリシティが非ゼロであることが空間平均で非ゼロのバリオン数を作るための条件だったのに対し、空間平均で磁気ヘリシティがゼロであっても、非ゼロのバリオン数の2点相関関数が得られることである。これは、磁気ヘリシティの1点相関関数がゼロであっても2点相関関数は非ゼロであるからである。結果、平均的な磁気ヘリシティの有無に関わらず、大きなバリオン数の空間揺らぎが生成されてしまうことがわかり、磁場の強さと相関長に予想外に大きな制限がつくことがわかった。ブレーザーの観測によって、銀河間のボイド空間に磁場があることが示唆されているが、この磁場が電弱相転移より前に生成されたものだとすると、バリオン数の空間揺らぎが大きくなりすぎ、ビッグバン元素合成と矛盾することが明らかになった。すなわち、ブレーザーの観測によって示唆される銀河間磁場は、初期宇宙由来だとしても、電弱相転移以降に生成、または増幅されたものでなければならぬことがわかった。

(2) アクシオンインフレーションを念頭に置き、まずはさまざまな粒子数の非対称が初期条件として与えられた場合、その発展を調べた。右巻きニュートリノを系に入れると、右巻きニュートリノの質量が 10^5 GeVより重い場合、宇宙の温度が右巻きニュートリノ程度になり、その崩壊が起こるときに、保存量であった粒子数のいくつかが瞬間的に敗れ、宇宙にバリオン数とレプトン数の差が生じることが明らかになり、これを“wash-in機構”と名づけた。多くのバリオン数生成機構において、サハロフの条件(1)バリオン数の破れ(2)CとCPの破れ(3)平衡からの逸脱)は同時に満たされるが、この模型においてはCとCPの破れは初期条件として与えられた粒子数の非対称がCとCPを自発的に破っていることになり、特徴的である。この機構はアクシオンインフレーションだけでなく、SU(5) GUT バリオン数生成などのsphaleron wash-outにより最終的にバリオン数が残らないとされていた模型を救う機構となっている。

(3) (2)で発見した“wash-in機構”に基づき、具体的にアクシオンインフレーションにおける

磁場とバリオン数の生成と共発展を精査した。最終的にバリオン数は有意に残り、“wash-in 機構”からの寄与と磁場からのバリオン数生成の寄与を合わせたものとなることがわかった。アクシオンインフレーションにおけるシュウィンガー効果に関しては、他の研究者によって不定性が大きいものの研究が進められたため、その結果を用いることにより、瞬間再加熱の過程を置いた場合、インフレーション中のハッブル定数が 10^{10-11} GeV 程度である場合、現在のバリオン数をよく説明するパラメータが存在することが明らかになった。

(4) 上で述べた研究成果はすべて標準模型のハイパーU(1)ゲージ場の関わるカイラル量子異常による粒子数（バリオン数）の破れを用いたものであるが、重力場においてもカイラル量子異常でレプトン数が破れることが知られている。そこで、それを用いた重力波と物質の共発展に関する研究をおこなった。まず、アクシオンインフレーションにおいて、重力場とアクシオンが Chern-Simons 結合項を持っていた場合、レプトン非対称とヘリカルな重力波が同時に生成することに注目した。このモデルにおいてはゴーストと呼ばれる不安定性が発生する可能性があり、インフラトンと重力場の結合には上限が与えられる。これを考慮に入れたところ、カイネーションと呼ばれる非標準的な宇宙の熱史を仮定した場合のみ、現在の宇宙の物質反物質非対称を説明することができることがわかった。さらに、この機構における重力波生成は発散を伴うことから、その繰り込みに関する研究を行い、レプトン数の評価の不定性に関する理解を深めた。また、カイラル磁気効果と同様の効果が重力場においても起こることに注目し、興味深い現象が生じないかを調べた。その結果、カイラル非対称がある系において重力波に比例したエネルギー運動量テンソルが誘起される、カイラル重力効果が起こることがわかった。カイラル磁気効果はU(1)ゲージ場にタキオン不安定性を生じさせるのに対し、カイラル重力効果は重力波にゴースト不安定性を生じさせよう。前者は理論の破綻なく首尾一貫した系の発展を追うことができるのに対し、後者は高エネルギーで理論を破綻させるため不安定性が成長してはならない。一方、低エネルギーでは理論を破綻させずに系を発展させ、首尾一貫した解析をすることが可能であり、特にカイラル非対称が時間変化する際にのみ、重力波に複屈折、すなわちヘリシティモードごとの分散関係の違いを生じさせることがわかった。時間変化するカイラル非対称は、バリオン数生成機構が働いているとき、電子湯川相互作用が熱浴に入るとき、そして宇宙膨張によって実現されるが、カイラル非対称の時間変化がなくなった後も重力波のヘリシティモードに振動が残る「メモリー効果」を示すことを明らかにした。

(5) アクシオンインフレーションにおいて“wash-in 機構”が働かない場合はバリオン数と磁気ヘリシティの対消滅が起こる可能性があるが、そのダイナミクスをカイラル磁気流体力学を用いて調べた。共同研究者である Nordita の Axel Brandenburg 氏の数値計算の結果から、近年発見された Hosking 積分という保存量が重要な役割を果たすことを発見し、カイラル非対称と磁気ヘリシティの減衰は当初予想された指数関数的な減衰でなく、冪乗則的な減衰であることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Domcke Valerie, Kamada Kohei, Mukaida Kyohei, Schmitz Kai, Yamada Masaki	4. 巻 126
2. 論文標題 Wash-In Leptogenesis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 201802
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.126.201802	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 Kamada Kohei, Kume Jun 'ya, Yamada Yusuke	4. 巻 2021
2. 論文標題 Chiral gravitational effect in time-dependent backgrounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP05(2021)292	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 Hashiba Soichiro, Kamada Kohei, Nakatsuka Hiromasa	4. 巻 2022
2. 論文標題 Gauge field production and Schwinger reheating in runaway axion 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 058 ~ 058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/04/058	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 Fujita Tomohiro, Kamada Kohei, Nakai Yuichiro	4. 巻 102
2. 論文標題 Gravitational waves from primordial magnetic fields via photon-graviton conversion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 103501-1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.103501	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 Hayashi Takumi, Kamada Kohei, Oshita Naritaka, Yokoyama Jun'ichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 On catalyzed vacuum decay around a radiating black hole and the crisis of the electroweak vacuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 088 1-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP08(2020)088	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 Kamada Kohei, Kume Jun'ya, Yamada Yusuke	4. 巻 2020
2. 論文標題 Renormalization in gravitational leptogenesis with pseudo-scalar-tensor coupling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 030 ~ 030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/10/030	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 He Minxi, Jinno Ryusuke, Kamada Kohei, Starobinsky Alexei A., Yokoyama Jun'ichi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Occurrence of tachyonic preheating in the mixed Higgs-R2 model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 066 ~ 066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/01/066	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 Kamada Kohei, Uchida Fumio, Yokoyama Jun'ichi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Baryon isocurvature constraints on the primordial hypermagnetic fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 034 ~ 034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2021/04/034	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 鎌田 耕平	4. 巻 75
2. 論文標題 銀河間ボイドの化石磁場から探る初期宇宙の物理	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 329 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.75.6_329	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 Kohei Kamada, Jun'ya Kume, Yusuke Yamada, Jun'ichi Yokoyama	4. 巻 1
2. 論文標題 Gravitational leptogenesis with kination and gravitational reheating	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 016 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/01/016	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 -

1. 著者名 Kohei Kamada and Chang Sub Shin	4. 巻 4
2. 論文標題 Magnetogenesis from a rotating scalar: `a la scalar chiral magnetic effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 185 1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(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 該当する

1. 著者名 He Minxi, Jinno Ryusuke, Kamada Kohei, Park Seong Chan, Starobinsky Alexei A., Yokoyama Jun'ichi	4. 巻 791
2. 論文標題 On the violent preheating in the mixed Higgs-R2 inflationary model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 36 ~ 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.02.008	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 Hayashi Takumi, Kamada Kohei, Oshita Naritaka, Yokoyama Jun'ichi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Vacuum decay in the Lorentzian path integral	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 041 ~ 041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2022/05/041	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 Higaki Tetsutaro, Kamada Kohei, Nishimura Kentaro	4. 巻 106
2. 論文標題 Formation of a chiral soliton lattice	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 96022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.096022	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 Kamada Kohei, Yamamoto Naoki, Yang Di-Lun	4. 巻 129
2. 論文標題 Chiral effects in astrophysics and cosmology	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Progress in Particle and Nuclear Physics	6. 最初と最後の頁 104016 ~ 104016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pnpnp.2022.104016	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 Domcke Valerie, Kamada Kohei, Mukaida Kyohei, Schmitz Kai, Yamada Masaki	4. 巻 2023
2. 論文標題 Wash-in leptogenesis after axion inflation	5. 発行年 2023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(2023)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 該当する

1. 著者名 Brandenburg Axel、Kamada Kohei、Schober Jennifer	4. 巻 5
2. 論文標題 Decay law of magnetic turbulence with helicity balanced by chiral fermions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 22028
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.5.L022028	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23件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Wash-in Leptogenesis in the axion inflationary magnetogenesis scenario
3. 学会等名 15th Asia Pacific Physics Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Lorentzian Description of the 1st Order Phase Transition
3. 学会等名 Online Workshop "Physics of the Early Universe" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Quantum Nucleation of Chiral Soliton Lattice
3. 学会等名 Workshop on Very Light Dark Matter (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 A new constraint on lepton flavor asymmetry in the early Universe through the chiral plasma instability
3. 学会等名 日本物理学会第 78 回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鎌田耕平
2. 発表標題 磁 Baryogenesis、または磁気ヘリシティ の減衰によるバリオン数生成
3. 学会等名 NITEP 素粒子現象 論研究会 2022
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Wash-in Leptogenesis as a New Framework for Baryogenesis
3. 学会等名 PASCOS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田 耕平
2. 発表標題 Primordial magnetic fields and baryogenesis at the electroweak crossover
3. 学会等名 新ヒッグス勉強会 第30回定例会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Wash-in Leptogenesis and its application
3. 学会等名 JGRG30 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田 耕平
2. 発表標題 初期磁場と素粒子の宇宙論
3. 学会等名 第34回理論懇シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Wash-in Leptogenesis and its realization
3. 学会等名 第77回日本物理学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Towards a robust estimate for gravitational leptogenesis
3. 学会等名 Zooming in on Axions in the Early Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Primordial magnetic field -- Its relationship to cosmology and implication to the IGMF
3. 学会等名 NECO on-line workshop "Probing the Universe with High and Very High Energy Sources" (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Magnetogenesis for Baryogenesis from Axion Inflation
3. 学会等名 mini-workshop: Axion Cos- mology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Baryon asymmetry from cosmological (hyper)magnetic fields
3. 学会等名 The Mysterious Universe: Dark Matter-Dark Energy-Cosmic Magnetic Fields (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Affleck-Dine Magnetogenesis
3. 学会等名 COSM019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Magnetogenesis mechanisms for baryogenesis from hypermagnetic helicity decay
3. 学会等名 Remnants of the Big Bang (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Baryon Asymmetry, Chiral Asymmetry, and the Magnetic Fields in the Universe
3. 学会等名 43rd John Hopkins Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Baryogenesis from cosmological magnetic fields and magnetogenesis
3. 学会等名 3rd NRF-JSPS Workshop in particle physics, cosmology, and grav- itation, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Baryogenesis from Primordial Helical Hypermagnetic Fields
3. 学会等名 Baryon and Lepton Violation 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Magnetic Fields in the Early Universe
3. 学会等名 KIAS and NRF-JSPS Workshop on Particle, String and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Kamada
2. 発表標題 Magnetic Fields and Quantum Anomaly in the Early Universe
3. 学会等名 The 3rd Univ. Ryukyus International Symposium. of Theoretical and Computational Science (RIS-TCS 2020). -Frontier of Physics and Chemistry- (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田 耕平
2. 発表標題 銀河間磁場のヘリシティ と宇宙の物質反物質非対称
3. 学会等名 日本 SKA サイエンス会議「宇宙磁場」 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鎌田 耕平
2. 発表標題 ヘリカル磁場による物質反物質非対称生成
3. 学会等名 基研研究会 素粒子物理学の進展 2019 (招待講演)
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
---------	---------