

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05418

研究課題名（和文）背景ニュートリノのレプトン数と宇宙の粒子数生成機構

研究課題名（英文）Lepton Number of Cosmic Background Neutrinos and Generation Mechanism of Particle Number in the Universe

研究代表者

両角 卓也（Morozumi, Takuya）

広島大学・先進理工系科学研究科（理）・准教授

研究者番号：20253049

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：ニュートリノは素粒子の中でも観測が難しくその性質の解明が重要な課題になっている。特に宇宙初期には高温のニュートリノが熱平衡で存在したと考えられ宇宙膨張によって現在の宇宙にも存在していると考えられている。このニュートリノは宇宙背景ニュートリノと呼ばれ温度が2K程度という低い温度を持っていると予想されている。本研究では相対論的な場合から非相対論的な場合まで有効なニュートリノの担うレプトン数の時間変化の式を導いた。特にニュートリノがマヨラナ粒子の場合は、ディラック粒子の場合とは異なりニュートリノの運動エネルギーがその静止質量より小さいとき、レプトン数の期待値は正負に振動することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙背景ニュートリノは中間子やミュオン等の崩壊で作られるニュートリノと異なり、その運動エネルギーが極めて小さい。本研究ではニュートリノの静止エネルギー（質量）より運動エネルギーが小さいニュートリノに焦点をあて、その性質を場の量子論の枠組みで明らかにした。マヨラナニュートリノの場合、レプトン数の時間変化はニュートリノの絶対質量やマヨラナニュートリノに特徴的なマヨラナ位相と呼ばれるCP対称性の破れに依存する。これらのまだ測定されていない物理量の測定や極めて低い温度をもって宇宙に存在しているとされる宇宙背景ニュートリノの観測に必要なニュートリノの性質を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We derive the time evolution of the lepton numbers for neutrinos which is valid from the relativistic case to non-relativistic case. The time evolution depends on the type of neutrino mass. The lepton numbers oscillate and its sign changes from the initial values for the Majorana neutrinos. The behavior is distinct from the Dirac neutrinos where the sign does not change from its initial values. We also find the time evolution depends on the absolute mass of neutrinos as well as CP violating phases including Majorana phases. The findings provide us with the useful information for observation of the cosmic neutrino background of the temperature as low as 2K. The temperature is comparable with the tiny neutrino masses.

研究分野：素粒子論

キーワード：マヨラナニュートリノ レプトン数 宇宙背景ニュートリノ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノの性質を検証する実験は、新たな段階に入りつつある。その理由はこれまでに測られてきたニュートリノの質量二乗差やレプトン混合角の測定に加えて、ニュートリノ振動を用いた CP 対称性の破れの測定やニュートリノレス 2 重ベータ崩壊の本格的な探索が始まったからである。これらの測定量に共通するのは、レプトンセクターの CP 対称性の破れと最も軽いニュートリノの質量に感度がある点である。また、ニュートリノレスダブルベータ崩壊は、ニュートリノの質量がレプトン数を破るマヨラナ型かどうかを明らかにする。宇宙背景ニュートリノはその存在が予測されているものの、温度以外にどのような状態で存在しているかは明らかでない。これまでの研究でレプトンセクターの CP 対称性の破れとシーソー模型に基づくレプトン数生成の CP 対称性の破れの関係をニュートリノ質量のシーソー模型に基づいて明らかにした。これらの研究で重いマヨラナニュートリノの崩壊で生成される 3 種類のレプトン数 (電子数, ミューオン数, タウオン数) に関して、崩壊直後の初期宇宙における時間変化を明らかにした。これに対して本研究では宇宙の晴れ上がり以降のレプトン数の時間変化に焦点を当てた研究を行う。現在の宇宙に背景ニュートリノと呼ばれる、ニュートリノの存在が予測されている。背景ニュートリノの温度は約 1.9 K の熱平衡分布であると予想されているが、背景ニュートリノに蓄積されているレプトン数密度の量や、そのサイン (レプトン数 反レプトン数) などの性質はよくわかっていない。

2. 研究の目的

本研究では、宇宙背景ニュートリノの担うレプトン数密度に関して、その生成から現在までのレプトン数の時間発展を、電磁気モーメントを持つニュートリノに対して、非平衡の場の量子論の方法を用いて明らかにする。理論モデルに基づく背景ニュートリノの担うレプトン数の予測を確立することで、背景ニュートリノの観測に役立て、宇宙初期におけるレプトジェネシスなど粒子数生成に関する理論モデルの検証に結び付ける。

3. 研究の方法

- (1) ニュートリノの質量階層性が順階層と逆階層の場合でレプトン数の時間変化に関してどのような違いが起こるかを研究する。
- (2) 電子ニュートリノ、ミューオンニュートリノ、タウニュートリノが担う 3 種類のレプトン数に着目し、これらの割合が、時間的にどのように変化するのかを研究する。
- (3) レプトン数の CP 対称性の破れのパラメーターに対する依存性を調べる。ニュートリノがマヨラナニュートリノの場合、CP 対称性の破れのパラメーターは 2 種類、3 個あることが知られている。そのうちの Dirac 位相に関してはニュートリノ振動実験で測定が可能であり、2 つのマヨラナ位相に関しては、ニュートリノレス 2 重ベータ崩壊の崩壊率がその位相に敏感である。本研究では、レプトン数の時間変化に関して、ニュートリノがマヨラナニュートリノの場合を中心に研究し、Dirac ニュートリノの場合との違いも明らかにする。

4. 研究成果

ニュートリノがマヨラナニュートリノの場合にレプトンファミリー数演算子 (電子ニュートリノ数、ミューオンニュートリノ数、タウオンニュートリノ数) をハイゼンベルク演算子として導き、その時間発展を求めた。ニュートリノの初期状態として電子ニュートリノ、ミューオンニュートリノ、タウニュートリノの 3 種類の場合を考え、レプトンファミリー数演算子の期待値を計算し、その時間変化を求めた。また、すべてのレプトン数に関する和を取ることによってマ

ヨラナニュートリノの担う全レプトン数の期待値の時間発展も求めた。

(1)マヨラナニュートリノの場合、レプトンファミリー数の期待値の時間発展の式は、ニュートリノが相対論的な場合は、相対論的なニュートリノの振動公式に一致するがニュートリノが非相対論的な場合(運動量が静止質量より小さい場合)には正負に振動することがわかった。これは小さな運動量をもつマヨラナニュートリノに関してレプトン数を保存する運動量項に比べてレプトン数を破るマヨラナ質量項の効果が相対的に大きくなり、正のレプトン数を持つニュートリノから負のレプトン数を持つ反ニュートリノへの振動が起こっていることを示すものである。このような振動が起こることはポンテコルボによって予言されていたが、本研究で得られたレプトン数の時間発展の公式によって、従来別々に扱われてきたニュートリノ間の振動(フレーバー振動)とニュートリノ-反ニュートリノ間の振動をひとつの枠組みの中で統一的に扱うことが可能になった。従来のニュートリノ振動公式は同じ左巻カイラリティーを持つニュートリノ間の振動しか扱えなかったのに対して、レプトン数は同じカイラリティーを持つニュートリノ間や反ニュートリノ間のフレーバー振動によっても変化するが、マヨラナ質量項によって引き起こされる異なるカイラリティーを持つニュートリノ-反ニュートリノ間の振動によっても変化する。

レプトン数の期待値の時間変化を詳しく調べた。特に最も軽いニュートリノの質量やマヨラナ位相への依存性を解析的な方法と数値的な方法の両面で明らかにした。(1)のところで述べたようにレプトン数の時間変化はマヨラナ質量項による異なるカイラリティー間の遷移による。このために時間変化はマヨラナ位相と呼ばれる Dirac 型ニュートリノ マヨラナ型ニュートリノの共通にある CP の破れの位相とは異なる位相に依存することになる。相対論的なニュートリノ振動確率は CP 位相のうち Dirac CP 位相に依存するがマヨラナ位相には依存せず、これを用いてニュートリノが Dirac 粒子かマヨラナ粒子かを判別することはできない。本研究で求めたレプトン数の時間変化はマヨラナ位相や最も軽いニュートリノの質量にも依存することを解析的にも数値的にも示した。図 1 に示すように、非相対論的なマヨラナニュートリノの場合にはレプトン数は ± 1 の範囲で

振動しその振動の様相はマヨラナ位相に依存する。マヨラナ位相の値が異なる場合に関して図 1 の赤線と黒線で示している。さらに、ニュートリノ質量が順階層の場合と逆階層の場合に関して、レプトン数の時間変化を比較し、逆階層のほうがレプトン数の変化の周期が短くなることが示された。ニュートリノの質量や、マヨラナ位相に依存する物理量としてニュートリノレス 2 重ベータ崩壊の崩壊確率が知られている。この確率は、マヨラナニュートリノの質量行列の m_{ee} 成分の絶対値に比例するために、崩壊巾の測定によって、最も軽いニュートリノの質量に 2 つのマヨラナ位相を加えた三個の未知の量に一つの制限を与えることができる。これに対してレプトン数の時間変化の表式は初期時刻におけるニュートリノの種類と測定するレプトンファミリー数の種類に対応して 3 つ以上の独立な期待値の時間変化を

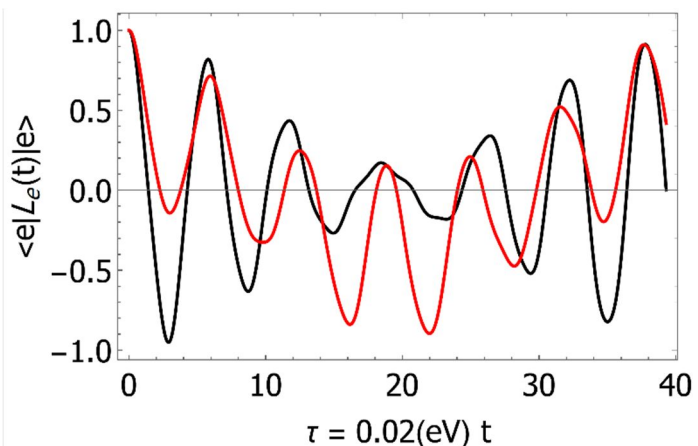


図 1 異なるマヨラナ位相の場合(赤線、黒線)の場合の電子レプトン数の時間依存性の違い(文献)

調べることができる。このため全レプトン数に加えて2種類以上のレプトン数の期待値の時間変化を測定することで、最も軽いニュートリノの質量と2つのマヨラナ位相を決めることができる。

(3)レプトン数の期待値の運動量依存性を調べた。背景ニュートリノは初期宇宙で相対論的であり宇宙膨張により波長が伸びてニュートリノの質量より運動エネルギーが小さくなり、非相対論になっている可能性がある。本研究では相対論的な場合から非相対論的な場合までニュートリノの担うレプトン数の運動量依存性も調べた。その結果を図2に示している。黒線で示したのは初期時刻からあまり時間がたっていない場合の電子レプトン数の運動量依存性を示している。赤線は黒線の場合より

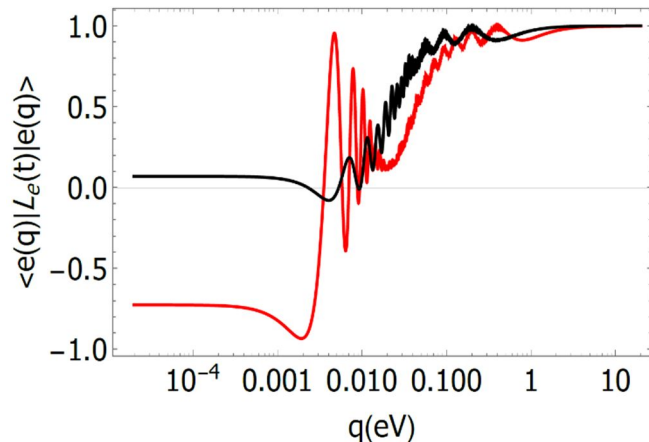


図2 異なる時刻における電子レプトン数の運動量依存性(文献)

時間がたった後の運動量依存性を示している。図からわかるように相対論的な運動量を持つニュートリノ場合にはレプトンの期待値は1付近に留まるが、運動量を小さくすると期待値は-1を下限として負にもなることが示された。この傾向はニュートリノ質量がその運動量より大きい場合により顕著になることが示された。

これらの研究成果は、宇宙背景ニュートリノのもつレプトン数の時間変化の計算に適用することにより、現在の背景ニュートリノがレプトン数の観点からどのような状態で存在しているのかについて知見を与える。これを通して、背景ニュートリノの観測の方法の開発にも影響をあたえる。本研究では決まった運動量をもつニュートリノを初期状態として選んだが、運動量分布やレプトン数密度の空間的な分布がある場合に拡張することでニュートリノの担うレプトン数の時間的、空間的な振動を実験的に測る方法の開発にも役立つ。

素粒子物理の観点からは、特にマヨラナ位相に依存する物理量の表式を導出したことに意義がある。レプトン数の時間変化が実際に測定できることができれば、ニュートリノがDirac型かマヨラナ型かの特定につながる。また、ニュートリノの絶対質量やマヨラナ位相の観測に結び付く。これらの研究によって、レプトン数の生成による物質反物質の起源の解明やこれを引き起こす標準模型を超える素粒子模型の具体像にせまることができる。

引用文献

Apriadi Salim Adam, Nicholas J Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, Naoya Toyota, Time evolution of lepton number carried by Majorana neutrinos, PTEP, Vol.2021, Issue 5, 053B01 (2021)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Apriadi Salim Adam, Yuta Kawamura, Takuya Morozumi	4. 巻 -
2. 論文標題 A model with light and heavy scalars in view of the effective theory	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab129	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 Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota	4. 巻 -
2. 論文標題 Lepton Family Numbers and Non Relativistic Majorana Neutrinos	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Andromeda Proceedings	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31526/ACP.BSM-2021.29	査読の有無 無
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 Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota	4. 巻 -
2. 論文標題 Time evolution of Lepton Number carried by Majorana Neutrinos	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of theoretical and experimental physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptab025	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 T. Morozumi, Yusuke Shimizu, Hiroyuki Umeeda, and Akihiro Yuu:	4. 巻 799
2. 論文標題 Hidden relations in three generation seesaw model with Dirac mass matrix of four-zero texture	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Lett. B	6. 最初と最後の頁 135046.1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physletb.2019.135046	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 Takuya Morozumi, Keiko I. Nagao, Apriadi Salim Adam, Hiroyuki Takata	4. 巻 2019
2. 論文標題 A New Mechanism for Generating Particle Number Asymmetry through Interactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advances in High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 6825104pp1-pp28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2019/6825104	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 Apriadi Salim Adam, Takuya Morozumi, Keiko I. Nagao, Hiroyuki Takata	4. 巻 28
2. 論文標題 Generation of particle number asymmetry in expanding universe	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 素粒子論研究電子版	6. 最初と最後の頁 pp14-pp18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Shunya Takahashi, Hiroyuki Umeeda	4. 巻 4
2. 論文標題 Effective theory analysis for vector-like quark model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 043B10-pp1 pp24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty042	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 Daiji Kimura, Takuya Morozumi, Hiroyuki Umeeda	4. 巻 12
2. 論文標題 Analysis of Dalitz decays with intrinsic parity violation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123B02-pp1 pp55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty122	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 T. Morozumi, H.Okane, H.Sakamoto, Y.Shimizu, K. Takagi, H.Umeeda	4. 巻 42
2. 論文標題 Phenomenological aspects of possible vacua of a neutrino flavor model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chinese Physics C	6. 最初と最後の頁 023102,1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1674-1137/42/2/023102	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44件(うち招待講演 5件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 両角卓也、河村優太、清水勇介、山本恵
2. 発表標題 有効理論を用いたベクターライククオークモデルのCPの破れ
3. 学会等名 日本物理学会 第77回 年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 両角卓也、河野早紀、河村優太、清水勇介、山本 恵、Nicholas Benoit
2. 発表標題 レプトン数の時間発展から探るマヨラナ位相
3. 学会等名 日本物理学会 第77回 年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura
2. 発表標題 Time evolution of Majorana neutrinos in the Schrodinger picture versus Heisenberg picture
3. 学会等名 CORFU SUMMER INSTITUTE, 21st HELENIC SCHOOL AND WORKSHOP ON ELEMENTARY PARTICLE PHYSICS AND GRAVITY, Workshop on the Standard Model and Beyond (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Time evolution of lepton number from relativistic regime to non-relativistic regime
3. 学会等名 Astroneutrino Theory Workshop 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 両角卓也、河野早紀、河村優太、清水勇介、山本 恵、Nicholas Benoit
2. 発表標題 レプトン数の時間発展とマヨラナ位相依存性, ユニタリー三角形
3. 学会等名 素粒子現象論研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Time variation of Lepton Family Number of Majorana Neutrinos
3. 学会等名 Beyond Standard Model: From Theory to Experiment(BSM 2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Time evolution of Lepton Family Number of Majorana Neutrinos
3. 学会等名 7 th KEK-PH Lectures and Workshop on " Flavor "
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Lepton Number violation in a unified framework; Revised
3. 学会等名 Flavor physics workshop 2020 (FPWS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 SMEFT from Two Higgs doublet Model
3. 学会等名 Flavor physics workshop 2020 (FPWS2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicolas J. Benoit, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Akihiro Yuu
2. 発表標題 A Study of RG effects on a Textured Neutrino Mass matrix
3. 学会等名 10th International Conference on Exact Renormalization Group 2020(ERG2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 マヨラナ質量を持つニュートリノのレプトンファミリー数の時間発展
3. 学会等名 2020年度 新学術 地下宇宙領域研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 有効理論を用いたTwo Higgs 模型の研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 マヨラナニュートリノのレプトン数の時間発展
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Evolution of Lepton Number for Dirac Neutrinos in a Unified Framework
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicolas J. Benoit, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Akihiro Yuu
2. 発表標題 ニュートリノ質量行列のくりこみ群の効果
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Kei Yamamoto, Yuta Kawamura, Yusuke Shimizu, Toyota Naoya, Syunya Takahashi, Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 Left-Right asymmetric model and flavor observables
3. 学会等名 日本物理学会 2021年春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Lepton number violation in a unified framework
3. 学会等名 Neutrino 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicolas J. Benoit, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Akihiro Yuu
2. 発表標題 A study of Renormalization Group Effects on the Mass of the Lightest Neutrinos
3. 学会等名 10th International Conference on Exact Renormalization Group 2020 (ERG2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 両角卓也, ニコラス ジェームス ベンワ, 河村優太, 松尾大和, 清水勇介, アプリアディ サリム アダム, 豊田直哉
2. 発表標題 マヨラナ質量による大きなレプトンファミリー数の生成
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matuo, Yusuke Shimizu, Yuya Tokunaga, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Lepton Number violation in a unified framework; Revised
3. 学会等名 The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicolas J. Benoit, Yusuke Shimizu, Kenta Takagi, Akihiro Yuu
2. 発表標題 A Study of Renormalization Group Effects on the Mass of the Lightest Neutrino
3. 学会等名 The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Apriadi Salim Adam, Nicholas J. Benoit, Yuta Kawamura, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Dirac Neutrino Lepton number in a unified framework
3. 学会等名 The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Nicholas J. Benoit, Keiko Nagao, Takata Hiroyuki
2. 発表標題 Initial Time Renormalization of a Non-Equilibrium Effective Field Theory
3. 学会等名 The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Yuta Kawamura, Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 Effective Action model for two Higgs doublet model with small Dirac Neutrino mass
3. 学会等名 The 1st IIT Bombay-Hiroshima workshop for Frontiers of Neutrino Physics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Y. Kawamura, Y. Matsuo, Apriadi Salim Adam, Y. Shimizu, Y. Tokunaga, N. Toyota
2. 発表標題 Lepton Number Violation in a Unified Framework
3. 学会等名 PACIFIC 2019, Particle Astrophysics and Cosmology Including Fundamental Interactions (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Morozumi, Y. Kawamura, Y. Matsuo, Apriadi Salim Adam, Y. Shimizu, Y. Tokunaga, N. Toyota
2. 発表標題 Lepton Number Violation in a Unified Framework
3. 学会等名 Higgs and Flavour Today (GUIFEST) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 両角 卓也, 河村優太, 松尾大和, アプリアディ サリム アダム, 清水勇介, 徳永裕也, 豊田直哉
2. 発表標題 Lepton Number Violation in a Unified Framework
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 両角 卓也, 清水勇介, 河村優太, 松尾大和, アプリアディ サリム アダム, 徳永裕也, 豊田直哉
2. 発表標題 マヨラナニュートリノによるレプトン数の破れの時間発展
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 両角 卓也 河村 優太
2. 発表標題 Two Higgs 模型の低エネルギー有効作用と現象論
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takuya Morozumi
2. 発表標題 Particle Number Asymmetry of the early universe
3. 学会等名 5th International Workshop on Dark Matter, Dark Energy and Matter-Antimatter Asymmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akihiro Yuu, Takuya Morozumi, Yusuke Shimizu, Hiroyuki Umeeda
2. 発表標題 Neutrino Physics and CP violation in three generation seesaw model with four-zero texture
3. 学会等名 7th Workshop on Flavour Symmetries and Consequences in Accelerators and Cosmology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 The creation of particle number asymmetry of universe with arbitrary time dependent scale factor using perturbation method
3. 学会等名 Summer Institute 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Apriadi Salim Adam
2. 発表標題 Generation of particle number asymmetry in an expanding universe; a novel mechanism
3. 学会等名 Phenomenology of Particle and Anti-Particle 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuya Morozumi
2. 発表標題 Time evolution of lepton number of the cosmic background neutrino
3. 学会等名 Setouchi Summer Institute
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 隼也
2. 発表標題 有効理論を用いた vector like クォーク模型に対するB中間子稀 崩壊からの制限
3. 学会等名 瀬戸内サマーインスティテュート
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 隼也
2. 発表標題 vector like クォークに対するB中間子稀崩壊からの制限
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋 隼也
2. 発表標題 vector likeクォークに対するB中間子稀崩壊からの制限
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 由宇 朗大
2. 発表標題 CP violation and leptogenesis in three generation seesaw model with four-zero textures
3. 学会等名 Setouchi Summer Institute 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 由宇 朗大
2. 発表標題 CP violation and leptogenesis in three generation seesaw model with four-zero textures
3. 学会等名 Summer Institute 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 河野早紀、ニコラス ベンワ、河村優太、両角卓也、清水勇介、山本恵
2. 発表標題 レプトン数の時間変化から探るマヨラナ位相
3. 学会等名 日本物理学会 第77回 年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河村優太、アブリアディ サリム アダム、両角卓也
2. 発表標題 標準模型有効ポテンシャルへの重いスカラー粒子のループ効果
3. 学会等名 日本物理学会 第77回 年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河村優太、両角卓也、アブリアディ サリム アダム
2. 発表標題 Two Higgs 模型の低エネルギーにおける有効理論の研究
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Benoit Nicholas J., 河村優太、両角卓也
2. 発表標題 Time evolution of Lepton Number carried by Majorana neutrinos: The Schrodinger picture
3. 学会等名 日本物理学会2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nicholas J. Benoit, Apriadi Salim Adam, Yuta Kawamura, Takuya Morozumi, Yamato Matsuo, Yusuke Shimizu, and Naoya Toyota
2. 発表標題 Evolution of lepton number for neutrinos
3. 学会等名 Neutrino 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

workshop for Frontiers of Neutrino Physics https://home.hiroshima-u.ac.jp/morozumi/IITBHirosimaNEUTRINO2020.html マヨラナニュートリノが運ぶレプトン数の新たな公式 https://adse.hiroshima-u.ac.jp/?p=2120 マヨラナニュートリノの質量行列の隠れた関係式 https://adse.hiroshima-u.ac.jp/?p=761 https://home.hiroshima-u.ac.jp/morozumi/ppapo.html http://home.hiroshima-u.ac.jp/morozumi/ppapo.html

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
研究協力者	清水 勇介 (Shimizu Yusuke)		
研究協力者	山本 恵 (Yamamoto Kei)		
研究協力者	ベンワ ニコラスジェームズ (Benoit Nicholas)		

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
研究協力者	アダム アプリアディサリム (Adam Apriadi Salim)		
研究協力者	高田 浩行 (Takata Hiroyuki)		
研究協力者	長尾 桂子 (Nagao Keiko)		
研究協力者	河野 早紀 (Kawano Saki)		
研究協力者	松尾 大和 (Matsuo Yamato)		
研究協力者	木村 大自 (Kimura Daiji)		
研究協力者	梅枝 宏之 (Umeeda Hiroyuki)		
研究協力者	豊田 直哉 (Toyota Naoya)		

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
研究協力者	徳永 裕也 (Tokunaga Yuya)		
研究協力者	河村 優太 (Kawamura Yuta)		
研究協力者	由宇 朗大 (Yuu Akihiro)		
研究協力者	高木 堅太 (Takagi Kenta)		
研究協力者	谷本 盛光 (Tanimoto Morimitsu)		
研究協力者	高橋 隼也 (Takahashi Shunya)		
研究協力者	大兼 英朗 (Okane Hideaki)		
研究協力者	坂本 弘樹 (Sakamoto Hiroki)		

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 Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018	開催年 2018年～2018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			
インドネシア	国立研究革新庁(BRIN)			
ロシア連邦	国立トムスク教育大学			
その他の国・地域 台湾	中央研究院(台湾)			