

令和 4 年 5 月 24 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K05415

研究課題名（和文）ヒッグス粒子で探る新しい物理

研究課題名（英文）New Physics Search via Higgs Particle

研究代表者

波場 直之（Haba, Naoyuki）

島根大学・学術研究院理工学系・教授

研究者番号：00293803

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）：ヒッグス粒子質量の値を手がかりにBSMを探究した。ヒッグスポテンシャルがプランクスケールまで安定であるためには新粒子の導入が必要であることから、Left-Right対称模型やGUTを考え、新たなCPの破れや、相転移で生じる重力波の解析、陽子崩壊やレプトンフレーバー混合の予言をした。古典的スケール不変性を持つ理論で、新しい強結合ゲージ理論からヒッグスポテンシャルが生じる模型を構築し、新粒子を予言した。ヒッグス4点結合が消滅するスケールでSMが新しい理論に置き換わる可能性として、このスケールを余剰次元コンパクト化スケールとするゲージ・ヒッグス統合模型を構築し、新粒子の予言をした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

将来実験でBSMのシグナルが発見された場合それがSMの謎の解決にどう結びつくか示した。例えば、K中間子崩壊のdirect CP violationの理論計算の進展や中性子電気双極子能率の探索によりBSMのシグナルが検知された場合、パリティの破れの起源に迫れることや、陽子崩壊観測やニュートリノ振動の精密測定から、どのようなGUTが電荷の量子化とニュートリノ微小質量を実現しているかヒントが得られることを示した。また、概要の研究で予言された新粒子が発見された場合、ヒッグスポテンシャルの起源として「古典的スケール不変性+強結合ダイナミクス」や、余剰次元理論といった可能性が示唆されることも示した。

研究成果の概要（英文）：We have studied physics beyond the Standard Model (BSM) based on the value of the Higgs particle mass. (1) Motivated by the fact that new particles should be introduced to stabilize the Higgs potential up to the Planck scale, we have considered left-right symmetric models and grand unified theories (GUTs), and conducted analyses on new CP violation and gravitational waves generated by a phase transition, and also made predictions on proton decay and lepton flavor mixings. (2) We have constructed a model where the theory has classical scale invariance and a new strongly-coupled gauge theory induces the Higgs potential, and predicted new particles. (3) As a possibility that the SM is replaced by a new theory at the scale of vanishing Higgs quartic coupling, we have constructed a gauge-Higgs unification model where this scale is identified with the compactification scale of the extradimension, and made a prediction on new particles.

研究分野：素粒子論

キーワード：ヒッグス 標準模型を超える物理

1. 研究開始当初の背景

素粒子標準模型(Standard Model(SM))は、数100 GeVスケール以下のほぼ全ての高エネルギー物理現象を無矛盾に記述する非常に成功したモデルであるが、「Higgsポテンシャルのメキシカン・ハット型の起源は何か?」、「何故、ニュートリノの質量は、他のクォーク・レプトンに比べて遥かに小さいのか?」、「パリティの破れの起源は何か?」、「何故、陽子と電子の電荷の絶対値は2桁以上の精度で等しいのか?」、「ダークマターは何か?」などの未解決問題を含んでいる。こうした謎は、SMを超えるより根本的な物理(beyond the SM (BSM) physics)の存在を強く示唆する。そこで、これらの謎を解決する素粒子モデルを構築し、その実験的兆候を预言することで、BSMの解明を目指す。

2. 研究の目的

BSMの重要な手がかりは、LHC実験でHiggs粒子の質量が125 GeVと測定されたことである。この質量に基づき、SMでHiggs場4点結合の繰り込み群(RGE)解析を行うと、結合定数は $10^9 \sim 10^{11}$ GeVのエネルギー・スケールでゼロになり、プランク・スケールや大統一理論(GUT)のエネルギー・スケールでは負になる。このことは、Higgsポテンシャルがプランク・スケールやGUTスケールで不安定になることを意味する。だが、BSMの新粒子の寄与を考えると、Higgsポテンシャルがプランク・スケール付近で消滅するシナリオもありうる。さらに、multiple-point principle(MPP)条件(4点結合もそのベータ関数もプランク・スケール付近でゼロになる)を満たす可能性もあり、この場合は真空の安定性だけでなく、量子力学に基づく場の理論と重力理論の統合の重要なヒントが得られる。

一方で、Higgs場質量項に電弱スケールと比べて大きい量子補正が働き、電弱スケールを実現するために不自然なfine-tuningが必要になる、という「ナチュラルネス問題」は、BSM解明にあたって取り組むべき課題である。

そこで、「BSMの未知の新粒子の効果でプランク・スケールまでHiggsポテンシャルが安定になる可能性」、「未知の新粒子の効果によりプランク・スケールでHiggsポテンシャルがMPP条件を満たす可能性」、「 $10^9 \sim 10^{11}$ GeVで全く新しいBSMが登場する可能性」を中心に取り組むことでBSMの解明を目指す。

3. 研究の方法

(1) SMの枠組みにおいて、 $10^9 \sim 10^{11}$ GeVのスケールでHiggs4点結合が消滅し、それ以上の高エネルギースケールでHiggsポテンシャルが不安定になってしまうことは、SMに含まれていない新粒子が存在することを示唆する。そこで、以下の新粒子の可能性について調査し、素粒子実験や宇宙観測での検証可能性を明らかにする。

「TeVスケールにおけるシーソー機構によりニュートリノ微小質量を導出する新粒子」、「Left-Right symmetricモデルに含まれて、パリティの自発的破れやニュートリノ微小質量の起源となる新粒子」、「GUTに含まれる新粒子」、「Higgs場と相互作用する新粒子」など。

これらの新粒子を内在する様々なBSM理論を構築・解析し、実験での検証可能性を調査する。

(2) HiggsポテンシャルがMPP条件を満たすような模型を構築する。上記(1)の新粒子が入った各模型について、新粒子の質量をパラメータとして動かして、MPP条件が実現できるか調査する。次に、プランク・スケールにおいて古典的スケール不変性を課した模型を考え、MPP条件を満たし、かつHiggs場質量項を正しく導出できる可能性を追究する。特に、強結合ダイナミクスを使ったボゾニック・シーソー機構を利用して、このような模型を構築することに挑戦する。以上の模型について、素粒子実験や宇宙観測での検証可能性を明らかにする。

(3) SMが $10^9 \sim 10^{11}$ GeV以下の有効理論であり、これより高いエネルギー・スケールでは全く別の理論になっている可能性を考える。特に、Higgs場の起源が5次元ゲージ場の余剰次元成分であり、ゲージ場はポテンシャルを持つことが出来ないので、 $10^9 \sim 10^{11}$ GeVのコンパクト化スケールでHiggsポテンシャルが消滅する、というシナリオを重点的に調査する。そして、素粒子実験や宇宙観測での検証可能性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 3. 研究の方法(2)に関連して、古典的スケール不変性を課した上で、強結合SU(N)_Tゲージ群を導入し、ボゾニック・シーソー機構により電弱相転移がダイナミカルに引き起こされる模型の構築に成功した。そして、この模型の予言する新粒子の実験での検出可能性について調査した。

(2) 3. 研究の方法(3)に関連して、ゲージ・ヒッグス統一理論において、「Higgs場4点結合が消滅するエネルギー・スケール」が余剰次元空間のコンパクト化サイズを示唆すること、および、「トップ・クォークの湯川結合」と「弱い相互作用のゲージ結合定数」が一致するスケールがこのコンパクト化スケールに対応すること、に注目した。そこで、ゲージ・ヒッグス統一理論の枠組みで、「Higgs場4点結合が消滅するエネルギー・スケール」が、「トップ・クォークの湯川結合」と「弱い相互作用のゲージ結合定数」が一致するスケールと等しくなり、かつこのスケールが余剰次元のコンパクト化スケールとみなせる模型を構築した。この模型はvector-likeフェルミオン新粒子の存在を予言する。また、繰り込み群方程式の解析から、この新粒子の質量、コンパクト化スケール、トップ・クォーク質量の精密値の予言を行った。

(3) 以下((12)まで) 3. 研究の方法の(1)に関連した成果である。まず、パリティの破れの起源を説明する有力なBSMとして、標準模型ゲージ群SU(2)_L × SU(2)_R × U(1)_{B-L}に拡張したLeft-Right symmetric模型がある。この模型には、右巻きのクォーク・レプトンに作用する新しい弱い相互作用が存在し、その相互作用を媒介するゲージボソンであるW_Rは、標準模型のWボソンに比べて非常に大きな質量を持っていると考えられる。一方、K中間子崩壊におけるdirect CP violationを表す量 ϵ'/ϵ について、標準模型の予言値と実験値との間に2.1 ~ 2.9 のずれがあることが指摘されている。そこで、Left-Right symmetric模型に含まれるSU(2)_Rゲージボソンの寄与により、 ϵ'/ϵ の実験値を説明できないか調査した。その結果、SU(2)_Rゲージボソンの質量が58TeV以下のとき、 ϵ'/ϵ のずれを説明できることが判明した。さらに、このゲージボソンの中性子電気双極子モーメントへの寄与が、将来実験で検知できることを示した。

(4) D中間子のCabibbo-favoredな崩壊におけるdirect CP violationは、標準模型の寄与が実質的に0であるため、その発見がすなわちBSMの証拠となる。そこで、 $D^0 \rightarrow K^+ K^-$ 、 $D^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 、 $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^-$ 、 $D_s^+ \rightarrow \pi^+ \pi^0$ 崩壊のdirect CP violationに対する、Left-Right symmetric模型のW_Rゲージボソンの寄与を定量的に評価した。

direct CP violation は、標準模型の Left-Left current operator から来る振幅と、 W_R^+ ゲージボゾン交換による Right-Right current operator から来る振幅との干渉により生じる。興味深いことに、両振幅間の strong phase は、short distance QCD 補正から生じるため、信頼できる定量的評価が可能である。我々は、上記 D 中間子崩壊の direct CP violation の最大値を評価し、さらに、それと K 中間子の direct CP violation との相関を明らかにした。

(5) ニュートリノの Dirac 湯川行列と down-type クォークの湯川行列が等しく、シーソー機構を通じてニュートリノの PMNS 混合行列が導出されるメカニズムについて、模型に依らない解析を行った。特に、高い精度の RGE 解析を行い、今後の研究の発展に貢献した。

(6) SUSY $SO(10)$ GUT は BSM として有力な理論であるが、 $SO(10)$ ゲージ群を標準模型ゲージ群に破る Higgs 場の選び方には、さまざまなパターンがある。そこで、 $SO(10)$ を $45+16+16$ bar 表現 Higgs 場で破る ($16+16$ bar 表現により $SO(10)$ のランクを 1 つ下げ、 $SU(5)$ 部分群を 45 表現で破る) 場合に注目し、GUT ゲージボゾンが媒介する陽子崩壊 ($\dim=6$ OP 陽子崩壊) の予言を調べた。 45 表現は反対称テンソルなので、SUSY 理論ではスーパー・ポテンシャルの 3 点相互作用が書けず、その真空期待値は質量項と高次の相互作用項から出ざるを得ない。その結果、 45 表現 Higgs 場の真空期待値は、 $16+16$ bar 表現のそれと比べて階層的に大きくなる。すると、興味深いことに、 $SO(10)$ GUT ゲージボゾンで陽子崩壊を媒介する Q ゲージボゾンと X ゲージボゾンの質量比が $1:5$ になることが分かった。GUT を破る Higgs 場から出る物理的粒子も含めた質量スペクトルの詳細な解析を行った結果、 Q ゲージボゾンが媒介する陽子崩壊の頻度は、スーパーカミオカンデ実験ではみえないが、ハイパーカミオカンデ実験でちょうど観測可能な領域にあることが分かった。

(7) SUSY $SO(10)$ GUT で、 $10+126$ bar 表現 Higgs 場の湯川結合から標準模型湯川結合が導出される模型を考えた。クォーク・レプトンの質量とフレーバー混合の実験値のフィッティングにより、 $10+126$ bar 表現 Higgs 場の湯川結合を決定し、そこからカラーを持った Higgs 粒子の超対称性パートナーである colored Higgsino が媒介する $p \rightarrow K^+ \bar{\mu}$ 過程と $p \rightarrow K^0 \mu$ 過程の部分巾の比の予言を行なった。

(8) SUSY $SO(10)$ GUT で、 $10+126$ bar+ 120 表現 Higgs 場の湯川結合から標準模型湯川結合が導出される模型を考えた。クォーク・レプトンの質量とフレーバー混合の実験値をフィットしつつ、colored Higgsino が媒介する陽子崩壊の振幅の湯川結合依存部分が抑制されるような $10+126$ bar+ 120 表現 Higgs 場の湯川結合を求めた。湯川結合依存部分が抑制されると、超対称粒子の質量を TeV と比べて極めて大きい値に仮定しなくても、現在の陽子崩壊の実験的制限を満たすことができ、電弱スケールの「ナチュラルネス」の観点から好ましい。本研究は特に、SUSY $SO(10)$ GUT の中でもアイソスピン 3 重項の微小真空期待値からニュートリノ微小質量が出る模型を取り上げ、ニュートリノ・フレーバー混合行列の Dirac CP 位相などと、陽子崩壊振幅の湯川結合依存部分の抑制度との相関を明らかにした。

(9) パリティの破れの起源を説明する Left-Right symmetric 模型において、輻射優勢宇宙でのパリティの破れの相転移に伴う重力波が、将来の重力波観測で検出できる可能性がある。そこで、Left-Right symmetric 模型と同じく $U(1)_{B-L}$ ゲージ群を持つ同模型の雛形である Minimal $U(1)_{B-L}$ 模型を取り上げ、 $U(1)_{B-L}$ ゲージ群を破る相転移に伴う重力波の観測可能性の解析を行なった。特に、模型が超対称性を持つ場合に注目した研究を行なった。

(10) チャージがレプトンフレーバーに依存するような $U(1)$ 対称性を課し、荷電レプトンの各世代に結合する Higgs 2 重項を 3 個導入することによって、荷電レプトンの質量階層性を自然に説明できる模型を提唱した。この模型では、 $U(1)$ 対称性を電荷+1

だけソフトに破ることにより、Higgs 場の真空期待値が自然に階層性を持ち、そこから荷電レプトンの質量階層性が導出される。このモデルでは、電子と μ 粒子に結合する Higgs 粒子が異なるため、別々の Higgs 粒子が電子と μ 粒子の異常磁気モーメントに寄与する。我々は、 μ 粒子の異常磁気モーメントの実験値の標準模型からのずれを 2σ で説明できるが、電子の異常磁気モーメントの実験値の標準模型からのずれは 2σ で説明できないことを示した。

(11) 「neutrinophilic Higgs + seesaw model」と呼ばれる、右巻きニュートリノが、微小な真空期待値を持つ新たな Higgs 場とのみ結合し、かつマヨラナ質量も持つモデルを調査した。そして、このモデルにおける荷電レプトン・フレーバーを破る過程の予言を行なった。具体的には、 $\mu \rightarrow e$ 過程の現在の実験的制限に抵触しないパラメータ領域を特定した上で、同領域での $\mu \rightarrow 3e$, $\mu \rightarrow Al \rightarrow e + Al$, $\mu \rightarrow Ti \rightarrow e + Ti$, $Z \rightarrow e\mu$, $Z \rightarrow e$, $Z \rightarrow \mu$, $h \rightarrow e$, $h \rightarrow \mu$ 過程の予言を行い、これらの過程の将来の観測可能性を議論した。

(12) SUSY flipped SU(5) GUT では通常、colored Higgsino が媒介する陽子崩壊は強く抑制され観測できない。しかし我々は、同じ理論の枠組みでも、この抑制が弱まる可能性があることに気づいた。そこで、陽子崩壊がある程度抑制されて、 $0(10)$ TeV の超対称粒子質量スペクトルに対して、スーパーカミオカンデの陽子寿命の現在の実験的制限に抵触せず、かつ将来のハイパーカミオカンデ実験で陽子崩壊が発見可能なモデルを構築した。また、flipped SU(5) GUT の湯川結合の構造に基づき、colored Higgsino が媒介する陽子崩壊の複数のモードの部分巾の比の予言を行った。

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 1件／うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Haba Naoyuki、Mimura Yukihiro、Yamada Toshifumi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Renormalizable SO (10) grand unified theory with suppressed dimension-5 proton decays	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 023B01_1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa186	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 Haba Naoyuki、Omija Tsuneharu、Yamada Toshifumi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Charged lepton flavor violating processes in neutrinophilic Higgs + seesaw model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 073B08_1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa089	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 Haba Naoyuki、Mimura Yukihiro、Yamada Toshifumi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Enhanced $\Gamma(p \rightarrow K^0 \mu^+) / \Gamma(p \rightarrow K^+ \bar{\nu}_\mu)_\mu$ as a signature of minimal renormalizable SUSY SO (10) GUT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093B01_1-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa097	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 Haba Naoyuki、Shimizu Yasuhiro、Yamada Toshifumi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Muon and electron g-2 and the origin of the fermion mass hierarchy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093B05_1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptaa098	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 Haba Naoyuki、Mimura Yukihiro、Yamada Toshifumi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Detectable dimension-6 proton decay in SUSY S0(10) GUT at Hyper-Kamiokande	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 155-1_14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2019)155	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 Haba Naoyuki、Mimura Yukihiro、Yamada Toshifumi	4. 巻 101
2. 論文標題 _23 octant measurement in 3+1 neutrino oscillations in T2HKK	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 075034-_15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.075034	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 Haba Naoyuki、Yamada Toshifumi	4. 巻 101
2. 論文標題 Gravitational waves from phase transition in minimal SUSY $U(1) \times SU(2) \times U(1) \times U(1)$ model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 075027-1_14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.075027	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 Haba Naoyuki、Takahashi Tomo、Yamada Toshifumi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Sneutrinos as mixed inflaton and curvaton	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 011_1-21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/06/011	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 Haba Naoyuki, Umeeda Hiroyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Direct CP violation in Cabibbo-favored charmed meson decays and / in $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 052-1-29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP10(2018)006	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 Haba Naoyuki, Mimura Yukihiro, Yamada Toshifumi	4. 巻 99
2. 論文標題 Proton lifetime upper bound in non-SUSY $SU(5)$ GUT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 075018_1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.075018	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 Haba Naoyuki, Ishida Hiroyuki, Okada Nobuchika, Yamaguchi Yuya	4. 巻 2017
2. 論文標題 Multiple-point principle with a scalar singlet extension of the standard model	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 013B03 ~ 013B03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptw186	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 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 95
2. 論文標題 Strong dynamics in a classically scale invariant extension of the standard model with a flat potential	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 115016-1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.115016	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 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 95
2. 論文標題 Multiple-point principle realized with strong dynamics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 115015-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.115015	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 Abe Yugo, Asano Yusuke, Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 77
2. 論文標題 Heavy neutrino mixing in the T2HK, the T2HKK and an extension of the T2HK with a detector at Oki Islands	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 851-1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-017-5294-7	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 Haba Naoyuki, Umeeda Hiroyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 97
2. 論文標題 Semialigned two Higgs doublet model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 035004 -1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.035004	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 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 97
2. 論文標題 Prediction on neutrino Dirac and Majorana phases and absolute mass scale from the CKM matrix	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 055018 -1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.055018	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 Haba Naoyuki, Umeeda Hiroyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 2018
2. 論文標題 / anomaly and neutron EDM in SU(2)L × SU(2)R × U(1)B-L model with charge symmetry	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 052-1_29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP05(2018)052	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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 大見謝恒春, 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Neutrino-philic Higgs+Seesaw modelにおける, Charged Lepton Flavor Violating processes の将来的な観測可能性
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 波場直之, 清水康弘, 山田敏史
2. 発表標題 Reconsider anarchy of $O(1)$ coefficients in Quark/Lepton Mass Matrices
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 波場直之, 清水康弘, 山田敏史
2. 発表標題 Reconsider fermion mass anarchy in SU(5) GUT
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 波場直之, 清水康弘, 山田敏史
2. 発表標題 Muon and Electron $g - 2$ and charged lepton mass Hierarchy
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 山田敏史, 波場直之, 岡田宣親
2. 発表標題 Compactification scale and the mass of vector-like fermions from the gauge-Higgs conditions
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 山田敏史, 波場直之
2. 発表標題 Gravitational waves from a phase transition in the minimal SUSY $U(1)_{B-L}$ model
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 山田敏史, 波場直之, 御村幸宏
2. 発表標題 23 octant measurement in 3+1 neutrino oscillations in T2HKK
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 波場直之, 清水康弘, 山田敏史
2. 発表標題 Lepton flavor violation in renormalizable SUSY $S_0(10)$ GUT
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田敏史, 波場直之, 萩原薫, Ya-Juan Zheng
2. 発表標題 Pseudo-Dirac Neutrinos at the LHC
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 波場直之, 御村幸宏, 山田敏史
2. 発表標題 Dimension-five-friendly Yukawa couplings in $S_0(10)$ GUT
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波場直之, 御村幸宏, 山田敏史
2. 発表標題 Proton Lifetime Upper Bound in Non-SUSY $SU(5)$ GUT
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波場直之, 御村幸宏, 山田敏史
2. 発表標題 Detectable dimension-6 proton decay in SUSY S0(10) GUT at Hyper-Kamiokand e
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波場直之, 御村幸宏, 山田敏史
2. 発表標題 $p \rightarrow K^0 \mu^+$ partial proton lifetime in SUSY S0(10) GUT
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Gravitational waves from a phase transition in Randall-Sundrum-1 model
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 波場直之, 大見謝恒春, 山田敏史
2. 発表標題 マヨラナ質量を含む一般的なneutrinophilic two-Higgs-doublet modelへの, Lepton Flavor Violationからの制限
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 波場直之, 清水康弘, 山田敏史
2. 発表標題 Muon and Electron $g - 2$ and the Origin of Flavor Hierarchy
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 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Gravitational waves from a phase transition in a SUSY left-right model
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 波場直之, 岡田宣親, 山田敏史
2. 発表標題 Proton decay prediction from a gauge-Higgs unification scenario in five dimensions
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 波場直之, 梅枝宏之, 山田敏史
2. 発表標題 Neutron EDM and μ in $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$ model with charge symmetry
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Prediction on neutrino Dirac and Majorana phases and absolute mass scale from the CKM Matrix
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Gravitational Waves from Inverse Electroweak Phase Transition
3. 学会等名 日本物理学会2019年年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田敏史, 波場直之, 高橋智
2. 発表標題 Model of a sneutrino inflaton and a sneutrino curvaton
3. 学会等名 日本物理学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 朝野佑亮, 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Researching atmospheric tau neutrinos with LArTPC
3. 学会等名 日本物理学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田敏史, 波場直之
2. 発表標題 Classically scale invariant extension of the Standard Model and strong dynamics
3. 学会等名 日本物理学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山田敏史, 波場直之, Weiland Cedric
2. 発表標題 Phenomenology of neutrinophilic two Higgs doublet models
3. 学会等名 日本物理学会2017年春季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 波場直之, 梅枝宏之, 山田敏史
2. 発表標題 CKM phenomenology in the presence of flavor changing neutral Higgs
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田敏史, 波場直之, 岡田宣親
2. 発表標題 Well-tempered Bino-Wino dark matter and proton decay
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝野佑亮, 阿部裕悟, 波場直之, 山田敏史
2. 発表標題 Heavy neutrino mixing in the T2HK, T2HKK, and an extension of the T2HK with an Oki detector
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ヒッグス粒子で探る新しい物理 https://sites.google.com/view/naoyukihaba/ヒッグス粒子で探る新しい物理?authuser=0

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