

平成30年6月1日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2017

課題番号：24540272

研究課題名(和文) LHCとILCにおける新しい物理の解明

研究課題名(英文) research of new physics at LHC and ILC

研究代表者

波場 直之 (Haba, Naoyuki)

島根大学・総合理工学研究科・教授

研究者番号：00293803

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：SMでは、125 GeV のヒッグス質量は、 $10^{10}$  GeV付近でヒッグス・ポテンシャルが不安定になることを示唆する。プランク・スケールでヒッグス・ポテンシャルが消滅し古典的スケール不変性を満たすためには、SMの枠組みだけではうまくいかない。このことに注目し、スカラー型ダークマターや右巻きニュートリノのマヨラナ質量の大きさを予言したり、電弱相転移がボソニック・シーソー機構で実現される強結合モデルを構築し、実験での予言を得た。また、ニュートリノの極微質量を説明する新しいモデルやパリティの破れの起源を説明する新しいモデルを構築し、実験での観測可能性を調査した。

研究成果の概要(英文)：In the SM, the Higgs mass of 125 GeV suggests that Higgs potential becomes unstable around  $10^{10}$  GeV. The SM framework alone does not realize vanishing Higgs potential at the Planck scale with the classical scale invariance. Concentrating on it, we can predict the magnitudes of dark matter and Majorana masses of right-handed neutrinos. We also construct a model that realize weak phase transition through the Bosonic seesaw mechanism with a strongly coupled dynamics, and obtained experimental predictions. We also construct a new model of explaining the origins of tiny neutrino masses or parity violation, and investigated its observability in experiments.

研究分野：素粒子論

キーワード：Higgs potential 電弱相転移 tiny neutrino mass dark matter 実験での観測可能性 baryon asymmetry パリティの破れの起源 標準模型を超える新しい物理

## 1. 研究開始当初の背景

素粒子の標準模型 (Standard Model (SM)) は、 $O(100)$  GeV 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模型である。研究開始当初、Higgs 粒子は未だ発見されておらず、しかし、発見後も質量がどのように生み出されたのか?電弱相転移がどのようにして起きたのか?について、本質は依然として謎のままである。更に、SM には、「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?」、「何故、陽子と電子の電荷の絶対値が  $21$  桁以上の精度で等しいのか?」等の未解決の謎が存在する。これらの謎は、SM の背後に、より根本的な SM を超える物理 (beyond the SM(BSM)) が存在することを示唆するとともに、BSM を探る重要なカギでもある。SM が量子場の理論としては  $O(1)$  TeV 以下の有効理論であることもふまえると、BSM のヒントは、TeV スケールのエネルギー実験である LHC 実験で見つかるかと期待されていた。TeV スケールに存在する BSM としては、超対称性理論 (SUSY) と余剰次元理論等が有力候補であり、多くの理論的研究や実験データの解析がおこなわれていた。更に高エネルギーに存在すると予想され、陽子と電子の電荷の絶対値が等しいことを保証する大統一理論 (GUT) についても、理論的研究が盛んにおこなわれていた。

## 2. 研究の目的

本研究プロジェクトの目的は、ヒッグスの相転移の起源、パリティの破れの起源、ニュートリノの極微質量の起源、物質・反物質の非対称性の起源、クォーク・レプトンの世代の起源、電子と陽子の電荷の絶対値が等しいことの起源、ダークマターの起源、インフレーションの機構などの SM にある謎を解き、BSM を理論的に解明することであり、SUSY、余剰次元理論、GUT、に加えて、新しいアプローチで BSM の探求をおこない、LHC・ILC 実験でどのように観測可能かを調査することである。高エネルギー実験や宇宙観測の最新の実験結果を常に考慮し、BSM の解明に挑戦し続けた。

## 3. 研究の方法

(1) ヒッグスの質量が  $125$  GeV で発見されたことは、SM の枠組みで、プランク・スケール付近においてヒッグス・ポテンシャルが消滅する可能性を示唆している。このことは、BSM や量子重力に対する重要なヒントであると思われる。このことに注目し、様々なアプローチで BSM の解明に取り組み、LHC・ILC 実験での観測可能性の調査をおこなう。

- (2) ニュートリノの世代混合や CP 位相についての実験結果が明らかになってきたことで、SM の世代の謎について取り組み LHC・ILC 実験での観測可能性の調査をおこなう。
- (3) パリティの破れは SM では単に仮定であり、その起源は未だ謎である。そこで、パリティが自発的に破れる可能性や、SUSY や余剰次元理論における強い相互作用でのパリティの破れについて、LHC・ILC 実験での観測可能性の調査をおこなう。

## 4. 研究成果

- (1) ヒッグス粒子の新しい可能性として、ニュートリノ質量の小ささが、未発見のヒッグス粒子の真空期待値の小ささに起因する、ヒッグス理論の構築をおこなった。更に、ヒッグス理論が、大統一理論に自然に拡張できることを示し、B の物理とニュートリノ振動実験の関連性に対し新しい予言を与えた。
- (2) SUSY 粒子の質量差が起源で、強い相互作用でもパリティが破れることを指摘し、LHC 実験においてトップ対生成のヘリシティを測定することによって、SUSY 粒子の質量差が起源のパリティの破れが観測できる可能性を示した。更に、メソンにおけるパリティの破れの実験的制限から、SUSY 粒子の質量に対する制限を求めるのに成功した。また、LHC 実験においてトップ対生成断面積のヘリシティ依存性を観測することで、ワープした余剰次元理論が検証できる可能性を示した。
- (3) クォークとレプトンが大統一理論では統一されることをふまえて、クォークとレプトンの世代構造が高エネルギー・スケールでは統一される可能性に関して解析をおこなった。その結果、クォークとレプトンの世代構造が、Weak スケールや TeV スケールで異なる構造を持つのは、ニュートリノの質量が縮退して量子効果が大きく効くためである可能性を示した。
- (4) 宇宙初期のバリオン生成の仕組みの有力な可能性として、レプトジェネシス機構がある。特に、レゾナント・レプトジェネシスと呼ばれる機構では、加速器実験での検証の可能性がある。考案したニュートリノ・フィリック・ヒッグス・ダブルレット模型の枠組みではレゾナント・レプトジェネシスを解析し、質量間のチューニングが  $4$  桁ですむことを示した。
- (5) ニュートリノの質量や世代間混合の間に、量子補正に依存しない繰り込み群不変量があることを示し、加速器実験で到達不可能な高エネルギー領域における物理量を研究できる可能性を証明した。
- (6) SM にスカラー型ダークマターと右巻きニュートリノのマヨラナ質量項を導入する

- とプランク・スケールでヒッグス・ポテンシャルが消滅することを示し、この場合のダークマターとマヨラナ質量の大きさを予言した。
- (7)  $b \rightarrow s$  過程における の偏光から新しい物理を探索する方法を考案し、実験での観測可能性を評価した。
- (8) 3つのゲージ結合定数がプランクスケールで統一され、かつ、真空が安定に保たれ、ゲージ階層性問題が解決されるモデルを構築し、実験的制限を調査した。
- (9) ヒッグスの電弱相転移がボソノック・シーソー機構で実現される可能性について、量子効果で起きるモデルと強結合のダイナミクスで起きるモデルを構築し、実験での制限を調査した。更に、強結合セクターのダイナミクスを経由して電弱相転移が起きるモデルを構築し、実験での観測可能性を調査した。
- (10) SM の枠組みで、10の10乗のエネルギースケールでヒッグスポテンシャルが不安定になることは、このスケールに余剰次元が存在する証拠ではないかと考えて、モデルに依らない陽子崩壊の解析をおこなった。
- (11) SM ではパリティの破れは初めから仮定として与えられたものであり、その起源は謎である。BSM として有力な、left-right symmetric (LR) 模型では、パリティは自発的に破れると思われる。そこで、LR 模型において、semi-aligned 2 Higgs doublet model (2HDM) 模型を構築し、実験での検証可能性を調べた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 39 件)

- [1] N. Haba, H. Umeeda and T. Yamada, "epsilon'/epsilon Anomaly and Neutron EDM in  $SU(2)_L \times SU(2)_R \times U(1)_{B-L}$  model with Charge Symmetry," JHEP 掲載決定, 査読有
- [2] Prediction on Neutrino Dirac and Majorana Phases and Absolute Mass Scale from the CKM Matrix, N. Haba and T. Yamada, Phys. Rev. D 97, no. 5, 055018 -1-13 (2018). 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.97.055018
- [3] Semialigned two Higgs doublet model, N. Haba, H. Umeeda and T. Yamada, Phys. Rev. D 97, no. 3, 035004 -1-15 (2018). 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.97.035004
- [4] Heavy neutrino mixing in the T2HK, the T2HKK and an extension of the T2HK with a detector at Oki Islands, Y. Abe, Y. Asano, N. Haba and T. Yamada,

- Eur. Phys. J. C 77, no. 12, 851-1-23 (2017). 査読有  
DOI: 10.1140/epjc/s10052-017-5294-7
- [5] Multiple-point principle with a scalar singlet extension of the Standard Model, N. Haba, H. Ishida, N. Okada and Y. Yamaguchi, PTEP 2017, no. 1, 013B03-1-13 (2017). 査読有  
DOI: 10.1093/ptep/ptw186
- [6] Strong dynamics in a classically scale invariant extension of the standard model with a flat potential, N. Haba and T. Yamada, Phys. Rev. D 95, no. 11, 115016-1-22 (2017). 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.95.115016
- [7] Multiple-point principle realized with strong dynamics, N. Haba and T. Yamada, Phys. Rev. D 95, no. 11, 115015-1-10 (2017). 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.95.115015
- [8] Naturalness and lepton number/flavor violation in inverse seesaw models N. Haba, H. Ishida, Y. Yamaguchi, JHEP 1611 (2016) 003. 査読有  
DOI: 10.1007/JHEP11(2016)003
- [9] Bosonic seesaw mechanism in a classically conformal extension of the Standard Model, N. Haba, H. Ishida, N. Okada and Y. Yamaguchi, Phys.Lett. B754 (2016) 349-352. 査読有  
DOI: 10.1016/j.physletb.2016.01.050
- [10] Gauge coupling unification in a classically scale invariant model, N. Haba, H. Ishida, R. Takahashi and Y. Yamaguchi, JHEP 1602 (2016) 058-1-19, 査読有  
DOI: 10.1007/JHEP02(2016)058
- [11] A new dynamics of electroweak symmetry breaking with classically scale invariance, N. Haba, H. Ishida, N. Kitazawa and Y. Yamaguchi, Phys.Lett. B755 (2016) 439-443. 査読有  
DOI: 10.1016/j.physletb.2016.02.052
- [12] Vacuum stability and naturalness in type-II seesaw, N. Haba, H. Ishida, N. Okada and Y. Yamaguchi, Eur.Phys.J. C76 (2016) no.6, 333-1-10. 査読有  
DOI: 10.1140/epjc/s10052-016-4180-z
- [13] Proton decay prediction from a gauge-Higgs unification scenario in five dimensions, N. Haba, N. Okada and T. Yamada, Phys.Rev. D94 (2016) no.7, 071701-1-5. 査

読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.94.071701

[14] Higgs inflation and Higgs portal dark matter with right-handed neutrinos, N. Haba, H. Ishida and R. Takahashi, PTEP 2015 (2015) no.5, 053B01-1-10. 査読有

DOI: 10.1093/ptep/ptv053

[15] R dark matter-philic Higgs for 3.5 keV X-ray signal, N. Haba, H. Ishida and R. Takahashi, Phys.Lett. B743 (2015) 35-38. 査読有

DOI: 10.1016/j.physletb.2015.02.014

[16] Gravitational effects on vanishing Higgs potential at the Planck scale, N. Haba, K. Kaneta, R. Takahashi and Y. Yamaguchi,

Phys.Rev. D91 (2015) no.1, 016004-1-7. 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.91.016004

[17] Hierarchy problem, gauge coupling unification at the Planck scale, and vacuum stability,

N. Haba, H. Ishida, R. Takahashi and Y. Yamaguchi,

Nucl.Phys. B900 (2015) 244-258. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2015.09.004

[18] Search for new physics via photon polarization of  $b \rightarrow s$ , N. Haba, H. Ishida, T. Nakaya, Y. Shimizu and R. Takahashi,

JHEP 1503 (2015) 160-1-19. 査読有

DOI: 10.1007/JHEP03(2015)160

[19] Vacuum stability in the U(1) U1 extended model with vanishing scalar potential at the Planck scale,

N. Haba and Y. Yamaguchi,

PTEP 2015 (2015) no.9, 093B05-1-15. 査読有

DOI: 10.1093/ptep/ptv121

[20] A model realizing inverse seesaw and resonant leptogenesis,

M. Aoki, N. Haba and R. Takahashi,

PTEP 2015 (2015) no.11, 113B03-1-8. 査読有

DOI: 10.1093/ptep/ptv149

[21] Vanishing Higgs potential at the Planck scale in a singlet extension of the standard model,

N. Haba, H. Ishida, K. Kaneta and R. Takahashi,

Phys.Rev. D90 (2014) 036006-1-6. 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.90.036006

[22] Higgs inflation with singlet scalar dark matter and right-handed neutrino in light of BICEP2,

N. Haba and R. Takahashi,

Phys.Rev. D89 (2014) no.11, 115009-1-5. 査読有

Erratum: Phys.Rev. D90 (2014) no.3, 039905

DOI: 10.1103/PhysRevD.89.115009, 10.1103/PhysRevD.90.039905

[23] Accurate renormalization group analyses in neutrino sector, N. Haba, K. Kaneta, R. Takahashi and Y. Yamaguchi,

Nucl.Phys. B885 (2014) 180-195. 査読有

DOI: 10.1016/j.nuclphysb.2014.05.022

[24]  $\mu$  term and supersymmetry breaking from 6D theory,

Y. Adachi, N. Haba and T. Yamashita,

PTEP 2014 (2014) no.6, 063B05-1-10. 査読有

DOI: 10.1093/ptep/ptu074

[25] Planck scale boundary conditions in the standard model with singlet scalar dark matter,

N. Haba, K. Kaneta and R. Takahashi,

JHEP 1404 (2014) 029-1-13. 査読有

DOI: 10.1007/JHEP04(2014)029

[26] NNMSM type-II and -III,

N. Haba, K. Kaneta and R. Takahashi,

Eur.Phys.J. C74 (2014) 2696-1-12. 査読有

DOI: 10.1140/epjc/s10052-013-2696-z

[27] Higgs Pair Production at the LHC and ILC from general potential,

N. Haba, K. Kaneta, Y. Mimura and E. Tsedenbaljir,

Phys.Rev. D89 (2014) 015018-1-14 査読有

DOI: 10.1103/PhysRevD.89.015018

[28] Next to new minimal standard model,

N. Haba, K. Kaneta and R. Takahashi,

Phys.Lett. B734 (2014) 220-226. 査読有

DOI: 10.1016/j.physletb.2014.05.016

[29] Constraints on neutrino mass ordering and degeneracy from Planck and neutrino-less double beta decay,

N. Haba and R. Takahashi,

Acta Phys.Polon. B45 (2014) 1, 61-69. 査読有

DOI: 10.5506/APhysPolB.45.61

[30] QCD Parity violation in a quarkonium via SUSY,

N. Haba, K. Kaneta and T. Onogi,

Acta Phys.Polon. B44 (2013) 733-760. 査読有

DOI: 10.5506/APhysPolB.44.733

[31] Enhancement of Higgs to diphoton decay width in non-perturbative Higgs model,

N. Haba, K. Kaneta, Y. Mimura and R. Takahashi,

Phys.Lett. B718 (2013) 1441-1446. 査読有

DOI: 10.1016/j.physletb.2012.12.049

[32] Stability of Leptonic Self-complementarity

N. Haba, K. Kaneta and R. Takahashi,

Europhys.Lett. 101 (2013) 11001-1-5. 査読有

DOI: 10.1209/0295-5075/101/11001

[33] QCD parity violation at LHC in warped extra dimension,  
N. Haba, K. Kaneta and S. Tsuno,  
Phys.Rev. D87 (2013) 095002-1-7. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.87.095002  
[34] Resonant leptogenesis with mild degeneracy,  
N. Haba, O. Seto and Y. Yamaguchi,  
Phys.Rev. D87 (2013) 12, 123540-1-7. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.87.123540  
[35] Renormalization group invariants in neutrino sector,  
N. Haba and R. Takahashi,  
JHEP 1308 (2013) 123-1-17. 査読有  
DOI: 10.1007/JHEP08(2013)123  
[36] A Simple Method of Calculating Effective Operators,  
N. Haba, K. Kaneta, S. Matsumoto and T. Nabeshima,  
Acta Phys. Polon. B43 (2012) 405-444. 査読有  
DOI: 10.5506/APhysPolB.43.405  
[37] Parity Violation in QCD Process,  
N. Haba, K. Kaneta, S. Matsumoto, T. Nabeshima and S. Tsuno,  
Phys. Rev. D 85 (2012) 014007-1-7. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.85.014007  
[38] Phenomenology of supersymmetry SU(5) GUT with neutrinophilic Higgs boson,  
N. Haba, K. Kaneta and Y. Shimizu,  
Phys. Rev. D 86 (2012) 015019-1-6. 査読有  
DOI: 10.1103/PhysRevD.86.015019  
[39] Grand Unification of Flavor Mixings,  
N. Haba and R. Takahashi,  
Europhys. Lett. 100 (2012) 31001-1-5. 査読有  
DOI: 10.1209/0295-5075/100/31001

〔学会発表〕(計 42 件)

[1] CKM phenomenology in the presence of flavor changing neutral Higgs,  
波場直之, 梅枝宏之, 山田敏史,  
日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月  
[2] Well-tempered Bino-Wino dark matter and proton decay,  
山田敏史, 波場直之, 岡田宣親,  
日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月  
[3] Heavy neutrino mixing in the T2HK, T2HKK, and an extension of the T2HK with an Oki detector,  
朝野佑亮, 阿部裕悟, 波場直之, 山田敏史,  
日本物理学会第 73 回年次大会, 2018 年 3 月  
[4] Model of a sneutrino inflaton and a sneutrino curvaton,  
山田敏史, 波場直之, 高橋智,  
日本物理学会 2017 年春季大会, 2017 年 9 月  
[5] Researching atmospheric tau neutrinos

with LArTPC,  
朝野佑亮, 波場直之, 山田敏史,  
日本物理学会 2017 年春季大会, 2017 年 9 月  
[6] Classically scale invariant extension of the Standard Model and strong dynamics,  
山田敏史, 波場直之,  
日本物理学会 2017 年春季大会, 2017 年 9 月  
[7] Phenomenology of neutrinophilic two Higgs doublet models,  
山田敏史, 波場直之, Weiland Cedric,  
日本物理学会 2017 年春季大会, 2017 年 9 月  
[8] Dynamical symmetry breaking and multiple-point principle in a classically scale invariant extension of the Standard Model,  
山田敏史, 波場直之,  
日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月  
[9] Measuring Non-Unitarity in the T2KK and T2KO Experiments II,  
朝野佑亮, 阿部裕悟, 波場直之, 山田敏史,  
日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月  
[10] Measuring non-unitarity in the T2KK and T2KO experiments,  
朝野佑亮, 阿部裕悟, 波場直之, 山田敏史,  
日本物理学会第 72 回年次大会, 2017 年 3 月  
[11] Higgs mass correction in the inverse seesaw model,  
波場直之, 石田裕之, 山口雄也,  
日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月  
[12] Radiative EW symmetry breaking with a scalar singlet extension,  
波場直之, 石田裕之, 岡田宣親, 山口雄也,  
日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月  
[13] Axion-like dark matter in a classically scale invariant model,  
波場直之, 石田裕之, 松崎真也, 山口雄也,  
日本物理学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月  
[14] Naturalness and vacuum stability in type-II seesaw model,  
波場直之, 石田裕之, 岡田宣親, 山口雄也,  
日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月  
[15] The origin of electroweak symmetry breaking via bosonic seesaw mechanism,  
波場直之, 石田裕之, 岡田宣親, 山口雄也,  
日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月  
[16] ニュートリノの CP 非対称性に関する研究,  
波場直之, 石田裕之, 山口雄也, 島田恭輔,  
日本物理学会第 71 回年次大会, 2016 年 3 月  
[17] Gauge coupling unification in classical conformal model,  
波場直之, 石田裕之, 高橋亮, 山口雄也,  
日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月  
[18] Vacuum stability in classical conformal U(1) extended model,  
波場直之, 山口雄也,  
日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015 年 9 月

[19] Results on  $\sin 2\theta_{13}$  with Non-Standard neutrino Interactions in the Daya Bay and T2K,  
波場直之, 石田裕之, 山口雄也, 島田恭輔,  
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月

[20] Search for new physics via photon polarization of radiative B meson decay,  
石田裕之, 波場直之, 中家剛, 清水康弘, 高橋亮,  
日本物理学会 2015 年秋季大会、2015 年 9 月

[21] Gauge coupling unification at the Planck scale part.2,  
石田裕之, 波場直之, 高橋亮, 山口雄也,  
日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月

[22] Gauge coupling unification at the Planck scale part.1,  
石田裕之, 波場直之, 高橋亮, 山口雄也,  
日本物理学会第 70 回年次大会、2015 年 3 月

[23] Higgs inflation and Higgs portal dark matter with right-handed neutrinos part II,  
波場直之, 石田裕之, 高橋亮,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[24] Higgs inflation and Higgs portal dark matter with right-handed neutrinos part I,  
波場直之, 石田裕之, 高橋亮,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[25] Neutrino, dark matter and the Planck scale,  
波場直之, 石田裕之, 金田邦雄, 高橋亮,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[26] Inverse seesaw from seesaw,  
青木真由美, 波場直之, 高橋亮,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[27] Higgs mass from Planck scale boundary conditions with gravity,  
波場直之, 金田邦雄, 高橋亮, 山口雄也,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[28] Planck scale boundary conditions in the standard model with singlet scalar dark matter,  
波場直之, 金田邦雄, 高橋亮,  
日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

[29] Next to new minimal standard model,  
波場直之, 金田邦雄, 高橋亮,  
日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月

[30] ニュートリノ質量行列の詳細な解析,  
波場直之, 金田邦雄, 高橋亮, 山口雄也,  
日本物理学会第 69 回年次大会、2014 年 3 月

[31] non-perturbative Higgs 模型における Higgs 対生成の LHC および ILC での測定可能性,  
波場直之, 金田邦雄, 高橋亮, 御村幸宏, Ts. Enkhbat,

日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月

[32] Neutrinophilic two Higgs doublet model における Resonant leptogenesis,  
波場直之, 瀬戸治, 山口雄也,  
日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月

[33] Renormalization group invariants in neutrino sector,  
波場直之, 高橋亮,  
日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月

[34] Constraints on neutrino mass ordering and degeneracy from Planck and neutrinoless double beta decay,  
波場直之, 高橋亮,  
日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月

[35] トップクォーク対生成における SUSY によるパリティの破れの検証,  
波場直之, 金田邦雄, 高保勇輝, 津野総司,  
日本物理学会 2013 年秋季大会、2013 年 9 月

[36] 余剰次元に由来する  $\mu$  項と超対称性の破れについて,  
安達裕樹, 波場直之, 山下敏文,  
第 68 回日本物理学会年次大会、2013 年 3 月

[37] QCD parity violation at LHC in warped extra dimension,  
波場直之, 金田邦雄, 津野総司,  
第 68 回日本物理学会年次大会、2013 年 3 月

[38] 超対称性理論における LHC の QCD 過程でのパリティの破れ,  
波場直之, 金田邦雄, 高保勇輝,  
第 68 回日本物理学会年次大会、2013 年 3 月

[39] non-perturbative な Higgsino に対する unitarity からの制限,  
波場直之, 金田邦雄, 御村幸宏, 高橋亮,  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月

[40] Helicity asymmetry in top quark pair production via SUSY,  
波場直之, 金田邦雄, 清水康弘, 津野総司,  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月

[41] Can a quantum correction trigger PMNS mixing from CKM mixing?  
波場直之, 高橋亮,  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月

[42] Predictions via large  $\theta_{13}$  from cascades,  
波場直之, 高橋亮,  
日本物理学会 2012 年秋季大会、2012 年 9 月

〔その他〕  
ホームページ等  
[http://www.phys.shimane-u.ac.jp/hiba\\_lab/kenkyuui02.html](http://www.phys.shimane-u.ac.jp/hiba_lab/kenkyuui02.html)  
アウトリーチとして 1 2 件の一般講演会を企画・開催した。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

波場 直之 (HABA Naoyuki)

島根大学・総合理工学研究所・教授

研究者番号：00293803