

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24340046

研究課題名(和文) ヒッグス物理の理論研究と加速器実験での検証によるテラスケール新物理理論の決定

研究課題名(英文) Theoretical studies on Higgs physics and determination of the new theory at the tera-scale by using future collider experiments

研究代表者

兼村 晋哉 (Kanemura, Shinya)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・准教授

研究者番号：10362609

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：2012年にヒッグス粒子が発見されたが、ヒッグス粒子の本質やヒッグスセクターの構造は依然として未知である。本研究では、ヒッグス物理が標準理論を超えた新物理学への窓であるという観点に立ち、様々な拡張ヒッグスモデルの理論研究を行い、現在のLHC実験や将来の国際線形加速器実験等を用いてヒッグスセクターを解明する為の理論研究を行った。具体的には1) 将来実験でボトムアップでヒッグスセクターの構造を解明する為の現象論研究、2) ヒッグス場の本質と背後のダイナミクスに関する理論研究、3) ニュートリノ微小質量、暗黒物質、宇宙のバリオン数非対称性を説明するテラスケールモデルの構築、という3つの研究で成果を挙げた。

研究成果の概要(英文)：Although the Higgs boson was discovered, the essence of the Higgs boson and the structure of the Higgs sector remain unknown. Based on the idea that the Higgs sector is the window for new physics beyond the standard model, we have performed theoretical studies on various extended Higgs sectors in order to determine the essence of the Higgs boson and the structure of the Higgs sector by utilizing the current and future collider data from the LHC and the International Linear Collider. We have obtained the new results for the following subjects. 1) Phenomenological studies for the determination of the structure of the Higgs sector by using future collider experiments, 2) Theoretical studies on the essence of the Higgs boson and on the more fundamental physics behind the Higgs sector, 3) Model building to explain the phenomena which cannot be explained in the standard model, such as tiny neutrino masses, dark matter and baryon asymmetry of the Universe.

研究分野：素粒子論、特に素粒子現象論ならびに素粒子論的宇宙論

キーワード：ヒッグス粒子の理論研究 標準理論を超えた新物理学理論 テラスケールの新物理理論 加速器実験

1. 研究開始当初の背景

進行中の LHC 実験ではヒッグス場発見への期待がいよいよ高まっていた。一方、階層性問題や暗黒物質やニュートリノ振動現象等により標準理論を超えた新物理学理論の研究が盛んに行われて来た。

新物理学として、超対称性や力学的対称性の破れ、余剰次元などのパラダイムに沿ったモデルが盛んに研究されてきた。これらのモデルはそれぞれ特徴のある拡張されたヒッグスセクターを预言する。例えば最小超対称模型 (MSSM) のヒッグスセクターは 2 重項 2 個からなりヒッグスポテンシャルの結合は弱結合である。さらに、ニュートリノ振動や、暗黒物質、宇宙のバリオン数非対称等の諸問題を説明するモデルにはヒッグスセクターの拡張が本質的な役割を果たすものが多い。例えばヒッグス 3 重項を含む拡張モデルではヒッグス物理とニュートリノ物理が直接関係する。量子効果でニュートリノ微小質量を導出するシナリオ、ヒッグスセクターが暗黒物質を含む模型、電弱バリオン数生成の機構にもヒッグス物理が深く関係している。

拡張ヒッグスセクターが重要な役割を担うテラスケールのシナリオは、理論的に興味深だけでなく実験による検証が可能のため極めて重要である。LHC 実験で期待されているヒッグス場の発見とその詳細測定は、新物理理論を決定していく鍵になる。すなわち「ヒッグス物理 = 新物理学の窓」という図式がなりたつ。

2. 研究の目的

標準模型で最後の未知部分であり質量起源を担う「電弱対称性の自発的破れ」の部分 (ヒッグスセクター) には様々な可能性が秘められている。本研究では、階層性問題およびニュートリノ振動、暗黒物質、バリオン数

非対称性等の諸問題を説明する様々なテラスケールの新物理学モデルと、ヒッグス物理との間の関係に焦点を当てる。それぞれの新物理学モデルに基づく拡張ヒッグスセクターの包括的な現象論研究と LHC 実験および線形加速器実験を用いて、ヒッグスセクターの真の形とそのダイナミクスを解明し、素粒子の質量起源の本質を明らかにするとともに新物理パラダイムを決定するための理論研究を行う。また、拡張ヒッグスの物理により上記の諸問題を同時に解決するテラスケールモデルを考案して、将来実験による検証法を明らかにする。

3. 研究の方法

ヒッグスセクターの解明により、新物理パラダイムを決定する為に以下の研究 A, B, C を並行して行う。

- A. ヒッグス場が発見された時、その詳細情報から真のヒッグスセクターをボトムアップで決定する為、輻射補正を含む拡張ヒッグスモデルの包括的研究を行う。拡張ヒッグスモデルに特有な荷電スカラー場のコライダー現象論により、実験で拡張ヒッグスモデルを決定する研究を行う。
- B. ヒッグスセクターのダイナミクスを解明することで新物理パラダイムを決定する研究。特に軽いヒッグス場を预言しつつテラスケールで強結合になるヒッグスモデルの可能性を研究する。また、近い将来に LHC で軽いヒッグス場が排除された場合も想定し、インビジブル崩壊の可能性やヒッグス場が非常に重い場合等を研究する。
- C. テラスケールでの $U(1)_{B-L}$ ゲージ対称

性の自発的破れによって、暗黒物質を含む輻射シーソー模型に現れる離散対称性と暗黒物質の質量起源を統一的に説明する機構を含む理論を考える。軽いヒッグスを予言シテラスケールで強結合になる理論を電弱バリオン数生成に応用する。

4. 研究成果

2012年にヒッグス粒子は発見されたが、ヒッグス粒子の本質やヒッグスセクターの構造は依然として未知である。本研究では、ヒッグス物理が標準理論を超えた新物理学への窓であるという観点に立ち、様々な拡張ヒッグス模型の理論研究を行い、現在のLHC実験や将来の国際線形加速器実験等を用いてヒッグスセクターを解明する為の理論研究を行った。

A) 将来実験でボトムアップでヒッグスセクターの構造を解明する為の現象論研究を行った。特にヒッグス2重項が複数ある理論やヒッグス3重項が加わった理論、さらにはより高い表現場を含む理論など、様々な拡張ヒッグス模型におけるLHC実験とILC実験での付加的ヒッグス場の直接発見可能性を研究した。また、国際線形加速器等での将来実験でヒッグス結合が精密に測られることに伴い、拡張ヒッグス模型における様々なヒッグス結合に対する輻射補正を計算し、ズレのパターンを評価することによって将来実験での指紋照合を通じて真のヒッグスセクターを決定する為の理論研究を行った。

B) ヒッグス場の本質と背後のダイナミクスに関する理論研究として、ヒッグス場の本質が素粒子でなく複合場である可能性を超対称性の枠組みで研究し、紫外完全な具体的模型を構築した。また、ヒッグス場の本質が

高エネルギー領域における大局的対称性の自発的破れに伴う南部ゴールドストーンボソンである可能性に注目し、その典型例である最小ヒッグス複合模型に基づいてヒッグス結合定数や散乱振幅における位相のズレを研究する事により、将来実験で理論を検証できる可能性を研究した。

C) ニュートリノ微小質量、暗黒物質、宇宙のバリオン数非対称性等の現象を説明するテラスケール模型を研究した。特に超対称性に基づく強結合理論が紫外理論である基礎理論を考えその低エネルギー有効理論として拡張ヒッグスセクターが現れるシナリオで、上記の3つの現象を同時に説明できる新理論を構築し、その現象論的性質と将来実験での検証可能性を明らかにした。また、テラスケールで $U(1)_{B-L}$ ゲージ対称性が自発的に破れる事により、暗黒物質粒子に質量を与えると同時に右巻きニュートリノセクターでレプトン数の破れが生じ、それが量子効果によって右巻きニュートリノの微小質量を生成する新理論を構築し、その検証可能性を研究した。

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 31件)

1. Bounds on the mass of doubly-charged Higgs bosons in the same-sign diboson decay scenario,
S.Kanemura, M.Kikuchi, K.Yagyu and H.Yokoya, *Phys. Rev. D* 90, no. 11, 115018 (2014). [査読有]
2. Novel constraint on the parameter space of the Georgi-Machacek model with current LHC data
C.W. Chiang, S. Kanemura and K. Yagyu,

- Phys. Rev. D90, no. 11, 115025 (2014). [査読有]
3. Fingerprinting non-minimal Higgs sectors,
S. Kanemura, K. Tsumura, K. Yagyu and H. Yokoya, Phys. Rev. D90 (2014) 075001. [査読有]
 4. Radiative neutrino mass, dark matter and electroweak baryogenesis from the supersymmetric gauge theory with confinement, S. Kanemura, N. Machida, T. Shindou, Phys. Lett. B738 (2014) 178. [査読有]
 5. Neutrino Mass and Dark Matter from Gauged $U(1)_{B-L}$ Breaking,
S. Kanemura, T. Matsui and H. Sugiyama, Phys. Rev. D90 (2014) 013001. [査読有]
 6. Complementarity in direct searches for additional Higgs bosons at the LHC and the International Linear Collider, S. Kanemura, H. Yokoya and Y.-J. Zheng, Nucl. Phys. B 886 (2014) 524. [査読有]
 7. Radiative corrections to the Yukawa coupling constants in two Higgs doublet models,
S. Kanemura, M. Kikuchi and K. Yagyu, Phys. Lett. B731 (2014) 27. [査読有]
 8. Higgs as a Probe of Supersymmetric Grand Unification with the Hosotani Mechanism,
M. Kakizaki, S. Kanemura, H. Taniguchi and T. Yamashita, Phys. Rev. D89 (2014) 075013. [査読有]
 9. Multicomponent Dark Matter in Radiative Seesaw Model and Monochromatic Neutrino Flux,
M. Aoki, J. Kubo, H. Takano, Phys. Rev. D 90 (2014) 076011. [査読有]
 10. Impact of Semi-annihilation of Z_3 Symmetric Dark Matter with Radiative Neutrino Masses,
M. Aoki, T. Toma, JCAP1409,016 (2014). [査読有]
 11. Radiative corrections to the Higgs boson couplings in the triplet model,
M. Aoki, S. Kanemura, M. Kikuchi and K. Yagyu, Phys. Rev. D 87 (2013) 015012. [査読有]
 12. Electroweak phase transition and Higgs boson couplings in the model based on supersymmetric strong dynamics, S. Kanemura, E. Senaha, T. Shindou and T. Yamada, JHEP1305 (2013) 066. [査読有]
 13. Higgs inflation in a radiative seesaw model, S. Kanemura, T. Matsui and T. Nabeshima,
Phys. Lett. B723 (2013) 126. [査読有]
 14. A two-loop Radiative Seesaw with multi-component Dark Matter explaining the possible gamma Excess in Higgs decay and at Fermi LAT, M. Aoki, J. Kubo, H. Takano,
Phys. Rev. D87, 116001 (2013). [査読有]
 15. A light Higgs scenario based on the TeV-scale supersymmetric strong dynamics,
S. Kanemura, T. Shindou and T. Yamada, Phys. Rev. D86 (2012) 055023. [査読有]
 16. Renormalization of the Higgs Sector in the Triplet Model,
M. Aoki, S. Kanemura, M. Kikuchi and K. Yagyu, Phys. Lett. B714 (2012) 279. [査読有]
 17. Dark matter and a suppression mechanism for neutrino masses in the Higgs triplet model,
S. Kanemura and H. Sugiyama, Phys.

- Rev. D86 (2012) 073006. [査読有]
18. Radiative corrections to electroweak parameters in Higgs triplet model and implication with recent Higgs boson searches,
S. Kanemura and K. Yagyu, Phys. Rev. D85 (2012) 115009. [査読有]
 19. Multi-tau-lepton signatures at the LHC in the two Higgs doublet model,
S. Kanemura, K. Tsumura and H. Yokoya, Phys. Rev. D85 (2012) 095001. [査読有]
 20. TeV-Scale Seesaw with Loop-Induced Dirac Mass Term and Dark Matter from $U(1)_{B-L}$ Gauge Symmetry Breaking,
S. Kanemura, T. Nabeshima and H. Sugiyama, Phys. Rev. D85 (2012) 033004. [査読有]
 21. Testing the Higgs triplet model with the mass difference at the LHC,
M. Aoki, S. Kanemura and K. Yagyu, Phys. Rev. D85 (2012) 055007. [査読有]
 22. Multi-Component Dark Matter Systems and Their Observation Prospects, M. Aoki, M. Duerr, J. Kubo, H. Takano, Phys. Rev. D 86, 076015(2012). [査読有]

[学会発表](計 105 件)

1. 「ヒッグス物理から新物理へ」
兼村晋哉, 研究集会「新物理の実証策を考える会」, 沖縄科学技術大学院大学 (沖縄県), 2015年3月13日
2. Neutrino Mass, Baryogenesis and Dark Matter and Higgs sector originated from the SUSY gauge theory with confinement,
S. Kanemura,
国際会議 2nd KIAS-NCTS Joint Workshop

- on Particle Physics, String Theory and Cosmology", 国立台湾大學 (台湾), 2014年12月27日.[招待講演]
3. Fingerprinting BSM models by Higgs coupling measurements at LCs,
S. Kanemura
国際会議 LCWS2014, Belgrade (Serbia), 2014年10月8日.
 4. Extended Higgs sector for Neutrino Mass, Baryogenesis and Dark Matter, S. Kanemura, 国際会議 International Workshop on Multi-Higgs Models 2014, Lisbon (Portugal), 2014年9月4日[招待講演]
 5. Radiative Corrections to the Yukawa Coupling Constants in BSM,
S. Kanemura
国際会議 Higgs Coupling 2014, Torino (Italy), 2014年10月2日[招待講演]
 6. Radiative corrections to the Yukawa coupling constants in BSM,
S. Kanemura 国際会議 Higgs Couplings 2014, 1-3 October 2014, Torino, Italy [招待講演]
 7. Multicomponent dark matter in radiative seesaw model, M. Aoki, 国際会議「4th workshop on flavor symmetries and consequences in accelerators and cosmology」
Sussex, UK, June 17-21, 2014. [招待講演]
 8. BSM interpretation of LHCb results and future prospects, Tetsuo Shindou, 国際会議「Rencontres du Vietnam Physics at LHC and Beyond」 ICISE Center, Vietnam, Aug. 16, 2014 [招待講演]
 9. Higgs Physics -Theoretical Overview-,
S. Kanemura, 国際会議「International Workshop "Higgs and Beyond" Tohoku University」, Sendai, Japan, June 5-9, 2013. [招待講演]

10. フレーバー物理の進歩と
SuperKEKB/Belle IIへの期待,
進藤哲央, 日本物理学会 2013 年秋季大会,
高知大学, 2013 年 9 月 22 日 [招待講演]
11. 軽いヒッグスの物理, 兼村晋哉, 日本物
理学会秋季大会シンポジウム「ヒッグス
とコライダー」
京都産業大学2012年9月12日.[招待講演]
12. Plenary Summary, Higgs/EWSB, S.
Kanemura, 国際会議International
Workshop on Linear Colliders 2012
(LCWS2012), 22-26 October 2012, テキ
サス大学、アメリカ.[招待講演]

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

<http://www3.u-toyama.ac.jp/theory/NHWG/index.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

兼村 晋哉 (KANEMURA, Shinya)
富山大学・大学院理工学研究部(理学)・
准教授
研究者番号: 10362609

(2)研究分担者

青木 真由美 (AOKI, Mayumi)
金沢大学・数学物理系・助教
研究者番号: 70425601

進藤 哲央 (SHINDOU, Tetsuo)
工学院大学・工学部・准教授
研究者番号: 60553039

(3)連携研究者

無し

(4)研究協力者

瀬名波栄問 (SENAHA, Eibun)
名古屋大学・理学研究科・助教

津村浩二 (TSUMURA, Koji)
京都大学・理学研究科・助教

杉山弘晃 (SUGIYAMA, Hiroaki)
京都産業大学・益川塾・研究員