

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19540277

研究課題名(和文)

電弱対称性の自発的破れの現象論的研究による標準模型を超えた新物理学の理論の決定

研究課題名(英文)

Phenomenology of electroweak symmetry breaking as a probe of new physics beyond the standard model

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

研究成果の概要(和文)：標準模型を超えたテラスケール新物理学模型と拡張ヒッグス模型の様々な様相に関する理論的研究と、LHC 実験や線形加速器実験での現象論を研究した

研究成果の概要(英文)：We have investigated various theoretical aspects of Tera-Scale new physics models and extended Higgs sectors, and clarified the phenomenology of these models at collider experiments at the LHC and the International Linear Collider.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：

キーワード：ヒッグス、新物理学理論、現象論的研究、加速器実験

1. 研究開始当初の背景

今日の素粒子標準模型では、電弱ゲージ対称性の自発的破れという現象が素粒子に質量を与える。標準理論は多くの実験で検証され生き残ってきたすぐれた理論であるが、ヒッグス場は実験的に確認されておらず、その正体は未知である。したがってヒッグス場の発見とその性質の解明は極めて重要であり、まもなく始まるCERNのLHC実験ではヒッグス場の探索が主目的の一つになっている。

しかし標準理論のヒッグス模型には、階層性問題など理論的に許容しにくい問題があることが知られている。よって電弱相互作用の領域を超えた高エネルギーではなんらかの new physics が標準模型にとって代わると期待される。さらに実験では標準模

型では説明されない物理現象がすでに知られている。例えばニュートリノ微小質量の存在、暗黒物質、宇宙のバリオン数生成などである。これらを説明するためにも標準模型を超えた new physics が必要である。さまざまな new physics の理論からは、標準模型とは異なった性質を持ち特徴のあるヒッグスセクターが導かれる。このようにして「ヒッグスの物理＝新物理学の窓」という図式が成り立つ。すなわち理論的考察と実験による検証でヒッグスセクターの構造と性質を解明することにより、標準模型の検証と同時に new physics の方向性を決定できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、素粒子標準模型で最後の

未知の部分である電弱対称性の自発的破れの部分（ヒッグスセクター）の性質を理論的洞察と将来の加速器実験での検証によって決定し、素粒子の質量起源の謎を解くとともに標準模型を超えた「新しい物理学」(new physics)の方向性を明らかにすることにある。

3. 研究の方法

- A. 拡張ヒッグス模型では特徴的に存在が予言されている荷電ヒッグス場の現象論的性質の研究を通じてヒッグスセクターを明らかにし、新物理学の模型を検証する可能性を調べる。
- B. ヒッグス自己結合の測定は、標準模型における質量起源の物理を理解する上で本質的な役割を果たすだけでなく、標準模型を超えた新物理学の方向性を決定する上でも大変重要である。様々な新しい物理模型で、ヒッグス場の3点結合定数を1ループレベルで理論的に評価し、同時にLHC、電子陽電子線形加速器およびフォトンコライダー実験でヒッグス場の3点結合を測るためのプロセスを計算し、これらの加速器実験で将来得られるデータからいかにしてヒッグス自己3点結合定数の情報を得ることができるか、またこれらのプロセスの通じて、各模型を区別する可能性を研究する。
- C. 実験でニュートリノに微小な質量があることが明らかにされた。この微小質量の起源を解明することは標準模型を超えた新しい物理理論にとって重要な目標のひとつである。量子効果で微細な質量を自然に生成するシナリオが知られているが、これらはテラスケールの物理で模型が構成されており、拡張ヒッグスセクターが重要な役割を果たす。そこで、我々はこのような模型で特に暗黒物質候補やバリオン数生成の可能性を持つ模型を研究し、そのヒッグスセクターに注目して加速器現象を研究する。

4. 研究成果

- A. ヒッグスセクターの拡張を伴う TeV 領域の物理により、非常に重い質量スケールの導入なしに輻射補正によってニュートリノ微小質量を導出し、同時に暗黒物質候補を含みバリオン数生成の条件を満たす模型を構築することに成功し、この模型でヒッグスセクターや暗黒物質の物理を研究したさらにこの研究の発展として、ニュートリノ質量や暗黒物質を説明する TeV 領域の様々な模型を構築し、その現象論的性質を包括的に研究した。

- B. ヒッグスボソンの自己相互作用の標準模型からのずれを様々な新物理学模型（ヒッグス 2 重項 2 個の模型、レフトライト模型、カイラル 4 世代模型等）を輻射補正を入れて計算した。また、LHC 実験、線形加速器実験、光子光子衝突実験での素粒子過程を計算してシミュレーションを行い自己結合の測定可能性を調べた。
- C. ヒッグス 2 重項が 2 個ある模型は拡張ヒッグス模型の代表としてこれまでよく研究されてきた。我々はフレーバーを変える中性カレントを規制するために離散対称性を新しいパターンで導入し（タイプ X 湯川相互作用）詳しい現象論計算を行った。その結果、このタイプの模型では、 $b \rightarrow s \gamma$ からの制限がつかないので、軽い荷電ヒッグス場の実現が可能であることを示し、そのような軽い荷電ヒッグス場を LHC や線形加速器で検証する可能性を研究した。

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 19 件）

- 1) Testing Higgs models via the $H \rightarrow \gamma \mu \nu$ vertex by a recoil method at the International Linear Collider. S. Kanemura, K. Yagyu, K. Yanase Phys. Rev. D83, 075018 (2011). 査読有
- 2) Testing Higgs portal dark matter via ZZ fusion at a linear collider. S. Kanemura, S. Matsumoto, T. Nabeshima, H. Taniguchi Physics Letters B 印刷中、査読有 Feb2011. e-Print:arXiv:1102.5147.
- 3) Triviality and vacuum stability bounds in the three-loop neutrino mass model. M. Aoki, S. Kanemura, K. Yagyu, Phys. Rev. D83:075016 (2011). 査読有
- 4) Non-decoupling effects in super-symmetric Higgs sectors. S. Kanemura, T. Shindou, K. Yagyu, Phys. Lett. B699:258-263 (2011) 査読有
- 5) Higgs boson pair production in new physics models at hadron, lepton and photon colliders, E. Asakawa, D. Harada, S. Kanemura, Y. Okada, K. Tsumura Phys. Rev. D82, 115002 (2010). 査読有
- 6) Neutrino Masses from Loop-induced $d \geq 7$ Operators, S. Kanemura, T. Ota, Phys. Lett. B 694, 233-237 (2010). 査読有.

- 7) Can WIMP Dark Matter overcome the Nightmare Scenario? S. Kanemura, S. Matsumoto, T. Nabeshima and N. Okada, Phys. Rev. D82, 055026 (2010). 査読有
- 8) An R-parity conserving radiative neutrino mass model without right-handed neutrinos, M. Aoki, S. Kanemura, T. Shindou and K. Yagyu, JHEP 1007, 084 (2010). 査読有
- 9) Probing the Majorana nature of TeV-scale radiative seesaw models at collider experiments, M. Aoki and S. Kanemura, Phys. Lett. B 689, 28 (2010). 査読有
- 10) Multi-Higgs portal dark matter under the CDMS II results, M. Aoki, S. Kanemura and O. Seto, Phys. Lett. B 685, 313 (2010). 査読有
- 11) A model of TeV scale physics for neutrino mass, dark matter and baryon asymmetry and its phenomenology, M. Aoki, S. Kanemura, O. Seto, Phys. Rev. D80, 033007 (2009). 査読有
- 12) Models of Yukawa interaction in the two Higgs doublet model, and their collider phenomenology, M. Aoki, S. Kanemura, K. Tsumura, K. Yagyu, Phys. Rev. D80, 015017 (2009). 査読有
- 13) A powerful tool for measuring Higgs associated lepton flavor violation, S. Kanemura, K. Tsumura, Phys. Lett. B674, 295-298 (2009). 査読有
- 14) Effects of Anomalous Higgs couplings on the Higgs boson production at the Large Hadron Collider, S. Kanemura, K. Tsumura, Euro. Phys. J. C63, 11-21 (2009). 査読有
- 15) Higgs boson pair production at a photon-photon collision in the two Higgs doublet model, E. Asakawa, D. Harada, S. Kanemura, Y. Okada, K. Tsumura, Phys. Lett. B672, 354-360 (2009). 査読有
- 16) Distinctive Higgs Signals of a TypeII 2HDM at the LHC, S. Kanemura, S. Moretti, Y. Mukai, R. Santos, K. Yagyu, Phys. Rev. D79, 055017 (2009) 査読有
- 17) Neutrino mass, dark matter and baryon asymmetry via TeV scale physics without fine tuning, M. Aoki, S. Kanemura, O. Seto, Phys. Rev. Lett. 102, 051805 (2009). 査読有
- 18) Unitarity bounds in the Higgs model including triplet fields with custodial symmetry, M. Aoki, S. Kanemura, Phys. Rev. D77, 095009, (2008) 査読有
- 19) S. Kanemura, K. Matsuda, T. Ota, S. Petcov, T. Shindou, E. Takasugi, K. Tsumura, CP violation due to multi Froggatt-Nielsen fields, Euro. Phys. J. C51, 927-931 (2007). 査読有
- [学会発表] (計 38 件)
- 1) 「LHC Implication」兼村晋哉、学術創成「ILC 測定器」研究会, KEK 2011 年 3 月 9 日-12 日
- 2) 「Physics of extended SUSY Higgs sectors」兼村晋哉、基研研究会[素粒子物理学の進展 2011], 京大基礎物理学研究所 2011 年 3 月 7 日-10 日
- 3) 「テラスケールでのニュートリノと暗黒物質の質量生成機構、レプトン数とレプトンフレーバーの破れ」兼村晋哉、B ファクトリー物理研究会, KEK 2011 年 2 月 18 日-19 日
- 4) 「拡張ヒッグスセクターの物理」、兼村晋哉、研究会: 余剰次元物理 2011、大阪大学 2011 年 1 月 24 日
- 5) 「暗黒物質、ニュートリノ質量とヒッグス模型」、兼村晋哉、研究会: 新潟冬の学校、越後湯沢 2011 年 1 月 8 日
- 6) “Physics of the Higgs boson”, S. Kanemura, International workshop on “Theoretical Particle Physics 2010” at Omi-hachiman (3rd-5th December 2010)
- 7) SUSY Higgs sectors and non-decoupling effects, S. Kanemura 国際会議 LHC Physics, W, Z and beyond, NCTS, 台湾 Oct, 4-29, 2009 [招待講演]
- 8) 「超対称性の破れと輻射シーソー模型」青木真由美, 兼村晋哉, ○進藤哲央, 柳生慶、2010 年 9 月 14 日、九州工大
- 9) 「Collider phenomenology in SUSY models with doubly and singly charged fields」青木真由美, 兼村晋哉, 進藤哲央, ○柳生慶、2010 年 9 月 14 日、九州工大

- 10) 「ニュートリノ質量、暗黒物質、バリオン数生成を説明する TeV スケール超対称輻射シーソー模型」青木真由美、兼村晋哉、進藤哲央、柳生慶、日本物理学会 2010 年 9 月 14 日、九州工大
- 11) 「LHC/ILC Upgrade の物理」兼村晋哉、シンポジウム (招待講演)、日本物理学会、2010 年 9 月 12 日
- 12) 「HWZ(γ)バーテックスの測定による拡張ヒッグス模型の検証」兼村晋哉、柳生慶、柳瀬和也、日本物理学会、2010 年 9 月 11 日、九州工大
- 13) 「New Physics effect on Higgs boson pair production processes at LHC and ILC」浅川恵理、原田大輔、兼村晋哉、岡田安弘、津村浩二、日本物理学会 2010 年 3 月 22 日、岡山大学
- 14) 「LHC と ILC におけるヒッグス・ポータル模型での暗黒物質シグナル」藤井恵介、本田喬大、兼村晋哉、松本重貴、鍋島偉宏、岡田宣親、田窪洋介 B、山本均、日本物理学会、2010 年 3 月 22 日、岡山大学
- 15) 「超対称 2-loop 輻射シーソー模型の現象論」青木真由美、兼村晋哉、進藤哲央、柳生慶、日本物理学会 2010 年 3 月 21 日、岡山大学
- 16) “Probing the Majorana nature in radiative seesaw models at collider experiments”, LCWS2010, 2010 年 3 月 26 日-30 日、北京、中国
- 17) “Probing the Majorana nature in radiative seesaw models at collider experiments”, KEKPH-2010, S. Kanemura, 2010 年 2 月 18 日-20 日
- 18) 「Will a WIMP dark matter overcome the Nightmare scenario?」兼村晋哉、松本重貴、鍋島偉宏、岡田宣親、他 ILC 物理ワーキンググループ、日本物理学会 2009 年 9 月 13 日、甲南大学
- 19) 「輻射シーソー模型の真空安定性とトリビアル性に関するくりこみ群を用いた解析」青木真由美、兼村晋哉、柳生慶、日本物理学会 2009 年 9 月 13 日、甲南大学
- 20) 「ILC 実験におけるヒッグス・ポータル模型でのヒッグス事象に関する測定精度の評価」本田喬大、岡田宣親、兼村晋哉、田窪洋介、鍋島偉宏、藤井恵介、松本重貴、山本均、日本物理学会 2009 年 9 月 12 日、甲南大学
- 21) 「輻射シーソー模型のマヨラナ構造の加速器による直接検証と模型の区別」青木真由美、兼村晋哉、日本物理学会 2009 年 9 月 12 日、甲南大学
- 22) 「ストップ NLSP シナリオにおける LHC 現象論」遠藤基、兼村晋哉、進藤哲央、日本物理学会、2009 年 9 月 10 日、甲南大学
- 23) Physics of Higgs sector for neutrino mass, dark matter and baryon symmetry, S. Kanemura, International Workshop on Non-Minimal Higgs sector, Structure of Vacuum, Baikal, Russia, Jul5-9, 2009 [招待講演]
- 24) A TeV scale model for neutrino mass, dark matter, baryon asymmetry, S. Kanemura, 国際会議 The 8th Pacific Particle Physics Workshop, Tainan, Taiwan, May 20-23, 2009 [招待講演].
- 25) 「タイプ X のヒッグス模型と軽い荷電ヒッグスシナリオ」青木真由美、兼村晋哉、津村浩二、柳生慶、日本物理学会 2009 年 3 月 30 日、立教大学
- 26) 「Neutrino mass, dark matter and baryon asymmetry via TeV-scale physics」青木真由美、兼村晋哉、瀬戸治、日本物理学会 2009 年 3 月 30 日、立教大学
- 27) A TeV scale model for neutrino mass, dark matter and baryon asymmetry, S. Kanemura, 国際会議 44th Rencontres de Moriond on QCD and High Energy Interactions, La Thuile, Italy, Mar. 14-21, 2009, [招待講演], arXiv:0905.3958[hep-ph].
- 28) Higgs sector in new physics and its collider phenomenology, S. Kanemura, 国際会議 16th YKIS Conference, Progress in Particle Physics 2008, 京大基礎物理学研究所, February 16-19, 2009. [招待講演]
- 29) 「Type-X two-Higgs-doublet model and its phenomenology」青木真由美、兼村晋哉、津村浩二、柳生慶、日本物理学会 2008 年 9 月 22 日、山形大学
- 30) 「ニュートリノ質量、暗黒物質、バリオン数の起源としての電弱模型」青木真由美、兼村晋哉、瀬戸治、日本物理学会 2008 年 9 月 22 日、山形大学
- 31) 「フォトンコライダーにおける 2 ヒッグス生成過程と新しい物理」浅川恵理、原田大輔、兼村晋哉、岡田安弘、津村浩二、日本物理学会 2008 年 9 月 20 日、山形大学
- 32) 「リニアコライダーにおける荷電ヒッグス生成」浅川恵理、Oliver Brein、兼村晋哉、日本物理学会 2008 年 9 月

20日、山形大学

- 33) Higgs Sector in New Physics and its Collider Phenomenology, 兼村晋哉、宇宙線理論研究会「初期宇宙と素粒子標準模型を超える物理」東京大学宇宙線研究所、2008年12月8-9日[招待講演].
- 34) 「電弱対称性の自発的破れと新物理学」兼村晋哉、日本物理学会企画講演、近畿大学、2008年3月23-28日
- 35) 「ヒッグス三重項を含む拡張ヒッグス模型のILCにおける検証」青木真由美、兼村晋哉、日本物理学会、近畿大学 2008年3月23日
- 36) Higgs Phenomenology and New Physics, S. Kanemura, KEK Annual Theory Meeting (KEKTH0712), KEK, December 12-14, 2007. [招待講演]
- 37) 「カスタディアル対称性を持つ拡張ヒッグス模型に対する理論的および現象論的制限」青木真由美、兼村晋哉、日本物理学会、北海道大学 2007年9月21日
- 38) Plenary Summary Talk for Higgs WG and Top/QCD WG, S. Kanemura, 国際会議 International Workshop on Linear Colliders (LCWS2007), DESY, Hamburg, Germany, May 29-June 3, 2007.

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

なし

(3) 連携研究者

なし