

自己評価報告書

平成23年 4月19日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2008～2012

課題番号：20244028

研究課題名(和文) 余剰次元、世代起源とLHC物理

研究課題名(英文) Extra Dimensions, Origin of Generations and LHC Physics

研究代表者

細谷 裕 (HOSOTANI YUTAKA)

大阪大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：50324744

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子理論・ヒッグス粒子・ゲージヒッグス統合理論・暗黒物質・細谷機構・余剰次元・世代起源

1. 研究計画の概要

素粒子の標準理論は不完全である。そのほころびが最初に現れるのはヒッグス粒子が関与する部分だろうし、世代の起源を明らかにするには標準理論を超えることが不可欠である。現在の電弱統一理論では、ヒッグス相互作用が電弱対称性を電磁対称性に自発的に破り、同時にクォーク・レプトンに質量を与える。電弱統一理論のゲージ場(W, Z ボゾン)の相互作用は実験的にはほぼ確立されているが、ヒッグス粒子については現時点では直接的な証拠は一つもない。この状況は2010年から始まったLHCの実験で一変する。ヒッグス粒子の発見は確実であり、超対称性粒子が存在するかどうかとも明らかになるだろう。また、レプトン、特にニュートリノ部分での世代間混合(フレーバー混合)がクォーク部分と違い、非常に大きいことが確認されているが、これはクォーク・レプトンの質量、混合のパターンの背後には隠れた対称性があることを意味するであろう。新粒子の発見、ヒッグス粒子の相互作用の確定を通して、現在の電弱統一理論の基本的枠組みが正しいか、対称性の破れの起源は何か、そして3世代あるクォーク・レプトンの起源は何かなどが明確になる。本研究課題では、これらの問題を余剰次元の立場から考察し、LHC/ILCなどの実験でいかに検証できるかを明らかにする。高次元ゲージ理論、ゲージ・ヒッグス統合、TeV ブラックホール生成、高次元センサー機構などを追求し、ヒッグス場の起源、物質世代の起源、および時空構造に迫る。

2. 研究の進捗状況

高次元ゲージ理論の様々なモデルを展開し、多くの物理的帰結をあきらかにした。予期せぬ発見・結果が得られた。

細谷はランダール・サンドラム時空上で、現実的なクォーク・レプトンを含む $S(5) \times U(1)$ モデルを構成し、トップクォークの寄与が大きく、電弱対称性が自発的に破れることを示した。この対称性の破れは、余剰次元におけるアハロノフ・ボーム(AB)効果として、細谷機構により引き起こされる。AB位相はちょうど90度となり、ヒッグス粒子が自然に安定になることが示された。今までの理論では起こりえなかったことである。新しいHパリティが存在し、保存することを証明した。ヒッグス粒子は従来の方法では加速器実験では見えず、エネルギー運動量欠損として現れる。標準模型と全く異なる性質であり、LHCやTevatronでの検証が待たれる。ゲージ相互作用における微小なずれも生じる。特に、電子陽電子対消滅過程における前後方非対称性は、標準模型よりよく説明できることが判明した。ヒッグス粒子が宇宙の暗黒物質になりうることも示した。しかし、これらのことは、理論が予言するKK Z ボゾンのLHCにおける検証も含めて、今後の課題として残る。これから2年以内にするLHCの実験結果や暗黒物質探索の観測結果により、現在のゲージヒッグス統合理論の正否がわかる。そのための解析が必要である。正しければ、更にもどのような実験をすれば余剰次元の構造がわかるかを提示する必要がある。正しくなければ、モデルのゲージ構造等の修正が必要になる。

波場は、ニュートリノの小さな質量を説明する機構として、従来のシーソー機構とは異なる第2のヒッグス場機構を提唱した。尾田は、新しいタイプの余剰次元モデルを構成し、境界条件により電弱対称性を破る新しい方法を開発した。LHC 実験結果と結びつけるのがこれからの課題である。

21年度、22年度には「余剰次元物理」研究会を開催した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由) 安定なヒッグス粒子の予言、余剰次元と暗黒物質の関係、 KKZ ボゾンの LHC による検証の可能性の指摘など、当初、全く予想していなかった重要な発見が生まれた。

4. 今後の研究の推進方策

ゲージヒッグス統合理論については、更に相互作用の詳細を評価し、LHC, Tevatron の実験結果とつき合わせる。余剰次元が見えるか見えないかの瀬戸際にあり、研究員とともに詳細な解析を進める。

5. 代表的な研究成果

(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 30 件)

1. Y. Hosotani, S. Noda, and N. Uekusa, “The Electroweak gauge couplings in $S0(5) \times U(1)$ gauge-Higgs unification”, Prog. Theoret. Phys. 123, 757-790 (2010). 査読有
2. H. Dohi, K. Oda, “Universal Extra Dimensions on Real Projective Plane”, Phys. Lett. B692, 114-120 (2010). 査読有
3. Y. Hosotani, Y. Kobayashi, “Yukawa Couplings and Effective Interactions in Gauge-Higgs Unification”, Phys. Lett. B674, 192-196 (2009). 査読有
4. Y. Hosotani, P. Ko, M. Tanaka, “Stable Higgs Bosons as Cold Dark Matter”, Phys. Lett. B680, 179-183 (2009). 査読有
5. N. Haba, K. Oda, R. Takahashi, “Top Yukawa deviation in extra dimension”, Nucl. Phys. B821, 74-128 (2009). 査読有
6. Y. Hosotani, K. Oda, T. Ohnuma, Y. Sakamura, “Dynamical Electroweak Symmetry Breaking in $S0(5) \times U(1)$ Gauge-Higgs Unification with Top and Bottom Quarks”, Phys. Rev. D78, 096002-1-16 (2008). 査読有

[学会発表] (計 32 件)

1. Y. Hosotani, “Extra Dimensions: Clues at LHC”, 素粒子物理学の進展 2011, 2011

年 3 月 8 日, 京都大学基礎物理学研究所

2. Y. Hosotani, “Stable Higgs Bosons -- New Candidate for Cold Dark Matter”, OMEG10: The 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of the Galaxies, 2010 年 3 月 8 日, RCNP, Osaka University.

3. Y. Hosotani, “Gauge-Higgs Unification: Stable Higgs Bosons as Cold Dark Matter”, SCGT09 Strong Coupling Gauge Theories in LHC Era, 2009 年 12 月 9 日, Nagoya University.

4. Y. Hosotani, “Dynamical Electroweak Symmetry Breaking in $S0(5) \times U(1)$ Gauge-Higgs Unification in the Randall-Sundrum Warped Space”, PANIC08: International Conference on Particles And Nuclei, 2008 年 11 月 10 日, Eilat, Israel.

5. Y. Hosotani, “Electroweak Gauge-Higgs Unification Scenario”, SUSY2008: 16th Int. Conf. on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions, 2008 年 6 月 21 日, Seoul, Korea.

[その他]

ホームページ

<http://www-het.phys.sci.osaka-u.ac.jp/~hosotani/ws2011jan.html>