

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2005-2008

課題番号：17540245

研究課題名（和文） 標準理論を超える物理の階層性問題に対する新しい機構

研究課題名（英文） Models beyond the standard model with new mechanisms for the hierarchy problem

研究代表者

寺尾 治彦（TERAO HARUHIKO）

奈良女子大学・理学部・教授

研究者番号：40192653

研究成果の概要：

標準理論を超える TeV スケールの物理における小さい階層性問題について、ヒッグス粒子が大きな異常次元を持つ模型を考案し、現象論的に可能であることを示した。具体的には、強く相互作用する TeV スケールの質量を持つ粒子系と相互作用することにより、大きな異常次元が得られる。また、同様の機構によるアクシオン模型の問題の解消についても考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	1,200,000	0	1,200,000
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,300,000	420,000	3,720,000

研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：標準理論、ヒッグス粒子、階層性問題、超対称性

1. 研究開始当初の背景

標準理論にはその中で必須の役割を担うヒッグス粒子に量子的不安定性の問題があり、TeV スケールでは何らかの新しい物理が現れることが期待される。LHC により TeV スケールでの物理が実験的に検証されようとしている現在、理論的にどのような物理が可能であるか詰めておく事は極めて重要な課題である。

このように標準理論のヒッグス場は TeV スケールに新しい物理の存在を示唆するが、一方精密測定との整合性を満たすことが難しいことが指摘され、この問題が LHC での新しい実験を見据えて精力的に調べられていた。

TeV スケールの物理の最有力候補は超対称

理論であるが、最も軽いヒッグス粒子や超対称粒子が LEP II 実験で観測されないほど重いことや、暗黒物質への宇宙論的制限から、その許されるパラメータ領域はかなり狭い。これは電弱対称性の破れのスケールに比べ超対称性の破れのスケールが大き過ぎる事に起因しており、超対称理論の小さい階層性問題と呼ばれる。特に、実験的な制約の厳しいフレーバー問題を引き起こさない超対称性の破れを導く代表的な枠組み (GMSB) に対してはより深刻になる。しかし、この問題を自然に解消する機構が活発に議論されているが、未だ現実的なものはなかった。

一方このため、非超対称理論への関心も高まっていた。しかし、旧来のヒッグス粒子を

複合粒子とするモデルでは、一般に標準理論の精密測定と合わない補正を与えるという問題がある。そこで、新しい可能性として、例えば little Higgs 理論や Higgsless 理論などが盛んに研究された。

2. 研究の目的

標準理論の TeV スケールでの拡張において重要である小さい階層性問題に対して、ヒッグス場が大きな異常次元を TeV での強い相互作用によって得ることで解決しうる理論的可能性と現象論的モデルの考察を目的とした。

具体的には、超対称理論では、GMSB の枠組みにおいてヒッグス粒子が超共形ゲージ理論と相互作用する具体的なモデルを与え、小さな階層性問題がどの程度緩和しうるかを定量的に評価する。

非超対称理論でも共通するアイデアが有効と考えられ、具体的なモデルを構築する。そしてこれらのモデルにおいて、精密測定やさらに暗黒物質からの制限を満足し得るかどうかの考察を行うことなどを目的とした。

3. 研究の方法

どのような理論においてスカラー場に大きな異常次元が現れるかを、非摂動的なくりこみ群を用いて解析し、具体的にどの程度の異常次元が可能かを探る。この結果に基づいて小さい階層性問題を解消しうる現象論的なモデルの考察を進める。より具体的には、超対称理論と非超対称理論に対して、各々以下のように進める。

まず超対称理論の新しい拡張としては、ヒグシーノの質量を如何にして小さく実現するかということが問題であり、量子補正を抑制する機構があるかという事であった。これに対し、超対称共形ゲージ理論では超対称性を破る質量パラメータが特異な量子補正を受け、低エネルギーで抑制され得ることを見出ししていた。ここで、超共形ゲージ理論は決して特別なものではなく、物質数がある範囲にありさえすれば、低エネルギーで自然に実現されるものである。

そこで、ヒッグス粒子と超対称共形ゲージ理論の系で、小さい階層性問題を解消する機構について考察し、さらに実験的な制約の厳しいフレーバー問題を引き起こさない超対称性の破れを導く代表的な枠組み(GMSB)でモデルを与え、どの程度のヒッグス粒子の質量パラメータが得られ、結果としてどの程度問題が解消し得るのかについて、定量的な評価を行う。また一方、このような拡張が果たして精密測定からの制約に抵触しないかどうかについての考察を行う。

非超対称理論の新しい拡張に対しては、ヒッグス粒子が複合粒子として見なせるスケールが、電弱対称性を破るスケールよりずつ

と大きいとし、一方、ヒッグス粒子の質量の量子不安定性の問題を解消する機構について考察を行なう。特に、共形ゲージ理論との相互作用を仮定すれば、量子不安定性の問題を解消もしくは緩和できる可能性を追求する。このことは、非摂動繰り込み群を用いれば、一定の近似の範囲ではあるが解析することができる。

次に、標準理論の精密測定から、S-parameter, T-parameter, $Z \rightarrow b\bar{b}$ の振幅等、種々の制限をどのような場合に満たしうるかという問題について具体的な考察を進める。

そのほか、理論的な問題であるが、赤外固定点上のゲージ理論はコンフォーマル対称性を持つ場の理論 (CFT) の 1 例であるが、最近の AdS/CFT 対応を用いて高次元の理論と関係付けて議論されるシナリオがある。これらとも関連があると考えられ、合わせて検討する。

4. 研究成果

超対称標準模型および標準模型のヒッグスセクターの階層性問題を解消もしくは緩和する新しい現象論的なシナリオについての研究を行い、超対称模型について論文として発表した。超対称を持たない新しいヒッグス模型については、国際会議 SCGT06 において発表をおこなった。

一方、クォーク・レプトンの質量間の階層的構造がダイナミクスによって生じるようなある模型を提案し、その現象論についての研究を行った。

その後、超対称性の無い拡張についても考察を広げた。その結果このような枠組みの拡張が理論的にも現象論的にも可能であることを示した。

また、同様の機構によるアクシオン模型の問題の解消についても考察した。素粒子の標準理論の strong CP 問題は、Peccei-Quinn (PQ) 対称性を仮定するのが有力な解決法であり、アクシオンの存在が予言される。しかし、問題解決のためには PQ 対称性は極めて正確なものでなくてはならず、そのような大域的対称性は不自然であると考えられる。この PQ 対称性の問題に対して、これまでにもいろいろな提案がされてきたが、今回 PQ 対称性を自発的に破る場に強い湯川相互作用を導入し、大きな異常次元を与えることによりこの問題を解消するような、ダイナミカルなアクシオン模型を新しく考察した。

本研究課題では、これまで標準理論のヒッグスセクターの微調整問題を解決するような機構を探り、大きな異常次元による新しい

機構と具体的な現象論的模型の構築を行った。このアクシオン模型の研究も、実は基本的なアイデアは共通しており、その意味でこれまでの研究の拡張になっている。またさらに、 $SU(5)_1 \times SU(5)_2$ という直積群の超対称大統一理論の枠組はアクシオン模型とうまく合うことも分かった。

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 6 件)

① Duality cascade of softly broken supersymmetric theories, H. Abe, T. Higaki, T. Kobayashi, K. Ohta, Y. Omura, H. Terao, Phys. Rev. D79 (2009) 045003. 査読有

② Dynamical realization of democratic Yukawa matrices and alignment of A-terms, T. Kobayashi, Y. Omura, H. Terao, Phys. Rev. D74 (2006) 053005. 査読有

③ Fine-tuning in the gauge mediated supersymmetry breaking models and the induced top Yukawa coupling, T. Kobayashi, H. Terao, A. Tsuchiya, Phys. Rev. D74 (2006) 015002. 査読有

④ Induced top Yukawa coupling and suppressed Higgs mass parameters, T. Kobayashi, H. Nakano, H. Terao, Phys. Rev. D71 (2005) 115009. 査読有

⑤ Democratic mass matrices induced by strong gauge dynamics and large mixing angles for leptons, T. Kobayashi, H. Shirano, H. Terao, Prog. Theor. Phys. 113 (2005) 1077-1099. 査読有

⑥ Large Mass Scale by Strong Gauge Dynamics with Infrared Fixed Point, T. Kobayashi, H. Nakano, H. Terao, Y. Yamada, Prog. Theor. Phys. 113 (2005) 413-427. 査読有

[学会発表] (計 12 件)

① 大村雄司, 安部博之, 檜垣徹太郎, 小林達夫, 太田和俊, 寺尾治彦, Duality cascade of softly broken supersymmetric theories. 2008 年 3 月 24 日 日本物理学会, 立教大学.

② H. Terao, Conformal extension of the Higgs sector and the little hierarchy problem. 2008 年 7 月 4 日 国際会議 ERG2008

Heidelberg, Germany.

③ 川島健二, 藤井康弘, 土谷暁人, 寺尾治彦, 直積群の大統一理論と Axion 模型. 2008 年 3 月 24 日 日本物理学会, 近畿大学.

④ 藤井康弘, 川島健二, 土谷暁人, 寺尾治彦, Axion 模型の微調整問題と解消する模型について. 2008 年 3 月 24 日 日本物理学会, 近畿大学.

⑤ H. Terao, A. Tsuchiya, Conformally interacting hadronic axion. 2007 年 8 月 16 日 国際集会 SI'07 Fuji-Yoshida, Japan .

⑥ 寺尾治彦, 土谷暁人, 湯川相互作用のある赤外固定点の TeV 領域のヒッグス模型への応用. 2007 年 3 月 27 日 日本物理学会, 首都大学.

⑦ 土谷暁人, 寺尾治彦, 湯川相互作用のある赤外固定点の Wilson 繰り込み群による解析. 2007 年 3 月 27 日 日本物理学会, 首都大学.

⑧ 大村雄司, 小林達夫, 寺尾治彦, Dynamical realization of democratic Yukawa matrices and alignment of A-terms. 2007 年 3 月 26 日 日本物理学会, 首都大学.

⑨ 寺尾治彦, Higgs with a large anomalous dimension and top quark mixing through conformal dynamics. 2006 年 10 月 24 日 国際会議 SCGT'06 Nagoya.

⑩ 寺尾治彦, Higgs with a large anomalous dimension and top quark mixing through conformal dynamics. 2006 年 8 月 25 日 国際集会 SI'06 Pohang.

⑪ 土谷暁人, 寺尾治彦, 超対称標準理論の微調整問題とその解消の試み. 2006 年 3 月 14 日 「素粒子物理学の新展」研究会, 京大基研.

⑫ 土谷暁人, 寺尾治彦, 超対称標準理論の微調整問題とその解消の試み. 2006 年 3 月 14 日 日本物理学会, 松山大学.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況（計0件）

[その他]
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺尾 治彦 (TERAO HARUHIKO)

奈良女子大学・理学部・教授

研究者番号：40192653

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし