

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2009

課題番号：18540259

研究課題名（和文） 余剰次元に基づく素粒子の統一理論の探究

研究課題名（英文） Research on unified theory of elementary particles based on extra dimensions

研究代表者

川村 嘉春（KAWAMURA YOSHIHARU）

信州大学・理学部・教授

研究者番号：10224859

研究分野：素粒子物理学

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：余剰次元，素粒子，統一理論，超対称性，超弦理論

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、高次元時空に基づいて素粒子の性質や法則を解明することにより標準模型を超える現実的な理論を発見し、宇宙の謎を解き明かすことである。（1）3世代の物質粒子の起源の解明に向けて。（2）Strong CP 問題の解決に向けて。（3）宇宙の誕生・進化・構造の解明に向けて。

2. 研究の進捗状況

研究計画（1）については、 Z_2 オービフォルドを含む5次元時空上の $SU(N)$ ゲージ理論に基づき5次元時空内に存在する $SU(N)$ 群の1種類の多重項から素粒子の標準模型に存在する3世代の物質粒子の大部分が導出されるモデル（Orbifold Family Unification Models）を提案した。さらに、このような3世代の物質粒子の創生が正しいかどうかを検証する手段の提案も行った。具体的には、多くの場合、スーパーパートナーの質量の関係式はモデルに特有の形をしていて、近い将来、スーパーパートナーを発見しその質量や結合定数を精密に測定し、その値を使って関係式をチェックすることにより、3世代の物質粒子の創生の検証・モデルの取捨選択および余剰次元の構造の解明が可能になると考えられる。

研究計画（2）については、 Z_2 オービフォルドを含む5次元時空上の Mixed Chern-Simons term を有する $SU(3)_c \times U(1)$ ゲージ理論（ここで、 $U(1)$ は標準模型に含まれていない余剰なゲージ対称性に関する可換

群）に基づき、 θ パラメータの値が5次元のゲージ変換の下で不変に保たれること（ θ パラメータに関して力学的な再整列が起こること）つまり θ パラメータが物理量であることを確かめた。その結果、 θ パラメータの値は余剰次元に関する境界条件と解釈され、strong CP problem の解決のヒントになる可能性が生まれた。

研究計画（3）については、 Z_3 オービフォルド上のゲージ理論に関して、ゲージ対称性に基づく同値関係を用いて、場の境界条件の分類を行った。同値関係の存在は細谷機構と関連し、具体的な模型を使って、ウィルソンライン位相に関する有効ポテンシャルを計算し、ゲージ対称性の力学的な破れを調べた。さらに様々なコンパクト空間に対する場の境界条件とその性質を探究することにより、宇宙のトポロジーの解明に役立つ可能性がある。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している

（理由）

研究計画（1）～（3）に挙げられている問題は、いずれも難問で容易にその解答が求まるという類のものではない。よって、まず何より、その謎解きのヒントや糸口をつかむことが重要である。このような観点から、本研究の達成状況はおおむね順調であると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

研究計画(1)～(3)に関して、以下のような研究の推進を計画している。(1)については、他の群(SO(N)など)に基づく模型の導出およびより現実的な模型の構築を行う。(2)については、「 θ パラメータの値は境界条件と同一視される」という解釈をさらに進展させて、strong CP problemの新しい解決に迫る。(3)については、さらに様々なコンパクト空間に対する場の境界条件とその性質を探究し、宇宙のトポロジーの解明に迫る。

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9件)

① Yoshiharu Kawamura, Teppei Kinami, Takashi Miura, “Superparticle Sum Rules in the presence of Hidden Sector Dynamics”, Journal of High Energy Physics 0901, 064, 2009, 査読有

② Yoshiharu Kawamura, Teppei Kinami, Kin-ya Oda, “Orbifold family unification”, Physical Review D 76, 035001, 2007, 査読有

[学会発表] (計10件)

① 川村嘉春, “ Z_2 Orbifold GUTで学んだことをそれを超える試みに活かす。” 理研集中セミナー「余剰次元模型の理論的枠組み」2008.12.6. 理化学研究所大河内記念ホール (招待講演)

② Yoshiharu Kawamura, “Search for a Realistic Orbifold Grand Unification”, International Workshop on Grand Unified Theories: Current Status and Future Prospects (GUT07), 2007.12.18. 立命館大学 (招待講演)

[図書] (計1件)

① 川村嘉春, サイエンス社, “例題形式で学ぶ現代素粒子物理学” 臨時別冊・数理科学 SGCライブラリ48, 2006, pp1-223