

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月 1日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20540251

研究課題名（和文） 剰余空間の構造を用いた統一モデルの構築

研究課題名（英文） Model building on a coset space

研究代表者 佐藤 文 (SATO JOE)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60322294

研究成果の概要（和文）：

余剰次元として商空間の構造を持つ理論を考え、素粒子標準理論を超える理論の構築を試みた。より具体的には二つの方法を用いた。一つ目は、商空間次元降下の方法で、標準理論に直結しうる商空間とその理論での物質の同定を行った。二つ目は商空間として最も単純な S^2 上でモデルの構築をいくつか行った。一つは大統一理論的な方法でゲージ群として $SO(12)$ を考え、標準理論が出うることを示した。もう一つは普遍高次元理論の枠内で、余剰次元を S^2 とする標準理論の拡張を行い、十分生きているモデルであることを示した。

研究成果の概要（英文）：

I studied theories with extra dimensions of coset space structure to construct a model beyond the Standard Model. I employed two methods for it. One is that I explored viable models using the method of Coset Space Dimensional Reduction (CSDR) which are reduced to the standard model after CSDR. The other is that I constructed models on S^2 which is the simplest coset space. One model is a unified theory with $SO(12)$ gauge group. The other is by employing the idea of Universal Extra Dimensional Model (UED) I extended the Standard Model to S^2 UED Model. Both models are shown to be viable now.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子

キーワード：余剰次元、統一理論、商空間

世代の構造がはっきりと見えだしていた。また T2K 実験などからレプトンの三世代の構造も固まりつつあった。さらに、LHC 実験が始まろうとしている時期であり、他にも暗黒物質の直接検出がもうすぐ行われると期待されていた。一方理論の方は、世代をどう考えるかについては依然混沌としていて、なぜ自然観には三世代のフェルミオンが存在するのか、その混合のパターンが実験で測られるようなものになるのかについては納得のいく説明がなかった。また、暗黒物質がどのような素粒子であるかについては全くの未知であった。

2. 研究の目的

当時も現在も三世代を説明する模型が求められている。つまり、なぜ三世代存在するのか、なぜ混合するのか、そしてその混合のパターンはどうして起きるのか、を説明したいとすべての物理学者が考えている。

過去の研究から商空間の構造を使うとそれを説明できる可能性があることがわかっていたので、商空間の構造に注目して、これらの疑問を解決しうる模型を構築することが一番の目的である。さらに、余剰次元を持つ理論を考えると、暗黒物質の候補となる粒子が導入される可能性が有ることもよく知られていた。これらの観点から、商空間を余剰次元として持つ模型としてどのようなものがあるかを考えることが、この研究の目的である。

3. 研究の方法

余剰次元として商空間の構造を持つ枠組みで二つの方向から模型を構築し、その予言を確かめる。

(1) 商空間における次元降下法 Coset Space Dimensional Reduction (CSDR) といわれる、ゲージ対称性と商空間の構造を結びつける方法でどのような模型が作れるかを考える。また、それを元に具体的な大統一理論を作る。

(2) 通常の普遍余剰次元 Universal Extra Dimensional (UED) 模型の手法を用いて商空間を余剰次元として持つ模型を作る。余剰次元としては最も単純な S2 を考える。

これらの模型に付随する暗黒物質の性質を知るために、同様の範疇の模型と他の模型での暗黒物質のありようについ

ての比較を試みる。

4. 研究成果

(1) CSDR の枠組みで統一理論の候補となる模型の可能性を追求した。(論文⑧⑨⑩)。従来調べられていなかった 8 次元 (論文⑨) や、10 次元という単純群に対してはすでに調べられている場合について、ゲージ群が単純群ではなく半単純群 (直積群) の可能性、さらに余剰次元だけで 10 次元 (論文⑩) の可能性を探した (論文⑧)。それぞれの理論で、最終的に標準理論のゲージ群 $SU(3)*SU(2)*U(1)$ とフェルミオンの一世代が現れるという条件の下、すべての可能性を尽くし、候補となる模型の可能性をいくつか見いだした。

(2) (1) で得られた成果を元に具体的な $S_0(12)$ ゲージ群に基づく統一模型を構築した (論文⑩)。CSDR を用いて一世代が実現する模型を作り、ゲージボソンの質量など、それなりに現実に近い模型であることを示した。さらに、同様の手法で E6 ゲージ群に基づく大統一理論も考えた (論文①)。

(3) 最小の商空間である S2 を余剰次元とする UED 型の模型を構築した。(論文④, ⑤)。標準理論が再現されるべしという条件から、余剰次元方向の物質の質量固有状態を求めた。さらに、この条件から通常の UED 模型と同じように暗黒物質の候補が存在することを確かめた。このように 6 次元の UED としてまだこれから検証されるべき模型であることを示し (④)、具体的な方法の一例として、ヒッグス生成機構を通して検証しうることを確かめた。(論文⑤)

(4) 暗黒物質とフレーバーの関係について調べた (論文②③⑥)。暗黒物質は多くお場合、電荷を持った粒子と質量が縮退していると予言される。そのような場合、宇宙初期の元素合成にこれらの粒子が寄与することが有り、そこから暗黒物質の性質に対して予言を行うことができるようになる。ここでは、枠組みとしては超対称模型で行ったが、UED や CSDR でも応用の利く結果を得た。

(5) 副産物としてフレーバーの破れを見

る新たな実験の可能性について提案を行った(論文⑦)。ミューオンと電子が原子内で対消滅を起こす可能性を調べ、これを観測することで三代の構造に対して制限を課せる可能性を示した。

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 10 件)

- ① Cheng-Wei Chiang, Takaaki Nomura, Joe Sato, Gauge-Higgs unification models in six dimensions with S_2/Z_2 extra space and GUT gauge symmetry 査読有り, Advanced High Energy Physics 2012 260848-1-40 (2012) 10.1155/2012/260848
- ② Toshifumi Jittoh, Kazunori Kohri, Masafumi Koike, Joe Sato, Kenichi Sugai, Masato Yamanaka, Koichi Yazaki, Big-bang nucleosynthesis with a long-lived charged massive particle including 4He spallation processes Physical Review D84, 03005-1-11 (2011) 10.1103/PhysRevD.84.035008
- ③ Satoru Kaneko, Hiroki Saito, Joe Sato, Takashi Shimomura, Oscar Vives, Masato Yamanaka, Correlation between flavour violating decay of long-lived slepton and tau in the coannihilation scenario with Seesaw mechanism, 査読有り, Physical Review D83 115005-1-16 (2011) 10.1103/PhysRevD.83.115005
- ④ Nobuhito Maru, Takaaki Nomura, Joe Sato, Masato Yamanaka, Higgs Production via Gluon Fusion in a Six Dimensional Universal Extra Dimension Model on $S^2/Z(2)$, 査読有り, European Physics Journal C66 283-287 (2010) 10.1140/epjc/s10052-010-1236-3
- ⑤ Nobuhito Maru, Takaaki Nomura, Joe Sato, Masato Yamanaka, The Universal Extra Dimensional Model with $S^2/Z(2)$ extra-space, 査読有り, Nuclear Physics B830 414-433 (2010) 10.1016/j.nuclphysb.2009.11.023
- ⑥ Toshifumi Jittoh, Kazunori Kohri, Masafumi Koike, Joe Sato, Takashi Shimomura, Masato Yamanaka, Stau relic density at the Big-Bang nucleosynthesis era consistent with the abundance of the light element

nuclei in the coannihilation scenario, 査読有り, Physical Review D82, 115030-1-10 (2010)

10.1103/PhysRevD.82.115030

- ⑦ Masafumi Koike, Yoshitaka Kuno, Joe Sato, Masato Yamanaka, New Process for Charged Lepton Flavor Violation Searches: $\mu^-e^- \rightarrow e^-e^-$ in a Muonic Atom, 査読有り, Physical Review Letter 121601-1-4 (2010) 10.1103/PhysRevLett.105.121601
- ⑧ Toshifumi Jittoh, Masafumi Koike, Takaaki Nomura, Joe Sato, Takashi Shimomura, Model building by Coset space dimensional reduction in ten-dimensions with direct product gauge symmetry, 査読有り, Physical Review D79, 056004-1-10 (2009) 10.1103/PhysRevD.79.056004
- ⑨ Toshifumi Jittoh, Masafumi Koike, Takaaki Nomura, Joe Sato, Yutsuki Toyama, Model building by coset space dimensional reduction in eight-dimension, 査読有り, Physics Letters B675, 450-454 (2009) 10.1016/j.physletb.2009.04.044
- ⑩ Takaaki Nomura, Joe Sato, Standard(-like) Model from an $SO(12)$ Grand Unified Theory in six-dimensions with S^2/Z_2 extra-space, 査読有り, Nuclear Physics B811, 109-122 (2009) 10.1016/j.nuclphysb.2008.11.017.
- ⑪ Toshifumi Jittoh, Masafumi Koike, Takaaki Nomura, Joe Sato, Takashi Shimomura, Model building by coset space dimensional reduction scheme using ten-dimensionnal coset spaces, 査読有り, Progress of Theoretical Physics 120, 1041-1063 (2008) 10.1143/PTP.120.1041

[学会発表] (計 4 件)

- ① Stau relic density at the Big-Bang nucleosynthesis era consistent with the abundance of the light element nuclei in the coannihilation scenario 新潟冬の研究會 2011、2011.1.7「湯沢東映ホテル」佐藤丈

- ② A new idea to search for charged lepton flavor violation using a muonic atom , 12th International Workshop on Neutrino Factories, Superbeams and Beta beams (NuFact10) 20-25 Oct 2010. Mumbai, India, Joe Sato
- ③ S2 を余剰空間として持つ模型あれこれ, 新潟冬の研究会 2010, 2010.1.18, 「湯沢東映ホテル」佐藤 丈
- ④ Standard(-like) model from an SO(12) grand unified theory in six-dimensions with S**2 extra-space, 2009 Europhysics Conference on High Energy Physics: HEP 2009 (EPS-HEP 2009) 16-22 Jul 2009. Cracow, Poland, Takaaki Nomura, Joe Sato

佐藤 丈 (SATO JOE)
埼玉大学・理工学研究科・准教授
研究者番号 : 60322294

(2) 研究分担者 ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者 ()

研究者番号 :

[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 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者