

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：14401
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2019～2021
課題番号：19K03826
研究課題名（和文）U(3)ファミリー・ゲージ対称性とTeVスケール物理の探求

研究課題名（英文）U(3) Family Symmetry and TeV Scale Physics

研究代表者

小出 義夫 (Koide, Yoshio)

大阪大学・理学研究科・招へい研究員

研究者番号：40046206

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：モデルは、SU(3)ファミリー・ゲージ対称性とSU(5)大統一理論とを組み合わせた新し理論へと発展させることができた。モデルは、単なる「対称性の議論」から、「複合粒子模型」へと発展させることにより、既存の素粒子以外の粒子の予言もでき、その性質や崩壊パターンも予言でき、新しい物理への糸口がつかめたと自負している。今後の発展に期待したい。具体的には2つの論文を書き上げた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新しいモデルにより予言された新粒子の実験的発見は、新しい素粒子物理学の発展に大いに寄与するであろう。今後の実験に期待したい。

このモデルが正しければ、新しいエネルギー産業への応用が期待される。ぜひ、スピン $J=3/2$ を持った電子 e' の崩壊 $e' \rightarrow e + \text{photon}$ への現象の検出を期待したい。

研究成果の概要（英文）：I could build a new theory by combining a family gauge symmetry with the SU(5) grand unification model. Based on the new theory, I predicted some new events. The results were reported as two papers.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：ファミリーゲージボソン 新素粒子状態の予言 μ -e conversion

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

Hadrons と mesons の統一モデルとしては quark model が完成していた。しかし、それに leptons も加えたモデルは存在しなく、対称性の理論として、大統一理論 Grand Unification Theory, (GUT) が知られていたのみであった。そこには、family $U(3)$ の存在が含まれていなかった。Family の数も含めた理論の構築が望まれた。

2. 研究の目的

Quarks と leptons の統一モデルとしては $SU(5)$ GUT model が知られている。しかし、それは、群理論という数学モデルであり、その物質的背景は十分ではなかった。例えば、families の数がなぜ 3 であるのかには答えることができなかった。 $SU(5)$ GUT では、なぜ 10 次元表現と 5 次元表現を選ぶのかの根拠は恣意的であった。

$SU(5)$ GUT model の成果を受け継ぎ、しかし、単なる数学的対称性の議論ではなく、quarks や leptons はさらなる基本粒子から構成される複合粒子であるという複合モデルの立場からの統一的理解を目的とした。それにより、より基本的物質の新しい存在を求めて、新しい基本物質観の確立を目指す。実験的検証にも配慮しながら、理論的探求を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

$SU(5)$ 理論の成果を受け継ぎながら、しかし単なる対称性の数学的議論ではなく、それに families の数は 3 であることが自然に導かれるよう考慮して、composite model の観点から、 $SU(5) \times SU(3)$ の統一モデルの構築を目指した。すなわち、単なる数学モデルではなく、物理としての実体的な物質像の下でのモデル構築を目指す。従って、目的とする quarks と leptons だけでなく、それ以外の招かざる粒子状態をも受け入れて、それらの観測可能性を議論することも重要であると考えた。特に、実験的検証可能性に配慮しながら、理論の構築を進めることを目的とする。

4. 研究成果

研究成果は 2 つの論文にまとめられた。

(1) Composite Model of Quarks and Leptons (Y. Koide) arXiv:2106.02464 [hep-ph]

期待通りに クォークとレプトン を含むモデルの構築に成功した。

モデルは大統一理論 $SU(5)$ GDUT モデルの成功点を受け継いで探求された。しかし、群理論を用いた数学モデルでは、必要な粒子状態を選びだすことの根拠がない。あくまでも恣意的に選ばれるにすぎない。複合粒子モデルでは、粒子の結合状態が問題となるので、基本粒子間の組み合わせが選別することができる。望みのクォークとレプトンとをうまく導くことができる。

選り出される複合粒子状態には、望むクォークとレプトン以外の状態も登場してしまう。しかし、その方がモデルの検証には好都合である。さらなる新しい粒子状態が予言され、この理

論の実験的検証可能性があるということになる。現実的な物理として検証可能なモデルにできたと自負している。

物理としては面白い。余分の粒子状態も、ありうる状態と考えて、その観測性を議論した、むしろ、それによって、この理論の正しさが検証可能となると考える

(2) An Origin of the μ - e Conversion (Y. Koide)

クォークは family の固有状態と質量の固有状態がズレていることは、よく知られている。これに対して、荷電レプトンは、一般には、family の固有状態と質量の固有状態が同一であると思われている。しかし、それには根拠がない。

この論文では、荷電レプトンでも、両者の固有状態はズレているという可能性について論ずる。この場合、muon から electron への遷移が起こり、たとえば、 $\mu \rightarrow e + \gamma$ などが観測されることになる。(しかし、この反応は、tree-level では起きなく、loop diagram でのみ、関与する粒子の質量の違いを通して起こる現象であることが分かった。)

この物理について、詳しく考察し、そのような現象についての観測可能性を論じた。

大変稀な頻度で起こる現象ではあるが、それは特徴的現象なので、もしそれが起これば、大いに観測可能性がある。今後の実験的探索に期待したい。

なお、この論文に関して、研究分担者である山下氏から貴重なコメントを受けたので、この私の単著の論文を修正し、彼との共著論文とし、近く投稿の予定。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	山下 敏史 (Yamashita Toshifumi) (90622671)	愛知医科大学・医学部・講師 (33920)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関