

平成 21 年 5 月 11 日現在

研究種目： 基盤研究（C）
 研究期間： 2005～2008
 課題番号： 17540243
 研究課題名（和文）フレーバーの対称性とニュートリノ質量行列の起源の研究

研究課題名（英文） Flavor Symmetry and Origin of Neutrino Mass Matrix

研究代表者

氏 名：谷本盛光（TANIMOTO MORIMITSU）
 所 属：新潟大学・自然科学系・教授
 研究者番号：90108366

研究成果の概要：

非可換離散対称性を世代対称性として導入し、その現象論的帰結を明らかにした。S₄, Delata(54)の対称性は、A₄ 対称性と同様、レプトンのフレーバー混合に対して実験が示唆する Tri-bimaximal mixing を導くことを発見した。さらに、S₄ 対称性は SU(5)大統一理論を用いると、レプトンの Tri-bimaximal mixing を再現すると同時に、クォークのフレーバー混合であるカビボ角を 15 度とすることを明らかにした。また、フレーバー対称性のモデルを超対称性化し、スレプトンの質量行列を解析して、フレーバーの変化する中性カレント(FCNC)の大きさを求めた。これらの予言は LHC の実験で検証される。

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	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,400,000	450,000	3,850,000

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：フレーバー対称性、フレーバー混合、非可換離散対称性

1. 研究開始当初の背景

(1)素粒子の世代の起源、すなわちクォークとレプトンの世代の起源は数十年にわたって研究されてきたが、いまだ解明されてい

ない。素粒子の標準モデルを越える理論の進展にともなって世代に関する数々のモデルや理論が研究されてきた。その研究過程をみると、世代の解明が素粒子の統一理論に至るた

めに決定的役割をすることはまちがいない。しかしながら、世代の起源については決定打がでていない状況である。一方、世代の理論やモデルを検証することができるニュートリノの精密実験は着実に準備されており、また LHC(大型ハドロン衝突実験)が始動をはじめ、ヒッグス粒子の発見や超対称性粒子の発見が期待されている。さらにミュー粒子の稀少崩壊探査 MEG の実験もはじまり、今後は理論やモデルの実験的検証の時代に入る。

(2)世代の起源を探求する上では、世代間の対称性、すなわちフレーバーの対称性が鍵となる。近年、フレーバーの非可換離散対称性に注目が集まり、新潟大学の研究グループも含めて多くの研究がなされている。

2. 研究の目的

世代の起源を探求する上では、世代間の対称性、すなわちフレーバーの対称性が鍵となる。ニュートリノの精密実験の到達点をもとに、フレーバーに関する対称性を現象論的に検討し、そこから標準理論を超えるための知見を得る。そのため、以下の目標を立てる。

(1)ニュートリノ質量行列の構造の詳細な解明と、それに基づいて、フレーバーの非可換離散対称性が現実実現していることを探索するとともに、フレーバーの関与する現象を系統的に研究し、フレーバーのモデルを検証する。

(2)フレーバーの非可換離散対称性を用いたクォークとレプトンのモデルを超対称性への拡張を行い、それに基づいた FCNC の評価とレプトンフレーバーの破れについて研究する。

(3)非可換離散対称性の理論的起源についての検討をすすめる。

3. 研究の方法

本研究の分担者や共同研究者を中心に、研究連絡や年一回の現象論に関する滞在型国際研究集会 (Summer Institute) を通じて、フレーバー問題の理論研究者の有機的な共同研究を組織する。そこでは、世代の起源の理解を展望した新しい素粒子統一モデルを構築する。それは、クォークとレプトンの対照的なフレーバー構造を説明するものである。そのモデルの検証を LHC および MEG 実験、および次世代ニュートリノ精密実験で行う。また、モデルに基づく数値シミュレーションが大学院生によって行なわれる。

4. 研究成果

素粒子のフレーバー構造をフレーバーの非可換離散対称性と超対称性を用いて以下の事柄を明らかにした。

(1) 国際共同研究によって、フレーバーの A4 離散対称性を用いてレプトンの質量行列の構造とクォークの質量行列の関係を与えることに成功した。この研究論文はモデルの原型として、多数引用されている(論文 SLAC Spires 67)。

(2) A4 対称性が自発的に破れたときの、高次効果を考慮すると、ニュートリノのフレーバー混合は Tri-bimaximal mixing からずれる。そのずれの大きさを定量的に計算することに成功した。A4 モデルの予言として重要なものである(論文)。

(3) D4 フレーバーの対称性に基づくモデルは Grimus Lavoura によって提唱されたが、ヒッ

グス二重項が3種類あり超対称性との相性が良くない。このため、ヒッグス二重項が一つのあらたなモデルを提唱し、超対称性化に成功した。これは新しいニュートリノモデルである(論文)。

(4) クォークとレプトンの質量行列の要素にはゼロとなる構造があることが望まれる。ニュートリノ質量行列の好ましいゼロ構造を、フレーバーの S3 対称性における対称性の破れと関連させて導出しすることに成功した(論文)。

(5) 超対称 SO(10) GUT を用いて、レプトンの質量行列の構造とクォークの質量行列の関係を実験データに基づいて解析し、可能な質量行列を求めた(論文)。

(6) 質量が変化するニュートリノモデルとダークエネルギーの関係を詳細に検討し、超対称性を持つモデルの構成に成功した。その結果、偽の真空の存在が重要であることを明らかにした。質量が変化するニュートリノモデルを超対称性化した研究のはじまりであり、この論文は原型論文として引用が多い(論文 SLAC Spires 34、論文 、)。

(7) 非可換離散対称性である D4 と A4 のフレーバーモデルにおいてレプトンの質量行列を決定し、ニュートリノのフレーバー混合を再現した。さらに、モデルを超対称性化し、フレーバー混合と超対称性粒子であるスレプトン質量行列の構造の関係を解明した。その結果、FCNC の大きさが現在の実験制限ぎりぎりにあることが判明した。また、このフレーバーモデルは LHC での実験で検証可能であることを明らかにした(論文 、)。

(8) S4 と Delta(54)の非可換離散対称性について研究し、レプトンフレーバーの Tri-bimaximal mixing が実現できることを発見した。S4 と Delta(54)を用いたモデルで Tri-bimaximal mixing を実現したのは初めてであり、その重要性は大きい。さらに、S4 対称性において SU(5)大統一理論を用いるとクォークのフレーバー混合であるカビボ角が 15 度となることを導いた。この結果は画期的であり、この分野の研究者の注目を集めはじめている(論文 、)。

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 21 件)

Hajime Ishimori, Yusuke Shimizu, Morimitsu Tanimoto,

S(4) Flavor Symmetry of Quarks and Leptons in SU(5) GUT, Progress of Theoretical Physics, 121, 769-787, 2009.

Hajime Ishimori, Tatsuo Kobayashi, Hiroshi Okada, Yusuke Shimizu, Morimitsu Tanimoto, Lepton Flavor Model from Delta(54) Symmetry, JHEP 0904:011,2009.

Hajime Ishimori, Tatsuo Kobayashi, Yuji Omura, Morimitsu Tanimoto, Soft supersymmetry breaking terms from A(4) lepton flavor symmetry, JHEP 0812:082, 2008.

Naoyuki Haba, Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, Koichi Yoshioka, Tri-bimaximal Mixing from Cascades, Phys.Rev.D78:113002,2008.

Hajime Ishimori, Tatsuo Kobayashi, Hiroshi Ohki, Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto,

Soft supersymmetry breaking terms from $D(4) \times Z(2)$ lepton flavor symmetry, Phys.Rev. D77, 115005, 2008.

Hajime Ishimori, Tatsuo Kobayashi, Hiroshi Ohki, Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, $D(4)$ Flavor Symmetry for Neutrino Masses and Mixing, Physics Letters B662, 178–184, 2008.

Mizue Honda, Morimitsu Tanimoto, Deviation from tri-bimaximal neutrino mixing in $A(4)$ flavor symmetry, Progress of Theoretical Physics 119, 583–598, 2008.

Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, False Vacuum in the Supersymmetric Mass Varying Neutrinos Model, Phys.Rev. D77, 045015, 2008.

Satoru Kaneko, Hideyuki Sawanaka, Takaya Shingai, Morimitsu Tanimoto, Koichi Yoshioka, Flavor Symmetry and Vacuum Aligned Mass Textures, Progress of Theoretical Physics, 117, 161–181, 2007.

Mizue Honda, Morimitsu Tanimoto, Examining the Geometrical Model with Inverted Mass Hierarchy for Neutrinos, Phys. Rev. D75, 096005, 2007.

Masako Bando, Satoru Kaneko, Midori Obara, Morimitu Tanimoto, Can symmetric texture reproduce unitarity triangle and $m(b)/m(\tau)$?, Progress of Theoretical Physics, 116, 1105-1115, 2007.

Hiroyuki Matsuura, Hiroaki Nakano, Koichi Yoshioka, Soft Supersymmetry Breaking at Heavy Chiral Threshold, Progress of Theoretical Physics, 117, 395-400, 2007.

Ernest Ma, Hideyuki Sawanaka, Morimitsu Tanimoto,

Quark Masses and Mixing with A_4 Family Symmetry, Physics Letters, 641B, 301-304, 2006.

Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, The Effect of supersymmetry breaking in the mass varying neutrinos, Phys. Rev. D74, 055002, 2006.

Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, Speed of sound in the mass varying neutrinos scenario, JHEP 0605, 021, 2006.

M. Tanimoto, T. Yanagida, A Higher-dimensional origin of the inverted mass hierarchy for neutrino, Physics Letters, B633, 567–572, 2006.

Walter Grimus, Satoru Kaneko, Luis Lavoura, Hideyuki Sawanaka, Morimitsu Tanimoto, μ - τ antisymmetry and neutrino mass matrices, JHEP 0601, 110, 2006.

Mizue Honda, Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto,

Embedding the texture of the neutrino mass matrix into the MaVaNs scenario, JHEP 0601, 042, 2006.

Ryo Takahashi, Morimitsu Tanimoto, Model of mass varying neutrinos in SUSY, Physics Letters, B633, 675–680, 2006.

T. Fujihara, S. Kaneko, Sin Kyu Kang, D. Kimura, T. Morozumi, M. Tanimoto, Cosmological family asymmetry and CP violation, Phys.Rev.D72, 016006, 2005.

21 Satoru Kaneko, Hideyuki Sawanaka, Morimitsu Tanimoto, Hybrid Textures of Neutrinos, JHEP, 0508, 073, 2005

〔学会発表〕(計4件)

Morimitsu Tanimoto,
False Vacuum in the Supersymmetric Mass
Varying Neutrino Model,
DSU '08, 4th International Workshop on the
Dark Side of the Universe, 1st - 5th June,
2008, The British University in Egypt
(BUE), Cairo, Egypt

Morimitsu Tanimoto,
Mass and mixing of quark-lepton in the
nonabelian discrete symmetry,
Challenges in Particel Astrophysics
August 6-12, 2006, Hanoi, Vietnam

Morimitsu Tanimoto,
Mass Varying Neutrinos in SUSY,
Planck '06
From the Planck scale to the ElectroWeak
scale, May 29-June 2, 2006, Paris, France.

Morimitsu Tanimoto,
Mass Varying Neutrinos in SUSY,
Neutrino Oscillation in Venice
Feb. 7-10, 2006, Venice, Italy

〔図書〕(計2件)

「新潟で探るニュートリノの不思議な世界」
著者：谷本盛光，田村 詔生，新潟大学ブッ
クレット，新潟大学大学院自然科学研究科
(2006) 1-70 頁.

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

谷本盛光「ニュートリノは宇宙の果てまで」，
特集：素粒子像の探求，数理科学、サイエン
ス社 (2006) 12月号，31-36.

6. 研究組織

(1)研究代表者

谷本 盛光 (TANIMOTO MORIMITSU)
所属 新潟大学 自然科学系・教授
研究者番号：90108366

(2)研究分担者

中野 博章 (NAKANO HIROAKI)
所属 新潟大学 自然科学系・教授
研究者番号：60262424

(3)連携研究者

なし