

平成 22 年 5 月 18 日現在

研究種目： 特定領域研究  
 研究期間： 2004 ～ 2009  
 課題番号： 16081202  
 研究課題名（和文） 超対称理論における世代構造とレプトンフレーバーの破れの研究  
 研究課題名（英文） Generation Structure and Lepton Flavor Violation in Supersymmetric Theories  
 研究代表者 山口 昌弘 (YAMAGUCHI MASAHIRO)  
 東北大学・大学院理学研究科・教授  
 研究者番号： 10222366

研究成果の概要（和文）：素粒子の標準模型を超える物理として有力な超対称理論におけるレプトンフレーバーの破れの研究を行った。超対称統一理論においてレプトンセクターとクォークセクターのフレーバー混合と実験からの制限の比較を行い、レプトンフレーバーの破れがより重要となる場合の超対称粒子の質量スペクトルを同定した。また関連して、超対称性の破れと伝播について超弦理論から示唆される新たな機構を提案すると同時に、モジュライ場のグラビティーノ対への崩壊率が大きくなることを指摘し超対称理論における宇宙論への影響を議論した。

研究成果の概要（英文）：Lepton flavor violation is studied in the supersymmetric extension of the standard model of particle physics. We compare the lepton sector flavor violation with that of quark sector, and identify the superparticle mass spectrum in which the lepton flavor gives better discovery potential. Related to this, a new mechanism of supersymmetry breaking and mediation is proposed, which can be a low-energy consequence of string theories. It is pointed out that the moduli decay into gravitino pairs has a sizable branching ratio, and its cosmological implications are discussed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	1,800,000	0	1,800,000
2005 年度	3,300,000	0	3,300,000
2006 年度	3,100,000	0	3,100,000
2007 年度	2,700,000	0	2,700,000
2008 年度	2,300,000	0	2,300,000
2009 年度	2,200,000	0	2,200,000
総計	15,400,000	0	15,400,000

研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：物理学 素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理（理論）

キーワード：素粒子理論，超対称性，素粒子実験

## 1. 研究開始当初の背景

電弱標準理論においては、レプトン数はフレーバーごとに保存する（レプトンフレー

バーの保存）が、これは標準理論のゲージ対称性と繰り込み可能性の要請による偶然の産物と考えられ、より基本的な理論において

はレプトンフレーバーが保存していないことが期待される。実際ニュートリノ振動はレプトンフレーバーが破れている現象であり、また大統一理論でもこの対称性は保証しない。ミュオンの稀崩壊過程でレプトンフレーバーの破れをこれまでの実験限界より2ケタ精度良く測定することが可能な MeG 実験が計画開始当初計画されていた。また、標準模型を超える物理として最も有望視される超対称理論では、一般にレプトンの超対称粒子の質量行列がフレーバー混合を持ち、それによりレプトンフレーバーの破る現象が実験的に検証されるほど大きく起こることが期待された。

## 2. 研究の目的

超対称理論の様々なシナリオにおいてどのくらい大きなレプトンフレーバーの破れが期待されるか包括的に研究すると同時に、MeG 実験でレプトンフレーバーの破れが発見されたときに、レプトンフレーバーの破れを同定するための基礎的な理論研究を行う。

## 3. 研究の方法

研究期間中に、MeG 実験が稼働し最初の結果を出すであろうことを念頭に置き、次の理論研究を行った。

(1) 超対称理論におけるレプトンフレーバーの破れの研究とクォークセクターとの関連の研究

(2) 超対称性の破れと伝播の機構の研究

(3) 超対称理論の宇宙論的な考察による、超対称性の破れと伝播機構の研究

(4) 超対称理論における様々な過程の量子補正の研究

また、研究手法については、コンピュータによる数値的計算および数式処理による解析的な計算を用いた。

## 4. 研究成果

超対称大統一理論において、レプトンフレーバーの破れの大きさとクォークセクターの破れは関係する。我々は両セクターにおけるフレーバー混合を現在の実験からの制限、および将来の実験の感度と比較した。その結果として超対称粒子の質量スペクトルによって、レプトンフレーバーの破れがより感度が良い場合とそうでない場合があることを定量的に示し、両者の相補性を論じた(山口)。

超対称性の破れの伝播機構として、超弦理論の低エネルギー極限で容易に実現される伝播機構を提案した(山口)。この機構においては所謂アノマリー伝播からの寄与とモジュライ伝播からの寄与が同程度になりこれまでにないユニークな超対称性粒子の質量スペクトルが得られる。またこの機構における現象論について総括的な研究を行った

(山口)。

一方、アノマリー伝播機構も有力な超対称性の破れの伝播機構である。この場合の LHC 実験における信号について詳細な研究を行った(諸井)。

また、モジュライ場やインフラトン場などのスカラー場がグラビティーノ対に崩壊する過程を考察し、一般的に大きな分岐費となることを指摘し、同時にそれに対する宇宙論的な制限を議論した(山口)。この結果は、超対称理論を考える上で看過できない重要な制限とみなすことができる。アクシオンを導入することで、この問題を解決するモデルを提唱した(山口)。

実験で得られた陽電子などの宇宙線の高エネルギースペクトルに従来の機構では説明できない超過がある可能性が最近報告されている。この超過を超対称粒子の崩壊で説明する機構を提案した(諸井)。

超対称理論においてbクォークのフレーバーを破る崩壊過程は重要であるが、その高次補正について詳細な計算を行いその寄与の大きさを評価した(山田)。

## 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 35 件)

1. K. Choi, K. S. Jeong, S. Nakamura, K. Okumura and M. Yamaguchi, Sparticle masses in deflected mirage mediation, JHEP 0904 (2009) 107, 査読有
2. K. Ishiwata, S. Matsumoto and T. Moroi, Cosmic Gamma-ray from Inverse Compton Process in Unstable Dark Matter Scenario, Phys. Lett. B679 (2009) 1, 査読有
3. K. Ishiwata, S. Matsumoto and T. Moroi, High Energy Cosmic Rays from Decaying Supersymmetric Dark Matter, JHEP 0905 (2009) 110, 査読有
4. J. Hisano, M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi and K. Nakayama, Cosmic Rays from Dark Matter Annihilation and Big-Bang Nucleosynthesis, Phys. Rev. D79 (2009) 083522, 査読有
5. K. Ishiwata, S. Matsumoto and T. Moroi, Synchrotron Radiation from the Galactic Center in Decaying Dark Matter Scenario, Phys. Rev. D79 (2009) 043527, 査読有
6. K. Ishiwata, S. Matsumoto and T. Moroi, Cosmic-Ray Positron from Superparticle Dark Matter and the PAMELA Anomaly, Phys. Lett. B675 (2009) 446, 査読有

7. T.Moroi and T.Takahashi, Non-Gaussianity and Baryonic Isocurvature Fluctuations in the Curvaton Scenario, Phys. Lett. B671 (2009) 339, 査読有
8. S.Asai, Y.Azuma, O.Jinnouchi, T.Moroi, S.Shirai and T.T.Yanagida, Mass Measurement of the Decaying Bino at the LHC, Phys. Lett. B672 (2009) 339, 査読有
9. J.h.Park and M.Yamaguchi,  $B_s$  mixing phase and lepton flavor violation in supersymmetric SU(5), Phys. Lett. B670 (2009) 356, 査読有
10. P.Ko, J.h.Park and M.Yamaguchi, Sflavor mixing map viewed from a high scale in supersymmetric SU(5), JHEP 0811 (2008) 051, 査読有
11. S.Nakamura, K.Okumura and M.Yamaguchi, Axionic Mirage Mediation, Phys. Rev. D 77 (2008) 115027, 査読有
12. K.Ishiwata, T.Ito and T.Moroi, Long-Lived Unstable Superparticles at the LHC, Phys. Lett. B669 (2008) 28, 査読有
13. S.Matsumoto, T.Moroi and K.Tobe, Testing the Littlest Higgs Model with T-parity at the Large Hadron Collider, Phys. Rev. D78 (2008) 055018, 査読有
14. K.Ishiwata, S.Matsumoto and T.Moroi, High Energy Cosmic Rays from the Decay of Gravitino Dark Matter, Phys. Rev. D78 (2008) 063505, 査読有
15. M.Kawasaki, K.Kohri, T.Moroi and A.Yotsuyanagi, Big-Bang Nucleosynthesis and Gravitino, Phys. Rev. D78 (2008) 065011, 査読有
16. S.Asai, T.Moroi and T.T.Yanagida, Test of Anomaly Mediation at the LHC, Phys. Lett. B664 (2008) 185, 査読有
17. Y.Yamada,  $b$  to  $s$   $\nu$   $\nu$ -bar decay in the MSSM: Implication of  $b$  to  $s$   $\gamma$  at large  $\tan \beta$ , Phys. Rev. D77 (2008) 014025, 査読有
18. S.Nakamura and M.Yamaguchi, A Note on Polonyi Problem, Phys. Lett. B655 (2007) 167, 査読有
19. S.Asai, T.Moroi, K.Nishihara and T.T.Yanagida, Testing the Anomaly Mediation at the LHC, Phys. Lett. B653 (2007) 81, 査読有
20. T.Kanzaki, M.Kawasaki, K.Kohri and T.Moroi, Cosmological constraints on neutrino injection, Phys. Rev. D76 (2007) 105017, 査読有
21. M.Kawasaki, K.Kohri and T.Moroi, Big-Bang Nucleosynthesis with Long-Lived Charged Slepton, Phys. Lett. B649 (2007) 436, 査読有
22. T.Asaka, K.Ishiwata and T.Moroi, Right-handed sneutrino as cold dark matter of the universe, Phys. Rev. D75 (2007) 065001, 査読有
23. M.Ibe, T.Moroi and T.T.Yanagida, Possible signals of Wino LSP at the Large Hadron Collider, Phys. Lett. B644 (2007) 355, 査読有
24. T.Kanzaki, M.Kawasaki, K.Kohri and T.Moroi, Cosmological Constraints on Gravitino LSP Scenario with Sneutrino NLSP, Phys. Rev. D75 (2007) 025011, 査読有
25. L.B.Anderson, A.B.Barrett, A.Lukas and M.Yamaguchi, Four-dimensional effective M-theory on a singular G(2) manifold, Phys. Rev. D74 (2006) 086008, 査読有
26. T.Asaka, S.Nakamura and M.Yamaguchi, Gravitinos from heavy scalar decay, Phys. Rev. D74 (2006) 023520, 査読有
27. S.Nakamura and M.Yamaguchi, Gravitino production from heavy moduli decay and cosmological moduli problem revived, Phys. Lett. B638 (2006) 389, 査読有
28. T.Noguchi, M.Yamaguchi and M.Yamashita, Gravitational Kaluza-Klein modes in warped superstring compactification, Phys. Lett. B636 (2006) 221, 査読有
29. S.Chang, C.S.Kim and M.Yamaguchi, Hierarchical mass structure of fermions in warped extra dimension, Phys. Rev. D73 (2006) 033002, 査読有
30. T.Moroi, Y.Sumino and A.Yotsuyanagi, QCD correction to neutralino annihilation process and dark matter density in supersymmetric models, Phys. Rev. D74 (2006) 015016, 査読有
31. T.Asaka, K.Ishiwata and T.Moroi, Right-handed sneutrino as cold dark matter, Phys. Rev. D73 (2006) 051301, 査読有
32. M.Endo, M.Yamaguchi and K.Yoshioka, A bottom-up approach to moduli dynamics in heavy gravitino scenario: Superpotential, soft terms and sparticle mass spectrum, Phys. Rev. D72 (2005) 015004, 査読有
33. K.Kohri, M.Yamaguchi and J.Yokoyama, Neutralino dark matter from heavy gravitino decay, Phys. Rev. D72 (2005) 083510, 査読有
34. M.Endo, S.Mishima and M.Yamaguchi, Recent measurements of CP asymmetries

of  $B \rightarrow \Phi K^0$  and  $B \rightarrow \eta' K^0$  at B-factories suggest new CP violation in left-handed squark mixing, Phys. Lett. B609 (2005) 95, 査読有

35. Y. Yamada, Two-loop SUSY QCD correction to the gluino pole mass, Phys. Lett. B623 (2005) 104, 査読有

[学会発表] (計4件)

1. 山口昌弘, Mirage mediation of supersymmetry breaking: Phenomenology and Cosmology, TeV Particle Astrophysics, 2008年9月26日, 北京(中国)
2. 山口昌弘, Axionic mirage mediation, Japan-France joint workshop on cosmology of the early universe, 2008年5月15日, 日光(日本)
3. 山口昌弘, Axionic mirage mediation, Pheno08, 2008年4月29日, マディソン(米国)
4. 山口昌弘, Flavor Physics in SUSY, Higgs and SUSY conference, 2005年11月23日, 東京(日本)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山口 昌弘(YAMAGUCHI MASAHIRO)  
(東北大学・大学院理学研究科・教授)  
研究者番号: 10222366

### (2) 研究分担者

諸井 健夫(MOROI TAKEO)  
(東京大学・大学院理学系研究科・教授)  
研究者番号: 60322997

山田 洋一(YAMADA YOUICHI)  
(東北大学・大学院理学研究科・助教)  
研究者番号: 00281965