

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目： 基盤研究 (B)
 研究期間： 2005—2008
 課題番号： 17340062
 研究課題名 (和文) 新しい素粒子像の構築に向けた現象論的・宇宙論的研究
 研究課題名 (英文) Phenomenological and cosmological studies towards building
 new paradigm of particle physics
 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：

素粒子の標準模型はエネルギースケールの自然さの問題を内包しその解として超対称性や余剰次元などの標準模型を超える理論の存在が期待される。この研究では、現象論、宇宙論、超弦理論を駆使して、超対称性理論における超対称性の破れの研究、その実験的信号の研究、宇宙論的影響の研究、及び超重力理論において必ず現れるグラビティーノの物理の研究、および超対称統一理論のフレーバー混合などの研究において新しい知見を得た。これらの知見は、近い将来 LHC などの実験において検証されることが期待される。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005 年度	3,900,000	0	3,900,000
2006 年度	3,700,000	0	3,700,000
2007 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2008 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
総計	14,600,000	2,100,000	16,700,000

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：超対称標準理論

1. 研究開始当初の背景

素粒子の標準模型はこれまでの実験のほとんどを説明し成功している。しかしながら、電弱スケールの破れに関するエネルギースケールの自然さの問題を内包しており、超対称性や余剰次元など、より基礎的な物理法則の出現が期待される。また宇宙の組成の大きな部分を占める暗黒物質を標準模型では説明することができない点も不満足な点である。実験に目を向けるとテバトロンや LHC な

どのエネルギーフロンティア、B ファクトリなどのフレーバー物理などで新たな進展が期待される。さらに宇宙論に関連し、宇宙背景放射の精密測定が進められ、暗黒物質の探索実験が本格化しつつある。

2. 研究の目的

上記のように素粒子物理学は重要な局面を迎えている。素粒子の標準模型を超える理

論について、現象論、宇宙論、そして超弦理論などの知見を結集し、総合的な見地から批判的な検討を加え、また新たな提案を提唱していくことは、緊急性の高い重要な研究であると考えられる。この研究の目的は、素粒子の標準模型を超える理論について、我々のこれまでの研究を継続し、それを現象論および宇宙論的観点、さらには超弦理論の観点も加え総合的に検討を進めることで、新たな素粒子像の構築に向けて従来よりも格段に前進させることである。

3. 研究の方法

具体的な次のような研究テーマについて、研究代表者と分担者および連携研究者らが協力しながら研究を進める。

- ・超対称理論における超対称性の破れの構造の研究と、現象論的(実験のシグナル)および暗黒物質などの宇宙論的研究
- ・超対称理論における超対称セクターのフレーバー混合と実験的シグナルの研究
- ・超対称性以外の自然さの問題の解と現象論的、宇宙論的研究
- ・超弦理論を基礎とする、超対称模型を超える理論の構築に向けた研究

上記の研究のために、数値計算用のコンピュータを購入し、また適宜国内外の研究者と打ち合わせを行う。

4. 研究成果

おもな研究成果は以下のとおりである。

(1) モジュライ場の安定化と超対称性の破れと超対称粒子の質量スペクトル

タイプ IIB 型超弦理論のフラックスコンパクト化によって得られる低エネルギー有効理論について研究した。軽く残るモジュライ場は指数関数的なスーパーポテンシャルを持ち、超対称性の破れについて準主要

(subdominant) な寄与を与える。そのため、超対称粒子の質量スペクトルには、このモジュライ場からの寄与と superconformal anomaly からの寄与が同程度に効き、その結果として他には類を見ないパターン¹の質量スペクトルが実現する。特に、極小超重力模型やゲージ伝播機構に比して、超対称粒子の質量行列がコンパクトになるという著しい特徴があることが分かった。将来の加速器実験において検証される可能性がある。

(2) グラビティーノの物理

超対称性はそれが自然界に存在すれば、局所化された基本的な対称性であると考えられる。その場合、超重力理論となり、グラビティーノと呼ばれる重力子(グラビト

ン)の超対称対が現れる。我々はこのグラビティーノの物理にかかわる研究を行った。まず、モジュライ場などスカラー場のグラビティーノ対への崩壊を詳細に調べた。その結果、これまで考えられていたことと異なり、グラビティーノ対への崩壊の分岐比が一般に無視できないほど大きいことを示した。さらに、このことがモジュライ場やインフラトン場の宇宙論への影響を議論する際に重要になることを示した。

また、グラビティーノ崩壊の際のジェット生成について詳細な計算を行い、それを用いてグラビティーノの崩壊が宇宙初期の軽元素合成に与える影響を定量的により正確に評価した。その結果、従来の近似的な計算とおおむね一致することが分かり、グラビティーノの生成量に対する非常に厳しい制限を確証した。

(3) 超対称統一理論におけるフレーバー混合の研究

超対称理論においては、クォークやレプトンの超対称対の質量行列に一般的に世代間混合が存在し、それにより新たなフレーバー混合が引き起こされることが知られている。これらは現在の実験によりある程度制限を受けると共に将来のフレーバー混合を測る実験で発見されることが期待される。

超対称大統一理論においては、スクォークの質量混合とスレプトンの質量混合が関係づく。このことからハドロンセクターのフレーバー混合への超対称粒子の寄与とレプトンセクターのフレーバー混合が関係することが示唆される。我々はかなり一般的な枠組みにおいて、2つのセクターのフレーバー混合が定量的にどのように関係するかを詳細に研究した。将来の実験においてこれらのモードでの信号が発見された際に超対称統一理論のヒントを探る上で重要な研究になると考えられる。

(4) 余剰次元模型の研究

余剰次元を用いて電弱対称性の破れのエネルギースケールの自然さを解決する模型に対して、さまざまな観点から模型に対する実験的な制限を研究した。

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 28 件)

- ① J. Park and M. Yamaguchi, Bs mixing phase and lepton flavor violation in supersymmetric SU(5), Phys. Lett. B670, 356-362 (2009) 査読有

- ② P. Ko, J. Park and M. Yamaguchi, Sflavor mixing map viewed from a high scale in supersymmetric SU(5), JHEP 0811, 051 (2008) 査読有
- ③ S. Nakamura, K. Okumura and M. Yamaguchi, Axionic mirage mediation, Phys. Rev. D77, 115027 (2008) 査読有
- ④ K. Nakayama, S. Saito, Y. Suwa, J. Yokoyama, Probing reheating temperature of the universe with gravitational wave background, JCAP 0806, 020 (2008) 査読有
- ⑤ N. Kaloper, L. Sorbo and J. Yokoyama, Inflation at the GUT scale in a Higgsless universe, Phys. Rev. D78, 043527 (2008) 査読有
- ⑥ K. Kamada and J. Yokoyama, Affleck Dine leptogenesis via multiple flat directions, Phys. Rev. D78, 043502 (2008) 査読有
- ⑦ K. Ishiwata, T. Ito and T. Moroi, Long-lived unstable superparticles at the LHC, Phys. Lett. B669, 28-33 (2008) 査読有
- ⑧ M. Kawasaki, K. Kohri, T. Moroi and A. Yotsuyanagi, Big-bang nucleosynthesis and gravitino, Phys. Rev. D78, 065011 (2008) 査読有
- ⑨ S. Asai, T. Moroi and T.T. Yanagida, Test of anomaly mediation at the LHC, Phys. Lett. B664, 185-189 (2008) 査読有
- ⑩ K. Ishiwata, S. Matsumoto and T. Moroi, Gravitino dark matter with weak scale Right-handed sneutrino, Phys. Rev. D77, 035004 (2008) 査読有
- ⑪ S. Nakamura and M. Yamaguchi, A note on Polony problem, Phys. Lett. B655, 167-171 (2007) 査読有
- ⑫ J. J. Cao, G. Eilam, M. Frank, K. Hikasa, G. L. Liu, I. Turan and J. M. Yang, SUSY-induced FCNC top-quark processes at large hadron collider, Phys. Rev. D75, 075021 (2007) 査読有
- ⑬ S. Asai, T. Moroi, K. Nishihara and T. T. Yanagida, Testing the anomaly mediation at the LHC, Phys. Lett. B653, 81-87 (2007) 査読有
- ⑭ M. Kawasaki, K. Kohri and T. Moroi, Big-bang nucleosynthesis with long-lived charged slepton, Phys. Lett. B649, 436-439 (2007) 査読有
- ⑮ M. Ibe, T. Moroi and T.T. Yanagida, Possible signals of wino LSPs at the large hadron collider, Phys. Lett. B644, 355-360 (2007) 査読有
- ⑯ T. Kanzaki, M. Kawasaki, K. Kohri and T. Moroi, Cosmological constraints on gravitino LSP scenario with sneutrino NLSP, Phys. Rev. D75, 025011 (2007) 査読有
- ⑰ R.S. Chivukura, E.H. Simmons, S. Matsuzaki, and M. Tanabashi, The three site model at one-loop, Phys. Rev. D75, 075012 (2007) 査読有
- ⑱ R.S. Chivukura, E.H. Simmons, H-J. He, M. Kurachi and M. Tanabashi, Deconstruction and elastic pi scattering in Higgsless models, Phys. Rev. D75, 035005 (2007) 査読有
- ⑲ S. Matsuzaki, R.S. Chivukura, E.H. Simmons, M. Tanabashi, One-loop corrections to the S and T parameters in a three site Higgsless model, Phys. Rev. D75, 073002 (2007) 査読有
- ⑳ S. Chang, C.S. Kim and M. Yamaguchi, Hierarchical mass structure of fermions in warped extra dimension, Phys. Rev. D73, 033002 (2006) 査読有
- ㉑ T. Noguchi, M. Yamashita and M. Yamaguchi, Gravitational Kaluza-Klein modes in warped superstring compactification, Phys. Lett. B636, 221-226 (2006) 査読有
- ㉒ S. Nakamura and M. Yamaguchi, Gravitino production from heavy moduli decay and cosmological problem revisited, Phys. Lett. B638, 389-395 (2006) 査読有
- ㉓ T. Asaka, S. Nakamura and M. Yamaguchi, Gravitinos from heavy scalar decay, Phys. Rev. D74, 023520 (2006) 査読有
- ㉔ L. B. Anderson, A. B. Barret, A. Lukas and M. Yamaguchi, Four-dimensional effective M-theory on a singular G2 manifold, Phys. Rev. D74, 086008 (2006) 査読有
- ㉕ K. Hagiwara, K. Hikasa and H. Yokoya, Parity-odd asymmetries in W-jet events at Tevatron, Phys. Rev. Lett. 97, 221802 (2006) 査読有
- ㉖ J. Cao, G. Eilam, K. Hikasa and J.M. Yang, Phys. Rev. D74, 031701 (2006) 査読有
- ㉗ H. Ishikawa and T. Tani, Twisted boundary states and representation of generalized fusion algebra, Nucl. Phys. B739, 328-388 (2006) 査読有
- ㉘ 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, 015004 (2005) 査読有

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

日笠 健一 (HIKASA KENICHI)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：20208739

石川 洋 (ISHIKAWA HIROSHI)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：20291247

横山 順一 (YOKOYAMA JUNICHI)
東京大学・大学院理学系研究科・教授
研究者番号：52323303

(3) 連携研究者

棚橋 誠治 (TANABASHI MASAHARU)
名古屋大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：00270398

諸井 健夫 (MOROI TAKEO)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：60322997