

平成22年 4月30日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2009

課題番号：16081207

研究課題名（和文） 素粒子模型構築へのLHC 実験のインパクト

研究課題名（英文） Impact of LHC on building physics beyond the standard model

研究代表者

野尻 美保子 (MIHOKO NOJIRI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：30222201

研究成果の概要（和文）：LHC 実験では標準模型を越える粒子が生成され、その崩壊が観測されると期待されている。このような模型の中でも、超対称模型に代表される暗黒物質の候補をもつ模型について LHC 実験によって、新粒子の質量・相互作用を測定する方法について研究を行い、MT2 の活用、end point に寄らない質量決定法、Initial state radiation の除去法等について成果をあげた。

研究成果の概要（英文）：At LHC, non-standard model particles may be produced. Provided significant cross section and proper analysis, LHC experiment would be sensitive to them. Among the beyond the standard model, we focus on the models who have dark matter candidate, and study how to measure the mass and interaction from LHC data. We developed applications of MT2 distribution for mass determination, the determination of mass without relying on the end point of the distribution, and treatment of ISR in mass reconstructions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004年度	1,900,000	0	1,900,000
2005年度	3,500,000	0	3,500,000
2006年度	3,500,000	0	3,500,000
2007年度	3,500,000	0	3,500,000
2008年度	3,500,000	0	3,500,000
2009年度	3,300,000	0	3,300,000
総計	19,200,000	0	19,200,000

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：素粒子論 素粒子実験

## 1. 研究開始当初の背景

標準模型において唯一発見されていない素粒子がヒッグス粒子である。ヒッグス粒子の質量への輻射補正は、階層性の問題を引き起こすため、1TeV 程度のスケールに超対称性や、余剰次元等の存在が必要であると指摘

されている。超対称模型においては、超対称性粒子の質量の起源として、隠れたセクター (Hidden sector) が提案されている。究極の理論と考えられている超弦理論においては、この隠れたセクターは空間の特異点、ソリトンからなる膜 (ブレーン) の構造を反映

したモジュライ場、ディラトン場によって記述される。LHC における超対称性粒子の質量の測定は、直接この空間構造を明らかにする手段となる。

また、LEP のゲージ結合の精密測定によって、大統一理論の存在が強く示唆されているが、大統一理論のスケールでのゲージ群や湯川の相互作用は、低いスケールでの超対称性の破れに影響を与えている。このため、空間構造の物理と大統一モデルの構造が同時に議論されることが望ましい。一方余剰次元モデルにおいては、余剰空間の大きさに逆比例した質量をもつ粒子の存在や、ブラックホールなどが LHC で多数生成されると考えられている。

## 2. 研究の目的

この研究計画では、ゲージ対称性の破れの起源、大統一理論、超対称性の破れ、余剰次元モデル等の研究をおこなうとともに、得られた予言が LHC で検証できるよう、新しい解析方法シグナルの提案を行っていくことを目的とする。また、WMAP 等の宇宙の観測により、暗黒物質を構成する新しい素粒子が必要であると思われる。超対称粒子や KK 粒子は暗黒物質の候補であるが、この性質を LHC で決定することによって、宇宙の歴史や、暗黒物質探索実験での期待できるシグナル量について制限を与える方法を検討する。

## 3. 研究の方法

研究では、LHC で期待されるイベントの分布を生成し、その分布を生成するモンテカルロシミュレーションを中心として行った。また測定器の効果は簡易測定器シミュレーションを用いた。数値計算を行うために PC を数台使用した。このように実験と直接比較できる研究スタイルが本研究の特色である。また、このような研究を行うためには、ツールに詳しい海外研究者やモデルに詳しい研究者が必要であるため、研究分担者をおいたり、海外招聘、海外出張等を行った。

## 4. 研究成果

(1) 超対称モデルのカイラリティ構造の研究：超対称モデルでは、スカラー超対称粒子の相互作用は、その標準モデルの粒子のパートナーのカイラルな構造を引き継ぐため、超対称粒子の崩壊パターンには荷電非対称性ももつ。LHC 実験において、崩壊分布の荷電非対称性を測定することによって、スカラーレプトンが、右巻きか左巻きかを測定できることを明らかにした。また、電子の分布とミューオンの分布の比較によって、スカラーミューオンの右巻き・左巻き混合の存在を明らかにできることを示した。スカラーミューオンの混合を直接測定する唯一の方法であり、超対称モデルのカイラリティ構造を検証する有効

な手段である。

(2) グラビティーノが LSP である場合の現象論：グラビティーノ粒子（重力の超対称粒子）が一番軽い超対称粒子の場合、標準モデルの粒子の超対称粒子の中でもっとも軽い粒子 (NLSP) は準安定となる。この粒子の寿命を測定することは、宇宙論的にも、また、超対称モデルのパラメーターの決定のためにも重要である。我々はこの粒子の寿命を広いパラメーター領域にわたって測定するために外部測定器を導入することを提案した。この測定器は CMS 実験の測定器の外部に、主な実験の変更をおこなわずに追加することが可能である。質量の測定や、NLSP が崩壊先の粒子の性質（グラビティーノ以外にアクシーノである可能性がある）を 3 体崩壊分布から決定することが可能かを検討し、また二対崩壊で、 $\tau$  粒子のエネルギー分布を図ることで、グラビティーノ等の質量の決定が行えることを明らかにした。

(3) 超対称粒子の質量を、崩壊分布の終点を測定することによって決定する方法は以前から提案されていた。このような方法では、いくつかの崩壊が共存する場合、統計が少ない場合などに、問題が生じていた。我々は崩壊事象の Kinematics を厳密に取り扱うことによって、超対称粒子の質量決定の新しい方法を提案した。この方法を応用して、41 を含むイベントについて LSP（最も軽い超対称粒子で暗黒物質の候補）の運動量を解き、LSP の質量を高い精度で決定できることを示した。

(4) 超対称モデルは高次元のモデルに広げることによって超対称標準モデル (MSSM) とは異なる質量スペクトラムを示す場合があることが指摘されている。MSSM ではゲージノはマヨラナ粒子であるが、5 次元では粒子がベクトル型となるために、ゲージノがディラック粒子になる場合がある。ディラックゲージノ質量項がある場合について、現象論的な研究を行った。LHC スカラークオークの対生成過程があり、この大きさはマヨラナ質量に比例するため、この過程の散乱断面積を測定することでゲージノ質量のマヨラナ、ディラック性について調べることができることを指摘し散乱断面積の特性について定量的な研究をおこなった。

(5) Superstring 模型において期待される Mixed Modulus Anomaly mediation (MMAM) 模型について研究を行った。超重力模型では、超対称粒子の質量はカラーを持つ粒子は重く、カラーを持たない粒子は軽い、MMAM 模型では、超対称粒子の質量の間に大きな差が

ない場合がある。そこで縮退した超対称模型における現象論について研究をおこなった。縮退が大きい場合にはバックグラウンドの分布とシグナルの分布が類似するため、このような模型では、標準模型のBGの理解がより重要になることがあきらかになった。

(6)LHC実験におけるイベントトポロジーをベースにした解析(ヘミスフェア法)の研究：超対称模型といった、暗黒物質をもつ模型では、新粒子は対になって生成され、これが各々暗黒物質を含む粒子に多段崩壊がおきる。そこで、イベントを2つの粒子グループに分割する方法を考案し、それぞれのグループが親粒子の性質をどの程度反映しているか、また、このグループの分布から、質量などの有効な情報を引き出すことができなにかについて検討した。

(7)MT2 という物理量は2つの visible object と見えない運動量から構成され、ハドロンコライダー実験において gluino の質量を決定するのに有益な量であることが指摘された。しかし初期の研究においては、gluino の崩壊パターンとして、3体崩壊しか仮定しておらず、多段崩壊が繰り返される場合に対応できていなかった。そこで、ヘミスフェア法を用いて、inclusive MT2 というより一般化された量を定義し、この量が超対称模型の研究に有意義であるかどうか系統的に研究した。また、最もpt の高いジェットを除外して再構成することにより、squark が gluino より重い場合において、両者の質量を決定できることを示した。この方法は特にストリング模型で予言される縮退した質量スペクトルを持つ模型の粒子の質量を明らかにする上で有効であるということがわかった。

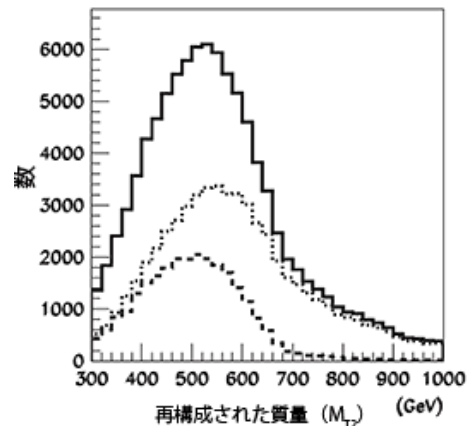
(8)Tパリティをもつ Little Higgs 模型においてバックグラウンドを押さえつつ、トップパートナーを同定する方法を提案した。

この方法によって、トップパートナーの崩壊からくるトップクォークを効率よく同定されるとともに、標準模型の粒子の生成からくるバックグラウンドを効率的に落とせることがわかった。

(9) Squark R が直接 LSP に崩壊する分岐比は LSP の gaugino 成分の変動によって大きくかわるため、このモードの安定的な測定が重要であることを示した。またこのようなモードが split UED や Little Higgs 模型などの他の模型にも重要であることを指摘した。

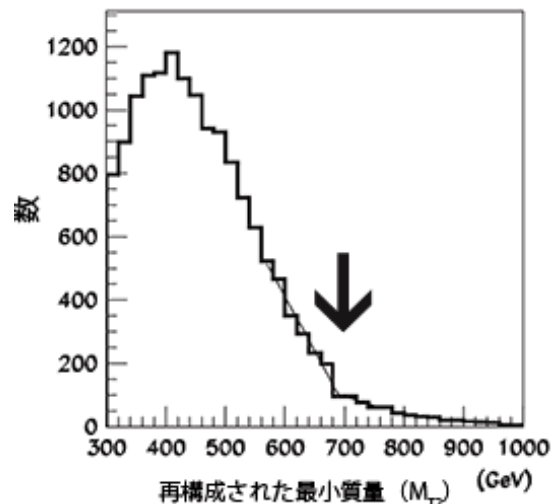
(10)LHC実験ではQCDのプロセスによって超対称粒子が生成されるが、そのさいに初期状態から同時に生成される quark, gluon な

どによる Initial state radiation(ISR)によって、ジェットが発生する。このため、超対称粒子崩壊によって発生したジェットのみを選び出し、kinematics の再構成することが、難しくなる。(図)



(MT2 分布の例。実線は全体、濃い点線はISRがない場合のイベント分布)

この ISR を系統的にのぞく方法を開発した。これはMT2を計算する際にイベントの中にあるPT の大きいジェットを順番にのぞき、MT2 が最小になるものを選ぶことで、分布末端を越えて存在するイベントを除くものである。この方法で、MT2 分布のkinematical end point がきれいに再現できることを確認した。(図2)



(図2)ISR を除く手続きをとった後のイベント分布。

また前方方向にあるジェットの分布は主にISR によるものであるが、生成された超対称粒子が、第一世代の scalar quark (quark partner) 等である場合と gluino である場合で、分布が違い、これによって、両者を崩壊パターンに依存せずに区別できる可能性があることを示した。

## 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 23 件)

- ① Sung-Gi Kim, Nobuhiro Maekawa, Keiko I. Nagao, Mihoko M. Nojiri, Kazuki Sakurai, LHC signature of supersymmetric models with non-universal sfermion masses. JHEP (査読有), 0910, 2009, :005, 1-35
- ② Johan Alwall, Kenji Hiramatsu, Mihoko M. Nojiri and Yasuhiro Shimizu, Novel reconstruction technique for New Physics processes with initial state radiation, Phys. Rev Lett.. (査読有) 103, 2009, 151802, 1-4
- ③ Junji Hisano, Mihoko M. Nojiri, Warintorn Sreethawong, Discriminating Electroweak ino Parameter Ordering at the LHC and Its impact on LFV studies, JHEP (査読有), 0906, 2009 :044, 1-33
- ④ M. M. Nojiri, K. Sakurai Y. Shimizu, M. Takeuchi, Handling jets + missing ET channel using inclusive mT2, JHEP, (査読有) 0810, 2008, 100: 1-22
- ⑤ M. M. Nojiri and M. Takeuchi Study of the top reconstruction in top partner events at the LHC, JHEP (査読有) 0810, 2008, 025: 1-27
- ⑥ M. M. Nojiri, Y. Shimizu, S. Okada and K. Kawagoe, Inclusive transverse mass analysis for squark and gluino mass determination, JHEP (査読有), 0806, 2008, 035: 1-16
- ⑦ Study of squark squark production at CERN LHC in  $1+1-$  and sensitivity to the other models, Phys. Rev. D (査読有), 76, 2007, 015009, 1-18.
- ⑧ S. Matsumoto, M. M. Nojiri and D. Nomura, Hunting for the Top Partner in the Littlest Higgs model with T parity at the LHC, Phys. Rev. D (査読有), 75, 2007, 02519: 1-7
- ⑨ K. Kawagoe and M. M. Nojiri, Discovery of supersymmetry with degenerate mass spectrum, Phys. Rev. D (査読有), 74, 2006, 115011, 1-13
- ⑩ Constraining Dark matter in the MSSM at the LHC  
Journal of High Energy Physics (JHEP) (査読有) 03, 2006, 063, 1-22
- ⑪ K. Kawagoe M. M. Nojiri and G. Polesello, A new SUSY mass reconstruction method at the CERN LHC, Phys. Rev. D (査読有) 71, 2005, 035008, 1-15

- ⑫ K. Hamaguchi, Y. Kuno, T. Nakaya and M. M. Nojiri A Study of Late decaying charged particle at future colliders, Physical Review (Phys. Rev.) D (査読有) 70, 2004, 115007, 1-11

[学会発表] (計 14 件)

- ① 野尻美保子 日本物理学会秋季大会 (山形大学) 2008 年 9 月 21 日 “New Physics opportunity at LHC” (招待講演)
- ② 野尻美保子 SUSY 2008, 2008 年 6 月 17 日 韓国 The Night before the LHC and the Expectations in the Early Stage (招待講演)
- ③ 野尻美保子 アメリカ物理学会 DPF2006 および日本物理学会合同大会 (ハワイ) 2006 年 11 月 3 日 “beyond the standard model” (招待講演)
- ④ 野尻美保子 SUSY 2006, 2006 年 6 月 12 日 アメリカ合衆国 Irvine “Supersymmetry at the LHC (招待講演)
- ⑤ 野尻美保子 The 12<sup>th</sup> International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions (SUSY 2004) 2004 年 6 月 16 日 茨城県つくば市 “Supersymmetry at the LHC and Beyond-Ultimate Targets (招待講演)

[その他]

ホームページ等

KEK ホームページにおける研究紹介和文 (2010-2-4)

<http://www.kek.jp/newskek/2010/janfeb/M T2Reconstruction.html>

英語版

<http://www.kek.jp/intra-e/feature/2010/SUSY.html>

IPMU における研究者紹介

<http://www.ipmu.jp/ja/node/178>

<http://www.ipmu.jp/ja/node/208>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

野尻 美保子 (MIHOKO NOJIRI)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・教授  
研究者番号：30222201

### (2) 研究分担者

小林 達夫 (KOBAYASHI TATSUO)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：60322153

(H20→H21：連携研究者)

前川 展裕 (MAEKAWA NOBUHIRO)  
期間 (H16~H17)  
京都大学・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号：40273429