

機関番号：82118

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2006 ～ 2009

課題番号：18340060

研究課題名 (和文) LHC 実験をふまえた新しい素粒子像

研究課題名 (英文) New picture of elementary particles based on LHC data

研究代表者

野尻 美保子 (NOJIRI MIHOKO)

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 実験において標準模型を越える物理がどのように明らかにされるかを研究し、また LHC の物理の定量的な研究によって、暗黒物質、フレーバーの物理をさらに深く理解できることを明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：

We study the phenomenology of the new physics at the LHC. Especially we show quantitative study at the LHC, such as the mass and interaction measurement will have a impact on the other experiments such as dark matter and flavor physics.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2007 年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2008 年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2009 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	192,400,00

研究分野：素粒子論

科研費の分科・細目：

キーワード：素粒子論 素粒子実験

1. 研究開始当初の背景

LHC 実験の開始にともない、テラスケールの物理の詳細を実験的に明らかにすることが可能になった。ヒッグスセクターや新粒子の存在を調べることができる LHC 実験は、素粒子標準模型の階層性問題、時空の起源、暗黒物質の性質、バリオン数の起源などの問題を解決する直接的な証拠を与えてくれる可能性がある実験である。この模型のなかにも超対称模型は、階層性問題を解決し、暗黒物質の候補を内在するとともに、軽いヒッグス粒子の存在など、検証可能な予言をもっている。さらに超対称模型だけでなく、余剰次元模型、リトルヒッグス模型など、階層性問題とかわる多くの模型が提案された。これらを中心とした新しい素粒子像と LHC との関係を研

究することが本研究の目的である。

2. 研究の目的

超対称模型、余剰次元模型、リトルヒッグス模型などを LHC 実験での現象論を研究するとともに、これらの模型が予言する暗黒物質や、稀少崩壊モードの存在についての予言を並行して追求する。とくにコライダー実験において、単に発見の物理だけでなく、質量の決定や相互作用の決定などによって、暗黒物質やフレーバーの構造などを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

LHC 実験の研究についてはモンテカルロシミュレーションなどによって、実際の実験で

得られるであろうデータと似たイベントを生成し、理論パラメータと実験的に観測できる量との応答を検討した。このような計算を行うためにコンピュータ等を購入した。また適宜新しいモデルを作るなどした。

4. 研究成果

1) [レプトンのフレーバーの破れの研究]LHC実験で生成される重いスカラークォークやグルイーノの崩壊からは弱い相互作用をする超対称粒子がでてくる。この弱い相互作用の粒子はさらにレプトンなどに崩壊するが、このレプトンの測定によってレプトンフレーバの破れの構造がよりはっきりすることが期待されている。また、稀少崩壊の探索によって測定されるレプトンフレーバーの破れを、相互作用項に表れる真のレプトンフレーバの破れと関係づけるためには、ニュートラリーの性質を特徴づけるゲージノの質量や μ 変数といった量を決定することが重要である。学生のLHCにおけるレプトンを含む超対称なシグナルについて検討し、3つ以上のレプトンを含むシグナルを解析することで、左巻きスレプトンや重たいニュートラリーノの性質があきらかになり、稀少崩壊との関係が明らかになることをしめした。

また、岡田は超対称模型や Little Higgs 模型で期待されるフレーバーの破れについて総合的な研究をおこなった。特に Little Higgs 模型のフレーバー構造の理論的な計算はそれまで明らかではなく、正しい計算方法を明らかにした。また萩原および、本研究費で雇用した岡村は T2K実験およびその拡張として、韓国にビームを送る案を検討して、フレーバの破れの元となる、ニュートリノ振動を明らかにする方法について研究をおこなった。

2) [宇宙線異常とコライダー物理] 2008年夏ごろから Pamela実験 Atic実験において、宇宙線のなかの陽電子が理論的予想より遥かに大きいという報告がなされた。暗黒物質の対消滅がこのような宇宙線異常をもたらすことが期待されるため、このような異常が説明する模型とLHCでの暗黒物質生成過程との関係を研究した特にATICのアノマリーに直接寄与することが可能な Split-UED のシグナルについて考察した。また、暗黒物質の崩壊様式の違いによって、陽電子の宇宙線スペクトラムが異なると考えられるので、これによって模型の識別を行う方法を検討した。また、宇宙線はパルサー由来

である可能性もあり、パルサー分布と宇宙線スペクトルとの整合性の研究もおこなった。

3) 超対称模型とは異なるダイナミクスで階層性問題を解決する模型として、Little Higgs 模型がある。この模型のなかでもT parity という対称性をもつものは、最も軽いゲージパートナーが安定で暗黒物質となる。またこの粒子は強い相互作用をする粒子も含むため、LHCにおいては、クォークパートナー等の新粒子が対生成され、これらが暗黒物質とクォークに崩壊するといったシグナルが期待される。この模型では、特にトップパートナーの質量が1 TeV 程度と軽いと考えられるため、トップパートナーの探索は有望である。そこでわれわれは、この模型でゲージパートナーが暗黒物質となるパラメーターをしらべ、そのようなパラメーターでトップパートナーがダークマターとトップに崩壊するシグナルを発見することが可能であるか検討した。この結果トップパートナーが1 TeV近い質量であっても発見が可能であることを明らかにした。

4) [超対称模型の破れの研究とLHC] 階層性問題を解決する方法の一つとして超対称性がある。しかし超対称性が素粒子の対称性である場合、その対称性は破れていなければならない。この破れの起源の探求は、超対称性が発見された場合重要な研究目的となる。超対称模型では、アノマリーメディエーションからの超対称性の破れと、モジュライからの寄与が両方とも重要になる模型がある。このような模型では、超対称粒子の質量スペクトラムは縮退したものになると期待され、他の模型のように階層的なものではない。この模型に代表される縮退して超対称粒子スペクトルの場合の発見の可能性を調べ、もっとも軽い超対称粒子の質量が、親となる強い相互作用をする粒子の50%より重くなってくると発見がむずかしくなることを示した。これ以外にも第三世代の質量が第一、第二世代の質量を異なる模型について、識別方法をの研究をおこないLHCが異なる模型を識別できることを示した。

5) [超対称模型の5次元への拡張と実験的検証]超対称模型の生成のなかでも、スカラークォークの対生成過程はT channel にグルイーノの交換がおこなうことが必要であり、またこの時グルイーノのマヨラナ質量に起因するカイラリティフリップがおこなう。このために、左巻きスカラークォークの対生成がゆるされ

る。一方5次元の模型に基盤を持つ超対称模型の拡張では、このマヨラナ質量が、ダイラック質量となり、このような過程が禁止される。がスカラークォーク対生成プロセスの測定可能性について検討し、2つレプトンがあるイベントについて特徴的な性質が表れることを示した。

6) 超対称粒子の質量決定方法の開発

超対称粒子の質量決定のために、レプトンを2つ以上含む比較的クリーンなイベントで質量を正確に決める方法、イベントの中で再構成されたジェット等を総て使うinclusiveな物理量を計算した。レプトンモードについては、4lepton mode による解析的な質量決定法が、ニュートラリーノの質量を明らかにする上で重要なことを示した。また、スカラークォークやグルイーノの質量を inclusive MT 2や、そこから ISR を効率よく除く手法を使って決定できることを示した。

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 29 件)

K. Kawagoe and M. M. Nojiri Discovery of supersymmetry with degenerate mass spectrum Physical Review D 74 2006 115011, 1-13

K. Hamaguchi, M. M. Nojiri, A. De Roeck Prospects to study a long-lived charged next lightest supersymmetric particle at LHC Journal of High Energy Physics 03 2007 046, 1-33

S. Matsumoto, M. M. Nojiri and D. Nomura Hunting for the Top Partner in the Littlest Higgs model with T parity at the LHC Physical Review D 75 2007 055006, 1-14

M. Asano, S. Matsumoto, N. Okada, Y. Okada Cosmic positron signature from dark matter in the littlest higgs model with T parity Physical Review D 75 2007 063506, 1-14

K. Hawagiwara, K. Hikasa, H. Yokoya Parity-Odd Asymmetries in W-Jet Events at Tevatron Physical Review Letter 97 2007 221802

Mihoko M. Nojiri et al Study of squark squark production at CERN LHC in $1^{+-} 1^{+-}$ and sensitivity to the other models

Physical Review D 76 2007 015009 (1-18)

A. G. Akeroyd, Mayumi Aoki, Yasuhiro Okada Lepton Flavour violating tau decays in the Left-Right supersymmetric models Physical Review D 76 2007 013004(1-15)

Kaoru Hagiwara et al Physics potential of T2KK: An Extension of the T2K neutrino oscillation experiments Physical Review D 76 2007 093002 (1-16)

Kaoru Hagiwara et al, Solving the degeneracy of the lepton flavor mixing angle θ_{13} (ATM) by the T2KK two detector neutrino oscillation experiment Journal of High Energy Physics 0801:22 (2008) 1-23

Kaoru Hagiwara et al Improved predictions for $g-2$ of the muon and alpha (QCD) Physics Letter B 649 (2007) 173-179

T. Browder, Yasuhiro Okada et al On the Physics Case of Super Flavour Factory JHEP02: 110 (2008), 1-23

S. Dutta K. Hagiwara et al Constraints on the electroweak chiral Lagrangian from The precision data Nuclear Physics B790(2008) 111-137

Mihoko M. Nojiri, et al A Hybrid method for determining SUSY particle masses at the LHC with fully identified cascade decays Journal of High Energy Physics (JHEP) 0805:014 2008 1-11

M. M. Nojiri, et al Inclusive transverse mass analysis for squark and gluino mass determination. JHEP 0806 (2008) 035:1-16

M. M. Nojiri, et al Study of the top reconstruction in top-partner events at the LHC JHEP 0810 (2008) 025:1-27

M. M. Nojiri, et al, Handling jets + missing ET channel using inclusive m_{T2} JHEP 0810 (2008) 100: 1-22

M. M. Nojiri, The Night before LHC AIP Conference Proceeding 1078 (2009) 79-83

T. Goto, Yasuhiro Okada, Tetsu Shindo, and Mihoru Tanaka Patterns of flavor

signals in supersymmetric models
Physical Review D 77 (2008) 09510, 1-17

T. Goto, Yasuhiro Okada, Yasuhiro Yamamoto
Ultraviolet divergences of flavor
changing amplitudes in the lightest Higgs
model with T parity
Physics Letters B 670 (2009) 378-382

K. Hagiwara et al, HELAS and MadGraph
/MadEvent with spin 2 particles
Eur. Phys. J. C 56 (2008) 435-447

K. Hagiwara et al, Bound state Effects on
Top Quark Production at Hadron Colliders
Physics Letters B 666 (2009) 71-76

Chuan-Ren Chen, Mihoko M. Nojiri, Fuminobu
Takahashi, T. T. Yanagida Decaying
hidden gauge boson and PAMELA and
ATIC/PPB-BETS Anomalies, Progress of
Theoretical Physics 122 (2009) 553-559

Chuan-Ren Chen, Koichi Hamaguchi, Mihoko
M. Nojiri, Fuminobu Takahashi, Shoji Torii
Dark matter Models Selection and
ATIC/PPB-BETS anomaly, JCAP
0905:015 (2009)

Junji Hisano, Mihoko M. Nojiri, Warintorn
Sreethawong Discriminating Electroweak
ino parameter ordering at the LHC and its
impact on LFV Studies, JHEP 0906:044
(2009)

Chuan-Ren Chen, Mihoko M. Nojiri Seong
Chan Park, Jing Shu, Michihisa Takeuchi
Dark matter and collider phenomenology of
split UED, JHEP, 0909:076 (2009)

Norita Kawanaka, Kunihito Ioka, Mihoko M.
Nojiri Cosmic Ray Electron Excess from
Pulsars is Spiky or Smooth? Continuous and
Multiple Electron/Positron injections,
Astrophysics J. 710 (2010) 958-963

Sung-Gi Kim, Nobuhiro Maekawa Kaiko I.
Nagao Mihoko M. Nojiri Kazuki Sakurai LHC
signature of supersymmetric models with
non-universal sfermion masses 0910:005
(2009) 1-35

Sourav K. Mandal, Mihoko Nojiri, Matthew
Sudano, Tsutomu T. Yanagida Testing the
Nambu-Goldstone Hypothesis for Quarks and
Leptons at the LHC, JHEP, 1101:131 (2011)

Chuan-Ren Chen, Mihoko M. Nojiri,
Warintorn Sreethawong Search for the
Elusive Higgs boson Using Jet Structure at
LHC JHEP 1011:012 (2010)

[学会発表] (計 9 件)
竹内道久 LHC におけるジェット再構成によ
る標準模型を超える物理の探索
日本物理学会 2007 年 9 月 21 日 北海道
大学札幌キャンパス(野尻と共同発表)

Yasuhiro Okada A window to the TeV
scale and beyond from quark and lepton
flavor physics (招待講演)

Korean Physical Society meeting 2007
年 10 月 18 日 Jeju, Korea

Mihoko M. Nojiri The night
before the LHC (招待講演)
SUSY 2008, 2008 年 6 月 17 日 COEX
Korea

Mihoko M. Nojiri New Physics opportunity
at LHC (招待講演)
日本物理学会 秋季大会 2008 年 9 月 21
日 山形大学

竹内道久 Study of the top reconstruction
in top partner event at the LHC
SUSY 2008, 2008 年 6 月 17 日 Seoul, Korea
(野尻と共同研究)

平松 賢士 LHC で期待される超対称粒子生
成における Initial state radiation
日本物理学会第 64 回年次大会 2009 年 3 月
31 日 立教大学
(野尻と共同研究)

平松 賢士 Initial state Radiation for
Supersymmetric Particle Production at LHC
Progress in Particle Physics 2008, 2009
年 2 月 19 日 京都大学基礎物理学研究所
(野尻と共同研究)

Chuan-Ren Chen Cosmic-ray signal from
Dark Matter, The 16th YKIS conference
“Progress in Particle Physics 2008, 2009
年 2 月 17 日 京都大学基礎物理学研究所
(野尻と共同研究)

Seong Chan Park Split-UED and dark
matter, The 16th YKIS conference
“Progress in Particle Physics 2008, 2009
年 2 月 17 日 京都大学基礎物理学研究所
(野尻と共同研究)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野尻美保子 (Nojiri Mihoko) 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

岡田安弘 (Okada Yasuhiro) 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：20212334

萩原薫 (Hagiwara Kaoru) 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：50189461

小平治郎 (Kodaira Jiro) 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 40127080

(平成18年9月死去により初年度のみ)

(3) 連携研究者

該当なし。