

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月12日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22540300

研究課題名（和文）QCD の理解を基盤とした標準模型を超える物理の研究

研究課題名（英文）The study of new physics process with new technology to study QCD processes

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：3022201

研究成果の概要（和文）：LHC におけるハードプロセスに伴うジェットや、重い粒子の崩壊からくるジェットの内部構造など、QCD プロセスに関わる性質に着目し、LHC での新粒子の発見を確実にする方法を提案した。特に縮退した新粒子を LHC で発見するために 制動放出を利用する方法や、ジェットの部分構造を利用して、トップの偏極を測定する方法を開発した。またこの方法をもちいて、スカラートップの混合の測定や、暗黒物質の探索可能性について解析をおこなった。

研究成果の概要（英文）：In this work, we focus on nature of jets associated with hard process, and internal structures of the jets arising from the decay of heavy particle at LHC. We find such structure is important to improve the discovery potential of the LHC. Especially, we study the ISR emission with degenerate new particles and dark matter, and top polarization measurement using jet substructure, measurement of scalar top mixing using the technique.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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

Tevatron や LHC といったハドロンコライダーでは、陽子の中に含まれるパートンの相互作用によって作られる未知の粒子を発見することを目指す。しかし、QCD の相互作用が強いために、新粒子の生成にともない多数のクォークやグルオンが生成され

る。このため、生成された（新）粒子やその崩壊から出てくるジェット以外に、パートンがハードプロセスに入る前後にクォーク、グルオンが放出される initial state radiation (ISR) や final state radiation (FSR) によるジェットが多数観測される。この ISR や FSR の分布は、パートンシャワー

と散乱振幅の寄与の整合的な取り扱い方法の発展(PS-MS マッチング Alwall Eur. Phys. J. C53, 473-500, 2008) や、NLOの研究の飛躍的進展(Bern et al, Annals Phys. 322: 1587-1634, 2007) によって、定量的な議論が可能になり、より系統的に ISR の効果を議論することが可能になりつつあった。また、final state のジェットの相関は、親粒子の性質によっては、特徴のある substructure を生じることが指摘されていた (Butterworth et al Phys. Rev. Lett. 100:242001, 2008)。このような生成崩壊に伴う QCD 過程を理解することで、LHC の目的とする新粒子の発見が容易になり、かつ、その性質を的確に定めることができるのではないかという認識が、国際的に広まっていた。

2. 研究の目的

LHC での標準模型を越える物理 (BSM) の探索が QCD の影響下にあることを意識した取り扱いをおこなうことで、BSM をより確実に理解する方策を確立することが本研究の目的である。

現在稼働中の Tevatron 実験・今年度より始まる LHC 実験においては、標準模型を超える物理(BSM) で予言される新粒子の発見が期待される。この新粒子は主に QCD プロセスによって生成されると考えられるがそれに伴って起こる QCD プロセスからクォーク・グルーオンが生成される。本研究ではこの新粒子生成および崩壊に伴う QCD 過程を理解することによって、新粒子の性質に迫る新しいアイデアを検討する。また、ゲージ粒子、トップクォークの生成は新粒子生成のバックグラウンドとなりうるが、最近大きく進展した QCD のより精度の高い予言をもとに、これに伴う QCD 過程をより深く理解し、バックグラウンドを低減する方法を模索する。

3. 研究の方法

着目すべきプロセスとしては超対称粒子の生成プロセスや、ヒッグス粒子のプロセスなど、重要なものを選定し、Madgraph, Alpgen など ISR ジェットが正しく生成できるイベントジェネレーターを用いて、イベントを生成した。このようにすることで、正しい分布を生成することが可能になった。結果は ACERDET や DELPHES などの detector simulator で実験的な効果も考慮した解析を行った。

研究についてはすでに ISR を除く研究を gluino 対生成について行っていたため、これをより一般的な生成崩壊過程について行うことから始めた。またジェットサブストラクチャーは重要であるため、これについては fastjet というツールを導入し研究を行った。

4. 研究成果

(1) LHC 実験においては、重たい粒子の生成にともなって、ハードな initial state radiation が起こる。この initial state radiation はパートンの種類によって異なる角度分布をとる。

この ISR の分布を細かく研究し、ハードプロセスとの違いを明らかにした。また ISR を除く最適のカットを開発し、超対称粒子の質量の MT2 分布の end point を ISR の影響をうけずに測定できることを示した。

(2) Universal extra dimension 模型では標準模型を同じ量子数をもった重たい粒子がほぼ質量が縮退した状態で現れ、そのなかで一番軽い粒子は安定である。このようなスペクトルをもった粒子は崩壊によって高いエネルギーの粒子をだすことがないため、発見が難しいと考えられてきた。しかし生成される粒子の質量が重いため Initial state radiation からくるジェットの PT は大きい。そこで MT2 分布に着目して、バックグラウンドである top 粒子生成などは MT2 で高い値を出さないのにたいして、UED では生成に伴う ISR の存在によって MT2 分布がハードになることを利用して発見可能なのではないかという指摘を行った。このような解析はのちに縮退した超対称粒子の探索に応用されることになった。

(3) Little Higgs 模型ではクォークパートナーがフェルミオンであり直接ゲージ粒子のパートナーに崩壊するため高いエネルギーのジェットが生成される。このようなシグナルジェットは ISR と比べて非常にエネルギーが高いため、非常に確実に選別することができる。この性質をもちい2つのジェットから、元のパートナー粒子のスピンを再構成する方法を開発した。

(4) 一つのパートンから作られるジェットはケンブリッジアルゴリズムや KT アルゴリズムのジェット構成過程で大きな質量変化を伴わない。一方で重くて相対論的に運動する粒子が2つのパートンに崩壊する場合は、ジェットの再構成過程で大きな質量変化が起こる。

このような内部構造(サブジェット)に着目して、重たい粒子の崩壊に由来するジェットを発見するアルゴリズムをサブジェットアルゴリズムという。このようなアルゴリズムを研究することで、標準模型の粒子しか存在しない過程を、軽い新粒子が生成される場合を区別することができる。特にヒッグス粒子が2つの軽いスカラー粒子に崩壊し、それがさらにグルーオンに崩壊するプロセスを

LHC で発見できることをあきらかにした。これにより質量のスカラー粒子を発見できる

(5) トップ粒子に崩壊する粒子の探索では、高エネルギー事象のなかから、トップクォークに由来する部分を効率的に選別する必要がある。このためにはサブジェットと呼ばれるジェットの内部構造を調べるのが重要である。サブジェットアルゴリズムと b タグとを組み合わせることで、トップに由来するサブジェットのトップ偏極依存性をより正確に構成する方法を提案した。また、実験的にバックグラウンドからくる寄与を評価するために、コントロール領域を提案して、それが、有効であることを示した。さらに相対論的に運動するトップクォークの偏極構造を測定することで、超対称模型で予言されるスカラートップに混合が存在するかどうかを決定できることをしめした。

(6) Little Higgs 模型で予言されるトップパートナーの崩壊パターンについて研究し、とくに b jet の多いシグナルが模型を識別する上で重要であることが分かったので、バックグラウンドについて研究をおこなった。

(7) 暗黒物質を含む高次オペレーターを仮定して、このオペレーターによる反応で暗黒物質が生成される状況を考えて。このようなプロセスに対して、ISR を用いて、暗黒物質を含む生成プロセスの感度をあげる研究を行った。暗黒物質の直接探索、コスモロジカルな制限などもあわせて、発見可能領域を評価した。

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 11 件)

- ① Biplob Bhattacharjee, Debajyoti Choudhury, Keisuke Harigaya and Shigeki Matsumoto and Mihoko M. Nojiri, Model Independent Analysis of Interactions between Dark Matter and Various Quarks, Journal of High Energy Physics 1304 (2013) 031(1-19)
10.1007/JHEP04(2013)031
- ② Biplob Bhattacharjee, Sourav K. Mandal and Mihoko M. Nojiri
Top Polarization and Stop Mixing from Boosted Jet Substructure
JHEP 1303 (2013) 105 (1-19)
10.1007/JHEP03(2013)105
- ③ Keisuke Harigaya, Shigeki Matsumoto,

Mihoko M. Nojiri and Kohsaku Tobioka
Search for the Top Partner at the LHC using Multi-b-Jet Channels
Physical Review D86 (2012)015005(1-14)
10.1103/PhysRevD.86.015005

- ④ Mihoko M. Nojiri and Kazuki Sakurai,
Controlling ISR in sparticle mass reconstruction, Phys. Rev. D82 (2012) 115026, 1-19
DOI: 10.1103/PhysRevD.82.115026
- ⑤ Keisuke Harigaya et al, Testing Little Higgs Mechanism at Future Colliders.
JHEP 1201(2012) 135, 1-21
10.1007/JHEP01(2012)135
- ⑥ H. Murayama Mihoko M. Nojiri and K. Tobioka, Improved discovery of a nearly degenerate model: MUED using MT2 at the LHC, Physical Review D84 (2011) 094015, 1-11
10.1103/PhysRevD.84.094015
- ⑦ Mihoko M. Nojiri et al, Two jets and missing ET signature to determine the spins of the new particles.
JHEP 1106 2011, 047, 1-20
10.1007/JHEP 06 (2011) 047
- ⑧ Mihoko M. Nojiri et al, Reconstructing particle masses from pairs of decay chains. JHEP 1006 (2010) 069 1-11
DOI: 10.1007/JHEP06(2010)069
- ⑨ Chuan-Ren Chen et al, Search for the Elusive Higgs Boson Using Jet Structure at LHC, JHEP 1011(2010)012 1-18
DOI: 10.1007/JHEP11(2010)012

[学会発表] (計 6 件)

- ① Mihoko M. Nojiri “two jets and missing ET signature to determine the spins of new particles.”
IPMU-YITP School and Workshop on Monte Carlo Tools for LHC
2011年9月8日 京都大学
- ② Mihoko Nojiri “Reconstructing SUSY”
19th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions
2011年8月28日 Fermi National Lab.
(米国)
- ③ Mihoko Nojiri “Aspects of Dark Matter at colliders” Dark Matter underground and in the heavens (DMUH11)
2011年7月29日 CERN (スイス)
- ④ Mihoko M. Nojiri On weighting the superpartners at the ‘early stage’ of LHC, Planck 2010, 2010年5月31日 CERN (スイス)

[その他]

ホームページ等

<http://research.kek.jp/people/nojiri>

6. 研究組織

(1) 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教授・素粒子原子核研究所・教授

研究者番号：30222201

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

清水 康弘 (SHIMIZU YASUHIRO)

東北大学・国際高等研究機構・助教

研究者番号：80396423

CHEN Chuan-Ren (CHEN CHUAN-REN)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：90534959

Shu Jing (SHU JING)

東京大学・数物連携宇宙研究機構・特任研究員

研究者番号：90534975