

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2007～2010

課題番号：19204027

研究課題名(和文) 最高エネルギーのコライダー実験によるBSM物理の新展開

研究課題名(英文) New developments of BSM physics at the highest energy collider experiments

研究代表者 川越 清以(KAWAGOE KIYOTOMO)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：40183785

研究成果の概要(和文)：最高エネルギーのコライダーであるLHC加速器が運転を始め、ILC計画が具体化しようとする時期に、素粒子実験と素粒子理論の研究者が協力して標準理論を超える(BSM=Beyond the Standard Model)物理の検討を行った。LHC実験開始は遅れたものの、BSM物理で期待される新粒子・新現象に対する最初の成果が出始めた。またILCで行うBSM物理のために、測定器の最適化を行った。

研究成果の概要(英文)：Experimental and theoretical particle physicists have been carried out joint research on Physics Beyond the Standard Model (BSM), in the era when the Large Hadron Collider (LHC) is going to start its operation and the International Linear Collider (ILC) project is brought in shape. Although the start of the LHC operation was delayed, first results on BSM physics have been obtained. Optimization of the detector for BSM physics at the ILC was also made.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,100,000	3,030,000	13,130,000
2008年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2009年度	9,200,000	2,760,000	11,960,000
2010年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
年度			
総計	36,100,000	10,830,000	46,930,000

研究分野：素粒子実験

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：BSM、コライダー、ダークマター、余剰次元、新粒子、標準理論、素粒子、超対称性

1. 研究開始当初の背景

研究開始の時点(2007年春)では、LHC加速器は2008年秋に本格的な運転が始まり、最高エネルギー14TeVでの陽子陽子衝突データを2年間以上収集できる予定であった。本研究は、実験開始間近に開始して実験データの物理解析に役立つ成果をだし、その後研究期間中に収集される実験データを使った物理解析から、新たな知見が得られると考えていた。しかし、実際にはLHC加速器の事

故により、本格的な実験開始は1年以上遅れることになった。

2. 研究の目的

素粒子の標準理論(SM)は大成功をおさめているが、究極の理論ではありえない。すなわち、「素粒子の自然さの問題、階層性の問題」、「相互作用の大統一、超統一の問題」、「宇宙のダークマター・ダークエネルギーの問題」などの本質的な問題が未解決である。

標準模型を超える (BSM) 物理は必ず存在し、それはダークマターとなる新粒子を必ず含んでいるはずである。しかも、それはTeVスケールのエネルギー領域で発見できる可能性が大きい。本研究では、まもなく本格的に稼動する大型ハドロンコライダー (LHC) におけるアトラス実験と、その後が続くと期待される国際リニアコライダー (ILC) など、最高エネルギーのコライダー型加速器実験におけるBSM物理を、素粒子実験と素粒子理論の研究者が協力して解明していく。

3. 研究の方法

(1) 計算サーバーと高速ネットワークを導入し、理論計算とシミュレーションによる研究環境を整備する。

(2) これまでの素粒子実験の結果や宇宙観測実験の結果から、LHC や ILC で期待される BSM 物理の検討 (モデルの構築、理論計算) を行う。

(3) LHC における BSM 事象の解析手法を開発する。LHC 実験が始まれば、それを用いて物理解析を行う。

(4) ILC で期待される BSM 物理を念頭に置いて、ILC 検出器の最適化を行う。

4. 研究成果

(1) LHC におけるアトラス実験の本格的始動に向けて、理論・実験共同でBSM物理発見のための研究を行った。そのうちのいくつかを下に示す。

① BSM物理として、新しい重いゲージボゾンやグラビトンのカルツァークライン励起状態が予言されている。これらの粒子がミュオン粒子対に崩壊する場合について、発見能力の検討を行った。

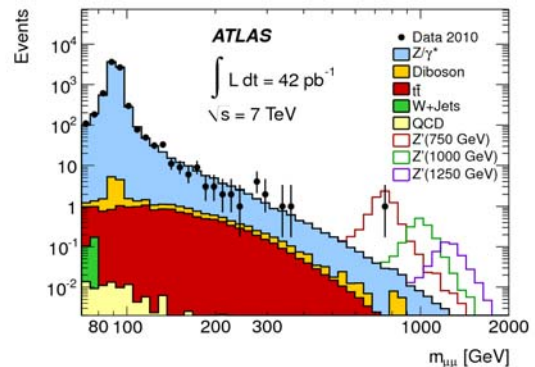
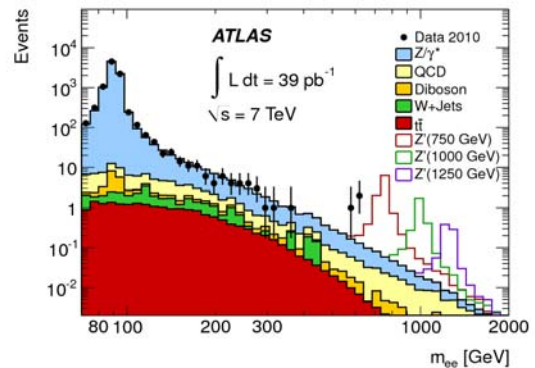
② 超対称性モデルにおいて、もっとも軽い荷電粒子が長寿命で、重いミュオン粒子のようにふるまう場合がある。この様な粒子をアトラスのミュオン粒子検出器でトリガー・測定する手法を開発した。

③ 宇宙線中の電子・陽電子のスペクトルに異常が観測されており、暗黒物質の対消滅の可能性が議論された。また、地下素粒子実験でも暗黒物質と考えてもおかしくない事象が報告されている。この異常を説明するBSM物理のモデルを検討し、それらがコライダー実験に及ぼす様々な影響の研究を行った。

④ LHC実験におけるBSM物理の新しい解析手法を提案した。T-Parity を持つ Little Higgs 模型における、Top Partner 質量の再構成、 $m(T_2)$ という物理量を用いたスカラークォーク・グルーイノの質量決定など。
(2) 2010年には、LHCが重心系エネルギー7TeVでの運転を行い、アトラス実験では 45pb^{-1} の実験データを収集した。この実験データを用

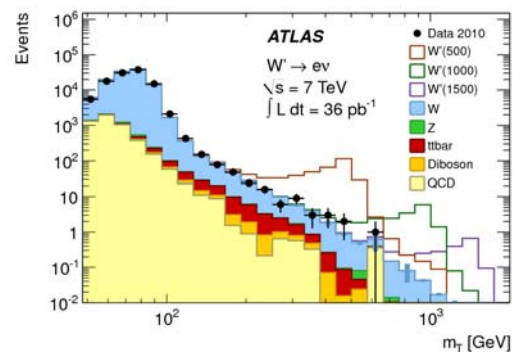
いて、BSM物理で期待される新粒子・新現象の探索を行った。いずれもまだその兆候は観測されていないが、これまでのコライダー実験 (LEP, Tevatron) を大きく超える成果を得ている。

① レプトン対に崩壊する大質量の新粒子の探索を行った。その結果、Z 粒子の励起状態である Z' 粒子に対して、 1.048TeV という質量の下限を得た。下図は、電子対とミュオン粒子対の不変質量分布。

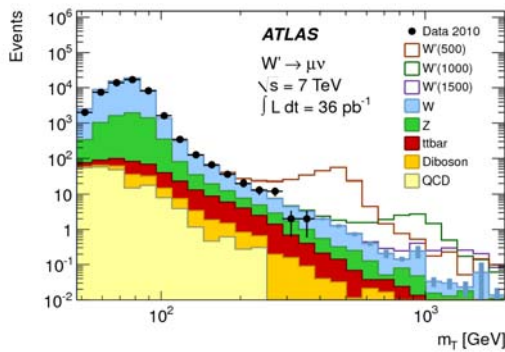


② 2 ジェット事象について、その不変質量と角分布の測定を行い、それが標準模型の予測と合っていることから、励起クォークなどの新粒子に対する制限を与えた。

③ 荷電レプトンと大きな横運動量欠損を持つ事象で、それらの不変質量分布から、重い荷電ゲージボゾンに対する質量の下限を得た。下に、電子/ミュオンと横方向運動量欠損で組んだ横方向の不変質量分布を示す。



④ 物質中で大きなエネルギー損失を生じる長寿命で重い新粒子の探索を行い、電荷が



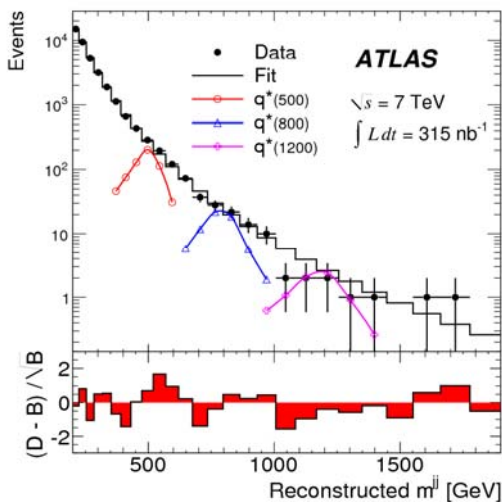
$6e < q < 17e$ 、質量が $200 \text{ GeV} < m < 1000 \text{ GeV}$ の領域で生成断面積の制限を与えた。

⑤ 光子対と横運動量欠損を持つ事象の研究を行い、標準模型の予想に対して超過がないことから、余剰次元のモデル (Universal Extra Dimension) に対して制限を与えた。

⑥ 2ジェット事象の角分布の測定を行い、素粒子の複合模型で期待される接触相互作用に対する制限を得た。

⑦ 2ジェット事象の不変質量分布の測定を行い、クォーク対に崩壊する重い新粒子 (共鳴状態) の探索を行った。次の図は、2ジェットの質量分布を標準模型の予測と捕比較したもの。

(3) ILCにおけるBSM物理のための測定器の最適化を行っている。特に、ハドロンジェットに対する究極のエネルギー分解能



を得るための解析手法 Particle Flow Algorithm の開発と、それを実現するためのカロリメータ検出器の検討を行った。それらの成果を含めたILD測定器の提案書 (LoI, Letter of Intent) を作成してILC研究部長に提出し、認証された。

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 22 件)

- ① G. Aad, K. Kawagoe, et al. (著者数 3045 人、アルファベット順), "The ATLAS Collaboration, "Search for high mass dilepton resonances in pp collisions at $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector", Phys. Lett. B700 (2011) 163-180. 査読あり。
- ② G. Aad, K. Kawagoe, et al. (著者数 3062 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, "Search for New Physics in Dijet Mass and Angular Distributions in pp Collisions at $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ with the ATLAS detector", New J. Phys. 13 (2011) 053044. 査読あり。
- ③ G. Aad, K. Kawagoe, et al. (著者数 3060 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, "Search for high mass states with lepton plus missing transverse energy using the ATLAS detector with 36 pb^{-1} of pp collisions at $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ ", accepted by Phys. Lett. B. 査読あり。
- ④ G. Aad, K. Kawagoe, et al. (著者数 3047 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, "Search for Diphoton Events with Large Missing Transverse Energy in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector", Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 121803. 査読あり。
- ⑤ G. Aad, K. Kawagoe et al. (著者数 3040 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, Search for Massive Long-lived Highly Ionizing Particles with the ATLAS Detector at the LHC, Phys. Lett. B698 (2011) 353-370. 査読あり。
- ⑥ G. Aad, K. Kawagoe et al. (著者数 3179 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, "Search for Quark Contact Interactions in Dijet Angular Distributions at $\sqrt{s}=7 \text{ TeV}$ Measured with the ATLAS Detector", Phys. Lett. B694 (2011) 327-345. 査読あり。
- ⑦ G. Aad, K. Kawagoe et al. (著者数 3172 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, "Search for New Particles in Two-Jet Final States in 7 TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector at the LHC", Phys. Rev. Lett. 105 (2010) 161801. 査読あり。
- ⑧ T. Abe, K. Kawagoe et al. (著者数 704

- 人、アルファベット順), The International Large Detector: Letter of Intent, KEK-REPORT-2009-6, Feb. 2010, 189 pages. 査読なし。
- ⑨ C. Adloff, K. Kawagoe et al. (著者数 152 人、アルファベット順), Response of the CALICE Si-W electromagnetic calorimeter physics prototype to electrons, Nucl. Instru. Meth. A608 (2009) 372-383. 査読あり。
- ⑩ M.M. Nojiri, S.C. Park, J. Shu and M. Takeuchi, Dark matter and collider phenomenology of split-UED, C.R. Chen, JHEP, 0909 (2009) 078. 査読あり。
- ⑪ Junji Hisano, Mihoko M. Nojiri, Warintom Sreethawong, Discriminating Electroweak-ino Parameter Ordering at the LHC and Its Impact on LFV Studies, JHEP 0906 (2009) 044. 査読あり。
- ⑫ Mihoko M. Nojiri, Yasuhiro Shimizu, Shogo Okada, Kiyotomo Kawagoe, Inclusive transverse mass analysis for squark and gluino mass determination, JHEP 0806 (2008) 035. 査読あり。
- ⑬ Study of $sq(L)-sq(L)$ production at CERN LHC in the $1+1-$ channel and sensitivity to other models, Mihoko M. Nojiri and Michihisa Takeuchi, Physical Review D76, 015009(18) (2007) 査読あり。

[学会発表] (計 16 件)

- ① Akimasa Ishikawa, “BSM Physics at the LHC”, International Workshop on Physics beyond the Standard Model and Predictable Observables, 2011/01/06, Kobe.
- ② ATLAS 事件におけるミュオンに崩壊する思い粒子の探索、石川明正、日本物理学会秋季大会、2010/09/13、九州工業大学。
- ③ Kiyotomo Kawagoe, “Summary of Testbeam session”, LCWS2010, 2010/03/30, Beijing.
- ④ シンチレータストリップを用いた細分割電磁カロリメータ試作機のビームテストによる性能評価、川越清以、他、日本物理学会年次大会、2010/03/20、岡山大学。
- ⑤ New Physics Opportunity at LHC, 野尻美保子、日本物理学会秋季大会、2008/09/21、山形大学。
- ⑥ アトラスミュオンシステムを用いた長寿命荷電粒子探索アルゴリズムの高速化と性能評価、岡田勝吾、川越清以、他、日本物理学会秋季大会、2009/09/11、甲南大学。
- ⑦ ATLAS実験における超対称性粒子の質量

が縮退したモデルとmSUGRAモデルの間のパラメータの対応関係について、岡田勝吾、喜家村裕宣、野尻美保子、川越清以、日本物理学会年次大会、2007/09/21、北海道大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川越 清以 (KAWAGOE KIYOTOMO)

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：40183785

(2) 研究分担者

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

(H19->H20:連携研究者)

久野 純治 (HISANO JUNJI)

名古屋大学・理学研究科・教授

研究者番号：60300670

(H19->H20:連携研究者)

田中 礼三郎 (TANAKA REISABUROU)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：90325077

(H19->H20:海外への転出により分担者から外す)

(3) 連携研究者

上記の野尻美保子・久野純治だけである。