

機関番号：14501

研究種目：特定領域研究

研究期間：2004～2009

課題番号：16081208

研究課題名（和文） アトラス検出器を用いた超対称性の発見

研究課題名（英文） Discovery of Supersymmetry Using the ATLAS Detector

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）：超対称性理論は標準理論を超える理論として最有力であるが、未だに直接的な検証はなされていない。本研究では、LHC 加速器に建設したアトラス検出器を用いて、超対称性の物理の実験的研究を行った。すなわち、LHC の初期データを用いて、グルイーノやスカラークォークなどの超対称性粒子の探索を行った。また、本研究グループはアトラス検出器の中でミュオントリガー装置の組み込み、運転、保守、較正を国際協力で行った。

研究成果の概要（英文）：Although Supersymmetry is the most promising theory beyond the Standard Model, no direct evidence had been found before starting the LHC experiments. In this research, direct searches have been made using the initial data taken with ATLAS detector at the LHC. Installation, operation, maintenance, and calibration of the muon trigger system of the ATLAS detector have been also carried out.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2004 年度	1,500,000	0	1500,000
2005 年度	24,600,000	0	24,600,000
2006 年度	25,000,000	0	25,000,000
2007 年度	29,500,000	0	29,500,000
2008 年度	29,400,000	0	29,400,000
2009 年度	29,600,000	0	29,600,000
総計	139,600,000	0	139,600,000

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：素粒子、コライダー、LHC、アトラス実験、超対称性、グルイーノ、ミュオントリガー、TGC

1. 研究開始当初の背景

最高エネルギーの電子陽電子コライダー LEP の運転が 2000 年に終了した後、LHC(Large Hadron Collider)加速器の建設が本格的に始まった。LHC は当時世界最高の衝突エネルギー 2TeV を持つ陽子反陽子コライダー Tevatron (米国フェルミ国立加速器研究所) を遥かにしのぐ、最大衝突エネルギー 14TeV(Tevatron の 7 倍)で大強度ルミノシティを持つ陽子陽子コライダーとして計画

された。LHC 加速器を用いたアトラス実験では、質量の起源と考えられるヒッグス粒子、宇宙暗黒物質の正体と考えられる超対称性粒子などの発見が期待されている。われわれの研究グループは、1992 年頃からアトラス実験のメンバーとして、検出器の開発・建設と物理解析に向けた準備研究を進めていた。本研究開始時点(2004 年度)で LHC 加速器は建設中であり、当時のスケジュールでは 2007 年にアトラス実験を開始できる見込みであ

った。

2. 研究の目的

(1) 超対称性は、ボーズ粒子とフェルミ粒子とを交換する最も基本的な対称性であり、ゲージ理論と並ぶ素粒子に基本原理と考えられている。TeV 領域に一群の超対称性粒子の存在を示唆する数多くの実験データが存在する。この超対称性粒子の直接発見を、アトラス検出器を用いて行うことが本計画研究の第一の目的である。

(2) もう一つの研究目的は、アトラス検出器の重要な要素であるミュオントリガーチェンバーの組み立て・運用を行うことである。ミュオンは、超対称性粒子の探索のみならず、ほぼ全ての物理で極めて重要な役割を果たす。我々はその重要性に鑑み、当初からミュオントリガーチェンバーの研究開発、ならびにその量産と検査を行っている。これは実験全体に対する大きな貢献になる。

3. 研究の方法

(1) 超対称性粒子を発見する上で、ジェットの再構成、エネルギーフローの計算、 $\tau \cdot B$ の再構成が特に重要である。前者の二つは発見に重要な役割を果たし、後者の二つは超対称性セクターの湯川結合に深く関係しているものである。これらの再構成アルゴリズムの研究開発を行い、以下の三つの成果を目指す。

- グルイーノ・スカラークォークなどカラーを持つ超対称性粒子の直接発見
- グルイーノ・スカラークォークの崩壊過程の研究を通じて、カラーを持たない超対称性粒子が途中に存在していたことを示し、質量などを測定する。
- 超対称性モデルの検証とパラメータの決定。

(2) アトラス実験が設置される現地 CERN に赴いて、この検出器を組み上げて、これを安定して運用し、較正作業を繰り返し行い、質の高いデータを速やかに提供する。

4. 研究成果

超対称性理論は標準理論を超える理論として最有力であるが、未だに直接的な検証はなされていない。本研究では、LHC 加速器に建設したアトラス検出器を用いて、超対称性の物理の実験的研究を行った。すなわち、LHC で大量に生成されると期待されるグルイーノやスカラークォークなどの超対称性粒子の探索を行った。また、本研究グループはアトラス検出器の中でミュオントリガー装置の組み込み、運転、保守、較正を国際協力で行った。ミュオントリガー装置は、超対称性の探索のみならず、ほとんどすべての物理研究で重要な役割を果たしており、実験全

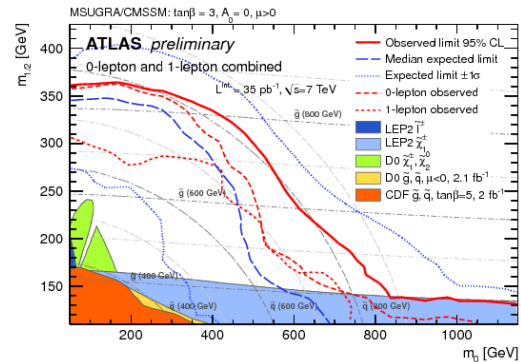
体に対する大きな貢献となった。

(1) 超対称性粒子発見のための準備研究

LHC 加速器建設の遅れと運転開始直後の事故により、最高エネルギーでの陽子陽子衝突実験は、平成 22 年 3 月に始まった。それまでの研究期間は、主にモンテカルロ法で生成された信号事象と背景事象を用いて、超対称性の様々なモデル・パラメータに対する解析手法を開発し、衝突実験データが得られたら速やかに物理成果を出せるように周到な準備を行った。

(2) 最高エネルギーの陽子陽子衝突実験データを用いた新粒子の探索

LHC 加速器が重心系エネルギー 7 TeV での陽子陽子衝突を開始した平成 22 年に、アトラス実験は積分ミノシティ約 45 pb⁻¹ の実験データを収集した。まだ実験開始直後であるためデータ量は少ないものの、世界最高エネルギーという LHC 最大の強みを生かして、すでに多くの新粒子探索の分野で、これまでのコライダー (LEP, Tevatron) で得られたリミットを大きく超えるリミットを得ることに成功した。図にアトラス実験が排除した超対称性 (MSUGRA/CMSSM) のパラメータ領域を示す。宇宙の暗黒物質の予言する多くの部分を棄却した。超対称性粒子以外にも、レプトクォークや余剰次元など標準理論を超える物理に対して、従来のを大きく超えるリミットが得られている。

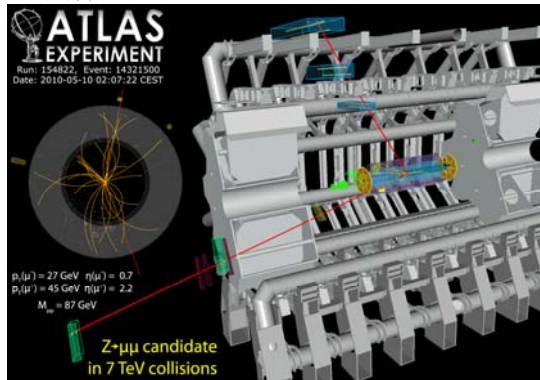


(3) ミュオントリガー装置の組み込みと運転

日本で生産した前後方ミュオントリガーチェンバー (TGC) のアトラス検出器への組み込みを行った。KEK で生産、神戸大で検査を行った TGC 約 500 台を CERN に輸送し、トリガー回路とともにアトラス検出器に組み込み、ミュオントリガー装置は平成 19 年秋に完成した。ミュオントリガー装置は宇宙線によるテストを経て、平成 22 年度以降の本実験で順調に稼働している。我々のグループはミュオントリガー装置の運転・保守・較正に責任を持ち、その性能評価を行っている。下図はアトラス検出器が捕えた Z → mm 事象の例である。

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 16 件)

- ① G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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 $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector”, Phys. Lett. B700 (2011) 163–180. 査読あり。
- ② G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3045 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Search for an excess of events with an identical flavor lepton pair and significant missing transverse momentum in $\sqrt{s}=7$ TeV proton-proton collisions with the ATLAS detector”, accepted by EPJC letters. 査読あり。
- ③ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3044 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Search for a heavy particle decaying into an electron and a muon with the ATLAS detector in $\sqrt{s}=7$ TeV pp collisions at the LHC”, accepted by Phys. Rev. Lett. 査読あり。
- ④ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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 $\sqrt{s}=7$ TeV with the ATLAS detector”, New J. Phys. 13 (2011) 053044. 査読あり。
- ⑤ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3054 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Search for Stable Hadronizing Squarks and Gluinos at the ATLAS Experiment at the LHC”, accepted by Phys. Lett. B. 査読あり。
- ⑥ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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 $\sqrt{s}=7$ TeV”, accepted by Phys. Lett. B. 査読あり。
- ⑦ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3048 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Search for squarks and gluinos using final states with jets and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s}=7$ TeV proton-proton collisions”, accepted by Phys. Lett. B. 査読あり。
- ⑧ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3038 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Search for supersymmetry using final states with one lepton, jets, and missing transverse momentum with the ATLAS detector in $\sqrt{s}=7$ TeV pp collisions”, Phys. Rev. Lett. 106 (2011) 131802. 査読あり。
- ⑨ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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。
- ⑩ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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。
- ⑪ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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 $\sqrt{s}=7$ TeV Measured with the ATLAS Detector”, Phys. Lett. B694 (2011) 327-345. 査読あり。
- ⑫ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki 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。
- ⑬ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 2465 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, Commissioning of the ATLAS Muon Spectrometer with Cosmic Rays, EPCJ 70 (2010) 875-916. 査読あり。
- ⑭ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 3194 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “Performance of the ATLAS detector using first collision data”, JHEP 9 (2010) 1-66. 査読あり。
- ⑮ G. Aad, Y. Homma, K. Kawagoe, T. Kawamoto, H. Kurashige, A. Ochi, H. Takeda, S. Tanaka, Y. Yamazaki et al. (著者数 2927 人、アルファベット順), The ATLAS Collaboration, “The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider”, JINST 3 (2008) S08003. 査読あり。
- ⑯ C. Adorisio, H. Kurashige, S. Tanaka, et al. (著者数 148 人、アルファベット順), ATLAS Muon Collaboration, “System test of the ATLAS muon spectrometer in the H8 beam at the CERN SPS”, Nucl. Instr. Meth. A593 (2008) 232-254.

[学会発表] (計 45 件)

- ① “Searches for BSM Physics at LHC with ATLAS”, A. Ishikawa, 4th High-Energy Physics Conference in Madagascar (HEP-MAD 09), Aug. 24, 2009, Antananarivo, Madagascar.
- ② “ATLAS detector status and early

- physics”, Shuji Tanaka, 21st International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos, (WIN07), 15-20 January, 2007, Kolkata, India.
- ③ “Study of gauge mediation signal with nonpointing photons at the CERN LHC”, K. Kawagoe, Physics at LHC”, July 2004, Vienna, Austria.

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

武田 廣 (TAKEDA HIROSHI)
神戸大学・理学研究科・教授
研究者番号: 30126114

藏重 久弥 (KURASHIGE HISAYA)
神戸大学・理学研究科・教授
研究者番号: 20205181
(H19->H20:連携研究者)

本間 康浩 (HOMMA YASUHIRO)
神戸大学・工学研究科・准教授
研究者番号: 90107988

石井 恒次 (ISHII KOJI)
神戸大学・自然科学研究科・助手
研究者番号: 20322208
(H16->H17:他機関転出により削除)

越智 敦彦 (OCHI ATSUHIKO)
神戸大学・理学研究科・助教
研究者番号: 40335419

川本 辰男 (KAWAMOTO TATSUO)
東京大学・素粒子物理国際研究センター・准教授
研究者番号: 80153021
(H19->H20:連携研究者)

田中 秀治 (TANAKA SHUJI)
高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授
研究者番号: 80311124
(H19->H20:連携研究者)

山崎 祐司 (YAMAZAKI YUJI)
神戸大学・理学研究科・准教授
研究者番号: 00311126

(H18->H19:他機関からの転入により追加)