

平成22年6月22日現在

研究種目：若手研究 (B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19740157
研究課題名 (和文) アトラス実験における高エネルギー γ 線検出を用いた超対称性粒子の探索
研究課題名 (英文) Search for the supersymmetry particles by detecting the high energy gamma-rays in ATLAS experiment
研究代表者
陣内 修 (JINNOUCHI OSAMU)
東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：50360566

研究成果の概要 (和文) : LHC アトラス実験における発見が期待されている超対称性粒子について、アトラス実験の最新の検出器シミュレーションを用いて評価した発見の期待度を最終確認した。本課題の特徴的な信号である高エネルギー γ 線や、長寿命超対称性粒子探索についてシミュレーション結果を論文にまとめた。また、2009年11月から収集され始めた実データを用いて検出器性能の評価を開始した。

研究成果の概要 (英文) : The discovery of the supersymmetry particles is highly expected in LHC-ATLAS experiment. Reconfirmation of the discovery potential with the latest detector simulation framework was conducted. In this study, the special supersymmetry signatures with energetic gamma-rays, or the long lived supersymmetric particles are explored and summarized in the paper. Since 2009.11, the commissioning of the detectors with the real collision data and the detector performance check has been carried out.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	0	1,000,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	540,000	3,340,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子

キーワード：素粒子実験、新粒子探索、超対称性、高エネルギー γ 線、アトラス実験

1. 研究開始当初の背景

素粒子の「標準理論」はこれまでの精密測定実験などにより、高い精度で検証されてきた。「超対称性」はこの標準理論を越える枠組みとして現在最も有力視されている素粒子理論である。超対称性は素粒子の3つの基本力の統一を自然な形で実現するとともに、宇宙

の暗黒物質問題にも直接的な解を与えうる存在である。既知の素粒子各々にパートナー粒子 (超対称性粒子) が存在するはずであるが、それらはこれまでのところ発見されておらず、超対称性は完全ではなく破れていることが分かる。破れを実現する現象論モデルには幾つかあり、各々加速器を

用いた粒子衝突型実験で観測される事象の特徴が異なる。超対称性粒子は、実在すれば TeV エネルギー領域に存在する可能性が高く、世界で唯一 TeV 領域の探索を可能にする LHC アトラス実験で初めて発見できる可能性がある。

2. 研究の目的

当研究では主要な現象論モデル群の中から特に GMSB モデルが持つ特徴に着目した検出方法を発展させる。このモデルでは、超対称性粒子を含む事象が、「複数の高エネルギージェット+大きな消失エネルギーを持つ」という標準的な要求に加えて、「2本の高エネルギー γ 線、もしくは、長寿命で検出にかかる超対称性粒子に伴われている」と言う事象選択を要求する。これらの信号は非常に特徴的なため、バックグラウンド事象を強く抑制することが出来る。超対称性を探索し、発見されれば、その破れの機構を探るのが本研究の最終的な目的である。

3. 研究の方法

LHC の陽子・陽子衝突で超対称性粒子が生成された場合、重い超対称性粒子はより軽い粒子に数段階かけて崩壊する。最終段の最も軽く安定な超対称性粒子がアトラス検出器をすり抜けるが、どの粒子が最終段で残るのかは現象論モデルにより異なり、その種類によって検出されるべき信号の特徴も異なる。主に、以下の4つの信号特性をここでは考慮している。

(1) 指向型 γ 線：検出された γ 線が衝突点近傍を向く

(2) 非指向型 γ 線：2番目に軽い中性の超対称粒子が検出器中で γ 線と最も軽い超対称粒子に崩壊する。 γ 線は衝突点を向かない

(3) 2番目に軽い超対称粒子が安定なタウ粒子の超対称ペアの場合：検出器中を重い荷電粒子として突き抜ける。ミュー粒子の振る舞いに似ているが、速度が非常に遅い。

(4) 安定な超対称性粒子が色電荷をもった場合：強い力により標準粒子と束縛しあい、ハドロン粒子を形成する。これらの各モードについて最新の検出器シミュレーションを用いて評価する。これらの新粒子に対する検出器内の粒子応答は、簡易版のシミュレーションでは再現出来ないため、本研究では全て詳細な検出器シミュレーション（フル・シミュレーション）を用いる必要がある。

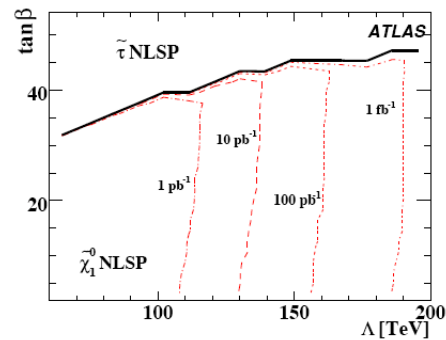
(5) 本研究の研究期間の終了期には、衝突事象の実データが取得されている。これらの初期データを用いて、検出器の性能評価を行うことが、これら新粒子の検出器応答を調整する上での本質的な準備となる。ここでは荷電粒子の飛跡測定を行う、内部飛跡検出器の実データを用いて検出器の性能評価を行っ

た。

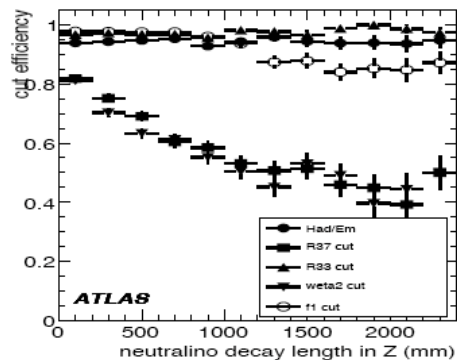
4. 研究成果

研究は直接アトラス実験コラボレーション内の物理ワーキンググループで行った。本研究の研究代表者は、主題にあたる「標準的な超対称性粒子探索の指標+特徴的な信号」を研究対象としたグループを立ち上げ、4つのモードに関しグループ活動を通じてデータ解析を指揮し、論文にまとめあげた（論文④）。以下は研究の方法の番号に対応する。

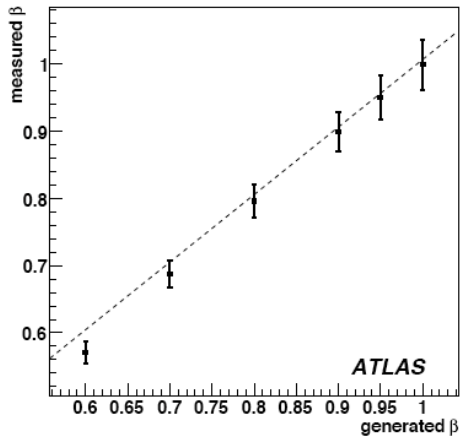
(1) 2本の高エネルギー γ 線は特徴があり、バックグラウンドは非常に少ない。検出器の効果などにより偽の信号事象が作られる確率を詳細に検討して、初期データにおける発見可能性を検討した（下図：超対称性モデルのパラメータ $\tan\beta$ 、 Λ の関数として 1fb^{-1} のルミノシティでどこ迄発見能力があるかを示している）。



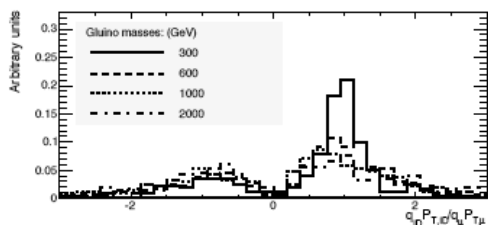
(2) 非指向型 γ 線の検出に関しては、検出器の初期設計がそのように斜め入射するものを想定していないので、より慎重な評価が要求される。検出器に斜め入射する γ 線に対する検出効率の低下、その低下に伴うトリガー効率の低下などをフル・シミュレーションで確認した。また事象選択の条件に特別なモードを用意し、検出効率を回復させることも試みた（下図：再構成に必要な条件を緩和して、検出効率が崩壊地点に依らず一定値になることを示している）。



(3) 検出器及びデータからの事象再構成ソフトウェアは基本的にミュオン粒子などの光速に近い粒子の検出を前提として設計されている。非常に遅く到着する粒子は、通過時間測定を大きく狂わせてしまい、検出効率自体が下がってしまう。粒子再構成のアルゴリズムを遅い粒子にも対応出来るものに改良した(下図: 横軸入射粒子の速度(光速に対する比率)、縦軸: 検出器による測定から求まる速度)。



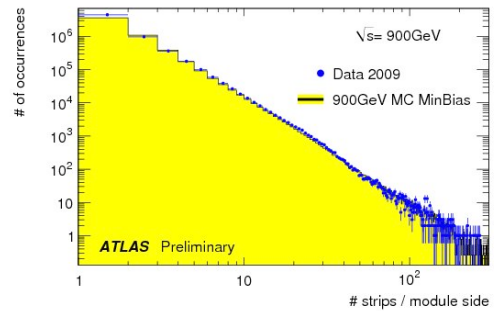
(4) R-ハドロンと呼ばれる、超対称性粒子を核に持つハドロン様粒子の研究で特にチャレンジングな点は、それらの粒子の検出器内での振る舞いをモデル化し具体的な信号形態を再現することである。これらの実装を幾つかの超対称性粒子に対して行い、予想通りの結果が得られた。特にこの超対称性ハドロン粒子が、検出器内の相互作用を通じて内部のパートナー粒子を交換し、電荷が変化すること(電荷フリッピング)が理論から予想されているが、その振る舞いをシミュレーションで再現出来たことは意義深い(下図: 横軸は超対称性ハドロン粒子について、内部飛跡検出器で測定した運動量と、外部ミュオン検出器で測定した運動量の比を取ったもの、ある確率で絶対値は変わらずに符号が逆転した粒子があることが分かる)。



以上4モードに関して、初期のデータ収集条件 ($L=1\text{fb}^{-1}$) を用いて検討を行ったところ、初期のデータ量でも十分に現在の下限値 (Tevatron) を更新することが出来ることを

確認した。

また、2009年11月から本格稼働したアトラス実験が収集した重心エネルギー900GeVにおける衝突データを用いて、検出器のパフォーマンスチェックを行った。特に内部飛跡検出器の一部であるSemi-Conductor Tracker (SCT)検出器の評価をモンテカルロシミュレーションとの比較を通じて行った(下図: 検出器モジュール当たりのヒットしたストリップ数の分布、データとモンテカルロシミュレーションを比較している、非常によく再現していることが分かる)。



LHC 加速器は今後安定しかつ、高い強度のビームを供給する予定であるので、アトラス実験では今後大量の実験データを収集することが可能になる。アトラス実験で今後得られる物理結果は素粒子物理分野の将来の進む方向を決定づける重要な要素を含む。またこれは素粒子だけでなく、宇宙や原子核など近隣分野への影響も計り知れない。これら大きなインパクトの基礎になるのは、初期データ、検出器の基礎理解であり、本研究が携わった超対称性粒子探索の研究、初期データを用いた検出器理解はこれらの礎の一環をなすと考えられる。

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6件)

① ATLAS Collaboration, Charged particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s} = 900$ GeV measured with the ATLAS detector at the LHC, Phys.Lett. B688, 21-42, 2010, 査読有り

② O. Jinnouchi, Searches for SUSY with the ATLAS detector, AIP Conf.Proc. 1200, 32-40, 2010, 査読有り

③ S. Asai, Y. Azuma, O. Jinnouchi, T. Moroi, S. Shirai, T. Yanagida, Mass Measurement of the Decaying Bino at the

LHC, Phys.Lett.B672, 339-343, 2009, 査読有り

④ ATLAS Collaboration, Supersymmetry signatures with high-pT photons or long-lived heavy particles, expected performance of the ATLAS experiment, detector, trigger and physics, CERN-OPEN-2008-020, 1660-1693, 2009, 査読有り

⑤ ATLAS Collaboration, The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider, JINST 3, S08003, 2008, 査読有り

⑥ O.Jinnouchi, SUSY physics with early data: understanding ATLAS detector and backgrounds, Acta Phys.Polon.B38, 583-590, 2007, 査読無し

〔学会発表〕(計2件)

① O.Jinnouchi, Searches for SUSY with the ATLAS detector, 17th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions (SUSY 09), 2009年6月8日, 米国マサチューセッツ州ボストンNortheastern大学

② O.Jinnouchi, Search for Long-Lived Particles at ATLAS, Supersymmetry 2010's, 2007年6月20日, 北海道大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

陣内 修 (JINNOUCHI OSAMU)

東京工業大学・大学院理工学研究科・
准教授

研究者番号: 50360566

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし