

平成 21 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2006～2008  
 課題番号：18740151  
 研究課題名（和文） アトラス実験における超対称性粒子の早期発見のための研究  
 研究課題名（英文） Study for early discovery of Supersymmetric particles  
 in the ATLAS experiment  
 研究代表者  
 金谷 奈央子（KANAYA Naoko）  
 東京大学・素粒子物理国際研究センター・助教  
 研究者番号：80418780

## 研究成果の概要：

アトラス実験は世界最高エネルギーを有する LHC 加速器を用いた素粒子物理実験である。超対称性粒子は現在その正体が未知である暗黒物質の強力な候補の一つであり、21 世紀の素粒子物理に於いてその発見は非常に大きな意味を持つ。これらの粒子の早期、かつ確実な発見のために、鍵となる観測量である横方向損失エネルギーの問題点を洗い出し、また発見後に可能な解析手法を考案した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,000,000	0	1,000,000
2007 年度	1,200,000	0	1,200,000
2008 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	360,000	3,760,000

研究分野：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

科研費の分科・細目：素粒子実験

キーワード：超対称性、ハドロンコライダー、LHC 実験、ATLAS 実験

## 1. 研究開始当初の背景

アトラス実験とは欧州原子核研究機構（CERN）にある世界最高エネルギーを有する陽子・陽子衝突型加速器を使って行う素粒子物理実験の一つである。高いエネルギーと衝突頻度を生かし、20 世紀に未解決であった素粒子物理学の問題点のいくつかに決着をつけると同時に 21 世紀に於ける新しい素粒子物理学を切り開くブレークスルーとなることが大いに期待されている。アトラス実験の主要な任務の一つに超対称性粒子の発見がある。これらはその存在は知られているが、

性質が未知である暗黒物質の有力な候補の一つであり、アトラス実験の結果は天文物理学の分野からも大きく注目されており、これら二分野における結果から宇宙に対する更なる理解が期待されている。申請当初は 2007 年秋に実験開始、2008 年に本格的な物理解析が見込まれていたが、加速器に於ける問題のため、現時点では実験開始は 2009 年終わりになると見込まれている。

## 2. 研究の目的

（1）超対称性粒子の早期発見のためには

検出器のコミッショニング(検証テスト)が不可欠である。超対称性粒子事象の特徴は大きな横方向エネルギー損失(MissingET, 事象のアンバランス)を有することであり、この測定のためには全カロリメータ領域が正しく動作していることを確認し、その測定性能を正しく理解していることが必要不可欠である。実験開始前にモンテカルロシミュレーションを用いて、MissingET 測定の性能を理解し、かつ実データでの評価方法を確立する。

- (2) 超対称性粒子発見後の解析: ある限られた崩壊パターンを同定し、崩壊に現れる超対称性粒子の質量(差)を測定する手法が長年研究されていた。この手法の有用性は広く認められている反面、統計量が必要なことから発見直後の手法としては問題がある。よって発見直後に発見以上の結果を得るための解析手法を確立する。

### 3. 研究の方法

- (1) 実験初期に十分な統計量が期待されるミニマムバイアス、QCD ジェット事象における MissingET の性能をモンテカルロシミュレーションで理解する。MissingET の分解能は主にカロリメータのサンプリング項で決まるため、分解能は第一近似でカロリメータエネルギーの Scalar sum (E<sub>sum</sub>) でスケールする。しかし検出器の非一様性等の存在によりトポロジー依存性が考えられるため、これらを詳細に調べる。
- (2) 実データを用いた MissingET の性能評価の考案。早期検証を目指すため、統計的に有利、かつ既によく理解されている生成・崩壊過程や観測量を使って MissingET 測定の性能を評価する手法を考案する。

ミニマムバイアス事象はバランスした事象で MissingET はほぼゼロである。これの性質を用いて MissingET の分解能を検証する。

W ボソン事象(leptonic 崩壊)は終状態に MissingET とレプトンを持ったクリーンで比較的統計量の高い事象である。MissingET とレプトンの横方向運動量 p<sub>T</sub> で横方向質量 m<sub>T</sub> を組むと W の質量付近にヤコビアンピークを作ることを利用し、

MissingET の分解能並びにスケールを評価する。

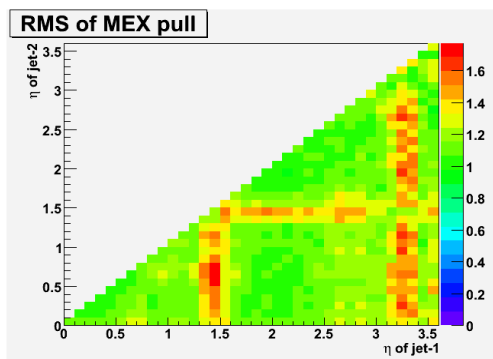
- (3) カロリメータ前方にある内部飛跡検出器、ソレノイド等の物質はカロリメータエネルギー測定の性能を劣化させる主な原因の一つである。これらの物質分布の非一様性を実験で確認することはカロリメータ検出器の理解にとって不可欠である。ミニマムバイアス中の荷電粒子の E/P (カロリメータで測定されたエネルギーと内部飛跡検出器で測定された運動量の比)を用いてカロリメータ前方の物質の評価を行う手法を構築し、その感度を検証する。
- (4) 超対称性粒子の発見、並びにバックグラウンドの推定方法は他の多くの研究者によって行われているので、発見後に“発見以上”の結論を出すためにどのような解析が必要かを吟味する。超対称性と言っても終状態のタイプは豊富であるため、適切な場合分けを行い系統だって解析を行う必要がある。まずはモンテカルロシミュレーションを用いて様々な超対称性モデルや異なる質量スケールの事象に対するアトラス検出器の発見感度について調べ、様々なモデル、終状態パターンへの理解を深める。
- (5) 発見直後の比較的統計量の少ない状況下では事象選択方法を制限し、ある特定の崩壊パターンを選択するなどの方法は好ましくない。その反面、包括的測定では様々な生成・崩壊パターンが混在していることからインパクトのある物理結果を出すことは難しい。よって超対称性モデルの極端なケースを排除する解析手段を考案することに集中する。また超対称性粒子の質量スケールが小さい場合はバックグラウンド推定に問題が生じる(コントロールサンプルに超対称性事象が混じることにより、バックグラウンドを過剰推定をしてしまう)。ある信号を仮定した上で、バックグラウンド推定手法を行い、その入力(仮定)と出力(結果)の矛盾を調べることで、この問題が解決できないか調べる。

### 4. 研究成果

- (1) エネルギーの高いジェットの1つがカロリメータの隙間やサーピスなど

の不感物質が非常に多い領域(クラック領域)で測定された場合、MissingETの分解能が劣化することを示した(図1)。分解能の劣化はみられたが超対称性発見において問題になるようなテール(クラック領域起源の non-Gaussian)成分は見られなかった。また2ジェット事象と3ジェット事象における MissingET 分解能の違い(トポロジー依存性)を調べた。2ジェットの場場合は直接的にジェットのエネルギー測定ミスの影響をうけるため、分解能が悪く、単純に Etsum だけでは決まらないことを示した。

図1: 2ジェット事象に於ける MissingEt 分解能のジェットの方向( )依存性。縦軸は MissingEt 分解能をある値で正規化してある。



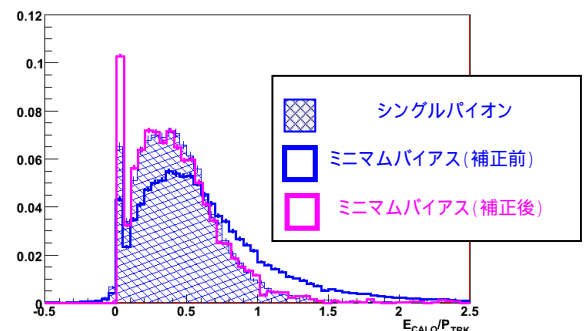
(2) 実データを用いた実験初期における MissingEt の性能評価

カロリメータノイズや、感度のない領域を把握し、陽子陽子衝突以外の事象(宇宙線など)を除去した後、解析自体は非常にシンプルである。トリガーによるバイアスは見られず、また1日の統計量で Etsum =200-300GeVまで評価できることを示した。Etsum のケールのより高い領域はジェットの分解能測定の結果を使って評価できることも示した。

WボソンのmT分布におけるヤコビアンピークの幅とピーク値を用いて MissingETのスケールと分解能を評価する方法を考案した。ヤコビアン分布の付近のデータだけ用いて W の pT による影響を極力減らし、20pb-1ほどのデータで Etsum=300GeVくらいまで評価できることを示したが、W や Z μμ事象のバックグラウンドの影響が問題であり、その解決方法を述べた。同大学の研究員がこの手法・結果をベースに最終結果をだし、現在この手法はアトラス実験における MissingET 評価方法の一つとして採用されている。

(3) ミニマムバイアス中の荷電粒子に対する E/Pを用いてカロリメータ前方物質が評価できるか検討した。対象とする荷電粒子以外の寄与(他の荷電粒子、光子や検出器との相互作用から生じる二次粒子)を取り除くことが不可欠である。これらのバックグラウンドの寄与を後方のハドロンカロリメータでシャワーを起こす荷電粒子事象を用いて、データから直接推定し、取り除けることを示した(図2)。またこの手法により、およそ10%程度で E/P を評価できることを示した。測定値から物質質量への焼き直しは様々な効果を考慮しなければならないため困難であるが、実験初期に相対的、定性的に我々の理解を評価するには有用である。この手法はアトラス実験標準のジェットエネルギーキャリブレーションにおいても応用されている。

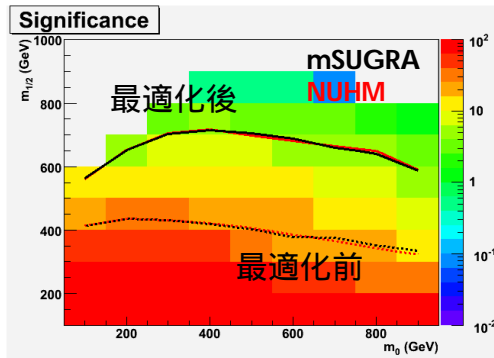
図2: 運動量3 GeVの荷電パイオンの E/P分布。補正後(バックグラウンド除去)正しいE/P分布(シングルパイオン)が再現されている。



(4) アトラス実験の超対称性粒子発見能の評価、並びに解析の最適化は mSUGRA というある特定のモデルを使って行われていた。アトラス実験における標準の事象選択が他のモデルにおいても適用可能か調べた。また最適なカットは超対称性粒子の質量に強く依存するため、MissingEt に対する閾値をスキャンし、最良のカットを選択することにより発見感度をあげる方法を提案した(図3)。この方法並びに結果は論文(1)に採択されている。

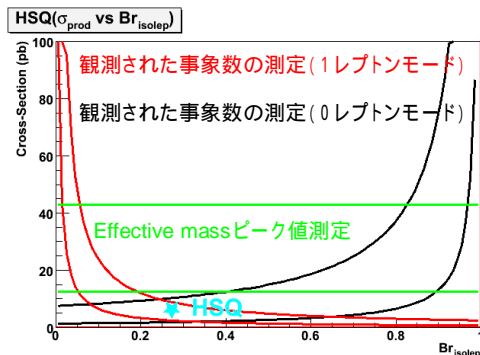
図3: モデルパラメータ m0-m1/2 平面上に於ける発見能力の感度並びにリーチ(5)を示す。(y軸が大きいほど超対称性の質量スケールは大きくなる)実線は MissingEt スキャンによるカットの最適化後、点線は最適

化前のリーチを示す。黒線は mSUGRA の場合のリーチ、赤線は他のモデル。



(5) 超対称性粒子発見後の解析方法の立案。大きい MissingET を持った事象の観測だけでは観測した事象が超対称性粒子起源とはいえない。これを結論づけるにはスピン測定など非常に統計量を要する精密測定が必要となる。しかしながら大きい MissingET を有する事象を発見した後にその事象が超対称性起源のものと矛盾しないか検証することは非常に重要である。2 つ以上の独立な断面積測定方法（観測された事象数、もしくは effective mass ピークから断面積に焼き直す方法）の結果を比較することにより、極端な超対称性粒子のケース（図 4：HSQ 点はスカラークォークの質量がグルーイノの 2 倍）を排除できることを示した。

図 4：横軸は終状態にレプトンを有する割合。縦軸が生成断面積。異なる色のバンドは違う断面積測定の結果を示す。極端なケース（HSQ 点）を仮定した場合、3 つの測定が一致する点が存在しない。



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 1 件)

(1) The ATLAS Collaboration, G. Aad et al (2962 人中 1260 番目)  
「The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider」  
JINST, 査読有  
S08003, 2008, 1-437

〔学会発表〕(計 5 件)

(1) 金谷奈央子  
「アトラス実験におけるミニマムバイアス事象を用いたカロリメータの性能評価」  
日本物理学会（第 64 会年次大会）  
2009 年 3 月 30 日  
立教大/立教池袋中・高、東京

(2) 金谷奈央子  
「Search for Dark Matter at Colliders」  
XXth RECONTRES DE BLOIS  
2008 年 5 月 22 日  
プロア、フランス

(3) 金谷奈央子  
「アトラス実験における超対称性粒子の発見のその後」  
日本物理学会（春季大会）  
2007 年 3 月 27 日  
首都大学、東京

(4) 金谷奈央子  
「Expected ETmiss Performance In ATLAS & CMS」  
Charged Higgs 2006  
2006 年 9 月 15 日  
ウプサラ大、スウェーデン

(5) 金谷奈央子  
「SUSY Physics with Early Data: Understanding the ATLAS Detector and Backgrounds」  
SUSY06  
2006 年 6 月 14 日  
カリフォルニア大学、アーバイン

〔図書〕(計 1件)

(1) 金谷奈央子

AIP Journal

「SUSY06: The 14<sup>TH</sup> International  
Conference on Supersymmetry and the  
Unification of Fundamental interaction」

AIP Conf. Proc. Volume903

2007年、693頁(201-204頁)

〔その他〕

LHCが切り開く新しい素粒子物理 研究会  
[http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~asai/  
lhcwg/Main.html](http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/~asai/lhcwg/Main.html)

日本アトラスグループ

[http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/atlas/  
public](http://www.icepp.s.u-tokyo.ac.jp/atlas/public)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金谷 奈央子 (KANAYA NAKO)

東京大学・素粒子物理国際研究センター・

助教

研究者番号：80418780

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

研究協力者

浅井 祥仁 (ASAI SHOJI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：60282505