



Study of ATLAS LVL1 Muon Trigger Performance using Di-muon events

喜家村, 裕宣

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2009-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4507

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004507>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 喜家村 裕宣
博士の専攻分野の名称 博士（理学）
学 位 記 番 号 博い第 4507 号
学位授与の 要 件 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の 日 付 平成 21 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

Study of ATLAS LVL1 Muon Trigger Performance using Di-muon events （アトラス実験における
ダイミュオン事象を用いたレベル 1 ミューオントリガーシステムの性能評価）

審 査 委 員

主 査 教 授 川越 清以
教 授 林 青司
准教授 藏重 久弥
教 授 武田 廣

<研究の背景>

スイスのジュネーブにある CERN 研究所において、世界最高の衝突エネルギーを誇る陽子陽子衝突型加速器 LHC(Large Hadron Collider)が稼動を開始した。重心系での衝突エネルギーは 14TeV で、これまでの最高値のおよそ 7 倍である。デザインルミノシティも $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ と非常に高く、生成断面積の小さな事象についても研究が可能となる。私が参加しているアトラス実験では、ヒッグス粒子や超対称性粒子など未発見粒子の探索が積極的に行われる。

LHC では、25ns 毎に陽子の塊を衝突させ、その事象レートは 1GHz に達する。これらを全て記録することは物理的に不可能であり、そのほとんどが必要のない事象である。よって、必要な事象のみを正確に抽出するシステムが必要となる。アトラス実験では、三段階のイベントセレクションにより最終的に約 200Hz まで事象レートを落とす。日本グループは、その初段(レベル1)におけるミュオントリガーシステムの構築を先導してきた。横方向運動量 (p_T) の高いミュオンは、アトラス実験で行われるほとんど全ての物理研究に必要とされる。他の粒子(電子、光子、ジェットなど)に比べ、バックグラウンドの少ない環境下で検出を行えることも含め、本システムが重要な役割を担うことが大いに期待される。レベル1ミュオントリガーにおけるトリガー判定は全て、検出器周辺に添えつけられたエレクトロニクスに実装されたアルゴリズムで行う。磁場中の粒子の飛跡からその p_T を計算し、それを指標としてイベントを取捨選択する。6段階の p_T レベルが設定されており、各物理研究からの要請に柔軟に対応することができる。

<研究の動機と目的>

膨大なバックグラウンドが予想されるアトラス実験では、トリガーシステムの性能によってデータの質が大きく変わる。特に、注目されている物理事象は生成断面積が小さく、その研究には質の高いデータが必要になる。検出器が正常に動作すれば、実験開始後数年で新粒子の兆候が見られると予想されており、実験初期における迅速なシステムの調整及び性能評価は非常に重要である。レベル1ミュオントリガーシステムの性能は、ミュオンに対するトリガー効率をもって評価できる。また、生成断面積の測定にもトリガー効率をよく知ることが非常に重要である。よって、実験データからミュオンに対するトリガー効率を測定する方法を、前もって確立しておく必要がある。

本研究の目的は、考案したトリガー効率測定方法を、シミュレーションデータを用いて評価し、手法を確立することである。同時に、必要とされるイベントの種類や統計量を想定し、イベントの収集方法を確立しておくことも重要となる。最終的には、確立した方法を一般的なツールとして組み込み、各方面からのトリガー効率の測定要求に対応できる体制を整えることを目的とする。

<研究の内容と結果>

トリガー効率の測定方法

トリガー効率を正確に測定するには、測定に用いるイベント及びミュオンの選び方が重要となる。イベントの収集には、カロリメータトリガーもしくはミュオントリガーが用いられ、少なくとも一方でトリガーされていることが使用できるイベントの最低条件となる。本研究では、両トリガーを用いて、異なったイベント選別方法を適用し、トリガー効率の測定に用いるミュオンを集めた。以下にそれぞれの場合における測定方法を簡単に説明する。

・ カロリメータトリガーを用いる場合

カロリメータトリガーとミュオントリガーは互いに独立しているため、トリガーされたイベントに含まれる全てのミュオンを用いたトリガー効率の測定が可能である。一方で、ミュオン選別時に課すことのできる条件は、トラック自身の再構成時の情報に対するもののみであり、アトラス実験でのバックグラウンド環境を考えると、カット条件の選定が重要となる。また、実際の再構成の精度も大きく影響すると考えられる。正しくミュオンを選ぶことができれば、十分な統計量が期待でき、迅速なトリガー効率の測定につながる。

・ ミュオントリガーを用いる場合

この場合、イベントに含まれるトラックの内の少なくとも1つは必ずトリガーされているため、全てのミュオンを用いた測定では正確な値を出すことはできないが、次の方法をとることで正確な測定が可能となる。まず、終状態にミュオンを2つ含む物理事象を用いる。どちらか一方のミュオンがトリガーされることでイベントは記録され、もう一方のミュオンを用いて測定を行うことでバイアスのないトリガー効率が測定できる。また、親粒子の不変質量を組んでトラックを選別することで、精度よくミュオンを選ぶことができる。使用する物理事象は、比較的統計量が期待でき、ミュオントリガーシステム全域に対して測定が可能であることを考慮し、 $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ 及び $Z \rightarrow \mu\mu$ を候補としている。前者は実験初期に十分な統計量が期待でき、低い p_T 領域 ($p_T < 15\text{GeV}$) の測定に適している。高い p_T 領域 ($p_T > 15\text{GeV}$) については後者を用いる。統計量は少なくなるが、よりクリーンなバックグラウンド環境下での測定が期待できる。両者を組み合わせることで、全 p_T 領域におけるミュオントリガー効率が測定可能となる。

ダイミュオン事象に対するトリガー効率の測定

ルミノシティが高くなると、低い p_T 閾値でのトリガーレートは大きくなる。この場合、2つのミュオンを要求するダイミュオントリガーを用いる。従って、ダイミュオントリガー効率の理解も重要である。本研究では、上記の測定で得たミュオントリガー効率から、ダイミュオントリガー効率を求める方法を確立する。

(氏名：喜家村 裕宣 NO.3)

測定方法及びツールの評価

上記の測定方法について、シミュレーションデータを用いて評価を行った。

1つ目の方法については、シングルジェットトリガーでトリガーされたダイジェットイベントを用いて測定及び評価を行った。ダイジェット事象はLHCで最も主要な事象であり、この事象について研究を行うことで実験中の状況を把握できると考えている。最終的には、再構成されたトラックに対して、内部飛跡検出器とミュオンシステムの両方で再構成されたことを要求し、トラッキング時の χ^2 値とアイソレーションエネルギーに上限値を設けることでトラックの質を向上させ、約5%程度の精度でトリガー効率の測定が可能であると見積もった。この方法は、実験初期の迅速な測定及び大まかな検出器の動作の理解に適しているが、正確なトリガー効率の測定には、次の方法がより適していると考えている。

2つ目の方法については、上記の2つのダイミュオン事象に対して、不変質量の範囲を再構成された親粒子の不変質量分布から決定し、ミュオン対を選択した。この内少なくとも一方はトリガーされている。得られたミュオンを用いて、トリガー効率を $pr \cdot \eta \cdot \phi$ の関数として求め、その測定精度を積算ルミノシティについて計算した。結果として、 pr の閾値を6GeVに設定した場合、 $\int Ldt=100pb^{-1}$ で、約1%の統計誤差でトリガー効率を測定できると見積もった。また、バックグラウンドによる影響についても研究を行っており、不変質量による選別での S/N は、 $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ に対して20%、 $Z \rightarrow \mu\mu$ に対して10%程度と見積もっている。ただし、バックグラウンドのトリガー効率の測定に対する影響は小さく、その系統誤差は約1%程度であると考えている。以上より、実験開始後数ヶ月で、トリガー効率を数%の精度で求めることができると考えている。

上記の方法を用いて、 $\eta \cdot \phi$ 方向に細分化した領域でのトリガー効率を測定した。その結果をパラメータ化し、Trigger Efficiency Mapを作成した。これにより、トリガー効率の pr 、 η 、 ϕ 依存性が把握でき、ミュオンのキネマティクスからそのミュオンに対するトリガー効率の平均値を算出できる。これを用いて、 $J/\psi \rightarrow \mu\mu$ ダイミュオン事象に対するトリガー効率を測定した。得られたダイミュオントリガー効率は、シミュレーションから得られたダイミュオントリガーの出力値と比較し、妥当性を確認しており、数%の精度での測定が可能と見積もっている。今回 Trigger Efficiency Map の作成には $20pb^{-1}$ 相当のデータを用了が、より多くの統計量で作成すれば、この精度はさらに向上すると考えている。

<まとめ>

本論文では、アトラス実験におけるミュオントリガー効率の測定方法の研究を行い、期待される測定精度と、結果の応用方法について述べた。低い pr 領域のトリガー効率の測定及び Trigger Efficiency Map 作成のためのツールは既に我々が開発しており、実験の開始を待っている。特に実験の初期には、低い pr 領域での研究が重要になり、本研究及び開発したツールを活かして実験を進めていく。

氏名	喜家村 裕宣		
論文題目	Study of ATLAS LVL1 Muon Trigger Performance using Di-muon events (アトラス実験におけるダイミュオン事象を用いたレベル1ミュオントリガーシステムの性能評価)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	川越 清以
	副査	教授	林 青司
	副査	教授	武田 廣
	副査	准教授	藏重 久弥
要旨			
<p>本論文は、LHC 加速器における陽子・陽子衝突実験の一つである ATLAS 実験における レベル1・ミュオン・トリガー・システムの性能評価の方法及びその結果に関する考察をまとめたものである。特に、著者が開発したダイミュオン過程を用いるトリガー効率の評価方法について詳しく論じている。</p> <p>第2章では、ATLAS 実験の最大の目的であるヒッグス粒子と超対称性粒子について、その理論的背景及びその発見の可能性について議論されている。素粒子の標準模型は、現在観測されているほとんど全ての実験結果についての理論的根拠を与える事に成功している。しかし、標準理論の最も重要なキーとなるヒッグス機構については、理論的に存在が言われているヒッグス粒子が未発見である。また、標準模型を超える理論として有望視されている超対称性理論がある。これは、通常の粒子とはスピンの1/2だけ異なったスーパー・パートナーと呼ばれる粒子を導入することで、標準模型に現れる問題を解決し TeV 領域を超える素粒子反応を説明しようとするものである。</p> <p>第3章では、LHC 加速器及び ATLAS 測定器について述べられている。LHC 加速器は、ビーム・エネルギー7TeV、$10^{34}[cm^{-2} \cdot sec^{-1}]$という高いルミノシティを目指し、2008年運転開始した世界最高エネルギー陽子・陽子衝突型加速器である。ATLAS 測定器は、陽子・陽子衝突反応を観測するための汎用測定器である。ATLAS 測定器は、位置分解能にすぐれた内部飛跡検出器、高いエネルギー分解能を持つカロリメータを備えるが、一番の特徴は最外部に設置された空心トロイド磁石を用いたミュオン・スペクトロメータである。位置の精密測定用検出器として Monitored Drift Tube (MDT)が、ミュオン・トリガー・チェンバーとしてはパレル部に Resistive Plate Chamber (RPC)が、エンドキャップ部には Thin Gap Chamber (TGC)が用いられている。</p> <p>第4章は、ATLAS 実験におけるトリガー及びデータ収集システムについて述べられている。特に、この論文での主題となるミュオン・トリガーの機構について詳述している。バックグラウンド・イベントの多い陽子・陽子衝突反応において、ミュオンは粒子同定が確実であり、またヒッグス粒子・超対称性粒子生成イベントの識別・再構成において重要な役割を果たす。</p> <p>第5章は、ATLAS 実験におけるミュオンの軌跡の再構成、及び運動量測定について簡潔に述べられている。</p> <p>第6章は、レベル1・ミュオン・トリガー・システムの設計段階での性能評価について述べている。シングル・ミュオン事象(1イベント中にミュオンのみが存在する)のモンテカルロ・シミュレーションによって、トリガー効率を見積もることができる。また、LHC 実験でのミュオンの生成断面積と組み合わせることで、ミュオンのトリガー・レートを評価している。</p>			

氏名 喜家村 裕宣

第7章は、本研究の中心をなす課題であり、レベル1・ミューオン・トリガー・システムにおけるトリガー効率について、実験初期の段階で実際のデータを用いてどのように測定するかについての研究に関して論じている。

ここでは、

- ・カロリメータ・トリガーによるイベントを用いる方法
- ・2ミューオンを終状態を含む(ダイミュオン)事象を用いる方法

の二つについて、そのトリガー効率測定方法を提案している。また、これらの方法について、モンテカルロ・シミュレーションを用いてその性能の評価・最適化を行っている。特に、ダイミュオン事象に関しては、不定性の少ない、質の高い結果を与えることができると結論づけている。また、実験初期の段階で十分な統計量が得られることも示している

第8章は、ダイミュオン事象を選択的に取り出すダイミュオン・トリガーについても、上記のダイミュオン過程による測定の結果から、そのトリガー効率が導き出せる事を示しており、実験が安定して高ルミノシティでの実験でも有用であることを示している。

以上のように、本研究はATLAS 実験レベル1・ミューオン・トリガー・システムの性能評価の方法、特に著者が開発したダイミュオン過程を用いるトリガー効率の評価方法及びその結果に関する考察をまとめたものである。この研究で提案された解析方法はATLAS 実験の標準的なツールとして組込まれることが予定されており、ATLAS 実験の様々な物理解析に必要とされるトリガー効率の測定に対応できると期待される。本研究は、ATLAS 実験におけるミューオン・トリガー・システムの性能評価方法の開発に大きな貢献をするとともに、実験開始後のトリガー性能の評価及び物理解析に関する重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、学位申請者の喜家村 裕宣は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。