

平成 22 年 6 月 5 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
研究期間：2008～2009
課題番号：20840008
研究課題名（和文）LHC-ATLAS 実験における余剰次元探索のための研究
研究課題名（英文） Search for extra dimension at LHC-ATLAS experiment

研究代表者
磯部 忠昭 (Isobe Tadaaki)
独立行政法人理化学研究所・櫻井 R I 物理研究室・研究員
研究者番号：40463880

研究成果の概要（和文）：

本研究は欧州原子核研究機構の LHC(Large Hadron Collider)加速器を用いて行われる ATLAS 実験での Kaluza-Klein 粒子の探索を通じた、余剰次元発見に向けての研究である。Kaluza-Klein 粒子はそのバックグラウンドが多大な為発見が難しいとされたが、この問題を解決し発見するために、実データを用いた TeV 程度の高い運動量ジェットの較正やトップクォークや W ボゾン等ジェット源の同定法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

For the discovery of phenomena which supports the existence of extra dimension, this research is performed to search for Kaluza-Klein particle which is expected to be produced at Large Hadron Collider experiments at CERN laboratory. For the search, a new method to calibrate the high-momentum jets and to identify the jets which are coming from top quarks and W bosons.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,230,000	369,000	1,599,000
2009 年度	1,120,000	336,000	1,456,000
総計	2,350,000	705,000	3,055,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：素粒子、ハドロンコライダー、余剰次元、Kaluza-Klein 粒子、ジェット

1. 研究開始当初の背景

標準理論は物質を構成する素粒子の相互作用（強い力、弱い力と電磁力）を記述する理論であり、これまで様々な実験結果の記述に成功している。しかし、各素粒子の質量が

なぜ階層構造になっているのか、どうして第 3 世代までの素粒子しかないのか等標準理論では説明できない問題も存在する。これらの問題を説明づける為、標準理論を超えた新しい素粒子物理の枠組みの探索が行われ、これまで数多くの理論的研

究がなされてきた。

標準理論では説明できない現象を説明する一つの理論として余剰次元の存在が提唱されている。特にこの理論は素粒子の階層性問題という重要な問題を解決することができる。通常余剰次元は小さな空間にコンパクトに閉じ込められているが、その次元は TeV エネルギー程度のスケールから見始めると言われている。またその余剰次元中には数 TeV 程度の質量を持った Kaluza-Klein 粒子が存在すると予想されている。

本研究はスイス・ジュネーブにある欧州原子核研究機構の Large Hadron Collider(LHC)加速器を用いて行われる ATLAS 実験(図 1)での Kaluza-Klein 粒子の探索を通じた、余剰次元発見に向けての研究である。LHC 加速器は陽子と陽子を重心系エネルギー 14TeV で衝突させることができる。これほどの高エネルギーでは TeV エネルギー程度のスケールが見え始め、余剰次元からの Kaluza-Klein 粒子を観測することができるかと期待されている。

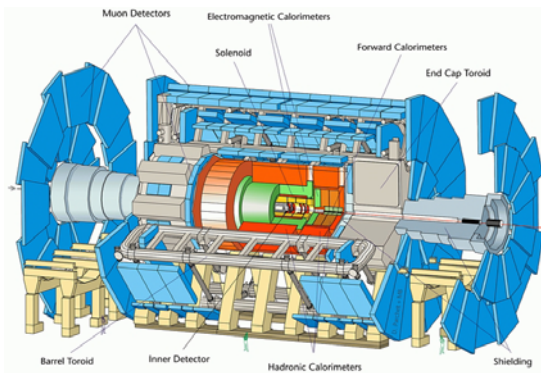


図 1:アトラス検出器
直径 22m、長さ 44m、重さ 7000t

Kaluza-Klein 粒子は宇宙物理学最大の謎である暗黒物質の候補の一つであり、素粒子物理学だけではなく宇宙物理の観点においても余剰次元の探索はその研究意義が大きい。

2. 研究の目的

この ATLAS 実験では Kaluza-Klein 粒子の発見が多く物理学者から期待されている。Kaluza-Klein 粒子は主に対レプトン、対クォークへと崩壊するが、実験初期に限られた統計量においては生成断面積が大きい Kaluza-Klein グルーオン粒子からの多重ジェット崩壊過程が研究ターゲットとして好ましい。しかし一方で、図 2に見られる様に衝突による多大な QCD ジェットバックグラウンドの影響によりこの崩壊過程による発見は難しいとされていた。本研究ではどのよう

にこのバックグラウンドを抑えていくか、理解できるかが本研究の重要なポイントとなる。QCD ジェットバックグラウンドを抑制し、クリアな Kaluza-Klein 粒子の信号を観測するため新しい解析方法を開発する事を目的とした。

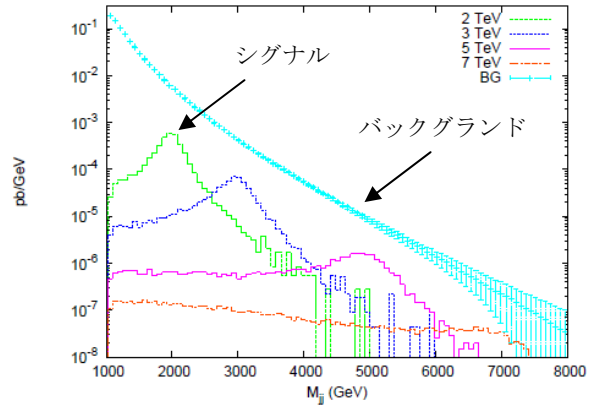


図 2:ジェット対分布
Kaluza-Klein シグナルがバック
グラウンドに埋もれて観測できない

3. 研究の方法

これまでの実験的研究を通じて様々なジェット再構成アルゴリズムが開発されてきたが、そのアルゴリズムは依然として発展途上であり、本研究においてもさらなるアルゴリズムの開発が求められた。余剰次元理論によれば Kaluza-Klein グルーオンが対クォークに崩壊する場合、そのほとんどが top クォーク対へ崩壊する。このとき top クォークを再構成し、top クォーク対の不変質量をみることで QCD ジェットバックグラウンドを抑え、Kaluza-Klein 粒子のシグナルを確認できると期待できる。ここで問題な事に、top クォークは図 3にあるように W ボゾンと bottom クォークへ崩壊するが、KK 粒子の崩壊からできる様な top クォークはその横運動量が非常に高く、現存するアルゴリズムでは W ボゾンから来るジェットと bottom クォークから来るジェットを分けることができない。高い横運動量の top クォークを再構成するため、新しいアルゴリズムを開発し低バックグラウンドでの Kaluza-Klein 粒子探索へと応用する。

本研究においては Kaluza-Klein 粒子からのジェットを見るために、TeV エネルギー程度のジェット測定を行う。この測定の為、実データを用いたカロリメーターの高エネルギーキャリブレーションを行う。対象とする TeV エネルギー領域をキャリブレートするのに有用な物理事象は少ないが、実データを用いてこの領域のキャリブレーションを実現する。

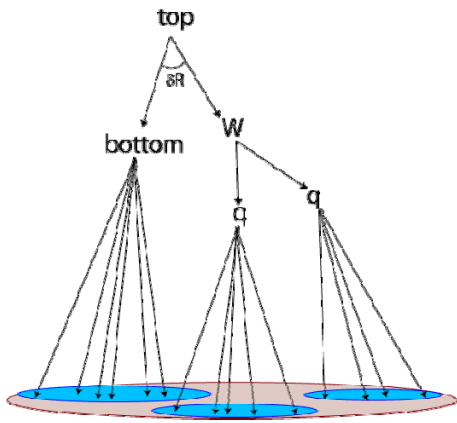


図 3: トップクォーク崩壊図
一つのトップクォークから3つのジェットができるが、Kaluza-Klein 粒子崩壊起源の場合、 δR が小さくて一つのジェットに見えてしまう。

4. 研究成果

本研究ではジェットの構造や非孤立ミュオンを指標とする高運動量トップクォークの同定法とそのキャリブレーション法を開発した。この手法を用いると図 4 に示したように ATLAS 実験でのバックグラウンドを抑制した Kaluza-Klein 粒子の発見が可能であり、これまで予言されている余剰次元モデルに対して知見を与える事ができる。図 5 は各積算ルミノシティにおける、Kaluza-Klein グルーオンの発見可能性を示したものである。具体的には、重心系エネルギー 10TeV の陽子+陽子衝突実験を行った時、実験データの積算ルミノシティ 1fb^{-1} で、質量が $1.5\text{TeV}/c^2$ 程度以下の Kaluza-Klein 粒子を 5σ の優位で発見できる。

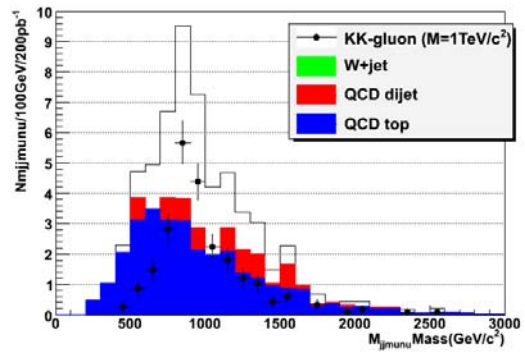


図 4: Kaluza-Klein グルーオン質量 ($1\text{TeV}/c^2$) 分布

プロットがシグナル、色つきヒストグラムがバックグラウンド、色抜きヒストグラムがシグナルにバックグラウンドを加えたもの
積算ルミノシティ 200pb^{-1} 換算

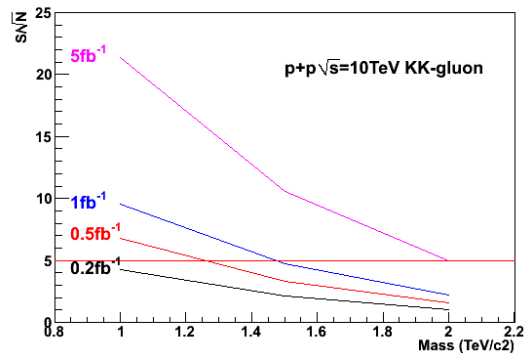


図 2: 各積算ルミノシティにおける、Kaluza-Klein グルーオンの発見可能性

横軸は Kaluza-Klein グルーオンの想定質量で、赤い横ラインより上の領域で発見と判断できる

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 1 件)

Search for resonances decaying into top quark pairs with ATLAS
AIP Conference Proceedings 1200 (2009)
pp.678-681 (査読有)

〔学会発表〕(計2件)

①アトラス実験におけるトップクォーク対に崩壊する新粒子の探索

日本物理学会 2009 年度秋季大会、口頭発表、甲南大学、2009 年 9 月 13 日

②RS モデルと Kaluza-Klein グルーオンの研究

LHC での余剰次元研究、口頭発表、東京大学、2009 年 9 月 7 日

③Lifetime signature for the identification of boosted top at ATLAS

Giving New Physics a Boost 2009 (BOOST 2009) 招待講演, スタンフォード大学 カイリフォルニア州 米国, 2009 年 7 月 9 日

④Search for resonances decaying into top quark pairs with ATLAS

The 17th International Conference on Supersymmetry and the Unification of Fundamental Interactions (SUSY 2009) 口頭発表 ノースイースタン大学 ボストン 米国、2009 年 6 月 6 日

⑤Sub-jet performance と Kaluza-Klein グルーオンへの応用

LHC が切り拓く新しい物理、口頭発表、東京大学、2009 年 4 月 2 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯部 忠昭 (Isobe Tadaaki)

独立行政法人理化学研究所・櫻井 R I 物理研究室・研究員

研究者番号：40463880