

機関番号：14401

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2007 ~ 2010

課題番号：19684006

研究課題名 (和文)

ヒッグスとbクォークとの結合定数測定による新現象探索とシリコン検出器開発

研究課題名 (英文) Search for New Physics through the Measurement of Yukawa coupling of b-quark and Development of Silicon Detector

研究代表者

花垣 和則 (HANAGAKI KAZUNORI)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：40448072

研究成果の概要 (和文) : 万物の質量の起源と考えられているヒッグス粒子の探索に向けて、重要な役割を果たす荷電粒子飛跡検出器の設置調整作業を行い、また、bクォークを同定するための手法を精査。ヒッグス粒子がbクォーク対に崩壊する事象を探索する準備が整った。探索のためのデータ収集を続ける一方で、重要な背景事象であるトッパクォーク対生成事象の生成確率を測定した。さらに、将来計画へ向けての新技术を用いたシリコン検出器開発では、実用化のメドを立てた。

研究成果の概要 (英文) : We installed and maintained the charged particle tracker and examined the b-quark identification method in detail, aiming for the Higgs search. This results in the preparation of the search for events where Higgs decays to b-quark pair. While we take data, we also measured the cross section of ttbar event which is one of the most important background sources in the Higgs search. Besides, we developed new type of silicon detector, and confirmed the proof of detection principle.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,600,000	2,280,000	9,880,000
2008年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2009年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
2010年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
総計	19,700,000	5,910,000	25,610,000

研究分野：数物系科学

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：素粒子物理

1. 研究開始当初の背景

全ての粒子の質量の起源と考えられているヒッグス粒子は、素粒子物理の標準理論における最後の未発見粒子であり、その発見は素粒子物理学上最重要テーマの一つと考えられていた。同時に、標準理論で最も恣意的な部分である湯川結合の導入を実験的に検証することは、標準理論の検証として重要であると同時に、標準理論の綻びが現れやすい、すなわち新物理に対する感度が高いと考え

られていた。

このような理論的背景をもとに、ヒッグス粒子探索はエネルギーフロンティアプログラムで脈々と続けられている。2001年に終了した欧州原子核研究機構 (CERN) での LEP 実験では、ヒッグス粒子の質量の上限値 114.5GeV まで探索を行った。一方、米国フェルミ加速器研究所の Tevatron でも探索が続けられ、160GeV 前後の質量領域にヒッグスが存在しないと報告している。また、ヒッグス粒子発見を主な目標の一つとする

CERN での LHC 実験が開始目前に迫っていた。

2. 研究の目的

(1) ヒッグス粒子の探索と発見。および、 b クォークとの結合定数を測定し、標準理論からのズレを探索することが目的である。

ヒッグスが b クォーク対に崩壊する事象を探索するには、 b クォーク同定が重要な役割を担う。 b クォーク同定は、 b ハドロンの崩壊で生成される荷電粒子の飛跡を精度よく測定することが必須で、シリコンストリップ飛跡検出器の性能がその同定能力を左右する。そこで、LHC 実験開始にあたり、シリコンストリップ検出器のメンテナンス、および、 b クォーク同定性能の定量的な評価が、研究期間前半に達成すべき具体的目標となる。研究期間後半は、収集したデータから解析を開始。具体的には、探索初期に重要は背景事象の理解を進めることを目標とした。

(2) 研究年度内に収集されるデータでその最終目標まで到達することは難しい。特に、湯川結合定数の測定には莫大なデータ量を必要とし、必要な統計を稼ぐには放射線耐性の高い飛跡検出器の開発が必須である。そこで、SOI と呼ばれる新技術を用いたシリコン検出器を開発することを本研究の 2 番目の目的とした。

3. 研究の方法

(1) ヒッグス粒子の探索および b クォークとの結合定数測定のために、LHC 実験の一つ ATLAS 実験に参画した。研究期間の前半はまだ実験が動いておらず、検出器の搬入調整作業、そして解析あるいは検出器較正のためのソフトウェア開発を行った。また、シミュレーションを利用して、ヒッグス探索の感度の精査や、実データを用いて b クォーク同定効率の測定を行うための手法を開発した。実験が動き始めデータ収集を開始した研究期間の後半では、シミュレーションで開発した b クォーク同定効率の評価法を実データに適用。同時に、ヒッグス探索最大の背景事象の一つであるトップクォーク対生成事象を理解すべく、その生成断面積の測定を行った。

(2) シリコン検出器開発においては、SOI シリコン検出器の開発を世界的にもリードしている高エネルギー加速器研究機構の測定器開発室と共同で行った。デバイスの設計

や製作は測定器開発室が行い、我々はプロトタイプ試験用のデータ収集システムを開発、さらにそのシステムを使ってプロトタイプの性能評価を行った。

4. 研究成果

(1) データベースとウェブブラウザを活用し、ユーザーがデータ解析をすることなくシリコン検出器を詳細にモニターするシステムを構築した。ATLAS 実験グループの標準ツールとして使用され、検出器の長期の傾向を誰もが解析できるようになった。同時に、開発したそのツールを用いて、シリコンストリップ検出器の性能解析を行った。

(2) 実験ホールに搬入されたシリコンストリップ検出器のノイズの研究を行った。設置前後でのノイズの変化量、温度依存性、データ収集のセットアップによるノイズの変化、等々を定量的に評価した。その結果、検出器の搬入前後でのノイズの変化量は 3% 程度で、要求されるスペックを十分満たすことを確認した。

(3) トップクォーク対生成事象を用いれば、 b クォークを同定することなしに、すなわち、バイアスのない b クォークサンプルを高い純度で抽出でき、系統誤差を抑えた b クォーク同定効率測定が可能であることをシミュレーションで実証した。1 fb⁻¹ のデータがあれば数%の精度で測定可能と評価した。また、この解析においては、クォークあるいはグルーオンの放出によるトップクォーク対崩壊物以外の粒子の数の理解が重要であることを実証し、予想される系統誤差を評価した。

(4) シミュレーションにより、ベクトルボソン融合によるヒッグス生成、その後ヒッグスが b クォーク対に崩壊する事象の探索可能性を検証した。より現実に近い状態にチューニングされたシミュレーションを用いて、初めて現実的な探索感度を評価。この事象をお用いてヒッグスを発見するには 100 fb⁻¹ を超えるデータが必要であることを確認した。

(5) 2 種類の独立した方法により、実データを用いて b クォーク同定効率を測定した。
① b ハドロンの崩壊により生成されるミュオン運動学的特徴により、親の粒子が b ハドロンであるか否かを統計的に評価する手法。
② (2) で説明したようにトップクォーク対生成事象を用いる手法。
上記 2 つの手法を 2010 年に取得した 35pb⁻¹ のデータに適用。現段階での測定精度は約

15%前後となった。①の方法での最大の問題点は、ミューオンの分布に関する不定性で、その不定性が15%という系統誤差のほとんどを占めている。②に関しては、 35pb^{-1} では完全に統計に支配される結果で、2011年以降のデータ収集により大幅な精度向上が期待できる。

(6) ヒッグスがbクォーク対に崩壊するモードではトップクォーク対生成事象が最も重要な背景事象となる。そこで、人類未踏の7TeVというエネルギー領域でのQCDの検証を兼ねて、トップクォーク対生成断面積を測定した。その結果は $171 \pm 29\text{pb}^{-1}$ (全ての誤差を含む)となり、NNLOによる計算と良い一致を示した。また、断面積だけでなく、様々な分布がデータとシミュレーションでよい一致を示していることを確認し、ヒッグス探索における背景事象の理解を深めた。尚、この結果はATLASグループ内公認の結果として国際会議で発表された。

(7) SOI技術を用いたシリコン検出器のプロトタイプを試験するためのデータ収集システムを構築した。測定器開発室内でも標準的に使われるツールとなった。また、このシステムを用いて、プロトタイプ検出器の様々な性能評価を行い、実用化に剥けて最大のボトムネックとなるback-gate効果と呼ばれる現象を定量的に評価した。

(8) ATLAS実験のアップグレード用シリコンストリップ検出器開発に参画し、試験用読み出しシステムを開発した。現存する信号読み出しシステムは拡張性に問題を抱え、多数の信号読み出し用ICからの信号を読み出すことができない。この問題を解決し、要求されるスペックを満たすデータ収集システムを構築した。構築したシステムを用いて、プロトタイプモジュールの試験を実施。現存するシステムで得られた結果と同じ結果が得られることを確認した。また、ノイズの定量的な評価を行い、新たに開発したデータ収集システムが新たなピックアップノイズなどを拾っていないことも確認した。

(9) ATLAS実験の講演会を含むアウトリーチ活動を合計4回行った。そのうち3回は、講演会+CERNとのテレビ会議による現地滞在研究者との質疑応答。1回は複数の講演会。合計で600名近い一般の方に参加してもらえた。

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42件)

- ① G.Aad, K.Hanagaki et al., Search for Supersymmetry Using Final States with One Lepton, Jets, and Missing Transverse Momentum with the ATLAS Detector in $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ pp Collisions, Physical Review Letters, 査読あり, 106巻 (2011), 131802-1 - 131802-19
- ② G.Aad, K.Hanagaki et al., Measurement of the production cross section for W-bosons in association with jets in pp collisions at $\sqrt{s}=7\text{TeV}$ with the ATLAS detector, Physics Letters, 査読あり, B698巻 (2011), 325-345
- ③ G.Aad, K.Hanagaki et al., Search for New Physics in Two-Jet Final States in 7TeV Proton-Proton Collisions with the ATLAS Detector at the LHC, Physical Review Letters, 査読あり, 105巻 (2010), 161801-1 - 161801-19
- ④ G.Aad, K.Hanagaki et al., Charged particle multiplicities in pp interactions at $\sqrt{s}=900\text{GeV}$ measured with the ATLAS detector at the LHC, Physics Letters, 査読あり, B688巻 (2010), 21-42
- ⑤ G.Aad, K.Hanagaki et al., Measurement of inclusive jet and dijet cross sections in proton-proton collisions at 7TeV center of mass energy with the ATLAS detector, The European Physical Journal, 査読あり, C71巻 (2010), 1512-1 - 1512-59
- ⑥ G.Aad, K.Hanagaki et al., The ATLAS Inner Detector commissioning and calibration, The European Physical Journal, 査読あり, C70巻 (2010), 787-821
- ⑦ A.Abdesselam, K.Hanagaki et al., The integration and engineering of the ATLAS Semiconductor Tracker Barrel, JINST, 査読あり, 3巻 (2008), 10006-10072

[学会発表] (計19件)

- ① 廣瀬穰, 花垣和則, 他2名, ATLAS実験における dilepton 終状態を用いたトップクォーク対生成事象の解析, 日本物理学会 2010年秋季大会, 2010.9.13, 九州工業大学戸畑キャンパス
- ② 目黒立真, 花垣和則, 他4名, 超対称性事象探索に向けたボトムジェットの研究, 日本物理学会 2010年秋季大会, 2010.9.13, 九州工業大学戸畑キャンパス
- ③ 内田潤, 花垣和則, 他 SOIPIX グループ, 計数型 SOI ピクセル検出器の動作試験, 日

本物理学会第 65 回年次大会, 2010. 3. 23,
岡山大学津島キャンパス

- ④ 岡村航, 花垣和則, 他アトラス SCT グループ, ATLAS 実験シリコンストリップ飛跡検出器の解析, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009. 9. 11, 甲南大学岡本キャンパス
- ⑤ 内田桐日, 花垣和則, ATLAS 実験における ttbar 事象を用いた b-jet 同定アルゴリズムの性能評価および ttbar 断面積測定について, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009. 9. 11, 甲南大学岡本キャンパス
- ⑥ 廣瀬穰, 花垣和則, 他 SOIPIX グループ, SOI pixel 検出器用 DAQ システムの開発, および性能試験, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009. 3. 27, 立教大学
- ⑦ 石川迪雄, 花垣和則, 内田桐日, ATLAS 実験における第三世代超対称性粒子ストップの解析, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009. 3. 10, 立教大学
- ⑧ 高木崇志, 内田桐日, 花垣和則, ATLAS 実験における Higgs を含んだ SUSY 事象のシミュレーション解析, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009. 3. 10, 立教大学

[その他]

ホームページ等

<http://osksn2.hep.sci.osaka-u.ac.jp/atlas/index.php?language=japanese>

<http://osksn2.hep.sci.osaka-u.ac.jp/atlas/outreach/scimuseum2010/Welcome.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

花垣 和則 (HANAGAKI KAZUNORI)

大阪大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号: 40448072