



TITLE:

Measurement of Higgs boson properties using the decay channel to b-quarks following associated production with a vector boson in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Noguchi, Yohei

CITATION:

Noguchi, Yohei. Measurement of Higgs boson properties using the decay channel to b-quarks following associated production with a vector boson in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV. 京都大学, 2021, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2021-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22999>

RIGHT:

許諾条件により要旨は2021-04-01に公開

(続紙 1)

京都大学	博士(理学)	氏名	野口 陽平
論文題目	Measurement of Higgs boson properties using the decay channel to b-quarks following associated production with a vector boson in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV 重心系エネルギー13 TeV の陽子陽子衝突におけるヒッグス粒子の b クォークへの崩壊とベクトルボソン随伴生成を使用したヒッグス粒子の性質測定)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、重心系エネルギー 13 TeV での陽子・陽子衝突からヒッグス粒子が W 粒子、もしくは Z 粒子と随伴して生成され、b クォーク対へ崩壊する過程について測定を行ったものである。素粒子標準模型では、ゲージボソンだけでなくクォークやレプトンもヒッグス機構により質量が生成されると説明される。ヒッグス粒子の生成断面積や崩壊率などを包括的かつ精密に測定することにより、ヒッグス機構の正当性を精密に検証し、素粒子標準模型を超える新しい物理を探索することが出来る。</p> <p>本論文では、欧州原子核研究機構(CERN)に設置された大型ハドロン衝突型加速器(Large Hadron Collider, LHC)を用いた国際共同実験 ATLAS において、2018 年までの第 2 期運転までに取得された全データ(積分輝度 139/fb)を用いて測定を行っている。</p> <p>解析では W 粒子との随伴生成(WH)のうち W 粒子がレプトンとニュートリノ、Z 粒子との随伴生成(ZH)のうち Z 粒子が 2 レプトン、または 2 ニュートリノへ崩壊するチャンネルを用い、WH、ZH 個別に、生成断面積に崩壊分岐比を乗算した信号強度の測定と、ヒッグス粒子の横運動量にわたる断面積の測定が行われている。その際、b クォーク由来のジェット候補間の不変質量や角度、横運動量などの多変数量を用いて信号弁別し、トップクォーク対生成や W 粒子や Z 粒子にジェットが付随して生成する過程など多くの背景事象の寄与について系統誤差を抑えて評価している。</p> <p>得られた信号数は、無信号の場合と比べて WH で 4.1 標準偏差、ZH で 5.1 標準偏差であり、ヒッグス粒子のベクトルボソンとの随伴反応として初観測となった。得られた信号強度は WH では $0.95 + 0.27 - 0.25$、ZH では $1.08 + 0.25 - 0.23$ であり、素粒子標準模型と誤差の範囲で無矛盾であった。</p> <p>本論文での測定結果は、ヒッグス粒子のその他の生成・崩壊モードでの測定結果と共に用いられ、ヒッグス粒子の湯川結合定数が測定された。本論文での測定結果を用いることで、b クォークばかりでなく、トップクォーク、W 粒子、Z 粒子の湯川結合についても測定精度が 2~3 倍向上した。</p> <p>さらに、測定結果から素粒子標準模型を超える新物理についての探査を以下のように行っている。まずは、素粒子標準模型に有効場理論に基づく作用項を導入することでモデルに依存せず、新物理の寄与へ制限をかけた。測定されたヒッグス粒子の横運動量の断面積から、6 次元相互作用のウィルソン係数の棄却領域を求めた。</p> <p>次に、ZH において Z 粒子が 2 レプトンに崩壊するチャンネルで、2 レプトン間の角度の関数として断面積を測定する新しい手法を開発することにより、CP を破る新物理からの寄与に制限を課した。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、ヒッグス粒子について、特にベクターボソンとの随伴生成反応において b クォーク対に崩壊するモードで信号強度と断面積、ヒッグス粒子との湯川結合を測定し、新物理からの寄与の探索を行った結果について報告している。

素粒子標準模型においてはゲージ対称性が成り立つ限り素粒子の質量はゼロであり、素粒子の質量はヒッグス機構と呼ばれる対称性の自発的破れによりはじめて生成される。すなわち、宇宙開闢後に真空が相転移することで全ての素粒子に質量が生まれたと説明する、極めて重要な理論である。ヒッグス粒子を発見、精密に測定してヒッグス機構を検証することの学術的な意義は極めて大きい。事実、ヒッグス粒子は 40年以上の長きにわたり素粒子標準模型の最後の未発見粒子であったが、ついに 2012 年に 最高エネルギー加速器 LHC を用いた ATLAS および CMS 実験において発見された。本学位論文申請時において、ヒッグス粒子を生成できる加速器は LHC が世界唯一であり、また、本学位論文で使用されたデータは申請時における全データである。すなわち本論文の結果は、現時点で人類が得られるヒッグス粒子の知見の最高精度の結果である。

本論文では、陽子・陽子衝突の大量の背景事象を理解した上で多変数量解析を用いて最大の感度で信号を引き出す、きわめて高度なデータ解析が行われている。トップクォーク対生成や W 粒子や Z 粒子にジェットが付随して生成する過程など多くの背景事象を評価するために、信号領域 (SR) に加え、背景事象が主になるような制御領域 (CR) を定め、すべての SR、CR において、系統誤差をパラメータ化して導入して、BDT 分布を同時フィットすることで信号数を求め、信号強度や断面積が求められている。その際、本論文で使用されたデータの約半分を用いた先行研究と比べて、BDT で用いる変数に Z ボソンの偏極により信号と背景事象の間に違いが出る 2 レプトン間の角度を導入して弁別効率を 7% 改良している。また、トップクォーク対生成過程による背景事象を実データからの評価する手法を新たに開発することにより、先行研究と比べ系統誤差を 20% 改良している。

野口氏は、本論文で行われたデータ解析すべてを行い、また、上記 2 点の改良も自ら開発し、ATLAS 実験という 3000 人規模の非常に大きな国際共同研究内でも極めて中心的な寄与をした。本申請論文は、この難易度の高い解析のすべてにわたり余すところなく記述されている。

また、信号強度や断面積、結合定数の測定にとどまらず、野口氏はさらに新物理からの寄与の探索を積極的に進めた。有効場理論に基づくモデル依存性の少ない一般的な探索に加え、宇宙バリオン数非保存問題を念頭に置き、CP を破る新物理からヒッグス粒子とベクターボソンとの相互作用バーテックスへの寄与について制限を課す新しい手法も開発するなど、きわめて独自性のある内容である。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 3 年 1 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、野口氏は多くの質問にも的確に返答した。その結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 令和 3 年 4 月 1 日以降