

## 別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 Search for pair production of Higgs bosons via vector-boson fusion process in the  $b\bar{b}b\bar{b}$  final state using proton-proton collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector

(ATLAS 検出器での重心系エネルギー 13 TeV の陽子陽子衝突を用いたベクトルボソン融合過程での  $b\bar{b}b\bar{b}$  終状態のヒッグス対生成事象の探索)

氏 名 佐野 祐太

## 論 文 内 容 の 要 旨

素粒子標準模型は今までの素粒子実験の結果とほぼ無矛盾である一方で、125 GeV のヒッグス粒子の質量を自然に説明できないことや、暗黒物質の候補となる素粒子が無いことなどの問題が存在する。これらの問題を解決し得る新しい物理模型として、ヒッグス 2 重項を 2 つ導入する 2HDM (Two Higgs Doublet Model) が候補の 1 つとして挙げられ、このような標準模型を超える新物理の発見が素粒子物理学の最重要課題である。

2012 年に世界最高重心系エネルギーの陽子陽子 ( $pp$ ) 衝突実験である LHC (Large Hadron Collider) 実験でヒッグス粒子が発見されたことで、我々はこの素粒子をプローブとして新物理探索ができるようになった。特に LHC でのヒッグス粒子対生成過程は標準模型では稀にしか起こらず有意に検知できないが、2HDM で予言される重い中性ヒッグス粒子がヒッグス粒子対に崩壊したり、新物理の寄与によってヒッグス粒子と他の標準模型粒子との結合定数が大きくなったりすることで、ヒッグス粒子対生成事象の生成断面積が顕著に増大するため、新物理探索に対して非常に有効な手段となる。

先行研究では、LHC 実験の陽子陽子衝突データを用いて、グルーオン融合過程を通じたヒッグス粒子対生成過程の探索が行われてきた。この生成過程では、2HDM において  $\sin(\beta - \alpha)$  ( $\tan \beta$ : 2 つのヒッグス 2 重項の真空期待値の比、 $\alpha$ : 2 つの中性ヒッグス粒子の混合角) の絶対値が大きい場合に重い中性ヒッグス粒子の生成事象が発見される可能性がある。また、ヒッグス粒子の自己結合定数が大きくなると、ヒッグス対生成事象の生成断面積が増大するため、結合定数のズレの測定から新物理の存在示唆を確かめることができる。しかし、この先行研究は標準模型の予想背景事象数と無矛盾の結果であり、新物理発見に至っていない。このため、2HDM の他のパラメータ領域や未だ測定さ

れていない結合定数へのアクセスが重要である。

そこで本研究は、LHC-ATLAS 実験で 2016 年から 2018 年までに取得された積分ルミノシティ  $126 \text{ fb}^{-1}$ 、重心系エネルギー  $13 \text{ TeV}$  の陽子陽子衝突データを用いて、軽いクォークによるジェット( $j$ )が 2 つ付随する弱ボゾン( $V$ )融合過程を通じてヒッグス粒子対が生成し、2 つのヒッグス粒子がともに最も崩壊分岐比が大きいボトム( $b$ )クォーク対に崩壊する  $pp \rightarrow VVjj \rightarrow hhjj \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}jj$  過程の探索を行った。この生成過程では、2HDM において  $\sin(\beta - \alpha)$  の絶対値が小さい場合に重い中性ヒッグス粒子の生成事象が発見される可能性がある。さらに、今まで全くアクセスできていなかった 2 つの弱ボゾンと 2 つのヒッグス粒子との 4 点結合定数 ( $\kappa_{2V}$ 、標準模型の予想値は  $\kappa_{2V} = 1$ ) が標準模型からずれると、対生成事象が有意に検出できる程に生成断面積が増大するため、その結合定数の測定に感度がある。

本研究では、ジェットに含まれる検出されないニュートリノも考慮した  $b$ クォークジェットのエネルギー校正方法を確立し、ヒッグス粒子候補再構成時の質量分解能を向上させた。その上で、2 つの軽いクォークによるジェットを用いた弱ボゾン融合過程を選択する事象選別と 4 つの  $b$ クォークジェットの力学的特徴から信号事象と背景事象を選別する事象選別を導入・最適化し、探索感度を高めた。本解析の肝として、支配的な背景事象である強い相互作用による  $4b$ クォークジェットを含む多ジェット事象数の見積もりが挙げられるが、これを統計的に豊富な  $2b$ クォークジェット事象を用いて見積もることで、新物理の寄与があった場合に有意な信号数超過が期待される信号領域での背景事象数を、系統誤差を抑えて導出した。

本解析の結果、信号領域での事象数は標準模型の予想背景事象数と無矛盾であり、本解析で用いた陽子陽子衝突事象の中ではヒッグス粒子対生成事象の存在は有意に確認されなかった。この結果から、95%の統計的信頼度のもとで、 $260 \text{ GeV}$  から  $1000 \text{ GeV}$  までの質量領域におけるヒッグス粒子対に崩壊する新しい共鳴粒子の生成断面積の上限値を導出し、2HDM にて  $\tan \beta = 2.0$ 、 $\sin(\beta - \alpha) = 0.6$  の場合の質量  $666.9 \text{ GeV}$  以上の重い中性ヒッグス粒子の存在を棄却した。さらに、標準模型を仮定したヒッグス粒子対生成断面積の上限値が 95%の統計的信頼度のもとで  $1450 \text{ fb}$  であることを示し、4 点結合定数の  $\kappa_{2V} < -0.56$ 、 $\kappa_{2V} > 2.89$  の領域を棄却した。

本研究は、LHC で初めて弱ボゾン融合過程でのヒッグス対生成事象に着目したものであり、4 点結合定数  $\kappa_{2V}$  に対する制限は世界で初めて得られた結果である。本研究は 4 点結合定数を測定するための新たな手法を開拓したとともに、2HDM において先行研究とは相補的なパラメータ空間を直接的に探索する手法が得られた。今後、 $hh \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$  過程のみならず、 $b\bar{b}\tau^-\tau^+$  や  $b\bar{b}\gamma\gamma$  過程等も組み合わせて探索することでより高い感度で探索できる。また、2026 年開始予定の高輝度 LHC 実験では  $3000 \text{ fb}^{-1}$  の陽子陽子衝突データを取得する予定であり、さらなる精密測定が可能となる。本研究は、今後の新物理探索において重要な指針を与える結果を得たものである。