

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	甲 第	号
------	---	-----	---

氏 名 林 田 翔 太

論 文 題 目

Search for non-resonant Higgs-pair production in the  $b\bar{b}b\bar{b}$  final state  
with the ATLAS detector

(ATLAS 実験における非共鳴ヒッグス対生成 $b\bar{b}b\bar{b}$ 終状態事象の探索)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院理学研究科 特任教授 博士(理学) 戸 本 誠  
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 博士(理学) 清 水 裕 彦  
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 博士(理学) 棚 橋 誠 治  
委 員 名古屋大学素粒子宇宙起源研究所 准教授 博士(理学) 市 來 淨 與  
委 員 高エネルギー加速器研究機構素粒子原子核研究所  
准教授 博士(理学) 中 浜 優

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1-2

現代素粒子物理学は、3世代6種のクォークとレプトンによって物質が構成され、光子、弱ボゾン、グルーオンが素粒子間を媒介して電磁気力、弱い力、強い力が働くとする標準模型の成功によって発展してきた。

CERN の Large Hadron Collider (LHC) 実験でヒッグス粒子が発見された。これにより、宇宙の真空はヒッグス場で満たされ、真空期待値を 246 GeV とする電弱対称性の自発的破れにより弱ボゾンが質量を獲得したこと（ヒッグス機構）が明らかになった。一方で、ヒッグス機構にとって本質的な役割を担うヒッグスポテンシャルの形状に指導原理はなく、この形状を実験的に測定することが、ヒッグス機構や宇宙の真空を真に理解するために重要である。ヒッグスポテンシャルの形状はヒッグス粒子の質量やヒッグス粒子の自己結合定数によって決定される。

申請者は、LHC 実験のひとつである ATLAS 実験が 2015 年から 2018 年までに取得した積分ルミノシティ  $126 \text{ fb}^{-1}$ 、重心系エネルギー 13 TeV の陽子陽子衝突によるヒッグス粒子対生成 ( $pp \rightarrow HH$ ) 過程の探索を行った。本研究では、グルーオン融合過程、または、弱ボゾン融合過程のいずれを通じて生成するかによって、ヒッグス粒子 3 点自己結合定数 ( $\kappa_\lambda$ 、標準模型の予想値は  $\kappa_\lambda = 1$ )、あるいは、2つのヒッグス粒子と2つの弱ボゾンとの4点結合定数 ( $\kappa_{2V}$ 、標準模型の予想値は  $\kappa_{2V} = 1$ ) の測定を目指した。ヒッグス粒子対生成断面積は非常に小さいため、その早期発見のためには、2つのヒッグス粒子が共に崩壊分岐比の大きな  $b$  クォーク対に崩壊する  $b\bar{b}b\bar{b}$  終状態を用いることが好ましいと考え、申請者は、 $pp \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$  過程の探索に着目した。

この解析では、2つの  $b$  クォーク対の不変質量が共にヒッグス粒子の質量である 125 GeV 付近に分布する事象を探索するが、その領域に  $b$  クォークとして同定されたジェット ( $b$  クォークジェット) を4本含む多ジェット背景事象が膨大にあるため、それを効率的に抑制する事象選別とその後に残存する背景事象数を正確に推定する手法を確立することが鍵となる。申請者は、グルーオン融合過程と弱ボゾン融合過程のそれぞれの特徴を考慮した別々の事象選別条件を考案し、各生成過程の感度を向上させた。また、深層学習を駆使して、 $b$  クォークジェットを2本だけ含む多ジェット背景事象から  $b$  クォークジェットを4本含む多ジェット背景事象を正確に導出する手法を確立した。以上の解析の工夫により、先行研究と比べ探索感度が2から4倍向上した。

申請者は、グルーオン融合過程と弱ボゾン融合過程を通じたヒッグス粒子対生成事象を探索したが、標準模型の予想背景事象数と無矛盾の結果で、この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有意な存在は確認されなかった。そこで、申請者は、95%の信頼度のもとで、ヒッグス粒子 3 点自己結合定数に関しては  $-3.9 < \kappa_\lambda < 11.1$ 、4 点結合定数に関しては  $-0.03 < \kappa_{2V} < 2.11$  に領域を制限した。さらに、 $pp \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}\gamma\gamma$  や  $pp \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}\tau^+\tau^-$  による別の終状態のヒッグス粒子対生成事象の結果も統合し、95%の信頼度のもとで、ヒッグス粒子 3 点自己結合定数に関しては  $-0.6 < \kappa_\lambda < 6.6$ 、4 点結合定数に関しては  $0.07 < \kappa_{2V} < 2.03$  に領域を制限した。

本研究は、 $pp \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$  過程を使って、ヒッグス粒子 3 点自己結合定数と2つのヒッグス粒子と2つの弱ボゾンとの4点結合定数に最も強い制限をつけた研究として、高く評価できる。申請者が着目した終状態を用いた解析において結果を出すだけでなく、本研究と別の終状態による測定との統合結果の導出にも貢献できたことは、申請者の高い研究能力を示すものと評価できる。さらに、本研究によって確立した解析手法や、本研究の知見から得られた解析改善を講じることで、2029 年から開始予定の高輝度 LHC 実験において、ヒッグス粒子 3 点自己結合定数の有限値の測定が可能であることを示したことも評価できる。以上の理由により、申請者は博士(理学)の学位を授与される十分な資格があるものと認められる。