

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740157

研究課題名(和文)ビー中間子のタウ・ニュー崩壊を用いた新しい物理の探索

研究課題名(英文) Search for New Physics Using B Meson Decay to Tau Lepton and Neutrino

研究代表者

堀井 泰之(Horii, Yasuyuki)

名古屋大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80616839

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)： Belle実験で収集したすべてのデータを用い、B 崩壊の解析を行った。信号と対を成して生成されるB中間子をハドロンへの崩壊で捕える手法を用い、信号の証拠を3.0 の有意度で得た。対として生成されるB中間子をレプトンを含む崩壊で捕える手法と混合し、崩壊分岐比 $(0.96 \pm 0.26) \times 10^{-4}$ を得た。結果は、標準模型の値と無矛盾であった。一方、ヒッグス二重項を二つ含むタイプII模型において、荷電ヒッグス粒子に対する強い制限を得た。

B 崩壊の測定精度向上を目指し、新型粒子識別装置の開発を行った。装置の主要構成要素である石英輻射体の光学性能を検証した。また、複数の石英板を接着する手法を確立した。

研究成果の概要(英文)： We measure the branching ratio of B→tau nu using the full data sample collected at the Belle experiment. Events with B meson pairs are tagged by reconstructing one of the B mesons decaying into hadronic final states, and B→tau nu candidates are detected in the recoil. We find evidence for B→tau nu with a significance of 3.0 standard deviations. By combining with the result based on a tag of B meson pairs using semileptonic decays, the branching ratio is evaluated to be $(0.96 \pm 0.26) \times 10^{-4}$. A stringent constraint is obtained for the ratio of the vacuum expectation values and the charged Higgs mass in Type II of two Higgs doublet models.

To improve the precision on B→tau nu, we have developed a new particle identification system. Optical performance of the quartz radiator, which is a main component of the system, has been measured to be sufficiently high. The method of gluing multiple quartz bars for obtaining a full size of about 2.7 meters has been established.

研究分野：素粒子実験

キーワード：B中間子 Belle実験 タウ ニュートリノ 荷電ヒッグス

1. 研究開始当初の背景

茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構で行われている Belle 実験は、世界のルミノシティを誇る電子・陽電子衝突型加速器を用いる事で、世界の素粒子実験を牽引している。Belle 実験の開始当初の目的は、B 中間子の CP 非対称性の観測による小林・益川模型の検証であり、これは 2001 年の $B \rightarrow J/\psi K_0$ 崩壊における CP 非対称性発見によって実現された。Belle 実験では、その後もデータ取得を行い、2010 年に運転を終了するまでに 15 億に及ぶ B 中間子を生成した。電子・陽電子衝突の低背景事象環境における高統計の B 中間子データは、荷電ヒッグス粒子などの新粒子に対する高い感度を提供する。Belle 実験のすべてのデータを用いた解析を完結させ、次世代の実験 (Belle II 実験) に向けた加速器・測定器改良を行うことは、素粒子物理学を進展させる上で重要である。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、B 中間子のタウレプトンとニュートリノへの崩壊 ($B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊) を利用して、荷電ヒッグス粒子の探索を行うことである。この崩壊は、標準模型では W 粒子を介して引き起こされる。荷電ヒッグス粒子が存在すれば、崩壊確率が標準模型の値からずれる。つまり、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の崩壊確率を精度良く測定し、標準模型の値と比較することで、荷電ヒッグス粒子の間接的探索を行う。

(2) $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の崩壊確率をより精密に測定し、荷電ヒッグス粒子への感度を向上するためには、加速器および測定器の改良が不可欠である。本研究では、B 中間子の崩壊で生成される粒子の種類を効率的に識別するために、新型粒子識別装置の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) Belle 実験で収集されたすべてのデータを用い、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の解析を行う。B 中間子は、対を成して生成される。信号と対を成して生成される B 中間子を、ハドロンへの崩壊を用いて再構成し、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊に含まれるニュートリノを質量欠損として捕える。ニューラルネットワークを用いた新しい背景事象分離法を確立し、これまでの約 2 倍の精度で崩壊確率を測定する。また、得られた崩壊確率から、荷電ヒッグス粒子の寄与について制約を得る。

(2) Belle II 実験に向けて、新型粒子識別装置の主要構成要素である石英輻射体の研究開発を行う。粒子識別は、石英輻射体中で荷電粒子が発するチェレンコフ光を捕えることで行う。チェレンコフ光を光路のゆがみな

く高い効率で伝搬させるための光学性能の検証を、レーザーを用いた測定系を構築して行う。また、全長 2.7 m 程を実現するための接着手法確立を行う。

4. 研究成果

(1) Belle 実験で収集したすべてのデータを用い、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の解析を行った。信号と対を成して生成される B 中間子を、ハドロンへの崩壊を用いて捕える手法を用いた。捕えるハドロン崩壊の事象数を、ニューラルネットワークを用いて効率的に増やすことで、信号の検出効率を 2.2 倍に向上させた。また、これまで背景事象除去のために用いていた質量欠損分布に対する要求を緩めるといった解析手法の改良により、信号の検出効率をさらに 1.8 倍に向上させた。以上により、崩壊確率に対する感度は、以前の解析の約 2 倍に向上した。結果として、崩壊確率 $[0.72 \pm 0.27 - 0.25 (\text{stat}) \pm 0.11 (\text{syst})] \times 10^{-4}$ を得た (図 1 参照)。得られた結果を、レプトンを含んだ崩壊を用いた B 中間子タグの結果と混合し、世界最高精度の $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊確率測定値 $[0.96 \pm 0.26] \times 10^{-4}$ を得た。

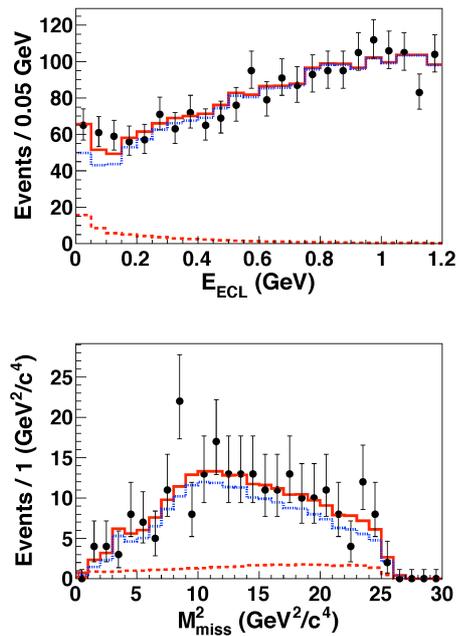


図 1: $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の信号抽出。上図は、検出されたエネルギーのうち B 中間子対の再構成に使用されない分の値を示す。下図は、ニュートリノに対応する質量欠損の値を示す。赤の点線は信号事象の成分を示し、青の点線は背景事象の成分を示す。赤の実線は、それらの和を示す。

得られた $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の崩壊確率は、標準模型の値と合致するものであった。一方で、標準模型を拡張した模型に対し、制限を得た。特に、ヒッグス二重項を二つ含む模型のうち、タイプ II と呼ばれる模型に対し、真空期待

値の比 $\tan\beta$ と荷電ヒッグス粒子質量に対する制約を得た (図 2 参照)。 $\tan\beta$ が 0(10) の領域で、質量 0(100) GeV を持つ荷電ヒッグス粒子の存在に対する強い制約を得た。

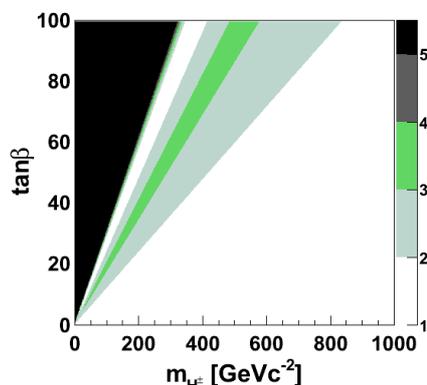


図 2 : ヒッグス二重項を二つ含む模型タイプ II における真空期待値 $\tan\beta$ 、荷電ヒッグス粒子質量 m_{H^\pm} に対する制約。色は、制約の強さを表す。色の濃い領域は、高確率で排除される。

(2) Belle II 実験において、 $B \rightarrow \tau \nu$ 崩壊の測定を精度良く行うために、信号と対を成して生成される B 中間子を効率的に捕えることは必須である。B 中間子の崩壊で放出される K 中間子と π 中間子の識別性能を向上させるために、新型の粒子識別装置の開発を行った。本装置において、粒子識別は石英輻射体で K 中間子や π 中間子が発するチェレンコフ光を用いて行われる。石英輻射体の試作機に対し、内部透過率や内部表面反射率などの光学性能の評価を行い、要求を満たす性能を持つことを確認した。また、実機に対して効率的で安定的な測定を行うための自動測定システムの構築を行った。さらに、複数の石英板を光学接着剤で接着するためのステージおよび手法を構築し、試作機の接着を成功させた (図 3 参照)。本研究により、Belle II 実験の新型粒子識別装置の量産準備が整った。

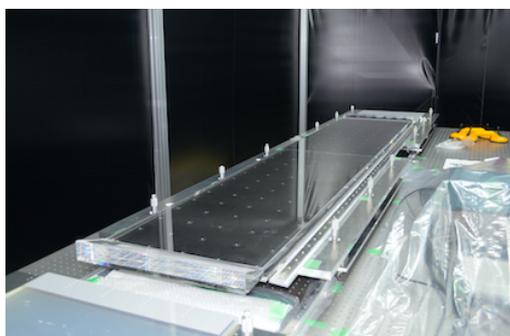


図 3 : 新型粒子識別装置に使用される石英輻射体。複数の石英板を光学接着剤で接着することで、全長 2.7 m 程を実現する。

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)

K. Hara, Y. Horii, T. Iijima, 他 178 名, Evidence for $B \rightarrow \tau \mu \nu$ with a Hadronic Tagging Method Using the Full Data Sample of Belle, Physical Review Letters, 査読有, 110 巻, 2013, 131801, DOI: 10.1103/PhysRevLett.110.131801.

[学会発表] (計 6 件)

- ① Y. Horii, TOP Counter for Particle Identification at the Belle II Experiment, The 2013 European Physical Society Conference on High Energy Physics, 2013 年 7 月 18 日-24 日, Stockholm (Sweden).
- ② Y. Horii, $B \rightarrow \tau \mu \nu$ and $B \rightarrow D^{(*)} \tau \mu \nu$ at Belle and BaBar, 14th International Conference on B-Physics at Hadron Machines, 2013 年 4 月 8 日-12 日, Bologna (Italy).
- ③ Y. Horii, $B \rightarrow \tau \mu \nu / \mu \mu \nu / e \mu \nu$ - Belle results and outlook for Belle II, 7th International Workshop on the CKM Unitarity Triangle, 2012 年 9 月 28 日-10 月 2 日, Cincinnati (USA).
- ④ Y. Horii, Measurement of $B \rightarrow \tau \mu \nu$, The 12th International Workshop on Tau Lepton Physics, 2012 年 9 月 17 日-21 日, Nagoya University (Aichi, Nagoya).
- ⑤ 堀井 泰之, 他 Belle Collaboration, Belle 実験におけるハドロンタグを用いた $B \rightarrow \tau \mu \nu$ 崩壊の解析, 日本物理学会 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 11 日-14 日, 京都産業大学 (京都府・京都市).
- ⑥ Y. Horii, Leptonic and semileptonic B decays with tau at the B factories, XIth International Conference on Heavy Quarks and Leptons, 2012 年 6 月 11 日-15 日, Prague (Czech Republic).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ

<http://www.hepl.phys.nagoya-u.ac.jp/~yhorii.nagoya/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀井 泰之 (HORII, Yasuyuki)
名古屋大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：80616839

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者