

# 論文審査の結果の要旨

氏名 金 憶凡

本論文は全体で 7 章から成り、高エネルギー加速器研究機構で行われた KEKB 加速器を用いた Belle 実験のデータを用いてタウ粒子の稀な崩壊モード $\tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} e^+ e^- \nu_{\tau}$ および $\tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \mu^+ \mu^- \nu_{\tau}$ を探索し、その崩壊分岐比を測定することが研究目的である。

第 1 章は素粒子の標準模型の説明からはじまって、本論文のテーマであるタウ粒子の崩壊現象が Electroweak のみならず QCD の寄与も大きいという視点から研究の意義を簡潔に述べている。それを踏まえて、第 2 章では $\tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} e^+ e^- \nu_{\tau}$ および $\tau^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} \mu^+ \mu^- \nu_{\tau}$ の崩壊分岐比を測定する動機を標準模型とそれを超えた新しい素粒子物理（以下、新物理）の 2 つの視点から述べている。GeV オーダーのエネルギー領域で、タウ粒子の崩壊分岐比を预言するために Resonance Chiral Theory と呼ばれる理論の枠組みを使うことができ、预言値と本論文の測定値を比較することで、理論を検証することができる。稀な崩壊の現象のため、標準模型の预言する数以上の事象を観測できれば新物理の発見に繋がる。また、世界中で研究されている Lepton Flavor Violation (LFV) の探索において、タウ粒子を使った探索は大きな柱の 1 つである。本論文の崩壊モードは LFV 探索において背景事象になるため、精度よく崩壊分岐比を測定することでこの背景事象をきちんと評価できる。本測定は LFV 探索の重要なインプットとなる。

第 3 章はデータ取得に用いた KEKB 加速器と Belle 実験・検出器を簡潔に述べた後、本解析で使った実験データとモンテカルロシミュレーションデータ (MC データ) について詳細に説明している。Belle 実験では合計約  $1 \text{ ab}^{-1}$  のデータを取得したが、本解析では  $\Upsilon(4S)$  の質量になるエネルギーのデータのうち、崩壊点の位置測定の性能が向上したシリコン検出器で取得したデータのみを使っている。使ったデータは  $562 \text{ fb}^{-1}$  で、タウ粒子ペア事象 ( $e^+ e^- \rightarrow \tau^+ \tau^-$ ) で約 5 億 1700 万事象に相当する。MC データは実験データの約 10 倍の量を生成し、データ解析に用いている。

第 4 章では  $562 \text{ fb}^{-1}$  という大量のデータからどのように稀な崩壊現象を選択したか、詳しく説明している。また、Belle 実験グループが全体で行っている MC 補正では不十分な補正については論文提出者がデータを用いて算出しており、その詳細も議論している。プレ選択では、4 本の荷電粒子を含む事象を選択するなどして、タウ粒子ペア事象を残し、B 中間子ペア事象などを大幅に削減した。本選択では、注目しているタウ粒子の崩壊を特徴づける変数を複数使って Electron モードと Muon モードそれぞれで選択条件を最適化した。Electron モードでは  $M(\pi ee)$  分布、Muon モードでは  $R_{xy}$  分布を使ってシグナル領域を設定することを決定し、 $S/\sqrt{(S+B)}$  が最大になるようなカット値を求めると最終的なシグナル領域を設定した。

第 5 章では背景事象の見積りに MC データを使うことができるかどうかについて議論している。第 4 章の研究からシグナル領域のみならずサイドバンド領域も設定し、その背景事象成分がシグナル領域と類似している点に注目して、この領域で MC データの実験データ再現性を評価した。第 4 章の本選択で用いたすべての変数の分布を確認し、MC データが実験データを再現していることを示した。この結果を受け、MC データを用いて、シグナル領域における背景事象の数、シグナル事象の数や選択効率などを算出した。

第 6 章では背景事象の確定後、はじめて実験データのシグナル領域を確認し、第 5 章で見積もった背景事象数などと合わせて観測した事象数から崩壊分岐比を測定することを説明している。また、各系統誤差の算出についても詳細に説明している。Electron モードは背景事象数と比較して有意にシグナル事象が発見されたため、崩壊分岐比(B)を測定した。 $B(\tau^- \rightarrow \pi^- e^+ e^- \nu_\tau) = (2.24 \pm 0.27 \pm 0.30) \times 10^{-5}$ ,  $B(\tau^+ \rightarrow \pi^+ e^+ e^- \nu_\tau) = (2.40 \pm 0.27 \pm 0.29) \times 10^{-5}$  で、電荷の違いで有意な差はみられず、これらを合わせて  $B(\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^- \nu_\tau) = (2.33 \pm 0.19 \pm 0.30) \times 10^{-5}$  を得た。また、Muon モードは背景事象数と観測数に大きな差が見られなかったため、上限値  $B(\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \mu^+ \mu^- \nu_\tau) < 0.55 \times 10^{-5}$  (90%CL) を得た。

第 7 章は本論文の最終章で、Electron モードと Muon モードの結果がまとめられている。また、Belle 実験のアップグレード実験である Belle II 実験における展望を議論し、 $50 \text{ ab}^{-1}$  のデータがあれば、発見できなかった Muon モードについてもさらに 1 桁下まで探索可能であることを議論している。

本論文は、Belle 実験の大量データを活かしたタウ粒子の稀崩壊モード  $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm e^+ e^- \nu_\tau$  および  $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm \mu^+ \mu^- \nu_\tau$  の世界初の探索の研究である。本論文では Electron モードを発見し、崩壊分岐比を測定した。一方、Muon モードは発見には至らなかったが上限値を設定することに成功した。これらは近い将来 Particle Data Group のデータベースに掲載されると考えられる新しい結果であり、十分に学術的価値がある。

なお、本論文の研究は、Belle 実験で取得したデータを用い、Belle 実験の他のメンバーとの共同研究であるが、本論文のデータ解析は論文提出者が 100% 主体となって行い、結果を出したものである。よって、この共同研究の成果には論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上のことから、論文提出者は博士（理学）の学位を受けるにふさわしい学識をもつものと認め、審査委員全員で合格と判定した。