



Title	Search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Decay with 3.3×10^{19} Protons on Target at the J-PARC KOTO Experiment
Author(s)	白石, 謙太
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/103103
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (白石 誠太)	
論文題名	Search for the $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ Decay with 3.3×10^{19} Protons on Target at the J-PARC KOTO Experiment (J-PARC KOTO実験における 3.3×10^{19} 標的衝突陽子を用いた $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の探索)
<p>論文内容の要旨</p> <p>本論文では、中性K中間子の稀崩壊$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$を探査した。$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$崩壊はCP対称性を破る崩壊で標準模型では強く抑制されている。標準模型での崩壊分岐比の予測値は3×10^{-11}で、分岐比の予測に対する理論的な不定性も2%程度と小さい。そのため、$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$の分岐比を実験で測ることで、測定値と標準模型の予測値とのずれから、標準模型を超えた新たな物理の寄与を調べることができる。</p> <p>大強度陽子加速器施設J-PARCで行われているKOTO実験は、現在$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$崩壊を探査している世界で唯一の実験である。先行研究である2016-2018年に取得したデータの解析では、$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$信号の観測が期待される物理量の領域（信号領域）内に3事象が観測された。観測された事象数は、背景事象の予測値1.22 ± 0.26と統計的に無矛盾であると結論づけられた。先行研究では、K^\pm背景事象とビームハロー$K_L \rightarrow 2\gamma$背景事象という新たな背景事象源の存在が明らかにされた。これらの背景事象を削減することが、以降のデータ解析で$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$崩壊を探査するための最重要課題となった。</p> <p>本博士論文の研究では、まずK^\pm背景事象削減のために新たな荷電粒子検出器、Upstream Charged Veto (UCV)を開発した。2021年にKOTO検出器最上流部にUCVを設置し、標的照射陽子数3.3×10^{19}のデータを取得した。本論文ではこのデータを用いて$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$崩壊を探査した。本データ取得では、$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$信号のサンプルと同時に$K^\pm$事象サンプルを収集した。$K^\pm$事象サンプルを用いてUCVの不感率を$(7.8^{+0.6}_{-5.2}) \times 10^{-2}$と見積もり、$K^\pm$背景事象を約1/13に削減した。また、ビームハロー$K_L \rightarrow 2\gamma$背景事象についても、新たに開発された解析手法を用いて背景事象を約1/8に削減した。これらの改善により、単一信号事象感度$(9.31 \pm 0.06_{\text{stat}} \pm 0.83_{\text{syst}}) \times 10^{-10}$で信号領域内に予測される背景事象数を合計で$0.252 \pm 0.055_{\text{stat}}^{+0.052}_{-0.067_{\text{syst}}}$と見積もった。$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$信号の事象選別条件を決定し信号領域内を開示した結果、事象は観測されなかった。この結果から、$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$崩壊の分岐比に対する上限値$2.2 \times 10^{-9}$を90%信頼水準で得た。これは、それまでの上限値を約1.4倍更新し、現在最も厳しい制限となった。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (白石 謙太)		氏名
論文審査担当者	主査	教授
	副査	教授
	副査	准教授
	副査	准教授
	副査	准教授

論文審査の結果の要旨

J-PARC KOTO 実験の目的は、中性長寿命 K 中間子が、 π^0 中間子とニュートリノと反ニュートリノとなる崩壊、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊を探査し、標準理論を超える新しい物理を探査することである。この崩壊の分岐比は、素粒子の標準理論によると 3×10^{-11} と稀であり、未だ観測されていない。素粒子標準理論を超える新物理により、大きな分岐比が予想され、これを捉えることが目的である。

白石謙太氏は、KOTO 実験の先行研究である 2016 年から 2018 年に取得したデータの解析において、最大の背景事象であった荷電 K 中間子背景事象を、同氏が開発した検出器により削減した。KOTO 実験にこの新検出器を導入し、2021 年の 2/9 から 4/7 の期間と、5/11 から 6/30 の期間に同氏が中心となり KOTO 実験でのデータを取得した。このデータを解析し、背景事象数を見積もり、信号事象を選択する条件と決めた。この結果、荷電 K 中間子背景事象を従来の 1/13 に削減できた。信号領域での背景事象数の予測が 0.25 事象に対し、観測事象数は 0 であった。この結果、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比の上限値を 2.2×10^{-9} と決定し、世界で最も厳しい制限を与えた。またこの実験結果を解釈することで、 $K_L \rightarrow \pi^0 X$ 崩壊についても世界で最も厳しい制限を与えた。白石謙太氏は荷電 K 中間子背景事象の削減とこの背景事象数の系統誤差を含む評価に加え、信号事象の感度の系統誤差を含む見積もり、 $K_L \rightarrow \pi^0 X$ 崩壊の解析を主に行った。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。