

J-PARC KOTO 実験 - 中性 K 中間子稀崩壊の探索

KOTO 実験 (K0 at Tokai の略) は、J-PARC のハドロン実験施設で行われている中性 K 中間子の稀崩壊を探索する実験で、国内 (KEK、大阪大、山形大、防衛大、岡山大、佐賀大)、国外 (米国、台湾、韓国) からの参加者約 60 名から成る国際共同実験である。

KOTO 実験の目的は、粒子と反粒子の性質の違いによって生じる中性 K 中間子の非常に稀な崩壊パターン： $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ を測定し、素粒子の標準模型を超える新しい物理を探索することである。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比の理論的不定性は小さく (2%程度)、もし標準模型の予想とは異なることを実験で確立できれば新しい物理効果の発見と言える。この崩壊パターンは三百億回の崩壊に対して一度起こる (分岐比 3×10^{-11}) と予想されているが、標準理論におけるクォーク世代間の階層構造によって強く抑制された結果なので、異なる枠組みの新しい物理が存在すれば、数倍あるいは数十倍多く崩壊する可能性がある。

KOTO 実験では、ビームとして飛来する中性 K 中間子 (K_L) が円筒型の測定装置 (図 1) 内で崩壊し、中性パイ中間子 (π^0) がさらに崩壊して現れる二つの γ 線を観測することによって信号を捉える。下流に設置した電磁カロリメータは二つの γ 線のエネルギーや位置を測定し、事象を再構成する。崩壊領域を囲む検出器群により、この崩壊に伴う他の粒子が何も出ていないことを確認する。

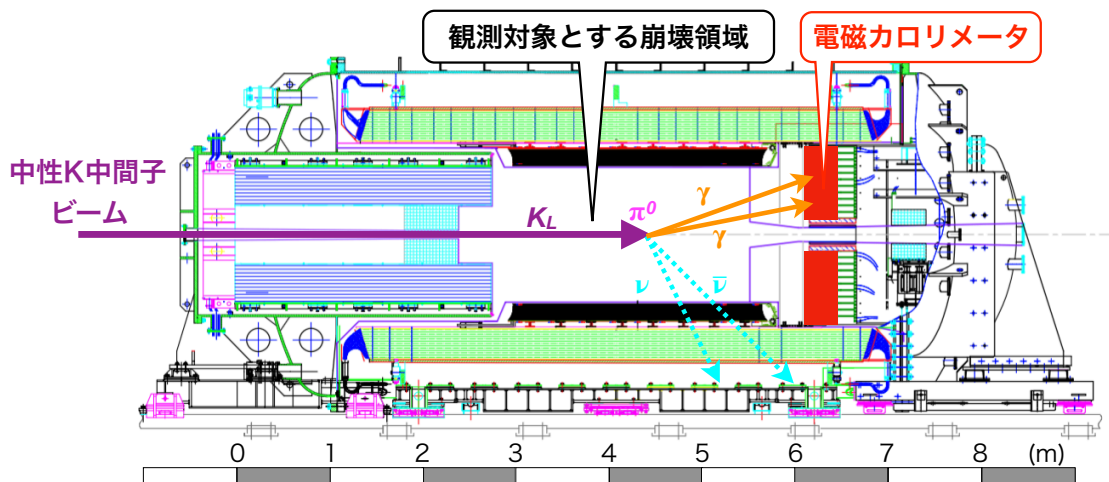


図 1: KOTO 実験測定装置の主要部の断面図。ビーム進行方向を Z 軸としている。

2016年から2018年に収集したデータを解析した結果、信号領域内に4イベントが残った。このイベントが真の信号なのか、背景事象によるものかを慎重に確認してきた。イベント選別条件に誤りがあった1イベントを除き、検出器の性能等に異常が無かったことを再確認した。

背景事象に関しては、中性K中間子崩壊や中性子起因のイベントなどで新たな背景事象は無かった。一方、中性ビーム中の荷電K中間子の $K^{+(-)} \rightarrow \pi^0 e^{+(-)} \nu$ 崩壊が背景事象になる可能性があることがわかった。 $K^{+(-)} \rightarrow \pi^0 e^{+(-)} \nu$ 崩壊の寄与を確定するためには、荷電K中間子のフラックスを実測する必要があるため、2020年5月から6月のビーム運転時にデータ収集を行った。 $K^{+(-)} \rightarrow \pi^0 \pi^{+(-)}$ 崩壊から生成された2個の γ 線と荷電 π 中間子を電磁カロリメータで検出し、図2に示されているようにK中間子を再構成した。図中に青線で示されている四角形の信号領域に847イベントが得られ、GEANT3を用いたビームラインシミュレーション計算から予測されている281イベントの3倍になることが確認された。

この結果はKOTO実験が2016年から2018年に収集したデータの3イベントが荷電K中間子の崩壊による背景事象として予想される数を有意に上回らないことを意味する。現在、荷電K中間子による背景事象を除去するための検出器を製作中であり、2021年1月に予定されているビーム利用前に設置する予定である。今までの解析結果をまとめた論文を投稿する準備を行なっている。

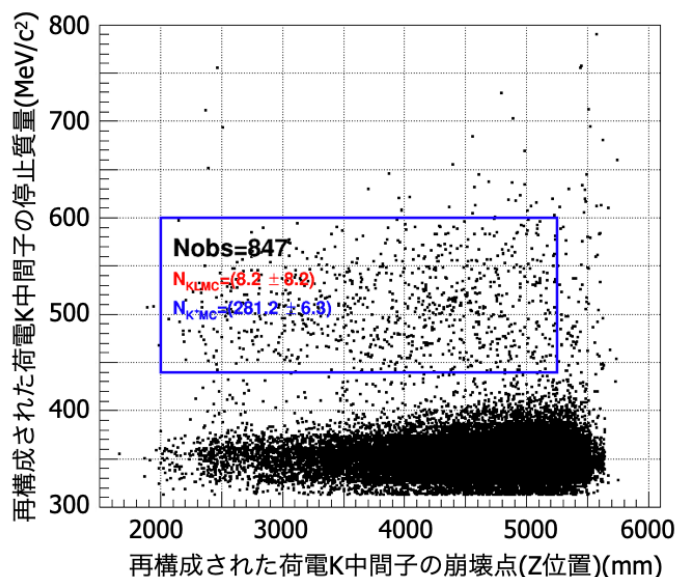


図2：2020年に収集した荷電K中間子データの解析結果。図中に青線で示されている四角形の信号領域に、ビームラインシミュレーション計算結果より3倍多くK中間子が確認された。