素粒子原子核研究所活動報告 KL 崩壊グループ　　2021 年 7 月 2 日

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：$K_L \to \pi^0 \nu\nu$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。$K_L \to \pi^0 \nu\nu$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。

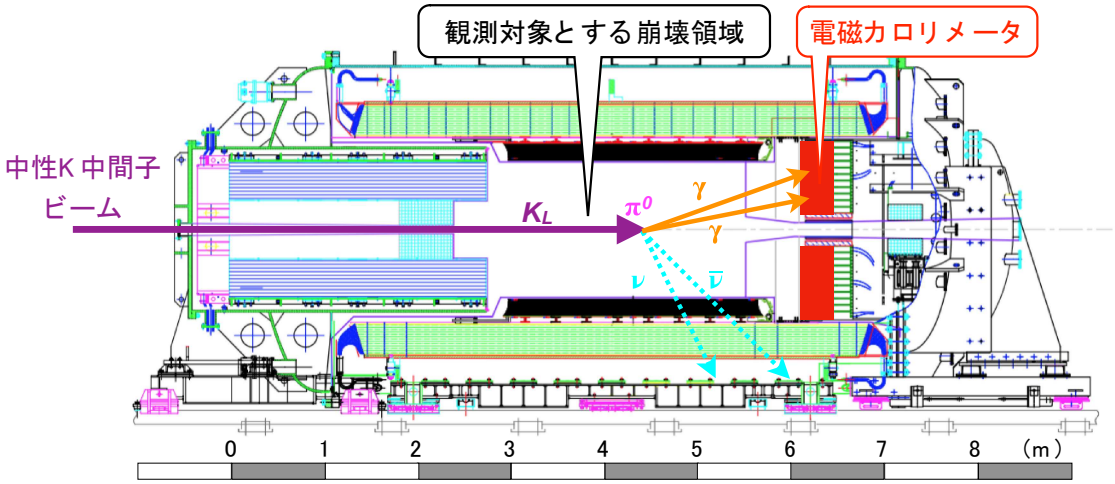

図 1: KOTO 実験測定装置の主要部の断面図。ビーム進行方向を Z 軸としている。

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 $K^{+(-)}\rightarrow\pi^0e^{+(-)}\nu$ 崩壊が背景事象になる可能性があるとわかり、2020 年 5 月から 6 月に荷電 K 中間子のデータを収集し、解析を行ことで背景事象への寄与を算出した。その結果、荷電 K 中間子を起因とする背景事象が最大の寄与であることがわかり、また 2016 年から 2018 年のデータ解析で残った 3 イベントは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明らかとした。この解析結果をまとめた論文は Physical Review Letters 誌に掲載*され、注目論文であることを示す Editor's Suggestion にも選ばれている。(*doi:10.1103/PhysRevLett.126.121801)

KOTO 実験では、さらなる感度向上のため荷電 K 中間子による背景事象を除去するための検出器を新たに開発し、2020 年 12 月に測定装置への組み込みを完了した。引き続き 2021 年 2 月からデータ収集を行っており、2021 年 6 月までに約 3.8E+19 protons-on-target の物理データを収集した。現在、2019 年以降の収集データと合わせ、鋭意解析を進めている。

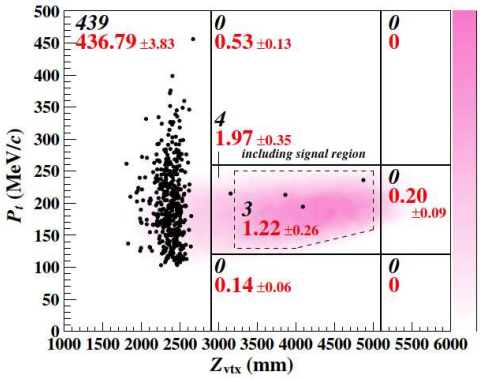

図 2：2016 年から 2018 年に収集したデータの最終結果。横軸が再構成された π^0 の崩壊点、縦軸が π^0 の横方向運動量を示している。図中の中央点線の信号領域に 3 イベント観測されたが、解析の結果、背景事象の予想数を有意に上回らないことを明らかとした。

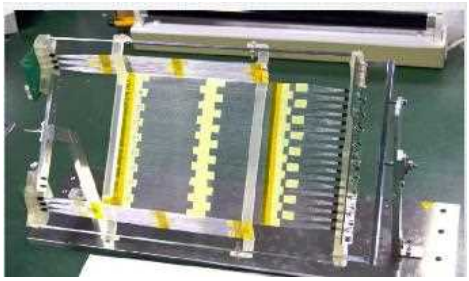

図 3：荷電 K 中間子除去のために新たに開発された Upstream Charged Veto 検出器(UCV 検出器)の写真。高レートのビームコア領域においても高効率で荷電粒子を検出できるよう設計されている。