

J-PARC KOTO 実験 - 中性 K 中間子稀崩壊

J-PARC のハドロン実験施設で KOTO 実験 (K0 at Tokai の略) を行っています。国内 (KEK、大阪大、京都大、山形大、防衛大、岡山大、佐賀大) と国外 (米国、台湾、韓国、ロシア) から合わせて 69 名が参加しています。

KOTO 実験の目的は、物質と反物質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す。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比の理論的不定性は小さく (2%程度)、もしも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ます。三百億回に一度 (3×10^{-11}) と予想される非常に小さい分岐比、すなわち稀な崩壊、は小林・益川行列の示すクォーク世代間階層構造によるものです。新しい物理に起因する物質と反物質の違いによって、数倍あるいは数十倍多く崩壊する可能性があります。

KOTO 実験では、**細く絞った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、中性のパイ中間子 π^0 がさらに崩壊して二つの γ 線が出ます。ニュートリノ ν は検出できません。二つの γ 線を下流に設置した**電磁カロリメータ**で測定し、事象を再構成します。**崩壊領域を検出器群で囲んで密閉し**、この K 中間子崩壊から他の粒子 (γ 線や荷電粒子) が何も出ていないことを確認します。

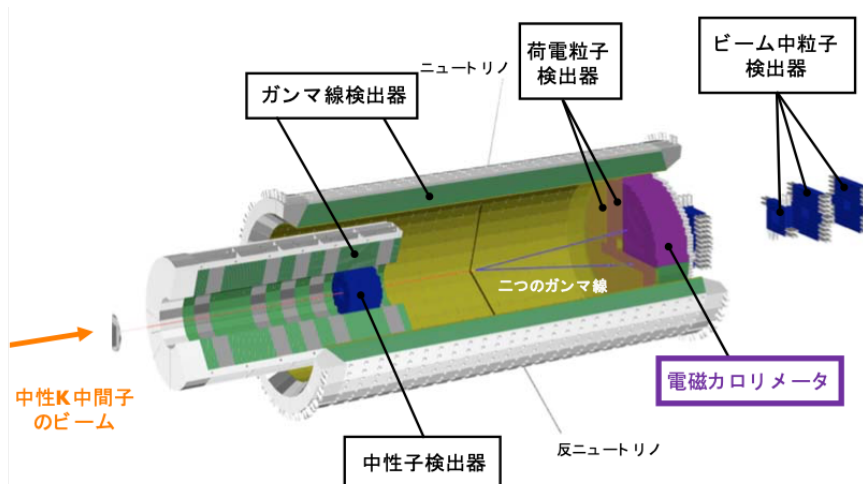


図 1: KOTO 実験の測定装置の概略図

KOTO 実験は 2015 年のデータの解析結果： $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ 崩壊分岐比の上限値 3×10^{-9} を 2019 年 1 月に Physical Review Letters 誌に出版しました。その 1.4 倍に相当するデータを 2016 年から 18 年にかけて取得し、解析が進行中です。

2018 年夏から秋にかけて測定装置の大幅な改良を行いました。ビーム中に存在する中性子が電磁カロリメータに直接入射し、複数回の反応を通して二つのシャワーをつくり π^0 からの二つの γ 線と見紛う背景事象を削減するため、カロリメータでの γ 線と中性子の分離の向上を目指しました。 γ 線による電磁シャワーと中性子によるハドロンシャワーでは後者がより奥の方で発達します。カロリメータを構成する無機シンチレータ：undoped CsI 結晶の発光をその下流側の光電子増倍管 (PMT) だけでなく上流側の MPPC センサーからも読み出し、それらの時間差からシャワーの発達を再構成できるようにしました (図 2 左)。具体的には、6mm 角の MPPC を 4080 個、2700 本の結晶の前面に接着し (図 2 右)、grouping により 256 チャンネルで読み出します。

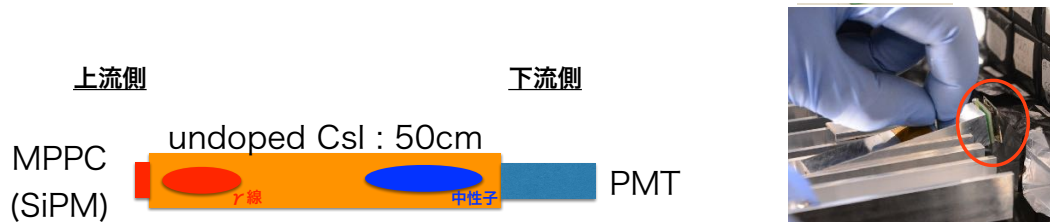


図 2: 結晶の新たな読み出し方法 (左); MPPC を結晶の前面に接着する作業 (右)

2019 年 2 月からのビームタイムで性能評価を行っています。期待通り、9 割の γ 線を認識する解析条件で中性子を 35 分の 1 に抑制できています。

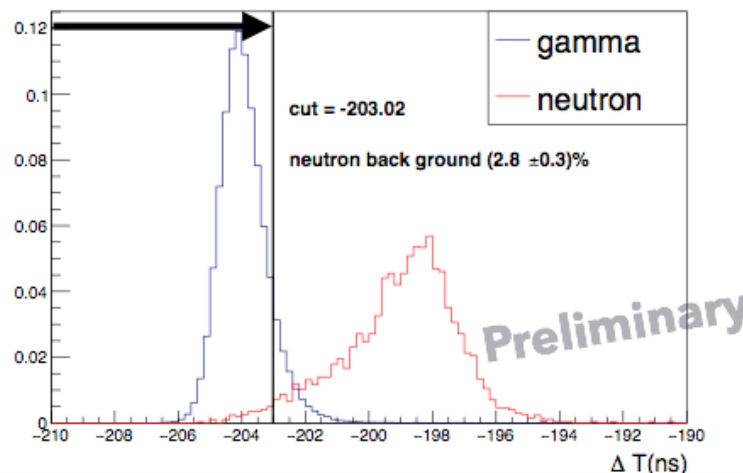


図 3: 結晶の読み出し時間差による γ 線 (gamma) と中性子 (neutron) の分離