

J-PARC E14 KOTO 実験

J-PARC ハドロン実験施設で、E14 実験（通称 KOTO 実験：K0 at Tokai の略）を行っています。この実験には、国内（KEK、大阪大、京都大、山形大、防衛大、岡山大、佐賀大）、海外（米国、台湾、韓国、ロシア）から合わせて約 60 名が参加しています。

KOTO 実験の目的は、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、素粒子の標準模型の枠組を超える新しい物理の存在を探索することです。今まで様々な実験結果のほぼすべてをよく説明してきた標準模型の枠組みで、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の分岐比の理論的不定性は小さく（2%程度）、これほど良い精度で計算できる事象は他にありません。分岐比が理論の予想と異なることを実験で確立できれば、迷いなく新しい物理効果の発見と言えるでしょう。 3×10^{-11} と予想される非常に小さい分岐比は標準模型独特のクォーク世代間階層構造によるものなので、それを 10 倍以上大きくする新しい物理の存在は大いに期待されます。

KOTO 実験では、**ビームとして飛来する中性 K 中間子**が円筒型の測定器（図 1）内で崩壊し、生まれた π^0 がさらに崩壊して出る二つのガンマ線を**電磁カロリメータ (CsI 結晶)**で捉えることで事象を再構成します。他に検出できる粒子（ガンマ線や荷電粒子など）が何も出ないことも信号の特徴で、高い検出効率を持つ**崩壊領域を囲んだ測定器群**でそのことを保証します。

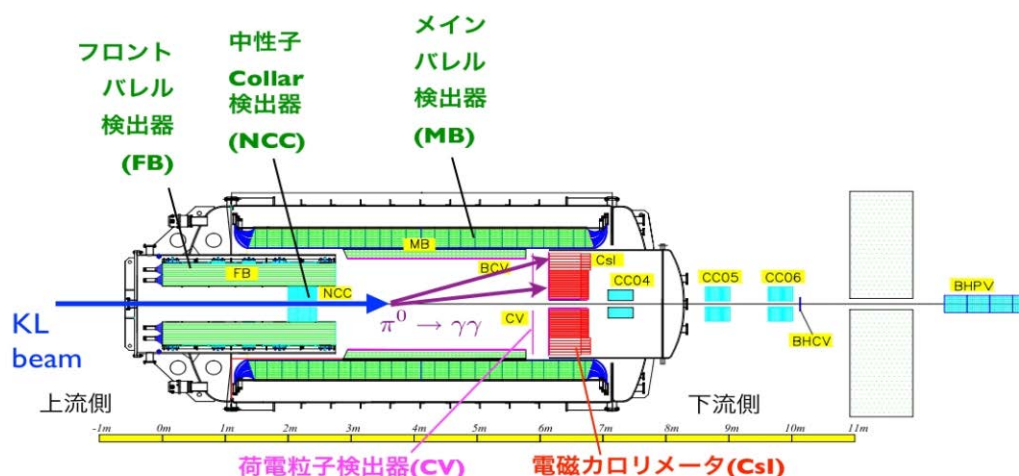


図 1. KOTO 検出器の平面図

KOTO 実験は最初の物理ランとして、2013 年 5 月に 100 時間データを収集し、過去に行われた実験の世界記録と同程度の感度を達成しました。この結果は 2017 年 2 月に “Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP)” 誌に出版されました (PETP 2017, 021C01)。

その後、2013 年のデータ解析で現れた背景事象を削減するための検出器の改良作業を行いました。そして、2015 年 4 月から物理データの取得を再開し、2015 年 12 月までに 2013 年度の 20 倍相当のデータを蓄積しました。2013 年データにおける主な背景事象の一つは、ビーム中に存在する中性子が電磁カロリメーターに直接入射し複数回の反応を通して 2 つのクラスターを作るという事象でした(図 2 参照)。この背景事象についての理解を深めるために、1cm 長のアルミニウムの標的をビーム中に挿入したデータ取得も 2015 年に行いました(図 3 参照)。これにより、ビーム中の中性子がアルミニウム標的で散乱して電磁カロリメーターに入射するといった事象を効率的に集めることが出来ました。このデータを使って、 γ 線と中性子の分離方法の改良を行い、シグナルの検出効率を同程度に保ったまま、中性子事象を 4 分の 1 に抑えることに成功しました。また、詳細な解析の結果、2015 年データには信号候補事象が一つもないことを確認し、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊の上限値として 3×10^{-9} という値を得ることが出来ました。(図 4 参照)。これにより、これまでの世界感度を 10 倍更新することが出来ました。この結果は 2018 年 7 月に行われた高エネルギー物理学国際会議「ICHEP2018」で発表しました。

KOTO 実験は 2016 年以降も背景事象の削減のための検出器の改良を重ねつつ物理データの取得を続けており、2016-2018 年に 2015 年データの 1.5 倍に相当するデータを取得しました。これらのデータ解析は精力的に進められています。また、2018 年夏から冬にかけては電磁カロリメーターの大幅な改良を行い、 γ 線と中性子の分離のさらなる向上を目指します。



図 2 中性子背景事象の模式図

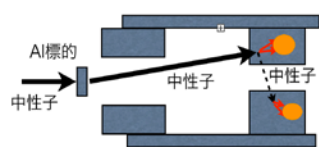


図 3 Al 標的挿入時の模式図

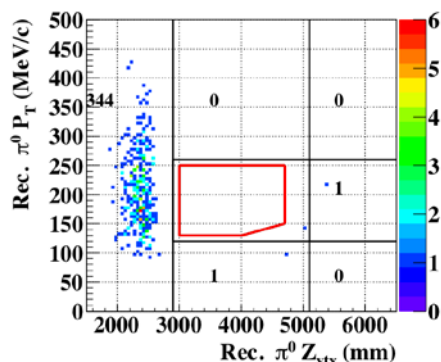


図 4 2015 年の解析結果。赤線の内側が信号領域である。