

# 研究概要

大阪大学大学院 北川 歩

## 1 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ 崩壊と KOTO 実験

初期の高温の宇宙では、粒子と反粒子が対生成により等量生成される。しかし、膨張して冷えた現在の宇宙にはほとんど反粒子は残っておらず、粒子と反粒子の対称性（CP 対称性）が破れている。現在の素粒子物理学の標準的な理論的枠組み（標準理論）にも CP 対称性の破れが組み込まれているが、物質優勢の宇宙を説明するには破れの大きさが小さく [1]、標準理論を超えた機構（新物理）が必要である。標準理論によると、中性で寿命の長い K 中間子（ $K_L$ ）は稀に、1つのパイ中間子（ $\pi^0$ ）と2つのニュートリノ（ $\nu \bar{\nu}$ ）に崩壊する（ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$ ）。これは CP 対称性を破る崩壊である。標準理論から予測される、この崩壊が起きる確率（崩壊分岐比）は 300 億回に 1 回と非常に小さく、予測精度も 2% と精密である [2]。  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊の崩壊分岐比を測定し、標準理論から予測される分岐比から僅かでも乖離があった場合、ただちに新物理の存在の証拠になる。この崩壊はこれまで行われた実験ではまだ観測されていない。茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設（J-PARC）を用いた KOTO 実験は、この  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊を探索している。KOTO 実験グループは、2015 年に取得したデータの解析により、 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊の崩壊分岐比に、現在の世界記録である、 $3 \times 10^{-9}$  (90% 信頼度) [3] という上限値を与えている。2016～2018 年に取得したデータの解析では、さらに探索感度を上昇させたものの、以降で説明するような、それまで考慮していなかった新たな背景事象（ $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  事象以外の事象）を発見したため、本研究で削減した。

## 2 KOTO 実験の概要

次に  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  事象の検出方法について述べる。J-PARC で 30 GeV まで加速した陽子ビームを金の標的に当て、 $K_L$  を含む 2 次粒子を発生させる。その下流に 20 m のビームラインを用意し、コリメータで粒子を 8 cm 角の細いビームに絞りつつ、途中の電磁石で荷電粒子を排除する。短寿命の粒子は崩壊してしまうので、中性で長寿命な粒子、 $K_L$ 、中性子、ガンマ線（ $\gamma$ ）がコリメータ下流の KOTO 検出器に入射する。図 1 に KOTO 検出器の概要図と  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊の例を示す。 $K_L$  は崩壊領域で崩壊し、崩壊した後の粒子を観測することで  $K_L$  の崩壊を捉える。 $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊では、 $\pi^0$  が崩壊してできた 2 個の  $\gamma$  を電磁カロリメータで検出する。ニュートリノは観測されない。崩壊領域全体をその他の検出器（Veto 検出器）で取り囲み、もし余分に粒子を検出したらその崩壊事象は背景事象として排除する。

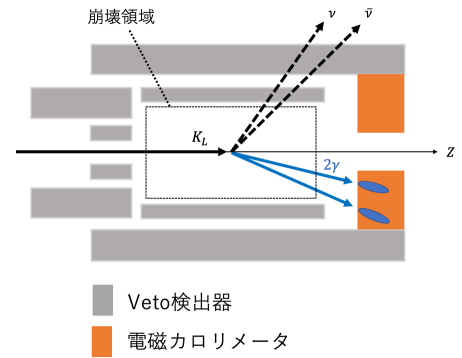


図 1: KOTO 検出器の概要図と  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊

## 3 荷電 K 中間子による背景事象

上で述べたように、ビームに含まれるほとんどの荷電粒子は電磁石によって排除される。しかし、図 2 に示すように、ビーム中の  $K_L$  が KOTO 検出器上流部のコリメータに当たり、荷電交換反応を起こして荷電