

中性K中間子の稀崩壊で探る標準理論を超える新しい物理

Search for New Physics Beyond the Standard Model with Rare Neutral Kaon Decays

山中 卓 (YAMANAKA TAKU)

大阪大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

素粒子の標準理論を超える新しい物理による、粒子・反粒子の対称性の破れを探るため、その寄与が見えやすい、KL中間子の稀な崩壊を探索する。そのために、J-PARC大強度陽子加速器を用いる新たな実験装置を作り上げ、データ収集を開始した。

研究分野：素粒子（実験）

科研費の分科・細目：物理学・素粒子、原子核、宇宙線、宇宙物理

キーワード：素粒子（実験）、中性K中間子、CP対称性の破れ

1. 研究開始当初の背景

宇宙が始まったとき、宇宙には粒子と反粒子が同じ数だけ作られた。しかし、反粒子は現在ほとんど残っていない。これは、粒子と反粒子がわずかに異なる挙動をするからである。これをCP対称性の破れと言う。実験室ではCP対称性の破れはK中間子やB中間子で発見され、小林・益川によって理論的に説明された。しかし、現在の素粒子の標準理論ではまだCP対称性の効果が小さく、宇宙から反粒子が消えたことを説明できない。したがって、宇宙の粒子・反粒子のアンバランスは、標準理論を超える新しい物理によるCP対称性の破れが生んだはずである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CP対称性を破る、標準理論を超えた新しい物理を探ることである。

3. 研究の方法

CP対称性を破る新しい物理の現象を探るために、中性のK中間子が中性の π^0 中間子とニュートリノ対に壊れる崩壊を用いる。標準理論によればこの崩壊の分岐比は 3×10^{-11} と低く、その理論的不確定性も2~3%と小さい。しかし、超対称粒子や第4世代のクォークなど、新しい物理による粒子がこの崩壊に寄与すると、崩壊分岐比が大幅に大きくなる可能性がある。したがって、この稀な中性K中間子の崩壊を、標準理論で予測しているレベル

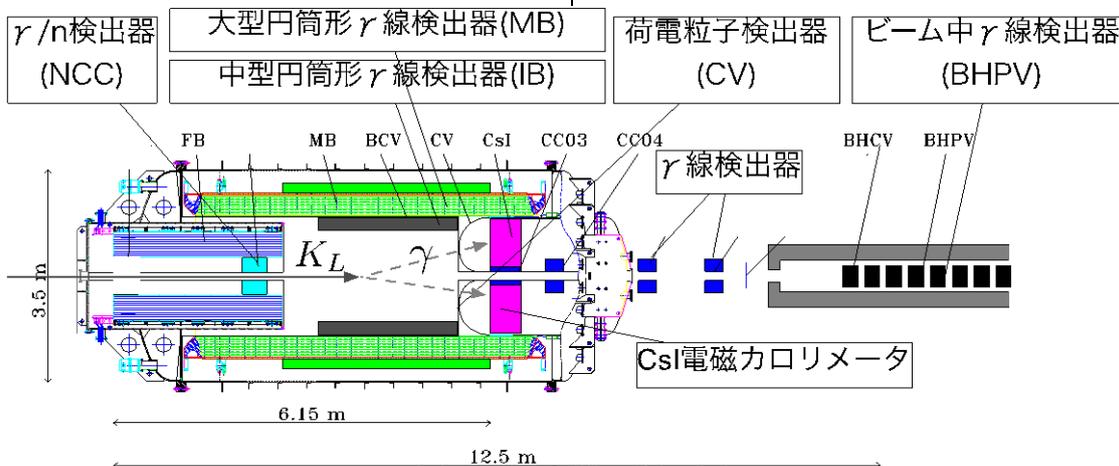


図1：測定器の断面図

まで探索し、その分岐比を測定する。

稀な崩壊を観測するために、茨城県東海村にあるJ-PARC大強度陽子加速器で加速された陽子を標的に当て、大量のK中間子のビームを作る。目的とする崩壊の特徴は、中性の π^0 中間子が壊れてできる2つのガンマ線だけが観測されることである。その他の崩壊は、荷電粒子か4個以上のガンマ線を含む。従って、図1のようにK中間子が崩壊する領域の下流に電磁カロリメータを設置し、2個のガンマ線のエネルギーと当たった位置を測る。また崩壊領域全域を荷電粒子とガンマ線検出器を覆い、余分な粒子を出す他の崩壊を排除する。

ビームと測定器の間の不要な物質質量を省いてバックグラウンドを抑えるために、真空容器の中にほとんどの測定器を設置する。これらの測定器は、中央部の円筒と、上流部と下流部の蓋の3つの部分からなる。

4. これまでの成果

2011年度初めは、電磁カロリメータの2716本全てのCsIの結晶がちょうど下流部の円筒の中に積み上がったばかりであった。しかしJ-PARCも東日本大震災で被災したため、全ての結晶に損傷がないことをまず確認した。2012年の1月末には加速器も復旧し、2月と6月にビームを用いて電磁カロリメータの性能試験を行った。また、次の大地震に備える対策も取った。

その他の測定器も急ピッチで製作した。

電磁カロリメータに入射する荷電粒子を検出する測定器(CV)を製作し、設置した。これはわずか3mmの厚さのシンチレータでも高い検出効率が得られるように、MPPCという光学素子を用いている。

また、崩壊領域の横方向を覆う、内径2m、長さ5mの大型円筒形ガンマ線検出器(MB)を中央部の直径3.5mの真空容器の中に取り付けた。

また、ガンマ線と、ビームの周りに広がって飛んで来る中性子を崩壊領域の上流部で検出するための新たな検出器(NCC)も製作した。これにはCsIの結晶からの光を波長変換ファイバーを用いて読み出すという新たな手法を用いている。この測定器は、上流部の円筒形のガンマ線検出器の中に設置した。

2012年の12月には図2に示すように上流、中央、下流の3つの部分を合体させた。さらにその下流に、電磁カロリメータ中央に開けられた穴を通して逃げて来るガンマ線を検出するための測定器を設置した。

2013年1月には真空を引いて試験ランを行い、2013年5月からようやく物理解析用のデータを取得するランを開始した。しかし5日後に起きたJ-PARCで放射線の事故の

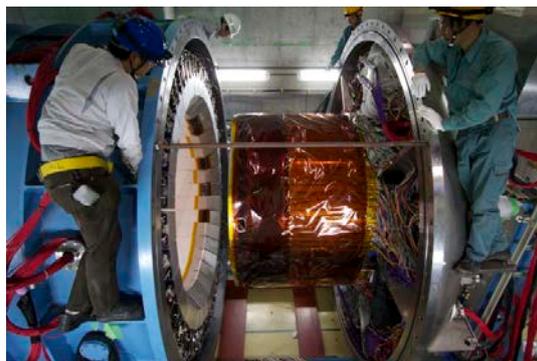


図2：中央部(左)と下流部(右)の合体

ため、2013年のデータ収集は停止した。

その後は取得したデータの解析を進め、KLが3つの π^0 中間子に壊れる事象などを用いて、測定器の較正や理解を進めている。

また、中央部の大型円筒形ガンマ線検出器の内側に入れる新たな中型の円筒形ガンマ線検出器も製作中である。

5. 今後の計画

現在J-PARCハドロンホールは、同様の事故を起こさないための対策工事を行っている。それが終了して運転の許可が出れば、データの収集を再開する。順次上がるビーム強度に対応できるように、データ収集システムなどを改良しながら、データの収集と解析を行い、標準理論を越える新しい物理の探索を進めて行く予定である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

* T. Masuda *et al.*, "A vacuum tolerant high voltage system with a low noise and low power Cockcroft-Walton photomultiplier base", Nucl. Inst. Meth. A **746**, 11-19 (2014).

* T. Yamanaka, "The J-PARC KOTO Experiment", Prog. Theo. Exp. Phys. **2012**, 02B006 1-7 (2012).

* T.K. Komatsubara, "Experiments with K-meson Decays", Prog. Part. Nucl. Phys. **67**, 995-1018 (2012).

* K. Shiomi *et al.*, "Measurement of KL0 flux at the J-PARC Neutral-Kaon Beam Line", Nucl. Inst. Meth. A **664**, 264-271 (2012).

* G. Takahashi *et al.*, "Development of a Neutral Beam Profile Monitor", JJAP **50**, 036701 1-6 (2011).

ホームページ等

<http://koto.kek.jp>