

# J-PARC E14 KOTO 実験の概要

山中 卓

J-PARC E14 KOTO 実験 実験責任者

大阪大学大学院理学研究科

2009 年 10 月 23 日

## 1 概要

J-PARC E14 KOTO 実験の目的は、粒子と反粒子の対称性の破れの、新たな起源を探ることです。

ビッグバンで宇宙ができたとき、同じ個数の粒子と反粒子の対が生まれました。しかし、宇宙の温度が次第に冷えて行くにつれて、粒子と反粒子が衝突するとそれらは消滅し、代わりに光子が生まれました。宇宙を満たしている絶対温度 2.7 度のマイクロ波は、このようにしてできた光子の残骸です。しかしこのままですと、宇宙には光子しかないはずで、ところが宇宙には物質（陽子や中性子とそれを取り巻く電子からできた原子の集まり）でできた星や惑星があり、我々のように原子が集まってできた生き物がいます。逆に、反物質（反陽子や陽電子、反原子など）は宇宙にほとんどありません。このように宇宙に物質が残ったのは、宇宙の初期に粒子と反粒子の間にわずかな違いがあったために、粒子の方が反粒子よりも少しだけ多くなった（比率で言うと、約 10 億個の反粒子に対して 10 億 + 1 個の粒子ができた）ためです。そのわずかに多かった粒子が生き残り、現在の宇宙の物質を作りました。

一般に、粒子と反粒子のこのような振る舞いの違いは「CP 対称性の破れ」と言われます。実験的には、CP 対称性の破れは 1964 年に K 中間子を用いて発見され、1973 年に小林・益川がそのメカニズムを説明する理論を提唱しました。彼らの理論はその後、米国の Fermilab とヨーロッパの CERN 研究所で行われた実験によって確認され、さらに筑波の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) や米国の SLAC 研究所などにおいて B 中間子でも確認されました。このように「実験室で観測された」CP 対称性の破れは、小林・益川によって説明され、彼らの理論は素粒子の「標準理論」に組み込まれました。この貢献により、両氏は昨年、ノーベル賞を受賞しました。

しかし、小林・益川が解明した CP 対称性の破れのメカニズムだけでは効果が小さすぎて、あいにく宇宙に物質を作ることはできません。従って宇宙の初期には、物質を作るのに寄与した、より大きな CP 対称性の破れを生む物理現象があったはずで、従って、標準理論を超えた、新しい物理による CP 対称性の破れを探ろう、というのが我々の J-PARC E14 KOTO 実験のねらいです。

J-PARC E14 KOTO 実験は、中性の K 中間子を大量に生成し、長い寿命の  $K_L$  中間子が  $\pi^0 \nu \bar{\nu}$  という 3 つの粒子に壊れるという、CP 対称性を破る崩壊現象を探ります。この崩

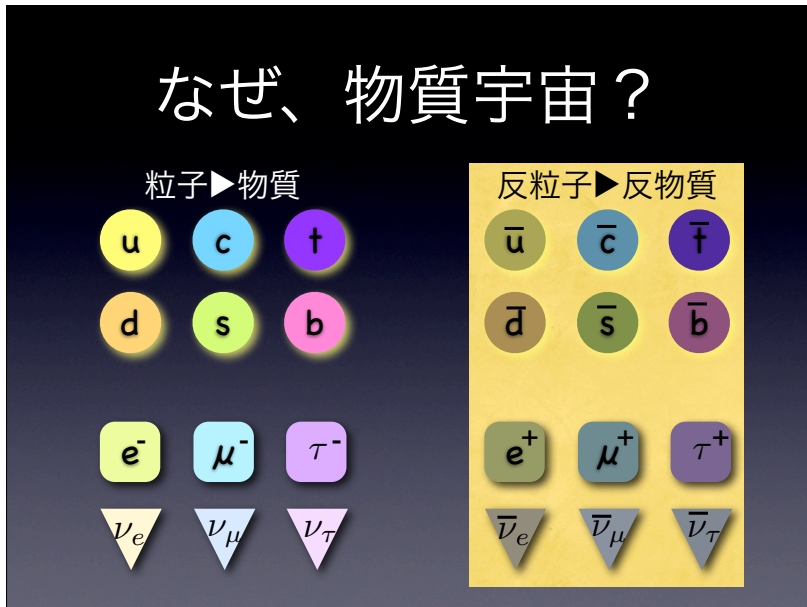



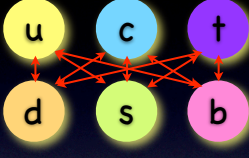


図 1: 素粒子には、クォーク、電子やニュートリノなどのレプトンがあり、これらは物質を構成する。それに対し、電荷が反対の反粒子の反クォーク、陽電子や反ニュートリノなどの反レプトンがあり、これらが集まると反物質を形成する。

## 小林益川理論



- クォーク間に働く弱い力が、粒子・反粒子の対称性を破っている
- しかし、宇宙の物質を作るには10桁ほど足りない

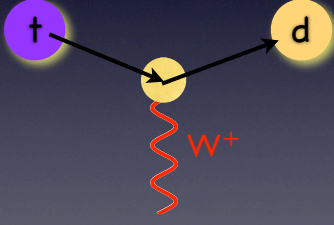


図 2: 実験室で観測された CP 対称性の破れは、小林・益川によって解明されたが、宇宙に物質を作った CP 対称性の破れの起源はまだわかっていない。

壊は標準理論では非常に起きにくく、その確率の理論的予測は約  $3 \times 10^{-11}$  です。そこで、もし測定した崩壊の確率が理論の予測からずれていると、それは新しい物理による CP 対称性の破れがある証拠になります。

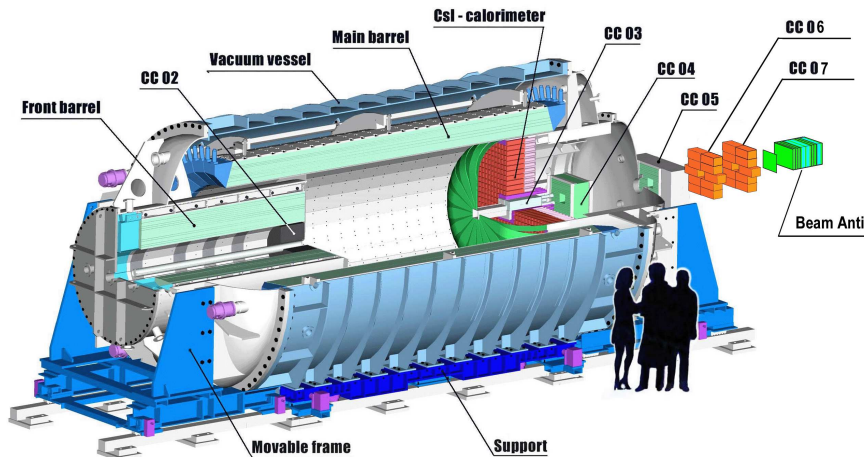


図 3: 実験装置。 $K_L$  ビームは図の左側から入ってくる。崩壊領域はガンマ線検出器で覆われており、下流の CsI カロリメータ (図中、赤で示された測定器) で  $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  崩壊からのガンマ線のエネルギーと位置を測定する。ほとんどの測定器は、真空タンク (水色) の中に収められる。

図 3 に実験装置を示します。陽子を標的に当ててできた  $K_L$  中間子の細いビームは実験装置の中を突き抜けていきます。装置の中で崩壊してできた  $\pi^0$  はすぐに 2 個のガンマ線に壊れ、下流に置かれた CsI 電磁カロリメータで観測されます。2 個のガンマ線以外に粒子があると、それは見たいシグナル事象ではない、バックグラウンド事象ですので、そうした事象を排除するために、崩壊領域は四方をガンマ線検出器で覆われています。また、種々のバックグラウンドを抑えるため、ほとんどの測定器は大きな真空容器の中に入っています。

## 2 スケジュール

J-PARC E14 KOTO 実験のために、我々は文科省の特定領域研究「フレーバー物理の新展開」の予算、および日米科学協力事業や KEK の予算を用いて実験の準備を進めてきました。実験は 2009 年 7 月に最終的な承認を得、8 月にはそれまでに準備してきたビームラインの建設を終えました。先日 (2009 年 10 月 21 日) に初めて中性 K 中間子のビームが出、22 日はビームラインの性能を調べるために種々の測定を行っています。今年は今後 11 月と 12 月に、この新しいビームラインで得られる K 中間子や中性子の量や運動量分布を測定します。また、大阪大学では CsI 電磁カロリメータに用いる約 2800 本の CsI の結晶と光電子増倍管の試験をし、読み出し装置まで含めた小規模のカロリメータを作り、ビームを用いてシステムの試験を行います。2010 年の 4 月からは約 5ヶ月かけて J-PARC において電磁カロリメータ建設を行い、10 月からのビームタイムでその性能の試験を行いま

す。2011年には、その他の測定器の建設を行い、秋からはビームを用いて実験装置全体の調整を行った後、実験のデータ収集を開始する予定です。その後は、毎年データ収集を押し進め、未知の物理による新たなCP対称性の破れを探ります。

### 3 コラボレーション

J-PARC KOTO 実験には、以下の機関が参加しています。

- 日本: 大阪大学、高エネルギー加速器研究機構、京都大学、佐賀大学、防衛大学、山形大学
- 米国: Arizona State University, Chicago University, Michigan University
- 台湾: National Taiwan University
- 韓国: Cheju National University, Chonbuk National University, Kyungpook National University, Pusan University, University of Seoul、
- ロシア: JINR

国内33名、海外29名の、比較的小規模ながらも、図4に示すように国際色豊かで、古くからのK中間子実験の専門家と元気な若い人達が多いグループです。



図 4: 2009年8月に開いたコラボレーションミーティングにて。