

<b>公募番号</b>
第1希望 :素核研 18-1
第2希望 :

## 研究歴

記入年月日(西暦) 2018年5月18日

期間(西暦)	研究歴
2013年4月～2017年9月 (千葉大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 即時ストロンチウム 90 放射能濃度測定器開発</li> <li>• J-PARC E36 実験における背景事象 <math>K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma</math> (SD)の研究および CsI(Tl)カロリメータの性能評価</li> </ul>
2017年10月～ 現在 (神戸大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• J-PARC E36 実験における <math>K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma</math> (SD)の研究</li> <li>• 地下における宇宙素粒子実験高感度化のための極低放射能技術開発</li> <li>• 暗黒物質直接探索研究(NEWAGE 実験)のための基礎研究</li> </ul>

### (1) 即時ストロンチウム 90 放射能濃度測定器開発

千葉大学博士前期・後期を通して、試料内のストロンチウム 90( $^{90}\text{Sr}$ )の放射能濃度を短時間で測定する装置開発研究に携わった。特にこの研究は千葉大で製造開発しているシリカエアロゲルによるチェレンコフ検出器(AC)を、食品汚染検査に応用することで社会貢献する。ポイントは屈折率 1.04 のシリカエアロゲルを用いたため、海産物に多く含まれるカリウム 40( $^{40}\text{K}$ )からの  $\beta$ 線(最大 1.3 MeV)でチェレンコフ放射せず、 $^{90}\text{Sr}$ の娘核であるイットリウム 90( $^{90}\text{Y}$ )からの  $\beta$ 線(最大 2.28 MeV)がチェレンコフ放射する仕様に設計したことである。装置設計、製造、性能評価を申請者が中心になって行った。装置はエアロゲル、波長変換ファイバー(WLSF)、光電子増倍管(PMT)、宇宙線ミュオンによる雑音事象除去のためのシンチレータ検出器で構成される。申請者はチェレンコフ光の WLSF の吸収・再発光スペクトラム、PMT 量子効率から光学的に数値計算模型を開発し、宇宙線試験のデータと比較して最適化した。さらに環境中のウラン・トリウム系列核種由来の  $\gamma$   $\beta$ 線による雑音抑制も行った。サンプル有効面積は 30 cm × 10 cm、性能は 1 時間測定で 96 Bq/kg の検出限界を達成した。試作機として十分な性能を示した。学位取得後も試作機による土壌試料による試験、有効面積拡張など装置改良に向けた研究が継続されている。

## (2) J-PARC E36 実験における背景事象 $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$ (SD) の研究および CsI(Tl) カロリメータの性能評価

J-PARC E36 実験は静止  $K^+$  を用いた 2 体崩壊  $K^+ \rightarrow e^+ \nu$  ( $K_{e2}$ ) と  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$  ( $K_{\mu 2}$ ) 分岐比の比 ( $R_K$ ) を精密に測定することでレプトン普遍性の破れを探索することを目的にしている。 $R_K$  決定の重要課題は  $K^+ \rightarrow e^+ \nu \gamma$  ( $K_{e2\gamma}$ ) の取り扱いである。この崩壊過程は内部制動放射 (IB) と構造依存崩壊 (SD) に分類されるが、SD は上述の  $K_{l2}$  由来ではないため  $R_K$  決定からは取り除く必要がある。また、 $K_{e2\gamma}$  (SD) の崩壊分岐比は  $K_{e2}$  と同程度であるため、最も注意を要するバックグラウンドになる。放出された  $\gamma$  線は  $K^+$  静止装置を取り囲む CsI(Tl) カロリメータで検出される。しかし、カロリメータには荷電粒子が通過する穴が必要であり、 $\gamma$  がこの穴から抜けた  $K_{e2\gamma}$  (SD) 事象は  $K_{e2}$  と原理的に区別することができず、 $R_K$  の過大評価につながってしまう。申請者は在学中、

J-PARC E36 実験に参加し、検出器開発、装置キャリブレーション、ビーム測定運転を行った。その中でも特に CsI(Tl) カロリメータ (以下 CsI と略す) の波形データ解析と  $K_{e2\gamma}$  (SD) 崩壊事象の研究に注力した。CsI はビーム由来の雑音を除去するために、flash ADC による波形データ取得が採用された。実験データを再現する波形モデルを開発し、図 1 (a) に示すようなパイルアップ補正を成功させた。具体的には、図 1 (b) に黒線をデータと単一波形フィット関数の差分  $dh$  として示すが、 $dh$  最大値の時刻に 2nd 波形があるとして pileup fitting を施行する。その後、 $K_{\mu 2}$  事象を用いて CsI のエネルギーと時間の較正を行った。エネルギー分解能は 2.6% ( $\sigma$ )、時間分解能は 9 ns ( $\sigma$ ) と評価した。モンテカルロ (MC) シミュレーションコードを整備し、 $K \rightarrow \pi^+ \pi^0$  事象についてデータと比較して検出器応答を適正化した。 $K_{e2\gamma}$  において角度領域  $\cos \theta_{e\gamma} < -0.5$  において明らかな  $K_{e2\gamma}$  (SD) 崩壊事象の観測に成功した。図 2 に、(a)  $e^+$  と  $\gamma$  の角度分布、(b)  $E_\gamma$  分布、(c)  $K^+$  から  $e^+$  と  $\gamma$  の損失質量分布  $M_{e\gamma}^2$  を示す。現時点では解析の途中

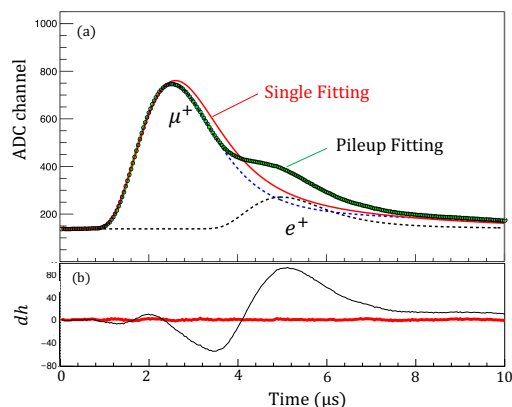


図 1. CsI(Tl) カロリメータにおけるパイルアップ波形データとフィット結果

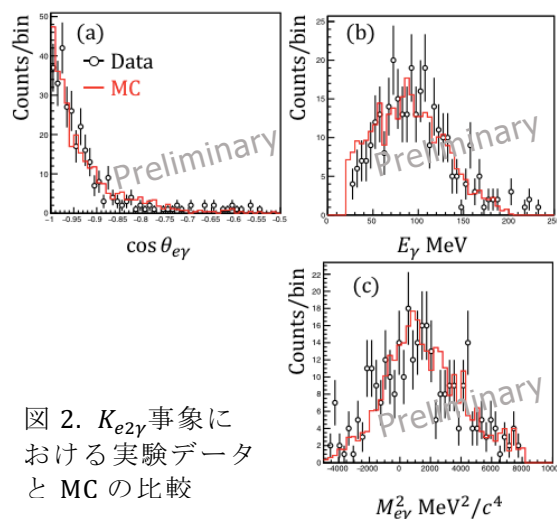


図 2.  $K_{e2\gamma}$  事象における実験データと MC の比較

であるが、全データの 10%程度の統計量で $309 \pm 18$ 事象の $K_{e2\gamma}(SD)$ が観測されている。形状因子パラメータ $\lambda$ を変えて MC とデータを比較し、最もデータを再現する暫定値は $\lambda = 1.24^{+0.78}_{-0.58}$ になった。 $K_{e2\gamma}(SD)$ の形状因子は KLOE グループが報告した $\lambda = 0.38 \pm 0.20$ に一致しているが、解析統計量を増やしパラメータの精密化を進めている。

### (3) 地下における宇宙素粒子実験高感度化のための極低放射能技術開発

神岡鉱山地下で行われている暗黒物質・二重ベータ崩壊探索実験の大きなバックグラウンドが検出器や環境中の放射能である。先行している研究グループは低い放射能バックグラウンドで大質量の検出器を使用している。そのため地下実験のグループの枠を超えて極低放射能技術を開発してきた背景がある。申請者は、現在の所属機関で、部材表面から放射される $\alpha$ 線を数 $10^{-4}$  counts/h/cm<sup>2</sup>の精度で測定できる分析装置の開発を担当している。Time projection Chamber( $\mu$ -TPC)の技術を用いた装置の概要は図 3(a)に示す。試料からの $\alpha$ 線によって生成された電子群は電場  $E$  でドリフトして  $\mu$ -PIC で 3次元飛跡情報を観測される。しかし、 $\mu$ -TPC で得られた飛跡だけでは $\alpha$ 線の向きを決定できない。申請者は図 3(b)で示すように $\alpha$ 線の Bragg Peak を Flush ADC の波形データを観測して試料由来ではない $\alpha$ 線( $\mu$ -PIC 自己放射能)を除去するアルゴリズムを開発した。図 3(c)に較正線源を用いた典型的な Downward 事象の波形データを示す。さらに  $\mu$ -PIC の不純物を抑制した Low- $\alpha$   $\mu$ -PIC

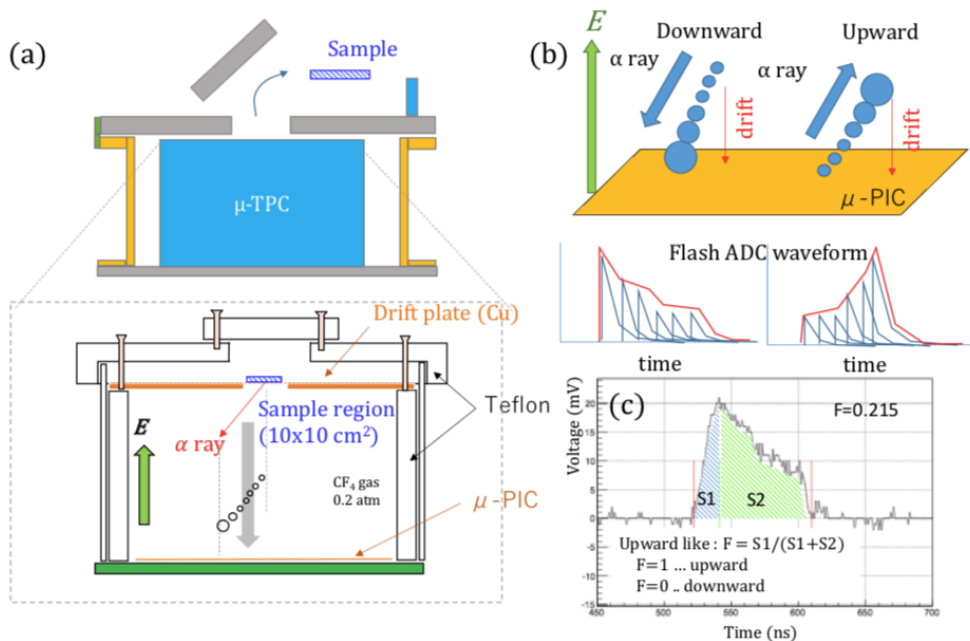


図 3. (a)表面 $\alpha$ 分析装置の横断面図。(b) $\alpha$ 線飛跡の向きと Flush ADC における波形形状。(c) $^{210}\text{Po}$ - $\alpha$ 線源による下向きの $\alpha$ 線の典型的な波形データ。

の実装によって、放射能試料を入れてない状態のバックグラウンド頻度を従来では  $10^{-1}$  counts/h/cm<sup>2</sup> から 10 倍改善した。現在もさらなる低放射能化に向けて開発を進めている。

#### (4) 暗黒物質直接探索研究(NEWAGE 実験)のための基礎研究

申請者は現在の所属機関で、神岡地下で行われている暗黒物質直接探索実験 NEWAGE に参加している。μ-TPC を用いた検出器は <sup>19</sup>F 原子核反跳の飛跡情報を取得して、はくちょう座方向から飛来するスピン依存した暗黒物質の候補である WIMP に感度をもつ。低エネルギー(~50 keV)の事象は飛跡が短いため、電子ドリフトの影響で3次元方向を決定する精度が制限される。図4に黒点がシミュレーションによるオリジナルの飛跡点、カラーが XZ, YZ, XY 射影、3次元の拡散した電子分布を示す。赤線が従来の傾きを決定する際のフィット直線である。低エネルギーパターン解析では機械学習が有効であると考え、シミュレーションによる拡散の影響を考慮した解析アルゴリズムを新たに開発している。現在は Python, Keras ベースの環境を構築して簡単なアルゴリズムを設計し、飛跡再構成の機械学習を開発できる目処が立っている。

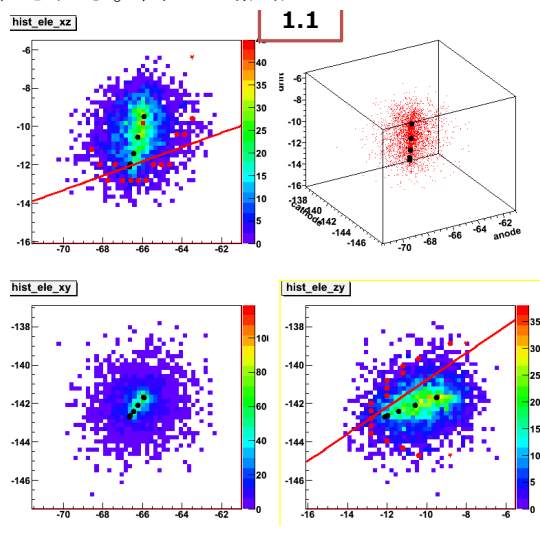


図4. 50keVの<sup>19</sup>F反跳飛跡におけるTPC電子拡散のシミュレーション。

#### 受賞歴

- [1] Best Poster Award, International Conference on Advancements In Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA) 2017, "Measuring Radioactivity of <sup>90</sup>Sr based on Cherenkov Radiation in Real Time", 30 June, 2017.
- [2] 独立行政法人日本学生支援機構 特に優れた業績による返還免除 認定, 2015年6月30日