

## 現在までの研究業績の概要

2018 年 8 月 20 日 伊藤博士

即時ストロンチウム 90 放射能濃度測定器開発

[受賞] Best Poster Award in ANIMMA2017.

[学術雑誌] JPS Conf.Proc.11,070002, Proc.Sci.Pos(TIPP2014)325, Proc.Sci Pos(TIPP2014)242.

[国際学会発表] IEEE2014, TIPP2014, ANIMMA2015, IEEE2016, iSRD2016, ANIMMA2017

[国内学会発表] 日本物理学会, 日本医学物理学会, 環境放射能除染学会, 第27回計量計測展

福島原発事故による放射性汚染水漏洩の結果、海産物の  $^{90}\text{Sr}$  濃度測定が要求されている。 $^{90}\text{Sr}$  は骨に蓄積しやすい性質から摂取した場合  $^{137}\text{Cs}$  と比べて実効線量係数が最大 120 倍高い。試料内の  $^{90}\text{Sr}$  放射能濃度を従来の化学的測定法と比べて短時間(1ヶ月から1時間へ)で測定する装置を開発した。屈折率 1.04 のシリカエアロゲルを用いたチェレンコフ検出器を応用して、雑音となる  $^{40}\text{K}$  からの  $\beta$  線(最大 1.3 MeV)で発光せず、 $^{90}\text{Sr}$  の娘核である  $^{90}\text{Y}$  からの  $\beta$  線(最大 2.28 MeV)が発光する仕様に設計した。また有効面積拡張(30 cm × 10 cm)のためにチェレンコフ光をシート状にした波長変換ファイバー(WLSF)と小型の光電子増倍管(PMT)で読み出す点が挑戦的だった。さらに装置は、宇宙線ミュオンによる雑音事象を除去するためにシンチレータ検出器で囲っている。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モデルを開発し、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。結果として、性能は 1 時間測定で 96 Bq/kg の検出限界を達成し、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。

J-PARC E36 実験: CsI(Tl)カロリメータ性能評価、背景事象である  $K^+ \rightarrow e^+ \nu_e \gamma$  の研究

[査読付学術雑誌] Nucl. Instr. Meth. A 901 (2018) 1-5

[国際学会発表] IEEE2016 [国内学会発表] 日本物理学会2017年秋季大会

J-PARC E36 実験は静止  $K^+$  を用いた 2 体崩壊  $K^+ \rightarrow e^+ \nu (K_{e2})$  と  $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu (K_{\mu 2})$  の崩壊幅の比( $R_K$ )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 CsI(Tl) カロリメータ(以下 CsI と略す)で検出される。CsI はビーム軸の近くに配置されたため、flash ADC による波形データを用いて雑音を除去する。申請者は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。図 1 (b)の黒線はデータと単一波形フィット関数の差分  $dh$  として示し、 $dh$  最大値の時刻に 2nd 波形があるとして pileup fitting を施行する。CsI エネルギー較正を実施し、分解能は 2.6% ( $\sigma$ ) @153 MeV、時間分解能は 9 ns ( $\sigma$ ) と評価した。さらに宇宙線ミュオンを CsI に止めて、遅れて放射される  $e^+$  によって 53MeV の較正測定方法を確認させた。

モンテカルロ(MC)計算コードを整備し、 $K \rightarrow \pi^+ \pi^0$  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

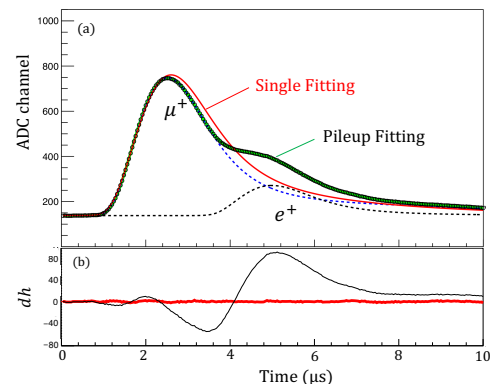


図 1. CsI(Tl)カロリメータにおけるパイルアップ波形データとフィット結果

$K_{e2\gamma}(\text{SD})$ 崩壊を 429 事象観測した。図 2 に、(a) $e^+$ と $\gamma$ の角度分布、(b) $E_\gamma$ 分布を示す。データを MC でフィットした結果、形状因子 $\lambda = 2.03^{+0.64}_{-0.54}$ と分岐比 $(6.7 \pm 0.3) \times 10^{-6}$ を決定した。先行研究である KLOE グループが報告した $\lambda = 0.38 \pm 0.20$ から  $3\sigma$  逸脱している。この結果は先行研究の  $R_K$  決定において数%の補正効果を与える。系統的な不確定性を決定して公表する予定である。

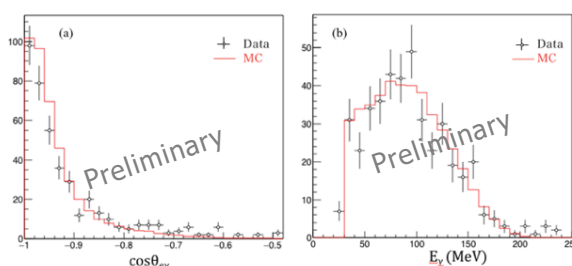


図 2.  $K_{e2\gamma}(\text{SD})$ 事象の  $e\gamma$  角度、 $\gamma$  エネルギースペクトラム

#### 波長変換ファイバーを用いた高位置分解能 PET 開発

[特許] 特開2018-91669

[国際学会発表] IEEE2014, ANIMMA2015, IEEE2016, IEEE2017

陽電子放出核断層法(PET)は癌検査、アルツハイマー研究に応用されている。特に脳診断や小動物検査において0.1~0.3 mmの解像度改善が要求されている。従来のシンチレータ結晶を細かくセグメント化する手法では分解能1 mm程度で限界に達している。ストリップ状のWLSFシートを薄い結晶板の両面に直交するように挟むことで、分解能がWLSFの直径(最小0.2 mm)で決定されるため、分解能改善の技術革新となった。 $^{22}\text{Na}$  による 511 keV ガンマ線を用いて分解能 0.5 mm の精度を達成した。MC シミュレーションによって結晶内コンプトン散乱による分解能劣化、陽電子放出核の分布を計算して性能を見積もった。

#### 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

[国際学会発表] NDM2018

暗黒物質・二重ベータ崩壊探索実験の大きな雑音が検出器や環境中の放射能である。先行研究グループは低い放射能雑音で大質量の検出器を使用している。そこで神岡地下では、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(新学術 26104008)。その技術の一つとして、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を開発している。Time projection Chamber ( $\mu$ -TPC)の技術を用いることで、サンプルの $\alpha$ 線源分布が得られる。 $\mu$ -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。 $\mu$ -PICの不純物を抑制したLow- $\alpha\mu$ -PICの実装によって、放射能試料を入れ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。

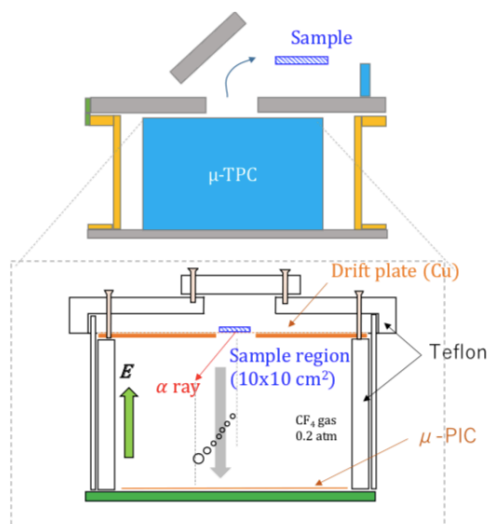


図 3. 表面アルファ検出器概要

#### 地下における宇宙素粒子実験のための放射能データベース開発

[国内学会発表] 日本物理学会2018年年次大会

暗黒物質・二重ベータ崩壊探索の大きな雑音が検出器や環境中の放射能である。神岡地下ではXMASS, KamLAND, NEWAGE, CANDLES実験グループの枠を超えて極低放射能技術で測定した部材の放射能データベースを開発した(新学術 26104008)。申請者は300件を超えるデータを入力し閲覧可能にし、システム管理と改良を進めている。