

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：25101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24650543

研究課題名(和文) 作って・測って・判断できる放射線教育システムの構築

研究課題名(英文) Constructing a Radiation Education System: Creating, Measuring, Evaluating

研究代表者

足利 裕人 (ASHIKAGA, HIROTO)

鳥取環境大学・環境学部・教授

研究者番号：00612342

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：手軽に、授業中に組み立てて測定できる教育用放射線検出器の開発を行った。仕様について測定原理が分かり、計測のためのコンポーネントが見え、計数に加えスペクトルが観察でき、特殊な部品を使わない等の条件で、福島県内の放射性セシウムのガンマ線を捉えることを目標に、30台製作した。

3つの主要コンポーネントにはガンマ線検出用CsI結晶、フォトダイオードを用い、アナログ増幅部に電荷有感型増幅器、ピークホールド回路、デジタル部にガンマ線のエネルギーに比例した信号をデジタルに変換する波高弁別機、LCD表示装置を用いた。

授業時間内にこれらを接続し、正確に測定し、判断できる人材の育成をねらった。

研究成果の概要(英文)：We three have developed radiation detectors for classroom use that can be both assembled and used during class. Thirty sets of components were made to measure radioactive cesium in soil from Fukushima, by detecting and plotting the gamma ray spectrum. The three main components comprise a charge amplifier, peak hold circuit, and a digital discriminator to track gamma ray energy, including LCD. These were used during class and performed accurately. It is hoped that these instruments will help nurture the decision-making ability of students.

研究分野：物理教育

キーワード：放射線検出器 放射線教育 実験開発

1. 研究開始当初の背景

(1) 福島第一原子力発電所の事故をきっかけに、日常的に接する外部放射線や内部放射線を自らが測ることができる実践的知識、数値の解読能力、リスクの判断能力が生活の多くの場面で国民的素養として求められる時代となり、科学的な根拠に基づき意思決定する力を持ち、責任ある行動ができる市民の育成が急務になった。

(2) 放射線に関する知識や判断はこれまで国民に要求される場面は少なく、少数の専門家が国民からの委託を受けて実行してきた。しかし、今回の福島第一原子力発電所の事故を通じてこの状況は一変した。高等学校では理科の科目は選択となるため、国民的素養の教育の焦点は義務教育の最後の中学3年生レベルにあり、中学校理科での的確な放射線教育が重要になった。

2. 研究の目的

(1) 放射線に対する国民的素養の涵養には、義務教育最後の中学3年生を重点に小中高校生を対象として、放射線計測の最前線からの研究成果を生かした簡易放射線計測器を自分で作り、環境放射線を正確に測定し、実験データを科学的に分析・解釈・判断し、行動できる教育システムを構築することが必要と考え、本プロジェクトの主目的とした。

(2) 本研究では放射線計測器の開発や実験手法の開発を通じ、日本国民の放射線に対する的確な素養を高める実践的方策を探ることも目的とした。

さらに、子どもたちの活動が、保護者を通じて地域住民の意識や科学力向上に役立つことをめざした。さらに、教師教育や教員養成、科学館等を通じた市民向け放射線教育の普及を行うことをめざした。

中高校生が放射線計測器を自分で作ることで、放射線計測が具体的にイメージでき、自分の力で判断し、放射線に対する思い込みによるいたずらな不安や恐怖から逃れることができ、安心につながる。また、風評被害を防ぐ子どもに育つことが期待できる。自分で測定することにより、計測のしくみや手法、データ分析技術等を科学的に取得できるようになる。さらに、放射線の種類や性質、線量の単位等について、より深く理解し、考えることが可能になり、放射線から身を守る方法が体得できるようになる。

放射線の強さの計測にとどまらず、放射線のエネルギーのスペクトル分布を測り、放射性物質を同定することで、測定している放射線が人間活動に由来のものか、自然環境に由来のものか確認できる。

本プロジェクトの学習プログラムに、外部被ばくを避ける3原則「距離・時間・遮へい」を取り入れることにより、放射線の影響について正しい知識を身に付け、自分の身の守り

方を知り、被ばくを避けることができる子どもに育つことが期待できる。

大学での理科教員養成カリキュラム中の、物理学関連実験や理科教育法等に本研究の手法を組み込むことにより、放射線を正しく理解し、リスクについて指導できる教員が育つ。連携する大阪市立科学館や出雲科学館等、博物館どうしのネットワークを利用することにより、社会教育の分野でも自作簡易放射線計測器を活用した全国的な実践の普及や実態調査・研究を行うことが可能になり、国民の素養の涵養に、大きな効果が期待できる。

3. 研究の方法

(1) 本研究は中学、高校の理科教員や、その経験者による中等教育の専門家、放射線計測器設計製作の専門家、放射線計測の専門家の3グループによる実践を統合した共同プロジェクトで行った。

学習の初めに子ども達が放射線計測器を自ら組み立て、放射線の性質とその測定原理を学ぶことから始めることも特色とした。通常の放射線教育では測定器は専門機関から借用する。これでは正確さが担保される反面、測定器はブラックボックスとして盲信に陥る可能性がある。実際に作ればその限界や特色を正確に把握でき、判断能力の涵養に直接資することができる。そのうえで、教師教育や教員養成、科学館等を通じた放射線教育の普及を行った。

(2) 教育用簡易放射線検出器の開発

初めに、放射線検出器としてどのようなコンポーネントが必要かについて検討を行った。その結果以下の3つのコンポーネントに分けて装置のデザインを行い、製作することにした。

- |          |                    |
|----------|--------------------|
| 放射線センサー部 | CsI 結晶、フォトダイオード    |
| アナログアンプ  | 電荷有感型増幅器、ピークホールド回路 |
| デジタル表示部  | 波高弁別器、ADC、LCD 表示装置 |

今回製作した放射線検出器のブロックダイアグラムを図1に示す。

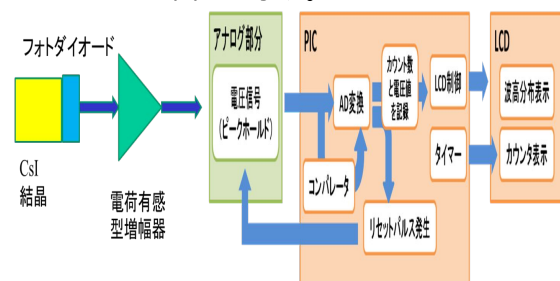


図1 放射線検出器のブロックダイアグラム

以下、放射線（線）のエネルギーを電気信号に変換するセンサー部、電気信号をアナログ的に増幅するアナログアンプ部、そこか

らの放射線のエネルギーに比例する信号をデジタル値に変換して表示するデジタル部について説明する。

図2のセンサー部はCsI結晶にオプティカルセメントを用いてフォトダイオードを張り付け、反射材として水道管用のテフロンテープを巻き、黒の絶縁テープで遮光を行ったものを使用した。CsI結晶内で入射したガンマ線は光電子に変換され、そこから発生するシンチレーション光をフォトダイオードで受けて、入射ガンマ線のエネルギーに比例した電気信号を取り出した。

次に、電荷有感型増幅器とピークホールド回路を含む、アナログ部の回路図を図3に示す。この回路では、初段の回路が電荷信号を電圧信号に変換し、次の3段の回路で信号の微分積分を行い、ノイズを低減させている。

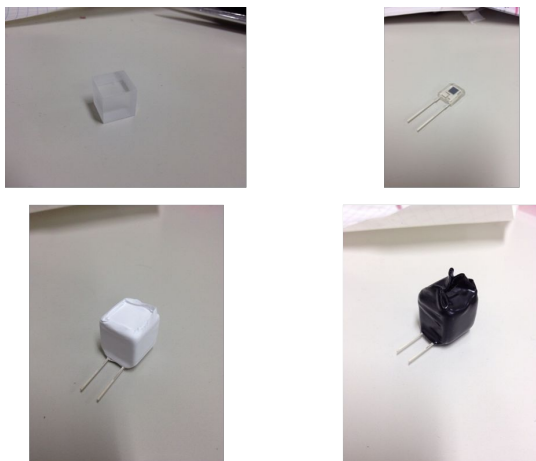


図2 放射線センサー部

ここまでの回路では信号は数 $\mu$ 秒程度のパルスとなっており、そのままではパルス幅が短すぎて、デジタル部でデジタル値に変換できない。



図3 アナログアンプ部の基板

そのため、ピーク値を20 $\mu$ 秒以上保つピークホールド回路を導入した。ピークホールド回路によって保持された電圧信号は、デジタル部でデジタル値に変換された後、リセット信号でリセットされ、次の信号に備える。

図4にデジタル部を示す。デジタル部は、図1の右側半分で示される機能である。ADC、

比較演算器、デジタル入出力を含んだマイクロコントローラーで実現している。入力された電圧信号はまず比較演算器で処理され、外部から設定できる閾値電圧を超えていれば、ADCでデジタル値に変換される。変換後アナログ部のピークホールド回路をリセットする。変換されたデジタル値を使って、液晶画面に放射線のエネルギーの頻度値分布を表示する。



図4 デジタル部の基板（アナログ基板を入れたシャーシ上に乗せ、接続されている）

図5に、放射性セシウムによる、660 keVのガンマ線のエネルギースペクトラムを示す。左側の低いエネルギー側は、コンプトン散乱からの寄与とノイズ成分である。右側のピークが660 keVのガンマ線の寄与である。

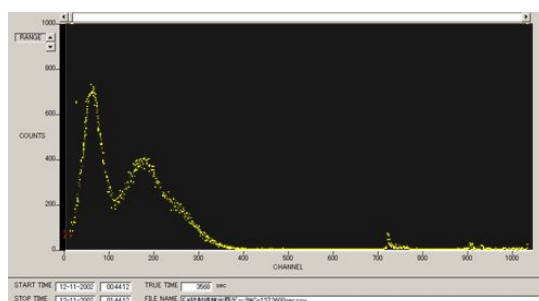


図5 製作した回路でのセシウムの660 keVのガンマ線のスペクトル

教育用放射線計測機の開発と並行して、以下のように実験教材の開発を行い、実践した。

### (3) 文部科学省放射線副読本を利用した実験教材およびテキストの開発

文部科学省発行の放射線副読本を利用し、放射線の専門外の教員でも指導でき、中高生にもわかりやすい実験を通した教材開発を、以下4テーマについて行った。

外部放射線から身を守る三原則 距離による逆2乗減衰法則

ALOKA社のGM管TGS-136をスタンドに固定し、校正線源のセシウム137を遠ざけながら、正確に距離二乗則が成り立つための、GM管面の基準位置を求めた。この位置をGM管の奥行き中央としてやれば、体積検出器モデルとほぼ同等の結果が面検出器として得られることを見つけた。

外部放射線から身を守る三原則 線と



### 線の遮蔽

遮蔽体による遮蔽能力の違いは物質の性質ではなく、その質量によって決定される。厚さを同じにして、遮蔽体の密度 ( $\rho_{Al} = 2.7 \text{ g/cm}^3$ 、 $\rho_{Cu} = 8.9 \text{ g/cm}^3$ 、 $\rho_{Pb} = 11.3 \text{ g/cm}^3$ ) と遮蔽効果を比較した。この実験を行えば、図6のように、線の減衰と線の減弱を一度の測定で実験できる。線の飛程と半価層を求めたり、遮蔽体の質量による線の半価層の違いを比較したりすることで、放射線の性質と遮蔽について学ぶ教材になった。

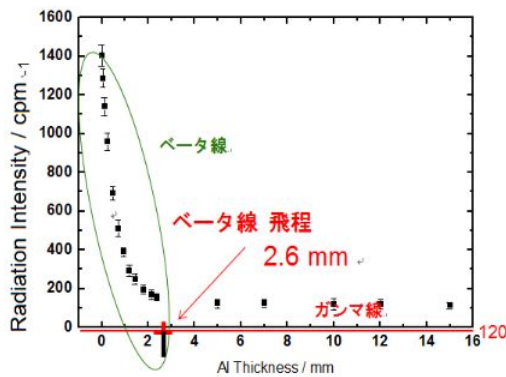


図6 Al 遮への実験結果

半減期 福島土壤試料を用いた  $^{134}\text{Cs}$  の半減期決定

$^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  のピーク比を経過時間でプロットすれば、 $^{137}\text{Cs}$  を基準とした  $^{134}\text{Cs}$  の半減期を求めることができる。 $^{134}\text{Cs}$  の半減期が 2.06 年、 $^{137}\text{Cs}$  の半減期が 30.17 年と、 $^{137}\text{Cs}$  の半減期が圧倒的に長いので、 $^{137}\text{Cs}$  の減衰を無視することで、 $^{134}\text{Cs}$  の半減期の概算を求め、放射線に関する知識を深める授業を考案した。

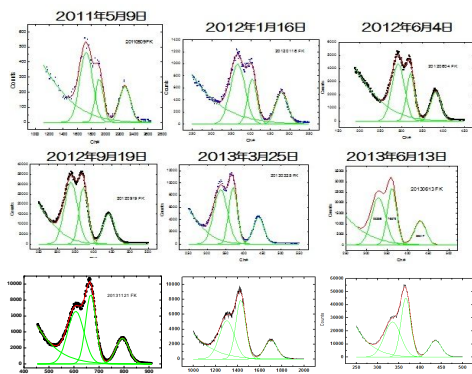


図7 福島土壤放射線  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  比経年変化

線のエネルギースペクトルによる放射性核種の同定

福島県での事故の影響を検証するために、土壤中に含まれている核種の同定を行った。エネルギースペクトルの測定には NaI(Tl)シンチレーションカウンターを用い、エネルギースペクトルの校正には、 $^{137}\text{Cs}$  の 662 keV と  $^{60}\text{Co}$  の 1173 keV、1333 keV を用いた。福島県の土壤試料はおよそ 605、662、796 keV の位置に 3 つのピークが見られることを確認

した。簡易放射線検出器と組み合わせる教材となった。

(4) 霧箱中の飛跡で求める 線のエネルギー分布

磁場中の荷電粒子がローレンツ力を受けて円運動を行うことを利用した。冷却層上部に強力磁石を配置して、円運動を行う線の霧箱中の飛跡の半径から線のエネルギーを計算し、エネルギー分布を求めた。

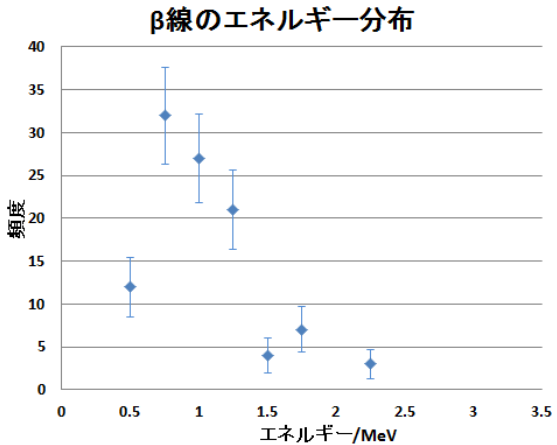


図8 106本の飛跡による線のエネルギー分布

(5) 福島放射線量調査

福島県相双地区で、2 年間に 3 回環境放射線測定と土壤採取調査を行い、除染の状態や環境の変化を観察した。図9はGPSと連携させた HORIBA の Radi PA-1100 による環境放射線量のマッピングデータである。



図9 Radi PA-1100 によるマッピングデータ

### 4. 研究成果

(1) 教育用簡易放射線検出器の開発に成功し、授業時間内に組み立て、計測し、スペクトルを得て放射性物質を同定する教材ができた。環境放射線が原発事故由来のものか、本来その地にあるカリウム 40 などに由来するものか、授業時間内に組み立て、手軽に測定することが可能になった。

(2) 文部科学省放射線副読本を利用した実験教材およびテキストの開発では、従来大きな誤差を伴っていた逆二乗則の実験を、GM 管の奥行の中心位置を正しく決めることで、正

確に成り立つことが分った。また、遮蔽実験では、身近な線源を用いて、線の減衰や線の減弱、半価層と遮蔽金属の密度等の関係を求めることができた。福島<sup>1</sup>の土壌を用いた線スペクトルにより、放射性セシウムの半減期を求める教材化に成功した。これらの実験は近隣府県の高等学校で数回実践し、教材として適切であり、原子分野の新規教材として発展するものであることを確信した。

(3) 霧箱中の飛跡で求める線のエネルギー分布では、電磁気分野のローレンツ力の実験が身近な教具で実現され、線の放射線の諸性質が検証でき、さらにエネルギー分布や、従来適当な教具を欠いていた相対論の学習教材にもなりうるということが分った。実際に高等学校で実践したり、教員をめざす学生の物理学実験に組み込んだりして、広く利用できる教材であることが証明できた。

・公開シンポジウム「国民的要素としての放射線教育：高校・中学・市民へのアプローチの展開と課題」を神戸大学発達科学部で開催した。福島<sup>1</sup>の事故以来、国民の科学への信頼が喪失したが、この信頼を回復するためには、放射線教育の現状と今後の課題を考え、各地で実践的に進められてきた放射線教育の成果を合体させながら、放射線教育を深化させ、進めていくことの必要性を強く認識することができた。

本研究の成果は冊子「作って・測って・判断できる放射線教育システムの構築」(総合印刷出版)にまとめた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

武中 駿、文部科学省放射線副読本を利用した実験教材およびテキストの開発、神戸大学大学院人間発達環境学研究科人間環境学専攻修士論文、査読無、1巻、2015、1-30

中川 和道、川茂 唯順、竹谷 篤、足利 裕人、作って・測って・判断できる放射線教育システムの構築、大学の物理教育、査読有、18巻、2012年、118-122

〔学会発表〕(計 13 件)

足利 裕人、霧箱中の飛跡で求める線のエネルギー分布、応用物理学会、2015年3月11日~3月14日、東海大学

武中 駿、中川 和道、放射線副読本の実験開発：ベータ線とガンマ線の遮蔽、日本物理教育学会、2014年8月11日~8月12日、電気通信大学

中川 和道、武中 駿、足利 裕人、竹谷 篤ガンマ線スペクトルの時間変化からセシウム 134 の半減期を学ぶ教材開発、日本物理

学会、2014年3月27日~3月30日、東海大学

足利 裕人、竹谷 篤、中川 和道、作って・測って・判断できる放射線教育システムの構築、日本物理教育学会、2013年8月10日~8月11日、東北大学

武中 駿、中川 和道、GM管を用いて2乗則を調べる学生実験の限界とその突破課程から学ぶべきこと、日本物理教育学会、2013年8月10日~8月11日、東北大学

〔図書〕(計 1 件)

足利 裕人、中川 和道、竹谷 篤、作って・測って・判断できる放射線教育システムの構築、総合印刷出版、2015、30

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

足利 裕人 (ASHIKAGA, Hiroto)  
公立鳥取環境大学・環境学部・環境学科・教授  
研究者番号：00612342

### (2) 研究分担者

中川 和道 (NAKAGAWA, kazumichi)  
神戸大学・人間発達環境学研究科・教授  
研究者番号：00134403

竹谷 篤 (TAKETANI, Atsushi)  
独立行政法人理化学研究所・その他部局等・研究員  
研究者番号：30222095

(3)連携研究者

今井 憲一 (IMAI, Kennichi)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・  
先端基礎研究センター・グループリーダー  
研究者番号： 7002543

久保野 茂 (KUBONO, Shigeru)  
東京大学・原子核科学研究センター・教授  
研究者番号： 20126048

和田 道治 (WADA, Michiharu)  
独立行政法人理化学研究所・仁科加速器  
研究所・グループリーダー  
研究者番号： 50240560

小沢 恭一郎 (OZAWA, Kyouichiro)  
大学共同利用機関法人高エネルギー  
加速器研究機構・素粒子原子核研究所  
・准教授  
研究者番号： 20323496

関本 美知子 (SEKIMOTO, Michiko)  
大学共同利用機関法人高エネルギー  
加速器研究機構・素粒子原子核研究所  
・講師  
研究者番号： 50206637

(4)研究協力者

森本 雄一 (MORIMOTO, Yuuichi)

大倉 宏 (OKURA, Hiroshi)

中山 慎也 (NAKAYAMA, Shinnya)