

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：63902

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560097

研究課題名(和文)「放射線の測定と単位」を理解するための放射線測定実習教材ならびに教育実践法の開発

研究課題名(英文) Development of educational tools for radiation measurement training and practicing method therefor to understand radiation measurement and radiation related units

研究代表者

河野 孝央 (Kawano, Takao)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：20300733

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：放射線教育用教材として安全に使用できる放射線源や測定装置を開発した。放射線源は、天然の放射性同位元素：カリウム40を含む化学肥料(カリ肥料)や乾燥昆布を材料にして、また測定装置はコーヒー空き缶や注射針など誰もが知っている材料を用いて、手作りで製作した。これに加え、放射線の単位(Bq, Sv, cpm, など)を説明するスライド(パワーポイント)や、実習に用いるデータシートを作成して、実践に基づく改良を進めた。これら本研究の成果を世に広めるため、いろいろな学会や国際会議などで、講演、実演、デモンストレーション、論文発表を行った。

研究成果の概要(英文)：Radiation sources and measurement devices usable safely as educational tools were developed. The radiation sources were fabricated from potassium chemical fertilizers and kelps. Those raw materials contain potassium-40 emitting natural radiations. The radiation measurement devices consisted of a GM counter and several circuit units including high voltage power supply and counter circuit. Those were all handmade, and parts used as materials were empty coffee cans, injection needles, capacitors, diodes, microcomputer, and others, being generally well known and obtained with ease. Besides, a series of slides (Power point) for explaining units of radiation (Bq, Sv, cpm, etc.) and data sheets showing a training procedure were also made as being improved based on actual radiation educational courses. To spread our own developed educational techniques, manuscripts were published and presentations were made at various academic meetings, international conferences, and research meetings.

研究分野：放射線計測および安全管理、教育

キーワード：放射線教育 自然放射能線源 GM計数管 放射線測定実習

1. 研究開始当初の背景

放射線計測の統計的変動や放射線の単位を理解するための教育は、福島原発事故で放射線に対する国民の理解に混乱が発生しなかったならば生まれなかったテーマである。事故直後、ベクレルやシーベルトなどの放射線用語が新聞やテレビ報道などで乱発されるたびに、国民それぞれの解釈が一人歩きして、放射線をむやみに恐れる事態に陥った。原子力エネルギーを利用している日本において、正しい放射線教育が必要であったにもかかわらず、これまで、放射線教育との取り組みが十分でなかったことが原因であると思われる。その結果、現在にいたっても、放射線教育に必要な教材がないばかりでなく、中学、高等学校などの教育現場では、経験がない、予算がない、時間がないという問題もあって、十分な放射線教育を実施できない状況にあった。

本研究はこうした混乱の中に生まれたものであり、「放射線の測定と単位」を、自分の体験に基づいて理解するために必要な教材と教育手法の開発を目指した。

2. 研究の目的

本研究の目的は、中学、高等学校そして一般の人々が、「放射線の測定と単位」について正しい知識を身につけ、自ら考えて、放射線を評価するための、教材と手法を開発するとともに、普及活動を進めることにある。特に測定値の統計的変動や、計数、計数率、ベクレル、シーベルトなどを正しく理解するために必要な、「場所を選ばず、人を選ばず、誰にでも製作できる」放射線測定実習用教材の開発に取り組み、また開発した教材を使用して実際の教育を行うことにより、自らの測定で得たデータに基づく、効果的な教育実践法を構築して、中学、高等学校そして一般を対象にした教育現場に提供したいと考えている。

3. 研究の方法

本研究は、「教育器材の製作」、「教育実践法の構築」、「教育実践と普及活動」、の3本の柱を立てて実施した。

(1) 教育器材の製作では、化学肥料や乾燥昆布に圧縮成形法を適用して製作した自然放射能線源の製作と改良に関する研究を行った。またこれらの自然放射能線源を用いて測定実習を行うためのGM計数管と高圧・計数回路など、手作りによる実習機材の製作法を検討した。

(2) 教育実践法の構築では、特に放射線単位を理解するための教育用スライドや測定データシート、実習手順、説明要領など、現場での実践経験に基づいて、教育法を構築した。

(3) 教育実践と普及活動では、構築した教育法を含むこれまでの研究成果を活かして、高校生を対象に放射線教育を実践するほか、放射線に関連するイベントやオープンキャンパスの機会に放射線のデモンストレーションを行い、また学会、国際会議などでの発表や、依頼講演などを受けて、幅広く普及活動に勤めた。

4. 研究成果

すでに述べたように、本研究は3つの柱で構成されるが、以下、それぞれの柱ごとに主な研究成果をまとめる。

(1) 教育器材の製作

教育器材の製作にはさらに3つの柱が含まれる。以下それぞれについて研究成果をまとめる。

①自然放射能線源の製作と改良

これまでいろいろな材料で自然放射能線源を製作してきたが、そのなかで多くの人々にわかりやすい材料は、カリ肥料と乾燥昆布であると考えられる。しかしながら、これらの材料で製作した自然放射能線源は、堅牢さに欠け、あるいは線源強度が弱いという問題があった。そこでカリ肥料については堅牢さを増すために、バインダーを加える方法を検討した。また乾燥昆布では、線源強度の強い材料を見い出すために18種の乾燥昆布を調べた。カリ肥料についての結果を図1に示す。

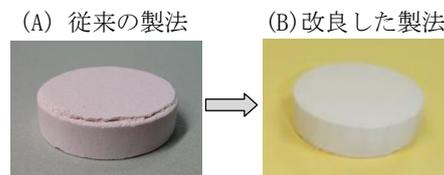
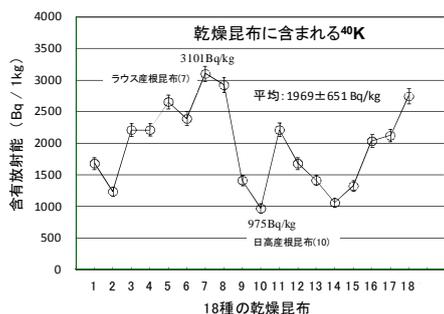


図1 カリ肥料で製作した線源

(A) はこれまでの方法で製作したカリ肥料線源である。堅牢さの問題で、縁が欠け落ちている。これに対しバインダーを添加して行う新たな方法で製作した線源(B)では、縁まできれいに成形されていることが分かる。

次に乾燥昆布であるが、乾燥昆布には一般に2000Bq/kgのカリウム40が含まれていると言われている。しかしながら国内には、産地の異なる多くの乾燥昆布が販売されており、どれを材料に用いるかによって、線源強度もさまざまであると思われる。そこで市販されている18種の乾燥昆布を用いて自然放射能線源を製作し、線源強度を評価した。γ線スペクトル測定に基づいて求めた結果を図2に示す。図2から、乾燥昆布1kgあたりに含まれるカリウム40の放射能の平均値は1969Bqであるが、個々の昆布によって975Bqから3101Bqの範囲に広がっていることが分かる。

結局、調べた 18 種の中では、道南産根昆布やラウス産昆布などが線源強度の面で、材料としては適しているといえる。



18種の乾燥昆布			
1	釧路産昆布	7	ラウス産根昆布
2	道南産真昆布	8	道南産根昆布
3	日高切り出し昆布	9	利尻産根昆布
4	利尻切り出し昆布	10	日高産根昆布
5	徳用ラウス産昆布	11	がごめ根昆布
6	がごめ昆布	12	道南産がごめ昆布カット
13	日高産昆布(みついし昆布)	14	真昆布(道南真昆布養殖)
15	利尻産利尻昆布(養殖)	16	道南産がごめ昆布
17	切り出し利尻昆布	18	昆布ふりかけ

図 2 18 種の乾燥昆布で作った自然放射能線源の強度比較)

またこの結果から、乾燥昆布のカリウム 40 含有量は、一般に言われているような、単純に 2000Bq/kg ではなく、「乾燥昆布によって 3 程度異なるが、平均値は約 2000Bq/kg である」と説明しなければならないことが分かった。

このように乾燥昆布によってカリウム 40 の含有量が異なるため、線源材料として優れた商品を選択するための実用的な方法として、乾燥昆布が袋詰めされたままの状態に測定した 1 分間計数に 0.66 をかければ、できあがった放射線源の、およそその 1 分間計数を推定できることを突き止めた。

②GM計数管 (針計数管)

誰もが知っている材料を用いて製作するために、まず製作材料の吟味を行った。その結果、GM計数管本体にはコーヒー空き缶を、そして注射針、防災保温シート、ライターガスなどを用いてGM計数管の設計と製作手順を検討した。その結果、製作に成功した計数

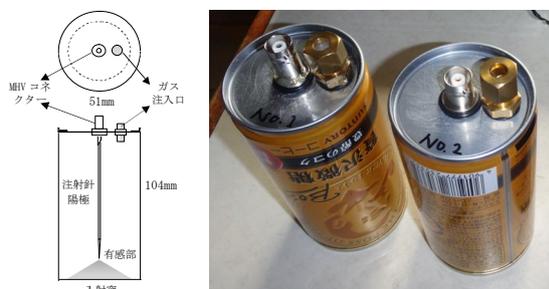


図 3 コーヒー缶と注射針で作った GM 計数管

管を図 3 に示す。この GM 計数管は直径約 5cm、長さ約 10cm であり、コーヒーの空き缶を材料にしていることが分かるように、まわりの塗装を落とさず、そのまま使用した。また上部には、高電圧印加用の MHV コネクタとロッ

クナットを利用した計数ガス注入口が取り付けられている。そして下部の入射窓には防災保温シートを貼り、ライターガスであるブタンを計数ガスに使用した。なお写真では見えないが、陽極として長さ 6~7cm 程度の注射針 (針陽極) を使用している。針陽極は細線ワイヤの芯線 (直径 0.02mm 程度の金メッキタングステンワイヤ) に比べて取り扱いが容易であり、製作において特殊な技術は不要である。この GM 計数管で放射線を実際に測定してみると、印加電圧は 2400V~3000V であった。それほど高電圧ではなく、③に示すように、コンデンサーとダイオードを用いた手作りの回路で十分に対応できる。なおこの針計数管 1 本の製作費用は 3~4 千円程度であった。

③計数装置 (高圧・計数回路など)

開発した針計数管専用の計数装置を設計して、手作りすることに成功した。この装置には、高圧電源、計数回路などが組み込んであり、単 3 乾電池 4 本で動く。図 4 に製作した計数装置を示す。乾電池ホルダー、高圧電源、測定時間設定機能、表示機能などを有する。

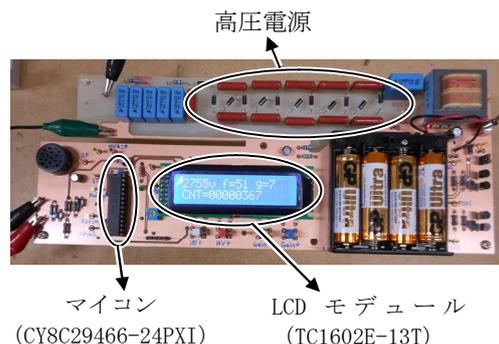


図 4 コーヒー空き缶計数管用高圧・計数回路

高圧電源はコンデンサーとダイオードを組み合わせ (コッククロフト・ワルトン型) 製作した。また電圧や測定時間の設定、計数の積算表示は、LCD モジュール (TC1602E-13T) でモニターしながら、マイコン (CY8C29466-24PXI) 制御で行う。なおこの計数装置 1 台の製作費用は 8~9 千円程度であった。

したがって、GM計数管と計数装置を合わせた費用は、一式で 1 万 5000 円以下である。そのため、中学、高校で多数個の製作が可能であると思われる。ただし、教育現場に提供するまえに今後、製作ごとの性能変動や長期運転における安定性などの試験評価を、実施する必要がある。

(2) 教育実践法の構築

開発した教材を使って「放射線の測定と単位」を正しく理解する放射線教育を実施するためには、教材利用の手順など、ソフト面での具

体化が必要である。とくに説明に用いるスライドと、測定データを記入して整理するためのデータシートがキーポイントだと考えられる。そのため本研究で、放射線の重要な単位である「ベクレル」のアニメーションを用いた説明、そして「シーベルト」には5つの放射線防護線量（等価線量、実効線量、1cm線量等量、70 μ m線量等量、預託線量）があることを、明確に区別して説明するためのスライド（パワーポイント）を製作した。また空白部を測定データで埋めることによって実習が自然に進むようなデータシートを作成し、放射線業務従事者教育などで実践しながら改良を進めた。そのほか、放射線測定実習をより効果的に実施するため、グループ参加による分担測定法を考案して、小、中、高等学校の先生や、高校生、大学院生を対象に実践した結果、実習への積極的な参加と時間短縮に有効であることが分かった。なおこの分担測定法は、放射線計測における計数の変動を、経験と知識を結びつけて理解するための実習においては、多くのデータ数を集めるために、欠かせない方法であることも分かった。

(3) 教育実践と普及活動

本研究で作成し、改良したスライドを用いて名古屋市内の大学における放射線教育で放射線単位の説明を含んだ講演（平成25年4月26日、平成26年4月25日、）を実践するほか、平成25年9月13日には日本アイソトープ協会 放射線安全取扱部会 中国・四国支部研修会で放射線の専門家を対象に「自然放射能線源による放射線教育 -実践に向けて-」と題する講演を、また平成26年4月18日には鹿児島大学のお招きを受けて大学の放射線教育担当教官および技官の方々を対象に、「放射線教育実践例紹介」と題して、自然放射能線源を用いた研究成果の講演と、放射線測定実習の実演を行った。さらに平成26年8月28日には核化学夏の学校の依頼を受けて「人、場所を選ばない自然放射能線源の開発と放射線教育への応用」と題する講演を行い、また核融合科学研究所「FUSION フェスタ」、核融合科学研究所オープンキャンパスなどで、ブースを構えて、自然放射能線源による自然放射線のデモンストレーションを実施した。このほか国内会議（放射線安全管理学会、アイソトープ・放射線研究発表会、放射線安全取扱部会年次大会）や国際会議（ISORD-7：（三亜）、IRPA-2014（ジュネーブ））で発表するなど、自然放射能線源を用いた放射線教育の普及活動に尽力した。ここで特筆すべき活動がある。それは、いわき市にある双葉町立幼稚園・小・中学校仮設校舎で、小学5、6年生を対象に、本研究で構築した方法に基づいて、放射線測定実習を実施したことである。小学

生を対象に行った実習はこれが初めてであったが、スライドとデータシートを小学生用に少し作り直すことで、十分に対応できることが分かった。なお図5は、双葉町立幼稚園・



図5 双葉小学校のホームページに掲載された放射線測定実習の記事

小・中学校のホームページに掲載された放射線測定実習の記事である。

これまで行われてきた多くの放射線教育における「放射線の測定と単位」の説明は、数学的基礎知識を用いて行われるのが主流であった。これに対して、本研究で取り組んだ、自ら測定して得たデータを用いて直接的に理解する方法は、数学的基礎が十分ではない小学、中学、高等学校を含む一般の人たちを対象にした放射線教育現場で、有効な教育法になる可能性があり、また福島原発事故で国民の間に発生した「ベクレルやシーベルトの一人歩き」の問題解決に、つながる事が期待される。

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 3件）

- ① 河野孝央、“乾燥昆布 18 種の自然放射能線源材料としての比較評価”、RADIOISOTOPES Vol. 64 No. 2 123-131 (2015) 査読あり
- ② 河野孝央、“自然放射能線源を用いて行う放射線計数の統計的変動を理解するための測定実習”、RADIOISOTOPES Vol. 63 No. 7 345-354 (2014) 査読あり
- ③ 河野孝央、“塩化カリウム線源を用いた分担測定法による高校生の放射線教育”、RADIOISOTOPES Vol. 62 No. 9 639-648 (2013) 査読あり

〔学会発表〕（計 7件）

- ① 河野孝央、“乾燥昆布に含まれるカリウ

ム 40 の放射能は、本当に 2000Bq/kg?”、平成 26 年度放射線安全取扱部会年次大会、北海道立道民活動センター、B-9 10 月 30, 31 日 (2014) ポスター。

- ② 河野孝央、”自然放射能線源を用いて行う放射線計数の統計的変動を理解するための測定実習 “、第 51 回アイソトープ・放射線研究発表会 東京大学弥生講堂、3a-II-05、7 月 7~9 日、(2014) 口頭。
- ③ T. Kawano, ”Radiation Measurement Practice for Comprehending Randomness and Statistical Fluctuation in Radiation Counts using Natural Radiation Sources” The IRPA 2014 Congress (IRPA-2014), Jun 22- 27 2014 in Genève Switzerland, Centre International de Conférences Genève PS7-2/17 (2014) Poster.
- ④ 河野孝央、各種乾燥昆布の自然放射能線源材料としての評価、日本放射線安全管理学会、北大 (北海道)、11 月 27, 28、29 日 (2013) ポスター。
- ⑤ 河野孝央、自然放射能線源を用いて行う放射線計数の統計変動を理解するための測定実習、平成 25 年度放射線安全取扱部会年次大会、鹿児島 11 月 14, 15 日 (2013) ポスター。
- ⑥ Takao KAWANO, Radiation Measurement Practice for Understanding Statistical Fluctuation of Radiation Counts using Natural Radiation Sources, 7th International Symposium on Radiation Safety and Detection Technology (ISORD-7) July 15-18 2013, Sanya (三亚) in China, BAOHONG Hotel, Abstract, P3-9, pp.107 (2013) Poster.
- ⑦ 河野孝央、自然放射能線源を用いた分担測定法による放射線教育実践、第 50 回アイソトープ・放射線研究発表会要旨集 東京大学弥生講堂 3a-II-05、7 月 3~5 日 P110 (2013) (7 月 5 日) 口頭。

〔図書〕 (計 0 件)

〔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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河野 孝央 (KAWANO Takao)
核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授
研究者番号：20300733

(2) 研究分担者 なし

()

研究者番号：

(3) 連携研究者 なし

()

研究者番号：