

## 1. はじめに

2023 年 8 月福島第一原子力発電所からの処理水の放出に関して、風評被害や中国による水産物の輸入規制等の社会問題が起り、放射線についての正しい理解や知識を学ぶ重要性が再認識されている。

そこで、私立女子校の中学 2 年生を対象とし、兵庫医科大学薬学部の藤野秀樹教授研究室の教員と学生の指導のもと、放射線教材コンテスト 2020 年度最優秀賞受賞作品「市販試薬の放射線計測による新規放射線教育プログラムについて」の実験授業を中大連携により実施した。

## 2. 対象生徒 和歌山信愛中学校 2 年生 女子 83 名 (3 クラス)

## 3. 単元の指導 (理科 1 分野 「電流とその利用」)

### (1) 目標

- 放射線の性質を理解し見通しをもって放射線計測の実験を行い、その結果から規則性や関連性を見出し分析して解釈し表現する。
- 放射線の医療分野での利用や、原子力発電所から放出される処理水についての知識を学び、科学技術と人間生活との関わりについて認識を深める。

### (2) 指導計画 (全 2 時間)

#### 【第 1 時】 (中学校教員による放射線計測実験の事前授業)

中学校の教員が教科書の内容に基づき放射線の種類や性質について説明し、生徒全員で  $\beta$  線簡易測定器「ベータちゃん」を用い乾燥コンブから放出される  $\beta$  線の計測を体験した。その後、処理水に関するアンケートを行い、処理水に関する新聞記事を紹介し、予習として第 2 時の実験動画を視聴した。

#### 【第 2 時】 (大学教員と学生による実験授業)

兵庫医科大学薬学部 藤野秀樹教授研究室の教員と学生の指導のもとで、市販試薬の放射線計測実験を行った。計測に使用した放射線簡易測定器「ベータちゃん」「ガンマくん」は関西原子力懇談会より貸与して頂いた。アルミニウムによる遮へいの有無による測定結果のちがいがから、それぞれの試薬を推定した。その後、医療現場で利用される核医学について、および、福島第一原子力発電所から放出された処理水の生成の仕組みについての講義を行った。

#### 【事後調査】

授業実施後に放射線に関する知識や意識についてのアンケート調査を実施した。「実験は理解できたか?」「実験は楽しかったか?」の質問項目については、80 %~90 %の生徒が「良く理解できた (非常に楽しかった)」「理解できた (楽しかった)」と回答した。また授業実施前は約 40 %の生徒が福島第一原子力発電所の処理水問題を知らなかったが、事後アンケートでは 70 %以上の生徒が「処理水の生成の仕組みを理解できたか?」の項目について「よく理解できた」「理解できた」と回答した。また「放射線・放射能を正しく理解することは重要だと思う」の項目については 90 %以上の生徒が「大いに思う」「思う」と回答した。

## 4. 結語

授業実施後のアンケート結果から、生徒は放射線について楽しく学び、知識や理解を深めることができたと思われる。また授業を見学した他教科の教員からも、面白い授業だったとの感想があった。したがって今回実施した中大連携による実験実演を通じた放射線教育は効果が高いと考えられた。

今回実施した中大連携の実験教室については和歌山信愛中学校高等学校のホームページや読売新聞オンライン (<https://www.yomiuri.co.jp/kyoiku/support/information/CO044432/>) に紹介されている。

## 5. 使用した実習書、講義資料、アンケート用紙、アンケート結果、ホームページ紹介記事

### 中学2年生 兵庫医科大学の実験教室を実施しました。

2023年10月20日 / 和歌山信愛



10月16日に兵庫医科大学薬学部教授 藤野秀樹先生の研究室の皆さんが来校され、中学2年生3クラスで放射線計測の実験教室を実施していただきました。試薬から放出される放射線を測定機器を使って計測し、試薬の推定を行いました（実験で使用した試薬から放出される放射線は微量で人体に影響はありません）。また福島の原子力発電所から放出される処理水についてもわかりやすく授業をしていただきました。

実験教室終了後のアンケートでは「楽しかった」「自然にも放射線が身近に存在することが理解できた」「放射線の特徴が理解できた」「放射線に関する興味が深まった」「放射線を正しく理解することが重要だと思う」などのほとんどの項目で80%以上が「良くわかった」「非常に良くわかった」との回答でした。

アンケート結果からも中学2年生の皆さんが今回の実験教室を通じて楽しく学びを深めることができたことがよくわかりました。

兵庫医科大学薬学部藤野秀樹先生はじめ研究室の皆様、ありがとうございました。

1. 試薬に含まれる放射性核種を推定しよう！（グループ実習）

実験概要

正体不明の試薬 A~D があります。これらの試薬を放射線計測器にて放射線を計測し、アルミ箔やアルミ板による遮へい効果から各試薬に含まれる天然核種を推定してみましよう。本実習にて放射線はいくつかの種類に分類され、それに対応した計測器が必要であることや放射線の種類で透過力が異なることを理解してください。さらに、これらの特徴が核医学検査などに利用されていることもあわせて理解してください。

【実習の流れ】

1. 試薬 A~D には塩化ナトリウム (NaCl)、塩化ルビジウム (RbCl)、酸化ルテチウム ( $\text{Lu}_2\text{O}_3$ )、塩化カリウム (KCl) が含まれています。NaCl から放射線は検出されませんが、その他の試薬には放射性同位体（核種）が含まれており、放射線が放出されます。各試薬に含まれる放射性核種の特徴を表 1 に示します。

表 1 試薬に含まれる放射性核種とその特徴

試薬名	分子式	核種	$\beta$ 線	$\beta$ 線エネルギー	$\gamma$ 線
塩化ナトリウム	NaCl	なし	なし	—	なし
塩化ルビジウム	RbCl	$^{87}\text{Rb}$	○	低い	なし
酸化ルテチウム	$\text{Lu}_2\text{O}_3$	$^{176}\text{Lu}$	○	中程度	○
塩化カリウム	KCl	$^{40}\text{K}$	○	高い	なし

2. 最初にバックグラウンドを 30 秒間計測して次ページの記入表へ測定値を記録します。次に図 1 のレイアウト表に試薬や計測器を配置し、試薬 A~D から放出される放射線をベータちゃん ( $\beta$ 線用) にて 30 秒間、ガンマくん ( $\gamma$ 線用) にて 45 秒間計測してみましよう。なお、計測値がバックグラウンドの 1.5 倍以下では放射線が検出されなかったと判定してください（遮へい試験は不要です）。放射線が検出された場合、ベータちゃんではアルミ箔、ガンマくんではアルミ板を用いて遮へい試験を行いましよう。なお、ベータちゃんにてアルミ箔での遮へいによる計測値の変化が認められなかった試薬は“アルミ板”での遮へい試験を追加してください。



図 1. 放射線計測実習の流れ（レイアウト表に試薬や計測器を正確に配置すること）

3. 2 で得られた放射線の計測値を下記の記入用紙に記録してください。試薬より放出される放射線の種類や遮へい状況、さらに表 1 の情報から試薬 A~D に含まれる放射性核種をグループ内で話し合い、試薬を推定してみましょう。

### 計測値の記入表

	ベータちゃん ( $\beta$ 線)		ガンマくん ( $\gamma$ 線)		推定試薬
	遮へいなし	遮へい有り アルミ箔 (12 mg/cm <sup>2</sup> )	遮へいなし	遮へい有り アルミ板 (400 mg/cm <sup>2</sup> )	
バックグラウンド*					
試薬A					
試薬B					
試薬C					
試薬D					

#### 【ヒント】

表 1 の  $\beta$  線エネルギーが高い核種では透過力も高くなります。透過力が高いとアルミ箔を容易に貫通する為に遮へいされにくくなります。一方、 $\beta$  線エネルギーが低いと透過力が低く、アルミ箔にて遮へいされて計測値は大きく低下します。それぞれの試薬の特徴をもとに試薬 A~D が何かを予想してみましょう。

## 2. 実験で学ぶトリチウム処理水（実演形式）

### 実験概要

原発事故にて発生した汚染水（高濃度の放射性物質を含んだ水）からの処理水には放射性の三重水素（ $^3\text{H}$ ：トリチウム）が含まれています。その処理水の海洋放出が8月下旬より開始され、水産業への風評被害が懸念されます。そこで、核燃料のウラン( $^{235}\text{U}$ )からトリチウム( $^3\text{H}$ )が発生する仕組みを理解する実習を実演形式にて行います。

### 1. ウランの核分裂と中性子の制御について

原子力発電には核燃料としてウラン ( $^{235}\text{U}$ ) が利用されています。 $^{235}\text{U}$  に中性子が衝突すると 2 つに分裂し、同時に熱エネルギーと新たな中性子を放出します。放出された中性子がさらに  $^{235}\text{U}$  との衝突を繰り返すことで、熱エネルギーが供給されてタービンが稼働し、発電に用いられています（図 2）。

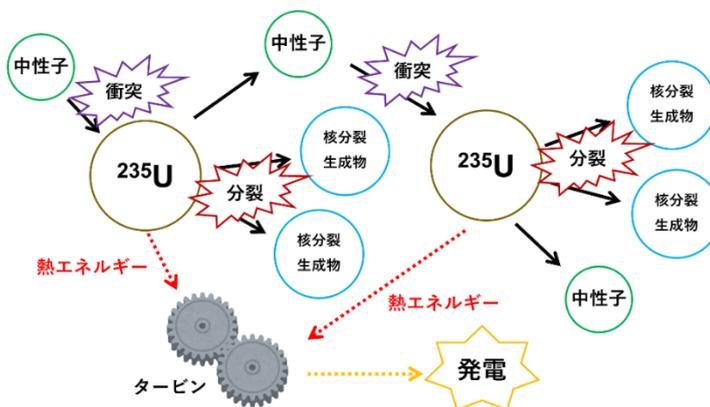


図 2 原子力発電と核分裂の仕組み

一方、中性子は水素の原子核（陽子）とほぼ同じ重さの為、水素の原子核と衝突することによって効率よくエネルギーを失います。通常はウランをプールの中で保管することで中性子を遮へいし、核分裂をコントロールしています。ただし、原子炉の中では、核燃料を水中に置くことで中性子の速度を落とし、核分裂反応を継続しやすくしています。ここでは中性子をビー玉に模した水素原子による遮へいや、放射線源となる理化学教材のモナズ石を核燃料と見立て、水による遮へい効果をガンマくんにて計測する実習にて中性子の遮へいや制御方法を理解しましょう（図 3）。

水素原子      中性子

水素による中性子の遮蔽

水      放射線計測器

放射線計測による実演

★ガンマくんの計測値

バックグラウンド	$\mu\text{Sv/h}$
水での遮へい	$\mu\text{Sv/h}$
水なし	$\mu\text{Sv/h}$

図 3 水素原子による中性子の遮へい（左：スマートボール形式、右：実演計測）

## 2. 中性子による放射化とトリチウム水の生成について

自然界では水素の同位体（中性子数が異なる）として重水素（ $^2\text{H}$ ）が僅かに存在します（約 0.015%）。 $^{235}\text{U}$  から放出された中性子が水に含まれる  $^2\text{H}$  に衝突すると質量数が 1 つ増加した放射性同位体の三重水素（トリチウム： $^3\text{H}$ ）が生成します。つまり中性子によって  $^2\text{H}$  が放射化されて放射性物質に変換します（図 4）。

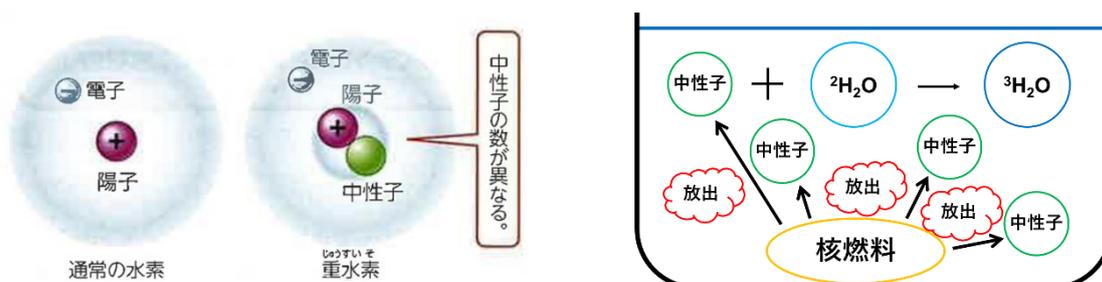


図 4 水素の同位体及びトリチウムが生成する仕組みについて

このように核燃料である  $^{235}\text{U}$  の核分裂が適切に行われるように中性子の運動エネルギーを水で減速させることが必要となりますが、中性子が重水素の原子核に取り込まれることで  $^2\text{H}$  が放射化されてトリチウム水が生成します。本実習では着色水をカテーテルにて移送してビーカー内の水が徐々に着色される過程をトリチウム水の生成と見立てた実習を行います。さらに、重水素と中性子をカラー粘土として両者を混合することで性質の異なる物質へ変化する過程を放射化によるトリチウム生成と見立てた実習にて理解を深めましょう（図 5）。

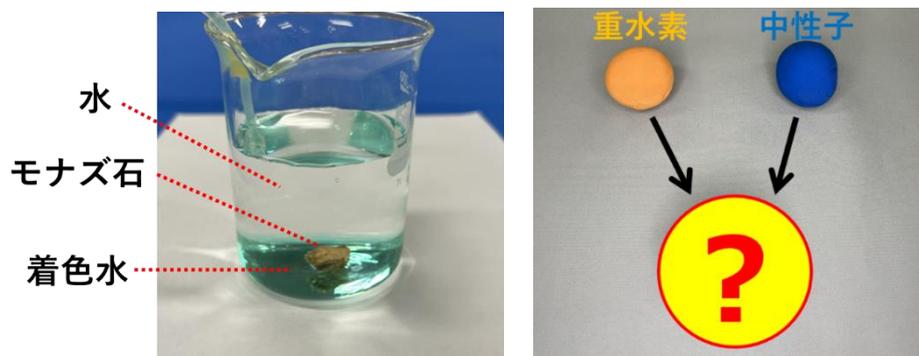


図 5 トリチウム水が生成するメカニズム

終わりに

本実習を通じて和歌山信愛中学の皆さんが放射線・放射能を正しく理解すると共に理科に対する一層の興味を持って頂けることを願っています。

兵庫医科大学薬学部 藤野秀樹、栄井修平、白石秀伍、林琢成

(参考文献)

「アイソトープ・放射線利用入門 最近の進歩を中心に」 社団法人 日本アイソトープ協会  
「改訂版 放射線の ABC」 社団法人 日本アイソトープ協会

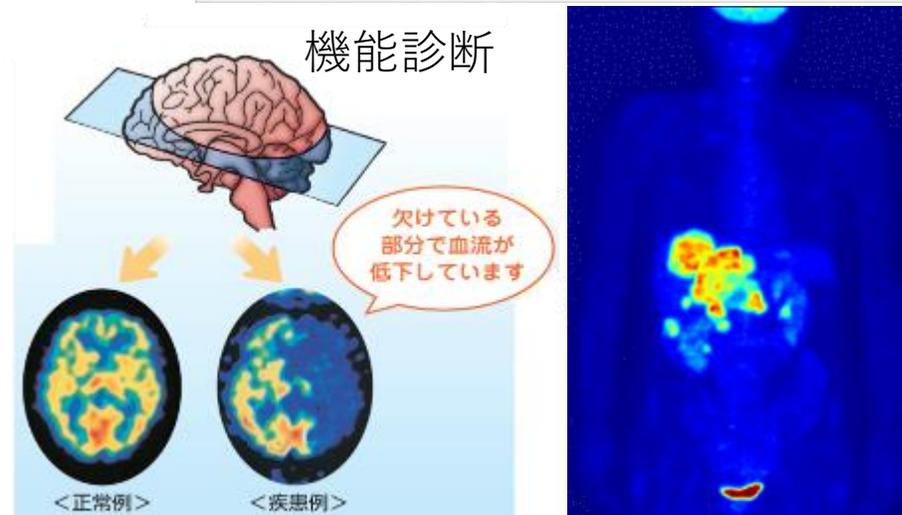
	ベータちゃん ( $\beta$ 線)		ガンマくん ( $\gamma$ 線)		推定試薬
	遮へいなし	遮へい有り アルミホイル (12 mg/cm <sup>2</sup> )	遮へいなし	遮へい有り アルミ板 (400 mg/cm <sup>2</sup> )	
バックグラウンド	40		0.059		
試薬A	40		0.063		塩化ナトリウム
試薬B	300	アルミホイル：300 アルミ板：40	0.065		塩化カリウム
試薬C	300	90	0.056		塩化ルビジウム
試薬D	300	100	0.166	0.146	酸化ルテチウム

# 核医学分野での放射線の利用について

## (1) 診断用放射性医薬品

原理 放射線の画像化  
透過力の高いガンマ線や特性X線が  
用いられる。

用途 { 臓器の機能診断  
がんの診断



がんの診断

## (2) 治療用放射性医薬品

原理 粒子線によるDNAの切断  
アルファ線とベータ線が用いられる。

用途 がんの治療

放射性物質  
(放射性医薬品) を注射



がん細胞へ放射性物質  
が運ばれる



粒子線にて細胞  
のDNAが切断

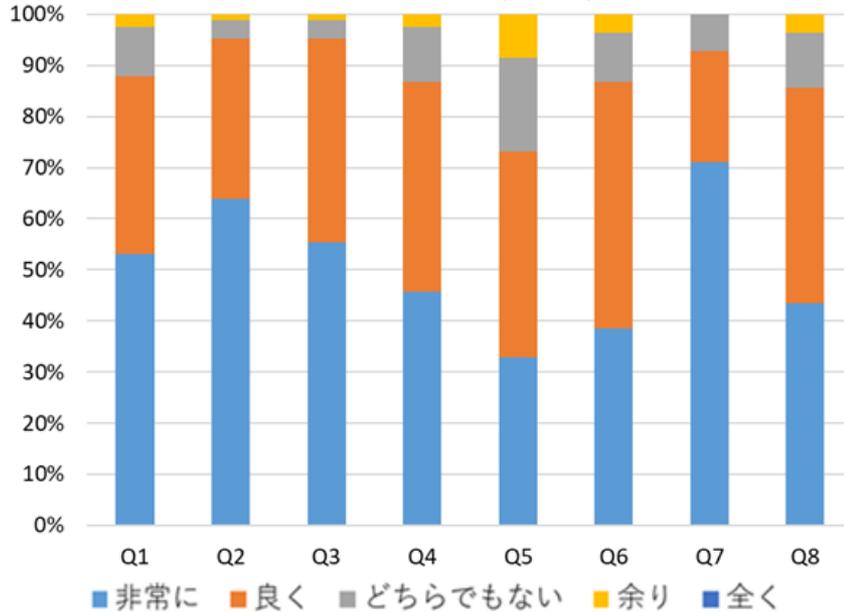


アンケートにご協力ください。選択肢に○をしてください。

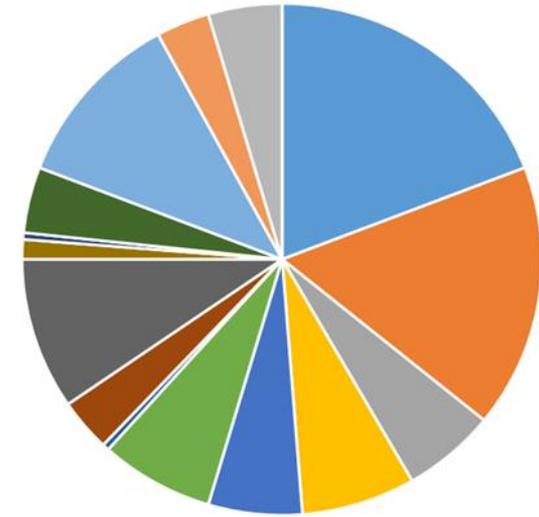
1. 試薬の放射線計測に関する実習は理解できましたか  
1) 良く理解できた 2) 理解できた 3) わからない 4) 余りできなかった 5) 全くできなかった
2. 試薬の放射線計測は楽しかったですか  
1) 非常に楽しかった 2) 楽しかった 3) わからない 4) 余り楽しくなかった 5) 全く楽しくなかった
3. 天然核種などから放射線が出ていて、自然放射線が私たちの身近に存在することを理解できましたか  
1) 良く理解できた 2) 理解できた 3) わからない 4) 余りできなかった 5) 全くできなかった
4. 放射線計測を行うことで放射線の特徴を理解できましたか  
1) 良く理解できた 2) 理解できた 3) わからない 4) 余りできなかった 5) 全くできなかった
5. 処理水の実習にてウランからトリチウムが生成する仕組みを理解できましたか  
1) 良く理解できた 2) 理解できた 3) わからない 4) 余り理解できなかった 5) 全くできなかった
6. 本日の出前授業を受けて放射線・放射能に関する興味が深まりましたか。  
1) 非常に深まった 2) 深まった 3) わからない 4) 余り深まらなかった 5) 全く深まらなかった
7. 放射線・放射能を正しく理解することは重要だと思いましたか。  
1) 大いに思う 2) 思う 3) わからない 4) 余り思わない 5) 全く思わない
8. この様な放射線教育を受ける機会があれば、もう一度受けたいと思いますか。  
1) 強く思う 2) 思う 3) わからない 4) 余り思わない 5) 全く思わない
9. 放射線・放射能に対するイメージを 3つ選んでください。  
1) 原子力発電所 2) 広島・長崎の原爆投下 3) 被ばく 4) 怖い 5) 福島県 6) 安全  
7) 危険 8) 正体が分からないもの 9) 白血病 10) 処理水 11) 風評被害 12) 食品の汚染  
13) 発がん 14) 病気の診断・治療 15) 海洋汚染 16) 東日本大震災 17) その他 ( )
10. 本日の実習で最も印象に残ったのは何ですか。(自由記載)

ご協力ありがとうございました。

## 全クラス集計(n=83)



- Q1 試薬の放射線計測に関する実習は理解できましたか  
 Q2 試薬の放射線計測は楽しかったですか  
 Q3 天然核種などから放射線が出ていて、自然放射線が私たちの身近に存在することを理解できましたか  
 Q4 放射線計測を行うことで放射線の特徴を理解できましたか  
 Q5 処理水の実習にてウランからトリチウムの生成を理解できましたか  
 Q6 本日の出前授業を受けて放射線・放射能に関する興味が深まりましたか  
 Q7 放射線・放射能を正しく理解することは重要だと思いましたか  
 Q8 この様な放射線教育を受ける機会があれば、もう一度受けたいと思いますか



Q9 放射線・放射能に対するイメージを3つ選んでください。

- |              |              |
|--------------|--------------|
| ■ 原子力発電所     | ■ 広島・長崎の原爆投下 |
| ■ 被ばく        | ■ 怖い         |
| ■ 福島県        | ■ 危険         |
| ■ 正体が分からないもの | ■ 白血病        |
| ■ 処理水        | ■ 風評被害       |
| ■ 食品の汚染      | ■ 発がん        |
| ■ 病気の診断・治療   | ■ 海洋汚染       |
| ■ 東日本大震災     |              |