

研究報告

# 天然核種の放射線計測及びゲーミフィケーションによる 中学・高校生への新規放射線教育

藤野秀樹<sup>1)</sup>、佐藤佳子<sup>2)</sup>、白石秀伍<sup>1)</sup>、林琢成<sup>1)</sup>、栄井修平<sup>1)</sup>

1) 兵庫医科大学薬学部、2) 和歌山信愛中学高等学校

Radiation Education for Junior and Senior High School Students Using the Measuring of Naturally  
Occurring Radioactive Materials and Gamification Tool

Hideki FUJINO<sup>1)</sup>, Yoshiko SATO<sup>2)</sup>, Shugo SHIRAISHI<sup>1)</sup>,  
Takunari HAYASHI<sup>1)</sup>, Shuhei SAKAI<sup>1)</sup>

1) School of Pharmacy, Hyogo Medical University 2) Junior and Senior High School, Wakayama Shin-ai

## 抄 録

放射線教育にて実演を交えた体験型学習は総合的な理解力の育成や知識の醸成に有用である。そこで入手が容易で、且つ放射線管理が不要な天然核種を含有する市販試薬を用いた放射線計測を交えた実験授業及びカルタ形式によるゲームを取り入れた実演授業を提案する。教育用に利用される簡易型放射線計測器を用いて $\beta$ 線または $\gamma$ 線を放出する塩化カリウム、塩化ルビジウム、酸化ルテチウムを計測した。またアルミニウムの遮蔽材による減衰特性から試薬に含まれる放射性核種を推定した。一方、ゲーミフィケーションではカルタ形式のカードゲーム教材を考案し、放射線の物理的性質や身体的影響、さらに核医学領域での放射線利用等の理解を促す内容とした。放射線教育は、実習説明、実演、グループ討議、そしてフィードバックで構成され、1回あたり45分とした。対象は中学2年生または高等学校2年生とし、本学薬学部5年生がファシリテーターとして参加した。放射線授業の事前・事後の授業評価アンケートを比較すると多くの生徒にて放射線に関する興味や理解が深まっていた。よって、本提案は放射線・放射能を多角的・多面的な視野で捉える能力を身に付けられ、科学リテラシーが育まれると期待された。

キーワード：放射線教育、天然核種、市販試薬、ゲーミフィケーション

Key words : Radiation education, Natural nuclides, Commercially available reagents, Gamification

## I はじめに

2008年に学習指導要領が改訂され、中学理科に「放射線の性質と利用」、高等学校理科の物理基礎に「放射線と原子力の利用とその安全性」が追加された<sup>1, 2)</sup>。これを受けて真空放電管（クルックス管）を用いた高圧

放電実験によるX線またはペルチェ冷却式霧箱による $\alpha$ 線や $\beta$ 線の飛跡を可視化する教材が導入された<sup>3, 4)</sup>。しかしながら、前者は通電時の低レベルX線の放出が問題視され、後者は線源としてトリウム含有マントルが必要な為にその確保が困難な一面もある。この他、担当教諭は必ずしも放射線に関する知識を習得してお

らず、放射線教育の担当者が充足していない等の問題点がある<sup>5)</sup>。

一般的に放射線計測を交えた体験型学習は、教本等の情報コンテンツを主体とした放射線教育と比較して、種々の情報を有機的に結び付けて知識を醸成させるのに有用である。しかしながら、 $^{14}\text{C}$ 等の許可使用核種は管理区域内にて厳重に管理されている。また高額な精密機器であるサーベイメーター類を管理区域外へ持ち出すことは放射線管理上望ましくない。よって、放射線源や計測器の確保の他、放射線教育を担う人材育成が解決すべき課題である。これら問題点を解決する為、本研究室では天然核種を含有する試薬を用いた放射線教育を提案している<sup>6)</sup>。これら天然核種は簡易型放射線計測器で測定可能である。さらに機器の取り扱いが容易な為に教育担当者や受講者への教育訓練を大幅に簡略できる利点を有する。一方、ゲーミフィケーションはゲーム要素を社会的活動に利用することで、参加者の競争意識や学習の動機付けに有用とされ、学校教育や社会人研修等で広く利用されている<sup>7,8)</sup>。これらの点に着目し、複数名での能動的参加が可能で多様な自己表現やフィードバックを通じて自己の成長が把握できる放射線教材の作成に着手した。

本稿では、これらの放射線教材を紹介すると共に放射線授業の効果を考察したい。

## II 方法

### 1. 放射線源及び放射線計測器

塩化カリウム、塩化ルビジウム（ナカライテスク、京都）及び酸化ルテチウム（富士フィルム和光純薬、大阪）の特級試薬を購入し、それぞれ $^{40}\text{K}$ 、 $^{87}\text{Rb}$ 及び $^{176}\text{Lu}$ の放射線源とした。この他、放射性核種を含まない線源として塩化ナトリウム（富士フィルム和光純薬、大阪）の特級品を用いた。いずれの試薬も乳鉢にて細かく粉碎した後、内径50mm試料皿（千代田テクノル、東京）に充填して4 $\mu\text{m}$ 厚のポリエステルフィルム（ルミラー®、東レ、東京）で覆い線源試料とした。図1に本研究で用いた天然核種の壊変図式及び画像解析装置（Amersham Typhoon scanner IPシステム、Cytiva）にて計測した放射線源のラジオルミノグラムを示す。これら試薬には様々な $\beta$ -線最大エネルギー（ $E_{\text{max}}$ ）を有する天然核種が含まれ、 $\beta$ -線以外にも $\gamma$ 線や特性X線を放出する。具体的には $^{87}\text{Rb}$ では0.283MeVの比較的低い $E_{\text{max}}$ を有する $\beta$ -線を放出し、 $^{40}\text{K}$ では $E_{\text{max}}$ が1.31MeVの $\beta$ -線のみならず軌道

電子捕獲（EC）による特性X線（1.46MeV）も放出される。この他、 $^{176}\text{Lu}$ は $\beta$ -壊変後に励起状態となり、続けて複数の $\gamma$ 線（0.307、0.202MeV）を放出する（図1上）。これに関連し、図1下のラジオルミノグラムでも酸化ルテチウムでは塩化ルビジウムと比較して線源周辺の放射線像や曲線状のエネルギースペクトルが観察できる。これは $^{176}\text{Lu}$ より放出される $\gamma$ 線の飛程や物質透過力が $^{87}\text{Rb}$ から放出される $\beta$ -線より高い為と推察される。なお、試薬中に含まれる放射能濃度は塩化カリウムで17Bq/g、塩化ルビジウムで632Bq/g、酸化ルテチウムで45Bq/gであった。

本研究では簡易型放射線計測器としてハロゲンガス封入式簡易GM型測定器のベータちゃん（千代田テクノル、東京）を $\beta$ -線計測に、固体シンチレーション（CsI）検出器である環境放射線モニタのRadi（堀場製作所、東京）を $\gamma$ 線計測に用いた。これらの計測器は関西原子力懇談会より学校教育機関へ無償で貸与されている。計測は放射線源と計測器を密着させ、1minの計測を2回行って平均値を求めた。遮蔽試験では4枚重ねたアルミニウム箔（ $\beta$ -線用遮蔽材）または1mm厚アルミニウム板（ $\gamma$ 線用遮蔽材）を用い、放射線源との間に挟み再計測した。なお、線源試料の計測値がバックグラウンド（BG）の1.5倍未満の場合は検出限界未満（n.d.）とした。

### 2. 放射線計測を交えた実験授業

中学2年生で履修する理科（第1分野）の教科書には放射線の種類として $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線が存在し、物質を透過する能力は放射線の種類で異なることが掲載されている<sup>9)</sup>。これらに基づき、既報<sup>10,11)</sup>に従い放射線計測を交えた実験授業を立案した。具体的には、生

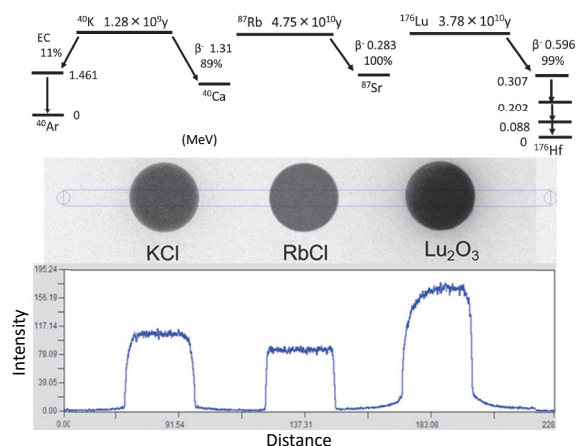


図1. 天然核種の壊変図式(上)及びラジオルミノグラム(下)

徒には測定する試薬に含まれる核種や放射線の特徴を伝え、未知試料としてそれらを複数の放射線源を測定原理の異なる簡易型計測器にて計測させ、遮蔽特性から試薬に含まれる天然核種を推定させる内容とした。実験で使用する備品は放射線源、アルミニウム遮蔽材、ストップウォッチ等の入手が容易な市販品で揃え、BG試料は紙粘土を試料皿に充填して用いた（図2a）。実習は3名で1グループとし、放射線計測、時間測定及び記録作業を分担させた。この他、放射線計測を適切に行う為に線源と計測器の配置を明確化したレイアウト表を使用した。これにより放射線計測の際に線源が計測器のプロンプの真下に配置されて再現性を有する計測が可能となって測定精度が向上した。また実習内容の説明動画を作成して事前授業（後述）に利用した（[https://www.youtube.com/watch?v=\\_LaKbwIaKho&t=1s](https://www.youtube.com/watch?v=_LaKbwIaKho&t=1s)）。

実験授業の実演例を図2bに示す。ベータちゃんによる $\beta$ -線計測にて試薬Aの計数率はBGの1.5倍未満で放射線は検出されなかったが、それ以外の試薬では300cpmの計数率を示した。これらの試薬B-Dはアルミニウム箔（密度12mg/cm<sup>2</sup>）を用いた遮蔽試験を行った。試薬Bからは透過力の高い $\beta$ -線が検出され、遮蔽に伴う計数率の低下は認められなかった。一方、試薬Cより放出される $\beta$ -線の透過力は弱く、遮蔽により90cpmまで低下した。なお、試薬Dでは遮蔽により210cpmまで計数率が低下したものの、顕著な減衰を示さなかった。次にRadiによる $\gamma$ 線計測を実施し

た。試薬A-CではBGの1.5倍未満の線量率を示し、 $\gamma$ 線は検出されなかった。しかしながら、試薬Dでは $\gamma$ 線が検出されて0.357 $\mu$ Sv/hの線量率を示した。また試薬Dより放出される $\gamma$ 線の透過力は高く、アルミニウム板（密度400mg/cm<sup>2</sup>）を透過した後の線量率は0.252 $\mu$ Sv/hであった。これらの結果から、試薬Aは放射線が検出されなかった為に天然核種を含まない塩化ナトリウムと推定された。試薬BとCでは $\beta$ -線が検出され、遮蔽結果から試薬Bは $E_{\max}$ の高い<sup>40</sup>Kを含む塩化カリウム、試薬Cは $E_{\max}$ の低い<sup>87</sup>Rbが含まれる塩化ルビジウムと推定された。最後に試薬Dでは $\beta$ -線と $\gamma$ 線の両方が検出されたことから<sup>176</sup>Luを含む酸化ルテチウムと推定された。なお、<sup>40</sup>Kを含有する塩化カリウムをアルミニウム板で遮蔽すると $\beta$ -線はBG付近まで遮蔽され、 $\gamma$ 線の物質透過力と大きく異なる成績を示した（data not shown）。この他、試薬に含まれる天然核種の物理学的半減期は非常に長く（図1上）、恒常的に放射線を放出する為、簡易型放射線計測器にて安定かつ再現性の高い計測が可能である。

### 3. トリチウム生成に関する実習

ウラン（<sup>235</sup>U）からのトリチウム（<sup>3</sup>H）生成に関する実習を考案した。中性子は<sup>235</sup>Uと衝突すると熱エネルギーが発生し、質量数の異なる2種類の核分裂生成物と新たな中性子が放出される<sup>12)</sup>。生成した中性子は次々と<sup>235</sup>Uの核分裂を誘発する為、原子力発電では中性子を制御しながら熱エネルギーを得ている。一方、

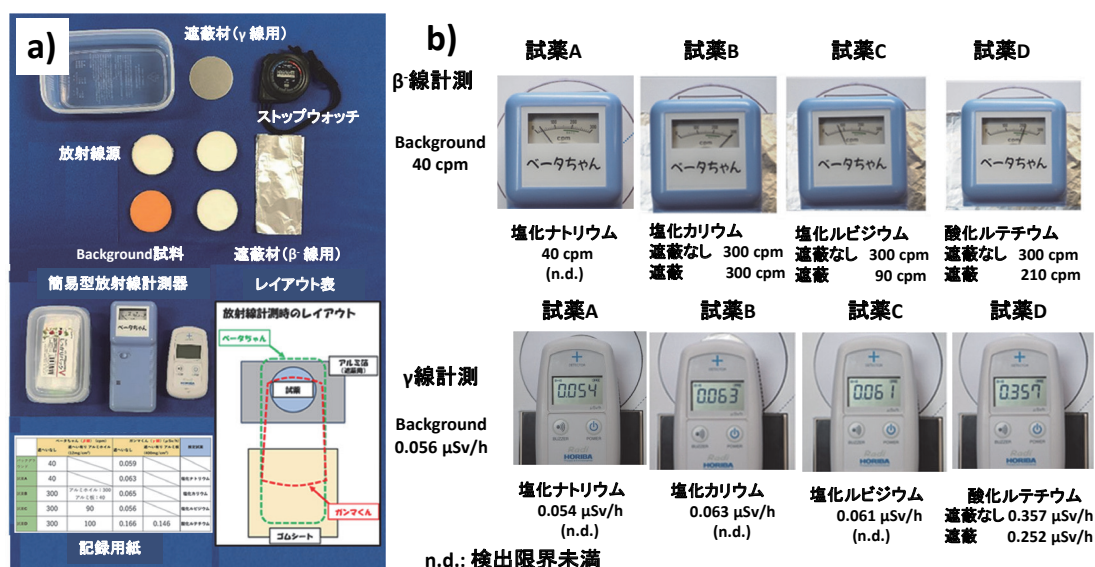


図2. 試薬を用いた放射線計測及びアルミニウムによる遮蔽試験

a) 実習で用いる用具・備品    b) 放射線の物質透過力を利用した核種推定試験



陽子（水素原子核）は中性子と類似した質量の為、水は中性子の遮蔽に利用される。そこで、ピンポン玉（ $\alpha$ 線）、ビー玉（中性子）、小型のビー玉（ $\beta$ 線）を模擬放射線とし、紙粘土（水素原子）を用いた遮蔽モデルを作製した（図3a）。これにより $\beta$ 線に比べて粒子の大きい $\alpha$ 線や中性子は水素原子と衝突して移動が阻止されることから、水による放射線の遮蔽効果が理解できる。次に、少量のラジウム（ $^{226}\text{Ra}$ ）を含んだ理化学教材のモナズ石を模擬中性子線源と見立て、Radiにて線量率を計測した（図3b）。モナズ石より放出される線量率は水の存在にて約2/3に低下することから、模型と同様に水による遮蔽の理解が深まると考えられた。

この他、自然界では水素の同位体である重水素（ $^2\text{H}$ ）が約0.015%存在し、これに中性子が衝突すると放射化されて三重水素（ $^3\text{H}$ ）を生成する。よって、 $^{235}\text{U}$ の核分裂を抑制する為に中性子を水で遮蔽すると、重水と接触してトリチウム水が生成する。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放射化によるトリチウム生成と見立てたモデルを作製した（図3c）。さらに、重水素と中性子を模したカラー粘土を混合することで性質の異なる物質へ変化する実習も考案した（図3d）。

#### 4. カルタ形式によるゲーム教材の開発

カルタは伝統的な遊戯として親しまれ、幅広い年代で容易に取り組むことが可能である。また取札からの

視覚情報や読札からの聴覚情報を認識してゲームが進行する特徴を有しており、教材として用いることで座学より高い学習効果が期待される。これらの観点から、本研究ではカルタ形式によるゲームの開発を行った。カードのコンテンツとして中学校学習指導要領（平成29年告示）<sup>13)</sup>及び薬学教育モデルコアカリキュラム<sup>14)</sup>に準じ、放射線の物理的性質や身体的影響、さらに放射性医薬品による核医学治療やPET-CT等の検査を盛り込み、計50枚を作成した。カルタの読札は総合的な理解を促す目的で取札を連想可能な文とした。例えば、ラドン222（ $^{222}\text{Rn}$ ）は空気中に存在する放射性塵埃やラドン温泉として知られ、読札はイメージを促す文章を、取札（表面）には文章から連想可能なイラストを施した（図4a）。

本教材の基本的なルールはカルタと同様に読札を読み上げ、該当する取札を取得し、その取得枚数で参加者の勝敗を決定するものとした。しかしながら、本ルールでは取札の残数が少なくなると聴覚情報と視覚情報を認識する意義が少なくなり、回数を重ねる毎に学習効果の低下が懸念される。そこで、深い学びを形成させる目的で取札（裏面）には追加情報を記載した。一般的に $^{222}\text{Rn}$ は $\alpha$ 壊変にて $\alpha$ 線を放出する他、希ガスとして空気中に存在して自然放射線の原因になる。また $^{222}\text{Rn}$ は呼吸にて肺へ取り込まれて内部被ばくの主な原因となることも知られている。本教材では、これらの追加情報をキーワードとして赤字でカードに明記した。この他、取得カードとの関連性を見出すことが

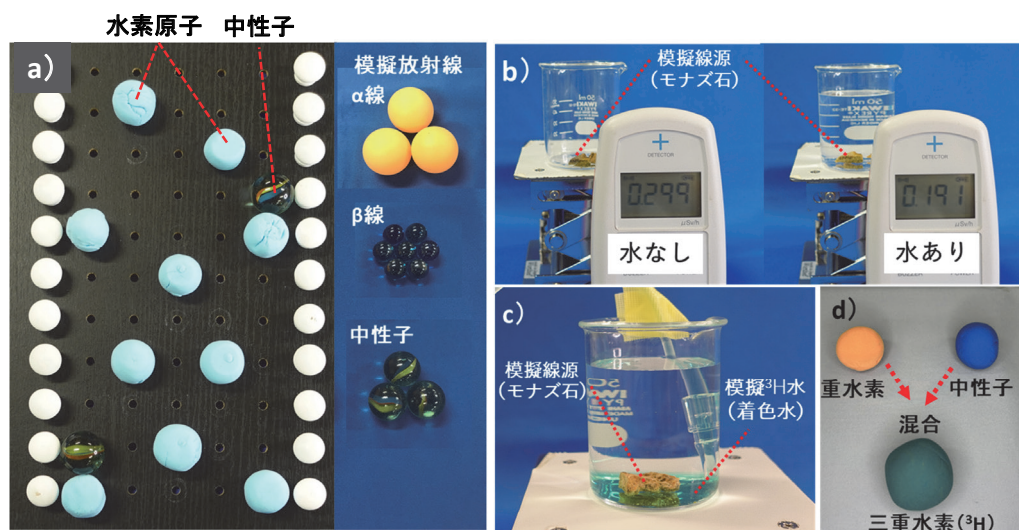


図3. トリチウム水生成に関する放射線教材

a) 水素による模擬放射線の遮蔽モデル  
c) トリチウム水生成の疑似体験

b) 模擬中性子線源（モナズ石）を用いた水による遮蔽  
d) カラー粘土の混合による放射化の疑似体験

できれば、関連用語の追加点が得られるルールとした。例として、「 $^{222}\text{Rn}$ 」、「 $\alpha$  壊変」及び「自然放射線」の取札3枚で説明する（図4b）。 $^{222}\text{Rn}$ 取札の追加情報には「自然放射線」と「 $\alpha$  壊変」が赤字で記載されており、他に取得した札タイトルと一致している。これにより、「① $^{222}\text{Rn}$ は $\alpha$  壊変する」、「② $^{222}\text{Rn}$ は自然放射線である」等の関連性を導くことが可能となり、追加点として2点を得ることができる。これら取札の関連性を自己申告またはグループ内で話し合うことでプレイヤー同士の能動的な取り組みが促され、放射線・放射能の知識が定着して優れた教育効果が期待される。

## 5. 放射線教育の実施

和歌山信愛中学校・高等学校（和歌山市）にて本教材を用いた放射線教育を実施した。中学校では3クラスに編成された83名の女子2年生に放射線計測を交えた実験授業を2023年10月に実施し、高等学校では看護系進学コース13名の女子2年生を対象としたカルタ形式によるゲームによる実演授業を2023年11月に実施した。いずれの実験授業および実演授業の前には、和歌山信愛高等学校教員による事前授業を行い、その翌週に本学教員と2名の薬学部5年生ファシリテーターによる実験・実演授業をクラス毎で45分行った。

中学校における事前授業では理科第1分野の放射線の性質を説明した。具体的には放射線の透過力は $\alpha$ 線 $<\beta$ 線 $<\gamma$ 線の順で異なり、 $\alpha$ 線は紙一枚で遮蔽されるものの、 $\gamma$ 線の遮蔽には鉛板が必要であることを紹介した。次にベータちゃんにて乾燥昆布から放出される $^{40}\text{K}$ 由来の $\beta^-$ 線を生徒全員で計測し、計測器取扱いの教育訓練とした。この他、処理水の海洋放出に関連するアンケート調査を行った。実験授業では薬学生による実験概要や注意点を10分程度説明した後に、グループ毎で試薬から放出される $\beta^-$ 線や $\gamma$ 線の計測実験を行った（図5a）。実験中は大学教員及び薬学生が教室を巡回して実験指導を行った。計測後は実験結果をグループ内の生徒同士で話し合い、放射線の物質透過性から核種を推定した。なお、いずれのクラスにおいても全グループが試薬A~Dを的中させた。この他、原発事故にて生じたトリチウム水の生成機序を説明し、カラー粘土を用いた中性子によるトリチウム生成に関する実習を生徒全員で行った（図5b）。最後にフィードバックとして放射線の物質透過性が医療現場で診療に利用されていることを伝えた。

高校生への事前授業では中学生と同様に放射線の性質や自然放射線を紹介し、実演授業ではカルタ形式によるカードゲームを実施した。先ず、5名前後のグルー

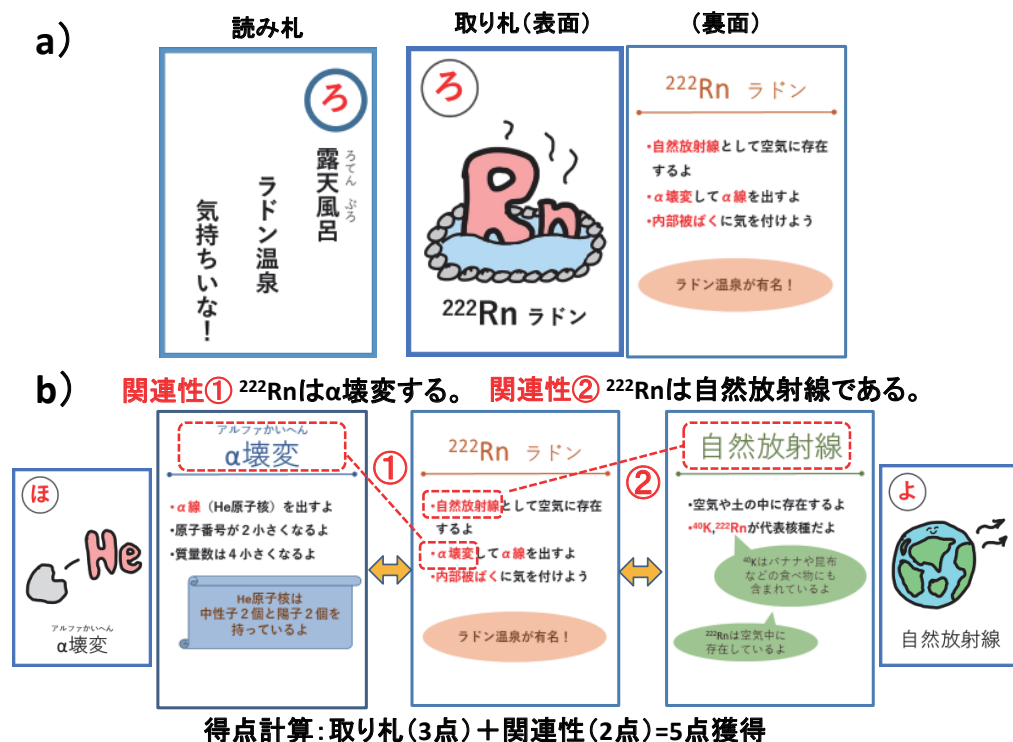


図4. カルタ形式によるゲーミフィケーション教材

a) カルタ札の記載情報 b) 取得札の関連性による加点例

ブに分かれてチュートリアルを行い、その後は生徒主体で放射線カルタを3回繰り返して実施した(図5c)。この他に中学生と同様にカラー粘土を用いたトリチウム生成に関する実習を全員で行った。更にフィードバックとして医療現場で利用される核医学診療について病院実務実習での体験を交えた授業を薬学生が行った。

中高生に対する実験・実演授業の後に本放射線教育の理解度や満足度に関する選択式または自由記述式のアンケート調査を行った。なお、記述式アンケートでは処理水に関連する質問事項及び実習に関する印象について自由記載させた。これらの回答はテキストマイニングを行い、ユーザーローカルテキストマイニング

ツール (<https://textmining.userlocal.jp/>) にてワードクラウドとして、記述文の名詞は青、動詞は赤、そして形容詞は緑にて色分けして出現回数が多い語句は大きい形状で表記した。また、ワードクラウドにて出現頻度の大きい語句はキーワードとして生徒の記述内容を分類して表1と表3に示した。

### Ⅲ 結果・考察

2021年度より施行された新たな中学校学習指導要領では、理科第1分野「科学技術と人間」にエネルギー資源として原子力エネルギー並びに自然放射線を放出

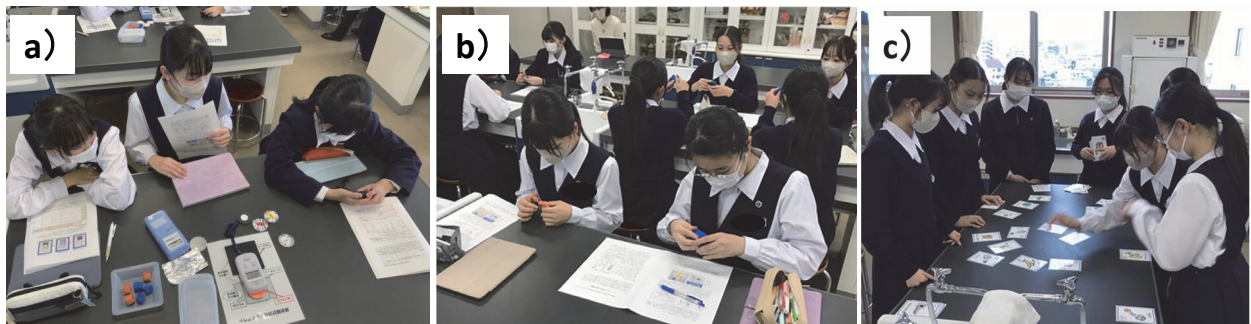
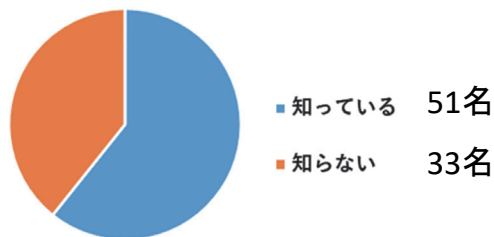


図5. 各種教材を用いた放射線教育の実践

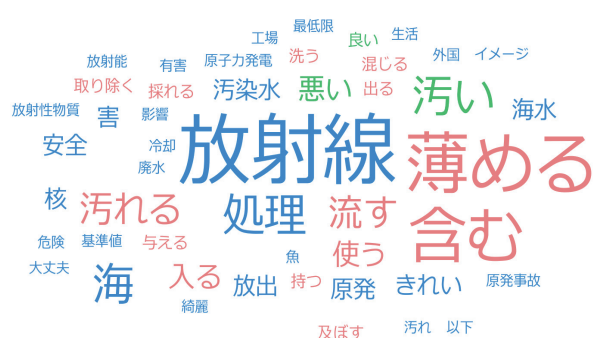
- a)天然核種を含有する試薬の放射線計測(中学2年生対象)    b) カラー粘土を用いたトリチウム生成に関する模擬実演  
c)放射線カルタによるゲーミフィケーション(高校2年生対象)

質問1 福島第1原発から処理水が海へ放出されていることを知っていますか？



質問2 処理水について知っていることを書いてください。

質問3 処理水放出による問題で知っていることを書いてください。



(中学生:84名)

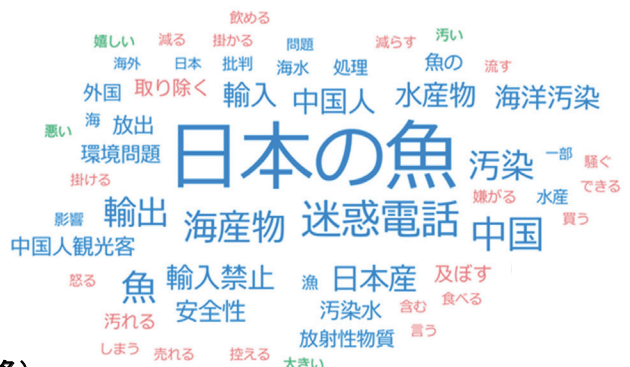


図6. 事前学習の授業評価アンケート



する天然核種が土壌や空气中に存在することの理解が追加された<sup>13)</sup>。これを受けて第3学年に加えて第2学年においても放射線を学習することとなった。令和元年度の文部科学省による放射線教育の実施状況調査に

表1. 事前学習の自由記述式回答の結果

質問② 処理水について知っていることを書いて下さい。
キーワード：放射線、薄める
例)放射線を水で薄めて海に流している。
例)放射線を基準値以下まで薄めたもの。
例)放射線が含まれている水を海水で薄めた。
キーワード：処理、含む
例)放射線の含まれた水を海へ流している。
例)汚染水をきれいに処理したものを。
質問③ 処理水の放出による問題で知っていることを書いてください。
キーワード：日本の魚
例)処理水により魚の安全性が問題視されている。
例)日本産の海産物が他国で輸入禁止になっている。
キーワード：迷惑電話
例)迷惑電話が増えていると聞いたことがあります。
キーワード：海洋汚染
例)処理水の放出で魚が汚染され、食べると人体に害を及ぼす。

において授業で放射線に関する内容を扱った割合は中学校で90%以上、高等学校では約80%であった<sup>15)</sup>。しかしながら、多くは文部科学省が作成した放射線副読本<sup>16)</sup>の利用による座学形式で実施され、外部機関を活用している教育機関は10%未満と少ない。一般的に受講者の学習定着状況は授業形態に応じて異なり、実演やスモールグループディスカッションを交えた能動的学習は通常の授業と比較して学習定着率が大きく向上することが報告されている<sup>17)</sup>。そこで、本研究ではアクティブ・ラーニングを取り入れた新たな放射線教育プログラムを中学・高校にて実施し、授業評価アンケートにて本取り組みを考察する。

実験授業前に実施した事前学習にて中学2年生84名を対象とした授業アンケート結果を示す(図6上)。質問①「福島第一原子力発電所からの処理水が海洋放出されていることを知っているか?」については51名(61%)の生徒が「知っている」と回答した。これらの生徒へは、質問②「処理水について知っていることを書いてください」及び③「処理水の放出による問題で知っていることを書いてください」を実施した。質問②の回答例として「放射線が含まれた水を海へ流していること」、「放射線を基準値以下まで薄めたもの」が、質問③では「処理水の放出で魚が汚染され、食べると人体に害を及ぼす」、「迷惑電話が増えていると聞

表2. 放射線教育後の授業評価アンケート(選択式回答)の結果

Q1-1 試薬の放射線計測に関する実習は理解できましたか?	Q1-2 放射線カルタの説明は理解できましたか?	Q2-1 試薬の放射線計測は楽しかったですか?	Q2-2 放射線カルタは楽しかったですか?
良く理解できた	53.0%	良く理解できた	53.8%
理解できた	34.9%	理解できた	46.2%
どちらでもない	9.6%	どちらでもない	0.0%
余りできなかった	2.4%	余りできなかった	0.0%
全くできなかった	0.0%	全くできなかった	0.0%
Q 3-1 天然核種などの自然放射線が身近に存在することを理解できましたか?	Q 3-2 放射線や放射能が核医学分野にて大きく関係することを理解できましたか?	Q 4-1 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?	Q4-2 放射線カルタにて放射線・放射能の特徴を理解できましたか?
良く理解できた	55.4%	非常に楽しかった	46.2%
理解できた	39.8%	楽しかった	53.8%
どちらでもない	3.6%	どちらでもない	0.0%
余りできなかった	1.2%	余り楽しなかった	0.0%
全くできなかった	0.0%	全く楽しなかった	0.0%
Q5 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?	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 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?
良く理解できた	34.4%	非常に深まった	39.6%
理解できた	41.7%	深まった	49.0%
どちらでもない	15.6%	どちらでもない	8.3%
余りできなかった	7.3%	余り深まらなかった	3.1%
全くできなかった	0.0%	全く深まらなかった	0.0%
大いに思う	72.9%	強く思う	42.7%
思う	20.8%	思う	44.8%
どちらでもない	6.3%	どちらでもない	9.4%
余り思わない	0.0%	余り思わない	3.1%
全く思わない	0.0%	全く思わない	0.0%

いたことがあります」等が寄せられた（表1）。これらは記述式回答の為、用語の出現頻度をワードクラウドで表示した（図6下）。質問②に関連するワードクラウドとして「放射線」、「処理」等の名詞の他に「薄める」や「含む」等の動詞が、質問③では「日本の魚」、「迷惑電話」、「海洋汚染」等の名詞が多く検出された。なお、事前学習は処理水の海洋放出について具体的な説明は行っていなかったものの、トリチウムを含むALPS処理水の海洋放出に関連する用語がワードクラウドにて検出された。よって、本アンケート調査から、処理水の海洋放出による諸外国からの非難や海産物への影響を心配している生徒が多いことが考えられた。

放射線授業後の中高校生へのアンケート調査の結果を表2に示す。調査結果として、Q1「実習説明の理解度」、Q2「実習に対する満足度」、Q3「実習に関連する放射線の理解度」、Q4「放射線の特徴に関する理解度」の質問項目では中学生の80～90%、高校生の全員が「良く理解できた（非常に楽しかった）」または「理解できた（楽しかった）」と回答した。なお、事前アンケートにて33名の中学生がトリチウム水の海洋放出を「知らない」と返答したが、放射線授業後では約76%の生徒がQ5「トリチウムの生成に関する理解度」に対して「良く理解できた」または「理解できた」を

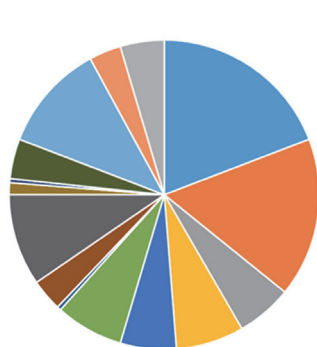
選択した。またQ6「放射線に関する興味が深まったか」及びQ7「放射線を正しく理解することは重要だと思うか」では90%を超える生徒が「非常に深まった（大いに思う）」、「深まった（思う）」と回答した。この他、Q8「放射線教育を受ける機会があれば、受けたいか」への問いには「強く思う」や「思う」を選択した生徒が約87%を占めていた。

Q9は図7左に示す15種類の用語から任意で最大3つまで選択する形式とした。「放射線・放射能に対するイメージ」として「原子力発電所」と「原爆投下」を選択した生徒が最も多く、次いで「被ばく」、「怖い」、「福島県」、「処理水」等を選択した生徒も多く見受けられた。これは原子力発電所事故が原爆投下と同程度の印象や不安感を中高生へ与えたと考えられる。よって、放射線の諸課題を解決する上でも放射線の科学的な理解は重要であり、長期間に亘る持続的且つ組織的な学習計画を通して自ら思考して判断する力を養うべきと考えられた。

最後にQ10「実習で最も印象に残ったのは何か」を調査した。本質問への白紙回答は参加者96名に対して15%未満と少なく、多くの生徒から意見を集約することができた。表3に回答例を示す。中学生からは「放射線について理科の授業で学習したが、実際に計測す

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。

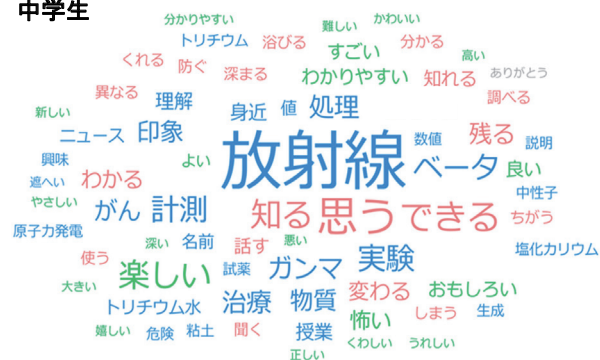
Q10 本日の実習で最も印象に残ったのは何ですか？



- 原子力発電所
- 被ばく
- 福島県
- 正体不明
- 処理水
- 食品の汚染
- 病気の診断
- 東日本大震災
- 広島原爆投下
- 怖い
- 危険
- 白血病
- 風評被害
- 発がん
- 海洋汚染

（中学生：83名、高校生：13名、計96名）

中学生



高校生

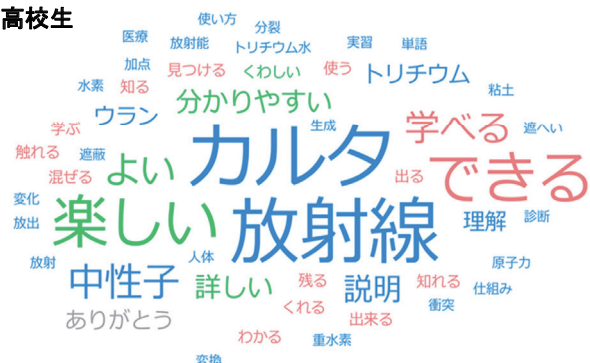


図7. 放射線教育後の授業評価アンケート



ることで理解が深まり身近に感じられました。」や「試薬に含まれる放射性核種の実験が最も印象に残りました。この実験を通じて興味が深まりました。」等の意見が寄せられ、生徒の深い学びや理解に本実習が貢献していると考えられた。この他、「トリチウム水の生成の仕組みの授業がすごく分かりやすかったです。」や「放射線を正しく理解しないといけないと思いました。」等の意見もあり、学習への動機付けにも有用と推察された。さらにゲーミフィケーションを実施した高校生からは「放射線カルタが分かりやすくて印象に残りました。加点のルールで関連の単語を見つけ、自分で説明することでより理解することが出来たので良かったです。」や「カルタで楽しく学ぶことができて良かったです。」等の意見が見受けられた。これらの記述式回答をワードクラウド化したものを図7右に示す。中学生では名詞として「放射線」、「計測」の他、動詞

として「知る」、「思う」、「できる」が高い出現頻度を示した。一方、高校生では「カルタ」や「放射線」の名詞、「できる」、「学べる」の動詞が高い頻度で検出された。また形容詞として「楽しい」や「分かりやすい」が中学生のみならず高校生でも多く検出された。この様に事前及び事後のアンケート結果を比較すると、生徒は放射線について楽しみながら正しく学び、知識や理解を深めることができたと考えられ、本教材の学習効果は高いと期待された。この他、Q10にて中学生から「実験内容を両親に伝えたい」、「兄妹に実験内容を話します」等の意見が寄せられた（表3）。これらの“Teaching Others”はアクティブ・ラーニングで学習定着率が最も高いことが報告されており<sup>18)</sup>、体験型学習を交えた放射線教育の意義は大きいと考えられた。

薬学教育モデルコアカリキュラムでは放射線薬学に関する知識の他に、患者対応の為のコミュニケーション能力の習得が到達目標として設定されている<sup>14)</sup>。よって、薬学生の多くは放射線・放射能の専門知識を備え、相手への傾聴姿勢を有している。本放射線授業においても薬学生は生徒と積極的に意見を交わし、授業の円滑な進行を支援する役割を担っていた。特に授業におけるグループ内討議では薬学生は生徒同士の発言を促して相互理解を支援した。これらの観点から薬学生は放射線教育において有能なファシリテーターになると期待された。

本稿では試薬に含まれる天然核種の放射線計測を交えた実験授業を考案した。またカルタ形式によるゲームにて放射線の物理的性質や身体的影響が理解可能な放射線教材を作成した。近年、高次の学力を育む為に学習者に様々な知識や技能の総合的活用を求めるパフォーマンス課題が教育機関で導入され、その成果が報告されている<sup>19)</sup>。これらパフォーマンス課題のアウトプットとしてオープンエンドな調査やプレゼンテーションなどの実演が設定されている。本研究で見出された放射線授業を用いて学習者のポートフォリオや評価基準のモデレーションを確立する他に評価者のキャリアブレーションを整備することで新たにパフォーマンス課題への利用も可能と期待された。本提案は、放射線の計測のみならず、測定値の遮蔽特性についてグループ内討議を行う実習を通じて、放射線を多角的・多面的な視野で捉える能力を身に付けられる。さらに科学的探究として、放射線・放射能の物理学的性質や核医学分野での利用等を自ら思考して判断する能力としての高次のコンピテンスが育成可能である。また学習指導要領の到達目標を十分に網羅しており、科学リ

表3. 放射線教育後の自由記述式回答の結果

Q10 本日の実習で最も印象に残ったのは何ですか(中学生)
キーワード：放射線計測
例) 試薬に含まれる放射性核種の実験が最も印象に残りました。この実験を通して興味が深まりました。
例) 放射線について理科の授業でも学習したが、実際に計測することで理解が深まり身近に感じられました。
例) 放射線を正しく理解しないといけないと思いました。
キーワード：処理水
例) トリチウム水の生成の仕組みの授業がすごく分かりやすかったです。ありがとうございました！
例) 処理水が放出されていることは知っていたけれど、どのようなかは知りませんでした。科学的なことが分かっておもしろかった。
キーワード：第三者へ伝える
例) 実験がとても楽しかったので親に話そうと思います。
例) 兄妹に詳しく話してきます！！
Q10 本日の実習で最も印象に残ったのは何ですか(高校生)
キーワード：カルタ
例) 特に放射線カルタが分かりやすくて印象に残りました。加点のルールで関連の単語を見つけ、自分で説明することでより理解することが出来たので良かったです。ありがとうございました。
例) カルタで楽しく学ぶことができて良かったです。ありがとうございました。
キーワード：放射線
例) トリチウムの生成について詳しく、分かりやすく説明してくれたので簡単に理解できました。
例) 重水素と中性子を混ぜる実習で粘土の色が変化したこと。

テラシーの涵養の一助となり、その先の課題解決に必要な資質や能力が育まれると期待された。

#### Ⅳ 謝辞

本研究を行うにあたり、多大なるご協力を賜りました高橋美帆女史及び堀田実月女史に感謝いたします。本研究はJSPS科研費(JP22K02968)の助成を受けました。本研究にて見出された体験型学習や放射線教材は(公)日本科学技術振興財団主催の2023年度放射線教材コンテストにて優秀賞を、同放射線授業実例コンテストにて最優秀賞を受賞しました(<https://www.radi-edu.jp/contest>)。

#### Ⅴ 引用文献

- 1) “中学校学習指導要領解説 平成20年7月 理科編.” 文部科学省. [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afiedfile/2011/01/05/1234912\\_006.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afiedfile/2011/01/05/1234912_006.pdf)(参照2024-06-25)
- 2) “高等学校学習指導要領解説 平成21年7月 理科編.” 文部科学省. [https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afiedfile/2010/01/29/1282000\\_6.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afiedfile/2010/01/29/1282000_6.pdf)(参照2024-06-25)
- 3) 森千鶴夫, 緒方良至, 秋吉優史, 他. 箔検電器によるクルックス管からのX線の線量率測定. RADIOISOTOPES. 2022, 69, p.1-12.
- 4) 秋吉優史. ペルチェ冷却式高性能霧箱作製のための要素技術. 日本放射線安全管理学会誌. 2017, 16, p.79-84.
- 5) 石田菜摘, 杉田克生, 高橋博代. 学習指導要綱改訂に伴う中学校での放射線教育の実態調査. 千葉大学教育学部研究紀要. 2014, 62, p.361-366.
- 6) 藤野秀樹. 塩化カリウムを用いた新規密度測定法の構築及び放射線教育への利用. ISOTOPE NEWS. 2015, 738, p.63-65.
- 7) 坂井裕紀, 榎本健太郎, 向後千春. ゲーミフィケーション研修が従業員の仕事に対する認識と仕事の質に与える影響. 日本教育工学会論文誌. 2017, 41, p.1-4.
- 8) 藤川大祐. ゲーミフィケーションを活用した「学びこむ」授業の開発. 千葉大学教育学部研究紀要. 2016, 64, p.143-149.
- 9) 教科書番号805. 未来へひろがるサイエンスⅡ 第4章 放射線の発見とその利用. p.254-258. 啓林館.
- 10) 藤野秀樹. 薬学生による天然核種を用いた新規放射線教育の提案. Proceedings of the 22st workshop on environmental radioactivity. 2021, p.176-180.
- 11) 藤野秀樹, 浦元沙和, 小松里佳子. 天然核種を用いた放射線教育. RADIOISOTOPES. 2022, 71, p.23-28.
- 12) 佐治英郎編. NEW放射化学・放射薬品学 第2版. 廣川書店. 2011, 279p., ISBN-978-4-567-26151-7
- 13) “中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 令和3年8月一

部改訂 理科編.” 文部科学省. [https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt\\_kyoiku01-100002608\\_05.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210830-mxt_kyoiku01-100002608_05.pdf), (参照2024-06-25)

- 14) “薬学系人材養成の在り方に関する検討会, 薬学教育モデルコアカリキュラム(令和4年度改訂版).” 厚生労働省. <https://www.mhlw.go.jp/content/11121000/001198015.pdf>, (参照2024-06-24)
- 15) 令和元年度報道発表. 文部科学省. 放射線教育の実施状況調査の結果について (mext.go.jp), (参照2024-06-25)
- 16) “中学生・高校生のための放射線副読本.” 文部科学省. [https://www.mext.go.jp/content/20220810-mxt\\_kyoiku01-20220808171843\\_2.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20220810-mxt_kyoiku01-20220808171843_2.pdf)(参照2024-06-25)
- 17) 松下佳代. 主体的な学びの原点-学習論の視座から. 大学教育学会誌. 2009, 31, p.14-18.
- 18) 土屋耕治. ラーニングピラミッドの誤謬. 南山大学人間関係研究センター紀要. 2018, 17, p.55-73.
- 19) 名倉昌巳. 生徒が導出した到達目標(生物の共通性)による生物概念形成を支援するパフォーマンス課題と評価. 科学教育研究. 2023, 47, p.107-121.