RADIATION EDUCATION

放射線教育

付放射線教育フォーラム 2023 年度活動報告

2023

VOL. 27 NO. 1

放射線教育フォーラム
Radiation Education Forum

放射線教育
Radiation Education

Vol. 27　No. 1

目　次

【巻頭言】「みんなのくらしと放射線展」における放射線教育イベントの紹介　秋吉　優史　1

==========

=【研究報告】
中学2年生理科「電流とその利用」における 放射線教育　森山 正樹　3

【解説】
トリチウム ～ その物理と化学 ～　工藤 博司　14

【実践報告】
中学２年生における放射線教育の授業事例　奈良 大　24

【資料】
持続可能な放射線教育をめざして　佐々木 清　33

【意見】
風評被害は風任せでよいか　下 道國　42

【諸報】
ヨーロッパ核医学会印象記　大野 和子　46

【書評】
中井 謙太著「新しいゲノムの教科書」　吉澤 幸夫　48

「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方
編集後記　緒方 良至

発行：2024 年 3 月 31 日, NPO 法人放射線教育フォーラム
〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2
萬栄ビル 202 号室
Tel: 03-3843-1070　FAX: 03-3843-1080
E-mail: forum@ref.or.jp, HP: http://www.ref.or.jp

「放射線教育」 Radiation Education
Vol. 27, No. 1, 1-2 (2023)

【巻頭言】

「みんなのくらしと放射線展」における放射線教育イベントの紹介

秋吉　優史
大阪公立大学

現在、放射線教育を取り巻く環境には非常に大きな変化が起こっている。2008年公示・2012年全面実施の前回の中学理科学習指導要領の改訂では30年ぶりに放射線に関係する内容が義務教育に取り入れられたとして、また2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故の直後ということもあり、大きな話題となったが、当該単元は3年生で学習するエネルギーの単元で多くの学校では三学期の最後に取り扱うため、入試などでの出題が難しく学習しない学校もあると聞いている。それに対して2017年に公示され2021年から全面実施となった中学理科の新学習指導要領に於いては、「真空放電と関連づけながら放射線の性質と利用にも触れること」という新しい内容が追加されており、その解説に於いては「雷も静電気の放電現象の一種であることを取り上げ，高電圧発生装置 (誘導コイルなど) の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ，電子の流れが電流に関係していることを理解させる。その際，真空放電と関連させてX線にも触れるとともに，X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し，医療や製造業などで利用されていることにも触れる。」と記載されている。当該単元は2年生で取り扱われ、全ての生徒が放射線について学習することになり極めて画期的である。

これまで様々な場でお知らせしてきたように[1]、クルックス管からは高い線量率の低エネルギーX線が漏洩している場合があるため、中学、また高校の教育現場に於いても放射線に対する安全管理を行う必要があり、そのためには放射線に対する基本的な知識が必要であるが、1977年告示の学習指導要領の改定以降中学理科の教科書からは放射線に関する内容が一切無くなっており、2008年告示の前回改定までの30年間それが続いたため、現在教壇で教育を行う教員の大半が、自分自身は放射線に関する教育をほとんど受けていない状態であり、生徒の保護者達も同様である。

このため、一般人に向けた放射線知識普及活動として大阪公立大学（旧・大阪府立大学）を中心として「みんなのくらしと放射線展」を40年間以上開催している[2]。近年は大阪科学技術センターにおいて8月第一週の週末に2~3日間の開催で2~3千人程度の集客を行い、多くのこども達に放射線知識の普及を行ってきた。2020年度からコロナ禍のため対面イベントは開催できなくなっていたが、2023年度から工作教室も再開している。

新しい学習指導要領となった現在は全ての生徒が放射線について学ぶ機会を得ているが、それまでに義務教育を終えた大人達に関しては、情報提供を行う機会は極めて限られている。その中で、放射線展を始め、科学の祭典など教育イベントに参加する親子は比較

的科学的リテラシーが高いと期待できる。子供達が霧箱工作を行いα線の飛跡を見て「見えた見えた」で喜んで終わりの時代は卒業し、身の回りの放射線やその性質の違い、影響の大きさについて等、後ろに居る大人達に訴求することが出来る極めて貴重な機会と捉え、子供達にとっては多少難しい内容であっても、積極的に説明を行っていく形へと変革を行っている。

また、2020年度以降のコロナ禍においては、オンラインでの開催となったが、多数のコンテンツを専用サイト[2] において公開してきた。さらに、放射線教育関係者向けのオンライン講演会 (2020)、オンライン意見交換会 (2021,2022) 、ハイブリッド意見交換会 (2023) を実施することで、中高の学校教育現場の教員に向けての情報発信を行ってきた。2023年度は基調講演として文部科学省 国立教育政策研究所教育課程研究センター 小林 一人先生から現在の学習指導要領における放射線教育の位置づけについて講演いただき、加速キッチン合同会社を起業している早稲田大学 田中 香津生先生からは中高の生徒に自分で組み立てる放射線検出器を貸与して放射線研究支援を行う取組の講演をいただき、非常に充実した内容となった。

加えて、ハイスクール・ラジエーションクラスという高校生（中学生も参加可）の放射線研究発表会を行うことにより、高校生とその教員が共に放射線について学び、発表する場を設けている。2022年度は全国から10校、2023年度は7校8チームの参加を得ており、驚くほどレベルの高い発表が行われている。放射線というテーマを基に、様々な現象を考察することが出来、理科教育を行う上で極めて有効であり、実験系だけで無く社会的テーマに対する考察の発表も2023年度に審査員特別賞を受賞している。また高校生だけでなく中学生も受け付けており、2023年度に中学3年の生徒が優秀賞を受賞している。放射線教育フォーラムに関係されている学校からも参加を期待する。

放射線教育関係者意見交換会、ハイスクール・ラジエーションクラス共に、日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会が大阪大学で開催される12月16-18日の前日の12月15日（日）の午前、午後それぞれ、会場は大阪公立大学中百舌鳥キャンパスの予定である。筆者が開発しているペルチェ冷却霧箱[3]など、研究に必要な機材については、ふるさと納税を活用したOMU基金「放射線教育振興プロジェクト」[8]から提供が可能である。

引用

[1] 秋吉 優史, 学校教育現場におけるクルックス管の安全管理とその活用, 放射線教育, 23 (2019) 23-32.

[2] https://housyasen-fukyu.com/event/

[3] http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CloudChamber.htm

[4] http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/TsubasaFund.htm

[2] [3] [4]

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 27, No. 1, 3 - 13 (2023)

【研究報告】

中学 2 年生理科「電流とその利用」における 放射線教育

森山　正樹
札幌市立あやめ野中学校
〒062-0053 札幌市豊平区月寒東 3 条 11 丁目 15-1
E-mail: masaki.moriyama@sapporo-c.ed.jp
(2024 年 2 月 25 日受理)

要旨

中学校学習指導要領が改訂し，中学 3 年生の理科で行っていた放射線の学習を中学 2 年生の理科でも 2020 年の移行措置から行うことになった。しかし，学校の備品に放射線の実験道具があるわけではないため，実験を通して放射線の学習を行っている学校は少ない。そこで，日本科学技術振興財団が貸し出している放射線に関する実験機材を活用することによって，充実した放射線教育を実践することができた。単元の発展として，いろいろな発電によって生じる廃棄物についても扱い，その中でも高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えることを通して，これからの激動の社会を生きる子どもたちに必要な資質・能力を育成する実践を行った。なお，本報告は，公益財団法人日本科学技術振興財団主催 2022 年度放射線授業事例コンテストに応募し，優秀賞を受賞した内容をもとにしている。

1. はじめに

「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 総則編」(文部科学省，2018)[8] では，現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を育成することの例として，「放射線の科学的な理解や科学的に探究する態度」を中学校理科において育成することを示している。そして，「中学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 理科編」(文部科学省，2018)[7] では，単元「電流とその利用」(ｱ)電流㋐静電気と電流における内容の取扱いとして，「電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また，真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。」と示している。前回の学習指導要領では，中学 3 年生の理科「エネルギー資源とその利用」において放射線について触れてきたが，現行からは中学 2 年生の理科において放射線についての学習を行えることになった(図 1)。教科書の扱いでは，生徒実験を通して放射線に関する学習を行うようにはなっていない。これでは放射線という目に見えない現象を，教科書の文字や写真を見て終わることになり，表面だけの理解で終わってしまう懸念がある。放射線に関する現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を育成するためにも，生徒が放射線について正しく理解し，性質などを生徒自らが探ることができる実験を行う必要がある。そこで，公益財団法人日本科学技術振興財団(以下，財団)が貸し出しを行っている実験機材を借りて生徒実験を行ったり，必要な演示実験を教師が行ったりすることによって，中学 2 年生理科「電流とその利用」における放

図 1 放射線教育の位置づけ

射線教育を充実させる授業実践を行った。さらに，単元の発展として，原子力発電によって生じる高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する実践を行ったので，ここに報告する。

2. 単元「電流とその利用」の指導計画

実践は中学 2 年生理科の「電流とその利用」で行った。啓林館の教科書「未来へひろがるサイエンス 2」[5]の単元構成と順番を変え，最初に電流の正体を探る学習の後に放射線について扱った(図 2)。その際に，生徒が実験を通して放射線に関する現象を探究するようにした。具体的には霧箱作成による放射線の飛跡観察，放射線の遮蔽や線源からの距離との関係を実験を通して学習した。単元の発展として，いろいろな発電によって生じる廃棄物についても扱い，その中でも高レベル放射性廃棄物の地層処分について触れることを通して，激動の社会を生きる子どもたちに必要な資質・能力を育成する単元構成とした。

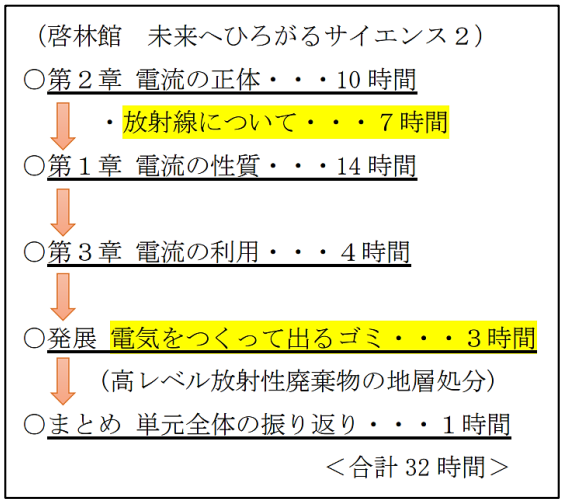


図 2 単元「電流とその利用」の指導計画

3. 放射線に関する評価規準

単元「電流とその利用」における放射線の学習において，表 1 に示す評価規準 [9]を設定して学習指導を行った。

表 1　放射線に関する評価規準

知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
放射線に関する事物・現象を日常生活や社会と関連付けながら，放射線の種類や性質などを理解しているとともに，科学的に探究するために必要な観察，実験などに関する基本操作や記録などの基本的な技能を身に付けている。	放射線に関する現象について，見通しをもって観察，実験などを行い，その結果を分析して解釈し，放射線の性質を捉えるとともに，放射線から身を守る方法などを見いだして表現しているなど，科学的に探究している。	放射線に関する事物・現象に進んで関わり，見通しをもったり振り返ったりするなど，日常生活と放射線に関する事象を結び付けて，科学的に探究しようとしている。

4. 授業実践の紹介

本実践は 2 年 1 組と 2 年 2 組にて，2023 年 1 月から 3 月まで実施した。その中でも，放射線に関連する授業実践 10 時間分について，どのように実施したのかがよく分かるように，本校のホームページで発信した授業の様子(写真)や生徒がワークシートに記載した内容を示して紹介する。毎回用いるワークシートには振り返りの欄を下段に設け，「本時の課題解決」「新たに生じた疑問」「感動したこと」「生活との関連」を授業の終末に生徒が記入している。そのワークシートを教師が毎回集めて評価し，優れた疑問などの気付きを次時の学習の開始時に生徒全体に示すことで次の学習課題につなげるように取り組んだ。

4.1 実践①：誘導コイルを用いた教師の演示実験による学習(図 3・図 4)

学習課題を【電流の正体は，どんなものだろう】と設定した。電流の正体を探るため，誘導コイルを用いて，空中放電の様子を教師が演示した。その後，真空放電の様子を教師が演示し，蛍光管が発光する仕組みについて説明した。このようにして，電流の正体を探ろうとする知的好奇心を生徒に喚起した。

図 3　実践①における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

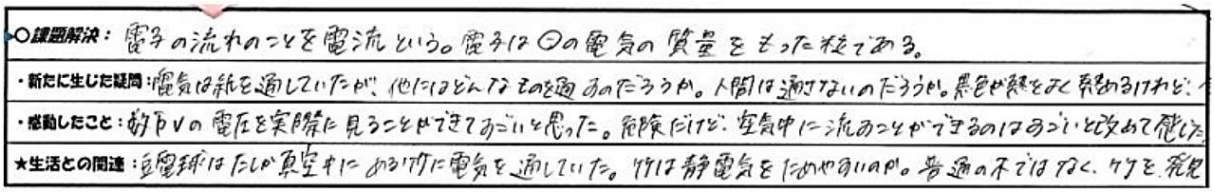


図 4　実践①における生徒の振り返りの記述例

4.2 実践②：クルックス管を用いた教師の演示実験による学習(図 5・図 6)

学習課題を【流れる電子にはどんな特徴があるのか】と設定した。いろいろなクルックス管を誘導コイルにつなぎ，教師が演示して陰極線の観察を行った。電極や陰極線について説明しながら，電子の性質や X 線の存在などを確認した。その際に，「クルックス管安全取扱のガイドライン(暫定)」[1]に従って演示を行った。

図 5　実践②における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

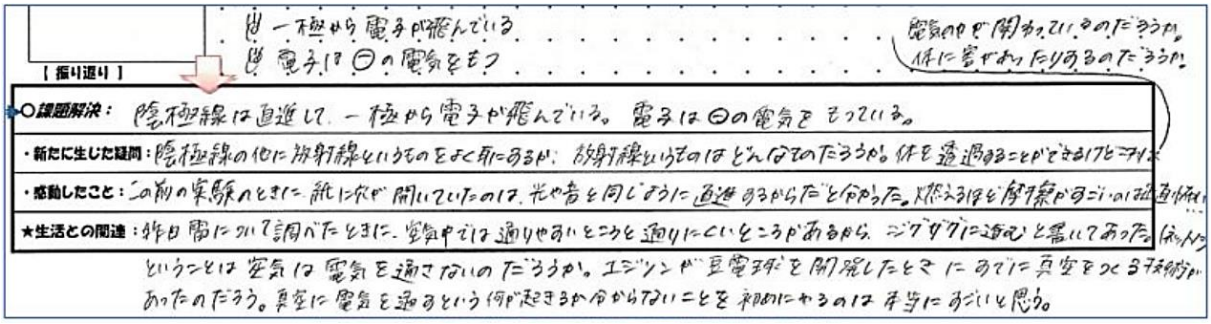


図 6 実践②における生徒の振り返りの記述例

4.3 実践③：霧箱を用いた生徒実験による学習(図 7・図 8)

学習課題を【放射線の存在をどのように調べることができるのだろう】と設定した。財団から借用した簡易霧箱を一人一台制作し，放射線の飛跡を観察した。また，一人一台のタブレット(chromebook)で撮影をする生徒からは，飛跡を見て感動の声が聞こえてきた。

図 7 実践③における授業の様子(本校のホームページ[2)]より)

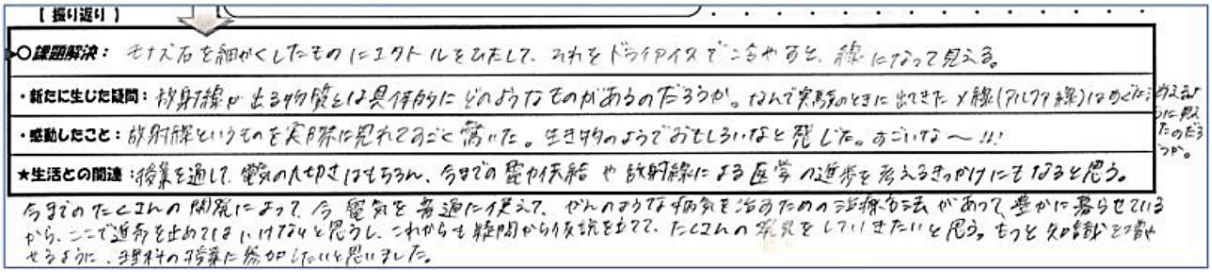


図 8 実践③における生徒の振り返りの記述例

4.4 実践④：簡易放射線測定器を用いた生徒の測定による学習(図 9・図 10)

学習課題を【放射線は身の周りにどのくらいあるのか】と設定した。財団から借用した簡易放射線測定器を一人一台ずつ用いて，使い方を確認してから校舎内の自然放射線量率を自由に探る学習を行った。その後，クラスの全員が調べてきたデータをもとに，校舎内で線量率の高いところと低いところを確認し，身の周りに放射線があることを確認した。

図 9　実践④における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

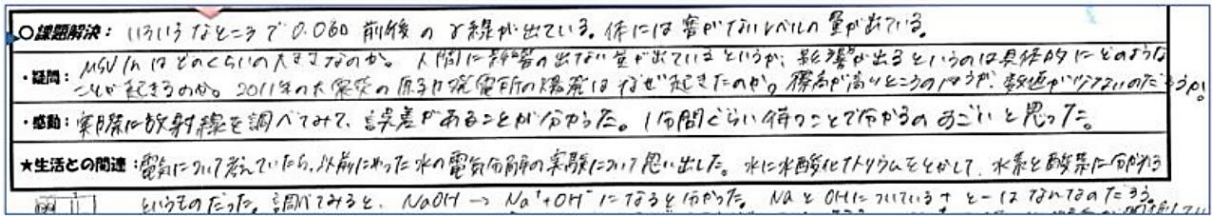


図 10　実践④における生徒の振り返りの記述例

4.5 実践⑤：金属等による放射線の遮蔽効果を調べる生徒実験による学習(図 11・図 12)

学習課題を【放射線はどのようなものから出て，体を守るにはどうすればよいか】と設定した。財団から借用した簡易放射線測定器と特性実験セットを用いて，遮蔽の実験を班毎に行った。

図 11　実践⑤における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

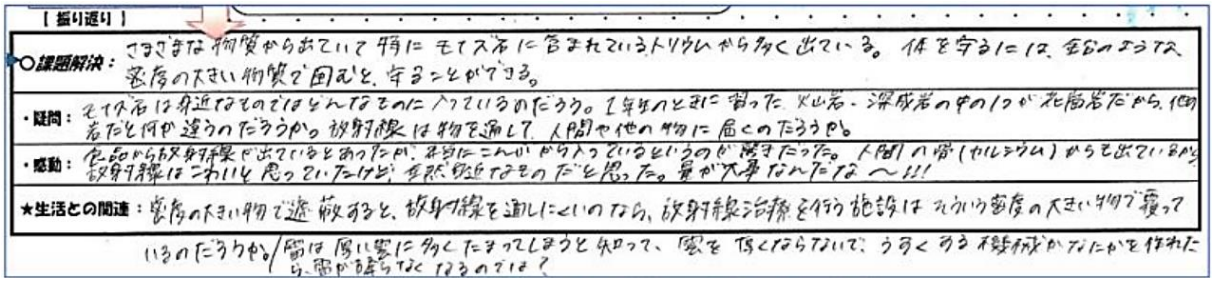


図 12　実践⑤における生徒の振り返りの記述例

4.6 実践⑥：距離によって放射線量率の減少を調べる生徒実験の学習(図 13・図 14)

学習課題を引き続き【放射線から体を守るにはどうすればよいか】と設定した。簡易放射線測定器と特性実験セットを用いて，放射性物質と距離を変えることによって自然放射線量率がどうなるかを探る実験を班毎に行った。

図 13　実践⑥における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

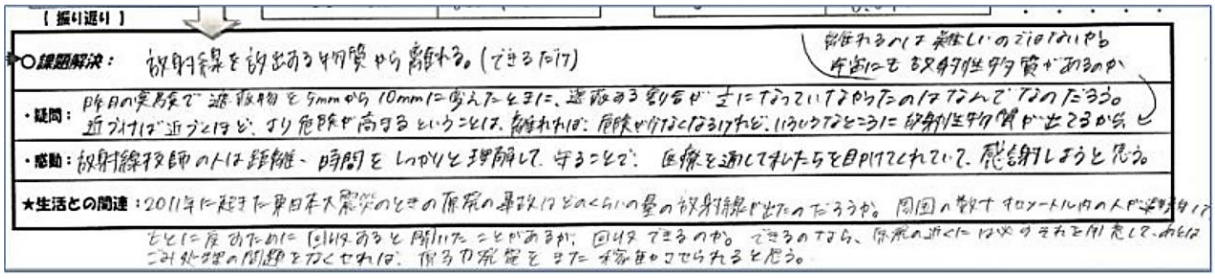


図 14　実践⑥における生徒の振り返りの記述例

4.7 実践⑦：映像「R の正体」や放射線副読本を用いたまとめ学習(図 15・図 16)

学習課題を【放射線の利用や体への影響はどうなっているのか】と設定した。これまでの放射線に関する実験を踏まえて，放射線の利用や体への影響について，放射線教育フォーラムが企画した映像教材「R の正体」[12]を視聴し，文部科学省が作成した放射線副読本(2018)[6]を用いて，これまでに実施してきた放射線に関する学習のまとめを行った[11]。

図 15　実践⑦における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

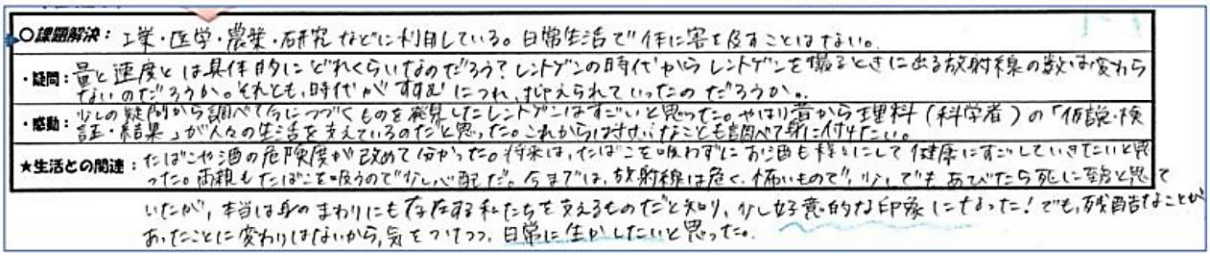


図 16　実践⑦における生徒の振り返りの記述例

4.8 実践⑧：原子力発電環境整備機構(NUMO)「地層処分って？」[4]の映像やリーフレット「高レベル放射性廃棄物について考えよう」[3]を活用した学習(図 17・図 18)

学習課題を【発電によってどのような環境問題やゴミが発生するのか】と設定した。単元「電流とその利用」の内容の発展として，発電によって生じる問題（二酸化炭素による温室効果，ソーラーパネルの大量廃棄問題，高レベル放射性廃棄物等）について考えた。授業の事前に，主要な発電方法における環境問題や生じるゴミについて，Google フォームで生徒に回答してもらい，授業ではその結果を見ながら授業を展開した。特に原子力発電によって生じる高レベル放射性廃棄物について生徒は詳しく分からなかったため，NUMO の映像教材や資料を活用して説明した。学習後に生じた疑問については，Google フォームで集約してからまとめて NUMO の職員に質問を届けた。

図 17　実践⑧における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

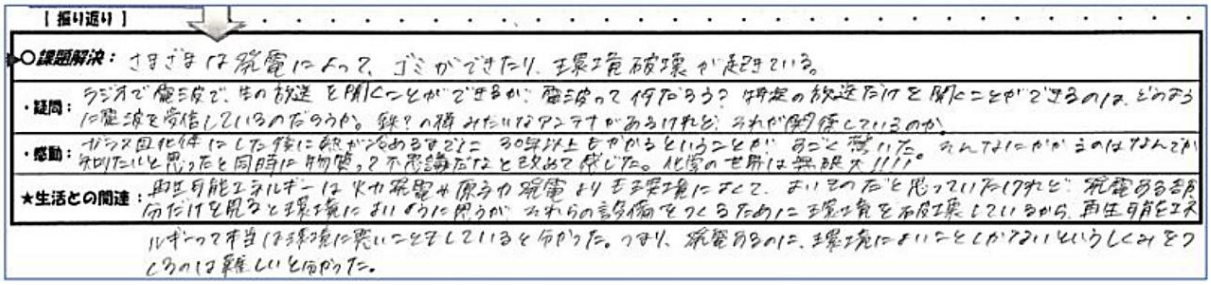


図 18　実践⑧における生徒の振り返りの記述例

4.9 実践⑨：高レベル放射性廃棄物の地層処分のモデル実験による学習 (図 19～図 22)

学習課題を【地層処分した時，地上における放射線はどうなっているのか】と設定した。このモデル実験は筆者が以前に開発したものであり，高レベル放射性廃棄物から出る放射線が地上に届く際に放射線量率がどのようになるかを線源と地層に模したモデル実験により明らかにする内容である[10]。実験で用いた放射線源は ^{133}Ba(日本アイソトープ協会が作製)を用いた。これを高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)のモデルとし，簡易放射性測定器(PA-1100)を下向きに置き，その間に地層のモデルとして岩石を入れていく。その岩石のトータルの厚さが，地層処分をしたときの地面とガラス固化体との距離ということになる。つまり，高い放射能をもつ高レベル放射性廃棄物を地下 300m より深いところに地層処分した場合，地上に届く放射線量率がどうなるのかを，教師がモデル実験して得たデータを生徒がグラフ化(図 21)して考察を行った。

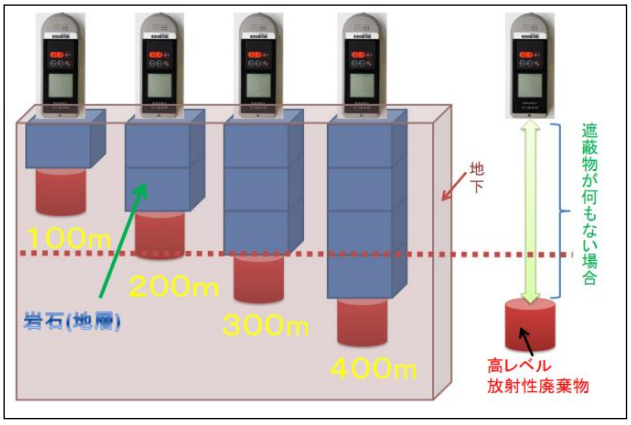


図 19　地層処分のモデル実験のイメージ図[10]

図 20　実践①における授業の様子(本校のホームページ[2]より)

図 21 のグラフ A は，実践⑥の実験で生徒が得た放射線源との距離を変えたときの放射線量率のグラフである。そして，放射線源と簡易放射性測定器の間に岩石を入れて，線源と測定器の距離を変えて得たグラフ B を描き加えた。すると，同じ距離で比較した場合，グラフ A よりもグラフ B の放射線量率の方が値が小さくなった。これは岩石による遮蔽効果が加わったためである。そして，放射線源との距離が遠くなるほど，地上(測定器)における放射線量率が理科室のバックグラウンド(0.05 μ Sv/h 程度)に近づいていくことを生徒は確認した。つまり，ガラス固化体を地下 300m より深いところに地層処分することによ

って，地上付近における放射線量率はどんどん小さくなることを考察することができた。そこで重要になるのは，10 万年程度の間，天然バリアとしてガラス固化体を人間の生活環境から隔離する地層の岩盤や，そこでの地下水の動向を調べることが，地層処分にふさわしい環境かどうかを判断することにつながることを生徒は理解することができた。

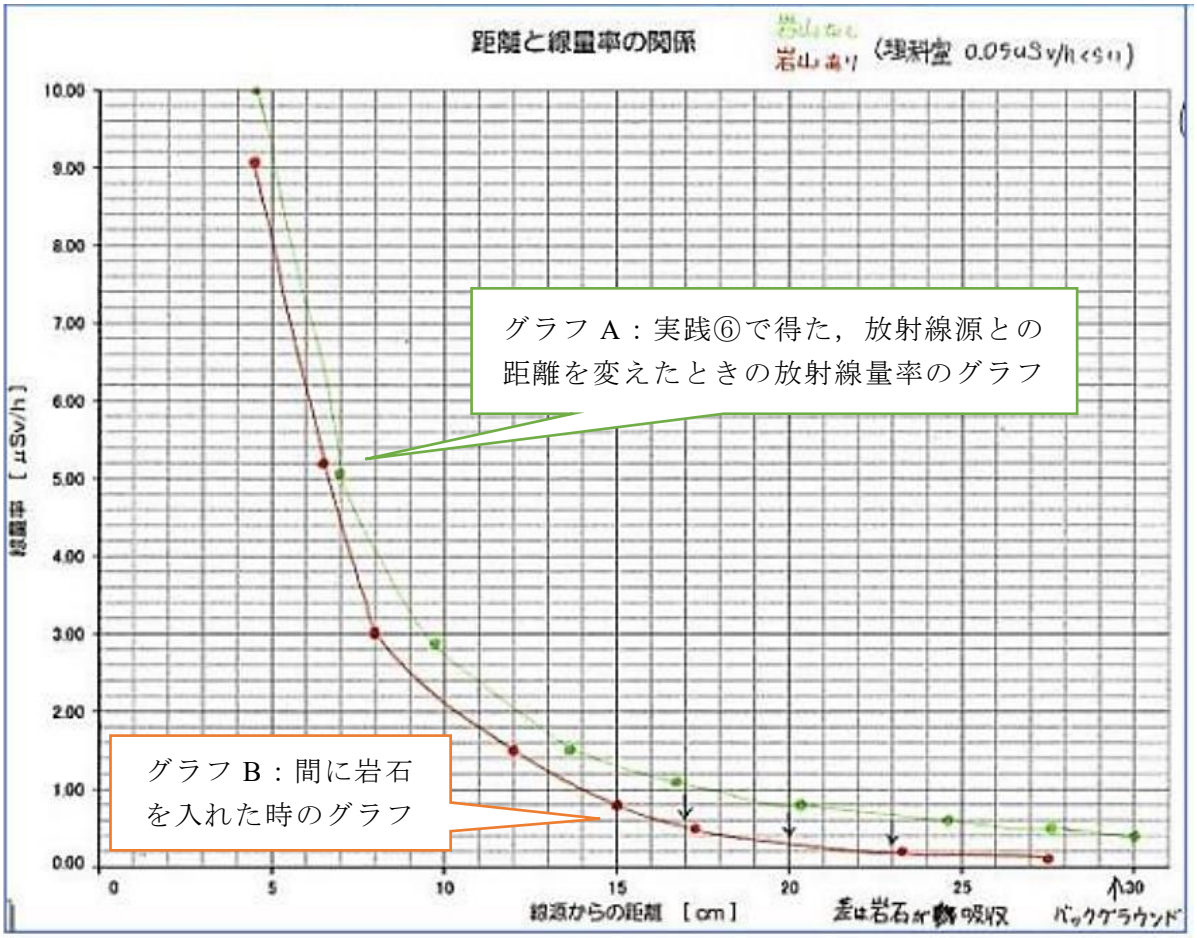


図 21　高レベル放射性物質の地層処分のモデル実験で得られた結果のグラフ化

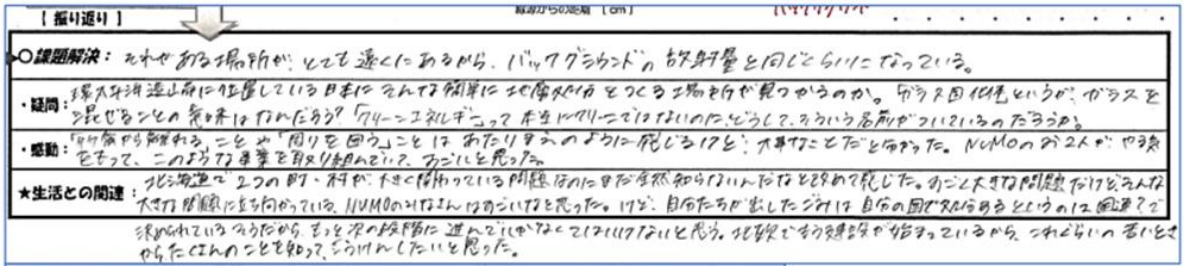


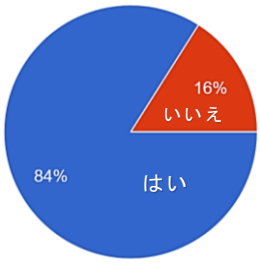
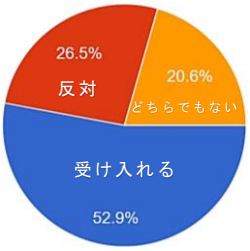
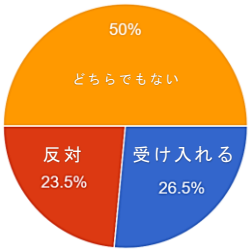
図 22　実践⑨における生徒の振り返りの記述例

4.10 実践⑩：NIMBY (not in my backyard：我が家の裏庭はだめ)問題についての学習

学習課題は 2 時間続きのため，引き続き【地層処分した時，地上における放射線はどうなっているのか】を考えた。表 2 は，Google フォームにて生徒からとったアンケート結果であり，生徒の意識の変容を確認するために活用した。A のアンケートは単元の最初に実施したもので，B・C・D のアンケートは前時の最後に取ったものである。授業ではそのアンケートの内容を見ながら，自分たちの考え方が質問の内容によってどのように変化

しているかを捉えさせた。A では自分たち(自治体を含む)で廃棄物を処分すべきだと 8 割以上の生徒が考えていたのに対し，高レベル放射性廃棄物を日本(B)・北海道(C)・札幌市(D)で処分するとなると，賛成(または，受け入れる)と考える割合が減っており，その理由を考えた。まさにこれが NIMBY 問題であり，総論では賛成しても自分事として考えたときに考えが変わっていく実態があることに生徒は気付いた。正解のない問いにどのように立ち向かうかを考えて，本時の授業を終えた。授業を参観していた NUMO の職員の方から最後に講評する場を設定し，これまでの学習の取組について評価していただいた。

表 2 廃棄物の処理に関する生徒アンケート(2 年 1 組)の結果

A 自分たちが生活する中で生じたゴミ(廃棄物)は自分たち(自治体)で処理すべきだと思いますか。	B 日本で発生した高レベル放射性廃棄物は日本で処理するべきである。	C 高レベル放射性廃棄物を北海道で処分することになったらどう思いますか。	D 高レベル放射性廃棄物を札幌市で処分することになったらどう思いますか。
			
n=24	n=34	n=34	n=34

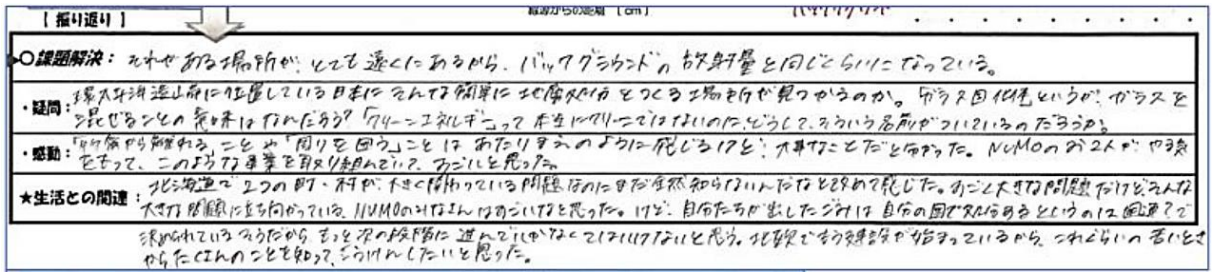


図 23 実践⑨⑩を終えた生徒の振り返りの記述例

5．放射線の学習を終えて，生徒の捉えの変容や授業全体を振り返った感想の紹介

・学習前の自分は，放射線は戦争に関わっているため悪いものだとばかり思っていたが，学習後は，例えば病院ではレントゲンで放射線が使われ，そのおかげで原因を見付けたりすることができるため，悪いことばかりではないと改めて考えさせられた。

・学習前は，放射線は自分とは全く関わりのないものだと思っていたし，危ないものだと思っていたけれど，学習後には量と浴びる時間によって違い，ニホニウムを生み出すための大事なものだったことに気付き，放射線の大切さを学んだ。

・学習前はただ危険なものというイメージであったが，学習後は放射線が直接私達に害を与える可能性は量によっては低く，また放射線による恩恵もあると知った。

・学習前は放射線についてただただ漠然とした「怖い」というイメージしかなかったけれど，学習後には放射線はただ怖いだけでなく生活の中で使われていて身近だけれど，気を付けて扱わなければいけないものという考えになった。

・たくさんの実験，普通ではすることのない放射線測定などを通して，教科書通りにのみ勉強していては付かない力がたくさん付きました。

・NIMBY 問題について考える授業がとても印象に残っている。理科の授業なのに，なんだか人間の本質について知ることができたような気がした。

6．成果と課題

本実践のように，目に見えない放射線について生徒自らがしっかりと実験をしながら探究していくことは，改めて大切であると感じた。生徒の振り返りの記述からも，本実践を通して数多くのことを学び，考える視点を大きく広げたことが伺えた。さまざまな情報が飛び交う現代社会において，科学的に自然事象を捉え，根拠をもって自分の考えを表現していく資質・能力を育成することが必要である。本実践で用いた実験道具を財団から借用することによってこの実践ができるため，ぜひ日本中の理科教諭には取り組んでいただきたい。機材を借りて実験をすることは確かに大変であるし，年間の限られた授業時数を放射線教育に捻出するのは，教育課程の編成においても簡単ではないが，教師によるほんの少しの創意工夫によって成し遂げられる。また，高レベル放射性廃棄物の地層処分については，これまでは中学校３学年の理科「エネルギー資源とその利用」において筆者は扱ってきたが，電気の学習をする中学校２学年の理科でも十分に学習できることが分かった。放射線の学習をベースに，正解のない諸問題に対峙することができる力を育んでいきたい。

引用文献

1) 秋吉優史,「クルックス管安全取扱のガイドライン(暫定)」, http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Lecture/20190715_%E6%95%99%E5%93%A1%E5%90%91%E3%81%91%E3%83%AA%E3%83%BC%E3%83%95%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%88.pdf (参照 2023-03-20)
2) あやめ野中学校ホームページ あやめ野の様子, https://www.ayameno-j.sapporo-c.ed.jp/(参照 2023-03-20)
3) 原子力発電環境整備機構,「高レベル放射性廃棄物について考えよう」, https://www.numo.or.jp/eess/materials/pdf/numo_chugaku_2021.3.pdf(参照 2023-03-20)
4) 原子力発電環境整備機構,「地層処分って？原子力発電から出たゴミの処分について」, https://www.numo.or.jp/chisoushobun/what_movie.html (参照 2023-03-20)
5) 啓林館,「未来へひろがるサイエンス２」(2021)
6) 文部科学省,「放射線副読本(平成 30 年改訂)」(2018)
7) 文部科学省,「中学校学習指導要領(平成 29 年告示) 解説 理科編」. 学校図書(2018)
8) 文部科学省,「中学校学習指導要領(平成 29 年告示) 解説 総則編」. 東山書房(2018)
9) 文部科学省 国立教育政策研究所 教育課程研究センター,『「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 中学校 理科』(2020)
10) 森山正樹，斉藤一幸，高橋美砂子，大石広大,「中学校理科「エネルギー資源とその利用」の学習におけるエネルギー環境教育の工夫 ― 放射線の利用から，高レベル放射性廃棄物の地層処分を題材にした学習を通して ―」, エネルギー環境教育研究 第 10 巻第２号，55-62(2016)
11) 森山正樹,「誰でもできる！『R の正体』を活用した中学校理科２学年での放射線教育」, https://www.radi-edu.jp/radi/wp-content/uploads/2021/06/case2021_13_jirei_MMoriyama.pdf （参照 2023-03-20)
12) Teacher's Net 中学校教材紹介 R の正体 ～放射線の性質と利用～, https://www.teachers-net.com/education/r (参照 2023-03-20)

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 26, No. 1, 14 - 23 (2023)

【解説】

トリチウム

～ その物理と化学 ～

工藤博司
東北大学大学名誉教授
〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2　放射線教育フォーラム
E-mail: forum@ref.or.jp
(2024 年 2 月 19 日受理)

1. はじめに

本稿では、昨年 (2023 年) 12 月 10 日に当フォーラムがオンラインで開催した「トリチウム学習会」における標記題目の講演を元に、「トリチウムとは何か」を知るための基礎知見を紹介する。中学校の理科担当教員が授業設計の裏付け資料として役立つことを念頭に、専門用語の使い方にまで踏み込んで解説する。本稿の構成は下記のとおりであるが、A に力点をおき、B については筆者の専門領域 (放射化学・核化学) を外れることもあり、ALPS 処理の概要と海洋放出の現状紹介にとどめる。なお、〔 〕内に注釈を付した。

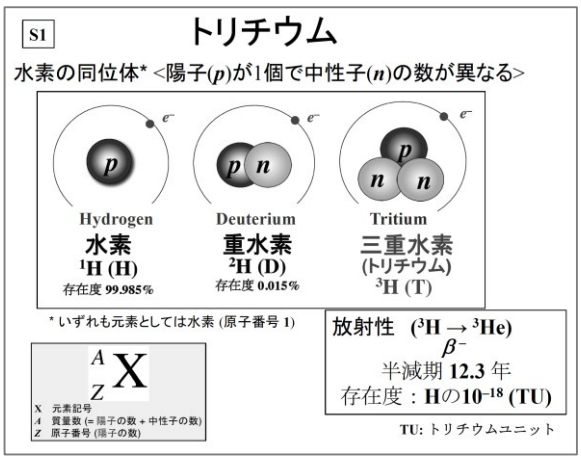
A トリチウムとトリチウム水
- ・物理学的、化学的性質
- ・自然界での生成と存在
- ・原子力施設での発生
- ・生物学的挙動
- ・利用 (核融合炉燃料、自発光塗料、電池、^{3}He 調製)

B 福島第一原子力発電所 ALPS 処理水の海洋放出
- ・多核種除去設備 (ALPS) のしくみ
- ・処理水の海洋放出
- ・海洋放出後のトリチウム水濃度の監視

2. トリチウム と トリチウム水

2.1. 物理学的、化学的性質

トリチウム (Tritium) は水素 (H) の同位体 (isotope) で原子番号 (*Z*)〔原子核の陽子数〕が 1、質量数 (*A*)〔陽子数と中性子数の和〕が 3 の元素である。その記号は ^{3}H と記すが、学術論文では T と記すこともある (図 **S1**)。質量数は元素記号の左肩に上付数字 (整数) で付すが、水素 (^{1}H: Hydroen) は H と記すだけでよい。元素記号の左下に $_{1}$H のように *Z* を付けることがあるが、元素記号と *Z* は常に同調するので、元素記号に



Z を付す必要はない。水素の同位体には重水素 (^{2}H: Derterium) も存在し〔D とも記す〕、水素 (H) を他の水素同位体と区別する際にプロチウム (Protium) と称することもある。本稿では、これらの水素同位体の元素記号を H、D および T と記す。なお、地球上における H と D の同位体存在度はそれぞれ 99.985%と 0.015%である。自然界には極微量ながら T も存在し、その割合は H 原子 10^{18} に対し 1 個程度であり、この比をトリチウムユニット (Tritium Unit: TU = 10^{-18})ということがある。[1, 2, 3)]

水素の同位体の中で T が他の二つと大きく異なるのは、T が放射性核種 (radionuclide) であることである。核種 (nuclide) とは Z に関わらず原子核の構成や状態が異なる元素であり、H、D および T はそれぞれが“個々に”核種である。現在、約 3,000 核種が知られており、その大半は放射性核種であり安定核種 (stable nuclide) は 271 種である。なお、同位体とは同一原子番号 (Z) で質量数 (A) の異なる核種のことであり、H、D および T はそれぞれが“水素の”同位体である。

トリチウムはベータ線 (β^-線) を出してヘリウム-3 (^{3}H、安定核種) になる〔反応 (1.1)〕。

$$\mathrm{T} \rightarrow {}^3\mathrm{He} + e^- + \bar{\nu}_e \qquad (1.1)$$

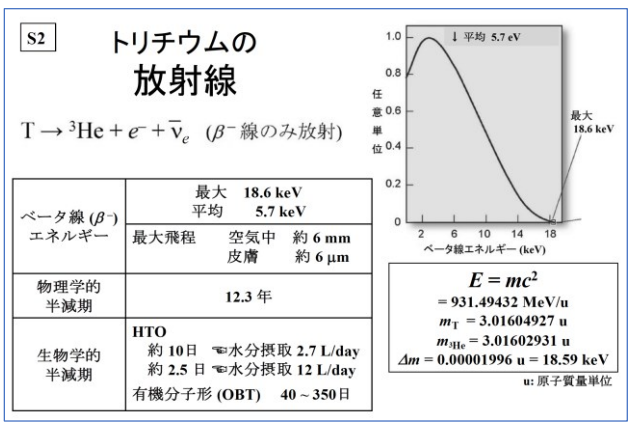
$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \qquad (1.2)$$

反応(1,1) の e^- (電子) がβ^-線であり、原子核から放出される電子のことをβ^-線と称する。ただし、ベータ線という用語にはβ^+線〔原子核から放出される陽電子 (e^+: positron) ; e^- の反粒子〕も含まれるので、使い方に気を付けなければならない。

トリチウムの原子核の中に二つある中性子 (n) の一つが反応 (1.2) によって陽子 (p) に変わるので、原子番号 (Z) が 1 つ増えて Z = 2 のヘリウム原子になる〔生成直後は ^{3}He$^+$イオンの状態にあり真空中ではその状態にとどまるが、物質中では周りにある電子を取り込んですぐ ^{3}He 原子になる〕。ここで、中性子数と陽子数の和〔質量数 (A)〕は 3 と変化しないので壊変生成物は ^{3}He ということになる。

なお、原子核を構成する n と p のことを核子 (nucleon) と呼び、両者は素粒子であるクォーク (quark) 3 個からできている。中性子はアップクォーク (u) 1 個とダウンクォーク (d) 2 個、陽子は u が 2 個と d が 1 個から成る〔便宜的に、それぞれ ***n*** (udd) および ***p*** (uud)とも記す〕。u の電荷は +2/3、d の電荷は–1/3 なので、3 個のクォークの電荷を合算して n の電荷は 0 (中性)、p の電荷は +1 となる。また、n の質量 (m_n) は 1.008664 u、p の質量 (m_p) は 1.007276 u と m_n が m_p よりやや大きいため反応 (1.2) は発熱反応であり容易にβ^-線を放出する〔u: 原子質量単位〕。

トリチウムが出すβ^-線の最大エネルギーは 18.6 keV であるが図 **S2** のように分布し、平均値は 5.7 keV となる〔β^-線のエネルギーがこのように分布するのは壊変の際に反電子ニュートリノ ($\bar{\nu}_e$) が運動量の一部を持ち去るため〕。ベータ線の最大エネルギーはアインシュタインの特殊相対性理論から導かれる $E = mc^2$ に基づいて計算することができ、トリチウムの質量〔m_T = 3.01604927 u (原子質量単位)〕とβ^-壊変生成物である ^{3}He の質量〔$m_{^3He}$ = 3.01602931 u〕の差〔Δm = 0.00001996 u〕から 18.59 keV と求められる。このβ^-線の最大エネルギーを高い精度で実測することはかなり難しく、現在でも精密測定が続けられていて、 理論値と実測値の比較からニュ



ートリノ (ν) の質量を求めることは現在も進行中の最先端の研究課題の一つである。[4)]

トリチウムのβ^-線の最大エネルギーはカリウム-40 (^{40}K) の 1,320 keV〔1,460 keV のガンマ線も放出〕やセシウム-137 (^{137}Cs) の 1,176 keV〔661 keV ガンマ線も放出〕に比べてかなり低く、β^- 線の飛程 (移動距離) は空気中で約 6 mm、ヒトの皮膚 (あるいは水中) で約 6 μm と短く外部被ばくの心配はない (図 **S2**)。ただし、大量のトリチウムを体内に取り込んだ場合には内部被ばくに気を付けなければならない。

S3 実効線量係数 (成人、経口摂取) mSv/Bq	
T (^{3}H)	0. 018
^{40}K	6.2
^{90}Sr	28
^{137}Cs	13

トリチウムのβ^- 壊変の物理学的半減期は 12.3 年であるが、生物学的半減期はトリチウム水 (HTO) の化学形で口から摂取した場合には成人で 10~12 日である。この値は水分摂取量に依存し、1 日あたり 2.3 L (成人の平均) の水分を摂取した時の値であり、もし 1 日に 12 L の水分を摂取すると 2.5 日に短縮される〔誤って大量のトリチウムを体内に取り込んだ時には、ビールやスポーツドリンクを飲んで排尿を促すとよい〕。有機分子の化学形のトリチウム (OBT: Organically Bound Tritium、組織結合トリチウム) の生物学的半減期は約 40~350 日とされている〔組織により異なる〕。[5)]

ヒトの体内でのトリチウムの挙動については後述するが、トリチウムが放出するβ^-線のエネルギーが低いことと、HTO の化学形にあるトリチウムの生物学的半減期がヨウ素–131 (成人で 80 日) やセシウム–137 (成人で 90 日) などに比べて短いことを考慮すると、トリチウムが人体に及ぼす生物学的影響は ^{131}I や ^{137}Cs に比べて小さい。図 **S3** に示すように実効線量係数〔1 ベクレル (Bq) あたりの実効線量 (mSv：ミリシーベルト)〕を比較してみるとそれが分かる。トリチウムの値 (0.018 mSv/Bq) は ^{40}K のほぼ 1/340、^{90}Sr の 1/1500、^{137}Cs の 1/700 である。[6)] 実効線量 (effective dose) とは放射線被ばくの生物学的影響を評価するための指標の一つで、異なる種類の放射線 (α線、β線、γ線など) が生体組織 (臓器) に与える損傷の相対的な影響を考慮して、被ばくした個体に対する総合的な影響を評価するための線量である。

比較のため図 **S3** にカリウム-40 の値を載せたのは、^{40}K (半減期 13 億年) は地球が誕生した時から存在し、人類は大昔から食物を通して常に体内に取り込んできた放射性核種だからである。カリウムは人体に欠かせないミネラルであり、神経伝達、筋肉収縮、水分バランスの調節などさまざまな生理機能に関与している。体重の約 0.2%を占めるカリウム原子の 1 万分の 1 は放射性の ^{40}K〔同位体存在比 0.0117%: β^-線とγ線放出〕なので、体重 60 kg のヒトの体内には約 4,000 Bq の ^{40}K が存在し、私たちは常にその放射線受けている〔内被ばく：年間 0.17 mSv〕。それでも、そのせいで健康被害を受けた人はいない。毎日の食事によって取り込まれ、定常的に体内に存在する放射性核種は他に ^{14}C (2,500 Bq)、^{87}Rb (500 Bq)、^{210}Pb+^{210}Po (20 Bq) などがあり、トリチウムも 100 Bq ほど含まれる〔放射能の値 (Bq) は体重 60 kg あたりに換算〕。これらの核種から受ける内部被ばくの総計は 1 年間で約 1 mSv と見積られている。いずれにせよ、トリチウムがヒトの健康に与える生物学的影響は他の放射性核種に比べると小さい。

ここで、ベクレル (Bq) という単位に触れておきたい。これは放射能の単位であり、1 Bq は放射性核種の 1 秒あたりの壊変数と定義されていている。この数値から放射性核種の原子数を算出することができ、トリチウム 1 Bq の T の原子数は 5.6×10^8 個になる。このように、“放射能”とは放射性核種の“量”を表す学術用語であるが、定性的には「原子が放射線を出す性質あるいは現象」という意味もある〔ベクレルとキュリー夫妻が radioactivité と唱えた〕。放射能とは「放射線を出す“能力”」と説明されることが多いが、それは必ずしも正しくない。歴史を

振り返ってみると radioactivité (英語では radioactivity) を「放射能」と和訳した際の“能”に能力の意味はない。[7)]

水素原子 (H) が酸素原子 (O) と結合すると水分子 (H_2O) ができるのと同様に、トリチウム原子 (T) が O と結合するとトリチウム水 HTO ができる。化学形が DTO と T_2O のトリチウム水も存在するが福島第一原子力発電所の ALPS 処理水に含まれるトリチウム水はほぼ HTO と考えてよい。図 **S4** に示すように水の同位体分子 (isptopomer) には他に HDO と D_2O を加えて 6 種類存在する。この図には水素分子 (H_2) の 6 種類の同位体も含め、水素同位体分子のいくつかの熱力学的性質を示す。[3)]

S4 水素同位体分子の熱力学的性質

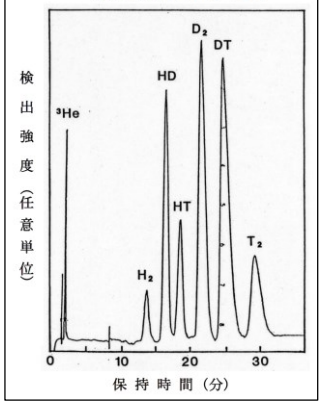
(同位体効果)

水素	H_2	HD	D_2	HT	DT	T_2
分子量 (u)	2.016	3.022	4.028	4.024	5.030	6.032
沸点 (K)	20.39	22.13	23.67	22.92	24.38	24.91

水	H_2O	HDO	D_2O	HTO	DTO	T_2O
分子量 (u)	18.015	19.032	20.028	20.023	21.029	22.031
密度 (g/mL)	1.000	–	1.105	(1.10)*	–	1.215
融点 (°C)	0	–	3.79	(3.7)*	–	4.49
沸点 (°C)	100	–	101.4	(101.4)*	–	101.5

* 推定値

S5 水素同位体分子混合気体のガスクロマトグラム



H_2O も HTO も水分子であり化学的性質に違いはない。しかし、H 原子の質量 (m_H) は 1.07825 u、D 原子の質量 (m_D) は 2.014101 u、T 原子の質量 (m_T) は 3.016049 u なので、水素同位体を含む水の質量 (分子量) はかなり異なるので、熱力学的性質に大きな違いが現れる (同位体効果)。この効果を利用すると実験室での HTO と H_2O の分離はそれほどむずかしいことではない。蒸留、電気分解、クロマトグラフィーなどの手法を使ってトリチウムの分離・濃縮は可能であり、その一例として、6 種類の水素分子同位体 (気体) のガスマロマトグラムを **図 S5** に示す。[8)] 条件にもよるが、30 分程度で 6 種類の同位体をきれいに分離することができる。ここで興味深いのは、トリチウムの壊変製生成物である ^{3}He ガスのシグナルも検出されることである〔T_2 や DT ガスの貯蔵容器中には敢えて分離しない限り常に ^{3}He ガスが共存する〕。

ALPS 処理水からの HTO 分離は困難と伝えられている。実験室規模では可能とはいえ、130 万トンもの膨大な量の ALPS 処理水から希薄なトリチウム水 (HTO) を分離するためには莫大なエネルギーと時間を要することを考慮すると現実的とはいえず、安全を確保した上で、微量の HTO を含んだまま処理水を海水放出することは合理的な施策と考えてよい。

2.2. 自然界での生成と存在

天然に存在するトリチウム (T) は、大気上層で宇宙線 〔二次宇宙線に中性子 (n)、陽子 (p)、重陽子 (d)、μ 粒などが存在する〕と空気中の窒素や酸素との下記核反応によって生成する。

$$^{14}N + n \rightarrow T + {}^{12}C \quad (2.1)$$

$$^{14}N + p \rightarrow T + \text{破砕片} \quad (2.2)$$

$$^{16}O + n \rightarrow T + {}^{14}C \quad (2.3)$$

$$^{16}O + p \rightarrow T + \text{破砕片} \quad (2.4)$$

$$D + d \rightarrow T + H \quad (2.5)$$

生成した T は大気中の水蒸気分子 (H_2O) の H との交換反応によりトリチウム水 (HTO) となり、降雨によって地表に降下する。自然界における河川水のトリチウム濃度は元々0.4 Bq/L ほどであったが、1954 年から 1963 年までの大気中核実験で 240 EBq〔E: エクサ (=10^{18})〕ものトリチウムが放出され、河川水の濃度は一時 250 Bq/L に達した。1963 年に締結された部分的核実験禁止条約（Partial Test Ban Treaty: PTBT）で大気中核実験が禁止されて以来その量は半減期 (12.3 年)

に沿って減少し、今では 5~10 EBq/L〔全地球の総量は 52 EBq〕になっている。[9)]

2.3. 原子力施設での発生

現在では、原子力事象にともなって反応 (3) ~ (5) によってトリチウムが発生し、世界中の原子力施設〔各国の原子力発電所と英・仏の核燃料再処理施設)〕から放出されており、その総量は年に 20 PBq〔P: ペタ (=10^{15})〕と見積もられる。

$$^{235}\mathrm{U} + n \text{ —(核分裂)→ T + FP (核分裂生成物)} \qquad (3)$$

$$\mathrm{D} + n \rightarrow \mathrm{T} + \gamma \qquad (4)$$

$$^{10}\mathrm{B} + n \rightarrow \mathrm{T} + 2a \qquad (5)$$

反応 (3) はウラン (^{235}U) の三体核分裂であり、軽水炉 (BWR、PWR)ではこの反応により核燃料の中にトリチウムが発生する。重水 (D_2O) を減速材と冷却水の両方用いる重水炉〔カナダ製 CANDU 炉など〕では、反応 (3) に加えて反応 (4) によって冷却水中にも多量の T が発生する。BWR の制御棒として使われる B_4C 中でも反応 (5) により T が発生する。使用済みの核燃料は最終的に再処理施設に移して処理するので、再処理施設からはかなりの量のトリチウムが HTO として海洋に放出される (図 **S6**)。この図には、物質量を実感できるように、放射能 (TBq=10^{12} Bq 単位) から求めた HTO のグラム数も示す。原子炉からの海洋放出に比べて、再処理施設からの放出量が桁違いに多く、カナダの重水炉 (CANDU 炉) からの放出量が軽水炉に比べて多いことがわかる。

人為的にトリチウムをつくる際には次のような反応を利用する。

$$^{6}\mathrm{Li} + n \rightarrow \mathrm{T} + {}^{4}\mathrm{He} \qquad (6)$$

$$^{7}\mathrm{Li} + n \rightarrow \mathrm{T} + n' + {}^{4}\mathrm{He} \qquad (7)$$

$$^{3}\mathrm{He} + n \rightarrow \mathrm{T} + p \qquad (8)$$

将来、D-T 核融合炉の初装荷燃料として用いる大量のトリチウムを製造する際には反応 (6) を利用し、核融合炉ブランケットでのトリチウム増殖には反応 (6) と (7) が関与する〔D-T 核融合反応では速い中性子(14 MeV) が発生するので先ず反応 (7) が起きて T が 1 個生成する。この時生じる中性子 (*n*') がブランケット内で運動エネルギー失って熱中性子 (0.025 eV) になると反応 (6)を起こし T をもう 1 個生成する。すなわち、D-T 反応で T を 1 個消費しても T が 2 個生じるので増殖につながる〕。[10)]

実験室でトレーサーとして使う微量のトリチウムの製造には反応 (6) に加え反応 (8) もよく使われる。ヘリウム-3 (^{3}He) ガスを石英アンプルに充填し、研究用原子炉で熱中性子を照射すると容易に得られるが、大量製造には向かない。ちなみに、物理実験などで使う市販の ^{3}He は、大量に製造した T の壊変生成物として得られる〔地球上の ^{3}He の存在比は 0.0001%程度と非常に小さいが、月には大量に存在することが知られている〕。

2.2 節と 2.3 節の記述をトリチウムの環境動態の観点でまとめると図 **S7** のようになる。[9)] 自然界で発生するトリチウム

S6 原子力施設からのトリチウム放出

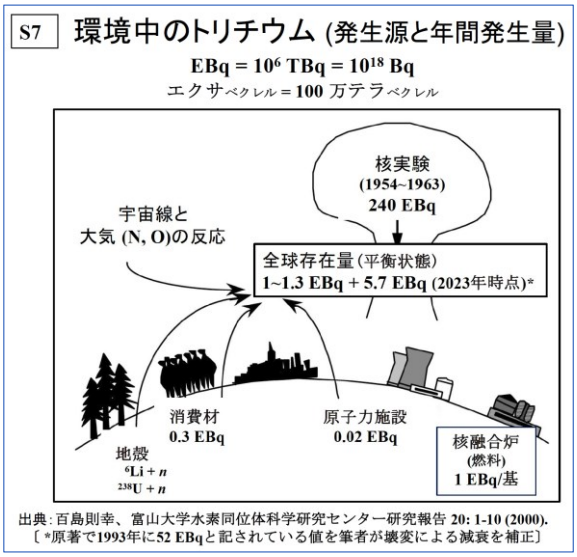
年間海洋放出量		
事　　象	TBq	g (HTO)
日・全原子力発電所 55基 (2010年)	380	7.1
加・ダーリントン原子力発電所 4基 (2012年)	190	3.5
日・六ヶ所再処理工場試験運転 (2007年)	1,800	33.5
仏・ラアーグ再処理施設 (2015年)	13,000	242

福島第一原発処理水中の存在量 (2021年4月)	780	14.5
海洋放出量 (年間最大、2023年8月開始)	22	0.4

TBq (テラベクレル=10^{12} Bq)

は主に宇宙線と大気との反応でつくられ、大半は降雨として地表に降下し河川水として海洋に移行する。それに加え、地殻の中に存在するウラン (^{238}U) やリチウム (^{6}Li) に中性子が当たって発生するトリチウムもわずかながらある。

これらのトリチウムの総計は 1 ~ 1.3 EBq であり、ほぼ平衡状態にある〔宇宙線による生成と壊変による減衰 (半減期 12.3 年) が均衡〕。ただし、過去の大気中核実験 (1954~1963 年) によって発生したトリチウム (総量 240 EBq) が 60 年を経た現在でもまだ 5.7 EBq ほど残存しており、平衡状態にあるトリチウムの量 (1~1.3 EBq) を上回っている。



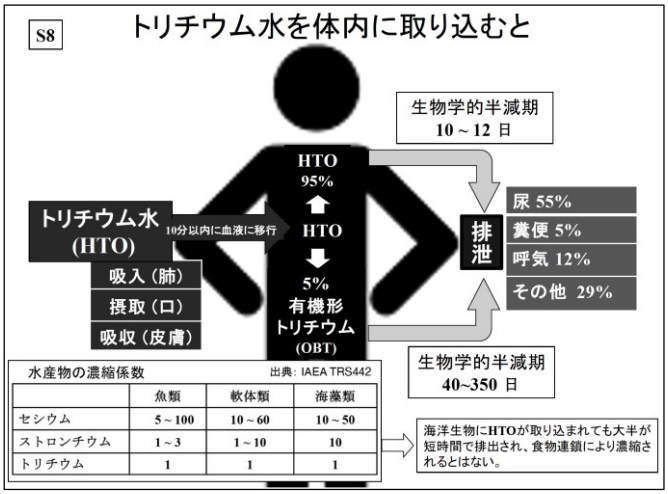
全世界の原子力施設〔主に原子力発電所と核燃料再処理施設〕から放出されるトリチウムの総量 (約 0.02 EBq) は自然界のトリチウムの全量〔前記の平衡量と大気中核実験由来の量の和 (約 7 EBq)〕に比べると 2 桁以上少ない。ただ、図 **S7** の右下にあるように、将来のエネルギー源として期待される核融合発電で最初に実現するトリチウム (T_2) と重水素 (D_2) を燃料とする D-T 核融合炉では、1 基あたり 3~5 kg (1~2 EBq) のトリチウムが燃料として装荷されることになり、その量は自然界で平衡状態にあるトリチウムの量に匹敵する。核融合炉の実現は 20 年以上先のことになろうが、大量のトリチウムを扱う安全技術の確立は当然のこととして、大量のトリチウムの使用を受け入れる社会になっていなければならない。[10)]

2.4. 生物学的影響

体内に取り込まれたトリチウム水 (HTO) の挙動を図 **S8** に示す。肺や口あるいは皮膚からトリチウムが HTO 化学形で取り込まれると、10 分以内に血液中に移行し全身を巡る。その 95%はそのまま HTO として体内を循環し、1 日に 3~4 L の水分を摂取 (成人の平均) する通常の生活では 10~12 日の生物学的半減期で尿、糞便、呼気として体外に排出される。一部 (約 5%) は体内で有機分子形の組織結合トリチウム (OBT) になるが、この化学形のトリチウムの生物学的半減期は結びつく部位 (臓器) などによって異なり、40~350 日と幅がある。いずれにしても、最後は体外に排泄される。[11)]

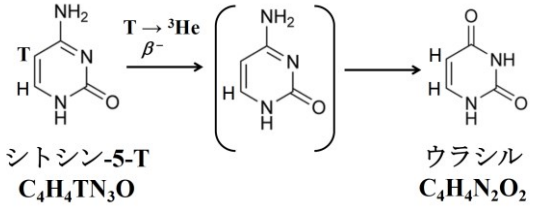
海洋生物に取り込まれた HTO も人体と同じような挙動を示し、大半が比較的短時間で排出されるので、食物連鎖で生物体内に濃縮される恐れはない。図 **S8** の左下の表に水産物の濃縮係数を示すが、トリチウムの濃縮係数は 1 とあり濃縮されないことが分かる。

この図には、ヒトがトリチウムを HTO の化学形で取り込んだ場合の挙動を示したが、気体のトリチウム (T_2、HT) を肺から取り込んだ場合、その大部分はその



まま呼気として排出され、わずかに 0.1~ 5%が体内に残留して HTO になる。HTO になったトリチウムは取り込み後 20 分ほどで尿中に検出される〔誤って取り込んだ場合には尿検査で内部被曝の有無を確認できる〕。トリチウムガス (HT) が HTO と同程度の内部被ばく線量を与えるためには HTO の 1500 倍の量の HT が必要であり、法令による規制も 1500 倍緩く設定されている。

組織結合トリチウム (OBT) については、β^-線による内部被曝だけではなく、元素が水素からヘリウム (^{3}He) へと変化することにともなう影響も研究されている。[12] 水素原子〔あるいは水素イオン(H^+)〕は反応性に富む化学種であり、生体内の炭素や酸素と容易に結合するが、壊変生成物である ^{3}He は不活性元素である。そのため、分子内で C-T 結合している T が ^{3}He になるとその位置の C-T 結合がなくなる。その結果、分子内で水素原子の再配列が起きて別の分子になることがある。一例として次のような興味深い知見が得られている。DNA の構成要素であるアミノ酸をトリチウムで標識した〔分子内のある位置の H を T で置き替えた〕トリチウム標識シトシン (cytocine-5-T) がβ^-壊変後にウラシル (uracil) に変化する反応 (9) であり、核変換効果 (transmutation effect) と呼ばれる。



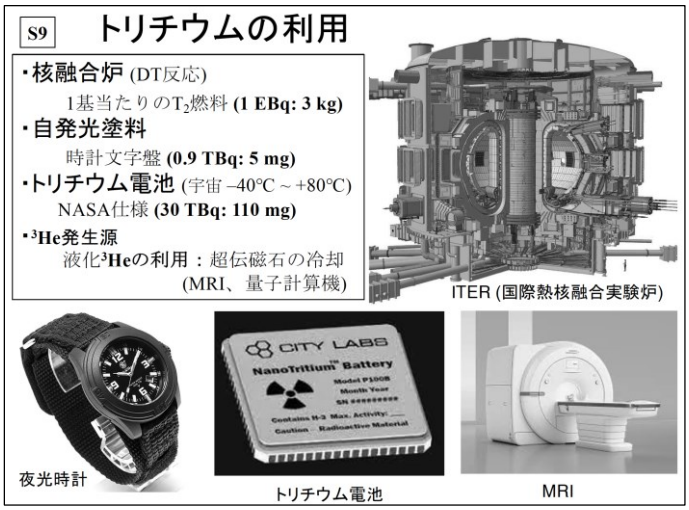
(9)

このような反応が DNA で起きると遺伝情報が書き換えられる恐れがあるが、50 兆個ともいわれる人体の細胞のほんの一つか二つでこのようなことが起きても何ら問題はなく、多量の HTO を摂取しない限り心配する必要はない。

2.5. トリチウムの利用 (核融合炉燃料、自発光塗料、電池、^{3}He 調製)

図 **S7** で消費材をトリチウム発生源の一つとして挙げているが、これは主に夜光時計の文字盤などに使われる自発光塗料の製造に由来する。海外では軍隊用の腕時計や航空機の計器用の自発光塗料の励起源としトリチウムが用いられており、その製造過程では数百ミリグラム (100 TBq ほど) の T が使われているが、日本では 1960 年代後半以降使用されていない。

トリチウムは他にも様々な分野で利用されている (図 **S9**)。その一つがトリチウム電池であり、トリチウムから出るβ^-線 (e^-) を直接電流に変換する半導体を組み込んだ電池 (betavoltaic battery: 0.8 ~ 1.1 V) である。[13] 電流密度は低いが (150 nA/cm^2) 過酷な宇宙環境 (– 40℃ ~ +80℃) でも長期間使用可能な手頃な電池として NASA の依頼により米国で製造されている。この電池は医療でも使われていて、心臓ペースメーカーなどの健康維持装置の電源として体内に埋め込まれ、10 年間交電池交換なしで使えるので重宝されている。



まだ先のことになるが、大量のトリチウムを必要とするのが核融合炉であ

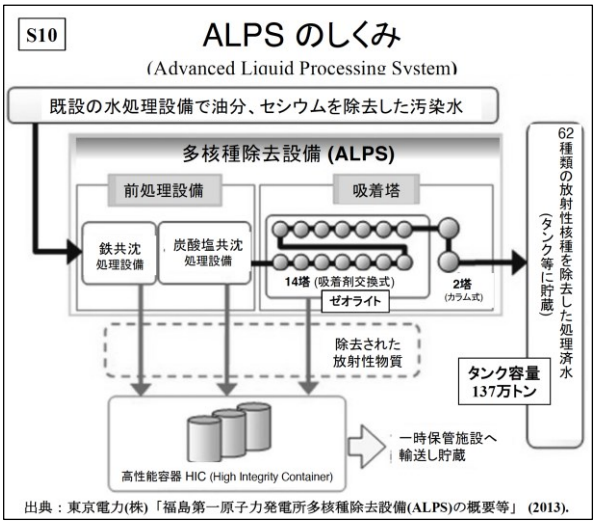
る。前節でも述べたが、電気出力 1 GW の発電用の D-T 核融合炉を想定すると、1 基あたり 3~5 kg (~2 EBq) のトリチウム (T_2 ガス) が燃料として必要になる。実際には重水素 (D_2 ガス) と容量比 1:1 で混合して使用する。重水素は海水中に無尽蔵に存在するので海水から取り出して使えばよいが、トリチウムは反応 (6) を使って製造しなければならない。そのためには ^{6}Li のアルミニウム合金などを原子炉で長時間照射し、合金中に生成した T_2 と ^{3}He を分離し、純度の高い T_2 に精製するのが一般的である。[8] 他に、重水炉で反応 (4) によって生成するトリチウム (DTO) から T_2 を分離・精製することも有力な手段である。実際、カナダのダーリントンにあるオンタリオ原子力発電所 (OPG: Ontario Power Generation) に備えられているトリウム除去設備 (Tritium Recoval Facility) は年間 2 kg (0.7 EBq) のトリチウム回収能力をもち、かなりの量を T_2 ガスとして蓄えている。[14] フランスに建設中の国際熱核融合実験装置 (ITER) における D-T 核融合実験で使用する燃料トリチウム (約 3 kg) はカナダからの供給を想定している。[10]

トリチウムの壊変生成物であるヘリウム (^{3}He) は貴重な資源である。現今、MRI (Magnetic Resonance Imaging：磁気共鳴画像) は医療に欠かせない検査手段になっているが、その装置は超伝導磁石を液体ヘリウム温度 (4 K) に冷却して使用する。通常は ^{4}He を液化して用いるが、わが国にヘリウム資源はなく、主に米国から輸入している。ちなみに、^{4}He は地殻にあるウラン (^{238}U) やトリウム (^{232}Th) から放出されるα粒子 (^{4}He) が地下に溜まったものである。世界の生産量の 34%を占める米国でも最近、資源の枯渇が問題視されている。その対応策の一つとして ^{3}He の利用が検討されていて、カナダ政府に ^{3}He の供給を依頼しているほどである。前述のダーリントンにあるトリチウム除去設備では、年間約 7,000 L (標準状態) の ^{3}He ガスを調製していると伝えられている〔1 年間で T (半減期 12.3 年) の 5.6%が ^{3}He になる〕。[14]

3. 福島第一原子力発電所 ALPS 処理水の海洋放出 [15, 16]

福島第一原子力発電所の敷地内では、事故で破損した原子炉を通過する水には多種類の放射性核種が含まれる。この汚染水から多核種処理設備 (ALPS: Advanced Liquid Processing System)で 62 核種を取り除いた“処理水”をタンク (容量 137 万トン) に貯蔵しているが、その量は既に 133 万トンに達したことから、政府は昨年 (2023 年) 8 月 22 日の廃炉・汚染水・処理水関係閣僚会議で ALPS 処理水の海洋放出を決定した。

処理水には ALPS で除去されない放射性核種トリチウムが含まれており、その安全性についての政府の説明は必ずしも一般市民に伝わっていない。そこで、当フォーラムは昨年 12 月 10 日に「トリチウム学習会」をオンラインで開催し、「トリチウムおよびトリチウム水とは何か」について学ぶ機会を設けた。本稿の前半では「トリチウムとは何か」について詳しく述べたが、次節では「処理水海洋放出」の概要を簡単に紹介する



出典：東京電力(株)「福島第一原子力発電所多核種除去設備(ALPS)の概要等」 (2013).

3.1. ALPS のしくみ

ALPS はその名の通り多核種処理設備であり、吸着材 (主としてゼオライト) を充填した 14 段の吸着塔に汚染水を通し 62 核種を取り除くが (**S10**)、トリチウム (HTO) を除去すること

はできない。2.1.節で述べたように実験室規模であれば HTO を除去する方法はいくつかあるが、130 万トンもの処理水中に微量に含まれる HTO を取り除くことは必ずしも得策ではなく、海洋放出を決めた政府の判断は間違っていないと考えてよい。

S11 海洋放出前のALPS処理水中の核種

タンク10 基の水 (計約9,000トン) の分析結果

(2023年9月21日 東京電力発表)

原子力規制委員会が定めた下記29核種の濃度は全て法令基準未満			
炭素-14	^{14}C (5.73 ky)	セリウム-144	^{144}Ce (285 d)
マンガン-54	^{54}Mn (312 d)	プロメチウム-147	^{147}Pm (2.6 y)
鉄-55	^{55}Fe (2.7 y)	サマリウム-151	^{151}Sm (90 y)
コバルト-60	^{60}Co (5.3 y)	ユウロピウム-154	^{154}Eu (8.6 y)
ニッケル-63	^{63}Ni (100 y)	ユウロピウム-155	^{155}Eu (4.7 y)
セレン-79	^{79}Se (65 ky)	ウラン-234	^{234}U (250 ky)
ストロンチウム-90	^{90}Sr (29 y)	ウラン-238	^{238}U (450 My)
イットリウム-90	^{90}Y (2.67 y)	ネプツニウム-237	^{237}Np (2.1 My)
テクネチウム-99	^{99}Tc (210 ky)	プルトニウム-238	^{238} Pu (87.7 y)
ルテニウム-106	^{106}Ru (1.0 y)	プルトニウム-239	^{239}Pu (24 ky)
アンチモン-125	^{125}Sb (2.7 y)	プルトニウム-240	^{240}Pu (6.56 ky)
テルル-125m	^{125m}Te (58 d)	アメリシウム-241	^{241}Am (433 y)
ヨウ素-129	^{129}I (15.7 My)	キュリウム-244	^{244}Cm (18.1 y)
セシウム-134	^{134}Cs (2.1 y)	プルトニウム241	^{241}Pu (14.4 y)
セシウム-137	^{137}Cs (30.1 y)	※ 括弧内の数値は半減期 (d 日、y 年、ky 千年、My 百万年)	

3.2. 処理水海洋放出の手順と濃度監視

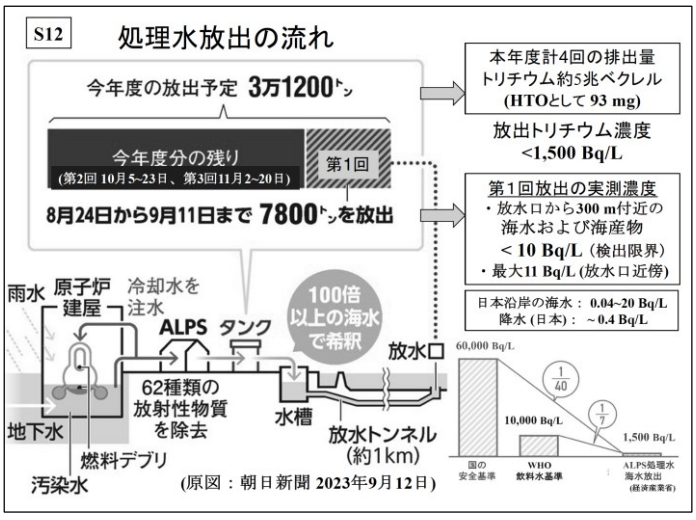
海洋放出にあたって安全確保の観点から見逃せないのは、何よりもまず、処理水中にトリチウム以外の放射性核種が規制値を超えて含まれていないことの確認である。ALPS では 62 核種を取り除くことができるとされているが、原子力規制委員会が法令基準未満に抑えるよう求めた 29 核種 (図 **S11**) の実測濃度は全て基準未満であった〔ALPS では他に ^{59}Fe、^{58}Co、^{63}Ni、^{65}Zn、^{81}Rb、^{89}Sr、^{91}Y、^{95}Nb、^{103}Ru、^{103m}Rh、^{106}Rh、^{110m}Ag、^{113m}Cd、^{115m}Cd、^{119m}Sn、^{123}Sn、^{126}Sn、^{124}Sb、^{123m}Te、^{127}Te、^{127m}Te、^{129}Te、^{129m}Te、^{135}Cs、^{136}Cs、^{137m}Ba、^{140}Ba、^{141}Ce、^{144}Pr、^{144m}Pr、^{146}Pm、^{148}Pm、^{148m}Pm、^{152}Eu、^{153}Gd、^{160}Tb、^{241}Pu、^{242m}Am、^{243}Am、^{242}Cm、^{243}Cm を除去できる〕。

トリチウム以外の放射性核種の濃度が基準値未満であることを確認した後、ALPS 処理水は 100 倍以上の海水で希釈して岸から約 1 km 沖の放出口から太平洋に放出する。その HTO 濃度は WHO (世界保健機関) が飲料水の基準としている濃度 (10,000 Bq/L) の 1/7 に相当する 1,500 Bq/L 未満と定められている。図 **S12** に示すように、2023 年度には 31,200 トンの処理水〔トリチウムを約 5 兆ベクレル (5 TBq、HTO として約 93 mg) を含む〕を 4 回に分けて、1 回に 7,800 トンずつ放出することになっており、第 1 回は 2023 年 8 月 24 日~9 日 11 日、第 2 回は 10 月 5~23 日、第 3 回は 11 月 2~ 20 日にわたって実施された〔第 4 回は 2024 年 2 月に予定〕。

3.3 海洋放出後の HTO 濃度の監視

東京電力は放水口から 3 km 圏の 10 カ所で海水を採取し、海水中のトリチウム濃度を常時監視している。また、20 km 圏内で従来から続けていた魚介類中の放射性核種 (^{134,137}Cs と ^{90}Sr) 濃度のモニタリングを強化するとともにトリチウム濃度の測定を加え、その結果を福島県の確認を経て随時公開している。[15, 16)]

第 3 回までの海洋放出後の海水中のトリチウム濃度はほとんどが検出限界 (10 Bq/L) 未満であったが、10 Bq/L 前後の値を放出口近傍で検出したとの報告が 3 回あった〔10 Bq/L (8 月 31 日)、9.4 Bq/L (10 月 7 日)、11 Bq/L (10 月 9 日)〕。



4. おわりに

トリチウムは放射性核種であるが、放射線の安全取り扱いでよく検討対象になるストロンチウム (^{90}Sr) 、ヨウ素 (^{131}I) あるいはセシウム (^{134}Cs、^{137}Cs) などに比べて環境や生体に及ぼす影響はかなり小さい。2023 年 8 月に ALPS 処理水の海洋放出が開始されたが、原子力規制委員会が定めたトリチウム排出基準 (1,500 Bq/L) は WHO (世界保健機関) が飲料水の基準とする濃度 (10,000 Bq/L) を大きく下回っている。仮に、WHO の基準濃度のトリチウム水 (HTO) を含む水を 1 L 飲んだとしてもその内部被ばく線量は 0.00018 mSv であり、[11] 私たちの身体に例外なく存在する放射性カリウム (^{40}K) による内部被ばく線量〔年間 0.17 mSv〕に比べてはるかに低い。実際、海洋放出後の海水中のトリチウム濃度の実測値は 10 Bq/L 前後と報告されており、[15, 16] この放出基準が守られている限り、環境や生体への影響を心配するには及ばない。

トリチウムがさまざまな領域で利用されていることはあまり知られていない。まだ先のこととはいえ、核融合炉ではトリチウムが燃料として大量に使用される〔T_2 として 1 基あたり 1 EBq 以上 (3~5 kg)〕。将来、核融合発電が社会に受け入れられるためには、多くの人が「トリチウムとは何か」を知り、安全を確認できることが前提になる。本稿がその一助になれば幸いである。

参考文献

1) Souers, P. C., “Hydrogen Properties for Fusion Enegy”, University of California Press (1986).
2) IUPAC, “Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry”, 1st Ed., Blackwell Scientific Publ., Oxford (1988).
3) 工藤博司,「トリチウムの物理化学的性質と同位体効果、トリチウムの化学 ― 基礎から応用まで」,日本原子力学会トリチウム化学研究専門委員会編, 26-32 (1982).
4) Beringer, J. *et al*. (Particle Data Group), *Phys. Rev*. **D86**, 010001 (2012).
5) 国際放射線防護委員会 (ICRP), Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 Inhalation dose coefficients. Annals of the ICRP. 25 (1995).
6) 国際放射線防護委員会 (ICRP), Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60 (2012).
7) 工藤博司、「用語『放射能』放射能を正しく伝えるために, *放射線教育フォーラムニュースレター*No. 59 (2014).
8) 工藤博司, 「核融合炉燃料トリチウムの製造と化学」, *Radioisotopes*, **34**, 432-441 (1985).
9) 百島則幸, 「トリチウムの環境動態」, *富山大学水素同位体科学研究センター研究報告* **20**, 1-10 (2000).
10) 工藤博司, 「核融合炉とトリチウム 〜 新エネルギーの利用に向けて 〜」, *放射線教育* **26** (1), 3–12 (2022).
11) 志村勉, 山口一郎, 寺田宙, 温泉川肇彦, 牛山明, 「トリチウムの生体への影響と低線量放射線影響研究の課題」, *保健医療科学* 7**0** (2), 160‐165 (2021).
12) Evans, E. A., “Tritium and its Compounds”, 2nd Ed., Butterworth, London (1974).
13) Colozza, A. J. and Cataldo, R. L., “Low Power Radioisotope Conversion Technology and Performance Summary”, NASA/TM-2018-219940 (2018).
14) *The Canadian Press*, January 4, 2011.
15) 東京電力 HP, https://www.tepco.co.jp/decommission/progress/watertreatment/oceanrelease/
16) 福島県 HP, https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/moni-k.html

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 27, No. 1, 24 - 32 (2023)

【実践報告】

中学２年生における放射線教育の授業事例

奈良　　大
〒461-0047　愛知県名古屋市東区大幸南１-126　愛知教育大学附属名古屋中学校
E-mail: d-nara@auecc.aichi-edu.ac.jp

1　はじめに

私は、仮説を立てて予想し、観察・実験によって理論を確証することを理科の授業で大切にしている。つまり、理科の観察・実験を仮説演繹的に行うことが大前提だと考える。しかし、放射線の性質の学習に限らず、多くの理科の授業では、観察・実験から理論・法則を見つけ出す帰納的かつ発見的な理科学習が多く行われている。そのため、観察・実験の意図を理解しないまま、作業的に観察・実験に取り組んでいる生徒が多く見受けられる。この帰納的かつ発見的な理科学習、いわゆる「発見学習」の最大の欠点は、観察・実験後に結果の解釈が揃わない点である。しかも、その解釈は知っていないとできない（塾などで先行して学習していないとできない）場合が多く、生徒が結果の解釈を苦手としやすい（考察が書けない）原因であると考える。そこで、生徒にあらかじめ観察・実験の役割を理解させるとともに、仮説演繹的に理科の学習を進めることが様々な自然事象を科学的に捉えるために重要となると考える。

科学者がその時代のパラダイムである理論を、他の科学者の論文などから得るのと同様に、生徒もその時代のパラダイムである理論について、平易な言葉で説明してある教科書から読みとり、科学の文脈に沿う理科学習を行うことが必要であると考える。そこで、科学の文脈に生徒を引き込むことができるようにするために、あらかじめ教科書を読み、概観をつかませる「通読」を行うことにした。そして、教科書から放射線の性質を読みとり、その性質を調べるための仮説（実験仮説）を立てることで、観察・実験で確証できることを理解させつつ、放射線の性質とその利用について学ぶことを目指した。

また、仮説（実験仮説）は、次の定型文で表されることを、生徒は既に学んでいる。

＜仮説（実験仮説）＞ もし［（理論）］ならば、［（方法を実施する）］と、［（結果の予測）］だろう。

「理論」には、教科書から読みとった性質・法則などの理論が当てはまる。「方法を実施する」には、教科書から読みとった観察・実験の具体的な手法が当てはまる。「結果の予測」には、教科書から読みとった観察・実験から予測される結果が当てはまる。

これらを仮説（実験仮説）の定型文として示し、仮説演繹的に理科学習を行う一助としている。生徒は、他の単元では、「通読」により、教科書から理論とともに、観察・実験の手法も読みとり、自分の力で仮説（実験仮説）を立てることができるようになってきている。

そこで、放射線の性質とその利用について学ぶ場面において、同様の方法による授業展開を目指した。

２　授業展開（２時間完了）

○日時

【第１時】　令和５年２月１３日（月）６限　１４：２０～１５：１０

【第２時】　令和５年２月１４日（火）１限　　８：５０～　９：４０

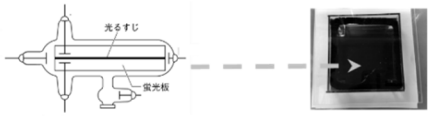
○対象学年・生徒　愛知教育大学附属名古屋中学校　２年Ａ組　３６名

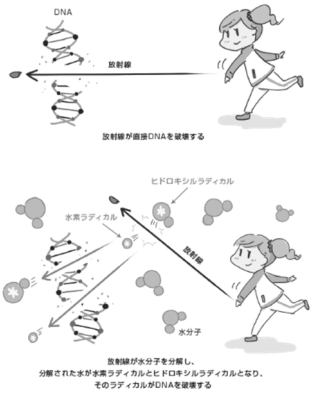
【第１時】

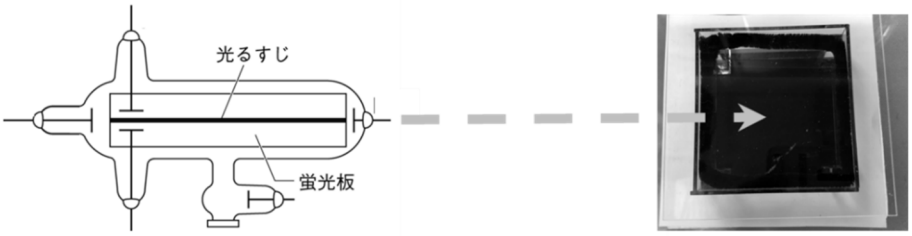
○ねらい

放射線の主な性質（透過性、電離作用など）について、観察・実験を通して理解するとともに、それらの性質がどのように利用されているのか具体的に説明することができる。

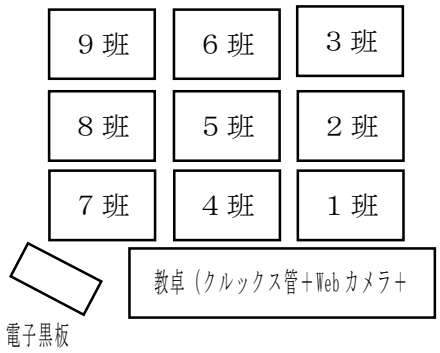
○指導計画

学習指導	指導上の留意点
１　「通読」より、放射線の性質を教科書から見つけ出す。 ２　これらの性質から仮説（実験仮説）を生徒とともにつくり出す。	＜予想される生徒の発言＞ ・放射線は物体を通り抜ける性質（透過性）がある。 ・放射線は物質の性質を変化させる性質がある（電離作用）。 ・放射線が生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する（電離作用）。 ○透過性、電離作用の仮説（実験仮説）を立てさせる。
＜物体を通り抜ける性質（透過性）の仮説（実験仮説）＞ もし（放射線は物体を通り抜ける性質（透過性）がある）ならば、（クルックス管に電圧をかけ、霧箱で観察する）と、（放射線の飛跡が見える）だろう。	
 	○霧箱を使って１年時に放射線の飛跡を観察したことを思い出させ、クルックス管と霧箱が離れていても、Ｘ線が叩き出した電子がつくる飛跡によって霧箱内に侵入できる（透過できる）ため、白い線が見えているであろうことを説明する。
＜物質の性質を変化させる（電離作用）の仮説（実験仮説）＞ もし（放射線が物質の性質を変化させる）ならば、（クルックス管に電圧をかけ、Web カメラで観察する）と、（白い輝点が見える）だろう。	
 	○Web カメラには CMOS イメージングセンサーが使われている。目に見える光や放射線が Web カメラに入ると、「電子－正孔対」ができ、電流が流れる。そこで、目に見える光を遮断するために CMOS イメージングセンサーを黒いビニールテープなどで覆うと、「電子－正孔対」のほぼ全てが放射線によるものとなる。ここで「電子－正孔対」を生成する

	ことが「放射線が物質の性質を変化させる」ということであり、生じた電流を電気信号として捉え、コンピュータ上の画面に白い輝点として表示されることを説明する。
＜生物の細胞に大量に当たると、細胞が死滅する（電離作用）の仮説（実験仮説）＞ もし（放射線が生物の細胞に大量に当たると、細胞が死滅する）ならば、（方法を実施する）と、（結果の予測）だろう。	
 【多田将「放射線について考えよう。」明幸堂Ｐ１０９より引用】	○現時点では、中学校の理科室レベルで検証できる観察・実験方法はないと考えている。逆に、細胞を死滅させるほどの高い放射線を出すと、人体にも影響することを理解させる（第２時の生物影響の学習に繋げる）。
３　観察・実験の結果の予想をする。	○透過性、透過性の観察・実験の予想を立てさせる。
＜透過性の観察・実験の予想＞ （クルックス管に電圧をかけ、霧箱で観察する）と、（放射線の飛跡が見える）だろう。	
＜電離作用の観察・実験の予想＞ （クルックス管に電圧をかけ、Web カメラで観察する）と、（白い輝点が見える）だろう。	
４　観察・実験を行う。 〔透過性〕※理科室の配置 霧箱　霧箱　霧箱 霧箱　霧箱　霧箱 霧箱　霧箱　霧箱 教卓（クルックス管）	〔透過性の観察・実験のポイント〕 ○霧箱を配布し、白色光ライトを当てて観察する。 ○距離による透過性の違いを調べるために、霧箱をもって教室内を移動してよいが、理科室を暗くするため注意する。 ○日本保健物理学会「教育現場における低エネルギーＸ線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」が作成した「クルックス管安全運用ガイドライン」に従い、誘導コイルの放電極距離は 15 mm に設定する。誘導コイルに印可し、クルックス管に電圧をかける時間を最小限にする。



〔電離作用〕※理科室の配置



〔電離作用の観察・実験のポイント〕

○Web カメラをつないだコンピュータの画面の様子を、電子黒板に映し出す。また、Web カメラはロジクール製 C270n を用いる。Windows パソコンに標準付属するアプリ「カメラ」を使用して輝点を確認する。

○理科室を暗くする。

○上記同様、「クルックス管安全運用ガイドライン」に従い、誘導コイルの放電極距離は 15 mm に設定する。誘導コイルに印可し、クルックス管に電圧をかける時間を最小限にする。

5　結果・考察をまとめる。

○結果と考察をまとめさせる。考察は、仮説（実験仮説）から「もし」と「だろう」を除いて、「(理論）ので、(方法を実施する）と、(結果の予測)。」と示されることを確認する。

6　「透過性」「電離作用」の利用例について､配布した pdf データで調べ、自分でまとめる。

○日本原子力産業協会のＨＰにある資料を pdf データで配布し、放射線の性質とその利用例を調べさせる。

☆本時の評価

放射線の主な性質（透過性、電離作用など）について、観察・実験を通して理解するとともに、それらの性質がどのように利用されているのか具体的に説明することができる。　【知識・技能】

7　学習プリントを回収する。

○班で学習プリントを集め、提出させる。

【第２時】

○ねらい

放射線の主な性質（生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅するなど）について、映像資料を通して理解するとともに、その性質がどのように利用されているのか具体的に説明することができる。

○指導計画

学習指導	指導上の留意点
1　前時の復習を行う。	○放射線の主な性質を答えさせる。 ＜予想される生徒の発言＞ ・放射線は物体を通り抜ける性質（透過性）がある。 ・放射線は物質の性質を変化させる性質がある（電離作用）。 ・放射線が生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する（電離作用）。
2　ＤＶＤ教材「Ｒの正体」を視聴する。	○文部科学省作成の放射線副読本を pdf データで配布し、Ｐ10・11 を参考にしながら、「Ｒの正体」の生物影響（12 分 22 秒～18 分 00 秒）を視聴させる。
3　「生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する」の利用例について、配布した pdf データで調べ、自分でまとめる。	○多田将「放射線について考えよう。」のＨＰにある資料や「らでぃ」のＨＰにある資料を pdf データで配布し、放射線の性質とその利用例を調べさせる。
☆本時の評価 放射線の主な性質（生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅するなど）について、映像資料を通して理解するとともに、その性質がどのように利用されているのか具体的に説明することができる。　【知識・技能】	
4　学習プリントを回収する。	○班で学習プリントを集め、提出させる。

3　授業実践の様子

【第１時】

まず、放射線が真空放電の研究中に発見されたこと、放射性物質、放射線の種類などについて簡単に説明した。

次に、教科書の「通読」により、教科書から放射線の性質を見つけ出させた。生徒は、放射線は物質を通り抜ける性質（透過性）があること、放射線は物質の性質を変化させる性質（電離作用）があること、そして、放射線が生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する（電離作用）ことを見つけ出し、学級全体で確認した。

そして、教師が生徒に問い掛けながら、透過性、電離作用を検証するための方法を説明しながら、仮説（実験仮説）を次のように立てさせた。

＜物体を通り抜ける性質（透過性）の仮説（実験仮説）＞

もし（放射線は物体を通り抜ける性質（透過性）がある）ならば、（クルックス管に電圧をかけ、霧箱で観察する）と、（放射線の飛跡が見える）だろう。

＜物質の性質を変化させる（電離作用）の仮説（実験仮説）＞

もし（放射線が物質の性質を変化させる）ならば、（クルックス管に電圧をかけ、Webカメラで観察する）と、（白い輝点が見える）だろう。

生徒は、透過性についての仮説（実験仮説）は、イメージしやすそうであったが、電離作用についての仮説（実験仮説）は、イメージがしにくそうであった。CMOSイメージングセンサーや電子ー正孔対などの専門用語がたくさん出てきて、中学２年生には難しそうな印象を受けた。

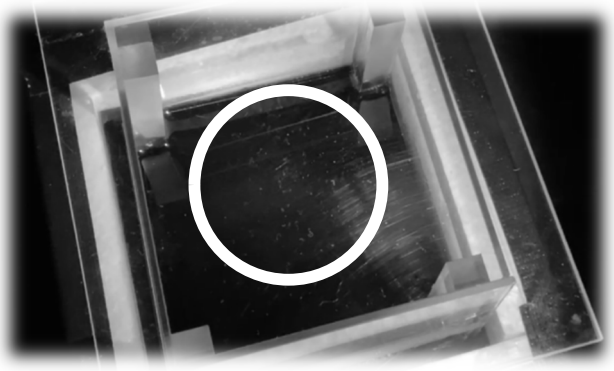


図１　透過性の実験の様子
※○を付けたところに白い飛跡が見える。

続いて実験の予想を記述し、実際に実験を行った。透過性を検証する霧箱は、理科室の各テーブルの上に置き、白色光を当てて観察させた。時折隣の班の霧箱を覗くなどさせたり、クルックス管から最も近い霧箱の様子を電子黒板に映し出したりして、自分の班の霧箱の様子と比較させた。また、電離作用を検証するWebカメラは、クルックス管に近付けて置き、その様子を電子黒板に映し出して観察させた。Ｘ線は紙や薄い金属板では止まらず、鉛板などで止まることを示すために、クルックス管とWebカメラの間にわら半紙やアルミニウムはく、鉛板などを置き、白い輝点の有無の違いで確認させた。さらに、レントゲン撮影で骨の部分が白く映り、つまり、骨はＸ線が止まりやすいこと、皮膚や肉の部分が黒く映る、つまり皮膚や肉はＸ線が透過しやすいことを示すために、クルックス管とWebカメラの間に犬用の骨やビーフジャーキーを置き、白い輝点の有無の違いで確認させた。この方法で生徒は納得しているようであった。Web カメラは、透過性の違いを検証する実験にも十分活用できることが分かった。

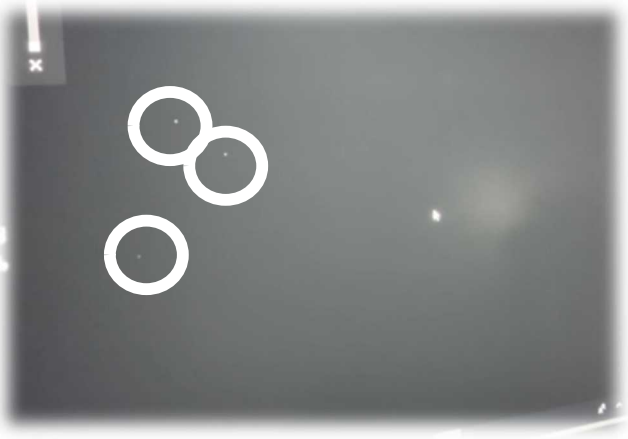


図２　電離作用の実験の様子
※○を付けたところに白い輝点が見える。

最後に、透過性、電離作用の利用例について、日本原子力産業協会のＨＰにある資料をデータで配布し、放射線の性質とその利用例を調べさせ、プリントにまとめさせた。

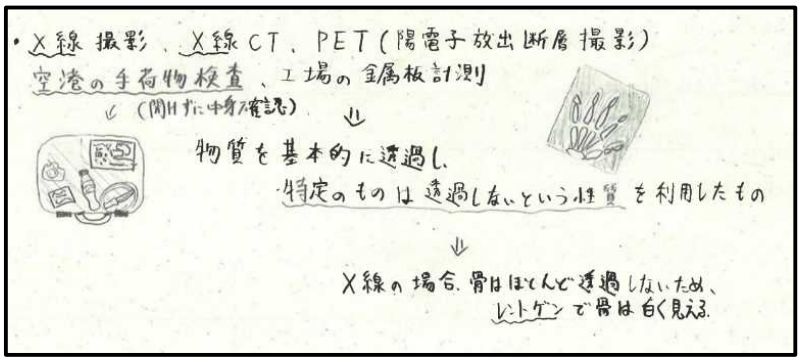


図３　透過性とその利用の生徒のまとめ（一部）

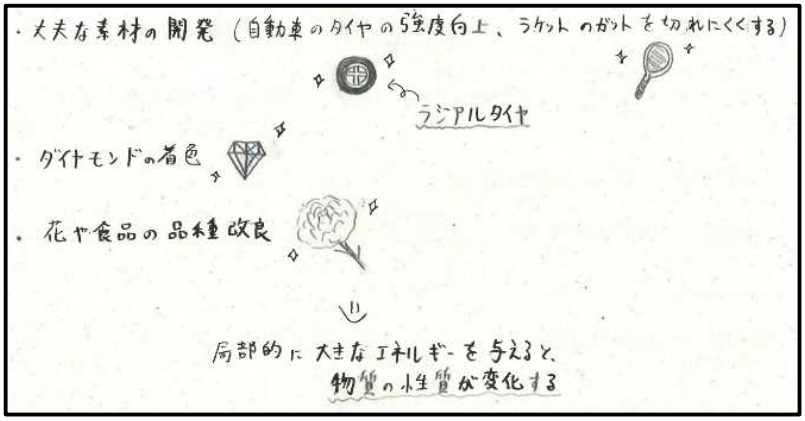


図４　電離作用とその利用の生徒のまとめ（一部）

【第２時】

生物の細胞に放射線（X線）が大量に当たると細胞が死滅することを中学校の理科室レベルで検証する方法は現時点では見つかっていないことを説明した。文部科学省作成の放射線副読本をデータで配布し、P10・11を参考に、映像資料（ＤＶＤ教材「Ｒの正体」（12分22秒～18分00秒）で確認させた。その後、多田将「放射線について考えよう。」のＨＰにある資料や「らでぃ」のＨＰにある資料をデータで配布し、放射線の性質とその利用例を調べさせ、プリントにまとめさせた。

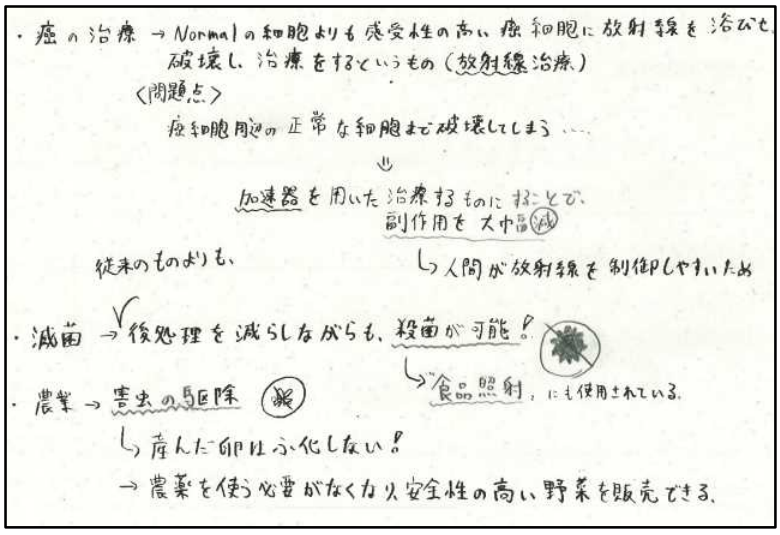


図５　生物影響とその利用の生徒のまとめ（一部）

4　結果と考察

授業を受けた生徒の感想（一部）は、以下の通りである。

・なかなか放射線の授業をやることがないため面白かった。だけれど難しかった。
・少し難しくてわからないところが多かった。特に、放射線が物質の性質を変えるという実験です。
・難しい言葉がいっぱいあってなんで白い飛跡が出るのかがよくわからなかった。
・実験の方法についてもっとわかりやすい方法があるといいな～と思った。また放射線の性質が今までの電流とどんな関係があるのか詳しく知りたいと思った。
・Web カメラの実験がよく理解できなかった。でも、放射線について教科書を読むだけではなく、目で確かめたことで理解しやすかった。
・なかなか放射線の授業をやることがないため面白かった。だけれど難しかった。
・少し難しくてわからないところが多かった。特に、放射線が物質の性質を変えるという実験です。
・難しい言葉がいっぱいあってなんで白い飛跡が出るのかがよくわからなかった。
・実験の方法についてもっとわかりやすい方法があるといいな～と思った。また放射線の性質が今までの電流とどんな関係があるのか詳しく知りたいと思った。
・Web カメラの実験がよく理解できなかった。でも、放射線について教科書を読むだけではなく、目で確かめたことで理解しやすかった。
・性質を確かめる実験の中で分からない言葉があったので少し実験内容を理解するのが難しかったけれど、実際に実験をしてみるとざっくり意味がわかりました。だから、少しわかりやすい実験内容にしていただきたいところもありますが、このままでも分かったのでこのままでも良いかなと思います。また、実際に実験を行い、放射線が通っていること、透過性などがよく分かりました。楽しかったし、面白かったです！
・実験は楽しかったけど言葉が英語とかカタカナとか意味不明で何を目的にその実験をしているのか、それが何を表しているのかが普段の授業に比べてあんまわかんなかった。

授業時の生徒の様子などを受け、次のように分析した。（○：成果、●：課題）

○　実際に実験をしてみると、放射線の性質を理解させやすかった。特に、透過性の検証における霧箱は、有用性が高いことが分かった。

○　放射線の性質を学習した後に、放射線の利用を学習させることで、生徒のまとめなどから性質と利用をリンクさせることができたと考える。

●　Web カメラの実験では、専門用語やカタカナが多く、理解させるのが難しかった。

●　電離という言葉を中学３年生で学習するために一切用いなかった。しかし、電離作用を理解するには、放射線がぶつかって、電子をとばすようなイメージをつかませないとならないため、中学３年生の「化学変化とイオン」の単元で電離を学んでからのほうがよいだろうと感じた。

そこで、中学２年生では、透過性の実験だけを仮説演繹的に取り扱うのがよいのではないかと感じた。仮説（実験仮説）を立てるときもイメージがしやすく、観察・実験における霧箱や Web カメラの役割も理解しやすいのではないかと考える。

【参考文献】

○多田将「放射線について考えよう。」、明幸堂、2018.
○遠西昭寿・福田恒康・佐野嘉昭「テクスト解釈としての科学理解と科学知識習得のための方法論的提案」、日本理科教育学会第 64 回東海支部大会研究発表予稿集、2018.
○日本保健物理学会「教育現場における低エネルギーＸ線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」が作成した『クルックス管安全運用ガイドライン』」、2019.
○奈良大「クルックス管と放射線」、公益財団法人日本科学技術振興財団 2020 年度放射線授業事例コンテスト最優秀賞、2021.
○奈良大「中学校理科における放射線利用を学ぶための授業デザイン」、公益財団法人日本科学技術振興財団 2021 年度放射線授業事例コンテスト優秀賞、2022.
○奈良大「中学３年間における放射線教育」、日本エネルギー環境教育学会第 16 回全国大会論文集、2022.
○奈良大「中学２年生における放射線教育の授業事例」、公益財団法人日本科学技術振興財団 2022 年度放射線授業事例コンテスト最優秀賞、2022.

「放射線教育」Radiation Education
Vol. 27,№ 1, 33 -41 (2023)

【実践報告】

持続可能な放射線教育をめざして

佐々木　清
前福島県環境創造センター交流棟教育アドバイザー
〒969-1151　福島県本宮市本宮字千代田 125 番地 4
（受理月日：2024.1.31）

［要旨］　東日本大震災・東京電力福島第一原子力発電所事故から，13 年の歳月が過ぎた。そこで，福島県環境創造センター交流棟（以後「コミュタン福島」と愛称で記述）でスタッフと共に取り組んできた 2021 年度から 2022 年度まで放射線教育概要および 2023 年度地元小学校から依頼された第 1 学年から第 6 学年にわたる放射線出前授業概要を報告し，今後福島県で必要とされる「持続可能な放射線教育」を考え，講師一任の放射線出前授業から，教師に寄り添った教師主体の放射線授業のサポートのあり方について提案を示す。

１．はじめに

これまで福島県内小・中学校では，文部科学省発行放射線副読本や福島県教育委員会発行「ふくしま放射線教育・防災教育指導資料」などを活用しながら，未来を担う子どもたちに災害から身を守るとともに，放射線等について正しく理解し，風評被害やいじめ等を防ぐために，真剣に放射線教育を取り組んできた。このような状況の中で，2011 年度から 2015 年度までの５年間，「生徒が主体の放射線教育」をスローガンに毎年放射線研究公開授業を行い，放射線授業の改善を積み重ねてきた。次の 2016 年度から 2022 年度までの 7 年間，現在の福島県に創設されたコミュタン福島に勤務し，展示室でのアテンドや体験研修プログラムの開発などを行ってきた。これらの 2011 年度から 2020 年度までの 10 年間取り組んできた放射線教育の実践は，放射線教育 Radiation Education にも取り上げていただいた。

写真１　放射線出前授業の様子

今回本誌においては，2021 年度から 2022 年度までのコミュタン福島での放射線教育の取り組みとともに，2023 年度より地元の福島県本宮市立本宮まゆみ小学校から依頼を受け，「持続可能な放射線教育」をめざして実践してきた全学年の放射線授業授業概要を報告する（**写真１**）。

２．『コミュタン福島における放射線教育後半２年間』の歩み：2021 年度～2022 年度

2.1 「持続可能な放射線教育」とは

教師主体の放射線授業をめざす上で「**持続可能な放射線教育**」を以下のように定義した。

目的意識を持って積極的に放射線に関する観察，実験，計測などを行い，得られた結果を科学的に探究する放射線教育に向けて，講師一任の放射線出前授業から，教師に寄り添った教師主体の放射線授業へ移行できるようにサポートしていく放射線教育

2.2 リニューアルオープンしたコミュタン福島の展示室エリア

2016 年に開館した「コミュタン福島」は，2023 年 7 月にリニューアルオープンした。中でもふくしまの今を知り，放射線について学び，未来を描いていく「**未来創造エリア２**」（**写真３**）の「**マッピングふくしま**」では，原子力発電所事故当時，陸や海への降り注いだ放射性物質の拡散の様子や世界が抱える地球規模の環境問題について，プロジェクトマッピングで紹介している（**写真２**）。また「**未来創造インフォストリーム**」では，環境創造センターで研究してきた内容を「放出された放射性物質の行方を『**追う**』」「持続可能な未来を『**創る**』」「福島の環境を『**守る**』」の３つのテーマで紹介し，タッチパネル形式のデジタルサイネージで気になるテーマを深掘りすることができる（**写真４**）。

写真２ マッピングふくしま

写真３ 未来創造エリア２

写真４ 未来創造インフォストリーム

2.3 継続して実施してきた「放射線に関する教職員及び出前授業」

文部科学省委託事業「**放射線に関する教職員及び出前授業**」は，新型コロナ感染防止のため中止となった 2020 年度を省けば，2013 年から現在まで実施されている。私も講師として福島県内小・中学校や私立高校で放射線出前授業を行ってきた（**写真５**）。綿密な指導計画のもと，放射線の実験器材やワークシート，講師派遣による出前授業全てが無料である。放射線授業をどのように進めればよいか，悩んでおられる先生方には是非活用してほしい事業である。

写真５ 放射線出前授業の様子

2.4 福島県内外の放射線教育機関との連携ならびに相互の有効活用

2021 年度より，宮城県を中心に放射線教育を推進している**東北放射線・エネルギー環境教育研究会**に所属した。ここでは，毎年放射線教育懇談会の支援のもとで，宮城県・福島県内の放射線出前授業を実施するとともに，宮城県内では中学校放射線研究公開授業をサポートし，放射線授業者の育成も行っている。さらに東北大学

写真６ ラジオアイソトープセンター

サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター（**写真６**）や非破壊放射性セシウム汚染検査機が設置してある石巻魚市場等の放射線関連施設も視察してきた。

また，研究会を通して福島県内外の放射線関連情報の共有や福島県放射線教育への期待など，直に福島県外の先生方の意見を聞くことができ，放射線授業改善の視点を得ている。

2.5 【 2021 年度～2022 年度 】『コミュタン福島放射線教育・講演・出前授業』の記録

放射線教育研究年度	2021年度（令和3年度）	2022年度（令和4年度）
コミュタン福島開館経過年数	コミュタン福島６年目	コミュタン福島７年目
体験研修プログラム開発 ・実施要領(学習指導略案) ・Power Point Text 作成	放射線：霧箱放射線飛跡観察指導法中学校版 放射線：放射線量測定中学校版改訂 SDGs：ＳＤＧｓ学習プログラム基礎編共同開発・編集	放射線：霧箱放射線飛跡観察指導法・高校版 SDGs：ＳＤＧｓGoal 6 発展編学習プログラム開発・編集 SDGs：ＳＤＧｓGoal 15 発展編学習プログラム開発・編集
実験ワークシート テーブルサイエンス教材	放射線ストラップを製作しよう 再改訂 濁った水を浄化しよう 化学電池をつくろう改訂 大滝根川上・中流の水質調査をしよう	黄道 12 星座のモデル作りをしよう 簡易霧箱で放射線の飛跡を観察しよう改訂 水質浄化の実験をしよう 大滝根川上・中流の水質調査をしよう改訂
○放射線教材開発	○コミュタン福島展示物問題作成[illegible]	○ペットボトル簡易霧箱改良
放射線教育講演月日	2021．７．31(土) 13:00～14:00	2022．11．3(木) 13:30～14:45
放射線教育講演テーマ	科学教育研究協議会全国研究大会福島大会(Web) ～科学的に探究する力を育む 放射線教育10年～	大玉村歴史文化講演会 ～きれいな水と豊かな森を次世代につなぐ大玉村から学ぶこと～ (原発事故から 10 年森林と河川における放射性 Cs 動態)
〈講演・実践発表のプロット〉 ・放射線授業の実践を基に、いかに学習意欲を高め，生徒が主体的に課題を解決していくか	・めざす福島の生徒像·力·目標 ・中学校５年間における放射線教育実践の歩み ・コミュタン福島５年間の放射線教育の歩み・教材開発	・大玉村の村づくり ・大玉村の素晴らしい人づくり ・大玉村の森林事業・水利事業 ・原発事故から10年放射性Csの動態 ・SDGs15豊かな森林を育てるために
放射線授業支援実施月日	2021．７．14(水) 15:00～16:30	2023．2．14(火) 9:10～11:50
放射線授業テーマ	福島市立福島第一中学校現職教育全体会 ～生徒が主体の放射線教育の歩みとリスクコミュニケーション～	二本松市立岳下小放射線出前授業 ～コミュタン福島による放射線出前授業・自然放射線飛跡観察～
放射線授業支援内容	①放射線授業づくりのステップ ②「安全」と「安心」の架け橋 ③「リスクコミュニケーション」とは ④中学校放射線教育5年間の歩み	①自然放射線α線・β線飛跡観察 ②紙によるα線の遮蔽実験の観察 ③α線が減衰していく様子の観察 ④霧箱で放射線の飛跡が観察できる[illegible]
放射線教育関係機関との連携	・公益財団法人日本科学技術振興財団（放射線出前授業） ・東北エネルギー・環境理科教育推進研究所（放射線教育研究）	・公益財団法人日本科学技術振興財団（放射線出前授業） ・東北エネルギー・環境理科教育推進研究所（放射線教育研究）
放射線出前授業の実施 （＊印：文部科学省放射線出前授業）	11．16·17福島東陵高1年放射線出前授業＊ 11．29·30[illegible]井田中全学年放射線出前授業＊ R4．1．26本宮市立白沢中1年放射線出前授業＊	6．22郡山市立日和田小1年放射線出前授業＊ 6．28会津美里町立新鶴小2年放射線出前授業＊ 7．6郡山市立日開成小6年放射線出前授業＊ 10．18郡山市立日和田小2年放射線出前授業＊ 11．28会津美里町立新鶴小3年放射線出前授業＊ 12．6福島東陵高1年放射線出前授業＊ 12．20会津美里町立新鶴小4年放射線出前授業＊ R5．1．16会津若松市立第五中2年放射線出前授業＊ R5．1．19コミュタン福島[illegible]
放射線に関する実践発表	8．14石巻に放射線を語る会（Zoom Meeting方式） 8．19理科カリキュラムを考える会定例会公開(on-line) 11．25東北放射線科学センター放射線教育懇談会 ホテル[illegible]	
放射線に関する主な執筆原稿	FUKUSHIMA NEXT「福島県における未来志向の[illegible]」応募（優秀賞受賞）	
放射線に関する主な参加研修	10．19東北放射線科学センター放射線理科教育研修 [illegible] 11．23放射線教育フォーラム第2回勉強会(on-line) 11．25放射線教育懇談会東北電力ネットワーク[illegible]・東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター見学 12．7[illegible] R4．1．16放射線教育フォーラム第3回勉強会(on-line)	4．26東北放射線科学センター職員 コミュタン福島施設案内 7．9東北エネルギー・環境理科教育研究会コミュタン福島案内 9．18放射線教育フォーラム放射線教育意見交換会(on-line) 12．28放射線教育[illegible]・講演会参加 日本科学技術館 R5．1．13東北放射線科学センター放射線授業研究 [illegible]

３．「持続可能な放射線教育」をめざして：2023 年度

「福島の復興は道半ば」。福島県は放射性物質による甚大な災害を受けた県として放射線教育を今後も持続的に推進していく必要がある。特に目の前の子ども達が福島県外で生活する際，周囲の放射線に対する誤った見方によって混迷する場合も考えられる。

これまで，教育現場で５年間とコミュタン福島で７年間かけて「科学的に探究する力を育む放射線教育」を追究し，授業実践や体験研修の指導を積み重ねてきた。同時に，文部科学省委託事業「科学的な理解をすすめる放射線教育セミナー」や「放射線に関する教職員研修及び出前授業」など，並行して放射線出前授業も行ってきた。その結果，課題も明確となり，多忙な教育現場の中で，先生方による「**持続可能な放射線教育**」をめざすため，どのように先生方に寄り添いながら放射線授業のサポートをしていけばよいか，今年度から，地元の福島県本宮市立本宮まゆみ小学校における放射線出前授業を行ってきた。

3.1 放射線出前授業の今日的な課題

放射線出前授業の依頼を受けて小・中学校および高等学校で放射線授業を実践すると，ほとんど講師任せっきりになっているのが現状であり，授業後に児童生徒が放射線について興味・関心を持っても先生方は対応せず，児童生徒の探究意欲を高めていない。そこで解決策を探るため，放射線出前授業を行う前本宮まゆみ小学校の学級担任全員に，放射線授業を進める上で困っていることについて，事前アンケート調査を実施した。その結果，毎年放射線授業は行っているものの，困っていることとして放射線についての理解に自信がなく，さらに授業の進め方が不安である教師が８割以上占めていた。（**図１**）

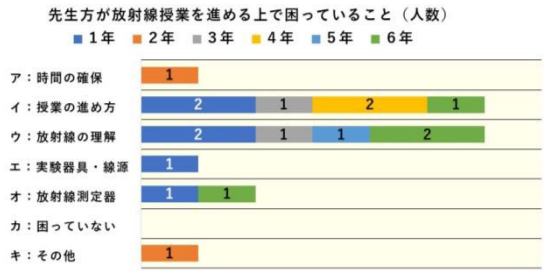


図１　放射線授業事前アンケート調査結果

これらの今日的な課題として，児童生徒に教える前に①放射線の基本的な内容の「**何を**」理解しなければならないか迷っている。そして，②放射線授業を「**どのように**」教えていけばよいか困っている。このような状況では，学級担任や教科担任による継続的な放射線授業の実践は望めない。

3.2「持続可能な放射線」をめざす方策

放射線出前授業の今日的な課題を解決し，教師による「持続可能な放射線教育」を推進していくため，次の２つの方策を考えた（**図２**）。

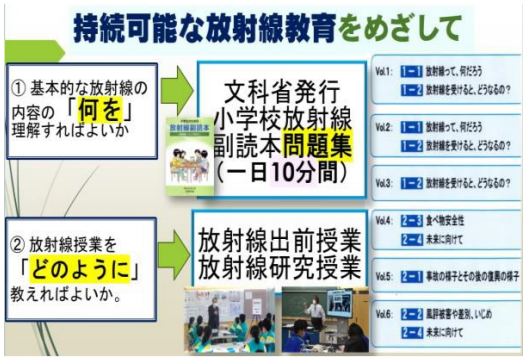


図２　持続可能な放射線教育をめざす方策

①『文部科学省発行放射線副読本』の重要な放射線内容を明確に捉え，効率的に覚えられる**放射線副読本練習問題**を作成する。
② これまでの放射線授業実践を紹介するとともに，**放射線出前授業**の講師を招いて授業の進め方を学んでもらう機会を増やす。

3.3 毎日 10 分程度の練習問題を行うために →「文科省発行副読本」の構成の組み換え

まず放射線を教えるには，放射線の基本的な内容を理解することである。これまで放射線の教則本や文献などたくさん出版されている中でも最もお薦めしたいのが，文部科学省発行の「放射線副読本」である。児童生徒にもわかるように放射線に関する基本な内容が簡潔にまとめられている。しかし，内容は精選してあるものの，教える教師側にとって，各ページのどの部分が最も重要なのか，困惑している。そこで，小学生対象の「**放射線副読本練習問題**」を作成した。まず忙しい一日の時間割の中で，「放射線副読本練習問題」を継続的に活用するには，朝学習など 10 分間の時間が必要となる。そのため，文科省発行放射線副読本の内容が，毎日 10 分程度で１講座１週間で覚えられるように練習問題を Vol. 1 ～Vol. 6 まで６講座作成した（**図３**）。

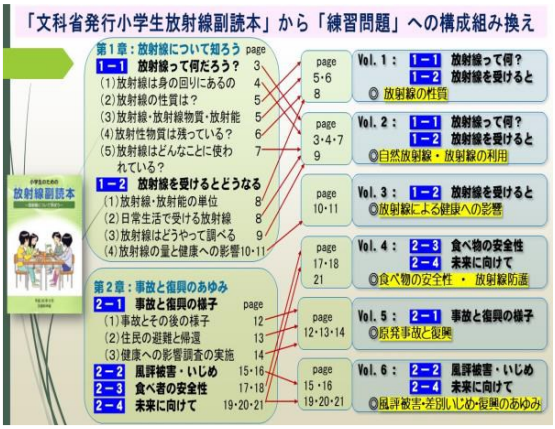


図３ 小学生放射線副読本の構成組み換え図

3.4 放射線について「何を」理解すればよいのか →「文科省発行副読本練習問題」の活用

朝学習等 10 分間を利用して１週間継続すれば，無理なく確実に１講座分の基本的な放射線の内容が習得できる。講座の進め方を下記の**図４**にまとめた。

①［**熟　　読**］：放射線副読本の指定されたページを２日間それぞれ 10 分間熟読する。
②［**step1･2**］：基礎的な知識として重要な語句・数値・図表・説明文の部分に四角枠で囲んであるので，10 分間かけてその部分を重点的に音読・暗記する。
③［**step3～6**］：熟読・暗記した内容をさらに定着させるため，10 分間で重要語句・数値・図表ならびに説明文の空欄に，keyword を入れる問題を解く。
④［**step7**］：重要語句が流暢に口頭で説明できるか，二人一組になって聞き取り合う。
⑤［**step8**］：２分間程度で，放射線の基本的な内容が定着しているか補完問題を解く。

以上のように実施すれば，無理なく放射線授業の指導力を向上させることができる。

「放射線副読本」練習問題で指導力アップ！Vol. 1

【10 分×４回】練習問題実施月日：　　年　月　日 ～　　年　月　日

Step No.	出題区分 ・ 出題観点		目安時間	実施予定日	問題実施日
□熟読１	基礎定着①:熟読	5, 6, 8 page	10 分間	/	/
□熟読２	基礎定着②:再熟読	5, 6, 8 page	10 分間	/	/
□step１	基礎知識①:語句・説明	覚える	７分間	/	/
□step２	基礎知識②:図表	覚える	３分間		
□step３	基礎問題①:語句	試す①	２分間	/	/
□step４	基礎問題②:図表	試す②	２分間		
□step５	基礎問題③:説明(1)	試す③	１分間		
□step６	基礎問題④:説明(2)	試す④	２分間		
□step７	基礎問題⑤:口頭	表現する	２分間		
□step８	基礎問題⑥:○×問題	試す⑤	２分間	/	/

図４　小学生放射線副読本練習問題の構成ならびに進捗状況表のシート例

3.5 放射線授業を「どのように」進めればよいのか　→ 放射線出前授業参観と実践

次に，基礎的な放射線の内容をどのように具体的に進めていけばよいのか，戸惑ってしまうことがある。そのようなときにこそ，外部講師による**放射線出前授業**をお薦めしたい。文部科学省をはじめ教育関係機関で外部講師を無料で派遣し，放射線学習で使う観察実験器材や放射線測定器，タブレットを活用したワークシートなど，全て放射線事業事務局で搬送していただける。そこで放射線出前授業を参観すれば，放射線授業の進め方の手法を学ぶことができる。さらには，児童生徒一人一人を見取り，褒め，思いやりの心を持って放射線授業が展開される中で，児童生徒に講師の熱意が伝わっていく様子も見聞できる。なお，全国で実践された放射線授業は，放射線教育支援サイト「**らでぃ**」で検索できる。

今年度，地元の福島県本宮市立本宮まゆみ小学校から依頼されて実践した第１学年から第６学年までの放射線出前授業プログラムの概要をまとめると，**図５**のように表される。

学年	練習問題 Vol. Step	練習問題 実施予定 月日	出前授業 **実施月日** 時限	○:放射線出前授業の学習のめあて □:放射線学習の内容	観察 実験 内容
３年 １組 ２組	Vol. **１** Vol. **２** st. 1～8	11 月 20 日 ～ 11 月 22 日	**11 月 22 日** 第２校時 第４校時	○放射線の飛んでいるようすを 霧箱で観察しよう。 □放射線の飛跡観察□自然放射線	霧箱 観察
６年 １組 ２組	Vol. **１・３** Vol. **４** st. 1～8	11 月 20 日 ～ 11 月 24 日	**11 月 24 日** 第２校時 第４校時	○放射線から身を守る取組を 理解し，健康な生活を送ろう。 □原発事故□放射線防護□免疫力	測定 遮蔽 実験
５年 １組 ２組	Vol. **１** Vol. **４** st. 1～8	11 月 20 日 ～ 11 月 27 日	**11 月 27 日** 第２校時 第４校時	○放射線が出ていることを確かめ 健康な生活を送る方法を考えよう。　□放射線防護　□原発事故	測定 実験

４年 １組 ２組	Vol.１ Vol.２ st.1～8	11 月 21 日 ～ 11 月 28 日	**11 月 28 日** 第２校時 第４校時	○放射線の飛んでいる様子を観察し，放射線の性質を調べよう。 □飛跡観察□自然放射線 □半減期	霧箱観察
２年 １組 ２組	Vol.１ st.1～8	11 月 24 日 ～ 11 月 30 日	**11 月 30 日** 第２校時 第４校時	○放射線が飛んでいるか，調べてみよう。 □自然放射線 □放射線の性質 □原発事故	線源探しｹﾞｰﾑ
１年 １組 ２組	Vol.１ st.1～8	11 月 27 日 ～ 12 月 1 日	**12 月 1 日** 第２校時 第４校時	○放射線，どこにいるの？ □放射線の性質 □放射線の利用	線源探しｹﾞｰﾑ

図５ 本宮まゆみ小学校放射線出前授業に向けての問題練習日＆放射線出前授業内容概要

全学年の放射線出前授業終了後に，学級担任の先生方に事後アンケートの記入に協力をいただいた。その結果，小学生放射線副読本問題集用紙を配布し，事前アンケートを実施した 11 月 17 日の近い日に放射線出前授業を行った３・５年生担当の先生および２学期の学習のまとめで忙しかった２年生担当の先生は，副読本問題集を解く時間が取れなかった。来年度に向け，余裕を持って約１カ月前から練習問題に取り組めるように日程を調整していきたい。また，第３学年学級担任から **Team-Teaching 授業**の希望があるので，他学年も含め「**持続可能な放射線教育**」を**実現**させるために，今から準備に取りかかっていきたい。

４．学級担任による「持続可能な放射線授業」を推進するために

今年度第１・２年学年では『はじめましてほうしゃせん』の絵本を学級担任に読んでいただせき，１・２年生にとって初めて放射線授業のオープニングを切った。また 10 数年間続けてきた文科省事業放射線出前授業の経験を活かし，全学年ともタブレットを活用したワークシートを作成し，観察実験器材や放射線測定器を借用するなど，全て準備して放射線出前授業を行った。今後は，学級担任が主体の放射線授業が望まれ，「持続可能な放射線教育」につながってくると思われる。

図６ 持続可能な放射線をめざす３つのSTEP

そこで，教師主体の「**持続可能な放射線教育**」に向けての前段階として，来年度からの放射線授業では，**図６**で示したように，今年度作成した学習指導案の改訂とともに，学級担任が主体となって授業を進める指導内容や時間を定め，学級担任の先生との **Team-Teaching 授業**を実現したいと考えている。そして，今年度作成した小学生放射線副読本練習問題の全ての文章にルビを付ければ，小学生中・高学年から練習問題を解くことができるので，「**小学生版放射線副読本練習問題**」を作成していきたい。さらに，児童が持参している個人用タブレットに小学生版放射線副読本練習問題のファイルを保存しておけば，自分のペースで児童が基本的な放射線内容を学ぶ環境が整備できる。今後は教師ばかりでなく，次世代の未来を担う児童生徒にも自ら正しい放射線の知識を習得させ，日常生活で役に立っている放射線利用例にも触れ，放射線の有効性を伝授させていく必要がある。

５．終わりに

東日本大震災が発生してから今年で 13 年目を迎える中，福島第一原子力発電所事故による甚大な原子力災害の記憶が薄れてきている。福島県では，双葉町に 2020 年 9 月「東大震災・原子力災害伝承館」が開館した。このアーカイブ施設は，東日本大震災と原子力災害の記録と記憶の風化を防止するため，未曽有の複合災害の教訓を国や世代を越えて継承するとともに，復興に向けて進む福島県の姿と国内外からの支援に対する感謝の思いを発信する情報拠点として設立された。また，2013 年 7 月福島大学には，環境放射能研究所(IER)が設置され，原発事故による環境への影響や野生動植物への影響など，福島の環境中の放射能研究を推進しており，年に 1 度成果報告会が開催されている。

今後，収集された原子力災害の貴重な情報や最先端の放射能研究の成果を，福島県民に対して，特にこれからの未来の福島県を担う子どもたちに対して，分かりやすく伝えていくためには，忙しい教育現場に立つ教師の力に負うところが大きい。そこで，これからの活動として，各地の伝承施設や放射線の利用施設などを視察して，小・中・高校生に関心を持ってもらえる情報を収集していきたい。そして，今後も継続して放射線の教育プログラムの開発と改良に尽力するとともに，教壇に立って奮闘している教師の方々に寄り添いながら，授業にすぐに使える放射線に関する情報を提供し，一人でも多くの教師の方々が児童生徒のために，主体となって放射線授業を実践できるようにサポートしていきたい。

６．謝辞

2011 年～2022 年の 12 年間は，放射線研究授業を通して，またコミュタン福島の展示室見学や体験研修を通して，目の前の子ども達が少しでも放射線に対する不安や悩みを解消できるように試行錯誤してきた期間です。これまで継続して放射線授業に取り組むことができたのは，共に歩んできた郡山市中学校理科教育研究会の先生方のお陰です。さらには，コミュタン福島に奉職することができ，福島県環境創造センター総務企画部の方々から常に適切で温かいアドバイスをいただいたお陰であり，コミュタン福島スタッフの皆様からの惜しみない支援があってこその着実な歩みでもあります。そして，現在，地元の本宮まゆみ小学校で放射線出前授業ができるのも，校長先生をはじめ，小学生一人一人に温かい思いやりの心を持って接しておられる先生方のご理解とともに，児童一人一人に放射線測定器や簡易霧箱等を貸し出していただいた公益財団法人日本科学技術振興財団のスタッフ皆様のお陰です。ここに，これまで適切なご指導と助言やご協力をいただきました皆様方に，心より厚く御礼申し上げます。ありがとうございました。

７．参考文献

7.1 放射線出前授業で活用頻度の多かった放射線教育関連書籍

『小学生のための放射線副読本』文部科学省, (2018・2021・2022)
『中学生・高校生のための放射線副読本』文部科学省,(2018・2021・2022)
『放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料』環境省,(2014～2022)
『放射線等に関する指導資料　第３版～第５版』福島県教育委員会,(2014～2016)
『ふくしま放射線教育・防災教育指導資料 活用版』,福島県教育委員会,(2017)
『放射線ってなあに？　Science Window』JST 科学技術振興機構, (2013)

『はじめましてほうしゃせん』原子力安全システム社会システム研究所(2013)

7.2 日本原子力学会誌ＡＴＯＭＯΣ掲載：2011 年度～2020 年度放射線実践内容掲載

「日本原子力学会誌ＡＴＯＭＯΣ 2015 Vol.57 №.４,40-41」
初等・中等教育における放射線・原子力教育の現状（その２）
「科学的に探究する放射線教育及び研究機関等との連携」

「日本原子力学会誌ＡＴＯＭＯΣ 2020 Vol.62 №.８,17-19」
未来につなぐ福島県の放射線教育の取り組み（２）
「探究的に学び，未来を切り拓くコミュタン福島の放射線教育」

7.3 NPO 法人放射線教育フォーラム出版物：2011 年度～2022 年度放射線実践内容掲載

「放射線教育 Radiation Education 2016Vol.16 №.１,21-30」2011･2012 年度放射線授業内容
「放射線教育 Radiation Education 2020Vol.24 №.１,3-13」2013 年度放射線授業内容
「放射線教育 Radiation Education 2021Vol.25 №.１,15-24」10 年間放射線教育実践概要
「ニュースレター2016.02.№.64,9-10」 2014･2015 年度放射線授業内容
「ニュースレター2019.11.№.75,10-11」 コミュタン福島放射線領域内容

7.4 コミュタン福島の最新情報　右のＱＲコードにアクセスしてください。

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 27, No. 1, 42 - 45 (2023)

【意見】

風評被害は風任せでよいか

下　道國
元藤田医科大学客員教授
〒509-0235 岐阜県可児市桜ケ丘 7-179
E-mail: shimojii1379@ma.ctk.ne.jp
(2024 年 2 月 2 日受理)

はじめに

我々は風評に悩まされ、かつまた少なからず踊らされている面がある。風評とは何か。風評はどうして生じるのか。また、風評を無くしていくことはできるのか。あるいは、風評をコントロールできるのか。風評について、深い知識・見識があるのではないが、ALPS 処理水の海洋放出によって風評が出た機会に若干の考えを述べて、読者の批評・考察に供したい。

風評の発生

風評とは何か。近所や生活地域での単なる小さな「噂話」から、政治家・著名人・芸能人・競技者らに対する「デマ」、そして広く社会全体を覆う「流言飛語」を言うのであろう。このように考えれば、事故が、いつでも、どこでも、どのような状況であろうと発生するのと同様で、風評は、いつでも、どこでも、どのようなことについても起きると言える。

「真実か虚偽か」明らかでないことが、どこからともなく、あるいは意図的に、真実のごとく流布し、それを多くの人が真実か否かを確認しない（できない）まま広まっている状況が、風評と言えようか。その結果、風評は、多くの人々にあるいは社会に、良くない状況（不安や不快、不信の蔓延）を、場合によっては悪質な状況（嫌悪や恐怖、対立など）を生み出す。

このような状況を生み出す風評は、個人や小さな集団だけからの発信では狭い範囲で小さく終わってしまうと思われる。しかし、大きな影響力を持っているテレビ・新聞・雑誌等のマスメディアが媒体となると、社会全体に及ぶことになる。公共的な使命を持っていると自他ともに認めるメディアによる報道が、ある思想のもとに構成されていたり、価値判断が分かれる事例ではある方向に導くようなバイアスがかかっていたりすることが散見されるが、公共との認識のゆえに、多くの一般公衆は真実として受け取る傾向があり、このことが風評を生む原因にもなる。殊に、大きな事故や災害などでは、現場から実証的な報道がなされると同時に、現場で語られる必ずしも事実に基づいていない話が、映像や写真をもって報道されると、それらはたちまちのうちに広まっていく。

特定の政権や政治団体、また専門家と称する集団の発信も、メディアに劣らず大きな影響力がある。かれらも、事実に基づかないことや科学的根拠を確認しない説を、あるいは事実と装った偽説を意図的に出すことがある。たとえば、福島第一原発事故で発生した汚染水を ALPS で処理した「処理水」を意図的に「汚染水」と言っている例がある（生活排水の汚染水を処理場で処理して河川に流している処理水も汚染水と言うのであろうか）が、それが

風評となっていく。

これ以外に強力なのは、近年急速に発達してきたSNSがある。SNSは個人の判断や考えがそのまま出るので、仮にそれが善意による発信だとしても、その内容の真実性を確認することは、極めて難しく、また責任を問うことも難しい。

このような様々な経路により、情報や伝聞が一般公衆には事実か虚偽か判然としないまま流され、混沌とした状態が形成されているのが風評の実態と思われる。言論や行動に制限が余儀なくされる専制主義体制下ではなく、自由にものを言うことが保証されているわが国においても、それを良いことに、意図的に偽情報を流して快感を得るような行為や、より悪質な虚偽を流して社会を混乱させる所業は社会通念として容認されることではない。また、それらの言説が単なる風評として片付けられてはならないのも言うまでもないことと思う。

過去の風評事例

風評には、長く続く場合もあれば、比較的に短期に終わる場合もある。また、事例によっては、深刻な事態を引き起こすケースもある。

関東大震災後に「朝鮮人が暴動おこして、多数の日本人が殺傷された」という風評に対して、朝鮮人への殺傷・迫害が生じ、現在に至るまで長く続く深刻な事態が解決していない件などは、風評が固定化して長く続く例である。

短期で終息した事例では、JCO事故での風評がある。事故が終息した時点で、急速に収まっている。JCOの事故が発生した直後に、農作物が廃棄される事態が発生した。理由は、放射能が洩れて、地域周辺が汚染されたというデマであった。JCOの事故は臨界事故だったので、放射線漏れであって、放射性物質は出ることはなかったが、このことが世間には正確に伝わらず、誰が言うともなしに「放射能漏れによる汚染」が流布した。新聞には、ネギが大量に破棄された写真が載り、まさに風評を絵に書いたようであった。農作物の廃棄は、しなくてもよい無駄な行為だったが、この風評は割と短期間で終了したのが救いだった。

福島第一原発事故による農水産物に対する風評では、政府、当事者、専門家その他による懸命な科学的根拠に基づく事実説明にもかかわらず、それに疑念を持ち、あるいは否定する立場で世間に訴えている一群があった（現在もある）。「嘘も百回言えば真実になる」と言われる。風評に同調して自らも発信する人の多くは、風評が事実でないという認識はあまりなく、真実と思っているのであろうか。少数のある人々は、政治的な意味合いでプロパガンダをしてはいないか。この風評は、地域内外の多くの一般住民に多大な迷惑を与えているのだが、彼らはそれを意識し、目的としているようにも見える。このような風評は、行政府や一般公衆が協力して、即刻解消されるように尽力していかなければならない。

風評への対策・対応

風評をなくしていく方法として、体系的に確立された手法（システム）はあるだろうか。そのようなシステムがあれば、風評は速やかに無くなっていくであろう。風評対策として特効薬的なシステムが見つからないのが現状であるが、社会的に影響の大きい風評に対しては、少なくとも必然と思われる

のは次のようなことであろう。

第一になされなければならないのは、政府・行政官庁が、事実を丁寧に繰り返し説明することで、一般公衆の疑念を払拭していくことである。誤った風説には、事実を提示して断固として即時的に否定していくことである。

二番目に、というよりも同時平行的に重要でかつ必要なのは、マスメディアによる報道である。事実に即したこと、科学的に裏付けされたこと、そしてデマとわかることをその根拠などを示しながらニュースや解説で明快に否定することであり、写真や映像等を利用して丁寧に説明すれば効果はより大きい。同時に、如何に現場が混乱していようと、冷静な報道に徹し、風評を助長しかねない報道は、厳に慎まれなければならない。

三番目は、外部の第三者が、必要であれば、科学的な立場から冷静に、そして公正に説明することである。同時に、彼らの支持を得ることも、風評対策では極めて重要である。

四番目は、風評を流す当事者でない一般の人々が、風評に対してまず疑問を持つことである。大切なことは、他者の意見は聞くが、直ぐには同調しないことであり、また重要な役割を担っているメディア等の報道にも注意をして冷静に自分で判断をすることであり、安易に風評に同意せず、あるいは無視して、そして否定することである。ただし、この行為を一般公衆の全てに求めるのは無理ではあろう。

以上の行為は、一度か二度行えばよいというものではない。デマや虚偽を流している者は、速やかに理解して態度を変えるということはないと思われるために、行政府、メディア、第三者は、流れている風評が収まるまで、何度も正しい情報を繰り返し伝えることである。多くの日本人はくどく言うことを好まない傾向があるように見受けられるが、それでは相手の意中に嵌ってしまうことになる。説明はあくまで繰り返し冷静に行われるべきであり、挑発するような言辞は避けなければならない。

食品に対する風評対策

科学的に安全であると認められているにもかかわらず、デマや風評にさらされるのに食品がある。

風評にさらされている食品や食材は、官公庁や公共施設の食堂、多くの給食施設、あるいは公の場で積極的に利用することであり、そしてそのことを広報することである。

また、マーケットやインターネット上での販売促進は有効であり、一般公衆が購入して食することはさらに効果があるので、大いに期待される。

食品生産者が風評被害を受けている場合は、彼らが自分たちで食するところを見せることも効果があろう。それにも増して有効と思われるのは、勇気をもって疑念を持つ人に対応していくこと、つまり、自分たちの生産食品をもって出向いて行き、積極的に食するなどをすることではないだろうか。また、疑念を持つ人やグループを招いて、彼ら自身の目で実態を見てもらうこと、そして食体験してもらうことも相当の効果があるだろう。

風評被害の当事者である住民が対応するには、積極的で強靭な精神力に加えて労力や時間も必要となるが、決して腰が引けた態度になってはいけない。次第に状況が変わっていくとの信念を持ち、風評払拭に向けた活動を地道に丁寧に根気よく続けることに尽き

ると思う。

輸出の場合は、風評による輸入制限を掛けない国や地域に輸出することに務めることにつきる。輸入制限が解除された時は、何事もなかったように、従前どおりにするのが良いであろう。場合によっては、訴訟や賠償が考慮されることもあろうが、慎重に判断されるべきだろう。

おわりに

風評は、いつでも、どこでも起きると、はじめに書いた。この社会には無くなって欲しい事柄が幾つもあるが、風評もそのうちの一つである。この認識に立って、常に冷静で判断に誤りのないように気を付けるようにして、風評に惑わされたり、マイナスの影響を受けたり、また与えないようにしたいものである。今後も決して無くなりはしないであろう風評被害を風任せにしてはいけない。

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 27, No. 1, 46-47 (2023)

【意見】

ヨーロッパ核医学会印象記

大野 和子
京都医療科学大学教授
〒622-0041　京都府南丹市園部町小山東町今北 1-3
E-mail: kakochan@kyoto-msc.jp
(2024 年 2 月 2 日受理)

核医学診療は放射線診療の一つの領域です。検査では、放射性医薬品と呼ぶ、放射性物質を薬品に結合させた薬品を患者さんの体内に投与し、放射線検出器を用いて体の外から薬品の体内挙動を確認します。また、治療の場合は、病気の部分と親和性が高い放射性医薬品を投与し、体内の病巣に集まった薬品から放出される β 線や α 線が病巣を破壊することを目指します。

核医学は第二次世界大戦後に急速に発展しました。日本国内でも 1960 年頃から本格的に行われるようになっています。この頃の画像はぼんやりと体内が描出されている、という程度の物でしたが、CT 検査も超音波検査も開発されていない時に、臓器の形状を確認できる核医学画像は画期的で最先端の医学でした。その後さまざまな放射性薬品の開発が進み、現在はほぼすべての内臓の代謝や血流状態、悪性腫瘍の存在診断が可能となっています。また、分子生物学の進歩と呼応して、がん細胞の細胞膜にある特殊な受容体に結合する放射性医薬品も開発されるようになりました。この技術は、腫瘍細胞に選択的に放射線を照射する核医学治療技術に画期的な進歩をもたらしました。理科の先生方ならよくご存じのステイ―ブン・ジョブスは、この新しい治療法の一つを選択しスイスで定期的に腫瘍の治療を続けながら長く世界的な企業の CEO として活動を続けていました。

米国は世界最先端の医学を誇るはずなのに、アメリカ人の彼がなぜスイスで治療？と気づいた方もいるかもしれません。放射性医薬品を用いた治療は、EU が米国よりも早期に医薬品を認証し、ほんの１、２年前までは EU がこの領域をけん引していたのです。現在は米国と EU が中心となり世界中の研究者がしのぎを削っています。

核医学に関連する主要な学会は北米核医学会、欧州核医学会です。北米、欧州といっても世界中の研究者が学会員になることができますし、非学会員でも都度、大会に参加できます。私は北米核医学会の会員ですが、今回は核医学治療の最新の情報を得るために、2023 年 9 月 9 日～13 日までオーストリアの首都ウィーンで開催された欧州核医学会へ参加しました。新型コロナウィルスの感染が治まったこともあり、参加者は世界中から集まっていました。また、放射線医学は内科や外科などと違って、装置の開発が欠かせません。このため、新しい装置の見本市のような、実際の装置を展示する大規模な会も必ず併催されています。最新の装置に触れることができる医療機器展示会も医師にとっては大きな魅力です。

学会では、検査は認知症、治療は前立腺がんに関する発表が突出して多くなっていました。認知症の治療薬が最近日本国内でも認可され、マスコミが大き

く取り上げていましたが、この領域の早期診断を目指す新たな薬剤の利用報告が数多くありました。また、前立腺がんの治療では、抗がん剤と違って副作用が格段に少ない放射性医薬品が、抗がん剤利用をしのぐ治療効果を出している、という報告がEU、米国、中国から数多く発表されていました。この治療薬が日本国内でも広く利用可能となるように日本の核医学の関係者が現在各方面に働きかけているところです。男性の方々は期待をしてお待ちください。

さて、日本国内で新型コロナウィルスがインフルエンザと同じ5類になったことで、今後海外との交流や出張を検討されている方も多いと思います。そのような方々に参考となることを期待して今回の4年ぶりのEU渡航の経験を以下に記載します。

1．航空便の減少と値上がりは出張の痛手

直行便の減少は、移動の一番の痛手です。EUは9月末までが夏休みシーズンとして料金も高く設定されています。日本―オーストリア便の航空会社の運賃も10月には9月の半額になっていました。ただ、米国への航空運賃は季節による変動が少なく、過去の2倍から3倍はするようです。

2．宿泊費はそれほど値上がりしていない

世界中の人々が移動を再開しているせいでしょうか、国内のホテル料金と同等との印象を持ちました。天井が高いので、同じ広さでも快適かもしれません。

3．観光地はコロナ期間中のリニューアルで美化が進んだ

今回はオーストリアのみですが、酸性雨で黒かったはずの建物が真っ白になっていました。観光地は今がねらい目かもしれません。

4．世界の人々の違いが多くの面で縮小

人々がSNSで情報を得るようになったことが一番の原因と推察しますが、服装、志向などが以前よりユニバーサルになったという印象を持ちました。もちろん郷土料理は健在ですが、ちょっとした土産店のレイアウトや人々の行動パターンなど日本人との違いが少なく、日常生活上のストレスをあまり感じませんでした。

5．国民性は変わっていない。

ドイツ、イタリア、フランス、中国など各国からの学会参加者との交流では、その国の国民性は全く変わりがなく、なんだかホッとしました。

Web環境の整備により、対面で合って話さなくても、会議は十分に進行できるようになりました。移動時間が無いことは多くの会議運営において参加者に喜ばれています。しかし、自分が本当に力を注いでいる領域では、やはり年に1度くらいは短時間でも顔を合わせて話すことが、国の内外を問わず必要と感じます。短時間で多くの人々と交流できること、メールの行間からは読み取れないそれぞれの個性がわかり、その後の会議での意思決定にも好影響を及ぼすと感じました。

「放射線教育」 *Radiation Education*
Vol. 27, No. 1, 48 (2023)

【書評】

中井謙太 著
新しいゲノムの教科書

発行所: 講談社
2023 年 1 月 20 日 発行
価格: 1100 円+税 ISBM 978- 4- 06- 530572-0

放射線を被ばくすると細胞中に存在するDNAに損傷が起こることは良く知られている。この時に思い浮かべるのはアデニンとチミン、グアニンとシトシンが水素結合した2重らせん構造であろう。しかし、それは化学物質としての DNA であり、生物の遺伝情報を担う DNA ではない。細胞の核においてDNAは特殊なタンパク質と結合していて、クロマチン、さらには染色体とよばれる形で存在している。この生物の全遺伝情報の一揃えをゲノムという。

著者の中井謙太博士は、東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター教授で、本書はゲノムについて学ぶに最適の書となっている。

ゲノムについて 1 冊のブルーバックスにまとまっているのが本書の長所であり、短所でもある。新書版 300 ページ足らずの中に最新の生命科学が盛り込まれており、手軽に買えて読めるが、いつか知識の海の中で迷子になってしまう。そんな時は、和書にしては充実している索引が役に立つ。ゲノムに関して、知るべき事はすべて網羅していると言える本書を読むのに、索引を有効に使って欲しい。

生命とは何かが第 1 章で、遺伝子とは何かが第 2 章で説明される。そして、第 3 章ではゲノム DNA の全体像が語られる。ヒトゲノムの約半分は反復配列をもつ転位因子であるトランスポゾンが占めていることが語られる。自分のゲノムの半分はウイルスなどの外来 DNA であることに読者は驚くであろう。

著者は、ゲノムは不変の設計図ではなく、絶えず書き換えられていると言う。トランスポゾンの挿入だけではなく、DNAには変異が起こる。DNAに損傷が起こると 3 つの修復機構が働く。相同組み換え、非相同末結合、損傷乗り越え複製でゲノム情報を正確に保っているが、損傷が修復しきれなかった場合は変異として蓄積していく。生殖細胞に変異が起こったときは、変異が次世代に受け継がれる。著者はそれを前向きに進化と捉えている。

放射線により損傷を受ける DNA について理解するには第 3 章までの内容で十分と考えられるが、第 4 章ではクロマチンとエピゲノム、第 5 章では DNA 解析技術が述べられている。

（吉澤幸夫）

「放射線教育」の投稿規定

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

NPO 法人放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の原稿の投稿を募集している。

1. 投稿資格

本誌への投稿資格は原則として NPO 法人放射線教育フォーラム会員 (個人正会員、学生会員、団体正会員、賛助会員)とする。「放射線教育」の内容及び体裁に合えば、会員は誰でも投稿できるものとする。ただし、編集委員会が認めた場合にはその限りではない。

2. 掲載する論文について

内容としては、放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われるもので、長さ、新規性により研究報告、ノート、総説、解説、資料、意見、諸報に分かれる。詳細については別紙に定める。原則として未発表のものとするが編集委員会の判断によっては転載を認める。原稿の書き方は別に定める。

3. 原稿の審査

編集委員会は、論文の審査を複数の専門家に依頼する。その結果、内容・体裁に問題があると判断した場合にはその旨を著者に伝え、修正を求める。受理できないと判断した場合は、理由を明記して、報文を著者に返送する。

4. 論文の版権

掲載された論文の版権は放射線教育フォーラムに属するが、論文内容についての責任は著者にあるものとする

5. 原稿の送付

原稿は放射線教育フォーラム編集委員会に E-mail で、または CD あるいは DVD に記録し、下記に送付する。

（送付先） E-mail: forum@ref.or.jp

〒110-0015　東京都台東区東上野 6-7-2　萬栄ビル 202 号室
放射線教育フォーラム編集委員会

論文の分類

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

研究報告 (10 ページ以下)

結果と考察を含み、十分な意義があるもの

a) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる、独創性のある研究論文。実験、調査、比較研究なども含む、

b) 放射線教育、エネルギー・環境教育の進展に寄与すると思われる教育実践の報告

c) 新規に開発した教材・実験方法・器具の報告

ノート (1~2 ページ)

a) 放射線の理論や現象に関する新規の解釈

b) 新規性の高い教材・実験方法・器具の報告

c) 新規な実験データ及び考察

d) 新規に考案した指導法、授業展開法、評価法など

e) 放射線教育、エネルギー・環境教育に関する授業実践、イベント実践の報告

総説 (10 ページ程度)

原則として編集委員会の依頼によるものとする。

各専門分野の研究について、その方面の進歩の状況、現状、将来への展望などを放射線教育若しくはエネルギー環境問題、放射線及び原子力問題に関連させてまとめたもの。

解説(10 ページ程度)

射線教育、エネルギー・環境、放射線及び原子力などに関する解説。

資料 (10 ページ程度)

実験ならびに調査の結果または統計などをまとめたもので放射線教育、エネルギー・環境教育に利用できるもの (含む科学史研究)

意見 (1~2 ページ)

放射線教育、エネルギー・環境教育、放射線に関する制度、教育制度などに関する種々の提案・意見など

諸報 (1~2 ページ)

a) 会議報告 (放射線、エネルギー・環境教育に関連する会議に参加した報告で、教育的価値が高いもの)

b) 訪問記 (放射線、エネルギー・環境教育に関連する施設に訪問若しくはイベントに参加した報告で、教育的価値が高いもの)

c) ニュース (放射線、エネルギー・環境教育、理科教育に関連するニュースの紹介)

d) 書評 (放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する書籍の紹介)

e) 製品紹介 (放射線教育、エネルギー・環境教育、理科教育に資する製品の紹介)

f) サイト紹介 (放射線教育、エネルギー・環境教育に資するホームページの紹介)

「放射線教育」原稿の書き方

NPO 法人放射線教育フォーラム編集委員会

1. 使用言語

使用言語は日本語とする。

2. 使用ソフト及び保存ファイル

原稿はそのまま印刷できるように MS-Word（Microsoft）で作成する。他のソフトを利用した際は，doc ファイルで保存する。それができない場合は，文章を text ファイルで，図を JPEG 若しくは GIF で保存する。

3. 用紙

3.1 用紙の設定

用紙は A4 を用い， 1 ページに 40 字 40 行，上下それぞれ 30 mm，左右それぞれ 25 mm 以上を空ける。意見，諸報は二段組にし， 1 段に 17 字入れる。

3.2 枚数制限

研究報告，総説，資料は原則として 10 ページ以内にまとめる。ノート，意見，諸報は 2 ページ以内とする。別刷り作成に便利なように諸報以外は偶数ページの原稿となることが望ましい。

4. フォント

日本語のフォントは明朝体，英語は Times を用い，研究報告，総説，資料の場合，大きさは表題のみ 16 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとし，見出しは太字，本文は標準とする。意見，諸報は表題のみ 12 ポイント太字，その他は 10.5 ポイントとする。

5. 図表

図表のタイトルは太字とする。図は，図 1，図 2 と，表は表 1，表 2 と番号を振る。図表は上下左右のいずれかの欄に沿う状態で体裁を整える。図のタイトルは図の下に置き，表のタイトルは表の上に置く。表は縦線がない方が望ましい。

表 1　図表の書き方

	番号の振り方	タイトルの位置	Word に入らない時の保存形式
表	表 1，表 2……	表の上	表を送付し，TEXT あるいは DOC
図	図 1，図 2……	図の下	JPEG あるいは，GIF

6. 表題，要約及び見出し

研究報告, 総説, 資料の場合, 1 ページ目の第 1 行目に表題, 2 行目を空けて, 3 行目に氏名, 4 行目に所属，5 行目に住所を書く。ここまでは各行の中央にそれぞれ記載する。6 行目，7 行目を空けて，8 行目から[要約] (50~200 字程度) をつける。所属が複数になる場合, 右肩にアルファベットを上付で付け, アルファベット毎に所属と住所をつける。

本文の大見出し, 中見出し, 小見出しは point system とし，1., 1.1, 1.1.1 等のように書く。

意見，諸報の場合は, 要約を書く必要がない。

7. 数値，単位，核種の表記

数値は, 桁数が多くなる場合はなるべく 10 の乗数を用いる。

例：370000 Bq　→3.7×10^5 Bq

単位は SI 単位を使用する。古い文献を引用するため，SI 単位以外の単位を用いなければならないときは，その単位を使用した後に， SI 単位に換算した値を示す。

例：検出された放射能は 1 nCi (=37 Bq) であった。

核種の質量数は ^{60}Co, ^{131}I のように元素記号左肩に上付きで表記する。

8. 引用文献

引用文献は番号に片かっこを付して本文の右肩につける。

引用文献は下の形式で原稿の最後に一括すること。ただし, 文献のタイトル記載については，著者の判断に任せる。雑誌のタイトルは省略形を用いても構わない。

〔雑誌〕著者名，タイトル，雑誌名，**巻数**，ページ (西暦発行年)

日本語の論文の場合，著者は全員の名前を書くようにする。英語の論文の場合、名前はファミリーネームとイニシャルを用いる。ページは最初のページと最後のページをハイフンで結ぶ。

例) 坂内忠明，霧箱の歴史，放射線教育，**4**，4-17 (2000)

Ban-nai, T., Muramatsu, Y. and Yoshida, S. Concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in edible mushroom collected in Japan and radiation dose due to their consumption. Health physics, **72**, 384-389 (1996)

〔単行本〕著者名，タイトル，編者名，「書名」，ページ，発行所，発行地 (西暦発行年)

タイトルと編者名はある場合のみ。

例) 松浦辰男，「放射性元素物語」，154p，研成社，東京 (1992)

渡利一夫，放射性セシウム，青木芳朗, 渡利一夫編，「人体内放射能の除去技術 : 挙動と除染のメカニズム」，7-10，講談社，東京 (1996)

9. その他の注意

1) 用語はなるべく各学会制定の用語を用い, 翻訳不能の学術語, 日本語化しない固有名詞に限り原語（活字体）のまま用いる。数字はアラビア数字を用いること。

2) 文献でない備考，注などは，*，**を右肩につけ，説明を脚注とし，その原稿用紙の下部に書くこと。

【編集後記】

ウクライナでの戦争に続いて、パレスチナのガザ地区では、イスラエル軍の進撃が続く。子供を含む罪のない多くの市民が犠牲となっている。戦争を進める者は、銃弾・ミサイルが飛んでくる場所にはおらず、安全な場所から指揮をする。誰のための戦争なのか。今こそ、John Lennon の‘Imagine’を夢物語ではなく、現実のものとするべきではなかろうか。兵器のための巨額の資金を平和のために使えないのかと切に思う。

さて、今回の放射線フォーラム教育誌は、初等・中等・高等教育における放射線教育の実際、処理水の放出でホットな話題のトリチウムの件、同様に風評被害の考え方などなど、おかげさまで盛りだくさんの内容となった。

当フォーラムの昨年 6 月の第1回勉強会は、久々に対面での勉強会をとなった。今年の 6 月も対面で行う予定である。今後、オンラインとのハイブリッドも視野に入れる必要があろう。ハイブリッド開催では、知識・技術を持つ会員のご協力が欲しい。

本巻に載せた解説・資料が教育現場の教員ばかりでなく、放射線教育に関心を持つ人に少しでも資することができれば幸甚である。「放射線教育」、「ニュースレター」の充実には会員各位のご協力が不可欠である。会員各位の積極的な投稿を切に願う。

(緒方良至)

放射線教育　Vol. 27, No. 1 (2023)

発行日：　2024 年 3 月 31 日

発行者：　NPO 法人放射線教育フォーラム
URL: http://www.ref.or.jp

編集者：　緒方良至（委員長）、柴田誠一(副委員長)、大森佐與子、畠山正恒
細渕安弘、田中隆一

事務局：　〒110-0015 東京都台東区東上野 6-7-2　萬栄ビル 202 号室
NPO 法人放射線教育フォーラム
Tel: 03-3843-1070　　FAX: 03-3843-1080
E-mail: forum@ref.or.jp

放射線教育フォーラム
2023 年度活動報告

	頁
１．NPO 法人放射線教育フォーラムの活動概要	1
２．NPO 法人放射線教育フォーラムの 2022・2023 年度名簿	2
３．通常総会、理事会、勉強会等の開催記録	3
４．放射線教育誌及びニュースレターの発行	5

1．NPO 法人放射線教育フォーラムの活動概要

NPO 法人放射線教育フォーラムは、放射線、放射性物質、原子力の専門家および学校教員の有志により構成されるボランタリー組織である。1994 年に設立され、2000 年に NPO 法人の認証を受けた。2024 年には創立 30 周年を迎え、「放射線教育」誌の 30 周年記念号発行などの記念事業を予定している。

新型コロナウイルス感染症が 5 類感染症へ移行したことを受け、人々の動きが活性化し、2023 年度の通常総会と第 1 回勉強会は対面で開催した。しかし、すべてがコロナ前に戻った訳ではなく、勉強会はオンラインでの開催を希望する声も強い。一方、対面での勉強会や資料の印刷物での配布の希望もあり、両者に配慮してフォーラムを運営して行く必要がある。

当フォーラムは、小・中・高等学校における放射線教育をより良いものにするため、学習指導要領などの教育政策や教科書について調査し、提言を行っている。また、放射線教育に意欲のある教員の支援に重点を置いて、勉強会を企画・開催している。勉強会では、放射線利用や放射線影響などに関する興味深い研究成果や放射線教育の実践報告を専門家や教育関係者に講演してもらっている。さらに放射線教育に関する定期刊行物の発行やホームページにより情報発信をしている。

当フォーラムの会員数は、2024 年 2 月現在で個人正会員数 82 名、団体正会員数 23 社である。退職・高齢化による個人会員の退会が続くが、新規会員の勧誘に努めることにより昨年度からの個人会員の増減なし、団体正会員は 1 社減となっている。経費削減に努める一方で、新たな資金の獲得のために勉強会への寄付金をお願いして、一定の成果を得ている。

今年度のフォーラムの勉強会は、対面で 1 回、オンラインで 2 回開催した。対面での講演に関しては、動画を期間限定で YouTube において会員に公開した。また、ALPS 処理水の海洋放出を受けてトリチウム学習会をオンラインで開催した。広く一般からの参加者があり、事前質問への回答も行った。これらの講演の内容はニュースレターに掲載した。
放射線に関わる諸団体との協同にも注力した。第 70 回全国中学校理科教育研究会東京大会に出展し、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放射線教育フォーラム特別賞を提供した。日本アイソトープ協会主催のアイソトープ・放射線研究発表会を協賛している。日本放射化学会教育部会との関係強化も図っている。

当フォーラムの運営については、理事に事務局メンバーも加わった拡大理事会をオンラインで 8 回、対面＋オンラインで 1 回開催した。

定期印刷物の刊行については、当フォーラムの機関紙である「放射線教育」2023 Vol. 27, No. 1 を 3 月に発行し、今年度の活動報告を後付けとした。ニュースレターは例年通り年 3 回、Vol. 85 を 6 月に、Vol. 86 を 11 月に、Vol. 87 を 2 月に発行した。

当フォーラムの活動はホームページ（http//www.ref.or.jp）で公開している。「放射線教育 先生の広場」では現場の教員から提供を受けた放射線授業の実践事例を紹介し、「放射線学習支援資料」では授業に使用できるパワーポイントや PDF の学習支援ファイルを提供している。「活動報告」では勉強会の動画やスライドファイル、「出版物」では放射線教育誌やニュースレターのバックナンバーを提供している。今後は、放射線教育に関係している様々な組織のサイトとの提携を強化する計画である。

2. NPO 法人放射線教育フォーラムの 2022･2023 年度役員名簿

理事：　（理事長）工藤博司（東北大学名誉教授）
（副理事長）田中隆一（元日本原子力研究所高崎研究所長）
（副理事長）柴田誠一（京都大学名誉教授）
（事務局長）吉澤幸夫（元慈恵会医科大学講師）

（以下五十音順）
朝倉　正（東京慈恵会医科大学教授）
大森佐與子（元大妻女子大学教授）
大野和子（京都医療科学大学教授）
緒方良至（愛知医科大学 客員研究員）
酒井一夫（東京医療保健大学教授）
畠山正恒（聖光学院中学校・高等学校教諭）
林壮一　（福岡大学理学部物理科学科准教授）
細渕安弘（元東京都立保健科学大学助教授）
渡部智博（立教新座中学校･高等学校教諭）

監事：小高正敬（元東京工業大学助教授）

幹　事：石井正則、大津浩一、菊池文誠、岸川俊明、小林泰彦、下道国、鶴田隆雄、
坂内忠明、広井禎、古田雅一、宮川俊晴、若杉和彦

顧　問：荒谷美智、大野新一、金子正人、森千鶴夫、山寺秀雄

3. 通常総会、理事会、勉強会等の開催記録

2023 年

4 月 16 日（日）第 1 回理事会（オンライン、12 名）
5 月 21 日（日）第 2 回理事会（東上野区民館およびオンライン、7 名＋4 名）
6 月 11 日（日）通常総会（東京慈恵医大南講堂、委任状含む出席者 65 名）
6 月 11 日（日）第 3 回理事会（東京慈恵医大南講堂、9 名）

6 月 11 日（日）第 1 回勉強会（東京慈恵医大南講堂、35 名）
（勉強会プログラム）
講演 1.　地層処分研究開発の一端に触れて
吉川英樹（東京慈恵会医科大学）
講演 2.　放射線加工プロセスと品質管理
小嶋拓治（ビームオペレーション株式会社）
講演 3.　福島の高校での放射線の授業
原 尚志（福島県立安積高等学校

9 月 9 日（日）第 4 回理事会（オンライン、10 名）
10 月 15 日（日）第 5 回理事会（オンライン、10 名）
10 月 15 日（日）第 1 回編集委員会（オンライン、8 名）

11 月 19 日（日）第 2 回勉強会（オンライン、42 名）
（勉強会プログラム）
講演 1.　イオンビーム照射で作出されたカドミウム低吸収米
～SNS などで拡散されている誤情報について～
小林泰彦（QST 高崎量子応用研究所）
講演 2.　放射線初学習者に自然放射線の線量率感覚を養成する試みについて
角山雄一（京都大学環境安全保健機構放射線管理部門）
講演 3.　道徳科や総合的な学習の時間においても行える放射線教育
原口栄一（鹿児島市立吉野東中学校）

12 月 10 日（日）第 6 回理事会（オンライン、11 名）
12 月 10 日（日）第 2 回編集委員会（オンライン、10 名）

2024 年

1 月 14 日（日）第 7 回理事会（オンライン、11 名）
1 月 14 日（日）第 3 回編集委員会（オンライン、8 名）
2 月 18 日（日）第 8 回理事会（オンライン、13 名）
2 月 18 日（日）第 4 回編集委員会（オンライン、10 名）

2 月 25 日（日）第 3 回勉強会（オンライン、59 名）

（勉強会プログラム）

講演 1.　がん医療における放射線療法の役割

西村哲夫（静岡県立静岡がんセンター 放射線・陽子線治療センター）

講演 2.　100 Bq の放射性物質は 1 秒間に 90～110 壊変する

吉澤幸夫（放射線教育フォーラム）

講演 3.　放射線教育の今までとこれから

－社会的な課題として意識できる生徒の育成を目指して－

青木久美子（東京都世田谷区立千歳中学校）

3 月 17 日（日）第 9 回理事会（オンライン）

4. 「放射線教育誌」およびニュースレターの発行

4. 1.「放射線教育誌」2023 Vol. 27, No. 1

【巻頭言】「みんなのくらしと放射線展」における放射線教育イベントの紹介
秋吉優史（大阪公立大学）
【研究報告】 中学２年生理科「電流とその利用」における 放射線教育
森山正樹（札幌市立あやめ野中学校）
【解説】トリチウム ～ その物理と化学 ～ 工藤博司（東北大学名誉教授）
【実践報告】 中学２年生における放射線教育の授業事例
奈良 大（愛知教育大学附属名古屋中学校）
【資料】 持続可能な放射線教育をめざして
佐々木 清（前福島県環境創造センター交流棟教育アドバイザー）
【意見】 風評被害は風任せでよいか 下 道國（元藤田医科大学）
【諸報】 ヨーロッパ核医学会印象記 大野和子（京都医療科学大学）
【書評】 中井 謙太著「新しいゲノムの教科書」吉澤幸夫 （放射線教育フォーラム）
「放射線教育」投稿規定、原稿の書き方
編集後記 緒方良至（放射線教育フォーラム）

4. 2. ニュースレータ

ニュースレター No. 85 2023. 6

巻頭言 高校生と学ぶ放射線 井上浩義（慶應義塾大学）
京都大学研究用原子炉の現状と今後 中島 健（京都大学）
福島県立医科大学 先端臨床研究センターの歩み 城寶大輝（福島県立医科大学）
中学３年間の放射線教育の授業事例と放射線教育を行う上での問題点、要望・希望
奈良 大（愛知教育大学附属名古屋中学校）
放射線教育フォーラム令和 5 年度第 1 回勉強会 柴田誠一（放射線教育フォーラム）
寄稿 道徳科や総合的な学習の時間でも行う放射線教育 原口栄一（鹿児島県中学校）
令和 4 年度決算書（案）
会務報告
原稿募集案内（ニュースレター、放射線教育）
編集後記 緒方良至（放射線教育フォーラム）

ニュースレター No. 86 2023. 11

巻頭言 放射性同位元素を扱うことを仕事にして 末木啓介（筑波大学）

地下環境のおもしろさ－ナチュラルアナログ研究－ 吉川英樹（東京慈恵会医科大学）
放射線加工プロセスと品質管理 小嶋拓治（ビームオペレーション株式会社）
福島の高校での放射線の授業 原 尚志（福島県立安積高等学校）
放射線教育フォーラム令和 5 年度第 2 回勉強会 柴田誠一（放射線教育フォーラム）
トリチウム学習会（案内）
第 70 回全国中学校理科教育研究会東京大会出展報告

田中隆一（放射線教育フォーラム）
会員の声　2023 年 7 月 26 日～28 日青森県六ヶ所原燃ＰＲセンター施設見学会
原口栄一（鹿児島県中学）
令和 5 年度通常総会報告（資料）
会務報告
原稿募集案内（ニュースレター、放射線教育）
編集後記　緒方良至（放射線教育フォーラム）

ニュースレター　No. 87 2024. 2

巻頭言　放射線の面白さをもっと伝えたい
大津浩一（名古屋経済大学市邨高等学校中学校）
イオンビーム照射で作出されたカドミウム低吸収米
～SNS などで拡散されている誤情報について～
小林泰彦（QST 高崎量子応用研究所）
放射線初学習者に自然放射線の線量率感覚を養成する試みについて
角山雄一（京都大学環境安全保健機構）
道徳科や総合的な学習の時間においても行える放射線教育
原口 栄一（鹿児島県中学校）
トリチウム学習会(報告)　工藤博司（放射線教育フォーラム）
放射線教育フォーラム令和 5 年度第 3 回勉強会
会員の声　現場の先生に寄り添って，そして次世代の子どもたちに放射線教育を！
佐々木 清（前福島県環境創造センター交流棟教育アドバイザー）
高レベル放射性廃棄物を考える旅北海道・幌延訪問
原口栄一（鹿児島県中学校）
団体会員への謝辞　工藤博司（放射線教育フォーラム理事長）
令和 6 年度・7 年度役員等選挙について（案内）
会務報告
原稿募集案内（ニュースレター、放射線教育）
編集後記　緒方良至（放射線教育フォーラム）

原子力発電所では、発生する廃棄物をリサイクルし、
資源を有効活用しています

クリアランス制度について

家庭から出る廃棄物は分別され、紙、プラスチック、缶、びんなどの資源はリサイクルされています。原子力発電所から出る廃棄物も、分別することで、一般の廃棄物と同じように資源としてリサイクルすることができます。

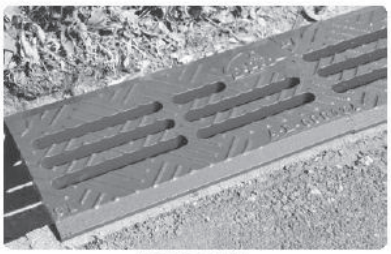
原子力発電所から出る廃棄物を区別し、資源として有効活用するしくみが「クリアランス制度」です。

原子力発電所でのリサイクルを
動画で
詳しく解説!

原子力発電所で取り組んでいるリサイクルとは? どんなものに生まれ変わっているの? 放射線は大丈夫?
解体作業から出る廃棄物が、どのようにリサイクルされているかを紹介していきます。

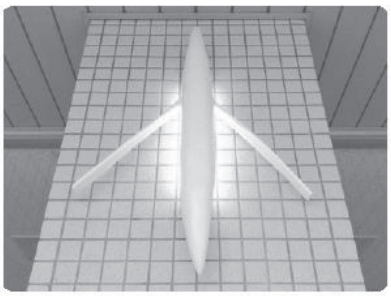
クリアランス対象物のリサイクル事例

ベンチの脚部


側溝のふた

サイクルラック

防犯灯(福井南高校)


照明灯(敦賀工業高校)

高校生たちが
金属のリサイクルや
クリアランス制度について学び、
デザインに取り組みました。

写真提供:資源エネルギー庁/中部電力株式会社/日本原子力発電株式会社

現在、クリアランス対象物の活用先は、クリアランス制度の理解促進や紹介のための展示などにとどまっています。今後もクリアランス制度の理解促進を図り、**より多くの分野でのリサイクルを目指していきます。**

電気事業連合会

クリアランス制度や動画は特設コンテンツ「放射線とは」にて紹介
(https://www.fepc.or.jp/sp/housyasen/)

放射線は危険な性質を持っている反面、
有効に利用すれば人類に大きなメリットを与えてくれる無限の可能性をそなえています。
千代田テクノルは、医療・原子力・産業・放射線測定などの各分野において、
放射線を安全に有効利用するための機器やサービスをトータルに提供。
放射線の「利用」と「防護」の双方において、お客様のあらゆるニーズにきめ細かく対応しています。

株式会社千代田テクノル
U R L: http://www.c-technol.co.jp
e-mail: ctc-master@c-technol.co.jp

千代田テクノル 検索

ISO 9001
JQA-QM8513
Tokyo・Osaka
Kashiwazaki Kariwa

三菱重工

三菱重工業株式会社　原子力セグメント
〒100-8332　東京都千代田区丸の内 3-2-3　TEL. 03-6275-6200　www.mhi.com/jp

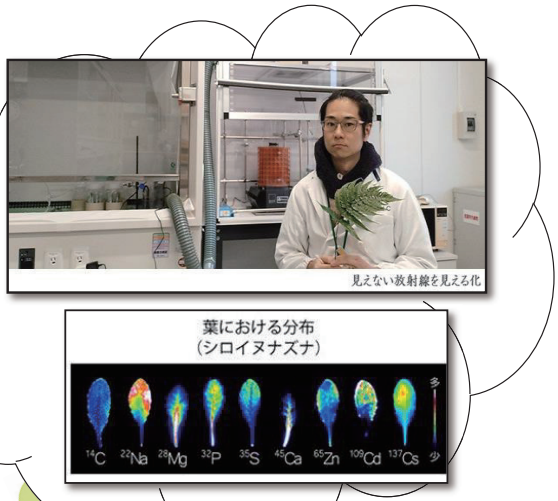
MOVE THE WORLD FORW>RD　MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES GROUP

最前線のアイソトープ・放射線研究紹介

－私が研究者になるまで－

これから進学先や専門分野を選ぶ高校生や大学生に向けて、放射線や放射性同位体(RI）を利用している研究者を当協会ホームページにて紹介しています。

研究の面白さやどのような紆余曲折を経て研究者になったのかなどのメッセージもぜひご覧ください。



公益社団法人
日本アイソトープ協会
Japan Radioisotope Association

https://www.jrias.or.jp/report/cat1/219.html