

RADIATION EDUCATION

放射線教育

付放射線教育フォーラム 2021 年度活動報告

2021

VOL. 25 NO. 1

放射線教育フォーラム

Radiation Education Forum

放射線教育

Radiation Education

Vol. 25 No. 1

目次

【巻頭言】小中学校における「教えるー学ぶとはどのような営みなのか」	羽澄 大介	1
-----------------------------------	-------	---

【理事長就任挨拶】 初心に立ち返り、前を見て進もう	工藤 博司	3
【資料】 21世紀現代物理学に親しむ；放射線教育による支援	大野 新一	5
【資料】 科学的に探究する力を育む放射線教育10年の歩み	佐々木 清	15
【第6回放射線教育国際シンポジウム特別講演(和訳)】 放射線教育のための科学の話 ～新元素ニホニウムと過去の元素ニッポニウム～	工藤 博司	25
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 近年における中学校の放射線授業支援の進展 —放射線教育フォーラムの活動を中心に—	田中 隆一	32
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 看護師のためのはじめての放射線教育	緒方 良至	40
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 クルックス管プロジェクトの歩みと着地点	秋吉 優史	45
【第6回放射線教育国際シンポジウム特別講演(和訳)】 放射線や放射性物質に対する市民の不安に放射線科専門医がどのように応えるべきか？ —e-ラーニングシステムの有効活用—	大野 和子	49
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 広島原爆の中性子線量再評価のための速中性子反応により生成した ⁶³ Niの測定	柴田 誠一	51
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 ラドン温泉と健康	吉澤 幸夫	59
【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】 教科書における放射線の扱いについて	林 壮一	63
【第6回放射線教育国際シンポジウムポスター発表(和訳)】 活性炭と地下水を利用した自然放射線を測定する安全で簡易な教育用実験	大西 和子	69
【会員の声】 中学2年生における放射線教育	奈良 大	75

【追悼】

松浦辰男名誉会長

田中 隆一 76

「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：2022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>

【巻頭言】

小中学校における「教える－学ぶとはどのような営みなのか」

羽澄 大介

名古屋市立西前田小学校



1 はじめに

私は、名古屋市公立学校に採用されて以降、国立大学附属中学校、教育委員会事務局への転出を経ながら、主に中学校理科教員として教職経験を積み重ねてきました。このたび、放射線教育誌の巻頭言執筆の機会をいただきましたので、義務教育である小中学校で行われている普段の授業について、これまでの経験を基にした私見を述べたいと思います。

2 『教える－学ぶ』とは、どのような営みなのか。」

(1) 「考えを書くこと、話し合うこと」について

読者の皆さんは「教える－学ぶ」とはどのような営みだと考えているのでしょうか。教師が学習内容について説明し、子どもは教師の話の聞いたり、黒板の説明を見たりして学習内容を理解するという姿を思い浮かべるのでしょうか。このような授業風景自体は間違いではないのですが、少なくとも小中学校では、授業中に「自らの考えを書くこと。」「自らの考えを基に話し合うこと。」を大切にしています。「主体的・対話的で深い学び」をキーワードにした新しい学習指導要領に基づいた教育課程が小学校では令和2年度、中学校では3年度から実施されましたが、「考えを書く」「話し合う」といった活動はずっと以前から重視されてきました。

(2) 理科の授業における「実験」の意味

読者の皆さんも自身が子どもの頃、理科の授業で観察や実験をした経験があると思います。ところで、理科の授業ではなぜ観察や実験をするのでしょうか。「百聞は一見に如かず」と言いますが、観察や実験さえすれば学習内容が理解できるようになるのでしょうか。

私は数年前にある授業記録を読む機会がありました。それは、同時に落下を始めた質量の異なる二つの物体が同時に地面に達する実験の様子をビデオで視聴させ、「実験の結果、質量が異なる物体でも同時に地面に達することが分かりました。」と教師がまとめをした授業でした。この授業は、観察事実は客観性があり、全ての子どもは同じ観察ができるという前提に立っています。しかし、この授業で教師がまとめをした後の子どもの発言は驚くべきものでした。なんと「本当はもっと正確に測定すれば、質量の大きな物体の方が先に地面に達しているのだけれど、あの実験は（精度が十分でないので）分からなかったただだよ。」とつぶやいたのです。つまり、同じ実験を観察してもその見え方は一人一人異なっており、観察事実は必ずしも客観性を持たないことになります。実験を行っただけでは分かるようにはならないのです。

(3) 観察の理論的負荷性

やや専門的になりますが、前述の「質量の異なる二つの物体を同時に落とす実験」の例のように、一人一人の観察が異なることを、ハンソン (Hanson, N.R. 1924-1967) は、「観察の理論的負荷性」と

呼び、個人的な理論に基づいて観察事実が成り立っていると述べています。つまり、観察事実子どもによって解釈されて内面に構成されるものであると言っているのです。(いわゆる構成主義の考え方)ここで問題になるのは、一人一人の内面に構成された観察事実が、時として、正しい科学概念の形成を邪魔してしまい、誤った概念を形成してしまうことがあることです。

こうした誤概念形成を防ぐためには、実験を行う前に、様々な子どもの考え(実験結果の予想とその理由)を話し合いによって競合させ、自分とは全く異なる考えの存在に気付かせることで、自分の考えを見直させることが大切になります。誤解のないように申し添えると、見直すとは考えを変えるという意味ではありません。自分と全く異なる考えを知った上で自分の考えを維持することも自らの考えを見直したことになります。

(4) 学校で学ぶ意義

ところで読者の皆さんは、「学校で学ぶ意義」を考えたことがあるでしょうか。立命館大学名誉教授の守屋慶子氏は、「学ぶというのは、教える側が差し出す知識を単に記憶するという『貼り付け型の知識』にすることではない。差し出された知識を学ぶ側が個人化し、それぞれの既有的ネットワークに組み込む活動である。知識の個人化の際に望ましいのは、学ぶ側の思い込みで知識の取り込みが大きく変化しないように、その過程ができるだけ多くの人々の既存ネットワークとの相互作用の中で展開することだ。」と言っています。

自分とは異なる考えや考え方をしている子どもとの相互作用の中で学ぶこと、これが学校で学ぶ意義であり、こうした学びを新しい学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」と呼んでいるのです。

3 おわりに

以上のことから、「教えるー学ぶ」という営みが、学ぶ者同士の相互作用の中で展開されるものであり、「教師がその日その時間の学習内容について説明し、子どもは教師の話の聞いたり、黒板の説明を見たりして学習内容を理解する。」というような単純な図式では語れないのです。以前、私が勤めた学校では、「子どもと教師で創り上げる授業」がキャッチフレーズになっておりました。同じ学習内容であっても、学級が異なれば授業の展開がまるで変わってしまうのが生きた授業なのです。

コロナ禍の中で、図らずもオンライン授業が注目を集めることになりました。休校中に少しでも学習機会の保証をするという点ではその意義を認めますが、世間にはオンライン授業への過剰な期待があるように感じています。

対面で行われる授業では、授業中の子どものつぶやき、ワークシートへのちょっとした書き込み、隣り合った子ども同士でのちょっとした会話、こうした中から、教師が子どもたちの多様な考えや考え方を引き出し、それらを競合させることで子どもたち同士の相互作用を促し、子どもたちの考えを深めていきます。したがって、オンライン授業は対面で行われる授業の完全な代替にはなり得ないのです。コロナ禍が終息し、元通りの学校生活が一日も早く戻ってくることを願っています。

【理事長就任挨拶】

初心に立ち返り、前を見て進もう

工藤 博司

放射線教育フォーラム理事長、東北大学名誉教授

2021年7月に理事長に就任しました。長谷川圀彦前理事長の残任期間である22年6月まで務めます。浅学の身にとって荷が重い役ですが、理事会の要請を受け次の役員改選時期まで引き受けることにいたしました。

当フォーラムは現在、解決すべき多くの課題を抱えています。10年前のフクシマの原子力事故以来、会員数がかなり減少し、財政的にも苦しい運営を強いられていますが何とか踏みとどまり、年3回の勉強会と会誌「放射線教育」(年1回)ならびに「ニューズレター」(年3回)の発行は維持しています。しかし、会員の高齢化もあり「当フォーラムが目指す方向」が必ずしも定まっていません。そこで、初心に立ち返り、この先の進む道を探ってみたいと思います。



当フォーラムは1994年4月に設立され、2000年11月に特定非営利活動法人(NPO)の認証を得ました。設立時の会則1(目的)に「主として青少年に対する放射線・原子力に関する正しい知識の普及を専門家が高校中学の教員と協力してボランティアの立場で行い、原子力・放射線分野の正しい知識の普及とこの分野における将来の人材の確保・養成に寄与することを目的とする」と記されており、設立趣意書に活動の具体例が(1)から(4)のように示されています。

「放射線教育フォーラム」は、放射線・原子力の研究・教育関係者が中心となって、学校教育現場の教員と協力して、原子力開発の推進あるいは反対という行政的あるいはイデオロギー的立場から離れてボランティアの立場で次のような諸活動を行う。

- (1) まず学校教育における放射線・原子力に関する教育の実情一問題点を調査する。また、関連する組織と協力して、関係官庁へ教育の改善に関する要望書を提出することも考慮する。
- (2) 会員自身が随時会合を開いて、たとえば「放射線の生物影響」とか「放射性廃棄物と環境」のような問題について議論し、最新の知識・情報を教育関係者が利用し易い形に集約する。
- (3) 日本各地で中学・高校などの学校教員を対象とした講演会・研究会を開催し、正しい知識に基づいた効果的な放射線教育・適切な理科教育が進められるよう、教育現場の関係者に協力する。
- (4) マスコミ関係者に最新の情報を提供して、放射線や原子力を中心とした科学技術の正しい知識の一般への普及に資する。(設立趣意書後半部)

設立当時、文部省が制定する中学校理科の学習指導要領から放射線が消えていたことに危機感をもち、最大の目標として“学校教育における放射線教育の復活”が(1)に掲げられました。1995年、1996年、2005年と3回にわたり文部省に要望書を提出して、2007年の学習指導要領改定での30年振りの“放射線教育”の復活につなげました。海外の学校教育における“放射線”の取り上

げ方を調査する意味もあって、国際シンポジウムが企画され、1998年に葉山町の湘南国際村で開催された第1回国際シンポジウム (International Symposium on Radiation Education: ISRE) 以来4~6年毎に開催され、本年8月に台北(台湾)で開催された第6回国際シンポジウムへと引き継がれました。

(2)の関連では、年に3回開催される勉強会が現在でも継続的に開催されています。近年のコロナ禍ではオンラインで開催されていますが、毎回定員(100名)に近い参加者を得て好評です。ただし、「対象をどこに置くか」や「何をテーマに取り上げるか」がこれからの課題です。

(3)では、2001年から2009年まで全国10地区で「エネルギー、環境、放射線セミナー」(文部科学省主催、放射線利用振興協会・当フォーラム共催)を開催しました。これは教員を対象とする研修会で、教育現場で“放射線の正しい知識を伝える”ことに貢献しました。教員との連携を保つ格好の場でしたが、文部科学省の方針変更などがあり、残念ながら2009年を最後に立ち消えになってしまいました。その後は、教員を支援する企画として、当フォーラムのホームページ(HP)に教材として役立つ資料(PPTなど)の掲載を続けています。

2017年には、(株)放送映画製作所の協力を得て教育用DVD「Rの正体～放射線の性質と利用～(本編、実験編、福島編の全3巻)」を制作し、国内の全中学校に配布しました。教育現場から「分かり易く、使い易い」との評価を得て、要望があればその後も要望に応じて無償配布を続けています。2020年までの生徒用冊子(DVDの解説書)の配布数は17万部を超えています。

(4)に該当するマスメディアへの働きかけは、残念ながら、これまでのところ殆ど手付かずです。“放射線の正しい知識を伝える”という点でマスメディアが市民に与える影響は絶大ですから、これまで以上に力を傾注すべき活動の一つではないかと思えます。

当フォーラム設立以来の活動をざっと振り返ってみましたが、現在抱えている大きな課題は、冒頭に述べたように会員の減少と高齢化、それにともなう財政の悪化と活動の停滞です。高い会費の見直しや教員会員の増強も求められています。理事会や事務連絡会でも意見交換をしていますが、なかなか具体的な方策が見いだせません。

実務以上に肝要なのは当フォーラムの“在り方”と“進む方向”の明確化ではないかと考えます。設立当初の最大の目標“学校教育における放射線教育の復活”が実現した後にはなかなか視点が定まらず、活動が惰性に流れてしまった感があります。“社会教育”と“学校教育”のどちらに力点を置くのかを曖昧にしたまま現在に至っています。フクシマの事故後、原子力を負の遺産とみる社会的風潮が強まったことは社会教育活動を展開する際の高い障壁になっており、学校教育に的を絞らざるを得ない側面はありますが、教育現場の支援にどこまで踏み込むかを見極めなくてはなりません。学校教育の現場が抱える問題を知らずに専門的な知識を押し付けるべきではありません。教科書に“何が書かれているか”は重要ですから、誤解を招く記述や用語の誤りを正すのは専門家の役目です。そこに当フォーラムが貢献する余地があり、「教科書調査グループ」の“目(サーベイ)”を強化するのも一つの方向ではないかと考えます。

当フォーラムは2024年に設立30周年を迎えます。「“停滞”を打破し、前に進むためには何をどうすべきか」をしばらく模索するかも知れませんが、会員の皆様のお力添えを得て、少しずつでも歩を進めたいと思えます。

【資料】

21 世紀現代物理学に親しむ；放射線教育による支援

大野 新一

理論放射線研究所

227-0054 横浜市青葉区しらとり台 12-5

(2022 年 2 月 13 日受理)

【要旨】第 1 部では、人類の自然に対する理解の例として、古典力学の法則、電子及び原子核発見、相対性理論、量子力学、近年の素粒子論が展開する宇宙論などを中心に、科学が「万物の起源と宇宙の誕生・進化・その未来」を論じるに至った経過をふりかえる。第 2 部では、21 世紀に生きる知識人の関心はどのようになるか？地球に生きるホモサピエンスとして、あるいは宇宙人として、宇宙の目的は何か？我々の行く末を客観的に考える必要に迫られる際に避けて通ることの出来ない現代物理学への導入として、放射線教育が果たすべき可能性を提案する。

第 1 部 20 世紀までの物理学の進歩

1.1 慣性系と観測系、時間と空間

Newton の力学法則：① 物体に力が働かないときその物体の運動状態は変化しない。② 物体が力 f を受けるとき物体の速度 ($v = d(\text{移動距離 } s) / d(\text{時間 } t)$) は変化し、変化の割合 (= 加速度 dv/dt) は物体の質量 m に反比例する ($dv/dt = f/m$)。③ 2 つの物体が互いに力を及ぼし合うとき、大きさが等しく方向が逆の 2 つの力が作用する。さらに万有引力の法則：質量 m および M の 2 つの物体が互いに距離 r を隔てるとき、両物体の間に引力 GmM/r^2 が (瞬時に!) 働く (G : 万有引力定数)。ここで質量 (kg 単位) は基準物体に対する値、また速度は単位時間あたりに移動する距離 (m/s 単位)、そして移動の方向の指定が必要である。

Newton は 3 次元の無限に続くユークリッド空間 (ユークリッド幾何学が成立する空間) と “総ての位置において共通の時刻 t を刻むという時間”、いわゆる絶対空間と絶対時間を仮定した。ついでに言えば、Newton の力学法則 ①、②によれば、物体は加えられた力に抗して自らの運動状態を維持しようとする性質を持つ。このことを強調するとき、①を慣性の法則と呼び、①が成り立つような観測系 (= 座標) を慣性系と言う。また、この運動状態を維持する (= 変化し難さの) 定数を慣性質量と呼び、万有引力の法則に現れる重力質量と区別する。この観測者に対して一定速度・一定方向に移動する他の観測系 (= 座標系; 観測系の種類は無限に存在する) もまた同等の慣性系である。観測系を変換しても力学法則は変わらない。如何なる数学的変換を用いたら不変量を得て法則に辿りつくかが重要である。

他方、19 世紀に発展した電磁気学の分野では、電荷 (\pm あり) を含む物体の近傍の空間に電場が形成され、この電場内に別の電荷が近づくと両電荷の間に力が働く。また電荷が走るときその周りの空間に磁場が形成され、磁場が変動すれば電場ができ、電場と磁場が交互に波 (= 電磁波) となって空間を伝わる事が報告された。Maxwell によれば、発生する電磁波の速度は観測者の運動状態 (= 速度と進行方向) に関わらず常に一定 30 万 km/秒 ($c = 3 \times 10^8$ m/s) である。時代は 19 世紀から 20 世紀に移り、Einstein が現れる。

1.2 相対性理論

1.2.1 特殊相対性原理

時間・空間における運動物体の位置を指定する座標系として、例えば ①電車が走るレール上、②一定速度で走る電車の中、③その上空を旋回する飛行機の中など、限りなく多くの観測系 K_1, K_2, \dots が考えられる。それぞれの場合で縦・横・高さの3方向に座標軸をとり、原点からの位置と時間（それぞれの観測系毎に置いた時計を使う）を記録し、慣性の法則（= 力学法則①）の成立が確認できよう。さらにどの星からも遠く離れた（= 重力の存在しない）場所において慣性の法則が成立する。観測の座標を変換しても慣性の法則は不変である。ところが一様に走る列車の窓辺に立って、石を一つ静かにレールに向かって手を離すと石は一直線に下まで落ちる。これを列車の外の人が見るならば、石は地面に向かって放物線を描いて落下する。石が通過した各位置は実際には直線上なのか放物線上なのか？空間における運動とは何を意味するのか？Einstein は3次元空間に時間軸 t を加えた4次元世界を提案する。これに「真空中の光の速さ c は光の観測系の運動状態によらない」（～1900年、Michelson と Morley の実験によって確認）ことに着目した Einstein は、1905年に、この光の速度不変の事実は物理法則であるとした。慣性系から別の慣性系に移っても「物理法則（ここでは力学法則と光速一定の法則を言う）は不変である」として特殊相対性理論を提出した。これにより走行中の棒の長さ、同時という概念、そして万有引力が瞬時に働くなどは改められ、さらには慣性質量 m もエネルギー（ $E=mc^2$ ）を有することになった。以下に、このことを説明する。

まず、走行中の電車車両の中央席の観測者にとっては、自分から発する光は前方と後方に走り車両の先端と後端の壁に同時に達する。が、地上からこれを見る座標系では走行中の車両の後端の壁に先に光が達し、それに遅れて車両の先端の壁に光が達する。電車内の静止座標 K 系 (x, y, z, t) と電車外の静止座標 K' 系 (X, Y, Z, T) によって表される物体の座標が力の作用によって微小変位を生じ、それぞれ $(x+dx, y+dy, z+dz, t+dt)$ 及び $(X+dX, Y+dY, Z+dZ, T+dT)$ に変わったとする。Newton 力学では空間変位と時間変位を別々に考えるので、例えば両座標系の間に $x=X-Vt$ の関係がある場合の力学法則が座標変換によっても不変であることは容易に確認できる。Einstein は、4元ベクトル (x, y, z, ict) になっても変位の際の大きさ（各成分の自乗の和）が両座標系で等しいこと： $dx^2+dy^2+dz^2+d(ict)^2=dX^2+dY^2+dZ^2+d(icT)^2$ 、これが物理法則（=光速 c が座標によらず一定；但し i は虚数記号）であると主張した。さらに座標変換に関して不変な力学法則を見つけるために、 $dx, dy, dz, d(ict)$ の各成分に m を乗じかつ $dt(1-\beta^2)^{1/2}$ で除して古典力学での運動量に相当する四元ベクトルをつくり、その大きさから次のように議論を展開した。すなわち、 $\gamma = (1-\beta^2)^{-1/2}$ としてベクトルの大きさは、 $\gamma^2 m^2$
 $[(dx/dt)^2+(dy/dt)^2+(dz/dt)^2]-\gamma^2 m^2 c^2 = \gamma^2 m^2 V^2 - \gamma^2 m^2 c^2 = -m^2 c^2$ 、ここで $\gamma^2 m^2 c^2 = [mc(1-\beta^2)^{-1/2}]^2 = [mc + 1/2mV^2/c + \dots]^2$ と展開して見るとときに括弧内の第2項（=古典力学における運動エネルギー/ c ）に注意する。結局、 γmV を新しい運動量 P と定義し、エネルギーを E として

$$P^2 + m^2 c^2 = (E/c)^2 \quad (1)$$

という直角三角形のピュタゴラス定理類似の関係式を得る。この式で特に $m \rightarrow 0$ （光子の場合

に相当) とすれば $E = Pc$ が、また $P \rightarrow 0$ (静止物体の場合) とすれば $E = mc^2$ が得られる。すなわち、質量 m はエネルギーであるという重要な結論を提案した。

1.2.2 一般相対性理論

慣性系でなく加速度をもって運動する観測系も世の中には多く存在する。1916年、Einsteinは綱の切れた窓のないエレベーターの中で経験するはずの事象を考察した。綱が切れて暫くの間、エレベーターの中の観測者、重い物、軽い物もみな同じように宙に浮く。観測者は力が働かない慣性系にいと認識する、が次の瞬間、もしエレベーターの上の綱を誰かが上方に加速度的に引き上げるとすると、エレベーターの中では総ての物が同じ加速度で床に向かって落下する。これを遠方の、宇宙の中心(ここは慣性系)から見る人は、エレベーターは慣性系に対して一定加速度で上向きに運動していると主張するだろう。事情を知らないエレベーター内の観測者(自分は慣性系にいと信じている)は、これを重力が働くからと考えるであろう。「だからこそ、あらゆる物が床に向かって同じ加速度で落下する。」この考察(= 等価原理)から、時空(時間と空間)の中の小さい領域では座標系を変換することによって重力は消え去り、そこでは特殊相対性原理が成立する(= 局所慣性系)と Einstein は考えた。さらに時空において質量の分布が与えられたときの重力場とその中での物体の運動についての研究へと進み、曲がった時空における方程式を調べ、1915年に「すべての物理法則は、どのような座標系を基準にとっても同じ形式で表現される」、数学的には、「物理法則は任意の座標変換に対して共変性をもつ」、あるいは「物理法則は座標変換に対して対称である」という一般相対性理論を発表した。

時空は、自然界の「総ての事象の集合」であり、その中の1点(例えば特定の観測者)の流れを世界線という。時空内の十分に近い2点 p と q を事象として選び、その関係を調べようというとき、自分の時計を持つ観測者が p 点を通る直前の r 点で光を q 点に向け発射、 q 点からの反射光を s 点にて受け、観測者の $r \rightarrow p \rightarrow s$ 各点の通過時刻から $t_2(r \rightarrow p)$ と $t_1(p \rightarrow s)$ の時間を記録する。このとき、積 $t_1 t_2$ の値は p 点を通るすべての観測者にとって共通なので、(p 点と q 点の空間距離を Δx 、 p 点と q 点の経過時間を Δt としたとき) $t_1 t_2 = (\Delta x)^2/c^2 - (\Delta t)^2$ を「不変距離」と称する。一般相対論を適用するには、関連すると思われる時空内の総ての事象 p 点についてその近傍の事象 q 点の不変距離に基づいて情報を得て、それを積算して理解する。また時間と空間はそれぞれが独立でなく互いに入り組んで変化し、この時空は弾性体となる。

1.3 物質の起源

ギリシャ時代の「万物は何からできているか」の研究は、19世紀の化学者たちの定量的な測定(質量、圧力、温度、容積など)に基づいた研究により、物質の変化について正しい結論を引き出した。2個の水素分子(1個の水素分子は水素原子2個で構成される)と1個の酸素分子が化学反応して2個の水分子ができること、また総ての化学反応は摂氏 $0 \sim 2,000$ 度程度の熱エネルギーで可能であることなど、そして原子の種類は100種余存在し、「物質は原子から構成されている」。

これとは別に、異なる2つの物質を互いに擦り合わせると一方から他方に何かは移動して物質は電気を帯びる。この電気に2種類(+と-)あり互いに引き合う場合と反発しあう場合のあること、これは古くから知られていた。進展があったのは1800年、イタリアのVoltaの電池の発明によって定量的な研究が可能になってからである。金属中を流れる何かの正体を調べるのに、その“何か”を真空中に取り出し、研究を始めたのはCavendish研究所のJ.J.Thomsonであった。

真空放電では陰極から“何か”が出て真空中を走り陽極に達する。この何かはガラス管壁に衝突して緑色光（グロー）を発する。この“何か”（＝陰極線、粒子の集団と考えたときの粒子の質量 m 、電荷 e 、また一定時間中に流れる粒子数を N とする）の道筋が放電管を囲む電場や磁場によって偏向する。また薄い薄膜を透過し、また小さい物体を動かすことから運動量を持つ。こうして陰極線が負の電荷をもって高速で走る微小な粒子の流れであることがわかった。Thomson は一定時間の実験で N 個の粒子を比熱既知の試料片に流し込み（試料片の温度上昇から入射エネルギー量 $(1/2)mv^2N$ が求め）、別に入射電気量 $Ne = Q$ を同時に求める方法から、また別に粒子線が磁場中で曲げられるときの曲率半径の方法から、この粒子の m/e を求めた。この値が、陰極の材質（鉄、銅、アルミニウム、炭素、白金など）にもよらず、放電管内の残留気体の種類にもよらず、一定であったことから、総ての原子に共通に含まれている粒子（電子）の存在を Thomson は確信した（1897）。今では、電子の質量 m は 9.1×10^{-31} kg、電荷 e は -1.6×10^{-19} C（クーロン）、素粒子第1号の発見である。

真空放電の陰極と陽極にかける電位を逆にすると、電子と反対符号の電荷を持つ粒子の研究が可能になる。重い荷電粒子の加速や、強い磁場による偏向は未だ知られてない時代、歴史的には Becquerel と Curie 夫妻の発見した Ra や Po などの自然放射性元素から放出される α 粒子（＝ヘリウムの原子核で電荷は $+2e$ ）がフランス Curie 研究所や Rutherford を中心とする Cavendish 研究所における実験で用いられた。 α 粒子を原子番号の順に多くの原子に衝撃し α 粒子の散乱される角度を研究する原子番号と核電荷との関係、そして原子核に電荷 0 の粒子（＝中性子）も含まれるなど原子核の研究が続いた（1910-1935）。ここで陽子と中性子の集合、つまり原子核を形成する力に関わる粒子として、電磁力が光子のやりとりとして理解できることに倣って、湯川秀樹は核力をやり取りする π 中間子の存在を予言（1934）した。実際に宇宙線の中でそれに相当する粒子が発見されたのは 1938 年であった。

20 世紀後半はこうした素粒子の研究が宇宙線や加速器、そして写真乾板や霧箱を利用して行われた。実は中性子も陽子もさらに微細なクォークからつくられているとされる。今ではクォークは全部で u, d, c, s, t, b の 6 種、電荷は $+2/3$ もしくは $-1/3$ 、さらに便宜的に赤青緑 3 色（現実の色ではない！）のいずれか 1 色を持つとされ、3 色が結合する（例：陽子 uud や中性子 udd ）か、またはクォークが自らの反クォークと結合して無色（ π 中間子など）のときを除いて、クォーク単独粒子は直接には観測されない。ここでの強い力に関わる粒子はグルーオン (g) と呼ばれる。また重力に関わる粒子は重力子（グラビトン）と呼ばれるが未発見である。現在、知られている素粒子を表 1 に示した。表の中で各素粒子の記号に続くカッコ内に 3 つの数字があるが、① eV/c^2 単位の質量（1.2.1 の終わりに質量とエネルギーが等しいと述べたが、2.2M は $2.2MeV/c^2$ また $4.18G$ は $4.18GeV/c^2$ の略）、②電荷、③スピンである。スピンとは素粒子の自転によるもので、右回り左回りの区別、スピン値も整数、半整数の種類がある。この表以外にヒッグス粒子 H （質量 $124.97GeV/c^2$ 、電荷 0、スピン 0）も存在する。この粒子は空間に満ちており総ての素粒子の移動を妨げる故に、素粒子に質量を付与する粒子として 1964 年から予言されていた。実際に発生させるには最低でも $125GeV$ のエネルギーを空間の 1 点に集中させる必要があり、欧州原子核研究機構（CERN）で 2011 年以降に確認されている。またクォーク（Quarks）とレプトン（Leptons）に属する粒子には、それぞれ反粒子が存在するので、素粒子の数はこの表のおよそ 2 倍になる。またスピンの右回り左回りを区別して数えたら、さらに増加する。

表 1. 物質をつくる素粒子と力に関わる粒子

Quarks (3 個で安定な粒子をつくる 例: uud(=陽子)、udd(=中性子))			
u (2.2M, 2/3, 1/2)	c (1.28G, 2/3, 1/2)	t (173.1G, 2/3, 1/2)	
d (4.7M, -1/3, 1/2)	s (96M, -1/3, 1/2)	b (4.18G, -1/3, 1/2)	
Leptons (クォークに働く強い力が作用しない素粒子群)			
e (0.51M, -1, 1/2)	μ (105.56M, -1, 1/2)	τ (1.777G, -1, 1/2)	
ν_e (<1.0, 0, 1/2)	ν_μ (<0.17M, 0, 1/2)	ν_τ (<18.2M, 0, 1/2)	
Bosons (素粒子間を移動して互いを結びつける ; ゲージ粒子)			
g (0, 0, 1)	γ (0, 0, 1)	W^\pm (80.39G, $\pm 1, 1$)	Z^0 (91.19G, 0, 1)

注) 6種類の Quarks(クォーク)の名称は、u: アップ、d: ダウン、c: チャーム、s: ストレンジ、t: トップ、b: ボトム、また Leptons(レプトン)は-1の電荷を持つ e: 電子、 μ : ミュオン、 τ : タウ粒子、及び質量が殆ど0に近い Neutrinos(ニュートリノ)として ν_e : 電子ニュートリノ、 ν_μ : ミュオンニュートリノ、 ν_τ : タウニュートリノ、そして粒子間を結ぶ力の原因となる Bosons ボソン粒子は、g: グルーオン(重力子)、 γ : 光子、さらに W^+ 、 W^- 、 Z^0 などは弱い力の原因となるボソン粒子が存在する。

1.4 粒子1個の量子力学、場の量子論の誕生

すべての物質は原子から成り、その原子は原子核と電子から成る。原子核を中心に電子が回るといふ描像が生まれつつあったとき、重要な疑問が発せられた。プラス電荷の原子核にマイナス電荷の電子が引き寄せられて電子は消失しないのか？周回する電子の運動を横から見れば電荷の振動である。すると Maxwell 理論(振動する電荷から電磁波が放出される)から原子は光を放出し続け、崩壊するのではないのか？さらに気体中の原子や分子は室温で数百m/sの速さで走っているが互いの衝突で壊れないのか？こうした疑問に答えるために古典力学に代わって量子力学が生まれた。

きっかけは Max Planck の高温物体の発光スペクトルの研究である。実はどんな物体でも熱すれば発光し赤熱から白熱へと変化し 19 世紀末に盛んに調べられた。彼は問題を光そのものから光を出す原子に移して実験結果の解釈に繋げた。その結論は、発光スペクトル間を移動するエネルギーは $h\nu$ を単位とするというものであった (ν は光の振動数;波長を λ とすると $\nu\lambda=c$ 、 $h=6.6\cdot 10^{-34}Js$ (h は Planck 定数、 Js はジュール秒)。また光照射された金属からの電子放出(=光電効果)が、光の振動数が一定値以上であれば観察されるが、この値以下のときは光の強度を如何に大きくしても電子放出が観察されない。このことから Einstein は(これまで電磁波であるとされていた)振動数 ν の光は、エネルギー $h\nu$ をもつ粒子(=光子)の集団であるとした。(物質中の)電子が光子を吸収してエネルギー $h\nu$ を得る。素粒子としての電磁波の確認である。電子(質量 m_e 、電荷-1)が光子(質量 0、電荷 0)を吸収する反応を式(1)を用いて確かめると $m_{\text{光子}}=0$ が出てくる。

また N. Bohr や De Broglie らは、高速の電子は粒子としての運動エネルギーを持って行動し、

他の荷電粒子の近くを走るときクーロン力が働き、力積（力×時間）＝運動量変化）に応じて持っていた運動エネルギーを失う。この衝突を繰り返し最後に正の荷電粒子に捕捉される。ここまでは Newton の古典力学で理解できる。捕捉状態（＝定常波の形成）に移るときに電磁波の吸収・放出が起る。また真空容器の中を走る電子の流れの途中に壁を置き、壁に 2 つの孔（スリット）を接近して設けると電子は 2 つのスリットを同時に通り抜けると結論せざるを得ない実験事実がある。Schrödinger はこの事から電子は波として走るという波動方程式を提案した。すなわち粒子の状態 Ψ は位置 x と時間 t に依存し、さらに $|\Psi(x,t)|^2 dx =$ 時間 t において粒子が x から $x+dx$ の間に見いだされる確率であると定義する。そして古典力学の力学変数（位置 x と運動量 p_x ）を量子力学では（位置 x , 運動量 $-i\hbar \delta / \delta x$ ）として残し、古典力学でのハミルトニアンを H として

$$\text{粒子の波動方程式 } i\hbar \delta \Psi(x,t) / \delta t = H \Psi(x,t) \quad (2)$$

を提案した。ここで \hbar は前述の Planck 定数 h を 2π で除したものでよく使用される。

1929 年、Heisenberg と Pauli は、高速電子は此処あそこのすべての場所に粒子として同時に共存する状態にある、そして共存度の確率の大きさが波動関数として表されるとした。またいくつもの状態が重ね合わさる（各状態の相対的な重みと位相の差に注意しながら計算する）ことを提唱し、この状態に対して観測（＝演算子を作用させること）して結果を確認する。例えば水素原子の中で動き回る電子は、水素原子が同じ状態を維持する限り $|H\rangle$ という記号であらわす。そして電子が原子内のある位置 x にある状態を指定するときは $\langle x|H\rangle$ とする。 x は様々に変化してよいので無限に有り得るがそれらの状態すべてを共存する。そのとき $\langle x|H\rangle$ の分布が波をつくり、その 2 乗 $\langle x|H\rangle^2$ が電子が x の位置に存在する確率を示すのである。

質量 m の粒子が 1 個 x 軸上を速度 V で走る状態を波動で表すとしても、時刻 t における粒子の位置 x の値は特定できないが x 方向の運動量は $P_x = mV$ である。即ち x と P_x に関する不確定さは $\Delta x = \infty$, $\Delta P_x = 0$ である。Heisenberg の量子論によれば、「ある粒子についてその位置と運動量、またエネルギー E とその E を持続する時間 t を同時に正確に観測できない」という不確定性原理が成立する。

$$\text{不確定性原理 : } \Delta P_x \cdot \Delta x \approx \hbar \quad (3)$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx \hbar \quad (4)$$

さて古典力学では粒子は各時刻 t に確定した座標と速度をとるが、量子力学では粒子は座標と運動量との間の不確定性関係 (3) により両者が同時に確定した値を取ることはできない。このため近接した時間 t_1 と t_2 における x と運動量（＝ x を時間 t で微分することが含まれる）を定義できない。またこれまで電磁波として表現されてきた光を粒子とすることに着目して、電子と光子および電子の周りに形成される電場について有効な量子電磁力学 QED (Quantum-Electro-Dynamics) を提案した。今日では、不確定性原理 $\Delta E \cdot \Delta t \sim \hbar$ の関係を時間空間に適用する「場の量子論」として広く用いられている。ここでの指導原理は時空に対してある操作を施すときの不変のものの有無である。

Dirac によれば、運動する古典的物体を力学法則に従って思い描くことは容易であるが、素粒子

の運動は数学的な変換を通して間接的にしか捉えられない。運動エネルギーの演算子を $(\hbar/2\pi)\delta/\delta t$ として位置エネルギーと合わせ H (ハミルトニアン) として状態 Ψ に作用させるのが量子論における波動方程式 (2) である。Dirac の「量子力学：まえがき(1930)」から引用すると「だれでもこの世に生まれてくると習わなければならない基本的な概念 (例えば“近い”とか“同じ”とかの概念) があるが、それと同じように、物理学の新しい概念も長い間にそれらの性質や使い方に慣れた上で初めて習得できるものである。」

1.5 宇宙論

われわれの宇宙認識は、観測技術の発展と共に広がってきた。古代では太陽と月、そして7つの惑星の動き、Galilei の手製望遠鏡から多くの星が太陽と同じような天体、従って無限とも言える星の存在、さらに天の川を見て初めて銀河の存在を知った。19世紀中ごろの写真技術の発明は、長時間露光とスペクトルの記録から星のガス組成、運動状態の観測を可能にした。またシュミットカメラ (1931年開発) は広い範囲を撮影し、星や銀河など10万もの天体を1個ずつ虫眼鏡で調べることができるようにした。

20世紀になり夜空に輝く無数の (遠く、そして近くの) 星までの距離 (三角測量の原理や変光星利用の経験則から求める) を求め、そしてその表面温度、さらに星からの光の赤方偏移 (ドップラー効果による) を測定することから我々から遠ざかる星の視線方向の速度を推定する手段が発達し、口径2.5mのWilson山天体望遠鏡を使ったHubbleの報告(1929)から宇宙論時代が始まった。宇宙は今から約150億年前に誕生し、超高温状態から急速な宇宙膨張が始まった (Gamov:1945-1950)。宇宙の果てにおける膨張速度を c (光速) とすると、宇宙の半径 R はおよそ $c \times 150$ 億年、体積は $V = (4/3)\pi R^3$ 。宇宙のエネルギーは、膨張のための運動エネルギー E_k および質量エネルギー ($\approx Mc^2$)、それに重力ポテンシャルエネルギー ($\approx -GM/R$ 、ただし $G = 6.7 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$) である。いまなお宇宙膨張が続くから $E_k + Mc^2 - GM/R > 0$ 、宇宙に存在する物質の質量 $M = 2 \times 10^{53} \text{kg}$ と平均密度 $M/(4/3\pi R^3) (1.6 \times 10^{-29} \text{g}/\text{cm}^3)$ などが推察される。その結果、平均密度は水素原子8個/ m^3 、別に宇宙背景放射の解析からわかる温度3Kを用いて、宇宙の全熱エネルギー: $10^{-23} \times 3 \times 8 \times 10^{79} = 10^{57} \text{J}$ である。宇宙はほとんど均一で10万分の1のゆらぎが観測されている。ゆらぎは大構造 (網目構造)、超銀河団、銀河団、銀河群、銀河、星、太陽系などの構造を持つ。Einsteinの宇宙方程式は、宇宙空間における質量分布およびエネルギー分布を与えれば宇宙空間の歪みの分布が得られ、宇宙が膨張するか、収縮するかを予言できる式であり、1920年頃から利用されている。

第2部 21世紀に解決が期待される諸問題と放射線教育の役割

2.1 宇宙の誕生と量子論・相対論はやがて知識人の常識になる？

無 (= 空間も時間も物質もない「無の状態」) から量子論的トンネル効果を経て宇宙が誕生したという論文が出現 (Vilenkin: 1980) した。この論文では時間軸がなかったが、その後多くの研究者が時間軸を入れて挑戦を試みている。指数関数的に急膨張するインフレーション時代 (誕生から 10^{-44} 秒後と 10^{-34} 秒後に相転移を起こす) を経て、相転移の際に放出される潜熱で素粒子反応 (空間からの物質粒子と反粒子の生成とその逆反応) が繰り返され、何かの原因で対称性が自発的に破れて粒子が残るとされている。極高温の状態が続く種々の素粒子同士の反応が続いて

3 分後には誕生したクォーク、グルーオンから陽子、ヘリウム核の合成が終わり、さらに 38 万年後（温度は約 3 千 K 程度で電子が陽子に捕捉されて水素原子が形成され、初めて光が宇宙空間を自由に透過できる）宇宙の晴れ上がりになる。このとき存在して飛び交っていた光子そのものが空間自体の膨張によるドップラー効果により長波長（ミリ波領域）となって、138 億年後の現在、観測されているのが宇宙背景放射である。最初の発見は 1965 年で Penzias と Wilson による。以後 COBE 衛星、WMAP、PLANCK 衛星などによる観測が続けられ、現在、その宇宙背景放射は 2.735K、温度ゆらぎ 10 万分の 1 の黒体放射として知られている。物質と時間空間の関係についても、われわれが「時間の流れ」を感じるのは物質現象の変化を通してである。「空間」を感じるのも物質との対比によるのである。その空間は 3 次元に限らずに 10 次元、あるいは 11 次元プラス時間という説もある。

2.2 これからの宇宙観

膨張宇宙はやがては収縮に変わると考える研究者も多かったが、宇宙誕生後 70 億年位から加速膨張が始まり、いま加速的に膨張を続けていることが解ってきた。膨張を続けるにはエネルギーが必要とされ、ダークエネルギー（暗黒エネルギー）と呼ばれる。また多くの銀河の動きの観測から、また遠方の星からの光のレンズ効果から望遠鏡で観測されない大きな質量の塊の存在が認められ、その見えない質量の塊を中心に銀河形成などで決定的役割を果たしたとされるダークマター（暗黒物質）の実体が現在なお不明である。現在の宇宙全体の物質（＝エネルギー）では、約 73% がダークエネルギー、約 23% が暗黒物質、残りのわずか 4% 程度だけが我々の知っている物質である。「万物は原子から成る」は放棄せざるを得ない。また無からの宇宙の誕生が正しければ、宇宙は唯一と限らず、多数、無限に存在するのではないかと考えられている。素粒子の相互作用として知られている 4 つの力は統一されるはず、表 1 に載せた数多くの素粒子、いずれも大きさのない点粒子と考えられたもの、その違いを説明できるものとして点粒子に代わって超弦理論（振動するヒモ、或いは輪ゴムのようなもの）が有望視されている。宇宙の観測についても重力波天文台、電波望遠鏡、ガンマ線バースト、ブラックホールの形成などの解明に繋がるか。21 世紀中に、粒子と反粒子から反粒子が消えた（＝対称性の自発的破れ）道筋、宇宙初期のインフレーション時代の重力波の観測、その後の素粒子反応の解明、ダークマターの正体の解明、ダークエネルギーの理解が可能になると期待されている。生命の起源の解明、発掘される DNA からの古代人復元、人間寿命の延長、たんぱく質など食糧の製造、気候変動の自由調整、他の惑星への移動などの可能性も検討されるかも知れない。

2.3 20 世紀までの科学を振り返る

「われわれはどこから来てどこへ行くのか?」、よく聞く言葉である。ホモサピエンスはこの問いを数千年前から漠然とではあろうが持ち続けてきたことが、今に残る神話・伝説から伺い知ることができる。21 世紀の今、この問題を人類共通の話題とすることが可能になり、理解し合える時代になったと言える。

46 億年前に誕生した地球に生命が出現したのは 38~40 億年前、地球環境の変化と共に生命も進化し、アフリカで誕生した現代人（ホモサピエンス）が 7 万年前に移動を始め、2~3 万年前までに全世界に広がったとされる。ホモサピエンスだけが有している特質は「ものがたり（フィクショ

ン)」を創作し、それを人に伝える言語能力があることとされる。最初は家族・部族毎の狩猟採集生活であったが氷河期の食糧確保(マンモスなど)や他の動物との闘いを想定すれば大きな集団が有利である。1~2 万年前からの地球温暖化により農耕牧畜生活が始まると共同で土地の整備や灌漑治水作業が必要となり、権力保有者と労働提供者に分かれる。他集団との争い、交易が始まり、神話を創り、村から国になり、宗教を創り、組織化され、サピエンスが自分たちの都合次第で他の生物種を支配し、人間中心主義がまかり通る勝手放題の時代になっている。地球上で生存できる人口はどれ程であろうか。他方では、好奇心も強く、素粒子の存在を信じ、宇宙の始まりと終わりを語る能力を有する。同じ「ものがたり」を信じる人が拾万、百万、1 億人と集まれば巨大な力になり宇宙の進化にも影響を与えかねない。「最初は無」我も見んとてこの道に分け入り入るも踏むはただ歳。

2.4 「つくりばなし」を見分ける力

科学では、理論に反する事実が発見されたら直ちにその理論は放棄される。理論は法則で表現され、数学で記述され、時として美的感覚を伴う。ところが今に残る宗教あるいは専制国家では、教祖あるいは独裁者が語る神の言葉(=不変の真理)をそれが道理に合うとか合わないとかと関係なく押し付けられる。混在しているのがこの 21 世紀である。

ここで自分では何も考えずに他者の言をそのまま信じてしまう例を二つ挙げておく。一つは昭和 15 年に発売禁止になった「古事記及び日本書紀の研究」(津田左右吉著、岩波書店)。津田博士は文献批判による科学的歴史研究に挑み、その成果を世に問うた(昭和 14)が発禁、皇室の尊厳を冒瀆した罪で起訴され、昭和 17 年禁固三ヶ月の有罪とされた。その二は気候変動(=温暖化)の原因は人類が放出する二酸化炭素であるという説。国連 IPCC の決議とされるが、大気成分に 0.03%~0.05%の二酸化炭素の存在と地球温暖化を結びつける科学的説明がないままである。政治上の政策や経済競争からの有利・不利で動いているように思われる。人類のエネルギー廃棄の総量の増加、太陽風と宇宙線量の比の変化、地球-太陽間の距離の変動(Milankovitch 説)、太陽系が天の川銀河のダスト蜜集区域に突入または脱出などの説が出ている。さらにやがて寒冷化が始まるという説さえ出ている。重要なことは自分で考える人を育てることである。

2.5 放射線教育が成し得ること

相対論、量子論、素粒子論の時代に入って 100 年になるが、理工系博士課程院生でも全員が理解できるわけでない。天才と言われる数十人の研究者たちが生涯かけて議論を展開している世界である。先ずはフォーラム会員を中心に話し合いの勉強の場を設け、情報交換を行い、理解し易い、新しく工夫を凝らした理解への道を探し求めることではないか。思い起こすべきは、放射線作用が荷電粒子と物質中の電子との衝突が化学変化を誘起すること、その定量的表現として線量(物質に吸収されるエネルギーJ(ジュール)を用いる。それが DNA やたんぱく質などの化学変化にどのように繋がるかの説明である。宇宙のかなたから来る放射線には、エネルギー 10^{20}eV を超す陽子を始め、ミュオン、ニュートリノ、ガンマ線があるが、どこからくるのか?また素粒子の研究に必要な巨大な粒子加速器を有する施設、荷電粒子の加速方法、素粒子と素粒子を衝突させる技術、その生成物の検出法などすべて放射線教育の守備範囲である。さらに天体観測によって宇宙空間に存在する種々の分子を同定するのに使われる電波望遠鏡、宇宙のかなたで起こる巨大エネルギーの

急変を察知する重力波望遠鏡（レーザーの干渉を利用して微小距離の変化を測定する）の理解など、これからの若者たちに丁寧に説明する、場合によって施設まで案内できるのではないか。

「無」からの宇宙の誕生が正しければ、宇宙の最後は（1千億年後という見積もりもある）銀河も星も惑星もすべてが互いに遠くに引き離され、再び「無」の状態に戻る。また宇宙は唯一と限ることなく、多数、無限に存在するのではないかの問題、4種の力は統一できるのか？現在実用化に向かいつつある重力波天文台は、宇宙の誕生、ガンマバースト、ブラックホールの形成などの解明に繋がるのか。また宇宙の終末はどのようなものになるのか？宇宙進化を支配しているものは何か？「万物はどのようにつくられているか」、「宇宙はどのようにして誕生し、これからどうなるのか」など、自然の仕組みを探る人類の問いにも答が存在し得ることがわかりつつある。20世紀は世界戦争が続いた。21世紀は難民問題や貧富差のない、より豊かな世界を期待したいが、その意義はどこにあるのだろうか？

【結びの言葉】 21世紀を生きる学生、教師、研究者を含む一般知識人に必要な現代物理学に親しんで頂くために当フォーラムとしての果たすべき役割の喚起。

参考文献

- 1) アインシュタイン、A、「わが相対性理論」金子務訳、白楊社（1974）.
- 2) ディラック、P、「量子力学」（原書第4版）朝永、玉木、木庭、大塚、伊藤共訳、岩波書店（1968）.
- 3) 南部陽一郎、「クォーク第2版—素粒子物理はどこまで進んできたか」ブルーバック、講談社（1998）.
- 4) ユヴァル・ノア・ハラリ、「サピエンス全史—文明の構造と人類の幸福（上下）」柴田宏之訳、河出書房新社（2021）.
- 5) 坂井典祐、「最後の物理法則—超対称性と超弦理論」岩波書店（1995）.
- 6) 津田左右吉、「古事記及び日本書紀の研究」（完全版）毎日ワーズ（2020）.
- 7) 大野新一、「放射線教育の立場から地球温暖化を考える」放射線教育、Vol. 12, 33-40（2008）.
- 8) 松井孝典、「宇宙人としての生き方—アストロバイオロジーへの招待—」岩波新書（2008）.

【実践報告】

科学的に探究する力を育む放射線教育 10 年の歩み

佐々木 清

福島県環境創造センター交流棟教育アドバイザー

〒963-7700 福島県田村郡三春町深作 10 番 2 号

(受理月日：2022.2.8)

【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、11年の歳月が過ぎた。そこで、これまで教育現場で実践してきた2011年度から2015年度まで放射線教育概要と、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2016年度から2020年度まで放射線教育概要を報告し、今後の放射線教育のあり方について、忙しい教育現場の実情を踏まえた提案を示す。

1. はじめに

2011年3月11日午後2時46分東北地方太平洋沖地震が発生。その後津波が押し寄せ、東京電力株式会社福島第一原子力発電所で事故が起こり、放射線物質が福島県内外に拡散して甚大な被害を及ぼした。その後東日本大震災からの復興をめざし、国挙げての大規模な除染と放射能の減衰によって、帰還困難地域を除けば、福島県内の空間線量率も低くなり、原発事故前の生活に戻りつつある。

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毎年改訂発行される「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、子ども達の放射線への不安を少しでも取り除くため、試行錯誤しながら放射線教育が行われてきた。

そのような状況の中、「生徒が主体の放射線教育」をスローガンに、2011年度から2016年度までの5年間毎年放射線教育研究公開授業を行い、福島内外から数多くの参観者を迎え、示唆に富むご助言をいただきながら放射線授業の改善を積み重ねてきた。そしてこれまでの授業記録と事後研究会記録を「放射線教育実践報告書」にまとめ、郡山市教育実践研究物展に出品し、毎年特選や中学校会長賞等を受賞してきた。

2016年コミュタン福島が創設されるのを機会に中学校教員を退き、現在コミュタン福島に勤務している。ここでは放射線や環境問題に関する正確な理解を促進し、福島県の現状を伝えようと試行錯誤しながら奔走し、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。その概要を放射線教育フォーラムのパネル討論会や勉強会などで発表させていただくとともに、本誌の「放射線教育 Radiation Education」やニュースレターなどでも取り上げていただいた。

今回本誌では、2011年度から2015年度までの教員時代における放射線教育実践および2016年度から2020年度までのコミュタン福島での放射線教育の取組の概要を報告する。



写真1 「放射線測定」体験研修

2. 『中学校理科放射線教育5年間』の教員としての歩み：2011年度～2015年度

2.1 「科学的に探究する力」とは

中学校学習指導要領解説理科編では、教科の目標として「科学的に探究する能力の基礎と態度を育てる」ために、『自然の事物・現象の中に問題を見いだし、目的意識を持って観察、実験などを主体的に行い、得られた結果を分析して解釈するなど、科学的に探究する学習を進めていくことが重要である。』と記されている。

そこで放射線授業を進める上で、「科学的に探究する力」を以下のように定義した。

放射線に関する現象の中に問題を見つけ出し、課題意識を持って放射線に関する観察、実験、計測などを主体的に行い、得られた結果を分析して解釈するなど、科学的に探究しようとする能力と態度

2.2 放射線の不安や悩みを解消する放射線授業のプログラム開発

放射線教育を進めていく中で、放射線に対する不安や悩みなど、地域の実情に応じた放射線授業が望まれる。そこで、事前にアンケート調査を行い、学びたい放射線内容を抽出し、実験を通して科学的に探究しながら課題解決できるような授業を展開してきた。

ところで、日本では、放射線被ばくのリスクや原発立地県で実施されている放射線の授業時数から、4つのタイプの放射線教育（図1）が考えられる。

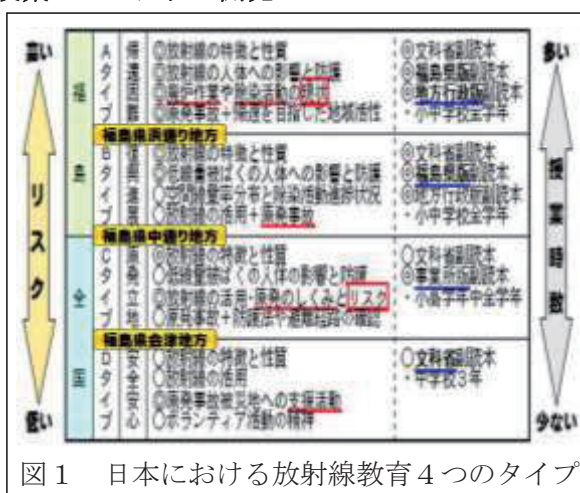


図1 日本における放射線教育4つのタイプ

2.3 放射線教育の「めざす福島の生徒像」

放射線の知識だけの伝達では、震災に対して「自ら考え、行動できる福島県民」は育たない。そこで、自ら空間線量率を測定し、他の情報と照らし合わせながら科学的に判断し、共に手を取り合って行動できるように、放射線教育を進めるに当たり「めざす福島の生徒像」を右のように設定した。

自ら放射線を測定し、
自らデータを分析して判断し、
互いに助け合って行動できる生徒

2.4 「生徒が主体の放射線授業」

放射線授業を展開する上で、何よりも大切にしてきたことは右の3点である。

- ①「見取る」～子ども達の考えを引き出す。
- ②「褒める」～子どもの良さを見つけ出す。
- ③「思いやる」～子どもの心をケアする。

2.5 「放射線授業を通して身に付けたい4つ能力」

- ① 環境モニタリング力 → 自ら放射線量を正確に測定する力
- ② データ分析力 → 放射線量の変化に気づき、放射線量のデータを分析する力
- ③ 科学的な判断力 → 科学的な根拠に基づく情報を選択し、判断する力
- ④ リスクコミュニケーション力 → 放射線被ばくを少なくするため、科学的事実に基づいて本音で話し合い、互いに理解し合う態度

2.6 【2011年度～2015年度】『中学校理科放射線教育5年間』教員としての歩み

放射線教育研究年度	2011年度(平成23年度)	2012年度(平成24年度)
放射線研究授業実施校・学年 ～放射線教育研究タイトル～	明健中学校1年目 ～放射線に向き合う力を育てる～	明健中学校2年目 ～仲間と手を取り合って～
放射線教育研究テーマ	科学的な思考力・判断力・表現力の育成	言語活動の充実が図られ、思考力・判断力・表現力の向上
小単元名(題材名) ～サブテーマ～	『地震はなぜ起こるか』 ～地震災害における放射能汚染～	『動物の体のつくりと働き』 ～放射能の減衰と放射線による人体への影響と防護～
放射線公開研究授業実施月日	2011. 11. 18(金) 13:00～13:50	2012. 9. 14(金) 13:35～14:25
授業の切り口：実際の放射線量のデータを基に、放射線の探究課題を設定し、学習意欲を高める。	1年目：校庭における空間線量率の違いから、放射性物質が校庭に埋まっている地点を探る。	2年目：空間線量率の減衰推測と除染モデル実験を行い、放射線による人体の影響との関連を探る。
放射線実験	霧箱による放射線の飛跡観察 (線源：校庭の土/ランタンの芯)	土による除染モデル実験 (遮へい実験)
放射線研究授業の様子		
探究力を向上させるための手法	Oneself → Pair → Group → All	Oneself → Pair → Group → All 養護教諭と Team・Teaching
生徒による放射線レポートの発表内容(+感想や主張を含む)	①主な放射線：α線・β線・γ線 ②月毎の空間線量率の変化主張 ③河川の空間線量率測定マップ	①空間線量率の年変化+主張 ②河川の空間線量率変化マップ
次時の放射線授業への探究課題	校庭に埋まっている放射性物質の汚染土から放出される放射線量はいくらか？安全なのか？	福島第一原子力発電所の廃が作業はどのように進められているのか？安全なのか？
放射線教育関係機関との連携	・放射線測定器の借用(原産協会)	・放射線教育推進委員会の設立
放射線出前授業の実施 (*印：文部科学省放射線出前授業)	H24. 3. 7&9 明健小4年理科・放射線授業	9. 28 木宮一中2年放射線出前授業 10. 5 木宮まゆみ小5年放射線出前授業
放射線に関する主な実践発表	8. 7 第50回理科教育全国大会教育分科会発表 法政大学 8. 15 物理教育研究会(APEJ)夏期大会発表 慶徳義塾高校 12. 10 原子力・エネルギー教育研究会実践報告 東京学芸大学 H24. 3. 3 日本環境教育学会第2回特別分科会発表 文教大学	8. 21 第16回原子放射線利用普及連絡協議会講演 光/門タワ 11. 8 宮城県中学校教育研究会講演 仙台市科学館 12. 8 福井県理科教育研究会フォーラム講演 福井大学 H25. 1. 25 放射線利用推進協議会講演 京都教育文化C H25. 3. 27 教員対象放射線セミナー 広島大学福山中・高
放射線に関する主な執筆原稿	Science Window 157 「理科の教育」3月号(通巻158号) 発行前出版	教育誌月刊「クレコ」6月号 全日本教職員組合 Radiation Education Vol. 16 No. 1
放射線に関する主な参加研修	4. 2 福島県立総合センター松江工業院大学新着キャンパス 5. 20 福島県立総合センターアジェ 釜山国際ターナショナル 7. 16 先生のための放射線勉強会 東京大学小ホール	7. 15～21 ウクライナ・ロシア視察 9. 29 全中理エネルギー放射線教育研究会 東京大学センター H25. 2. 2 全中理福島地区エネルギー放射線教育研究会福島大

※「中学校理科放射線年間指導計画」は、「放射線教育」Vol.24, No.1, p.13 をご覧ください。

2013年度 (平成25年度)	2014年度 (平成26年度)	2015年度 (平成27年度)
郡山第六中学校 1 年目 ～科学的に探究する力を育む～	郡山第六中学校 2 年目 ～人と人とのつながりをもって～	郡山第六中学校 3 年目 ～人と人とのつながりを大切に～
科学的に探究する力の育成	科学的に探究する力の育成及び 研究機関等との連携	小・中連携放射線教育カリキュ ラムの開発と実践
『動物の体のつくりと働き』 ～ 金属板・水・土壌による遮へい実験 と放射線による人体への影響と防護～	『エネルギーの変換と利用』 ～ 除染活動の効果モデル実験と福島第 一原子力発電所の廃炉作業の現状～	『動物の体のつくりと働き』 ～福島第一原子力発電所の廃炉現状～ ～放射線による人体への影響と防護～
2013. 10. 23(木) 13:30～14:20	2015. 2. 23(日) 13:25～14:15	2015. 11. 2(日) 13:35～15:25
3 年目：福島第一原子力発電所 汚染水流出事故から地上タンク壁 面からの放射線量を探る。	4 年目：廃炉作業の現状を理解 し、復興に向けた従事者に対する 思いやりの心を醸成する。	5 年目：廃炉作業の現状を理解 し、復興に向けた従事者に対する 感謝の気持ちを醸成する。
Aコース: 金属板・水遮へい実験 Bコース: 水の放射線透過量実験 Cコース: 土による遮へい実験	土による除染モデル実験 (遮へい実験) 福島第一原発事故模型による説明	土による除染モデル実験 (遮へい実験) 福島第一原発事故模型による説明
		
Oneself → Pair → Group → All 養護教諭と Team・Teaching	Oneself → Pair → Group → All 廃炉作業員と Guest Teacher に学ぶ	Oneself → Pair → Group → All 養護教諭 T・T/廃炉作業員を招く
①福島第一原発汚染水問題+主張	①9河川の空間線量率測定データ 考察+主張	①9河川の空間線量率データ考察 ②チェルノブイリ原発事故による甲 状腺がんと福島との比較+主張
福島第一原子力発電所の廃炉作 業は安全に進められているのか？ 作業従事者の現状はどうか？	福島県民のために廃炉作業で働い ている方へ感謝の気持ちを添えて 応援メッセージを書いて送ろう！	福島第一原子力発電所の廃炉作 業は安全に進められているのか？ 甲状腺がんの心配はないのか？
校内放射線シンポジウム-JAEA支援	Guest Teacher → 東京電力社員協力 校内放射線シンポジウム-JAEA支援	Guest Teacher → 東京電力社員協力 校内放射線シンポジウム-JAEA支援
10. 28 青森県立大田小5年放射線出張授業 ●	6. 19 安積第二小5年放射線出張授業 ●	6. 22 富田西小6年放射線出張授業 ●
5. 25 日韓放射線・環境教育シンポジウム/ウレ市庁舎	6. 23 芳山小1年～6年放射線出張授業 ●	10. 23 里白石小1年～4年放射線出張授業 ●
7. 29 福島県中学校教壇理科研究会研修会講演 郡山中学校	10. 22 日和田中2年理科・放射線出張授業 ●	11. 16 桑野小4年理科・放射線出張授業 ●
8. 3授業に活かせる放射線教育研究会実践発表 近畿大学	6. 22 第10回日本小児保健協会学術大会発表 福島グリーンプレス	6. 27 放射線教育教材開発委員会発表 国立科学博物館
8. 8 全国中学校理科教育研究会東京大会発表 葛飾区	7. 6 30年プロジェクト子ども達の放射線基礎講演 青少年会館	10. 6 IAEA原子力発電技術理事会セッション講演 福井県
8. 29 第32回原子力委員会臨時会議実践発表 中央合同庁舎	9. 9 原子力学会初等中等教育小委員会実践発表 京都大学	11. 23 放射線フォーラムパネル討論発表 東京理科大学
H26. 1. 7 秋田県中学校教育研究協議会講演 秋田県立大	11. 22 ちゅうぶ産科キック公開講演会 山口大学教育学部	H28. 1. 11 世界のSTEMと考える全国大会発表 東海大学
「放射線ってなあに？」 科学技術振興機構 JAPI ニュースター4月号 Vol.17 No. 1	マンガ『ボクたち私たちが考える放射線』 京都府立大 日本原子力学会ATOMZ Vol.57 p.40～41	放射線フォーラム ニュースターNo.64 放射線フォーラム 内外教育「授業をつくる」(No.404) 時事通信社
FB News 9月号 No.441 千代田テクノリ	『放射線等に関する基礎資料 第4版』 福島県教育委員会	6. 30 放射線教育推進文部科学省教育政策研究センターレポート
ISOTOPE NEWS 2月号 No.718	6. 21 第1回放射線教育推進一泊二日講習会 国立科学博物館	7. 27～8. 6 ベラルーシ派遣団引率
12. 24 正しく理解する放射線セブナー 女川原子力発電所	10. 21 第2回放射線教育推進一泊二日講習会 国立科学博物館	10. 17 第3回放射線教育推進事業連絡協議会 国立科学博物館

3. 『コミュタン福島における放射線教育5年間』の歩み：2016年度～2020年度

3.1 コミュタン福島の運営基本方針

コミュタン福島は、放射線に関する正確な知識を習得することや本県の未来の創造への意識を醸成することなどを目的とした施設であり、開館して6年目を迎えた。「対話」と「共創」を基本に据え、福島県の「今」を伝える展示室や探究的な体験研修を通して、放射線に対する不安や悩みを解消し、さらに福島環境を知り、創り、福島未来へ向け発信していく使命(図2)を持っている。

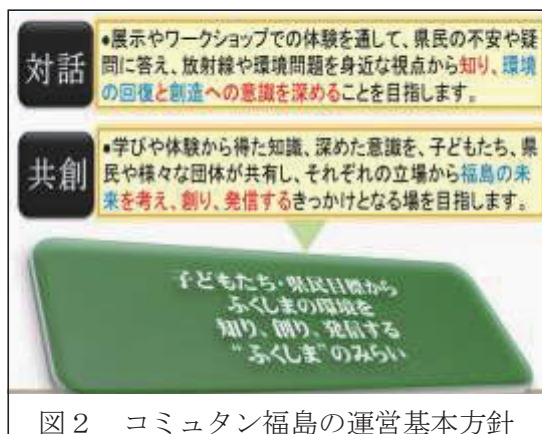


図2 コミュタン福島の運営基本方針

3.2 5+1のコミュタン福島展示室エリア

開館当時の展示室は、1から5のエリアが設けられた。その後これに6つ目の「触れる地球」エリアが増設され、デジタル球儀で世界の様々な環境の変化の様子を学べるようになった。さらに今年度(図3)より放射線ラボの「探るラボ」にはプロジェクションマッピング「3Dふくしま」が設置され、福島県環境変化の様子をより深く理解できるようになった。



図3 コミュタン福島の展示室エリアの紹介

3.3 探究的に学ぶ体験研修

開館当初から、指導者による一方的な説明による実験を避け、あくまでも探究の過程にそった児童生徒主体の体験研修(図4)を行っている。プログラム開発では、体験研修グループの惜しみない努力と何度も修正を重ねてきた結果、2020年までに「放射線領域」で4種類のプログラムが準備できた。実施に当たり、事前に学校側の意向を聞き、希望に沿った体験研修を実施している。現在、中学校2年理科においてクルックス管によるX線の観察が加わったのを受け、電子線と霧箱を使ったX線の観察実験の学習プログラムを開発しているところである。

- (1)身の回りのものを測定しよう
- (2)霧箱で放射線の性質を確認しよう
- (3)放射線から身を守る方法
- (4)電子線・X線を観察してみよう

《放射線領域の体験研修プログラム》



図4 探究的な体験研修の進め方

3.4 福島県環境創造センター本館・研究棟・交流棟三機関合同の放射線出前授業の実施

福島県環境創造センターは、前例のない原子力災害からの「環境回復・創造」に向けた取組を行う施設であり、福島県、日本原子力研究開発機構（JAEA）および国立環境研究所（NIES）の3機関が連携協力し、福島県の環境回復・創造に向けた調査研究（図5）を行っている。そして、ふくしまの環境の回復・創造を目指して、「放射線計測」「除染・廃棄物」「環境動態」「環境創造」の4つの分野で研究を進めている。その一環として、三機関合同の放射線出前授業（図6）を2018年より郡山市内の中学校で毎年行っている。コミュニティ福島では、福島県民の不安や疑問に答え、放射線や環境問題を身近な視点から理解し、環境の回復と創造への意識を深めてもらうため、中学1年生を対象に放射線測定の実験を行うとともに、県外へ送る福島県産農作物に添える手紙を書いてもらった。生徒からは、『みなさんのお陰で復興に向かっていきます。たくさんの方が心を込めて農作物を作り、放射能検査もしています。安全で心のこもった農作物を食べてください。』などの熱いメッセージが寄せられた。



図5 4つの研究分野の調査研究関連図

三機関合同放射線出前授業

- 1年→コミュニティ福島スタッフによる各学級「測定」実験
- 2年→JAEA所属による学年「放射線の基礎」講話
- 3年→国立環境研究所所属による学年「放射線動態」講話

◎学年毎に発達段階に応じた実験を交えながら分かりやすく説明

図6 三機関合同放射線出前授業の様子

3.5 コミュニタン福島の施設を活用した放射線課題別学習への支援

2015年度まで「日本における放射線教育4つのタイプ」のBタイプ（福島県中通り対象）の研究を進め、多くの方々のご支援のもと、実績を収めることができた。コミュニティ福島では、Aタイプの避難している児童・生徒を対象とした放射線教育も必要であると考えた。コミュニティ福島の近隣に、原発事故で避難を余儀なくされて設立された富岡町立幼小中学校三春校がある。コミュニティ福島が開館した当時、中学校の先生から、是非生徒一人一人が抱える放射線への不安や悩みを少しずつ解決していけるようにコミュニティ福島の施設を活用した放射線授業を支援してほしいという要望があった。そこで、2016年度～2018年度の3年間、「学びのマップカテゴリー一覧表」や「学びのマップ動線図」などを作成し、コミュニティ福島での展示を効果的かつ効率的に探究できるように、富岡第一中学校の理科教諭と連携しながら支援を行ってきた（図7）。

富岡一中・二中三春校とコミュニティ福島との連携

種類	期日	主な学習活動	指導者
①	7/13-14	東北・茨城県に関する課題解決学習	二級
②	9/4日	課題解決に向けた計画立案と学びのマップ作成・発表活動の支援（コミュニティ福島の展示場での活動の計画）	二級・三級
③④	10/27日	課題解決のための学習 コミュニティ福島の展示場での学習 コミュニティ福島の展示場での実験	二級・三級 コミュニティ福島スタッフ
⑤	10月上旬	報告書の作成	二級

図7 課題解決に向けた事前指導の様子

3.6 【2016年度～2020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	2016年度(平成28年度)	2017年度(平成29年度)
コミュタン福島開館経過年数	コミュタン福島1年目	コミュタン福島2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:身の回り物から出る放射線測定 自然環境:森林による水質浄化 再生可能エネ:燃料電池	放射線:α線・β線・γ線遮蔽実験 放射線:簡易霧箱による放射線飛跡観察 再生可能エネ:燃料電池改訂
実験ワークシート テーブルサイエンス教材	α線・β線・γ線の性質を調べよう 身の回り物から出ている放射線を測ってみよう 線源からの距離による放射線を測定しよう 霧箱による放射線飛跡の観察(シャーレ・ガラス容器)	簡易霧箱で放射線の飛跡を観察しよう α線・γ線の遮蔽実験をしよう 偏光板スタンドガラスを製作しよう 放射線ストラップを製作しよう
○放射線教材開発	○ワンコイン(500円)霧箱製作	○ペットボトル簡易霧箱製作
放射線教育講演月日	2016.12.19(日) 15:50～16:10	2017.3.1(木) 13:30～14:45
放射線教育講演テーマ	三春中学校公開研究授業 ～放射線を正しく理解し三春中の今を発信できる生徒の育成～	ふくしまの今がわかるセミナー ～人と人のつながりを大切に放射線教育と 放射線社会心理リハビリセンターから学んだこと～
〈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	・Active-Learningで学ぶ放射線教育をめざして ・先進的な三春中放射線教育の取組:Input→Output,学び方を学ぶ ・「コミュタン福島」との連携	・放射線教育5年間の歩み ・福島県避難者支援の取り組み ・海外視察社会心理リハビリセンターから学んだこと ・絆スクエア構想&安全・安心
放射線授業支援実施月日	2016.11.29(火) 13:30～15:00	2017.9.27(木) 13:35～15:20
放射線授業テーマ	富岡第一中・第二中研究授業(1年次) ～コミュタン福島との連携をとり課題解決を図る放射線授業～	富岡第一中・第二中研究授業(2年次) ～コミュタン福島との連携をとり課題解決を図る放射線授業～
放射線授業支援内容	①課題解決に向けた計画事前指導 ②学びのマップカテゴリー一覧表作成 ③学びのマップミニ活動線図作成 ④コミュタン福島での課題解決学習	①課題解決に向けた計画事前指導 ②学びのマップ作り一覧表・線図の作成 ③コミュタン福島での課題解決学習 ④課題解決報告書の書き方助言
放射線教育関係機関との連携	・エネミー・環境型教育性研究所(放射線教育研究) 6.25福島における復興へ向けた現状と課題国立科学博物館	・公益財団法人日本科学技術振興財団(放射線出前授業)
放射線出前授業の実施 (*印:文部科学省放射線出前授業)	11.28 大玉中1年放射線出前授業★ H29.1.16 西郷二中1年放射線出前授業★	5.19大玉中1年放射線出前授業★ H30.2.5 高郷小全学年放射線出前授業★
放射線に関する実践発表	8.3福島県放射線教育研究会 福島大学原子力研究所 9.7東中部地区放射線教育推進研究会福島市立総合体育館 9.13東中部地区放射線教育推進研究会福島市立総合体育館 11.9第1回放射線教育フォーラム 東京大学弥生講堂 12.18第1回放射線教育推進研究会シンポジウム 福島県立総合体育館 12.23平成28年度福島大学物理学定例会 福島市立総合体育館 H29.1.9理科教材検討会考える会全国大会東北地区福島大学	3.1第2回ふくしまの今がわかるセミナー 東洋館研究発表場 8.1日本放射線教育学会 コミュタン福島 8.5福島大学福島大学放射線教育推進委員会 コミュタン福島 8.26東日本大震災に関する放射線教育 コミュタン福島 10.4再生可能エネルギー時代を拓く講座 野田中学校 H30.1.7理科教材検討会考える会全国大会オゾンピンポイント青少年C H30.1.8理科教材検討会考える会全国大会オゾンピンポイント青少年C
放射線に関する主な執筆原稿	第1回放射線教育推進研究会シンポジウム「放射線による健康影響学校教育、内外連携」授業をつくる」NAGA出版 科学通信社	FBN(放射線安全管理推進機構) 2017.4.14.484年代別資料
放射線に関する主な参加研修	8.2福島県放射線教育研究会福島大学原子力研究所 12.27理科教材検討会考える会全国大会オゾンピンポイント青少年C	12.26千歳市立戸川小・中学校理科教育発表会 12.28理科教材検討会考える会全国大会オゾンピンポイント青少年C

※「放射線授業」の実践内容は、「放射線教育」Vol.16・24とNL46をご覧ください。

2018年度 (平成30年度)	2019年度 (令和元年度)	2020年度 (令和2年度)
コミュタン福島3年目	コミュタン福島4年目	コミュタン福島5年目
放射線：身の回りの物から出る放射線量測定改訂 放射線：霧箱による自然放射線飛跡観察・半減期 自然環境：植物の種の不思議改訂	放射線：外部被ばく防護三原則 放射線：霧箱による自然放射線飛跡観察・半減期改訂 自然環境：大滝根川の水質診断	放射線：放射線量測定中学校版 放射線：γ線遮蔽実験中学校版 再生可能エネ：燃料電池中学校版
サイエンスショー-放射線ってなあに？ 放射線(γ線)から身を守る方法を実験で確かめよう。 放射性物質の飛来の原因および放射線の性質と主な特徴 ペットボトル霧箱を作り、観察しよう。	放射線ストラップを製作しよう改訂 簡単レントゲンX線写真を写そう 鏡で不思議な虹をつくろう コロコロ転がるビー玉を落とそう	ペットボトル霧箱を作ろう改訂 鏡で不思議な虹をつくろう改訂 イオン化学電池をつくろう 大滝根川中流の水質調査をしよう
○改良型放射線ストラップ	○文部科学省発行放射線別基本問題集作成	○コミュタン福島展示物問題作成
2018. 8. 25(土) 14:10～15:10	2019. 6. 16(日) 16:00～17:00	2020. 3. 3(火) 13:30～14:45 (中止)
教師力アップセミナー ～放射線教育と理科教育をむすぶ連想教育につなげる 思いやりの心を育む放射線教育をめざして～	放射線教育フォーラム第1回勉強会 ～放射線教育福島の過去に学び、現実を見つめ、 未来を切り拓くコミュタン福島における放射線教育～	未来をつなぐ福島県の放射線教育 ～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～
・放射線教育5年間の歩み ・富岡第一・二中との連携 ・思いやりの心を育む環境教育 ・絆スクエア構想&安全・安心 ・コミュタン福島の放射線研修	・コミュタン福島の展示物概要 ・放射線領域「測定」模擬授業 ・三機関合同放射線出前授業 ・コミュタン福島と富岡中連携 ・コミュタン福島のこれから	・コミュタン福島の理念・概要 ・探究的に学ぶ放射線教育 ・未来を切り拓く放射線教育 ・福島県環境創造センター三機関合同放射線出前授業の実践 ・放射線教育「学びの連続性」
2018. 9. 11(火) 13:35～15:20	2019. 11. 28(木) 13:30～15:30	2020. 11. 25(水) 13:40～15:40
富岡第一中・第二中研究授業(三年次) ～コミュタン福島との連携を図り課題解決を図る放射線授業～	郡山第六中学校放射線出前授業(二年次) ～福島県環境創造センター三機関合同放射線出前授業の実践～	郡山第六中学校放射線出前授業(三年次) ～福島県環境創造センター三機関合同放射線出前授業の実践～
①課題解決に向けた計画事前指導 ②学びのマップがゴール一貫した展開の作成 ③コミュタン福島での課題解決学習 ④調査報告書の書き方・発表助言	①福島県環境創造センター三機関合同放射線出前授業の趣意概要 ②1年：ふくしま福島スタッフ放射線測定測定 ③2年：JAEA所員による放射線の基礎講話 ④3年：NIES所員による放射線動態講話	①福島県環境創造センター三機関合同放射線出前授業の趣意概要 ②1年：ふくしま福島スタッフ放射線測定測定 ③2年：JAEA所員による放射線の基礎講話 ④3年：NIES所員による放射線動態講話
・公益財団法人日本科学技術振興財団(放射線出前授業) ・JAEA・NIES・コミュタン郡山六中放射線出前授業 11.20	・公益財団法人日本科学技術振興財団(放射線出前授業) ・JAEA・NIES・コミュタン郡山六中放射線出前授業 11.26	・東北放射線・エネルギー教育研究会(放射線出前授業) ・JAEA・NIES・コミュタン郡山六中放射線出前授業 11.25
11. 6 御木沢小全学年放射線出前授業 ● 11. 16 仁井田中全学年放射線出前授業 ● 12. 6 高郷小全学年放射線出前授業 ● H31. 3. 4 江名中全学年放射線出前授業 ●	11. 26 仁井田中全学年放射線出前授業 ● 12. 9 福島東陵高全学年放射線出前授業 ● H31. 3. 16 江名中1・2年放射線出前授業 ● 6. 16 放射線教育フォーラム第1回勉強会東北福祉科大 8. 6 栃木県総合教育会防災教育研修会 コミュタン福島 9. 11 大分県立自然環境高校SHI放射線研修会 コミュタン福島 R1. 1. 14 理科力を考える会全国大会オンライン記念青少年C R1. 2. 22 立教教育大学附属小中学校放射線教育コミュタン福島 R1. 3. 3 日本理科学子会放射線教育セッション福島大学(中止)	(新型コロナウイルス感染防止のため文科省放射線出前授業中止) 8. 28 東北エネルギー懇話会「ひろば」取材 コミュタン福島 10. 4 コミュタンせせらぎスクール 大滝根川中流田村有船引町 R2. 1. 10 理科力を考える会冬季シンポジウムMori-tel R2. 2. 17 さくら湖流域監視ネットワーク総会とくろ湖自然観察館 R2. 2. 26 仙台市立衛生中学校放射線公開研究授業レポート Radiation Education Vol. 24 No. 10 p. 37-p. 42 2020 日本理科学子会誌 ATOMO Σ Vol. 62 p. 17 Radioprotection 2020, 55(4) p. 319-320 「ひろば」502号東北エネルギー懇話会 p. 28-31
8. 25 中国地域エネルギー環境教育研究会 広島県ナガトク 8. 30 大分県立自然環境高校SHI放射線研修会 コミュタン福島 9. 12 福島大学と立教大学放射線教育協議会 コミュタン福島 H31. 1. 8 理科力を考える会全国大会オンライン記念青少年C H31. 3. 3 放射線教育フォーラム第2回勉強会東北福祉科大 放射線教育フォーラム ニュースレターNo.73 巻頭頁「1」 NPO法人放射線教育フォーラム	8. 30 福島県立総合教育センター放射線教育センター 7. 5 フルーツ学習を活用した放射線授業実践東北大学学生講演 12. 27 理科力を考える会冬季合宿オンライン記念青少年C	10. 24 東北日本大震災・原子力災害伝承館見学 取巻郡取巻町 11. 26 岩手県水産物地方卸売市場協議会放射線・検査部発表

4. 今後の放射線教育に向けて — 福島県外の放射線教育機関との連携・有効活用

私は、2021年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ている。毎年放射線教育懇談会の支援のもとで、宮城県・福島県内の小中学校で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。さらに東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター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など（写真2）の放射線関連施設を視察してきた。また、会に所属しながら、放射線関連の情報の共有と福島県の放射線教育への期待など、直に県外中学校の先生方の意見を聞くことができ、放射線教育を推進する上での改善の視点を得ている。さらに、放射線出前授業の手法も学んでいる。



5. 終わりに

東日本大震災が発生してから今年で12年目を迎える。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、全町民が避難している双葉町に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、未曾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、福島の中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築く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先生方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、中学生に関心を持ってもらえそうな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学習プログラムの開発と改良を進めていくとともに、教壇に立って奮闘している先生方に少しでも役に立つように、授業にすぐに使える放射線に関する情報を提供できるように尽力していきたい。

6. 謝辞

2011年～2020年の10年間は、放射線授業を通して、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、そして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その着実な歩みでもあります。ここに、今まで適切なご指導と助言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 放射線授業で活用頻度の高った放射線関連書籍

- 『知ることから始めよう放射線のいろいろ中学生のための放射線副読本』文部科学省(2011)
『中学生・高校生のための放射線副読本』文部科学省,(2014)
『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,(2014～2020)
『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)
『放射線教育用学習教材 DVD』福島県教育委員会,(2014)
『ふくしま放射線・防災教育実践事例パンフレット』,福島県教育委員会,(2017)
『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研究所,(2013)

7.2 NPO 法人放射線教育フォーラム出版物：2011年度～2020年度放射線実践内容掲載

- 「放射線教育 Radiation Education 2016Vol.16 No.1,21-30」2011・2012年度放射線授業内容
「放射線教育 Radiation Education 2020Vol.24 No.1,3-13」2013年度放射線授業内容
「ニュースレター2016.02.No.64,9-10」2014・2015年度放射線授業内容
「ニュースレター2019.11.No.75,10-11」コミュニティ福島放射線領域内容

なお、コミュニティ福島の最新情報は、右のQRコードにアクセスしてください。



【第6回放射線教育国際シンポジウム特別講演(和訳)】

放射線教育のための科学の話
～ 新元素ニホニウムと過去の元素ニッポニウム ～
Science in Radiation Education:
The new chemical element Nihonium and an old one Nipponium

工藤博司

東北大学名誉教授

Email: kudo.hrs@nifty.com

(2022年2月1日受理)

要旨

公衆の放射線リテラシー向上のためには、放射線が医療、農業、工業などで広く利用され、私たちの日常生活に役立っていることを知ってもらうことは勿論、それに加えて放射線の存在が最先端の科学に欠かせないことを伝え、好奇心を喚起することも一つの道ではないかと考えます。この観点から、2016年に113番元素と認められたニホニウムの発見(合成)と約110年前に発見が報告されたもののその後消え去った43番元素ニッポニウムの発見を取り上げます。この二つの元素はどちらも日本人により発見されたもので、“日本(ニホン、ニッポン)”に因む元素名が付けられました。現在の43番元素はテクネチウム(Tc)ですが、それは自然界(地球)に存在せず、人類が初めてつくった人工元素です。その同位体の一つであるテクネチウム-99m(^{99m}Tc ; 半減期6時間)は骨がんや肺がん、血流検査などに欠かせない診断用ラジオアイソトープとして世界で最も多量に使われている放射性核種であることも紹介します。

1. 緒言

2016年6月8日、国際純粋および応用化学連合(IUPAC)は新たに発見(合成)された4つの元素の公式名称と元素記号を113番はNihonium(Nh)、115番はMoscovium(Mc)、117番はTennessine(Ts)そして118番はOgesson(Og)と発表しました。それを受けて日本化学会命名法専門委員会は翌日、113番元素の日本語名はニホニウムとすると発表しました(他の3元素の日本語名は後日発表)。113番元素は理化学研究所(RIKEN)の研究チーム(リーダー:森田浩介九州大学教授)が直線加速器を使って合成したものでその名称は国名“日本”に因んで付けられ、日本発の最初の元素として世界に認められたのでした。ただ、命名権の獲得は容易ではなく、その陰には熾烈な獲得競争がありました。

森田らは113番元素をニホニウムと命名しましたが、なぜニッポニウムではなかったのでしょうか。私たちは“日本”をニホンと言ったりニッポンと言ったりしますが、ニッポニウムという元素名は過去に一度使われており、1回でも使われた元素名を再度使うことはできないという約束事があるためです。実は、小川正孝(東北帝国大学教授)が、イギリスのロンドン大学に留学中にラムゼー教授(Sir William Ramsay)の研究室でトリウムを主成分とする鉱石(トリアナイト)の中に43番元素を発見し、ニッポニウムと名付けて1908年にイギリスの学術誌に発表していたのでした。^{1,2)}

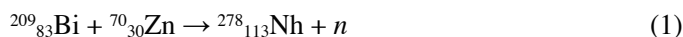
現在、43番元素はテクネチウム (Tc) です。人類が最初につくった人工元素であり、その名称はギリシャ語で人工を意味するテクニコス (τεχνικός) に由来します。この元素は1937年にイタリアのペリエ (C. Perrier) とセグレ (E. Segrè) によって発見されました。³⁾ この元素には50以上の同位体がありま

すが全て放射性で、安定同位体はありません。最も寿命の長い同位体はテクネチウム-98 (^{98}Tc : 半減期 4.2×10^6 年) ですが、地球誕生時には存在していたものの、46億年の年月を経て現在の地球には存在しません (消滅元素と呼ばれる)。同位体の一つであるテクネチウム-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$: 半減期 6 時間) は世界で最も多量に使われている医療用放射性核種で、その標識化合物はがんや血流の診断に広く利用されています。

2. ニホニウムとニッポニウム

2.1 ニホニウムの発見 (合成)

森田浩介らは理研の直線加速器 (RILAC) を用いて亜鉛イオン ($^{70}_{30}\text{Zn}^{m+}$) を加速してビスマス ($^{209}_{83}\text{Bi}$) の標的に当てることによりニホニウム ($^{278}_{113}\text{Nh}$) を合成しました。^{4,5)}



生成したニホニウム ($^{278}_{113}\text{Nh}$) を気体充填型反跳分離器 (GARIS: Gasfilled Recoil Ion Separator) を用いて原子1個1個の質量とエネルギーを精密に測定し、壊変の度に放出されるアルファ線を時々

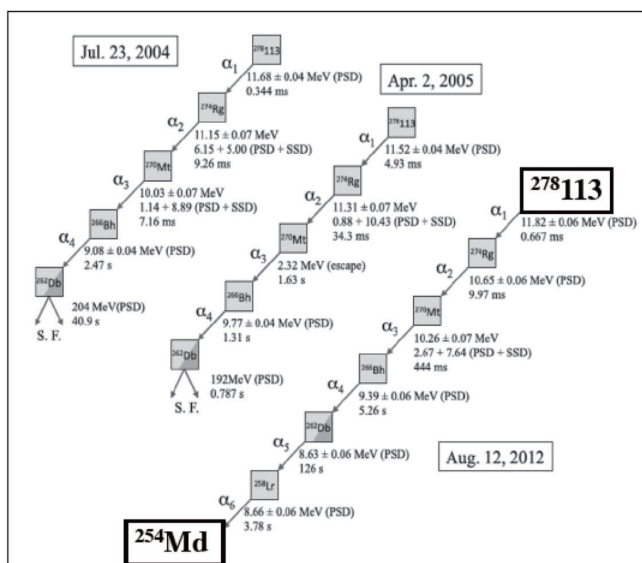


Fig. 2 Observed decay chain in the present work together with previously observed chains.

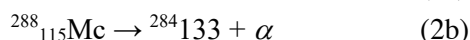
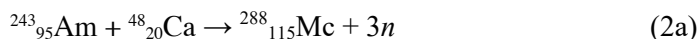


Fig. 1 Synthesis of Nh by Morita's group and competition with Russia-US joint team.

刻々追跡しました。2004年に最初の1個を検出したもののその後2012年までの9年間の実験で得た113番元素は合計3個にとどまりました。他方、森田らと競合して実験を進めていたロシア (FNLR: Flerov Laboratory of Nuclear Reactions) - 米国 (LLNL: Lawrence Livermore National Laboratory) 共同研究チームは、ロシアのサイクロトロン加速器 (U-300あるいはU-400) を使う実験で2004年以来数十個の113番元素をつくったと報告していたので、当初、森田らが命名権を得るのは難しいとみられていました。しかし、幸運にも森田らが最後に検出した1個が非常に重要な科学的証拠を備えていたことが命名権に獲得つながったのでした (Fig. 1)。

この3 個目の113番元素の原子核はアルファ粒子を6 回放出して (1 個目と2 個目は4 回のアルファ壊変の直後に自発核分裂により消滅)、既に知られていた101 番元素メンデレビウムの原子核 (^{254}Md) にたどり着くことを確認したのです (Fig. 2)。

ロシアと米国の共同研究チームは2004 年2 月にカルシウム (^{48}Ca) をアメリシウム (^{243}Am) に衝突させて115 番元素 ($^{288}\text{115}$) を合成し、その α 壊変で生成した原子の中に113 番元素を見つけたと報告しました。⁶⁾



その後さらに数十個の113 番元素を合成したとして命名権を主張していたのですが、壊変経路の追跡で確認できたのは正体不明の原子核ばかりで、113 番元素と主張する根拠が希薄だったのです。理研チームが合成した113 番元素の個数はわずか3 個でしたが、壊変系列の中に ^{235}Md の存在を突き止めたことが決定的な証拠と認められて命名権獲得レースに勝利しました。

2.2 ニッポニウムの発見

日本の国名に由来するもう一つの元素はニッポニウム (Np) ですが、現在の周期表には載っていません。一度は周期表に掲載されたのですが消えてしまいました。現在、Np の元素記号をもつ元素は93 番のネプツニウムです。

東北帝国大学理科大学の小川正孝教授 (Fig. 3) は開学に先立ち、貴ガス元素の発見で1904 年にノーベル化学賞を授与されたロンドン大学のラムゼー教授のもとに留学しました。与えられた研究テーマはメンデレーエフが提唱した元素の周期表で空白になっていたマンガン類似元素の探索でした。日夜実験を続け、トリウムを主成分とする鉱石 (トリアナイト) の中に、未知の元素が存在することに気づきました。原子量を計算してみると100.6 との結果を得たので、これは当時空白になっていた43 元素に違いないと考えました。ラムゼー教授の助言を得てニッポニウムと名付け、1908 年にイギリスの学術誌 *Chemical News* に新元素の発見を報告しました。ただ、これが43 番元素であるとの分光学的証拠は得られず、小川は帰国後も理科大学の学長を務めながら実験を続けました。それでもなかなか確かな証拠は得られず、周りからは“幻の元素”と揶揄されました。確証が得られないまま、43 番元素ニッポニウムは周期表から消えてしまいました。

しかし1997 年、吉原賢二 (東北大学名誉教授) が「小川の原子量の計算に誤りがあり (単離した



Fig. 3 Prof. Masataka OGAWA (1865-1930)
First Chair of Inorganic Chemistry,
Tohoku Imperial University

試料を NpCl_2 として計算)、 NpOCl_4 として計算すると185.2になる」と指摘し、「小川が発見したのは周期表の一段下に位置する75 番元素 (原子量286.2) に違いない」との論文を発表しました。⁷⁻¹⁰⁾

これには、科学的証拠がありました。吉原は小川の遺品の中に一枚の写真乾板を見付けました。それは小川が実験に使っていた試料 (モンモリロナイト) のX 線スペクトルでした (Fig. 4)。東京帝国大学に導入されたばかりの最新鋭分光装置で分

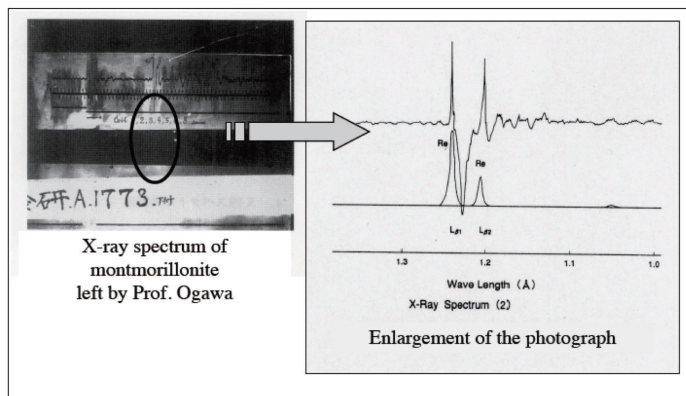


Fig. 4 Ogawa likely discovered Element 75 (Re).

析してもらった X 線スペクトルで、吉原がこのスペクトルを解析したところ、それは 75 番元素レニウム (Re) の特性 X 線に合致しました。この事実は、小川が発見したニッポニウムは 43 番元素ではなく、75 番元素だったことを裏付けます。

75 番元素はレニウム (Re) です。この元素は 1925 年にドイツのノダック (W. Noddack) とタッケ (I. Tacke) によって発見されました。¹⁾ 小川がニッポニウムの発見を報告してから 18 年後のことですから、もし小川の原子量の計算に思い違いがなく、75 番元素の発見と報告していたとしたらニッポニウムは現在でも周期表に載っているのではないかと思うと残念でなりません。しかし、それに代わってニホニウムが日本発の元素として存在しているのでよしとしましょう。

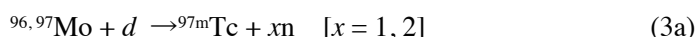


Fig. 5 Emilio G. Segrè (1905-1989) Nobel Prize in Physics for discovery of antiproton (1959).

3. テクネチウムの発見: 人類初の人工元素

小川の死後に明らかになったのですが、43 番元素は自然界には存在しませんでした。43 番元素が実際に発見されたのは 1937 年のことです。イタリアのセグレ (E.G. Segrè) とペリエ (C. Perrier) によってカリフォルニア大学バークレー校のサイクロトロンで重陽子に曝された金属モリブデンの中に見出されたのです。³⁾ この元素は人類初の人工元素だったことからテクネチウム (Technetium, Tc) と名付けられました。

セグレ(図 3)は、42 番元素モリブデン (Mo) の原子核に陽子 (p) を 1 個加えれば 43 番元素ができると考えました。そこで、1936 年の夏に米国カリフォルニア大学バークレー校 (UC Berkley) にローレンス教授 (E. O. Lawrence; 1951 年にサイクロトロンの開発でノーベル物理学賞受賞) を訪ね、完成したばかりの 27 インチ-サイクロトロンのそばにあり、重陽子 (d) に曝された金属モリブデンの箔の譲渡を願い出しました。そして、後日イタリアに送られてきたモリブデン箔の元素分析をペリエとともに根気強く続け、1937 年 12 月に化学的性質がマンガン (Mn) やレニウム (Re) に類似する新しい元素の存在を確認して報告しました。彼らが実際にモリブデン箔の中に見つけたテクネチウムは



の反応過程でつくられた ${}^{97}\text{Tc}$ (半減期: 26 万年) でした。

テクネチウムには 50 を超える同位体 (寿命が 1 秒以上のものだけで 35) が知られていますが、その全てが放射性で、最も寿命の長い同位体は ${}^{98}\text{Tc}$ です。その半減期は 420 万年ですが、地球の年齢 (約 46 億年) に比べると遥かに短く、現在は存在しません。地球誕生時には存在していたとしても、現在の地球には存在しないので消滅元素と呼ばれます。ただし、宇宙では超新星爆発で新たにつくられるので存在します。

Table 1. Useful technetium isotopes and production.

Nuclide ($T_{1/2}$)	Decay	Reaction	Target Materials	Utilization
${}^{95m}\text{Tc}$ (61 d)	IT	${}^{93}\text{Nb} (\alpha, 2n) {}^{95m}\text{Tc}$	Nb metal	Enviomental tracer
${}^{99}\text{Mo}$ (66.0 h)	β^-	${}^{235}\text{U} (n, f) \text{FP}$	UO_2 pellet	${}^{99m}\text{Tc}$ generator
${}^{99m}\text{Tc}$ (6.0 h)	IT	${}^{99}\text{Mo} [\beta^-] {}^{99m}\text{Tc}$	Milking	Medical diagnosis
${}^{99}\text{Tc}$ ($2 \cdot 10^5$ y)	β^-	${}^{99m}\text{Tc} [\text{IT}] {}^{99}\text{Tc}$	-	Enviomental tracer

とは言っても、テクネチウムが地球上に全く存在しないわけではなく、ごく微量ですがピッチブレンドと呼ばれる鉱石の中に ${}^{99}\text{Tc}$ (半減期 21 万年) が検出されます。この鉱石に含まれるウラン-238 (${}^{238}\text{U}$:半減期 45 億年) の自発核分裂により生成するのです (${}^{238}\text{U}$ 1kg 当り 4 ng の ${}^{99}\text{Tc}$)。また、原子力発電所の使用済

み核燃料の中にも存在します。ウラン-235 (^{235}U : 半減期 7 億年) の核分裂生成物である ^{99}Mo (半減期 66 時間) のベータ壊変により $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を経て ^{99}Tc が発生しますから、世界中の原子力発電所および核燃料再処理施設に保管されている使用済み核燃料中にかなりの量のテクネチウムが存在していて、その総量は数百トンに達します。今や地球上にそれなりの量のテクネチウムが存在するので貴重な資源なのですが、残念ながらこの元素の資源としての使い道はまだ見付かっていません。

ただし、学術研究や医療ではテクネチウムが重要な役割を果たしています(**Table 1**)。テクネチウム- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$: 半減期 61 日) は環境中での物質移動を調べる研究で追跡子 (トレーサー) として使われ、テクネチウム- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$: 半減期 6 時間) は医療分野で診断に欠かせない放射性同位体 (ラジオアイソトープ) です。

4. テクネチウム- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の医学利用 (医療診断)

テクネチウム- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) は世界中の病院で血流 (脳、心臓など) やがん (肺、甲状腺、骨など) の診断に使われています。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は画像診断に適するエネルギー (143 keV) のガンマ線を 1 本だけ出して ^{99}Tc 変化するので、シンチグラム検査 (SPECT: Single Photon Emission Computed Tomography) に適しています。その半減期は 6 時間と短く、患者の被ばく線量が抑えられるうえ、親核種 ^{99}Mo (半減期 66 時間) とその壊変生成物 (娘核種) である $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の間に放射平衡が成り立ちます。その平衡を利用するミルクングという手法を用いると、医療現場では毎日 1 回 ^{99}Mo から $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を抽出して診断に用いる放射性薬剤 ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ 標識薬剤) を調製することができます。

この過程をもう少し詳しく説明しましょう。親核種 ^{99}Mo は前述のように ^{235}U の核分裂性生物として得られます。製造者は ^{235}U (天然存在度 0.7%) を 3~5% に濃縮した二酸化ウラン (UO_2) に研究用原子炉で中性子を照射した後、核燃料再処理と同様の操作で UO_2 から ^{99}Mo を取り出し、製薬会社に送ります。製薬会社では化学形を $^{99}\text{MoO}_4^-$ に整え、ガラス管内の筒状のアルミナカラム (Al_2O_3 , **Fig. 6**) に吸着させ、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 調製用キットとして毎週 1 回医療現場に届けます。医療従事者はガラス管の上部から生理食塩水を注ぎ、カラムの下に置いたキットに受けて自動的に目的の放射性薬剤を迅速に調製し、それを被験者に注射します。放射性薬剤が目的の位置に移行するのを待って、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ から放出されるガンマ線を測定し (**Fig. 7**)、コンピューター処理を経て診断用画像が得られます。

製薬会社はこの $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 調製キットを週の初めに医療現場に届けるのですが、現場ではその週の終わりまで毎日 1 回放射性薬剤を患者に注射し、画像を得ることができます。放射平衡が成り立っているこの ^{99}Mo (半減期 66 時間=2.8 日) - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (半減期 6 時間) の親娘関係では、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を分離してからほぼ 1 日経つと、親と同じ放射能の $^{99\text{m}}\text{Tc}$ が再びカラムを満たします。あたかも乳牛から毎日ミルクを搾るのと同じように毎日 1 回カラムから $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を取り出すことができるので、この操作をミルクングと

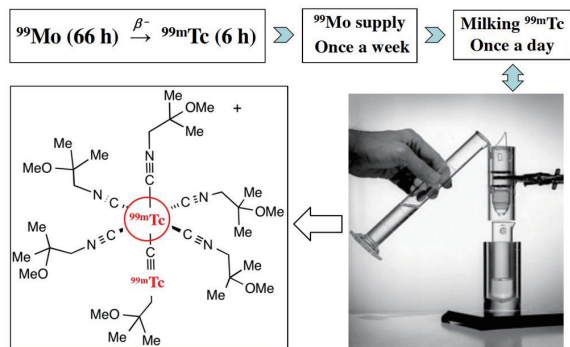


Fig. 6 Milking of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ from $^{99}\text{MoO}_4^-$ on Al_2O_3 Column and rapid synthesis of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -labeled medicine on site.

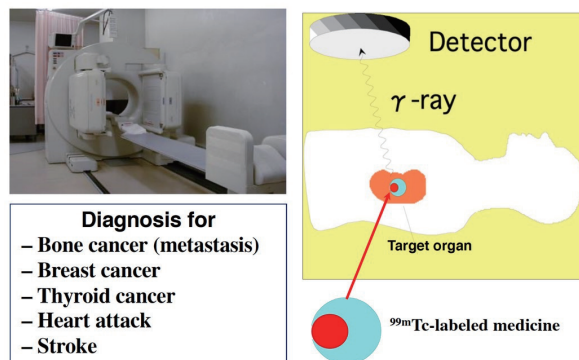


Fig. 7 Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) with $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

呼びます。ただ、乳牛とは異なり、親の ^{99}Mo の放射能は 1 週間で 1/4 になってしまいますから毎週新しいキットを用意しなければなりません。

今日、テクネチウム-99m 標識薬剤は世界中で使われていて、検査を受ける患者の数は年間 3000 万人を超えます。我が国でも年に 50 万人以上の患者が ^{99m}Tc のシンチグラム検査を受けています。原子炉でつくられた ^{99}Mo が製薬会社に提供されキットとして医療現場に届けられますが、その原料になる医療用 ^{99}Mo は主にカナダ、オランダ、フランス、ベルギー、南アフリカの 5 カ国でつくられ、世界供給量の 95% に達します。最大の供給国は 30% 以上を占めるカナダで、同国のチョークリバーにある NRU 原子炉を用いてつくっていましたが、50 年以上使っていた原子炉が老朽化のため 2007 と 2009 年に運転停止に追い込まれました。そのため ^{99}Mo の供給が途絶え、世界中に衝撃が走りました。オランダやベルギーの原子炉も老朽化が進んでいるため、医療用 ^{99}Mo の世界的供給危機が続いています。わが国の ^{99}Mo の供給はインドネシアや南アフリカの研究用原子炉も利用して何とか凌いでいますが、供給不安は改善されず、医療関係者から国産化を求める声が高っています。

実は、1980 年代に日本原子力研究所 (原研) が ^{99}Mo の国産化に成功し、世界で最も純度の高い製品の供給が可能だったのです。しかし、その ^{99}Mo を用いて ^{99m}Tc 調製キットがつくられることはありませんでした。医療関係者は 1 年を通して毎週 1 回定期的にキットの供給を受けることを強く要望したのですが、原研の研究用原子炉は安全点検のため年に数回運転を休止する時期があります。その間 ^{99}Mo の供給が止まり、利用者の要求に応えられなかったからです。筆者もこの技術開発に関わったので、折角つくりあげた高純度 ^{99}Mo 製造技術が医療に役立つことなく消えてしまい、今となっては残念でなりません。

2011 年の東日本大震災以降、わが国では研究用原子炉も全て運転を休止したため、高純度 ^{99}Mo 製造技術の再興はままなりません。最近では国内の加速器を利用して医療用 ^{99}Mo をつくる技術開発が幅広く展開されています。加速器で得られる速い中性子を MoO_3 (^{100}Mo を 9.8% に濃縮) に当てて ^{99}Mo をつくる



反応の利用が有望視されていますが、まだ実用化には至っていません。

5. 結語

113 番元素 Nh はアジア発の最初の元素であり、日本の国名を冠してニホニウムと命名されましたが、110 年ほど前にやはり日本の国名に因んで名付けられた元素ニッポニウム (Np) が周期表に載ったことがありました。それは 45 番元素ですが、発見を報告した小川正孝教授の確認実験が難航し最終的には周期表から消えてしまいました。現在の周期表に載っている 43 番元素はテクネチウム (Tc) です。この元素は自然界に存在しない元素で、人類が初めてつくった元素であることから“人工”の意を込めてテクネチウムと名付けられました。そのテクネチウムの同位体の一つである ^{99m}Tc (半減期 6 時間) は、現在世界で最も多量 (放射能として) に利用されている核種で、医療 (診断) に欠かせない重要なラジオアイソトープ (放射性同位体) です。

本講演では、放射線の理解につながる“科学の話”としてニホニウムの合成、ニッポニウムの発見およびテクネチウムの発見を取り上げました。今回の国際シンポジウムの二つの主題“放射線教育”と“医科学における放射線”に合わせ、 ^{99m}Tc の医学利用も取り上げその現状も紹介しました。

参考文献

- 1) Ogawa, M. *Chem. News* **98**, 249-251 (1908).
- 2) Ogawa, M. *Chem. News* **98**, 261-264 (1908).

- 3) Perrier, C., Segré, E. *J. Chem. Phys.*, **5**, 712-716 (1937).
- 4) Morita, K. *et al. J. Phys. Soc. Jpn.* **73**, 2593 (2004).
- 5) Morita, K. *et al. J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 103201 (2012).
- 6) Oganessian, Yu. Ts. *et al. Physical Review C* **69**, 021601 (2004).
- 7) Yoshihara, K., *Radiochim. Acta*, **77**, 9-13 (1997).
- 8) Yoshihara, K. H. *Hist. Scientiarum*, **9**, 247-269 (2000).
- 9) Yoshihara, K. *KAGAKUSHI* **30**, 69 (2003).
- 10) Yoshihara, K. H. *Proc. Jpn. Acad., Ser. B* **84**, 232 (2008).
- 11) Noddack, W., Tacke, I. and Berg, O. *Naturwiss.* **26**, 567 (1925).

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

近年における中学校の放射線授業支援の進展

—放射線教育フォーラムの活動を中心に—

Recent Progress of Radiation Education Support for School Teachers Focusing on the Activities of Radiation Education Forum

田中隆一

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

(2022年2月4日受理)

要旨

わが国の中学校における放射線教育は1951年に中学校の理科授業から始まったが、1977年の学習指導要領改訂によって取り止めとなった。放射線教育フォーラム(REF)は1994年に設立され、2005年に中学校における放射線学習復活の政策を文部科学省に提言した。2007年の学習指導要領改訂により放射線教育は復活し、2011年度に中学3年生の理科授業で放射線授業が再開された。しかし、3.11事故が再開直前に発生し、風評被害が広がるなかで、中学校では放射線に関わる授業実践に混乱とためらいが生じた。これに対応して、REFは中学校での放射線授業実践を支援するため、REFが主催あるいは企画した9回の公開パネル討論会を通して、多くの熱意ある教員、専門家、支援者の間で、新教科書に基づく効果的な授業づくりに向けた意見交換を行った。その成果の一つとして、REFは、中学校3学年の後半に組み込まれた放射線授業の代わりに、中学校3年間の理科学習を通して段階的に発展できる放射線学習計画を提案した。

2007年の学習指導要領改訂は「科学技術と人間」をテーマとする社会的な脈絡でなされたが、3.11事故後の風評被害の蔓延に対応して、2017年の学習指導要領改訂では放射線に関する科学的な理解が重視された結果、理科本来の脈絡で中学校2年に放射線学習が追加された。これはREFが進めてきた支援活動の目標に合致するものである。2021年度から全面実施されたこの学習指導に基づいて、中学校の放射線教育が改善されていくことが期待される。

1. 中学校学習指導要領における放射線の扱いの変遷と放射線教育フォーラム活動の概要

はじめに、中学校理科の学習指導要領における放射線の扱いの歴史的な変遷(図1)¹⁾と関連させながら、放射線教育フォーラムの活動について述べる。同活動の略年譜を表1に示す。

1951年、戦後の米軍占領下において放射線の学習指導がX線写真と人間生活の関わりなどを扱う生活単元学習で始まった。1958年に原子力学習の指導が始まったが、放射線の扱いは原爆被災の暗いイメージと結びつく傾向が強かった。1977年、詰め込み教育からゆとり教育への改革のなかで放射線学習の扱いは削除された。中学校理科の放射線学習指導の空白は2007年まで30年間続いたが、高等学校理科では放射線学習は継続的に扱われていた。

この状況のなかで放射線教育フォーラムは1994年に任意団体として設立され、1998年に第1回放射線教育国際シンポジウムを葉山で開催し、放射線教育フォーラムはその存在を広くアピールした²⁾。1998年の特定非営利活動促進法の成立を待って、2000年にNPO法人化された。

2001年から2009年にかけて、文部科学省主催の放射線学習を軸とする教職員を対象とするエネルギー・環境・放射線セミナーを毎年全国10カ所において放射線利用振興協会との共同企画・運営によって実施し、放射線教育復活への機運を高めた。2005年に放射線教育フォーラムは中学校での放射線教育復活を目的として、文部科学省に要望書を提出した³⁾。

2007年の中学校学習指導要領改訂によって30年ぶりに放射線学習指導が復活し、「放射線の性質と利用」をキーワードに中学校3年の理科学習として再始動した。しかし、その復活は「科学技術と人間」という社会科的な文脈でなされた。因みに、1977年から2007年までは中学校の放射線教育指導の空白期間であったが、授業現場での実質的な空白期間は、学習指導の改訂と実施のタイムラグを考えると、1980年から2010年までの30年間であったと言える。

2011年に放射線授業が再開されたが、同じ年に3.11事故が発生した。事故発生直後の世の中は教育に気を配る余裕はなかったが、発生から約4か月後に様々な風評が蔓延する事態のなかで、読売新聞は“放射線教育空白の30年”と一面全段抜きで報道し、原爆被災国でありながら放射線が義務教育で扱われてこなかった実態や事故がもたらした教育現場の混乱した状況を明るみに出した(図2)。

これを受けて、文部科学省は事故の全容が明らかにされていない状況下で、とりあえず、事故の内容には触れずに放射線副読本の初版^{4, 5)}を作成し、全国の学校に配布した。しかし、巷に広がる風評による影響もあって、学校現場では授業実践への教員の戸惑いやためらいは収まらなかった。事

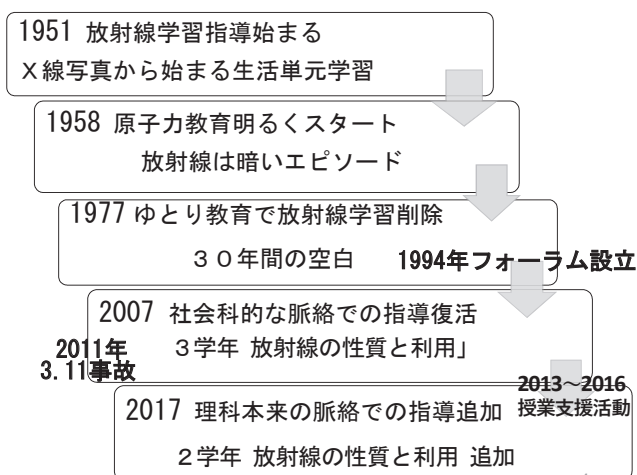


図1 中学校理科の学習指導要領における放射線学習の扱いの変遷

- 1994 任意団体として設立
- 1998 第1回放射線教育国際シンポジウム
- 2000 NPO法人化 (1998 特定非営利活動促進法成立)
- 2001 教職員対象セミナー企画・運営 (~2009、全国各地、毎年10回)
- 2005 放射線教育に関わる要望書を文部科学省へ政策提言
- 2007 中学校学習指導要領改訂⇒放射線学習復活 (30年ぶり)
- 2011 3.11 事故 放射線副読本登場 中学校放射線授業再開
- 2013 放射線授業支援活動開始 (~2017)
- 2017 中学校学習指導要領改訂⇒放射線授業拡充
- 2018 中学校教育教材 放射線学習用のDVD教材企画

表1 放射線教育フォーラム活動の略年譜



図2 3.11 事故発生4か月後の読売新聞トップ記事

故を踏まえた教科書記述が登場したのは2016年度だったが、風評被害の社会的な影響は依然として大きく、授業実践に影響を与えつづけたと考える。このため、文部科学省は放射線教育における科学的な理解を重視する学習指導を行うこととなった。

放射線教育フォーラムはこの状況の変化に対応して、NPOに相応しい迅速さには欠けたが、それまでの専門家主導による教育活動を見直して、学校教員の主体的な授業実践を促す活動への転換を目指し、2013年度から学校における放射線授業の支援活動を開始した⁶⁾。この活動内容は後段で詳しく述べる。2016年には第5回放射線教育国際シンポジウムを日本科学技術振興機構(JSO)、福島県、及び郡山市の協力を得て開催した⁷⁾。

2017年には、中学校の学習指導要領改訂によって、事故後の風評被害を踏まえた放射線の科学的な理解が重視された結果、従来の社会科的な脈絡ではなく、理科本来の脈絡での放射線学習指導が中学校2年に登場した。2018年には、放射線教育フォーラムが学習指導要領を踏まえて放射線授業に活用できるDVD教材「Rの正体」を企画した。

2. 3.11 事故後における放射線授業実践の背景⁶⁾

これまで、中学校における放射線学習指導要領の変遷を背景に、放射線教育フォーラム設立後の活動概要を述べてきたが、ここでは、3.11事故が中学校の理科授業の現場にもたらした影響及び放射線教育フォーラムが選択した授業支援の取り組みについて述べる。

中学校理科の放射線授業は30年間の空白を経て2011年度に復活した。しかし、その復活の直前に起きた3.11事故は授業実践の難しい状況をもたらした。3.11事故後における中学校理科の放射線授業実践の背景を図3に示す。背景には様々な要因が関わるが、結果として教員の授業実践への戸惑いとためらいを引き起こした。放射線授業が30年間無かったため、多くの理科教師には放射線についての学習と教育の経験がなかった。このため、原子力発電や放射線に関わる豊富な記述内容を自己研鑽で学ぶだけでは、授業実践に向けての正しい理解を得ることが



図3 3.11 事故後における放射線授業実践支援の背景

難しかった。加えて、3.11事故による放射性物質の環境への大量放出によって引き起こされた社会的混乱を背景に、保護者や地域住民の疑念や不安の圧力にさらされるとともに、科学的根拠の希薄な風評にもさらされて、放射線に関わる授業実践をためらう空気が生まれた。もう一つは、専門家の役割の問題である。従来からよく見られた専門家による一方向性の情報提供は、限られた授業時間内で生徒の理解を深めなくてはならない授業の実践には効果的ではなかった。こうした様々な困難な背景のもとで多くの教員が放射線の授業を始めることを躊躇した。

しかし、このような困難な背景にもかかわらず、放射線授業に熱意ある教員が少数ではあるが存在した。そのような教員と出会って、授業経験を共有・発信することで、授業実践に取り組もうと考えている多くの教員に手がかりを提供し、やる気を起こさせる先駆的な授業実践事例を足掛かりにして意見を交換することを通して、当フォーラムの専門家や支援ボランティアは熱意ある教員と協力関係を築きたいと考えた。目標は、支援活動の輪が放射線授業を試みたいと考えている多くの教員ともつながるように3つのグループのネットワーク(図4)を構築することである。

これら3つのグループが意見を直接的に交換し合える場としては、公開パネル討論が相応しいと考えた。多くの教員をNPOの支援活動のネットワークに取り込むことは容易ではないが、いくつかの先導的な授業実践報告とそれらに基づくパネル討論などから構成される公開イベントを企画した。

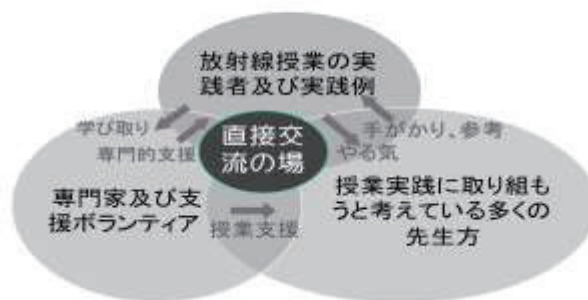


図4 放射線授業実践の支援活動の取り組み方

3. 授業支援に向けた放射線教育

フォーラムの取り組み⁸⁾

中学校での放射線授業の復活とその直前に起きた3.11事故によって、放射線教育の活動方針を大きく変えざるを得なかった。専門家は、放射線授業に戸惑いとためらいを抱いている教員に放射線知識を一方通行的に伝達するという、これまでありがちの情報提供ではなく、教員が自ら考えて放射線の授業を実践できるように、手助けをする役割も担うことが求められた。そのためには、支援活動の前提として、生徒や保護者と向き合っている学校現場、カリキュラムや授業時間の制約、理科と他教科のつながりなどへの幅広い理解が大切である。

授業支援のNPO活動を具体的に進めるための財源や人材についても、多くの課題に直面した。フォーラム設立の当初は、全国各地の多数の団体、専門家、支援者などが入会した結果、豊富な会費収入に加えて、行政からの事業委託によって、教員への情報提供活動を全国的に展開できた。しかし、放射線学習指導の復活とともに、放射線教育のための事業委託は無くなり、文部科学省からの資金調達は間接的なルートを通しても難しくなった。加えて、3.11事故の発生後は放射線教育フォーラムを脱退する会員の急増によって会費収入が激減したので、事業継続のための諸経費の徹底した節減によって活動資金の捻出に努めた。

しかし、会費収入だけでは、新たな放射線授業支援のニーズに応えるのは難しかったので、支援活動の実現に向けて2つの方策を採った。ひとつは公開パネル討論会の企画を通商産業省資源エネルギー庁に提案することで、放射線教育フォーラム主催のイベント実施のための資金を調達した。もう一つは公開パネル討論会の企画提案を他の公的団体が主催する学術イベントの中の催しとして採用してもらった。支援活動の人材については、行政から自立しているNPOとしての強み、及び高齢ながら専門知識と熱意をもつ多数のボランティアの存在を活用することとした。

4. 放射線授業支援活動としての公開パネル討論^{8), 9)}

公開パネル討論会の構成は、前半が全国各地域からの数件の授業実践報告とイベントのテーマに相応しい専門家による基調講演、後半がそれらを踏まえた報告者や基調講演者をパネリストとするパネル討論であった。各イベントのテーマは意見交換に相応しい放射線教育の話題を毎回選んで、2013年から2017年までの5年間で9回の公開パネル討論を開催あるいは企画した。

公開パネル討論会は2つのシリーズに分けられる。一つは東京慈恵医科大学の講堂で4回開催したフォーラム主催の「いまやる、放射線教育」シリーズである。このシリーズを含めたフォーラム主催の開催実績を表2に示す。毎回100名前後の参加を得て、活発な意見交換の場が実現できた。このシリーズの最初のイベントは3.11事故から2年半後の2013年11月に、基調講演者にルイ・パストゥール研究所の宇野賀津子氏を招いて、放射線の健康影響をテーマに開催した。図4は2015年11月に新しい教科書をもとにした授業づくりをテーマに慈恵医科大学で開催した公開パネル討論会場の一場面である。授業実践例を報告した福島、山形、東京、愛知、大阪

表2 放射線教育フォーラム主催の公開パネル討論シリーズの開催実績 (於東京慈恵医科大学)

時期	実践事例報告者の地域	テーマ	基調講演者
2013	福島 北海道 広島 長崎 東京	放射線の健康影響	宇野賀津子(ルイ・パストゥール研)
2014	福島 北海道 宮城 福井 鳥取	放射線の利用	小林泰彦(原子力機構)
2015	福島 山形 東京 愛知 大阪	教科書に基づく放射線授業づくり	畠山正恒(聖光学院中学校・高等学校)
2016	福島 栃木 東京	中学校3年間につきたい力	野内頼一(文部科学省)
2017	愛知	理科と社会科の授業づくりを考える	伊藤周広(経済産業省)

に行うため、各実践報告に対して来場者から寄せられた質問をパネル討論のために色分けして、図左下のパネルに貼付された。パネル討論のファシリテータは、これら質問票をもとにフロアからの意見も交えて、教科書の放射線記述に基づいた授業づくりに向けて、パネル討論を進めた。その結果

をもとにして、当時の中学校3年の最終学期だけでなく、中学校3年間の授業期間を通して実施できる放射線授業プラン(後述)を立案した。

東京大学で開催されたもう一つのパネル討論シリーズ「北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開」の開催実績を表3に示す。このシリーズは、放射線教育フォーラムが企画し、日本アイソトープ協会が毎年7月に主催するアイソトープ・放射線研究発表会のなかの一般公開の催しとして、2013年から2016年まで4回実施した。このシリーズの最初の公開パネル討論は3.11事故の2年後の2013年に実施し、全国において最も先進的な

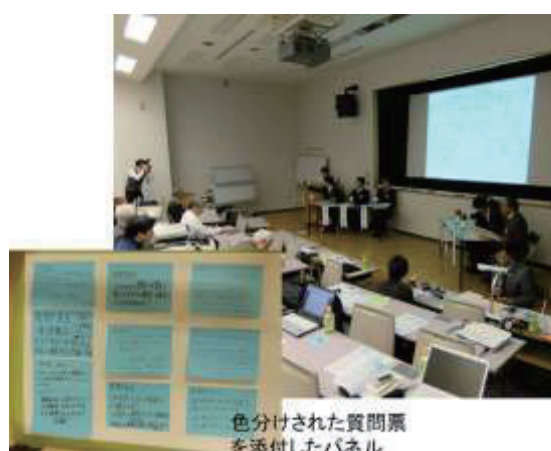


図4 公開パネル討論「今やる、放射線教育III」会場

放射線授業の実績を持っていた福島県における模範的な授業実践例を中心に、討論テーマを換えて毎年開催した。

表3 公開パネル討論シリーズ「北から南から福島を踏まえた放射線教育の全国展開」の開催実績

開催時期	実践事例報告者の地域	テーマ	基調講演者
2013. 7	福島(2件)、北海道、山梨、福岡	放射線授業実践	高島勇二(全国中学校理科教育研究会)
2014. 7	福島、茨城、愛知、奈良	放射線授業実践	清原洋一(文部科学省)
2015. 7	福島、東京、徳島、長崎	新教科書における放射線記述	畠山正恒(聖光学園中学・高等学校)
2016. 7	福島、東京、大阪	新教科書によるエネルギー・放射線授業	高島勇二(全国中学校理科教育研究会支援センター)

5. パネル討論に基づく放射線学習提案のまとめ

これまで述べた一連の公開パネル討論のイベントを重ねていく中で、専門家、支援者及び学校教員の間で多くの直接的なコミュニケーションの機会が生まれ、授業支援のネットワークが形成された。また、多くの公開パネル討論会での意見交換の成果をもとに集約した、当時の授業環境下における、放射線学習の在り方について私見を交えて簡潔にまとめると以下ようになる。

- (1) 中学校理科での放射線授業は3年間に分割して実施可能である。3年後半の卒業間際になって、初めて放射線を学習するのは無理があるので、中学1年から放射線に関わる理解を段階的に積み上げ、深めていくべきである。
- (2) 放射線授業における実験学習の有効性を重視すべきである。座学で学習効果を挙げるのは難しいからであるが、霧箱や簡易測定器の配備充実が大きな課題となっている。ただし、多忙な教師にとっては、割当てられた授業時間の制約もあって、実験準備が負担となっている。
- (3) 放射線授業では科学的な理解を重視すべきである。2007年の学習指導要領改訂によって登場した教科書の放射線記述内容は豊富ではあるが、放射線知識が社会科の学習項目のように並べられ、科学的な理解に重点が置かれていなかった。しかし、文部科学省は事故後の風評被害の蔓延に対応して、科学的な理解の重要性を強調し、そのことは2017年の学習指導要領改訂に反映された。

これらのうち、(1)については、1, 2年の理科の各学習単元のなかで放射線にも触れる学習の工夫を通して、放射線についての理解を段階的に発展させ、3年の「科学技術と人間」のエネルギー資源学習へ繋げるというプランである。各学習単元のなかで、放射線の科学的な理解を発展させるのに最も有効な学習単元は2年の「電流」であり、電流の正体が電子の流れであることを学ぶクルックス管学習の延長としてのX線発生学習を通して「放射線の性質と利用」学習へと展開させることある。これは、2017年の学習指導要領改訂における放射線学習の追加が「電流」の単元のなかで実施されたことから明白である。このことから、当フォーラムの授業支援活動で集約された学習提案に合致する方向で放射線教育の改善がなされたと考える。

6. 放射線授業支援としてのDVD学習教材の企画¹⁰⁾

公開パネル討論における意見交換の場では、理科教科書に基づいた放射線授業を、教員が自ら考えて実践できるように支援することが目標である。しかし、理科教科書の豊富な放射線記述に相応しい授業を限られた理科の授業時間の枠内で実践するのは、教員にとって大きな負担であることも指摘されている。教科授業以外の多忙な日常に追われる教員に向けては、授業準備の負担を少しでも軽減させる工夫も形を変えた授業支援であると考ええる。

この支援のニーズに対応するため、学習指導要領に基づいて放射線教育フォーラムはDVD教材「Rの正体～放射線の性質と利用～」を企画した。2017年度に制作されたDVD教材は、本編が20分以下に収められているので、理科の授業のなかに取り込んで活用することも可能である。「Rの正体」は放射線学習の教材として好評を博しており、全国の中学校にその活用は広がりつつある。

この教材は基本的には2007年改訂の学習指導要領に対応して企画されたが、2017年改訂の学習指導要領を踏まえた新しい放射線学習として扱われているクルックス管を使用した真空放電の実験映像も含まれており、新教科書に基づいた放射線授業にも活用できる。

7. まとめと見過ごされ易い課題

10年前の中学校での放射線授業の復活は、3.11事故とそれに続く風評被害と不運にも重なり、放射線授業再開を前にして理科教員の戸惑いやためらいをもたらした。しかし、このことが放射線教育フォーラムによる授業支援活動の大きな動機付けとなった。支援活動は、放射線の健康影響や放射線の利用に関する興味・関心を惹く情報、教科書記述に基づく授業づくりなどをテーマとする公開パネル討論における意見交換を通して行われた。そのなかで、当時中学校3年の後半に集中していた放射線授業を1年から段階的に発展させる提案や放射線の科学的な理解の強調など、放射線学習の在り方も明示された。このことは2017年の学習指導要領改訂における理科本来の脈絡での放射線学習の追加によって、われわれの支援活動の学習提案に合致する方向で放射線教育の改善がなされたと考ええる。これによって、科学的な理解を重視する方向で改善可能な実践環境での放射線授業がスタートしたと考える。

以上、中学校における放射線の理科授業に焦点を当てて述べてきたが、広く義務教育における放射線教育を考えるならば、理科授業のみに着目するだけでは不十分であることも指摘しておく必要がある。放射線という言葉は、小中学校の国語や社会科の教科書にも出てくる。生徒・児童は中学校の理科授業で原子や放射線を学ぶ前に、小学校で「放射線」、「核」、「原子爆弾」という言葉に出会う¹¹⁾。たとえば、中学校3年生の理科で放射線を学ぶ前に、小学校の授業で放射線に対する不安や恐怖感がすでに高まっている。小中学校での国語教科書の扱いは出版社ごとに決められているという。この問題は放射線授業の支援活動において見過ごされ易いということを指摘しておく必要がある。

放射線に関する正しい科学的理解を広めることは、授業支援の重要な役割であるが、国語や社会科などの授業で形成された放射線の偏ったイメージを科学的な理解を深める学習によって修正していくことも、理科学習の重要な課題であると考ええる。

あとがき、謝辞

本報告は第6回放射線教育国際シンポジウムにおける発表論文の和訳をベースとしているが、その内容は放射線教育フォーラムの近年における一連の活動成果の報告でもあり、これまで、学会誌、定期刊行物、勉強会等で断片的には取り上げてきた内容でもある。今回、3.11事故発生後の数

年間にわたる放射線授業支援活動の全体の構図に焦点を絞って、著者の私見も交えて簡潔にまとめさせていただいた。当フォーラムの支援活動については、放射線教育の普及・促進の立場から様々な異なる見方があると思うが、3.11 事故後のNPO活動が置かれた当時の厳しい状況にも目を向け、できる限り客観性を重視したつもりである。

支援活動は現在も継続中であり、当フォーラムの多くの活動メンバーはもちろん、熱意溢れる多くの学校教員の方々、放射線教育支援者の方々などから、多大なご協力をいただいている。そのような全ての方々に遅まきながら感謝する。特に、授業支援活動の要としての役割を担っている当フォーラム会員の宮川俊晴さんには改めて深く感謝する。

参考文献

- 1) 田中隆一, FBNews No. 412, 1-5 (2011)
- 2) 放射線教育フォーラム 6年の歩み (「放射線教育」特集号) (2000)
- 3) 放射線教育フォーラム 2005 年度活動報告 (「放射線教育」別冊), 8-12 (2005)
- 4) 中学生のための放射線副読本「知ることから始めよう放射線のいろいろ」, 文部科学省 (2011)
- 5) 田中隆一, 原子力災害を踏まえた放射線教育の内容について —放射線副読本を中心に—, 東日本大震災と教育, 日本教育学会モノグラフ・シリーズ No. 1, 63 (2013)
- 6) 田中隆一, 宮川俊晴, エネルギー・環境教育研究, 11, 2, 77-82 (2017)
- 7) 長谷川罔彦, 放射線教育, 20, 1, 3-6 (2005)
- 8) 宮川俊晴, 放射線教育, 18, 1, 49-50 (2014)
- 9) 田中隆一, 放射線教育, 18, 1, 53-58 (2014)
- 10) 工藤博司, 放射線教育, 22, 参考資料, 1 (2018)
- 11) 林壮一, 川村康文, 放射線教育, 19, 1, 3-12 (2015)

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

看護師のためのはじめての放射線教育

Practice of Radiation Education for Nurses

緒方良至¹、中村嘉行²¹愛知医科大学(元名古屋大学)、²名古屋大学アイソトープ総合センター分館

Email: yoshimune.ogata@aichi-med-u.ac.jp

(2022年2月23日受理)

要旨

看護師をはじめとする名古屋大学附属病院の医療スタッフを対象に「はじめての放射線実習」を開講した。放射線および放射性物質についての基礎的な講義を行うとともに身の回りの放射性物質を目で見て、音で聴いて実感してもらうプログラムとした。放射性物質が身の回りであることを体験し、また、放射線に対する適切な防護方法を実践により学ぶ機会を設けた。

1. 緒言

現在の医療現場では、一般的な X 線検査、CT 検査、放射線によるガンの治療、IVR(Interventional Radiology、画像下治療)、核医学など、様々な検査や治療で放射線が用いられている。放射線なくして現代の医療は成り立たない。そして、医療分野での放射線の利用は、今後益々増えると予想される。看護師は、医療従事者の中で患者に最も近い職種である。多くの患者は、看護師を信頼し、そして、親しみを感じている。しかしながら、ほとんどの看護師は、放射線について十分な知識を有していないのが現状である。また、看護師は、医療分野だけでなく、原子力災害や放射線災害の際にも、専門職の中で最も被害者に近い立場として適切に対応することが期待されている。現在の日本の看護師養成課程では、放射線防護に関する十分な教育はなされていない。したがって、看護師は放射線について体系的に学ぶ機会がほとんどなく、就職後の教育も不十分である。多くの看護師は放射線について十分な知識がないがために、漠然とした不安を抱いている。

例えば、病室における X 線ポータブル撮影では、看護師が病室の外に逃げることがある。このような行為は、患者、その家族や同室の患者に不安を与える。看護師は、放射線に関する十分な知識を持ち、自分自身の放射線への漠然とした不安を解消する必要がある。それにより、不安のある患者への十分な説明とより良い看護の提供が実現できる。我々は、看護職員を含む名古屋大学附属病院の職員を対象とした放射線教育を実践した。講義だけでなく、できるだけ理解しやすく、印象深くするため、簡単な実験を行った。本稿では、講義・実習の内容および受講生の印象をまとめた。

表1 初心者向け放射線教育プログラム

17:30	オリエンテーション
	事前アンケート・テスト
	講義
	実習 I 放射線の基礎の基礎
	1. 空気中の放射性物質の捕集
	2. 霧箱による放射線の飛跡観察
	実習 II
	1. 距離の逆二乗則
	2. 遮蔽効果
	事後アンケート・テスト
19:30	終了

2. 講義と実習

2.1 プログラム

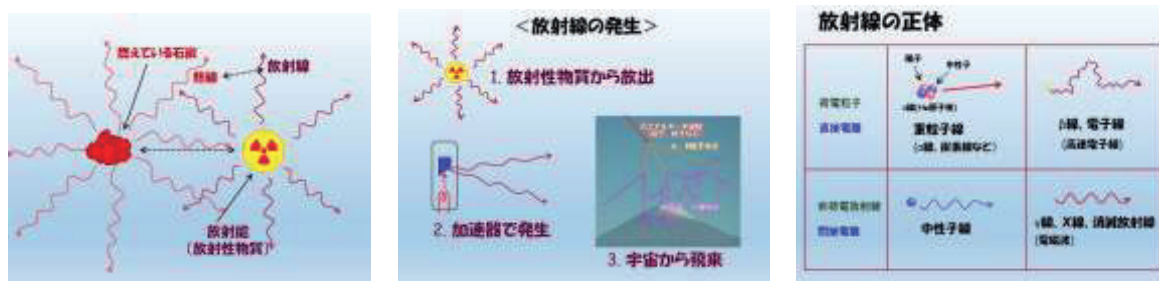
表 1 に本講習のプログラムを示す。病院勤務の職員を対象とし、業務終了後の 17:30 開始、時間も可能な限り短くした。タイトルは「はじめての放射線実習 一身近な放射線を見てみませんか」と初心者に親んでもらうことを念頭にした。座学(講義)だけでなく、目で見て、自分で確かめることにより、理解を進めることを目指した。

2.2 講義

講義の内容は次のとおりである。

1. 放射線の基礎知識
2. 放射線とアイソトープ
3. 放射線防護
4. 放射線とアイソトープの応用
5. 環境中の放射性同位元素

図 1 に、実際に講義で使用されたスライドの例を示す。まず、放射線と放射性物質について説明し、次に、放射線の起源について説明した。放射性物質は、熱線を放出する石炭の燃焼に例えて説明した。放射線は、①放射性物質、②加速器で発生、そして、③宇宙線を起源としている。そして、主な放射線として① α 線などの重粒子線、② β 線などの電子線、③X線・ガンマ線などの高エネルギー電磁波、④中性子線の 4 種類があることを説明し、それぞれの特徴を説明した。さらに、放射線被ばくには、外部被ばくと内部被ばくがあることなど放射線防護について説明した。外部被ばく防護の基本三原則、①遮蔽、②距離、③時間短縮について説明した。また、内部被ばくの 3 経路、即ち、①気道経路による吸入、②口・食道経路による吸飲、③皮膚経路による吸収を説明し、それぞれの防護方法を説明した。



(A) 燃えている石炭と放射性物質 (B) 放射線の発生 (C) 主な放射線の正体

図 1 講義に用いたスライドの例

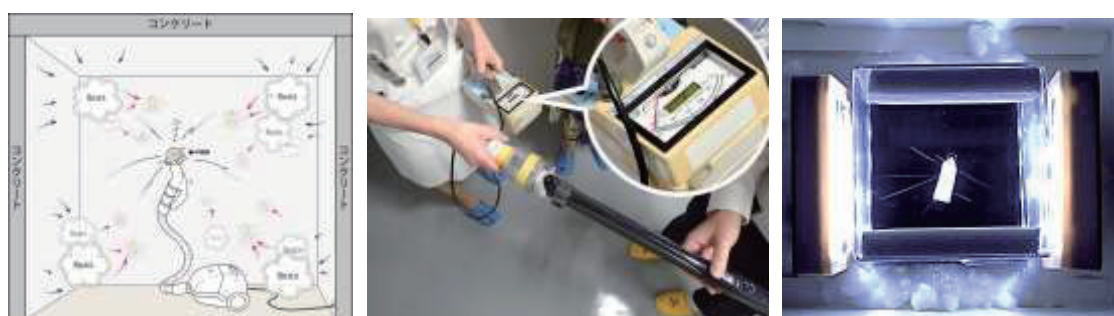
2.3 実習

実習は、次の 3 項目を行った。

1. 大気中の自然放射性同位元素の捕集と観測
2. 距離効果
3. 遮蔽効果

2.3.1 大気中の自然放射性同位元素の捕集と観測

最初の実験では、掃除機を用い、20 分間、不織布上にエアロゾルを捕集した (図 2 (A))。エアロゾルには、トリウム系列およびウラン系列に起因する希ガスのラドン(Rn)由来の子孫核種が含まれている。まず、GM サーベイメータで不織布を測定した (図 2 (B))。指針が振り切れることを目で見、また、「ピピピピー…」という放射線の検出音を耳で聴いた。受講生らは、わずか 20 分の吸引でも



(A) エアゾルの採取 (B) GM 管による計測 (C) 霧箱による観察

図2 大気中の自然放射性同位元素の観測

自然界の放射性物質を観察するに十分な量、捕集できることを目と耳で体験した。さらに、この不織布を霧箱に入れ、アルファ線の飛跡を目の当たりにした (図2(C))。

2.3.2 距離効果

次の実験は、距離効果の確認であった (図3(A))。線源とサーベイメータ間の距離を変化させて線量を測定した。各自、結果を両対数グラフ用紙にプロットし、線量が距離の逆二乗の法則に従って減少することを確認した (図3(B))。

2.3.3 遮蔽効果

最後の実験は遮蔽効果であった (図4)。 ^{129}I と ^{137}Cs の2種類の線源を用いた。 ^{129}I から放出される光子のエネルギー (~30 keV) は、診断用 X 線管からの光子エネルギーと同等である。一方、 ^{137}Cs から放出される光子のエネルギー (662 keV) は、陽電子放出による消滅放射線のエネルギー (511 keV) に近い。受講生は ^{129}I からの放射線が鉛当量 0.3 mm の鉛エプロンによって容易に遮蔽できること、そして ^{137}Cs からの放射線は、ほとんど遮蔽できないことを実感した。受講生は、この実験で診断用 X 線装置において鉛エプロンは効果があることを認識した。しかしながら、ガンや認知症の診断に用いられる PET 検査 (Positron Emission Tomography、陽電子放出断層撮影検査) で用いられる陽電子消滅に伴う消滅放射線の防護に鉛エプロンは効果がないことも確認できた。

以上の講義と実習で、外部放射線防護の3原則、①遮蔽、②距離、③時間に関し、状況によって適切な防護の手段を選ぶ必要があることを示した。

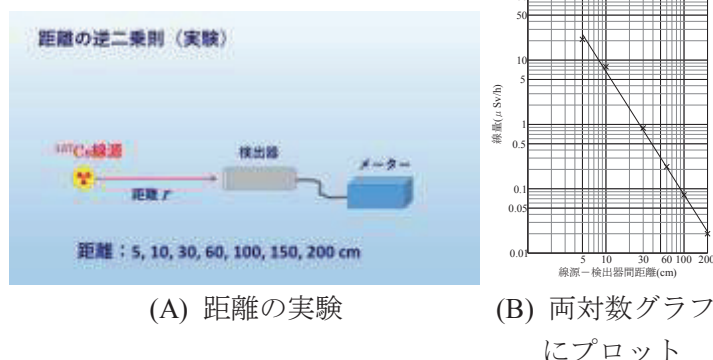


図3 距離の逆二乗則の実験

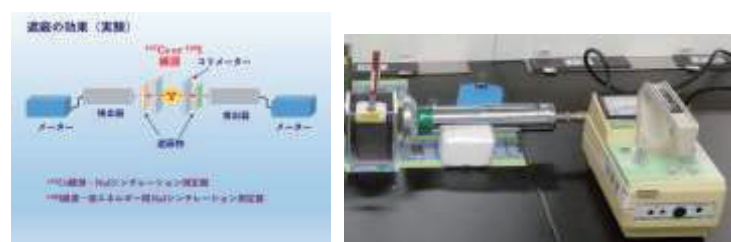


図4 遮蔽効果の実験

3. 受講前後のアンケート

本講受講前後での受講生の放射線に関する意識の変化をアンケートで調査した(表2)。母数が6と少ないため統計的解析はできないが、傾向を知ることができると思う。最初の問は「放射線は怖い？」であった。受講前、ほとんどの受講生は「放射線は怖い」と感じていたが、受講により不安が軽減された。次の問は「放射能汚染が疑われる患者に対応できるか？」であった。これは、原発事故が起これ、避難してくる方々への対応ができるか否かの意識を問うものである。受講前は自信がない方が多かったが、受講後、多少改善した。3番目の問は「職場での放射線被ばくの問題」であった。受講前は、ある程度恐れていたが、受講後、不安は減少した。4番目の問は「自然界の放射性物質について」であった。受講前、ある程度知っていたが、受講後、体感することができた。最後に「本日の講習の印象」を訊ねたところ、「大変良かった(5名)」「良かった(1名)」と好印象で、「このクラスは今後も続けていくべき」との意見が寄せられた。

表2 講習会前後のアンケート

受講前		受講後	
問1			
「放射線を怖い」と思いますか？		「放射線を怖い」との思い	
意識	人数	意識	人数
非常に思う	0	不安解消した	3
思う	4	少し軽減した	3
少し思う	2	変化無し	0
あまり思わない	0	少し悪化した	0
全く思わない	0	凄く悪化して怖い	0
問2			
放射能汚染が疑われる患者の対応について「自分は大丈夫」と思いますか？		放射能汚染が疑われる患者の対応について「自分は大丈夫」との思い	
意識	人数	意識	人数
非常に思う	0	そう思う	0
思う	0	少し思えるようになった	6
少し思う	1	変化無し	0
あまり思わない	2	少し悪化した	0
全く思わない	3	自信喪失した	0
問3			
日頃「自分は放射線被ばくの不安はなく、安心して勤務できている」と思いますか？		「自分は放射線被ばくの不安はなく、安心して勤務できている」との思い	
意識	人数	意識	人数
非常に思う	1	そう思う	0
思う	1	少し思えるようになった	6
少し思う	2	変化無し	0
あまり思わない	2	少し悪化した	0
全く思わない	0	全く思えなくなった	0

問4

自然界には何処にでも放射性物質があることを知っていましたか？

自然界には何処にでも放射性物質があることが理解できましたか？

意識	人数	意識	人数
当然知っている	1	よく理解できた	5
知っている	4	理解できた	1
少し知っている	0	少し理解できた	0
あまり知らない	1	あまり理解できなかった	0
全く知らない	0	全く理解できなかった	0

4. 考察

本講は、主な対象を「看護師」としていたが、看護師の参加は残念ながら1名のみであった。その他、事務職員4名、医師1名、病院外の放射線関係者1名であった。事務職員の方々が興味を示していただいたのは良かったと考える。病院外の放射線関係者は、放射線の専門家であり、本講の教育手法を参考にすることを目的として参加されたため、アンケート集計から外した。

多くの受講生が、本講習に良い印象を持ったことは、主催者として喜ばしいことであった。特に気を遣ったのは、内容をかみ砕いて説明するとともに講義だけでなく実験を行うことであった。「放射線を見る、実感する」ことが放射線および放射性物質を理解するのに役立つと考えた。この実習は、設備の整った施設でできるものである。看護師らは、看護師養成課程で放射線を利用した診断・治療に関しある程度の教育を受講している。しかし、多岐にわたるカリキュラムの中の一部であり、国家試験での出題頻度は少ない。病院での勤務に際しては、放射線管理区域に立ち入る前に教育を受けることが義務づけられている。しかしながら、多忙な業務に追われながらの教育で、充分身につけているとは思えない。我々が本講習で目指したのは身の回りの放射線を目で見て、音で聴いて体感することにより放射線を理解して貰うことである。

放射線と放射性物質は病院で頻繁に利用されている。病院のスタッフは、放射線と放射性物質の性質に関して知識を有し、また、患者に説明する必要がある。そして、的確な放射線防護について理解している必要がある。本講習は、放射線の理解に少しでも貢献できることを目指した。残念ながら、昨年は新型コロナの感染拡大により講習を行うことができなかった。今後も機会を見て放射線教育の実践を行う所存である。

5. 結語

病院に勤務するスタッフに、放射線・放射性物質についての基礎的知識を学び実感する機会を設けた。放射性物質が身の回りにあること、また、放射線の適切な防護方法について講義と実習の機会を設けた。

参考文献

1) 中村嘉行、緒方良至、附属病院向けのはじめての放射線実習、*Tracer* **67**, 9-13 (2020).

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

クルックス管プロジェクトの歩みと着地点

Health Physics Education and Certification in the United States

秋吉優史

大阪府立大学

Email: akiyoshi@riast.osakafu-u.ac.jp

(2022年2月24日受理)

ISRE 2021 で講演をした内容は既に放射線教育誌上で詳細な発表を行っており¹⁾、クルックス管プロジェクトでこれまでに検討をした具体的な内容については繰り返すことになるため割愛する。本稿では、前稿で書き漏らした内容の補足と、プロジェクトとしてのこれまでの歩みと、今後の進め方、着地点について紹介をする。

クルックス管プロジェクトは2017年にスタートし、放射線教育関係者、放射線計測の専門家、学校教員、理科教材販売会社から、さらには文部科学省、大阪府教育庁、東京都教育庁などの行政各方面からの協力も得ており、有志による任意団体として活動を進めてきた。2019~2020年度には日本保健物理学会の専門研究会として認められており、すでに専門研究会としての活動は終了したが現在でも任意団体として存続している。

まず、実験室ベースでの電圧、電流、線量、エネルギースペクトル、距離依存性、透過率、空間分布などを評価してきた。当初は低エネルギーかつパルス場の測定とすることで正確な線量を測定する行うこと自体困難であったが、低エネルギーX線に対して校正された電離箱での線量率測定に加えて、蛍光ガラス線量計やOSL線量計などの積算型の固体線量計を使用することにより、信頼できる測定を行える体制を確立した。また、印加電圧と出力されるX線のピークエネルギーはよく一致しており、クルックス管を構成するガラス管に対する透過率がわずかなエネルギーの変化により大きく異なるため、わずかな印加電圧の上昇が大きな漏洩線量増加に繋がることなどが確認された²⁾。

並行して、法令、規制、線量評価などを検討し、X線装置の定義が存在しないことの確認、国内法令に於いて平常時の一般公衆に対する実効線量限度が存在しないことの確認、ICRPのソウル声明により眼の水晶体に対する等価線量限度が引き下げられたが一般公衆に対しては15mSv/年のままであり、いずれにしても国内法令には取り込まれていないこと、低エネルギーX線の不均等被ばくの場合の実効線量評価手法は確立されていないことなどを確認をした。

2018年には、実際にクルックス管を使用している学校へガラスバッジを郵送し、統一プロトコルでの測定を行ってもらうことで、教育現場の実態を調査した。その際、誘導コイルの出力などの設定は実際に授業でクルックス管の演習実験をする際の設定としてももらった。この第一期の実態調査では、全国の中学校、高校の38本のクルックス管を測定した。その結果、10分間、クルックス管表面からの距離1mにおける70 μ m線量当量(距離15, 30, 50cmでの測定からの外挿で評価)は31本で100 μ Sv以下となり、うち、18本は15cmの距離でも検出限界(50 μ Sv)以下となった。なお、十字入、スリット入の電場、磁場偏向型、羽根車入などタイプの違いは区別しておらず、生徒が観察する距離が1m以内であった学校も存在したが、全て距離1mで評価した。ほとんどの装置で十分に低い線量に留まっていたが、1本だけ、誘導コイルの放電出力を最低に設定しているにもかかわらず

1 m の距離 10 分間で 70 μm 線量当量が 600 μSv に達する装置が見いだされた。この装置については追加調査を行い、放電出力を小さく設定していても、封入ガス圧が小さくなり放電が起りにくいクルックス管については誘導コイル側が電流を流そうとして電圧が意図せずに上昇してしまい、電流は小さくても高いエネルギーの X 線が発生するため漏洩線量が大きくなるとの結論に至った。これを防ぐためには誘導コイルの放電極間距離の制御が必要であり、放電出力を最低に設定した上でクルックス管表面から 30 cm の距離で電離箱により測定した線量率は、放電極間距離 30 mm では 2 mSv/h であったが、50 mm に広げると 30 mSv/h に上昇する一方、20 mm に縮めると 40 $\mu\text{Sv/h}$ にまで大幅に低減された。ただし、放電極間距離を縮めると放電極間での放電が激しくなり、クルックス管に流れる電流が小さくなるため電子線の観察は困難になった。これは、電流が流れにくいクルックス管に対して、放電極が安全回路として働き、それ以上電圧が上昇しなくなっていることを意味している。放電極間 20 mm は空気中での放電電圧約 20 kV に相当し、これ以上縮めると湿度などの条件によってはクルックス管に電流が流れず放電極間で激しく放電することになるため、放電極間 20 mm を一つの目安とした³⁾。

この 2018 年度の第一期実態調査を基に、放電極間距離 20 mm、放電出力は観察が可能な範囲で最低に設定、観察距離は 1 m、観察時間は年間で 10 分以内という暫定ガイドラインを設定した。この暫定ガイドラインについて、2019 年度に実効性の検証を第二期実態調査という形で行った。暫定ガイドラインに従って評価した 191 本の装置のうち、187 本の装置についてはクルックス管表面から観察者までの距離 1 m、10 分間の実効線量が、国際的な免除数量である 10 μSv 以下に抑制されていることが確認された。なお、測定は装置正面で表面からの距離 20 cm に設置したガラスバッジに 10 分間照射した後の 70 μm 線量当量評価で実施しており、距離 5 倍で線量 1/25 にした後、暫定的・保守的な値に（平面的な広がりは無視、20 keV では水 1cm で半分に減弱し 1cm 線量当量と実効線量の比 1/5 を基に、70 μm 線量当量測定値の 1/10 を実効線量とした）換算した。最も線量の高い装置でも 42 μSv であり、ICRP Pub36 で示されている個々の授業での線量拘束値 50 μSv を下回っていた。実際の授業では個々の授業に於いて生徒が 10 分間もクルックス管を観察することは無く、教員については複数回の授業を実施することもあるが、ICRP Pub36 で示される年間の線量拘束値は個々の授業の 10 倍の 0.5 mSv であるため、確認できた範囲では暫定ガイドラインによって安全が確保できると言うことが出来る⁴⁾。

さらに、全ての学校の装置についての確認するための箔検電器によるスクリーニング手法の開発を行った⁵⁾。また、日本科学技術振興財団から無償で貸し出され、校正されており同一条件での評価が可能な Kind-mini 線量計⁶⁾ によるスクリーニング手法も開発中である。またふるさと納税制度により寄付が可能な大阪府立大学のつばさ基金制度を活用した「放射線教育振興プロジェクト」⁷⁾ により 2020 年度に OSL 線量計読み出しシステム(長瀬ランダウア社製 Micro Star)を導入しており、スクリーニングにより高い線量が予想された場合の正確な線量評価を随時行う体制が整備されている。

現在、2019 年度に実施した第二期実態調査結果を日本保健物理学会英文誌に投稿準備中であり、学術的に認められた時点で公益社団法人日本理科教育振興協会(理振協会)から注意喚起の通知を出してもらい、それを受けて全国中学理科教育研究会(全中理)から全国の支部の教員に周知することを検討している。またそれに先立ち、2021 年度から全面実施となった新学習指導要領に基づいた教科書に対する教師向けの指導書が 2021 年春に販売となっているが、日本で中学校理科の教科書を出版している 5 社のうち 4 社に於いて、実験上の注意点として特集記事を執筆し、掲載頂いている⁸⁻¹¹⁾。

国際的にも、IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Radiation Safety in the Use of Sources in Research and Education, Draft safety guide No.DS470 の、ANNEX I USE OF RADIATION SOURCES IN SECONDARY SCHOOLS においてクルックス管が言及されており、電圧と漏洩線量の関係に関する論文²⁾が引用されている。この論文は日本放射線安全管理学会英文誌に投稿したものであり、この論文に対して学会賞（研究奨励賞）が授与され、2020年12月9日の日本放射線安全管理学会第19回学術大会に於いて受賞講演が行われ、広く放射線安全管理関係者に周知された。また、2021年4月17日に開催された放射線安全フォーラム第68回放射線防護研究会に於いてはIAEAのHead of Radiation Safety and Monitoring Section である Miroslav Pinak 氏に対して、日本からのコメントとして教育現場におけるクルックス管の課題について招待講演があり、クルックス管から出る X 線に対する放射線防護上の考え方の説明した。2023年にはICRPのシンポジウムが日本国内で開催されるため、ICRP Pub36 のアップデートの提案など、当プロジェクトの成果の社会実装を検討する。

残された課題として、体内での侵入深さにより強度が大きく変化する 20 keV 前後の低エネルギー X 線に対する実効線量評価について、評価手法が確立されていないという点が挙げられる。点線源と見なせる放出源からの、実測のスペクトルを元にした X 線が人体に入射した場合の実効線量を PHITS コードにより計算し、実測の 70 μm 線量当量からの実効線量への換算をより実態に近くする試みを行う必要がある。さらに学校教育現場でのスクリーニングに於いて高い線量が漏洩している恐れがあると見なす判定基準について議論する必要がある。これらの課題を解決した後に、日本保健物理学会の放射線防護標準化委員会において、測定法、運用法、実効線量評価手順、スクリーニング手法ならびに Q&A をとりまとめて、学会標準としてとりまとめる予定である。

参考文献

- 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, 23-32 (2019).
- 2) Do Duy Khiem, Hirokazu Ando, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi, Investigation of Low-energy X-ray Radiated from the Crookes Tube Used in Radiological Education, Radiation safety management, 18, 9-15 (2019).
- 3) Masafumi Akiyoshi, Duy Khiem Do, Ichiro Yamaguchi, Tomohisa Kakefu, Toshiharu Miyakawa, Radiation Safety Exploration Using RPL Dosimeter for Crookes Tubes in Junior and Senior High School in Japan, Journal of Radiation Protection and Research, 46, 106-111 (2021).
- 4) 秋吉 優史, クルックス管プロジェクト第二期実態調査による暫定ガイドライン実効性の検証結果報告 ～生徒、教員の安全確保に向けて～, 放射線教育フォーラムニュースレター, 76, 4-5 (2020).
- 5) 森 千鶴夫, 緒方 良至, 秋吉 優史, 臼井 俊哉, 村上 浩介, 羽澄 大介, 中村 嘉行, 渡辺 賢一, 瓜谷 章, 神谷 均, 宮川 俊晴, 田中 隆一, 掛布 智久, 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, 69, 1-12 (2020).
- 6) <https://www.radi-edu.jp/about/order>
- 7) <http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/TsubasaFund.htm>
- 8) 秋吉 優史, 巻頭特集 クルックス管の安全管理, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 未来へひろがるサイエンス 別冊安全ハンドブック, 8-11, 新興出版社啓林館 (2021).
- 9) 秋吉 優史, 参考 クルックス管の安全な取り扱いについて, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 理科の世界 2 指導・解説編, 342-343, 大日本図書 (2021).
- 10) 秋吉 優史, クルックス管の安全な取り扱いについて, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 新しい科学 中 2, 454-457, 東京書籍 (2021).

- 11) 秋吉 優史, クルックス管を用いた実験の注意点, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 中学理科 2 学習指導編 (学習評価/観察・実験), 150-151, 教育出版 (2021).

【第6回放射線教育国際シンポジウム特別講演(和訳)】

放射線や放射性物質に対する市民の不安に放射線科専門医 がどのように応えるべきか？ —e-ラーニングシステムの有効活用—

How Can Radiologists Mitigate the Public's Fear of Ionizing Radiation and Radioactive Materials? — The Usefulness of an E-learning System —

大野和子

京都医療科学大学

Email: kakochan@kyoto-msc.jp

(2022年2月26日受理)

新型コロナウイルスの感染拡大によりリモートで発表した講演内容を報告する。「放射線科専門医が市民の放射線不安軽減のために作成した教育資料」について紹介した。

2011年の原発事故後はSNS上に多種多様な情報が溢れ、人々はその洪水に溺れそうになっていた。具体的な市民の不安要因を調査する目的で、資源エネルギー庁、放射線影響学会、日本保健物理学会、厚生労働省、首相官邸、食品安全委員会、放射線医学総合研究所、放射線影響研究所、日本核医学会、日本医学放射線学会、日本産婦人科学会の各ウェブサイトにて2011年3月から翌年11月の間に掲載されたQ&Aを収集し分析した。全372件のQ&Aのうち「健康影響」が42.3%と最も多く、「食品」が22.8%、「放射線知識」が22.2%、「妊婦・小児への影響」が12.7%であった。

具体的にみると、「健康影響」では放射線の安全性に関する内容が4割、「食品」の項では飲料水関係が2割、「放射線知識」では「専門用語」に関するものが4割を占めた。放射線に関する基礎的な知識不足・情報不測が原因と考えられた。同じ



図1 各種e-ラーニング



図2 詳しく学ぶためのデジタルブック

頃、必要な放射線検査を拒否する患者やLNTモデルを誤用して原発事故による将来の推定がん志望者数を公表する医療関係者の存在が医師の間で問題となっていた。そこで、放射線科専門医、放射線生物の研究者らが協力してチームを作り

2011年~2016年の6年間にわたって、全国各地で市民を対象とした勉強会を開催し、その経験をもとにして一般市民、防災関係者、医療関係者用の3種類のeラーニング教材を作成した(図1)。教材の最後には確認テストを設け各自が理解度を客観的に評価できるように配慮した。これらのeラーニング教材で学習した人々がより詳しく学ぶために、図2に示すような、一般市民、防災関係者、医療のデジタルブックも作成した

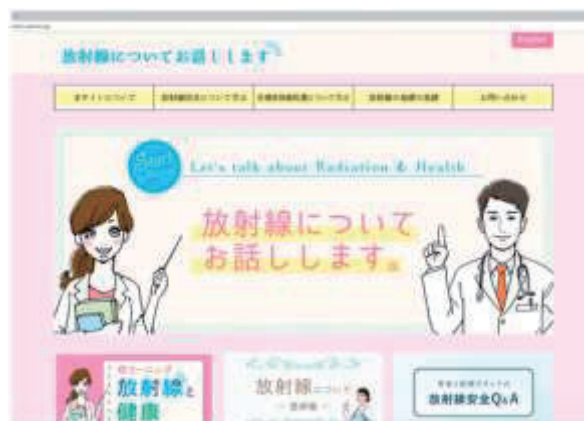


図3 放射線教育のポータルサイト

[環境省原紙力災害影響調査事業(放射線の健康影響に係る研究調査事業)]。関係資料は全てポータルサイト「放射線についてお話しします」(<https://radiation-protection.jp>) に日本語と英語で掲載している(図3)。

原発事故から10年が過ぎ復興は進んでいるが、気候変動や不安な世界情勢不安によりエネルギー問題への関心がこれまで以上に高まっている。正確な情報や知識に基づいて自ら判断する力を学生たちが持つためにも、このサイトを自由に活用いただき、放射線教育に貢献できればと願っている。

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

広島原爆の中性子線量再評価のための速中性子反応により 生成した⁶³Niの測定

Measurement of Fast-neutron Product of ⁶³Ni for Reassessment of Neutron Dosimetry of the
Hiroshima Atomic Bomb

柴田 誠一

NPO 法人 放射線教育フォーラム

一般財団法人 放射線利用振興協会

京都大学名誉教授

(2022年1月31日受理)

1. はじめに

この研究は、筆者が東京大学原子核研究所(核研)に所属していた1990年代に開始し、その後、京都大学原子炉実験所(現、複合原子力科学研究所)に異動して後に完了した。ここではその概要を紹介する。

1990年代の初め、核研は大型ハドロン計画と呼ばれた将来計画の実現へ向けて努力していた。(この計画は大きく形を変えJ-PARCとして実現している。)そして、この計画の推進の一環として、運転を終了して10年程経過していた古い加速器(FM/FFサイクロトロン)が設置されていた建屋を、この計画のため新しい加速器を入れる建屋として整備することが決定され、FM/FFサイクロトロンを解体することになった。この解体にあたって、筆者が所属していた学際研究室では、サイクロトロン本体及びその周辺の残留放射能を測定し、放射化の程度を評価する作業を開始した。最終運転時から10年が経過していたが、その材質から、半減期5.27年の⁶⁰Coの γ 線は容易に検出でき、サイクロトロンの各部位の残留放射能分布を求めることができた。⁶⁰Coのほか、材質と半減期から⁵⁵Fe(半減期:2.73年)、⁶³Ni(半減期:100年)の測定も行った。⁵⁵Feは軌道電子捕獲壊変核種で γ 線を放出しないためX線(5.9 keV)の測定をSi(Li)検出器で、⁶³Niは β 壊変核種で同様に γ 線を放出しないため β 線(最大エネルギー:67 keV)の測定を液体シンチレーションカウンターで行った。この⁶³Niの測定のために、銅試料からニッケルを分離するための化学分離法を新たに開発した。サイクロトロンの各部位での残留放射能の測定結果から、それぞれの部位に照射された中性子線量の評価が可能になることに注目して検討を進め、原爆の中性子線量評価への応用を研究テーマとして取り上げた。

2. 広島原爆中性子線量の再評価

人への中性子線および γ 線の照射効果は、広島および長崎原爆被爆者の被ばく線量をもとに評価されている。オークリッジ国立研究所(ORNL)と原爆傷害調査委員会(ABCC)により公表された1965年暫定線量推定方式(T65D)では、組織の被ばく線量は原爆実験と原子炉でのシミュレーション実験結果をもとに計算された。しかしながら、このT65Dでは、

実際の白血病のリスクが計算された線量では説明できないことがわかってきた。そこで、主に中性子および γ 線伝播のモデル計算から放射線量を再評価するために 1986 年線量推定方式 (DS86) が公表された。それを受けて、DS86 の中性子線量の計算結果を評価するために、原爆残留放射能の測定が広範に行われた。

図 1 に、広島における爆心からの距離の関数として表した熱中性子反応により生成した ^{152}Eu の測定結果と DS86 による計算結果の相関を示す。この図 1 から、爆心に近いところでは、DS86 による計算値が ^{152}Eu の放射能測定結果より高く、逆に、爆心から 1 km 以上離れたところでは、DS86 による計算値が ^{152}Eu の放射能測定結果より低いということが分かる。つまり、DS86 による評価値と残留放射能の測定値との間には、爆心から近距離では計算値が大きく、遠方では測定値が大きいうような系統的な相違が認められた。残留放射能として測定された放射性核種はほとんどが熱中性子捕獲反応生成核種であり、この問題の解明のためには、 $^{63}\text{Cu}(n,p)^{63}\text{Ni}$ 反応で生成する速中性子反応生成核種 ^{63}Ni の測定が有効であると考えられた。

速中性子誘起反応 ($^{63}\text{Cu}(n,p)^{63}\text{Ni}$) により生成する ^{63}Ni (半減期 100 年) の測定により、現在でも、広島、長崎原爆の速中性子線量の評価が可能である。図 2 に、 ^{63}Ni の壊変図を示す。 ^{63}Ni は β 線放出核種であり、その最大エネルギーは 67 keV である。

原爆被爆銅試料中に生成した ^{63}Ni の測定法としては二つの有効な方法が考えられる。一つは加速器質量分析法による ^{63}Ni 原子数の測定であり、もう一つは ^{63}Ni の壊変により放出される β 線の液体シンチレーション法による測定である。残念ながら、現在、我が国には、 ^{63}Ni の加速器質量分析測定が可能な加速器はない。そこで、我々は、東大核研の FM/FF サイクロトロン解体時に開発した液体シンチレーション法による ^{63}Ni 測定法を改良して適用し、広島原爆被爆銅試料中の ^{63}Ni の測定を行った。

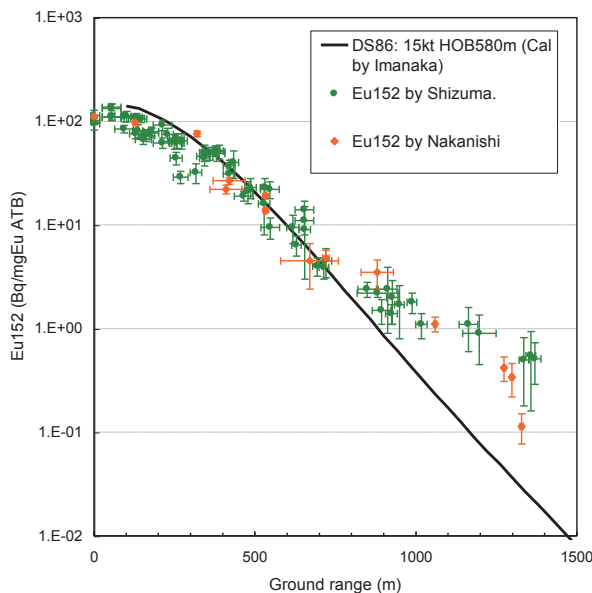


図 1. 広島での ^{152}Eu (半減期 13.5 年) 測定値と DS86 による計算値の比較

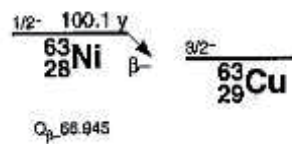


図 2. ^{63}Ni の壊変図
(Table of Isotopes, 8th Ed, 1996)



図 3. 採取された雨樋



図 4. 原爆ドーム試料

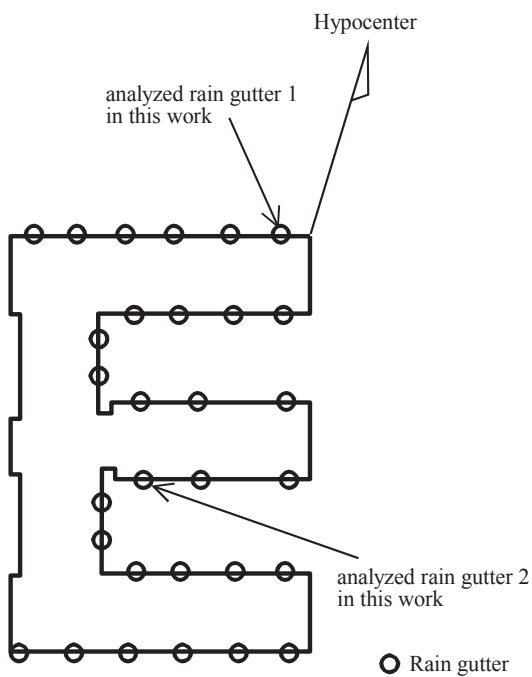


図 5. 雨樋試料 1 および 2 の旧広島文理大建物（平面図）での採取位置

雨樋 1 は地上 3.1 - 6.7 m の位置から採取され、雨樋 2 は 3.0 - 6.25 m から採取された。

3. 試料

本研究で用いられた銅試料は、(i) 旧広島文理大から採取された二つの雨樋試料 (図 3)、(ii) 原爆ドームの屋根部分に使用されていた銅試料 (図 4) であった。(i) の試料のうち一つは、建物の爆心に直接向き合った部分から採取され (雨樋試料 1、爆心からの距離 (slant range) 1501 m) *、もう一つは爆心に対し陰の部分から採取された (雨樋試料 2、爆心からの距離 1550 m)。広島文理大の建物における採取位置を図 5 に示す。また、実験に用いられた雨樋試料に関するデータを表 1 に示す。雨樋試料は、それぞれが溶接された三つの部分からなる。表 1 では、試料の三つの部分をそれぞれ A、B、C と表している。それぞれの銅試料中に不純物として含まれるニッケルの量は原子吸光分析法により定量された。(ii) の原爆ドーム試料 (爆心からの距離 597 m) は、ドームの屋根の外面に使用されていた銅板が原爆により溶解し地上に落下したもので、ドーム敷地内から採取された。この銅試料中に含まれるニッケルの量についても原子吸光分析法により定量された。このドーム

ム試料に関するデータも表 1 に合わせて示す。

表 1. 液体シンチレーション法による ^{63}Ni 測定に用いた雨樋とドーム試料

sample		weight (g)	slant distance (m)	Ni (ppm)	chemical yield (%)
Rain gutter 1	A	1085.04	1501	42	67
	B	935.38		45	64
	C	695.31		31	57
Rain gutter 2	A	1055.40	1550	29	57
	B	1076.87		7	71
	C	686.62		30	56
Dome		13.5	597	1	93

4. 実験

1) 銅試料中からのニッケルの化学分離

^{63}Ni は最大エネルギー 67 keV の低エネルギー β 線を放出する。液体シンチレーション法で、このような低エネルギーの β 線を効率よく測定するためには、化学分離が不可欠である。化学分離に先立って、まず試料の表面のさびを落とした後、銅試料を硝酸と硫酸の混合酸溶液に溶解し、溶液中の銅は、陽極に白金、陰極に銅を用いた定電圧電解法で、陰極に析出させることによりその大部分を除いた。電解後、溶液に水酸化ナトリウム溶液を加えて、ニッケル、コバルトおよび銅を水酸化物として沈殿させ、ろ過した。沈殿を温水で洗浄し、塩酸に溶解した。この溶液を蒸発乾固後、塩酸に溶解し、陰イオン交換カラム (DOWEX 1X8, 100 - 200 mesh) を用いてニッケルを分離した。得られたニッケルフラクションを、ジメチルグリオキシムを用いた溶媒抽出法により精製した。得られたニッケル溶液を蒸発乾固後、希塩酸に溶解し、液体シンチレーション測定のための試料とした。

2) 液体シンチレーションカウンターによる ^{63}Ni の β 線測定

化学分離後、 ^{63}Ni から放出される β 線の測定は東京大学アイソトープ総合センターの低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター (Packard, TRI-CARB-2770 TR/SL) を用いて行った。(i)の雨樋試料の場合、塩化物として得られていたニッケル試料は、測定の前に硝酸塩に変換し、25 %アンモニア水で弱アルカリ溶液とした。この溶液にシンチレーター (クリアゾル I) を加え、液体シンチレーション法による測定のためのカクテルを調製した。この調製法は、雨樋試料のように、数 10 mg のニッケルキャリアが存在する場合、 ^{63}Ni の測定に際し有効な方法である。(ii)のドーム試料については、化学分離により得られたニッケルの塩化物をそのまま純水に溶解し、シンチレーター (クリアゾル I) を加え、カクテルを調製した。

また、液体シンチレーション法による測定におけるクエンチング効果を調べるために、ニッケルのキャリアを 0 - 100 mg (雨樋試料の場合) あるいは 0 - 10 mg (ドーム試料の場合) 含んだ ^{63}Ni の標準溶液 (各標準溶液は 9 Bq の ^{63}Ni を含む) を上記と同様の方法で調製

し、雨樋1および雨樋2あるいはドーム試料、ブランク、 ^{63}Ni 標準溶液について液体シンチレーション法により測定した。測定中の計数のゆらぎは、 ^{63}Ni 標準溶液の測定により、0.3%以下であることが確認された。また、測定中のゲインのシフトによるスペクトルの形の変化はすべての試料について観測されなかった。塩化ニッケルの濃度にもなう検出効率の変化は ^{63}Ni 標準溶液を用いて測定された。雨樋試料に対する検出効率は、解析に用いられたエネルギー領域10–30 keVで24%と評価された。また、ドーム試料については、10–50 keVで55%であった。

5. 結果・考察

雨樋1および雨樋2に対して得られた β 線スペクトルをそれぞれ図6(a)、(b)に、ドーム試料のスペクトルを図7に示す。図6および図7の実線、点線、黒丸は、それぞれ試料、ブ

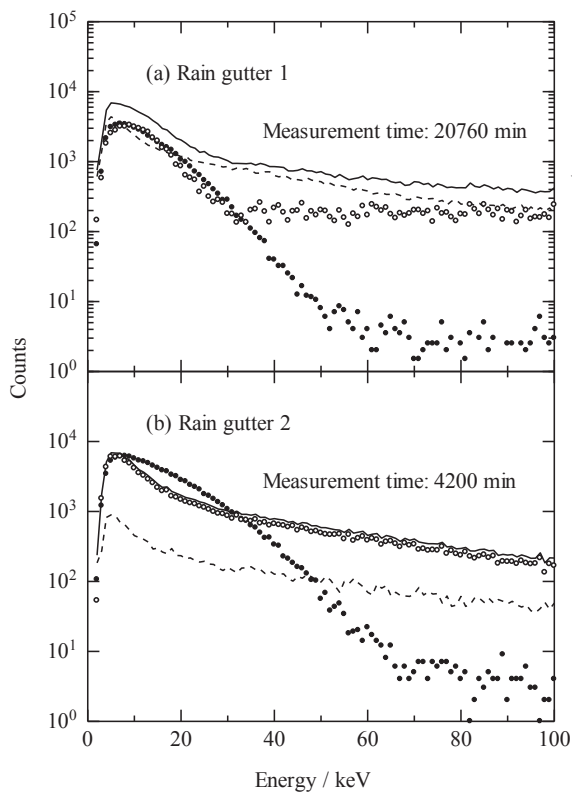


図6. 雨樋試料 β 線スペクトル

(a) 雨樋1、(b) 雨樋2

(—): 雨樋、(---): ブランク、(●): ^{63}Ni 標準溶液、(○): 雨樋からブランクを差し引いたスペクトル。 ^{63}Ni 標準溶液のスペクトルは差し引きのスペクトルと比較のためにピーク位置を重ね合わせて示した。

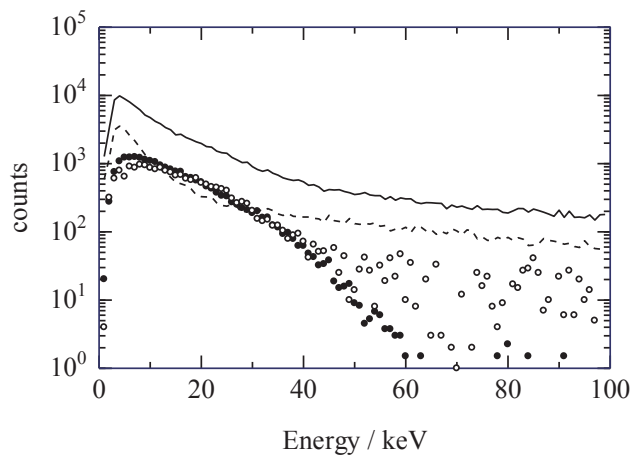


図7. ドーム試料の β 線スペクトル

(—): ドーム試料、(---): ブランク、(●): ^{63}Ni 標準溶液、(○): ドーム試料からブランクを差し引いたスペクトル。 ^{63}Ni 標準溶液のスペクトルは差し引きのスペクトルと比較のためにピーク位置を重ね合わせて示した。

d. ランク、 ^{63}Ni 標準溶液について得られたスペクトルを示す。図中には、試料のスペクトルからブランクのスペクトルを差し引いて得られたスペクトルも白丸で示している。図6(a)および図7から、差し引いて得られたスペクトルの形は ^{63}Ni 標準試料のスペクトルの形とそれぞれ10–30 keV、10–50 keVのエネルギー領域でよく一致した。このことにより広島原爆に被爆した銅試料中に生成した

^{63}Ni が、初めて液体シンチレーション法により明確に検出された。一方、図 6 (b) の中性子照射に対して遮蔽された場所から採取された雨樋 2 のスペクトルの形は、ブランク試料のスペクトルの形とほとんど同じであった。

図 6 (a) の差し引きにより得られたスペクトルから、雨樋 1 中に生成した ^{63}Ni の原子数は、 $1.26 (\pm 0.31) \times 10^5$ $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ と計算された。現在、宇宙線などの照射により生成する ^{63}Ni について補正するための液体シンチレーション法による測定データはない。したがって、加速器質量分析法により測定されたバックグラウンドデータ、 7.26×10^4 $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ 、をこの補正のために用いた。この補正の後、熱中性子誘起核反応 $^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ により生成した ^{63}Ni の影響を差し引き、さらに、 ^{63}Ni の壊変を補正し 1945 年 8 月での結果を求めた。原爆により生成した ^{63}Ni として、最終的に $7.97 (\pm 3.58) \times 10^4$ $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ という結果が得られた。同様に、図 7 の、差し引きにより得られたスペクトルから、ドーム試料について ^{63}Ni の原子数は、 1.26×10^7 $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ と計算された。この場合、宇宙線などにより生成する ^{63}Ni のバックグラウンド、熱中性子による $^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ の寄与はほとんど無視できるので、 ^{63}Ni の壊変を補正し、最終的に $1.90 (\pm 0.02) \times 10^7$ $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ と求められた。ここで引用されている誤差は液体シンチレーション測定における誤差を表している。以上の結果を表 2 および表 3 にまとめて示す。図 8 には、この結果を加速器質量分析の測定結果、新しく示された 2002 年線量推定方式 (DS02) の評価値とともに、爆央からの距離の関数としてプロットした結果を示す。 ^{63}Ni 生成に対するバックグラウンドなど解明すべき点はまだ残されているが、この図において、液体シンチレーション法により得られた結果と加速器質量分析の結果、DS02 評価値とはよく一致した。

表 2. 雨樋 1 の ^{63}Ni の測定結果

sample	slant distance (m)	$^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ measured	- background*
Rain gutter 1	1501	$1.26 \pm 0.31 (\times 10^5)$	$5.38 \pm 2.21 (\times 10^4)$
		corrected to 1945	$^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ correction**
Rain gutter 1	1501	$8.01 \pm 3.29 (\times 10^4)$	$7.97 \pm 3.58 (\times 10^4)$

*加速器質量分析法で得られたバックグラウンド 7.26×10^4 atoms $^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ を用いた。

** 爆央からの距離 1500 m での計算値 8.37×10^6 atoms $^{63}\text{Ni} / \text{g Ni}$ を用いた。

表 3. ドーム試料の ^{63}Ni の測定結果

sample	slant distance (m)	$^{63}\text{Ni} / \text{g Cu}$ measured	corrected to 1945
Dome	597	$1.26 (\times 10^7)$	$1.90 \pm 0.02 (\times 10^7)$

5. 新しい線量推定方式 (DS02)

DS02 は DS86 に代わる新しい線量推定方式として 2003 年に認められた。

DS86 見直しの契機となった広島における誘導放射能の測定値と計算中性子線量の不一致

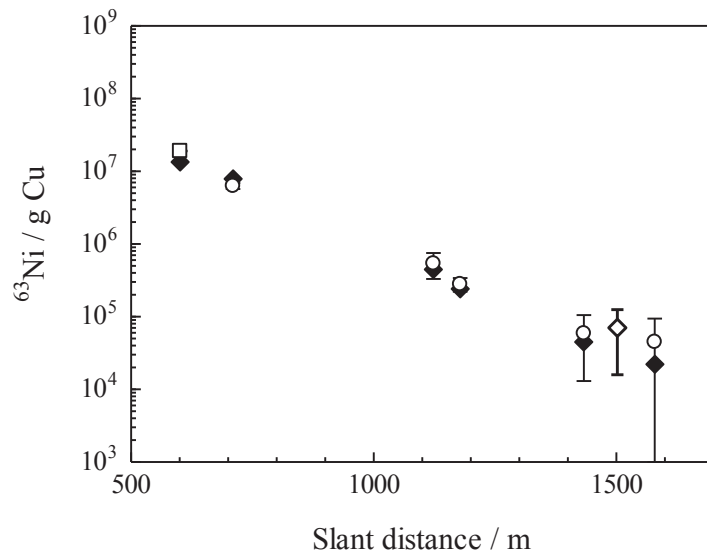


図8. 雨樋1およびドーム試料中の ^{63}Ni 測定結果と加速器質量分析で得られた結果、DS02による評価値との比較.

(◇)：雨樋1の結果、(□)：ドーム試料の結果、(○)：加速器質量分析法により得られた結果、(◆)：DS02による計算結果

は、爆心から0.5 km以内では、爆発高度を20 m高くすることで解決した。(爆発点の高度：DS86では580 m、DS02では600 m) 原爆の出力は、DS86での15キロトンからDS02では16キロトンと訂正された。また、1.5 kmまでの測定値と計算値とは、その後の放射化物測定精度の向上により、よく一致した。1.5 km以遠については、計算値が測定の検出限界以下になることから、検証はできないという見解で一致した。

*爆央、爆心と試料採取位置との関係



6. 謝辞

この研究は、以下の方々との共同研究です。記して感謝いたします。

(東大核研) 柴田徳思、今村峯雄、上蓑義朋、大久保徹、佐藤信吾、(京大原子炉) 高宮幸一、細谷裕一、中川拓治、赤峰真明、太田由士行、奥田康博、治村圭子、関本俊、沖雄一、今中哲二、(東大 RI センター) 野川憲夫、(広島大) 静間清、星正治、葉佐井博己、(放影研) 藤田正一郎 (敬称略)

ここで紹介した広島原爆中性子線量再評価に関する研究の成果は、放射線影響研究所により以下の報告書として公表された。

Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Effects Research Foundation (2005)

この中で、 ^{63}Ni の測定に関連した我々のグループの報告は次の通りである。

- S. Shibata et al., ^{63}Ni measurements by liquid scintillation method, Chapter 9 Part C, Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Effects Research Foundation (2005) p. 684.

また、我々のこの報告では、以下の報告の結果を引用した。

- T. Straume et al., ^{63}Ni measurements by accelerator mass spectrometry (AMS), Chapter 9 Part B, Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Effects Research Foundation (2005) p. 661.
- W. Rühm et al., Evaluation of cosmic ray-induced ^{63}Ni background in copper, Chapter 9 Part D, Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Effects Research Foundation (2005) p. 690.
- R.T. Santoro et al., Radiation transport calculations for Hiroshima and Nagasaki, Chapter 3, Reassessment of the Atomic Bomb Radiation Dosimetry for Hiroshima and Nagasaki – Dosimetry System 2002 (DS02), Radiation Effects Research Foundation (2005) p. 139.

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

ラドン温泉と健康

The Importance of Measuring Radon Concentrations as a Cause of Lung Cancer

吉澤幸夫

慈恵柏看護専門学校

Email: yogi2000@yahoo.co.jp

(2022年2月10日受理)

1. ラドンとは

ラドンは原子記号 Rn、原子番号 86 の元素で、周期表では一番右側に位置する第 18 族元素に属しています。第 18 族元素は希ガス元素と呼ばれ、反応性が低くて化合物を作りにくい元素で、常温で気体です。

ラドンは、岩石や土壌中に存在するラジウムが放射性崩壊して生成される放射性元素です。地中で生じたラドンは、地下水や温泉に溶け込み、地表に到達して大気中に発散されます。屋外ではすぐに希釈されて非常に低い濃度になりますが、換気の悪い屋内や地下室などではラドン濃度が高くなります。

ラドンの最も安定な同位体は ^{226}Ra の崩壊生成物である ^{222}Rn で、ラジウムから発生する放射性の気体として発見されました。ラドンという名前は、ラジウムからの放散物 radium emanation の略から付けられました。半減期 3.8 日でアルファ崩壊します。ラドンとその親核種であるラジウムはウラン系列の元素です。ウランの同位体はすべて不安定で放射性壊変を起こして減っていきますが、 ^{238}U の半減期は 45 億年と非常に長く、地球上にまだ大量に存在しています。ウランは地殻中に広く分布していて、特に花崗岩に多く含まれています。ウラン系列は ^{238}U から始まり、 ^{226}Ra は ^{238}U の 5 番目の崩壊生成物で、 ^{222}Rn は ^{226}Ra の崩壊生成物です (図 1)。

2. ラジウムの発見

1896 年初頭、フランスの物理学者アンリ・ベクレルが、ウラン化合物から写真乳剤を感光させるエックス線ではない何かが出ていることを報告しました。マリー・キュリーは、この現象に興味を持ち、1898 年 4 月にこの放射現象がウランその物もつ性質であることを明らかにし、ウランの挙動を表す言葉として「放射性 (Radioactivity)」を考案しました。ラジオとは、ラテン語で「放射」あるいは「光線」という意味です。

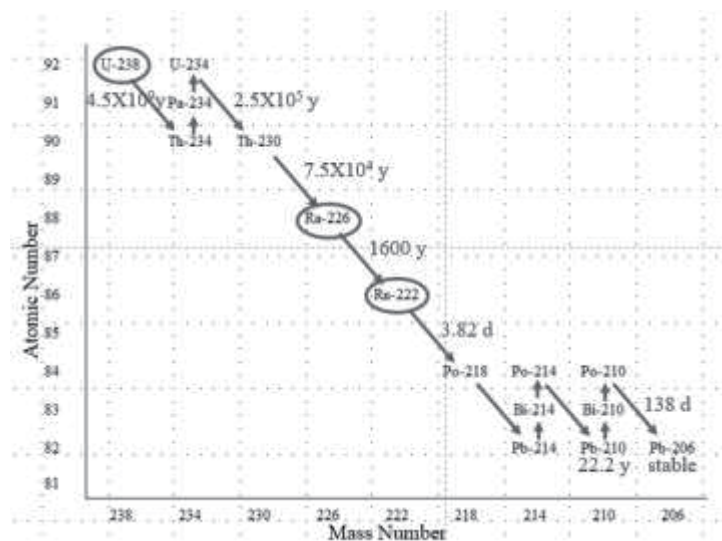


図 1. ウラン系列



図2. ラドネーター

さらに様々な鉱物の放射能を調べたところ、ウランの主要な鉱石であるピッチブレンデは精製ウランよりもはるかに高い放射能を持っている事が分かりました。キュリー夫妻は、ピッチブレンデからラジウムとポロニウムという新しい元素を発見し、1902年4月20日にピッチブレンデから純粋な塩化ラジウムを単離します。ラジウムの発見に世間は興奮し、魅了されました。「光を放つ元素」を意味する名前を持つためか、ラジウムは人々に好印象を持たれているようです。

今でこそ、放射線の危険性はよく知られていますが、当時は有用性のみが注目されました。図2に示したのは、「ラドネーター」、あるいは「ラジウムエマネーター」と呼ばれる装置です。この装置は1920年から1930年にかけてフランスで製造され、185kBqのラジウムを含有します。ラジウムから生じるラドンを浴水に循環させる事により、放射線が女性たちに若々しさを与えるとされました。その放射線量は天然ラドン温泉よりもはるかに高く、人体へ与えた影響は大きかったと考えられます。幸いなことにラドネーターによる放射線障害の記録は残っていません。しかし、ラジウムを含有する夜光塗料を時計の文字盤に塗る塗装工に放射線障害が多発したことにより、ラドネーターは消えていきました。

3. ラドン温泉

ラジウム発見から100年以上経った今でも、日本ではラドン温泉が親しまれています。代表的なラドン温泉である三朝温泉は、鳥取県と岡山県の県境にある人形峠ウラン鉱山の北12kmに位置しています。図3は三朝温泉の原点と言われている「株湯」の前にある三朝温泉の由来を記した碑です。

850年以上昔、源義朝の家来である大久保左馬之助が楠の根株に一匹の老いた白狼が居るのを見かけました。左馬之助は白狼を弓で射ようとしたのですが、見逃すことにしました。その夜、妙見大菩薩が夢枕に立ち、白狼を助けてくれたお礼に根株の下から温泉が湧いている事を教えてくれました。その後、三朝の湯はずっと湧き続けています。これが碑に書かれた三朝温泉の由来です。

温泉に入ることが健康に良いことはよく知られていましたが、なぜ温泉が健康に良いのかは長い間分かっていませんでした。ところが、1916年9月9日付官報1234号に鳥取県を始めとした28道府県における温鉱泉水中のラジウムエマナチオン（ラドン）含有量調査の成績が発表されました。三朝温泉ではラジウムエマナチオン含量142.1マッヘ（1,192 Bq/L）の源泉の存在が報告されました¹⁾。そこで、三朝温泉の効能はラドンに起因するものであるとされたと考えられます。

現在、株湯は公衆浴場として運営されています。大人が300円と利用しやすい料金で、



図3. 三朝温泉の由来

毎日多くの人に利用されています。株湯の特徴として、浴水のラドン濃度は 200 Bq/L とやや高めです。

株湯の隣にはラドンを含む温泉水を誰でも無料で飲むことができる水飲み場があります。車でやって来て、ペットボトルに温泉水を

入れて持ち帰る人も見かけられます。この温泉は浴槽とは別の源泉ですが、浴槽と同様に 200 Bq/L のラドンが含まれています¹⁾。もし、この水を 1 日 200ml、1 年間飲み続けると、ラドンの取り込み量は 14,600 Bq となる計算です。飲用されたラドンは、胃→小腸→肝臓→心臓→肺と移行し、体外へ排出されます。ラドンを摂取した時の実効線量係数を 1×10^{-8} Sv/Bq とすると 14,600 Bq は 0.146 mSv に相当し、ほとんどが胃の被ばくによるものです²⁾。

一方、ラドン温泉に入浴した場合は、ラドンの放出するアルファ線の飛程が水中では 50 μ m 程度しかなく、外部被ばくはほとんどありません。しかし、かけ湯をしたり、浴槽で動いたりすると浴水が攪拌されてラドンが空气中に放出されます。そこで、ラドン温泉に入ることによる健康影響は、呼気中のラドンによる呼吸器官のアルファ線被ばくによるものと考えられます。

図 4 は、三朝にある「天然ラドン熱気浴泉 すーは一温泉」の写真です。右が地下にある高濃度熱気浴室、左が 2 階の乾式熱気浴室です。この施設はかつて岡山大学病院三朝医療センターとして運営されていましたが、2016 年の鳥取県中部地震に被災して閉院となりました。その後、2020 年に NPO 法人 みさき温泉により再開されました。地下室にある浴槽にはラドンを 1,000 Bq/L 程度含む温泉が満たされ、そこから空气中にラドンが発散して、空气中濃度は 2,000 Bq/m³ になります。2 階は涼しく乾燥していて、ラドンは地下室からダクトで循環しています。

この施設で 1 日 30 分の吸入療法を 7 日間受けると、総線量は約 0.13 mSv になります。人間が 1 分間に呼吸する空気を 20 L とすると、30 分で 600 L になり、1 日の吸入療法で吸入するラドンは 1,200 Bq、7 日で 8,400 Bq から計算した値です³⁾。

環境省によると日本人の ²²²Rn による内部被ばく線量は年間 0.37 mSv です。これと比べると 7 日間のラドン吸入療法による被ばく量 0.13 mSv は 1/3 に過ぎません。そこで、ラドン吸入療法の効果を得るためには、総被ばく線量ではなく、短時間に高濃度ラドンへの暴露を行うことが重要なのだと考えられます。

4. ラドンと肺がん

図 5 に示したのは、キュリー夫妻がラジウム精製の原料として用いたヨアヒムシュタールにあるウラン鉱山から産出されたピッチブレンデです。この鉱石には 1 トンあたり 14 g の ²²⁶Ra が含まれています。1 g の ²²⁶Ra の放射能は 3.7×10^{10} Bq です。坑道の空気中にはかなり大量のラドンが存在することになります。ヨアヒムシュタールやシュネーベルクにあるウラン鉱山では、鉱夫に特有な風土病が知られていて、鉱夫の死亡原因の 75% は肺がんであることを Harting と Hesse が



図 4. ラドン吸入治療施設

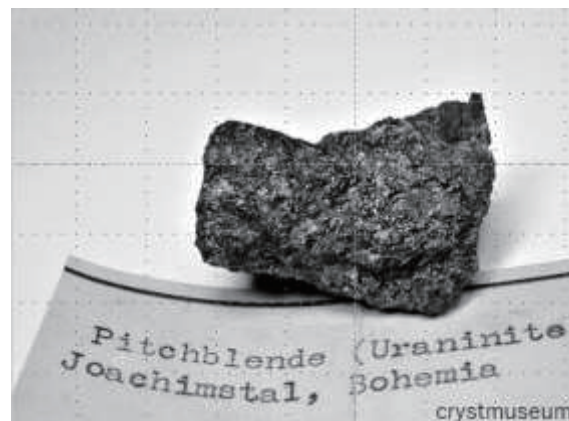


図 5. ヨアヒムシュタールで産出されたピッチブレンデ

1879年に報告しました。1944年になるとLorenzにより放射能が肺がんに関係していることが報告されました⁴⁾。

WHOは室内ラドンに関するハンドブックを2009年に刊行しました⁵⁾。その要点の一部を列記します。

1. ラドンは喫煙に次ぐ最も重要な肺がんの原因である。ラドンによる肺がん以外の健康影響に関しては一貫した結果は得られていない。
2. ラドンによる肺がんのリスクは喫煙者あるいは過去に喫煙していた人々で増大する。
3. 屋内ラドン暴露による健康被害を最小限に抑えるため国の参考値として100 Bq/m³を提案する。
4. 屋内ラドン濃度100 Bq/m³が不可能な場合でも、年間10 mSvに相当する300 Bq/m³を超すべきでない。
5. ラドンが公衆にとって健康リスクと認識されていない可能性があるため、ラドンのリスクとその予防法を伝えることは重要である。

日本の住宅は高温多湿の夏に対応するために風通しの良い設計になっていて、室内ラドン濃度は平均14 Bq/m³と低い値となっています⁶⁾。堀内らは日本各地の放射能泉地域の空気中ラドン濃度を調べて、三朝温泉の空気中ラドン濃度は浴室の近くでは100～500 Bq/m³と高い値であったが、居室では15～30 Bq/m³と日本の平均値と大差ない値であったと報告しています⁷⁾。この様に日本の居室における空気中ラドン濃度はWHOの推奨値に比べて十分低いと言えます。

しかし、近年、地球温暖化の影響でエアコンの普及が進んでいます。エアコンは温度を調節しますが、ごく一部の機種を除き換気を行いません。エアコン使用中は窓の閉閉も行いませんので、ラドン濃度の上昇が心配されます。ラドン濃度の上昇を防ぐには、2時間に5分程度窓を開けての換気が必要になります。

参考文献

1. 堀内公子 *et al*, 三朝温泉におけるラドン研究の100年, 温泉科学, 64, 409-421 (2015)
2. 石川徹夫, 飲水による被ばく. 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ Vol.2. 水中ラドンに関する専門研究会 活動報告書 Rev.1, 97-99 (2004)
3. IRSN, New dose coefficients for radon, recommended in ICRP Publication 137. Report PSE-SANTE/2018-00002 (2018)
4. 松藤元, Schneeberg と Jachymov の鉱山の鉱夫における肺癌, 労働科学, 67, 12-20 (1991)
5. 放射線医学総合研究所, WHO 屋内ラドンハンドブック-公衆衛生の観点から-(2015)
6. Gen Suzuki *et al*, A nation-wide survey on indoor radon from 2007 to 2010 in Japan, J Radia Res 51, 683-9(2010)
7. 堀内公子 *et al*, ピコラド (PICO-RAD) 検出器による放射能泉地域の空気中ラドン濃度測定, 社会情報学

【第6回放射線教育国際シンポジウム基調講演(和訳)】

教科書における放射線の扱いについて

Description of Radiation in Japanese Textbooks

林 壮一

福岡大学理学部物理科学科

Email: soichi@fukuoka-u.ac.jp

(2022年3月9日受理)

要旨

日本では、およそ10年ごとに改訂される学習指導要領に基づいて教科書が作成されており、小学校や中学校、高等学校では、その教科書を使って学習を進めることになっている。本稿では、これらの仕組みを確認するとともに、放射線は中学校の理科で初めて学習する内容であるにも関わらず、国語科や社会科の小学校や中学校の教科書では、放射線が危険なものであるという題材とされていることに注目した。さらに、今後の教材では、放射線が生活に役に立つ場面などを扱うことの必要性について考察した。

1. はじめに

2020年4月より、小学校では6学年一斉に、翌2021年の4月からは中学校の3学年が一斉に、新しい学習指導要領下での教科書による学習が始まっている。また、2022年4月からは高等学校では学年進行によって、新しい学習指導要領に沿って作成された教科書による学習が始まる。この学習指導要領は、戦後直後の改訂の後、昭和33(1958)年以降、ほぼ10年ごとに改訂され、そこから数えると、今回は7回目の改訂である。

学習指導要領を改訂する理由として、文部科学省のwebの説明によると、「学校は、社会と切り離された存在ではなく、社会の中にあります。グローバル化や急速な情報化、技術革新など、社会の変化を見据えて、子供たちがこれから生きていくために必要な資質や能力について見直しを行っています。」¹⁾と説明しており、その時代に即した教育内容や学習内容を育めるよう修正するとしている。

この学習指導要領の変更に伴い、新しく教科の改廃が行われるとともに、教科書が執筆され教科書検定が行われることになる。たとえば、今回の改訂(以下、平成29・30年改訂とする)では、高校に新しい教科として理数科が設定されたり、これまでの国語科の授業科目がすべて廃止されて論理国語や国語表現などの新科目に変更されたり、地歴科の授業科目の日本史や世界史が統廃合されて歴史総合という授業科目が新設されている。

さて、学習指導要領の改訂が公示されると、各教科書の出版社は、すぐに教科書の発行に向けて準備を開始し、小学校では1年間、中学校や高等学校では2年間かけて作成が行われる。教科書の内容や執筆方針、教科書で使用する題材や教材とその扱い方などは、この執筆者や編集者らによって決定され、具体的な執筆や編集の作業を行うことになる。こうして編集された教科書の原案は、実際に教科書が使用される約2年前からおおよそ1年かけて教科書検定が実施される。その後、検定に合格した教科書のみが見本本を作成し、教育委員会や各学校に配布される。通常は複数の出版社の教科書が検定を通過するため複数の見本本が配られるが、その中から地域や学校の事情に適していると考えられる教科書が選定されて教科書の採択が決定する。その後、採択の数が全国で集計された後、印刷されて配本されるのが、日本の教科書の供給の大きな流れである。

本稿では、国語科や社会科の小学校と中学校の検定教科書に記載されている放射線や原子核に関連する表記について調査し、義務教育における放射線学習について考察することを目的とする。

なお、「放射線教育国際シンポジウム特別講演」の際には、前学習指導要領（以下、平成20・21年改訂とする）での教科書の調査に基づいて報告したが、本稿では、平成29・30年改訂下での新しい教科書の一部の調査を追加して報告する。

2. 放射線を学習する場面

平成20・21年改訂と平成29・30年改訂の小学校と中学校の学習指導要領における「放射線」に関連する用語の記載について、以下にまとめた。

2.1 小学校と中学校の学習指導要領（解説）に記載されている事項の確認

平成20・21年改訂と平成29・30年改訂の学習指導要領の解説について、放射線と原子をキーワードとして検索したところ以下の内容を抽出することができた。これらをまとめると、どちらの改訂も、①国語科の内容には、放射線に関連するような用語を使うような記載はない、②社会科では、地域の発電として原子力発電所があること（小学校）と、歴史分野で原子爆弾（原爆）を含め戦争による被害について触れること（小学校、中学校）に関する記述があることがわかる。一方、理科では、中学校でのみ放射線の学習機会があり、平成20・21年改訂では3年生のみ、平成29・30年改訂では2年生と3年生でそれぞれ学習することとされていることが確認できる。特に、平成29・30年改訂では、初めて、放射線を科学的に理解することや、他教科と関連させながら総合的に学習することについて触れていることが確認できる。

平成20・21改訂

小学校

国語科 記載なし

社会科

第3学年及び第4学年の目標と内容

（前略）。電気の確保については、需要の増加に対して、主として火力、原子力、水力の発電、（中略）、火力発電の燃料である液化天然ガスや重油、原子力発電の燃料であるウランなどを外国から輸入していること、火力発電所や原子力発電所においては環境に配慮していることや安全性の確保に努めていること（後略）

第6学年の目標と内容

（前略）、各地への空襲、沖縄戦、広島・長崎への原子爆弾の投下など、国民が大きな被害を受けたことが分かるように、（後略）

第4章 指導計画の作成と内容の取扱い

（前略）、例えば魚や自動車などに関する博物館、水道、電気、ガス、原子力など資源・エネルギーに関する博物館、（後略）

理科 記載なし

中学校

国語科 記載なし

社会科

〔歴史的分野〕

カ（前略）、昭和初期から第二次世界大戦の終結までの我が国の政治・外交の動き、（後略）

我が国が多くの国々，とりわけアジア諸国の人々に対して多大な損害を与えたこと，各地への空襲，沖縄戦，広島・長崎への原子爆弾の投下など，我が国の国民が大きな戦禍を受けたこと
理科

今回の改訂で追加した主な内容

(前略)，放射線，(後略)

(7) 科学技術と人間 エネルギー資源

(前略)，放射線の性質と利用にも触れること。

(前略)，その際，原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること，核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること，放射線は透過性などをもち，医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる。

平成 29・30 改訂

小学校

国語科 記載なし

社会科

第4学年の内容

(前略)，電気の供給については，火力，水力，原子力などの発電所，燃料や水資源の確保(中略)，火力発電所や原子力発電所については，環境や安全に配慮して発電していることについても調べる必要がある。(中略)。その際，先の東日本大震災において原子力発電所で大きな事故が発生したことに伴って生じ，現在なお直面している多くの困難を踏まえ，当該地域やその住民，一時避難者に十分配慮して指導することが必要である。

第6学年の内容(歴史分野)

(前略)，国内各地への空襲，沖縄戦，広島・長崎への原子爆弾の投下など，国民が大きな被害を受けた，(後略)

(前略)，各地への空襲，沖縄戦，広島・長崎への原子爆弾の投下などにより国民が受けた大きな被害，(後略)

理科 記載なし

中学校

国語科 記載なし。

社会科

2 歴史的分野の目標，内容及び内容の取扱い

3. 近代史の日本と世界 (1) 近代の日本と世界

(カ) 第二次世界大戦と人類への惨禍

(前略)，我が国が多くの国々，とりわけアジア諸国の人々に対して多大な損害を与えたこと，各地への空襲，沖縄戦，広島・長崎への原子爆弾の投下など，我が国の国民が大きな戦禍を被ったことなどから，(後略)

理科

3 理科改訂の要点 (4) 内容の改善の要点

○ 改善・充実した主な内容 [第1分野]

第3学年に加えて，第2学年においても，放射線に関する内容を扱うこと

第2学年 電流 ・静電気と電流(電子，放射線を含む)

(前略)，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。

(前略) 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。

(前略)、第2学年では、電気がエネルギーをもつこと、放射線が透過性などの性質を(後略)
第3学年 エネルギーと物質 エネルギーとエネルギー資源 (放射線を含む)

(前略)、熱の伝わり方、放射線にも触れること。

(前略) エネルギー資源の利用については、日常生活や社会で利用している石油や天然ガス、太陽光など、エネルギー資源の種類や入手方法、水力、火力、原子力、太陽光などによる発電の仕組みやそれぞれの特徴について理解させる。その際、原子力発電では、ウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していることに触れる。放射線については、核燃料から出ていたり、自然界にも存在し、地中や空気中の物質から出ていたり、宇宙から降り注いでいたりすることなどにも触れる。東日本大震災以降、社会において、放射線に対する不安が生じたり、関心が高まったりする中、理科においては、放射線について科学的に理解することが重要であり、放射線に関する学習を通して、生徒たちが自ら思考し、判断する力を育成することにもつながると考えられる。その際、他教科等との関連を図り、学習を展開していくことも考えられる。

2.2 国語科と社会科の教科書の「放射線」に関連する記述

上記のように、学習指導要領には記載されていても、生徒が使う教科書では次のように書かれていた。以前、理科に関する記述を報告した²⁾ので、ここでは、国語科や社会科の教科書の記述を抜粋した。ただし、これらの抜粋は次の理由により、平成20・21年の学習指導要領に基づいた教科書からのものだけ記載した。その理由は、当初の予定では、平成29・30年の教科書を調べて抜き出し、それらの状況を比較するつもりであったが、一般で購入できる平成29・30年改訂の新しい教科書の数が極端に少ないため、2020年度から2021年度初めまで手に入れることができず、放射線教育国際シンポジウムの発表に間に合うような調査ができなかったためである。

2.2.1 国語科の教科書

【小学校4年生】

世界ではじめて、人の上に原子ばくだんが投下されたのです。目がくらむような光。

【小学校6年生】

○主人が血を吐いて死んだのです。あのピカドンの光には全然あたっていないのです。七年もたっているというのに、原爆症で白血病だったのです。

○赤ちゃんだったところに原爆の放射線を浴びたその少女は十数年たって、突然、被爆が原因とみられる病にたおれたのだった。

【中学校3年生】

○1966年、原爆病院では被爆したかたたちが苦しみ、あの日家を失った人たちはスラム街のようなところで生活していたのである。

○与田さんは天満町の自宅で被爆したということで、外見は負傷していなかったが口から血を流していた。

2.2.2 社会科の教科書

【小学校3・4年生】 (くらしと地域)

○原子力発電所では、燃料やはいき物のあつかいがむずかしく、事故が起きると大きなひびが出る。

○原子力発電では、地しんがおきたときや事故がおこったときなどの危険性について、人々の間に不安がある。

【小学校 5 年生】（地理分野）

○地震と津波の影響で福島県の原子力発電所が事故を起こしました。大量の放射性物質がもれ出し、大きな被害をもたらしました。

○2011 年に発生した東日本大震災では、原子力発電所の一つが事故を起こし、今も広い地域で人々のくらしに大きな影響を及ぼしています。

【小学校 6 年生】（歴史・公民分野）

○原爆の熱線、爆風、放射線で数万人もの人々がなくなりました。また、放射線の影響で苦しんでいる人が今も大勢います。

○生き残った人でも、放射線による後遺症によって苦しみ、その後も死者は増え続けました。

○大量の放射性物質がもれ出したため、政府は周辺の市町村に避難指示を出しました。何万人という人々が長期間にわたってふるさとを離れて生活しなくてはならなくなったのです。

【中学校（地理分野）】

○この地震と津波による福島第一原子力発電所の事故では、放射性物質が大気中に放出されたため、長期にわたって生活できない地域が生じたり、農林水産業に従事する人々が風評被害になやまされたりしています。

○原子炉などが損傷し、放射性物質が大量に放出されるという重大な事故をひき起こしました。

【中学校（歴史分野）】

○人々は大量の放射線をあびました。この残虐な兵器により、被爆者は、今なお残る放射線による障害に苦しみ、犠牲者は増え続けています。

○生き残った人々も、放射能の後遺症などによって苦しみました。

○被爆した人たちを、その後も長く苦しめたのは、原爆が発した放射線による被害でした。

【中学校（公民分野）】

○2011 年の東日本大震災にともなう福島第一原子力発電所の事故では、放射性物質が飛散し、多くの人々の生活に影響を与えています。

○発電後に生じる放射性廃棄物や廃止後の発電所を安全に処理する方法、その費用の確保、さらには事故を起こさないための安全対策や、事故が起きたときの対応の難しさなどの問題も残されています。

3. 平成 29・30 年改訂の学習指導要領における教科書の「放射線」に関連する記述

2. では、平成 20・21 年改訂の学習指導要領における教科書に限定していたが、その後、平成 29・30 年改訂の小学校の国語科の教科書を手に入れることができたので、以下、いくつか抜粋した。

【小学校 6 年 A 社 付録】

○赤ちゃんだったころに原爆の放射線を浴びたその少女は、数十年たって、突然、被爆が原因とみられる病にたおれたのであった

○強烈な熱線と爆風が放射線とともに市街をおそった。

【小学校 6 年 B 社】

○7 年もたっているというのに、原爆症で白血病だった。

【小学校 6 年 C 社 資料】

○原爆投下の影響が、今もなお続いている。

4. 考察

中学校理科で、放射線を扱えるように変更されたのは、平成 20・21 年改訂の学習指導要領からである。それ以前の学習指導要領で放射線の記載があるのは、昭和 43・45 年改訂の中学校の学習指導要領まで遡らなければならない。言い換えると、放射線は、昭和 52・53 年改訂の学習指導要領から、平成 10 年改訂の学習指導要領の終わりまでの約 30 年間は、中学校、つまり、義務教育課程の理科では学習の対象外であった。この間、どのような理由で放射線に触れないことになったのかは明らかにされていないが、平成 20・21 年改訂の学習指導要領からは、「放射線の性質と利用」に触れられ、平成 29・30 年改訂の学習指導要領では、さらにもう一段階踏み込んで、「放射線について科学的に理解することが重要」であることが書かれている。

しかし、その一方で、理科で学習する以前の国語科や社会科の教科書の中で、既に放射線は怖いものであり、危険であることばかりが強調されて書かれているように見受けられた。放射線は、実際に目で見たり、触ったり、実感を持つことができないので、放射線を学習する以前に、放射線についていろいろ書かれていても、それは科学的な考察にはつながらず、結果的にイメージや印象を与えることにつながるだけになってしまうだろう。

国語科や社会科の学習指導要領を見ても、危険な原子力発電が身のまわりにあることや、戦争で落とされた原子爆弾が放射線をまき散らして危ない、ということを伝えようとしているとは思えない。学習指導要領の趣旨は、さまざまな発電所が身のまわりにあり、それぞれの発電所がもたらす恩恵と自然災害による被害を伝えることであり、戦争を行うことの悲惨さ愚かさを伝えることを目的としているはずである。

原子力発電や原子爆弾の怖さやそれによる放射線の怖さを伝えることは必要であり重要なことであるが、そのことを伝えるのと同時に、国語科や社会科の教材として、人の命を救う放射線や、科学や技術の進歩によって、生活の向上に役立っている放射線について記載されることによって、その後続く中学校の理科での学習に対して偏見を持たずに取り組むことができると考えられる。

5. おわりに

ユルマズ・フィリズらが指摘している³⁾ように、戦争の記憶を戦争文学として小学生や中学生に伝えることは重要なことである。しかしそれは、原子力爆弾の破壊力や脅威、放射線の怖さを伝えるだけではなく、戦争の怖さや非人道性を伝えることのはずである。もちろん、原子爆弾が恐ろしいものであることは紛れもない事実であるが、そもそも原子爆弾の開発や製造を行い、その使用の指示を出すことが恐ろしいことであることをもっと強調すべきなのではないだろうか。

これまで、適切な放射線の利用が、医療や科学技術分野、基礎科学分野に非常に大きな貢献をしてきている。現在の科学は、1895 年のレントゲンの X 線の発見から始まっていると言っても過言ではないほどに、放射線が科学の進歩を支えてきたことを伝えるような題材や教材が必要とされているのだろう。

参考文献

- 1) 文部科学省初等中等教育局教育課程課、「学習指導要領」とは？、平成 23 年 1 月、
https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/idea/index.htm (2022 年 3 月 9 日閲覧)
- 2) 林壮一、川村康文、中学校教科書にみる放射線教育の歴史、放射線教育 VOL.19 NO.1、
pp.3-12、2015、放射線教育フォーラム
- 3) ユルマズ・フィリズ、溝上智恵子、戦争記憶の形成－中学校国語教科書の分析、図書館情報メディア研究 11 巻 2 号、pp.51-60、2013、筑波大学図書館情報メディア系紀要

【第6回放射線教育国際シンポジウムポスター発表(和訳)】

活性炭と地下水を利用した自然放射線を測定する

安全で簡易な教育用実験

A Safe and Easy Experiment to Measure Natural Radiation using Charcoal Filter and Underground Water

大西和子^a, 岡田詩織^b, 鎌田正裕^b

^a東京学芸大学理科教員高度支援センター, ^b東京学芸大学

〒184-8501 東京都小金井市貫井北町 4-1-1

Email: onishi@u-gakugei.ac.jp

(2022年2月1日受理)

【概要】 この研究では、日本各地で容易に入手できる地下水を放射線教育用の教材として利用する可能性を検討した。ペットボトルとタバコ用活性炭フィルターを用いて、安全かつ安価に、水相中の低濃度ラドンを短時間で捕集する装置を開発した^[1]。本手法を用いれば、地下水源を直接利用する水道水でも、ラドンが微量に含まれていれば、ラドンの崩壊や子孫核種の生成の様子を観察することが可能である。

1. 目的・先行研究

日本の地下水には、ごくわずかにラドンが含まれる場合があり、過去の研究でその濃度が調べられているものがある^[2]^[3]。本研究では、地下水に微量に含まれるラドンを集め、そこから放出される放射線の連続測定を行ってきた。温泉水や地下水は身近なものであり、放射線や放射能に対する不安感を和らげる可能性のある教材と考えている。先行研究^[4]では、ラドンを多く含む温泉水と、実験用の活性炭を用いて良好な結果を得ることができたが (Fig.1), 欠点として、放射線強度の強い温泉水の入手が必要であること、活性炭の形状に大小の差があるため、測定毎に数値がばらつく可能性がある。

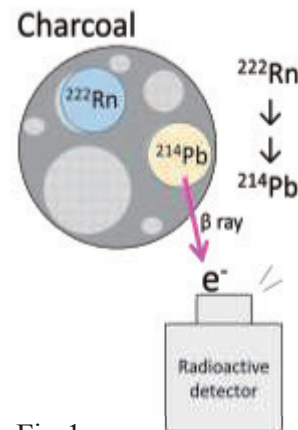


Fig.1
Radon and activated

本研究では、活性炭ごとのばらつきが小さく、下準備が不要なタバコ用活性炭フィルター（製品名：ActiTube）を用い、多量の地下水を処理することで、濃度の小さいラドンを集めることが可能であることを実験で確認してきた^[1]。

これらが可能であれば、日本各地にある地下水が、放射線教育用の探究学習用課題として利用できることになる。

これら一連の実験を身近な地下水について実験を行ってきた。

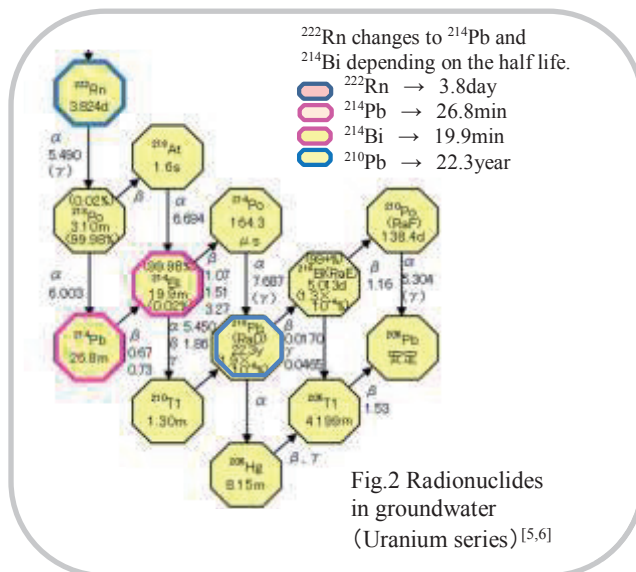


Fig.2 Radionuclides in groundwater (Uranium series) [5,6]

2. ラドンと活性炭について

気体であるラドンの性質は、水に溶けやすいことと、気体の状態で活性炭に捕集されやすいという性質がある（注目する核種は、ウラン系列のラドン 222 である (Fig.2)）。このことを利用して、地下水に微量に含まれるラドン 222 を気相中に追い出し、活性炭で捕集する (Fig.3)。そしてラドンが集まった活性炭を取り出し、放射線検出器で時間を追って連続測定を行う。活性炭に集まったラドンとその子孫核種は崩壊して放射線を出すので、これを検出器で測定し、その放射線のカウント率と時間の変化を見ることで、半減期や放射平衡を観察することが可能である。観察される半減期は、ラドンやその子孫核種である鉛 214 やビスマス 214 のものである。いずれも自然放射性核種であり、放射線強度も小さく、半減期も短いため、生徒や学生が行う放射線の実験としては安全性が高いと考える。

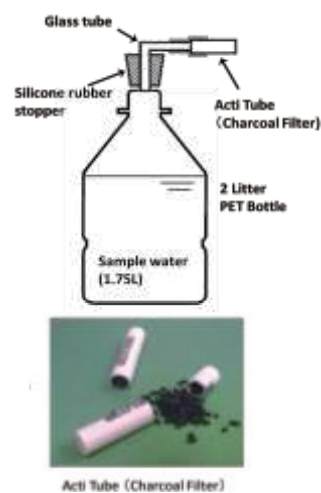


Fig.3 Experimental equipment

3. 日本の地下水について

日本では、自然に湧き出る地下水は自治体や地域で保守・管理されることが多く、人々に親しまれ、採水も自由にできることが多い。今回利用した地下水は、東京都国分寺市で整備されている「むかしの井戸」や、東京都小金井市の神社、東京学芸大学構内地下水を主に利用した (Fig.4)。

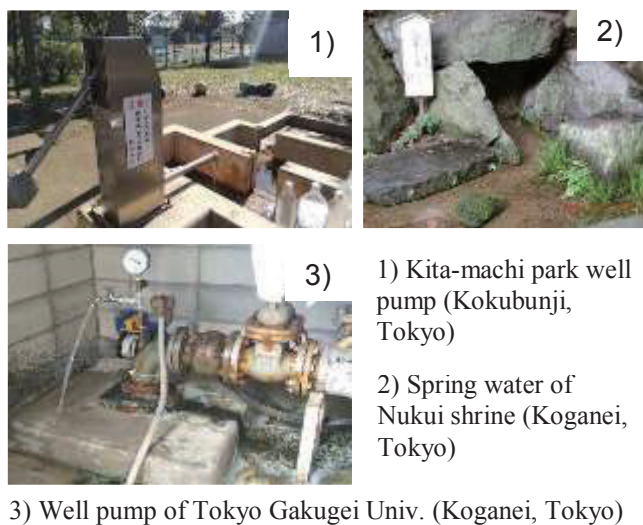


Fig.4 Underground water in Japan

4. 実験方法

実験装置と実験方法の概要について、図で示す (Fig.3,5)。実験に使う機材は、2L の

PET ボトル、活性炭が入りタバコフィルター(Acti Tube)と、それを接続するゴム栓とガラス管などからなる。手順としては、

- 1) 2L の PET ボトルに試料水を入れてふたを閉じ、試料水中に含まれるラドンを気層中に追い出すため、強く振る。
- 2) ふたを、活性炭を取り付けたゴム栓と交換する。
- 3) PET ボトルをゆっくりつぶし、気層をゆっくり活性炭に通気し、ラドンを捕集する。
- 4) 1) ~3) の操作を複数回繰り返す (3~5回。ラドン濃度により任意に変更している)。
- 5) タバコフィルター中の活性炭を取り出し、薄いポリエチレンフィルムで包み、測定器 (USB ガイガーカウンター (Strawberry Linux 社製), 以下, USB ガイガー) で測定する。

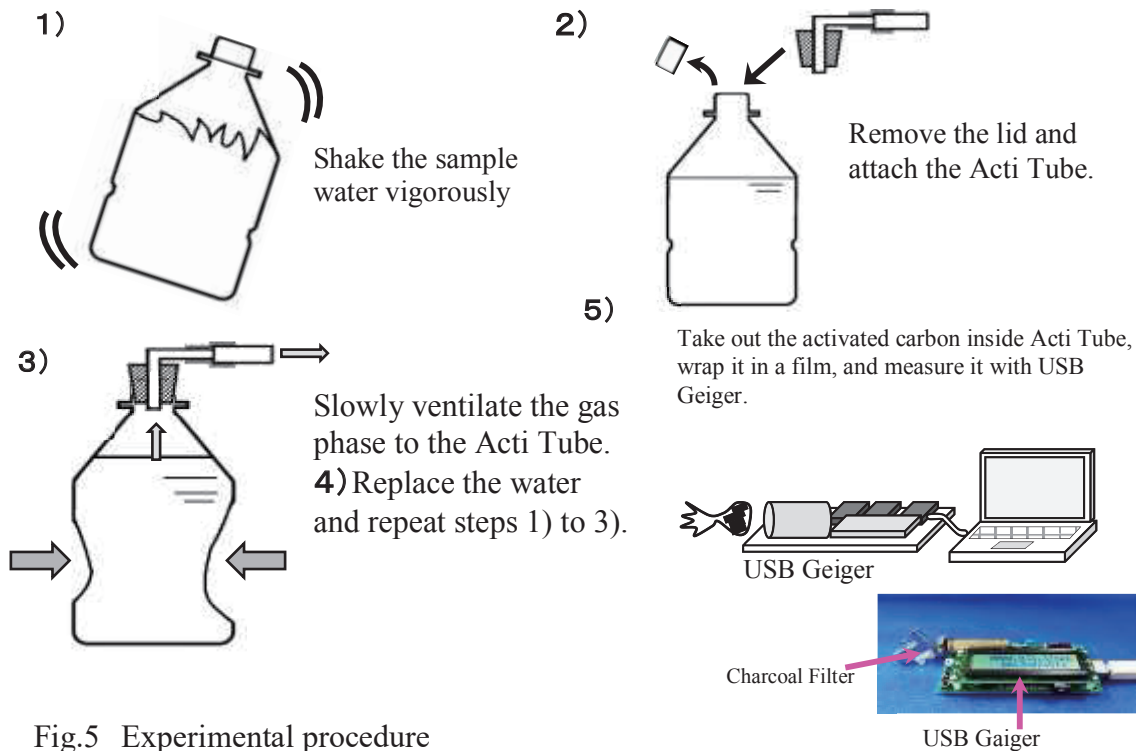
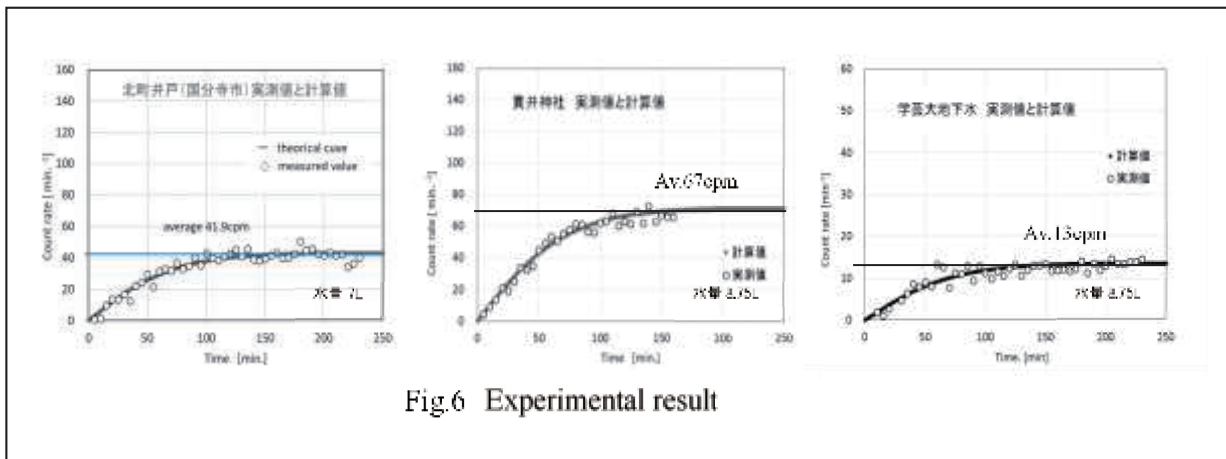


Fig.5 Experimental procedure

5. 実験結果

実験結果を Fig.6 に示す。地下水は、東京都国分寺市の公園に整備されている「むかしの井戸」のうち、北町公園の井戸、東京都小金井市の貫井神社の湧水、東京学芸大学構内で水道水として利



用されている地下水を例として示した。いずれも開始時測定のカウント率は高くない。この理由は、活性炭はラドンを集めるが、ラドンはアルファ線のみを放出することと、USB ガイガーはベータ線のみを測定するためである。

測定開始時は ^{222}Rn からはアルファ線しか放出されていないため、測定器はカウントできていない。ラドンの子孫核種でベータ線を放出する鉛 ^{214}Pb やビスマス ^{214}Bi が生成されるにつれてカウント率が上昇する。また、これらの核種の半減期は ^{214}Pb が 26.8 分、 ^{214}Bi が 19.9 分のため、やがて生成と崩壊がつり合い、約 2 時間程度でほぼ一定に達するよう見える。しかし、これはラドンの半減期 (3.8 日) であり、やがて時間と共に減衰することを意味している*。

6. 考察

今回、身近な井戸水として、東京都国分寺市「むかしの井戸」16 地点についてラドン濃度測定を行い、「国分寺市防災マップ」に追記した (Fig.7)。「国分寺市防災マップ」には、市内の公園にある井戸が記されている。カラースケールは、本研究で調査した地下水中のラドン濃度の結果である。市内の地下水でもラドンの濃度は井戸ごとに異なることが分かる。これは、地下水の深さと地下水が流れる地層・地質が原因であると考えられる。

7. 結論

地下水 (井戸水、湧水など) に微量に含まれるラドンを、活性炭を用いたタバコフィルターを用いて、効率よく捕集することができた。温泉水ではなく、身近な地下水も研究試料として利用することが可能であることが示された。これらの放射性核種の減衰する様子が確認でき、その計算値ともよい一致が確認できた。

この身近な地下水研究は、放射線教育のための教材としてだけでなく、地域の地下水利用の歴史や、地域の水環境への理解など、教科横断的な広がりのある学習にもなると考える。

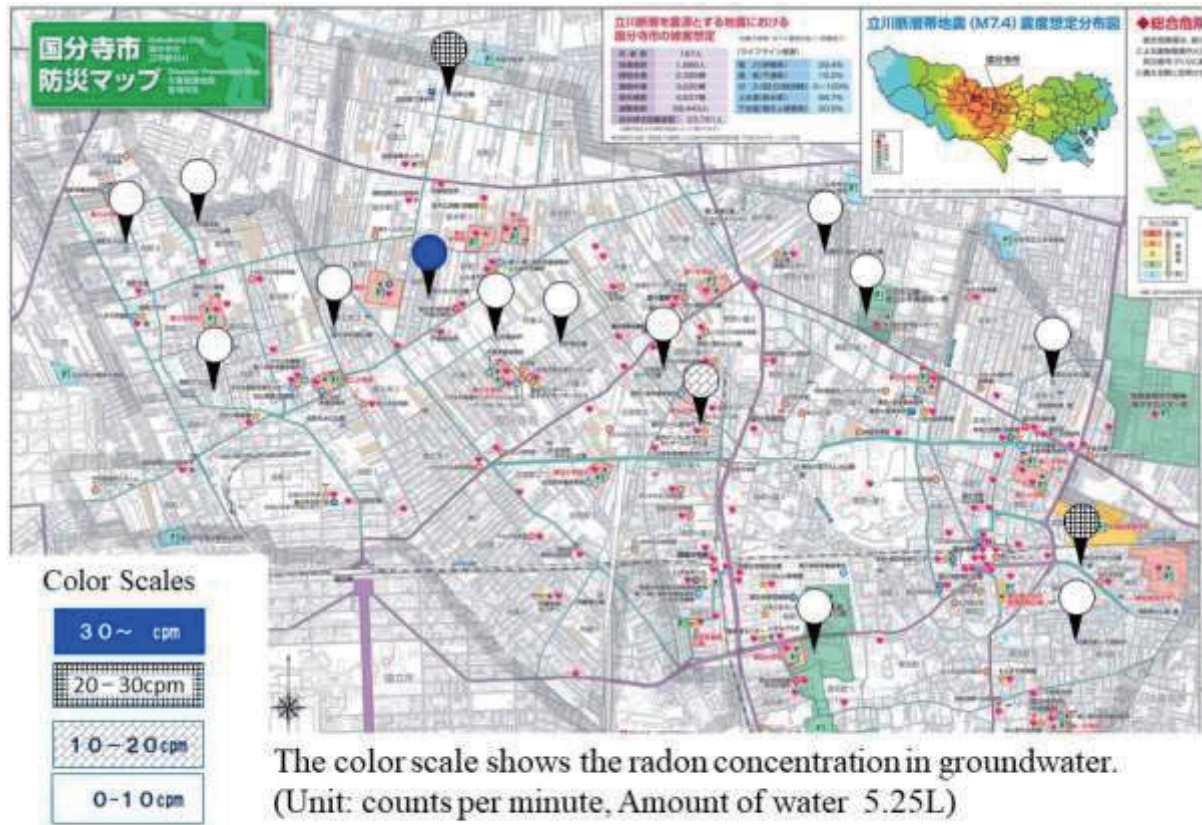


Fig.7 Disaster Prevention Well Map of Kokubunji City (Tokyo, Japan)

(国分寺市防災マップ)

https://www.city.kokubunji.tokyo.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/002/434/h31.03bousaimap.pdf
(2022年1月30日閲覧)

参考文献

- [1] 大西和子, 魚野由希子, 鎌田正裕, 活性炭と地下水を利用した自然放射線を測定する安価で安全な教育用実験, 科学教育研究, 43, 4, 451-456, 2019
 - [2] 斉藤正明, 高田茂, 立川断層地帯の地下水中の²²²Rnの起源, RADIOISOTOPES, 43, 507-514, 2014
 - [3] 堀内公子, 野川流域の自噴井, 湧水, 地下水中のラドンの分布と環境放射能への寄与に関する研究, とうきゅう環境浄化財団研究助成, 132, 1-39, 1990
 - [4] 鎌田正裕, 渡部千春: 天然放射性同位元素を用いた放射化学実験法 (IX), 化学と教育, 化学と教育, 48, 8, 524-527, 2000
 - [5] 原子力百科事典「ATOMICA」 <http://www.rist.or.jp/atomica/data/pict/08/08010312/07.gif>
(2022年1月30日閲覧)
 - [6] 日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳 10 版, 2011
- ※本研究の一部は科研費 (21H04061) の助成を受けたものである。

注*

半減期の計算値 (Fig.6 の実線) については右図のように設定を行った。²²²Rn を吸着した活性炭を GM 管で測定して得られるカウント率は、崩壊によって生じた ²¹⁴Pb や ²¹⁴Bi から放出された β 線が主なものと考えられる。²²²Rn から生成される子孫核種の数 ($N_{Pb} (=N_1)$, $N_{Bi} (=N_2)$) やそれらの崩壊測速度 ($\lambda_{Pb}N_{Pb} (= \lambda_1N_1)$, $\lambda_{Bi}N_{Bi} (= \lambda_2N_2)$, λ は崩壊定数) は、式 (a1)~ (a3) を初期条件(a4)のもとで解けば得られる。

$$dN_{Rn}/dt = -\lambda_{Rn}N_{Rn} \quad (a1)$$

$$dN_{Pb}/dt = -\lambda_{Pb}N_{Pb} + \lambda_{Rn}N_{Rn} \quad (a2)$$

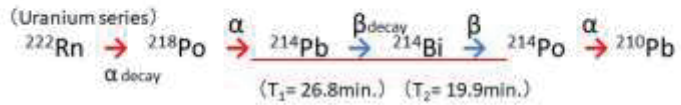
$$dN_{Bi}/dt = -\lambda_{Bi}N_{Bi} + \lambda_{Pb}N_{Pb} \quad (a3)$$

$$t=0 \text{ の時 } N_{Rn}=N_0, N_{Pb}=N_{Bi}=0 \quad (a4)$$

ここでは、測定器のカウント率が、 $\lambda_{Pb}N_{Pb} + \lambda_{Bi}N_{Bi}$ に比例すると仮定し (現実には、それぞれの核種から放出される放射線を同じ検出効率でカウントできていないので正しくないが)、 N_0 を測定結果に合うように適当に選び、各図中に計算値 (数値解) を実線で示した。

また、この換算は、本実験で使用したのと同じ (検出効率を有する) 測定器を使った場合にのみ成立するものであり、他の測定器で測定した結果に、そのまま適用することはできない。

◎About theoretical value of radioactivity



●Decay constant $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0.693}{T}$ ●Radioactivity at time t
 $\lambda_1 N_1 = \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t}$

(Initial condition (t=0)
 $N_1 = N_1^0, N_2 = N_2^0, ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi}$, Radioactive equilibrium ($\lambda_1 N_1^0 = \lambda_2 N_2^0$)

(Radioactivity) = $\langle ^{214}\text{Pb} \beta \text{decay} \rangle + \langle ^{214}\text{Bi} \beta \text{decay} \rangle$
 $= \lambda_1 N_1 + \lambda_2 N_2$ (N_1, N_2 : ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi Number of nuclides at time t)
 $= \lambda_1 N_1^0 e^{-\lambda_1 t} + \left(\frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) N_1^0 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + \lambda_2 N_1^0 e^{-\lambda_2 t}$

【会員の声】

中学2年生における放射線教育

奈良 大

愛知教育大学附属名古屋中学校

Email: d-nara@aeu.ac.jp

今年度より中学校においても新学習指導要領が全面実施され、理科においては中学2年生で、「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」となった。「放射線」と聞くと、どうしても放射線による事故などネガティブな側面や社会的な側面と関連させてイメージする場面が多いと思われる。しかし、中学2年生では、放射線の科学的な性質とその利用例をしっかりとリンクさせて捉えさせることが必要であると考え。そのため、GIGAスクール構想により配備された一人一台タブレットを活用し、インターネットで調べ学習をさせる方法が考えられる。

ところが、インターネットで放射線の利用を調べると、「工業利用」「産業利用」「医療利用」「農業利用」という分類のされ方をしていることが多い。そのため、調べ学習を行う観点を明確にしないと、このような分類をして学習を終えている場合が多いように思われる。

実際に、主な教科書5社分を調べてみると、多くの教科書で上記のような分類の仕方で説明されていた。中学2年生の段階では、放射線にどのような科学的な性質があり、どのような場面で利用されているのかという点で、生徒が放射線について理解できることが望ましい。

具体的には、

性質①：放射線には透過性がある。

性質②：放射線は物質の性質を変質させる。

性質③：放射線は生物の細胞に大量に当たると細胞が死滅する。

の以上の三つを主な性質として取り上げる。そして、性質①の利用例として、「非破壊検査」「レントゲン」など、性質②の利用例として、「ラケットやタイヤの強度の強化」「ダイヤモンドの変色」「植物の品種改良」など、性質③の利用例として、「がん治療」「注射器の滅菌」「ジャガイモの芽止め」などを生徒が理解できるように授業構成を行っていくのはいかがであろうか。ただし、「レントゲン」は、「レントゲン診断」では、性質①「放射線には透過性がある」を利用しているが、「レントゲン画像」では、性質②「放射線は物質の性質を変質させる」を利用しているなど、複数の性質を利用しているものもあるため、注意が必要である。

そこで、学習課題を「放射線にはどのような性質があり、どのように利用されているのだろうか」とし、上記の三つの主な性質を確かめる観察・実験を計画・立案しながら進めていくのが適当であるであろう。性質①を確かめるために「霧箱」を用いたり、性質②を確かめるために「ポリプロラク톤の性質を確かめる実験」を行ったり、性質③を確かめるために、映像資料を用いたりすることが考えられる。その際に、我々のような理科教諭だけでなく、放射線に関係する専門家の力も借りて授業を進めることができることが望まれる。

以上のように、中学2年生の放射線教育のねらいをしっかりと整理し直し、放射線の性質とその利用をしっかりと捉えることができる生徒を育てていきたい。

【追悼】

松浦辰男名誉会長

田中 隆一
放射線教育フォーラム

当フォーラム名誉会長松浦辰男先生が本年2月16日に93歳で亡くなりました。先生は放射線教育に関心をもつ全国各地の専門家や学校教員に働きかけて、1994年に放射線教育フォーラムを任意団体として設立し、当フォーラム会員の先頭に立って、ボランティア組織としての活動を導かれました。NPO法人となった2000年以後は事務局長を、2010年から2014年までは理事長を務められました。その後は会長(2014~2020年)そして名誉会長(2020~)として当フォーラムをご指導いただきました。

放射線教育における松浦先生の特筆すべき業績は1995年から2006年にかけて、数度にわたって放射線教育の充実のための学習指導要領改善への政策提言を文部科学省に対して行い、2007年の中学校理科での放射線教育の復活へと導きました(学校教育の現場での放射線教育復活は2011年)。また、2001年から9年間、毎年全国10地区において文部科学省主催のエネルギー・環境・放射線セミナー事業を放射線利用振興協会との共同企画・運営によって実施し、中学校での放射線教育復活への機運を高めました。この事業は当フォーラム活動としては最大の規模でした。全国各地に在住する数多くの意欲的な会員が地域の特色を活かしたセミナー開催のためのボランティア活動に参加しました。1998年に第1回放射線教育国際シンポジウムを神奈川県葉山で、2004年に第2回同シンポジウムを原爆被災地である長崎市で開催し、当フォーラムの存在と放射線教育の重要性を社会的に広くアピールしました。

松浦先生は1928年に神戸市で生まれ、終戦直前に旧制一高に入学。1950年に東京大学理学部化学科を卒業して立教大学に就職し、1993年に退職するまで、43年間にわたって原子力の研究に携わりました。しかし、若い頃はエリートコース一直線の恵まれた家庭環境で過ごしたわけではなく、戦時中の食糧供給が乏しいなかでお父上が肺炎で病死し、終戦直後の厳しい状況のもとで学費や生活費のすべてを公的・私的の種々の奨学金とアルバイトで賄うことを通して、少年時代からの夢であった学問の道に進むことはできたと先生は語っています。先生は専門としていた小型研究用原子炉を活用する化学の研究にエネルギーを注ぎ、「ホットアトム化学」の研究分野では、国際的な共同研究をリードして大いに活躍されました。

先生のご性格を一言で表すならば、“堅忍不拔”ではないでしょうか。正義感が強く、権威や統制に対しては臆することない気迫で立ち向かい、言葉よりも実行を重んじるご性格でした。空気を読んで、お世辞を言う処世の術には不向きなお人柄でした。その一方、先生はそんなご自分の損な性格をよく自覚されておられるようでした。にこやかな笑顔で屈託のない楽しい歓談の思い出もあります。

松浦先生は当フォーラムの活動において「放射線・放射能は少量でも非常に危険なものである」という考え方が原爆被災に直結しており、学校教育に深く影響していることを常に重視していました。筆者も基本的には同じ考えではありますが、放射線を忌避する国民感情は原爆被災の直接的



松浦辰男先生(1928-2022)

な影響のみによって形成されたわけではなく、被災体験に関わるコミュニケーションを媒介として社会的に形成される過程において我が国の伝統文化の影響を深く受けていることを強調しました。実は、放射線忌避における伝統文化の影響に関する研究報告を発表することがわたしの当フォーラム入会の主な動機でした。わたしのこの考えは先生にはあまり理解していただけなかったようでした。そこで、わたしは先生のご提案を受け入れて研究の方向を改め、放射線やエネルギー・環境問題に関する中高の社会科教科書の記述調査・研究を行い、先生とも連携して日本原子力学会でその成果を何度も発表しました。

2007年の中学校理科の学習指導要領改訂によって放射線授業再開が決まったことを受けて、社会科に代わって理科の教科書調査・研究を先生から提案されました。わたしもこれを当フォーラム活動の転機として捉えて、それからは、調査・研究の対象を切り替えて、理科教科書の放射線記述に焦点を当て、科学技術教育の視点から中高の理科教科書の記述調査に専念しました。その結果、復活した放射線記述の内容は豊富であるが社会的に羅列され、理科学的に構築されていないことを指摘したうえで、学習キーワードの科学的な構成を提案しました。

松浦先生については、忘れられない思い出がもう一つあります。今世紀の冒頭、我が国は同時多発テロや北朝鮮による弾道ミサイル発射等により、大量破壊兵器や国際テロ組織が重大な脅威となり、我が国に対する武力攻撃という国家の緊急事態に対処するための有事法制が整備され、各自治体に国民保護計画が整備されました。しかし、緊急事態対処の当事者に核及び放射線テロの緊急事態対処の基本が知らされていない状況でした。これを憂慮した先生は米国放射線防護測定評議会(NCRP)の報告書「核および放射線テロに対する緊急時対応者の要件」(2005.12)に着目し、数人の会員有志に呼び掛けて、共同で和訳作業を行いながら緊急時対応を勉強しました。

先生の凄いところは、調査・検討に終わることなく、緊急対処の責務を負う消防、警察など、行政の対応者にまで放射線教育を広げようとしたことです。先生はわたしを同伴して市ヶ谷の防衛省に参上し、自衛官のトップと面会して要望した結果、警察学校、消防大学及び総務省に出かけて、行政の対応者が大勢いる前で放射線教育の講演を実施することになりました。わたしが放射線・放射能テロの緊急時対応を、先生が放射線災害への対応において心得るべきポイントを担当しました。わたしにとっては冷や汗ものでしたが、このために専門外の膨大な情報の収集に追われました。いま思えば、このときほど松浦先生の行動力に感銘したことはありません。

上記のような緊急事態対処の放射線教育が今後も必要なのか、と疑問をもつ人もおられるかもしれません。しかし、ヒト、モノ、カネが自由に国境を越えて経済的相互依存を深めていくグローバリズムは、多くの人がいだいている美しいイメージの裏に危険性を内包しているとわたしは考えます。決して明るいとは言えない世界の行方を考えると、エネルギーと環境に着目するだけでは済まないと思います。

松浦先生とその偉業に対し、心から尊敬と感謝を捧げ、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

【編集後記】

昨年、一昨年と編集後記もコロナ禍に関する件を取り上げた。今年は、終息していると期待していたが、予想に反して第6波が押し寄せた。感染者は漸減しているとはいえ、未だ、まん延防止等重点措置が適用されている地域があり、経済活動に支障を来している。この巻が発行されるころには、重点措置は解除されていることを期待する。新年早々、ニュースで連日「コロナ禍」が報道されうんざりしていた。しかし、2月末、この状況は一転した。ロシアのウクライナへの侵攻が勃発した。ロシア軍がチェルノブイリ原発やウクライナの稼働中の原発に攻撃を行い、占拠した。この暴挙は全く許しがたい。一刻も早く戦争が終わり、平和が戻ることを祈るのみである。

さて、当フォーラムでは、今年度は、6月、11月、2月と例年通りの3回の勉強会を開催することができた。例年通りでないのは、オンラインでの勉強会となったことである。費用面や遠方の方も参加できるというメリットがあるとはいえ、講演者にとっては、参加者の反応が見えず、また、講演者、参加者および主催者の面と向かった「リアルな交流」がないのは寂しい限りである。今年度はどうなるか？ 未だ、解は出ないが、「対面とオンラインのハイブリッド」という案も浮上している。これは、オンラインよりハードルが高い。運営・設営には、かなりの知識・技術と道具、即ちハイブリッド会議を可能とするデバイスが必要である。また、運営可能な技術を持った人間が必要である。

本教育誌では、物理学の観点から放射線教育に関する考察および福島原発事故から10年が経過し、その間の福島での放射線教育に関する報告を掲載した。ともに読みがいがある資料である。また、オンラインで開催された第6回放射線教育国際シンポジウム(6th International Symposium on Radiation Education; ISRE 2021、台湾)での発表の和文報告を載せた。各自各様のテーマに触れていただきたい。

今年度は、本フォーラムを立ち上げ、成長させた立役者の松浦辰男名誉会長の訃報に接することとなった。誠に残念である。心よりご冥福をお祈りする。

最後に、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. 25, No. 1 (2021)

発行日： 2022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)、大野新一、大森佐與子
工藤博司、畠山正恒、細渕安弘、皆川喜満、吉澤幸夫

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 2021 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 2020・2021 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
5. 2021 年度中学理科教科書検討ワーキンググループ活動記録	7

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、放射能、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ティア組織である。1994年に設立し、2000年にNPO法人の認証を受けた。今年で28年目を迎えた。

2011年に発生した東京電力第一発電所事故(3.11事故)以前から、多くの人々が放射線や放射能に対して強い不安感・恐怖感を抱いており、そのことが原子力エネルギー利用に対するリスク認知に大きな影響を与えている。中学校理科については、3.11事故後の放射線に対する風評被害の社会的な広がりを受けて、放射線学習の内容は科学的な理解を重視する方向でかなり改善された。

当フォーラムは小・中・高等学校の教育において、放射線・放射能・原子力・エネルギー環境問題に関する適切な理解が啓発・推進されるように、学習指導要領などの教育政策について調査・提言を行ってきたが、授業実践に意欲のある教員の支援に重点を置いて、勉強会、国際シンポジウムなどを企画・開催している。また、情報発信および調査・研究のため、専門委員会の活動や放射線教育に関する定期刊行物を発行するとともに、学校における放射線教育の政策に関わる調査・提言を行っている。

当フォーラムの会員数は、2021年12月現在で個人正会員数87、団体正会員数24である。3.11事故後の団体及び個人会員の退会急増によって財務状況が悪化したことを受けて、経費削減に努める一方で、外部資金の獲得に励んできたが、安定した改善策を見出せるには至っていない。しかし、令和2年度末からの新型コロナウイルス感染拡大を防止するための自粛要請に対応して採用している接触機会低減のための理事会や勉強会のオンライン化は、とりあえずではあるが、諸経費削減による財務状況の改善をもたらしている。

今年度のフォーラムの活動は、昨年度を越えるコロナ感染拡大を受けて、3回実施した勉強会はすべてオンライン開催を余儀なくされた。今年度は放射線の理解を深めるための授業について考えることを勉強会の企画方針としたが、毎回、予想以上の多数の参加が得られ、好評であった。

専門委員会活動については、学習指導要領改訂に則して令和3年度から本格的に使用され始めた中学校理科教科書の放射線等に関わる調査及びそれに基づいて授業への活用を検討するワーキンググループの活動を開始した。

当フォーラムの運営については、オンライン会議を採用し、事務局メンバーも加わる拡大理事会を中心とする敏速で機動性に富む運営が可能となった。本年度は、7、8月の夏季を除いて、10回の理事会を毎月開催した。

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」Vol.25, No.1を発行し、今年度の活動報告を後付けとした。ニューズレターについては、例年通り3回(6月、11月、2月)発行した。

以上の活動は当フォーラムのホームページ(<http://www.ref.or.jp>)に掲載されている。トップページには情報分類として、「放射線教育 先生の広場」、「放射線学習支援資料」、「活動報告」、「出版物」、「放射線教育フォーラムとは」、「会員が提供する放射線教育「GREETINGS IN ENGLISH」の7項目を編集し配置している。

2. NPO法人放射線教育フォーラムの2020・2021年度役員名簿

理事：(理事長) 工藤博司 (東北大学名誉教授) *1

(副理事長兼事務局長) 田中隆一 (元日本原子力研究所高崎研究所長)

(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)

緒方良至 (愛知医科大学 客員研究員)

小高正敬 (元東京工業大学助教授)

酒井一夫 (東京医療保健大学教授)

柴田誠一 (京都大学名誉教授)

畠山正恒 (聖光学院中学校・高等学校教諭)

細渕安弘 (元東京都立保健科学大学助教授)

吉澤幸夫 (元慈恵会医科大学)

渡部智博 (立教新座中学校・高等学校教諭)

監事：大野新一 (理論放射線研究所)

名誉会長：松浦辰男 (立教大学名誉教授) *2

幹 事： 石井正則、大津浩一、大野和子、菊池文誠、岸川俊明、小林泰彦、
下道国、鶴田隆雄、林壮一、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、金子正人、黄金旺、森千鶴夫、山寺秀雄、渡利一夫

(*1 2021年7月6日就任 *2 2022年2月16日逝去)

3. 通常総会、理事会、勉強会等の開催記録

2020年

- 4月18日(日) 第1回理事会(オンライン、12名)
- 4月18日(日) 第1回編集委員会(オンライン、8名)
- 5月23日(日) 第2回理事会(オンライン、9名)
- 6月13日(日) 通常総会(書面表決、委任状含む出席者69名)
- 6月13日(日) 第1回勉強会(オンライン、75名)
(勉強会プログラム)
 - 講演1. 放射線の魅力
石岡典子(量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所)
 - 講演2. 「放射線はどんなに微量でも危険」か?
酒井一夫(放射線教育フォーラム)
 - 講演3. リモート授業を受けた中学生からのメッセージ
宮川俊晴(放射線教育フォーラム)
- 7月4日(日) 第3回理事会(オンライン、12名)
- 9月5日(日) 第4回理事会(オンライン、8名)
- 10月3日(日) 第5回理事会(オンライン、13名)
- 10月3日(日) 第2回編集委員会(オンライン、9名)
- 11月14日(日) 第6回理事会(オンライン、11名)
- 11月23日(日) 第2回勉強会(オンライン、61名)
(勉強会プログラム)
 - 講演1. 放射性炭素で古文書を読む
小田寛貴(名古屋大学宇宙地球環境研究所年代測定研究部)
 - 講演2. 放射線から見える戦略なき日本の理科教育
畠山正恒(聖光学院中学校高等学校)
 - 講演3. 『Rの正体』を活用した中2理科での放射線教育の紹介
森山正樹(札幌市立白石中学校)
- 12月4日(日) 第7回理事会(オンライン、11名)
- 12月4日(日) 第4回編集委員会(オンライン、7名)

2022年

- 1月16日(日) 第8回理事会(オンライン、9名)
- 1月16日(日) 第5回編集委員会(オンライン、11名)
- 2月13日(日) 第9回理事会(オンライン、8名)
- 2月13日(日) 第6回編集委員会(オンライン、11名)
- 2月27日(日) 第3回勉強会(オンライン、74名)
(勉強会プログラム)
 - 講演1. ホウ素中性子捕捉療法(Boron Neutron Capture Therapy: BNCT)
ーがん細胞選択的放射線療法の魅力と展望そして課題を語るー
小野公二(大阪医科薬科大学 BNCT 共同臨床研究所)
 - 講演2. デジタル社会を支える超微細加工への放射線利用
山本洋揮(量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所)
 - 講演3. 放射線・エネルギー資源に関する中学校理科の教科書(5社)の記述の比較

—平成24年度版からの変遷も踏まえて—
羽澄大介（名古屋市立西前田小学校）
3月13日（日）第10回理事会（オンライン、12名）

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」2021 Vol.25, No.1

巻頭言 小中学校における「教えるー学ぶとはどのような営みなのか」

羽澄 大介(名古屋市立西前田小学校)

理事長就任挨拶 初心に立ち返り、前を見て進もう 工藤 博司(放射線教育フォーラム)

[解説] 21世紀現代物理学に親しむ;放射線教育による支援 大野新一(放射線教育フォーラム)

[資料] 科学的に探究する力を育む放射線教育 10年の歩み

佐々木 清(福島県環境創造センター交流棟教育アドバイザー)

[ISRE 要約] 放射線教育のための科学の話 ～新元素ニホニウムと過去の元素ニッポニウム～

工藤 博司(放射線教育フォーラム)

[ISRE 要約] 近年における中学校の放射線授業支援の進展

—放射線教育フォーラムの活動を中心に— 田中隆一(放射線教育フォーラム)

[ISRE 要約] 看護師のためのはじめての放射線教育 緒方 良至(放射線教育フォーラム)

[ISRE 要約] クルックス管プロジェクトの歩みと着地点 秋吉 優史(大阪府立大学)

[ISRE 要約] 放射線や放射性物質に対する市民の不安に放射線科専門医がどのように応えるべきか? —e-ラーニングシステムの有効活用— 大野 和子(京都医療科学大学)

[ISRE 要約] 広島原爆の中性子線量再評価のための速中性子反応により生成した ^{63}Ni の測定

柴田 誠一(放射線教育フォーラム)

[ISRE 要約] ラドン温泉と健康

吉澤 幸夫(慈恵柏看護専門学校)

[ISRE 要約] Description of Radiation in the New Curriculum Guidelines – How Radiation is Treated in Japanese Language and Social Studies Textbooks in Primary and Junior High Schools

林 壮一(福岡大学)

[ISRE 要約] 活性炭と地下水を利用した自然放射線を測定する安全で簡易な教育用実験

大西 和子(東京学芸大学)

[会員の声] コロナ禍を半減期という目で追う 荒谷 美智(放射線教育フォーラム)

[会員の声] 中学2年生における放射線教育 奈良 大(愛知教育大学附属名古屋中学校)

[追悼] 松浦辰男名誉会長 田中 隆一(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 ニュースレター

ニュースレター No.79 2021.6

巻頭言 放射線教育実験とビデオ・アニメ 森 千鶴夫(放射線教育フォーラム)

原子力・放射線教育に見る: 科学コミュニケーションと高校理科の問題点

大島 浩(佐野日本大学高等学校理科)

教育とリスク管理 ～原発事故と COVID-19 の経験から～ 大野和子(京都医療科学大学)

科学議論における市民の役割・放射線とコロナの比較 坂東 昌子(NPO あいんしゅたいん)

令和3年度第1回勉強会案内 (オンライン勉強会) 放射線教育フォーラム

日本アイントープ協会主催 第58回アイントープ・放射線研究発表会(2021.7.7～9)での放射線教

育に関する招待講演の案内
 会員の声 東日本大震災から10年を迎えて 奈良 大(愛知教育大学附属名古屋中学校)
 会員の声 福島のアマモ 荒谷 美智(放射線教育フォーラム)
 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 畠山 正恒(放射線教育フォーラム)

ニュースレター No.80 2021.11

巻頭言 コロナの一つの波を半減期という目で見る 荒谷 美智(放射線教育フォーラム)
 放射線の魅力 石岡 典子(量子科学技術研究開発機構)
 「放射線はどんなに微量でも危険」か? 酒井 一夫(放射線教育フォーラム)
 リモート授業(放射線の性質と利用)を受けた中学2年生からのメッセージ 宮川 俊晴(放射線教育フォーラム)
 令和3年度第2回勉強会案内(オンライン勉強会) 放射線教育フォーラム
 第6回放射線教育国際シンポジウム報告 工藤 博司(放射線教育フォーラム)
 6th International Symposium on Radiation Education (ISRE2021)
 理事会報告 -オンラインでの勉強会の開催- 柴田 誠一(放射線教育フォーラム)
 令和3年総会報告 (資料) 放射線教育フォーラム
 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 柴田 誠一(放射線教育フォーラム)

ニュースレター No.81 2022.2

巻頭言 フォーラムの役割 渡部 智博(立教新座中学校・高等学校)
 放射性炭素で古文書を読む 小田 寛貴(名古屋大学)
 放射線から見える戦略なき日本の理科教育 畠山 正恒(聖光学院中学校高等学校)
 『Rの正体』を活用した中2理科での放射線教育の紹介 森山 正樹(札幌市立白石中学校)
 令和3年度第3回勉強会案内(オンライン勉強会) 放射線教育フォーラム
 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4年度・5年度役員等選挙について 放射線教育フォーラム選挙管理委員会
 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 皆川 喜満(放射線教育フォーラム)

5. 2021年度中学理科教科書検討ワーキンググループ活動記録

TWG (Text Review Working Group)

はじめに

本 TWG は教育課程検討委員会の後を受けて 2020 年に設置され、今年度は 2 年目になる。

1. 活動結果

授業の解説書的な資料の作成を目的に、中学校理科教科書会社 5 社の調査を実施中。

1) 教科書の記述内容の調査内容

- ① 日本原子力学会、教育委員会が取りまとめた「新学習指導要領に基づく中学校教科書のエネルギー・環境・原子力・放射線関連記述に関する調査と提言—社会、理科、保健体育、技術・家庭の調査—(令和)3年7月」の内容を検討した。
- ② 中学校理科教科書 5 社の放射線の授業に関する記述のうち、「放射線による健康影響に関する記述」について取りまとめた。
- ③ 教師用指導書のうち 3 社（東京書籍、大日本図書、啓林館）について、「放射線による健康影響に関する記述」について調査した。

2) 教科書の調査結果

・全般共通

「放射線の健康影響に関する記述」では、5 社の教科書共通の内容として、放射線利用の説明の後に、放射線のリスクとベネフィットの両面がある記述となっている。更に、利用するにあたっては、適正な安全管理が必要としている。記載の事例の概要は以下の通り。

「放射線がさまざまな場面で利用されていることの紹介の後で、反面、人体や細胞に損傷を与えたり、ガンになったり、死に至る危険性があること、それゆえ、取り扱いに注意が必要である」

・個別教科書の特徴

一方、教科書会社各社の放射線による健康影響を受ける放射線量について、特徴的な記述として、以下の点が指摘できる。

- ・大日本図書は、100mSV の数値などが明示されている。また、更に大量の線量は死に至るなど、確定的影響についての記述がある。
- ・学校図書、教育出版の 2 社は、受ける放射線量が大きいと影響があるとしている。
学校図書の例、「大量の放射線を受けると害があるため、・・・」
教育出版の例、「過度に浴びるとがんになる確率が高まる。」
しかし、両社とも、確率的影響か確定的影響かの明記はしていない。
- ・東京書籍、啓林館の 2 社は、影響があるとしているが、受ける量についての記述はない。

東京書籍の例、「放射線は細胞を損傷させたり、死滅させたりすることがある。少量であっても継続的に放射線を受け続けると人体に影響が出る可能性がある。」さらに、東京書籍は、「低い線量での継続的被ばくに関して影響が出る可能性がある」としている。

啓林館の例、「生物が放射線を浴びる（被曝する）と、健康な細胞が傷ついてしまう可能性がある。」

- ・その他として、本文以外の欄外の記述では、
 - ・大日本図書は、ICRP の勧告を引用して、「放射線の量が少なくなるとも影響があると考えて、対策を立てるべきと指摘している」との記述であった。
 - ・東京図書は、「放射線の種類や量が同じなら、その起源に関係なく、影響や効果は同じある。」とシーベルトの単位で考えることの意味を記述している。

3) 教師用指導書の調査結果

教師が授業を進める上で、参考にされている教師用指導書で入手できた3社の「放射線による健康影響に関する」記述では、以下の状況であった。

- ・大日本図書。3社では一番詳細に書かれている記述と言える。健康影響については、確率的影響と確定的影響について、具体的に事例を含めて解説している。更に、遺伝的影響について、「なお、放射線のヒトに対する遺伝的影響は、広島、長崎の被爆者による調査では観察されていないという」と言及している。しかしながら、確定的影響の中に、白内障が分類されおり、最近の確率的影響とみなされてきている知見は反映されていない古い情報のままであった。
- ・東京書籍は、指導のポイント「放射線の利用」で、「発芽防止、品種改良、不妊法、・・・動植物の品種改良の作用として、放射線障害の遺伝的影響が利用されていることがある。」との記述になっているが、電離作用を利用した物質の変化に対して、「放射線障害の遺伝的影響」と表現していることは科学的に正確とは言えないと考える。
- ・啓林館は、学習課題のまとめで、「放射線は医療や産業などで利用されるが、生物に影響を与えることがある。」と、教科書を更に補足する詳細な記述はなかった。

★授業の留意点（案）

今回の記述調査の範囲からは、各社、固有の記述点はあるが、世間一般として放射線は少量でも危険視する傾向がある中、科学的に考える力を育成するためには、中学校での授業では、年間数ミリシーベルトの自然界からの放射線を日常的に受けていることへの理解と共に、ある程度の線量以上でないと、放射線の影響が認められない事の知識を身に付けることが大切であると考えます。

4) 実践事例の情報収集及び意見交換

コロナ禍での活動として全てがオンラインで実施されたが、時系列で活動内容を記す。

- ・6月13日、令和3年度第1回勉強会にて、令和2年度に実施した上田市内の中学2年生の放射線出前授業について発表・意見交換（発表：宮川俊晴）
- ・7月9日、アイソトープ・放射線研究発表大会（主催、日本アイソトープ協会）にて、令和2年度上田市での実践事例を講師の立場から発表・意見交換（発表：高島勇二氏）
- ・8月3日、「みんなの暮らしの中の放射線展・放射線教育オンライン意見交換会」（事務局、大阪府立大学）にて、実践事例及び今後の放射線授業の進め方について発表・意見交換（高島勇二氏、宮川俊晴）この機会に奈良大氏（愛知教育大学附属名古屋中学校）、原口栄一氏（鹿児島市立谷山中学校）、西田敬子氏（奈良市立富雄南中学校）、森島浩一氏（広島市立福木中学校）、青木久美子氏（世田谷区立千歳中学校）の各氏の実践事例を聴講し意見交換

- ・ 8月14日、有志15名による中学・高校の授業に関して意見交換
参加者：世田谷区立千歳中学校 青木久美子氏、美浜市きいばす 小鍛冶優氏、コミュニティ福島 佐々木清氏、全中理支援センター 高島勇二氏、愛知教育大学附属名古屋中学校 奈良大氏、名古屋市立西前田小学校 羽澄大介氏、鹿児島市立谷山中学校 原口英一氏、長崎大学教育学部付属中学 前田勝則氏、広島市立福木中学校 森島浩一氏、札幌市立白石中学校 森山正樹 氏、名古屋経済大学市邨高等学校中学校 大津浩一氏、聖光学院中学・高等学校 畠山正恒氏、立教新座中学校・高等学校 渡部智博氏、田中隆一事務局長、進行役宮川 俊晴。
- ・ 11月23日、令和3年度第2回勉強会にて、札幌市立白石中学校の実践事例（発表：森山正樹氏）、今後の理科教育について発表・意見交換（畠山正恒氏）
- ・ 2022年2月27日、令和3年度第3回勉強会にて、中学校理科教科書の記述内容について、発表・意見交換（発表：羽澄大介氏）
- ・ （予定）2022年3月19日、北海道エネルギー教育研究会での実践事例の紹介（発表：森山正樹氏）
- ・ 11月～2022年1月、上田市内の中学校の実践事例を収集（高島勇二氏、宮川俊晴）
高島勇二氏による、中学校3校の放射線出前授業が実施された。授業の内容は、実験を重視した生徒が体験的に学ぶ方式で、以下の内容で構成されていた。
 - 授業の方針
 - ①放射線のイメージを持たせる導入 ②放射線は自然界に存在することの認識の重視
 - ③放射線の透過性、物質の変質の性質（電離作用）の認識の重視 ④放射線は大切な科学技術であることの認識の重視 ⑤自分たちの将来に係る事柄として、「自らどう考えるか？」を問いかけ
 - 授業の構成
 - ①クルックス管からの放電時に電磁波が出ることの演示 ②はかる君による教室内の0.03～0.07毎時マイクロシーベルトの線量測定（身近な自然界の放射線の確認） ③ベータちゃん（簡易放射線測定器）による、乾燥コンブ、花崗岩、塩化カリウム肥料などの身近な物質から出る放射線の体感 ④霧箱観察による、放射線の現象のイメージの確認 ⑤放射線照射したプラスチックの強度変化の実験から放射線の電離作用の体験
- ★今年度から新たに始まった中学2年生での授業では、クルックス管プロジェクトの成果が話題であったが、奈良大氏からは、クルックス管からのX線によるデンタルフィルムの造影は、事前に教師が行い、現像済のフィルムを授業時に生徒に見せた事例や森山正樹氏からはクルックス管プロジェクトの成果のガイドラインを活用し、生徒との距離を確保、放電時間の短縮化を意図した授業が実施されたことの報告があった。他の実践者からは、クルックス管の実験における放射線授業への不安や懸念は、特に報告されなかった。上田市内での高島勇二氏の授業でも、クルックス管プロジェクトでの測定実績があり、安全が確認されている学校であったことから特に先生からコメントはなかった。

2. 2022年度の活動の予定

中学3年生の教科書の調査や、健康影響以外に放射線の性質と利用について、各社の教科書の特徴を取りまとめる。また、授業実践内容からの重点の実施事項や補足的実施事項の抽出整理は継続して実施予定。

参考資料

1. TWG 学理科教科書検討ワーキンググループの設立趣旨

・学習指導要領改訂に基づいて、新中学校理科教科書が2021年度から使用開始される時期に鑑み、全5社の教科書を調査し、今後の有効な授業内容に関して、調査・提言する。

2. 委員名簿（2020年度）

- ・ 大津浩一（名古屋経済大学市邨高等学校中学校）
- ・ 高嶋勇二（全国中学校理科教育研究会支援センター）
- ・ 畠山正恒（聖光学園中学高等学校）
- ・ 渡部智博（立教新座中学校・高等学校）
- ・ 田中隆一（放射線教育フォーラム）
- ・ 宮川俊晴（グループリーダー、事務局。放射線教育フォーラム）
（外部協力委員）
- ・ 佐々木清（コミュタン福島）
- ・ 羽澄大介（現・名古屋市立西前田小学校、前・名古屋市立山田東中学校）
- ・ 森山正樹（札幌市立白石中学校）

3. 活動方針

1) 目的

中学校の現場の先生に活用される以下の**3つの成果物**を作成する。

- ① 成果物の一つには、先生が授業で活用できる**教科書の解説的な資料**を作成する。
- ② 成果物の一つには、授業をサポートする**授業計画例とその補足資料**を作成する。
- ③ 成果物の一つには、将来の高校入試を考慮した**理解度確認の問題**を作成する。

2) 実施内容

以上の目的を達成するために、ワーキンググループは以下の活動を実施する。

- ア) 5社の教科書の放射線・原子力発電の部分と比較整理し、各社の特徴を抽出する。
- イ) 各社の教科書の記述から、中学校で生徒に身に着けることが望ましい項目を抽出し、その解説的な資料を作成する。
- ウ) イ) 項の授業内容を検討し、その授業計画例と授業の実施にあたり、先生が留意すべき事項を抽出し、授業の補助資料を作成する。
- エ) ウ) 項の授業後に確認する試験問題事例を作成する。（高校入試を考慮した理解度確認試験問題）

以上
（文責 宮川 俊晴）


知りたい！ エネルギーの？ 電気の？

体験して学ぶ



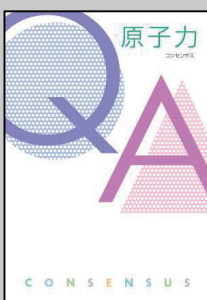
科学技術館(東京・北の丸公園内)の「デンキファクトリー」,「アトミックステーション・ジオラボ」では、エネルギーや電気について、見て、触って体験できる展示を行っています。

科学技術館は日本科学技術振興財団が運営しています

 公益財団法人 日本科学技術振興財団・科学技術館
Japan Science Foundation / Science Museum

データで学ぶ

各種パンフレット



動画などの情報



教育教材などの情報



教育支援サイト エネラーニング
(<https://fepc.enelearning.jp/>)



電気事業連合会や電力各社ホームページには、エネルギーや電気について、役立つ情報がいっぱいです。

電気事業連合会
(<https://www.fepc.or.jp>)



千代田テクノルは
放射線

を から
測る 守る
で
治す

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



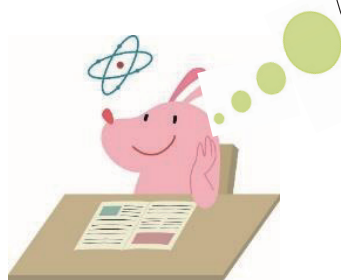
JQA-QM8513
Tokyo・Osaka
Kashiwazaki Kanwa

最前線のアイソトープ・放射線研究紹介

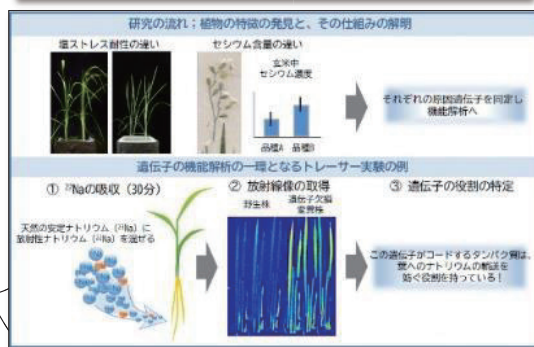
— 私が研究者になるまで —

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。



放射線プラスアルファで独創的な研究の世界へ



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>



～アイソトープと放射線を用いた研究に携わる全ての皆さまへ～

第59回 アイソトープ・放射線研究発表会

会 期： 2022年7月6日（水）～8日（金）

形 態： オンライン大会 皆さまのご参加をお待ちしております

参加登録期間/参加費：

		事前登録	左記以降の参加登録
		4月6日(水)～6月10日(金)17時	6月13日(月)～7月8日(金)12時
参加費	一般	7,000 円(税込)	9,000 円(税込)
	学生	無料(要学生証)	無料(要学生証)(※1)

(※1) 学生の方は、学生証の提示(アップロード)が必要です。
学生証の確認及びID設定等の都合上、「事前参加登録」にご協力をお願いいたします。

詳しくはホームページをご覧ください。

<https://confit.atlas.jp/guide/event/jrias2022/top>

主催 公益社団法人日本アイソトープ協会





自然とともに、人とともに。

三菱重工の原子力技術

エネルギーの安定供給と、CO₂削減や資源の有効利用による自然環境の保護。

私たち三菱重工は持続可能な未来を見据え、


原子力プラントメーカーとしての技術と経験をもって、より豊かな暮らしの実現に貢献しています。

人と社会と環境を確かな技術で支える —— 三菱重工グループ。

 **三菱重工**

三菱重工株式会社 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 FORWARD  **MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**