

放射線教育フォーラム ニュースレター

No.85 2023. 6

高校生と学ぶ放射線

慶應義塾大学 井上 浩義



放射線教育フォーラムには既に20数年在籍をさせて頂いております。私は27年前に九州の久留米という片田舎で放射線教育を始めましたが、確固とした目的もないままに、小学校・中学校の夏休みと冬休みに、放射線教室を開催しておりました。そのような折に、飯利雄一先生（元信州大学教授）からご薫陶を受ける機会を得ました。当時、地方私立大学の専任講師であった私に教育の重要性を実に丁寧に示唆下さいました。放射線の政策決定において社会的理解と科学的理解を同時に進めること、及び当該決定の前には抽象化が不可欠であることを特にご教授頂きました。これは、放射線にとどまらず科学・技術のあり方における普遍的な考え

方だと思っております。

16年前に慶應義塾大学に移ってからも放射線教育を継続しておりますが、現在は高校生を対象にした教育活動をJSTの「次世代人材育成事業」のご支援を受けて通年で行なっております

(<https://www.jst.go.jp/epse/gsc/for/bosyu.html>)。当該活動では放射線に限らず科学技術全般を扱っていますが、毎年、全国から500名以上、海外からも20名程度の応募があります。私たちの資源に限りがあるため、40名のみを選抜となりますが、国際交流や個人研究を含めた先進的な教育を試行しております。毎年、スウェーデンやイスラエルに高校生を派遣して、逆にこれらの国々から高校生を招聘しております。以前には、招聘した高校生は広島か長崎を訪問する機会を設けておりましたが、現在では、福島を訪問して放射線量の測定や農業従事者との交流を行っております。これらは学校側からすると課外学習に該当しますが、昔日とは異なり、現在では、高校には「総合的な学習（探究）の時間」やより高度な「理数探究」などの利用できる科目があります。学校側も積極的に送り出して下さいます。これは入試が一気に多様化しているためです。2020年度入試では、49.1%は在校時の成績や面接にて選抜する推薦入試やA0入試で入学しています。このような入試形態では高校生活での多様な経験が尊重されます。教育現場の変化に伴って、放射線教育も態様が変わりつつあります。今後とも、教育現場との交流を密にしながら協働することで、放射線教育を盛り上げたいと思っております。

京都大学研究用原子炉の現状と今後

京都大学 中島 健

1. はじめに

京都大学複合原子力科学研究所(以下、複合研)には、2基の研究用原子炉があり、多くの研究・教育に利用されている。ここでは、これら研究用原子炉の現状と今後の在り方について述べる。

2. 研究用原子炉とは

研究用原子炉(以下、研究炉)は、その用途により、型式や運転方法などが大きく異なっており、これまでに様々な研究炉が建設・利用されてきた。これら研究炉の利用例の一つとして、炉心で発生する放射線の一種である中性子を用いた研究がある。

中性子は電荷を有していないことから透過力が高く、原子核と直接反応しやすい。その反応の様子を調べることにより原子や分子の構造や動きを見ることが可能となる。エックス線など電磁波も透過力が高いが、電磁波は重い原子核ほど反応しやすくなるのに対して、中性子は軽い原子核とも反応することから、電磁波では見えない生体中の水の様子などを調べることが出来る。また、中性子が原子核に吸収されると、別の原子核が生成される。これにより、元とは性質の異なる原子核を生成(核変換)したり、あるいは生成された原子核の出す放射線を測定することにより元の原子核の存在量を測定したりすることが出来る(中性子放射化法)。このほか、中性子は磁性を有しているため、磁場の様子を調べることもできる。このような中性子の性質を利用して、研究炉は、様々な物質の構造解析や組成分析、新元素生成などに利用されている。また、中性子照射による材料への影響を調べるためにも、研究炉は用いられている。

3. 日本の研究用原子炉

わが国には、2010年の時点で14基の研究用原子炉があり、原子炉の基礎特性測定や新型原子炉の開発、また中性子利用研究や各種材料への中性子照射研究などが行われていた。しかし、

2011年3月に発生した福島第一原発事故の影響等により、現時点(2023年2月)では、14基のうち6基が廃止、残り8基のうち2基は原子力規制委員会による許認可手続き中であり、稼働中は6基にとどまっている¹⁾。

4. 複合研の研究用原子炉の現状

複合研には、最大熱出力5,000kWのKUR(京都大学研究用原子炉)と、最大出力100WのKUCA(京都大学臨界実験装置)の2基の研究炉が設置されている²⁾。

KURは主に中性子利用研究に用いられており、1964年に運転を開始して以来、全国共同利用研究所である複合研の主要な施設として、全国の研究者に利用されている。その分野は物理学、化学、生物学、工学、農学、医学等多岐にわたり、またこれらを融合した分野の研究も行われている。中性子を用いたガン治療法の一つであるホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の研究では、医学、薬学、医学物理、原子力工学などの研究者が協力することにより、大きな成果をあげることができ、その成果を発展させた加速器BNCTは2020年4月に厚生労働省が認可(医療機器および医薬品の製造販売承認³⁾)し、同年6月より国内2か所の病院で保険診療を開始している。また、中性子放射化法は、2010年に小惑星探査機はやぶさが持ち帰ってきた小惑星イトカワのサンプル分析にも用いられた⁴⁾。このほか、中性子の散乱反応を用いた物質構造の解析や中性子を物質に透過させて内部の水分等の観察を行う中性子イメージング実験などが行われている。

KUCAは、1974年に運転を開始した極低出力の研究炉(臨界実験装置)で様々な炉心を構成することが可能であり、主として各種原子炉の炉心特性(核特性)の研究に用いられている。最近では、福島第一原発事故で発生した燃料デブリ取り出し

時の臨界監視技術の開発を関係メーカーと共同で実施している。また、KUCA は原子炉の基礎的な特性を理解するのに適した施設であり、全国及び海外の原子力を専攻する学生の実習にも用いられている⁵⁾。運転を開始した翌年の1975年からこれまでに、4千5百名を超える学生がKUCAを用いた実習に参加している。なお、現在KUCAでは、燃料を高濃縮ウランから低濃縮ウランに転換するための許認可作業中であり、運転を休止している。

5. 複合研の研究用原子炉の課題と今後

複合研には、上述のとおり2基の研究炉が設置されている。発電用原子炉に比べて出力が低い研究炉とはいえ、その安全性の確保は最優先事項である。しかしながら、2016年の国立大学の法人化以降、大学の運営費と人員は削減されつつある。また、2011年の福島第一原子力発電所事故以降に原子力の安全規制が強化され、従来以上に厳しい施設管理が求められている。特に、出力が高く、運転終了後もしばらくは燃料の冷却が必要なKURに関しては、新たな安全規制の下で様々な対応が必要となり、その維持管理は大きな負担となっている。また、KURは運転開始から約60年が経過しており、これまでも必要な保守・補修は行っているが、今後、その経費は増加することが見込まれる。さらに、KURの使用済燃料は日米協定に基づき全て米国へ引き渡すこととなっているが、その期限が2026年5月で終了となり、この期限以降に発生した使用済燃料はその処分の方策が決定していない。一方、我が国では福井県の「もんじゅ」サイトに新たな試験研究炉を設置することが決定し、2020年10月より概念設計を開始した⁶⁾。複合研は、この概念設計に日本原子力研究開発機構(JAEA)、福井大学とともに参画しており、主に研究炉の利用設備や利用の在り方について検討を行っている。

このような状況を踏まえ、京都大学では複合研の研究炉の今後の在り方を検討し、2022年4月に公表した⁷⁾。その概要は以下のとおりである。

- KURは米国の使用済燃料引取にかかる使用期限(2026年5月)以降の運転を行わない。
 - ポスト KUR の共同利用研究として代替中性子源の整備、ホットラボラトリ等の再整備を行うとともに、JAEA等の外部機関とも連携し、新たな複合原子力科学研究の展開を進める。
 - KUCAは低濃縮ウラン燃料を用いた炉心への転換を行い、今後も実験研究、学生等の人材育成等を実施していく。
 - 新試験研究炉の設計に関しては、KURの経験を活かし、利用しやすい環境整備、最先端の研究が実施できる場の構築を目指す。
- 複合研は、今後、これら計画の実施に向けて、関係機関とも協力して取り組んでいく予定である。

参考文献

- 1) 中島健, 原子力総合シンポジウム 2022 における講演資料, 2023年1月26日。
<https://www.aesj.net/genshiryoku-symp2022>
- 2) 京都大学複合原子力科学研究所「施設・設備」
<https://www.rri.kyoto-u.ac.jp/facilities>
- 3) 京都大学「粒子加速器を用いた BNCT (ホウ素中性子捕捉療法) が実現」
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2020-04-02>
- 4) M. Ebihara, et al., Neutron Activation Analysis of a Particle Returned from Asteroid Itokawa, SCIENCE, Vol 333, Issue 6046, pp. 1119-1121(2011). DOI: 10.1126/science.1207865
- 5) 京都大学複合原子力科学研究所「大学院生実験」
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/CAD/experiment.html>
- 6) 文部科学省原子力科学技術委員会原子力研究開発・基盤・人材作業部会, 第11回, 資料1, 2022年3月16日。
https://www.mext.go.jp/content/20220316-mxt_genshi-000021321_1.pdf
- 7) 京都大学「京都大学における研究用原子炉(KUR)等の今後の在り方について」
<https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news/2022-04-05-0>

福島県立医科大学 先端臨床研究センターの歩み

福島県立医科大学 ふくしま国際医療科学センター 先端臨床研究センター 城寶 大輝

福島県立医科大学先端臨床研究センターは東日本大震災からの復興事業の一つとして、放射線のプラスのイメージを膨らますべく、アルファ線(α線)放出核種アスタチン(^{211}At)を使用したがん治療薬の開発を進めています。2016年、本センターに ^{211}At の製造可能なサイクロトロンを導入し、続く薬剤合成、動物評価さらに臨床試験に必要な施設・設備が整備されました。ここでは、当センターでの研究と今後の展望についてお話します。

α線はエネルギーが高く、飛程が短いという特徴から強い細胞障害性(DNAの二本鎖切断)が認められています。そのためα線放出核種は危険な放射性同位元素として怖がられてきました。しかし、その性質を逆手にとって、がん細胞だけに特異的に集まる薬剤に利用すれば、がん細胞だけを狙って攻撃することが期待できます。

近年、欧米で薬物治療やβ線放出核種による治療で改善できなかった前立腺癌の全身転移患者に対して、α線放出核種アクチニウム(^{225}Ac)を使用した薬剤を投与することで全身の前立腺癌細胞を顕著に消失させることができたという論文が報告されました(図1)¹⁾。そのため、 ^{225}Ac は世界的に注目されていますが、現状では大量製造が難しく、日本においては入手することが非常に難しい状況でした。

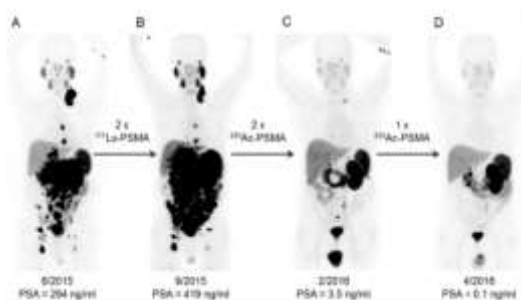
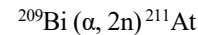


図1. ^{225}Ac 標識薬剤による腫瘍の縮小

そこで ^{211}At に着目しました。 ^{211}At には他のα線放出核種(^{225}Ac など)にはないメリットがあります。例えば ^{211}At を生成させる核反応に必要なスペックを持ったサイクロトロンさえあれば国内でも ^{211}At の製造は可能なことや、半減期が約7.2時間と短いため(表1)、 ^{211}At 標識薬剤による核医学内用療法の際に、有害事象が生じても早期に対応が可能と考えられます。

^{211}At はサイクロトロンを用いて原料であるビスマス(^{209}Bi)にαビームであるヘリウム原子核を衝突させることで製造できます。



当センターでの ^{211}At の製造方法は、アルミニウムの基板に ^{209}Bi を薄く塗ったものを作成し、そこにαビームを照射して ^{211}At を生成し、 ^{211}At の物性を利用した乾式分離法により単離する形をとっています。この方法で得られた ^{211}At を用いて抗がん剤開発の研究を行っています。

その研究の1つとして悪性褐色細胞腫治療薬1-(meta-[^{211}At]Astatobenzyl)guanidine (mABG)の開発を量子科学技術研究開発機構と共同で行いました。mABGには高い腫瘍縮小効果があり(図2)²⁾、現在の治療の限界点を大きく改善する可能性がありました。そのため、当センターではmABGの臨床応用を目指して医師主導治験を計画しました。

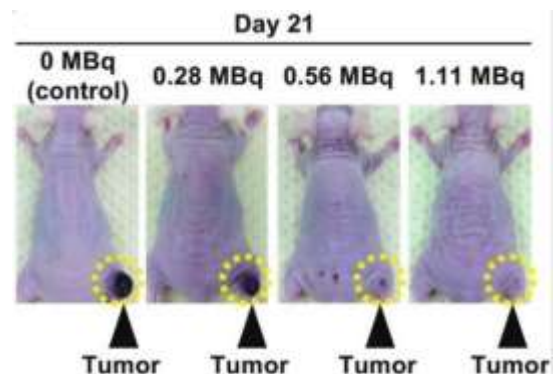


図2. 腫瘍モデルマウスへのmABGの投与

医師主導治験を始めるまでには、mABGの製造法を確立して、小動物での体内動態や有効性・毒性を評価し、医薬品医療機器総合機構(PMDA)での審議を経る必要がありました。

今回の審議において特に問題となったのは、²¹¹Atには安定同位体が存在しないため、mABGの確認試験ができないという点でした。確認試験とは、その放射性薬剤が目的物であるか否かを確認する試験のことで、安定同位体が存在する放射性薬剤は、一般的に物理化学的情報が既知の目的物(標品)を使用した高速液体クロマトグラフィー(HPLC)による薬剤の同定により確認試験を行います。mABGではその方法が取れないため、別の手段を模索するべくPMDAと相談を行いました。同じハロゲン族の元素であるヨウ素を用いた類似化合物 1-(meta-iodobenzyl)guanidine (mIBG)による比較で確認を行うことを提案しましたが、ヨウ素とアスタチンは別の元素であるため不可とされました。最終的にPMDAから液体クロマトグラフィータンデム質量分析法(LC-MS/MS)を用いて確認する方法の可能性について指摘を受け、LC-MS/MSを用いることよりmABGのMS情報の確認ができたため、その方法が採用(合格)となりました。他にも本邦に²¹¹Atを使用できる大型の動物実験施設がないことによる問題点などがありましたが、可能な信頼性保証体制で拡張型単回投与毒性試験を実施することや類薬

mIBGのデータで補うことで解決できました。

mABGの治験第I相に進む上で、まずヒトへの初回投与量を設定しました。初回投与量はPMDAの医薬品の非臨床試験ガイドラインに従い、投与量であるSTD10の1/10としました。STD10とは試験動物の10%に重篤な毒性が発現する投与量のことで、mABGの拡張型単回投与毒性試験でのSTD10は6.5 MBq/kg(ヒト等価用量)だったため、STD10の1/10である0.65 MBq/kgをヒトへの初回投与量に設定しました。

その後2022年2月に治験審査委員会の承認を経て、PMDAに治験届を提出し、2022年6月から医師主導治験第I相を開始することができました。

現在も医師指導治験を実施中で、2022年10月に1例目の患者さんへの投与が終了したところです。今後は医師主導治験計画書に従って段階的に投与量を上げていく予定です。

また、当センターは今後2023年4月より動き出した福島国際研究教育機構(F-REI)³⁾と、放射線科学・創薬医療の分野で協力していく予定です。

参考文献

- 1) Kratochwil C. et al. *J. Nucl. Med.* **2016**;57(12):1941-1944.
- 2) Ohshima Y. et al. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging* **2018**;45(6):999-1010.
- 3) <https://www.f-rei.go.jp/>

表1 治療用核種

核種	半減期	崩壊形式
²¹¹ At	7.2 時間	α 崩壊
²²³ Ra	11.4 日	α 崩壊
²²⁵ Ac	10 日	α 崩壊
¹³¹ I	8 日	β 崩壊
¹⁷⁷ Lu	6.7 日	β 崩壊

中学3年間の放射線教育の授業事例と放射線教育を行う上での問題点、要望・希望

愛知教育大学附属名古屋中学校 奈良 大

平成 29 年告示中学校学習指導要領では、災害等による困難を乗り越えて次代の社会を形成する生徒に対し、現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力を教科横断的に育成する観点から、放射線教育の重要性が述べられている。また、「電流とその利用」の静電気と電流における内容の取扱いに関わる項目で「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」という記述も見られる。さらに、私は現在、愛知県で教鞭をとっているが、東北出身であるということもあり、福島第一原子力発電所の事故以後の放射線教育には興味があった。これらをきっかけに、私自身が取り組んだ放射線教育の授業事例を、以下の3つに分けて報告した。

- ① 放射線教育を中学3年間で見通して実施することの意義とこれまでの授業実践
- ② 観察・実験も含めた中学2年生でのこれまでの授業実践
- ③ 義務教育段階での放射線教育のゴール設定とこれまでの授業実践および今後の展望

①では、小学校中～高学年につれ、だんだんと放射線について取り扱う場面が増えているというデータがあるにも関わらず、中学1年生で放射線について取り扱う場面が減ってしまい、中学2・3年生でさらに増えていくという実態がある。

そこで、中学3年間を見通した放射線教育の授業事例として、中学1年の単元「光の性質」で、光の色を学習後に中部原子力懇談会による出前授業において自作霧箱の作成と観察を通じ、放射線の基礎的な性質である「透過性」「電離作用」を学習させたり、放射線利用に関する自作カード教材をなかまわけする観点を考えることを通じ、なかまわけの観点をスライドにまとめて発表会を行わせたりした(図1)。



図1 自作カード教材によるなかまわけ

②では、放射線の科学的な理解を促すため、「透過性」「電離作用」などの基本的な性質を調べる観察・実験方法の確立を目指した中学2年生の授業事例を紹介した。単に放射線の性質を捉えさせるだけでなく、仮説(実験仮説)を立て、それらの性質(理論)を確認する意味を理解させることを通じ、なぜその観察・実験方法で検証するのもか捉えさせたいと考えている。具体的には、クルックス管に電圧をかけたときに出ているX線などの放射線を、「霧箱」「Webカメラ」を用いて検知することを通じて「透過性」「電離作用」を検証した(図2)。

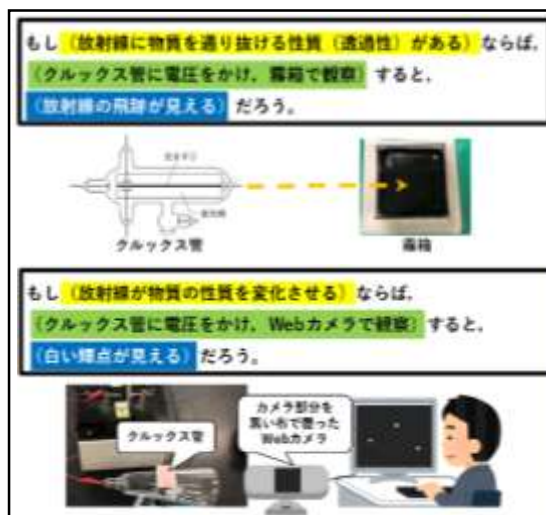


図2 放射線の「透過性」「電離作用」の仮説(実験仮説)

その後、「透過性」「電離作用」が日常生活でどのように利用されているかについて、その性質とリンクさせて調べさせ、まとめさせた。授業を受けた生徒の授業の様子や授業後の感想な

どから、「透過性」の観察・実験における「霧箱」の有用性は高いことが分かった。一方、「電離作用」の観察・実験における「Web カメラ」では、説明に使う言葉が複雑であったり、難しかったりしたことからさらなる改善が必要であることも分かった。

③では、放射線教育の義務教育段階でのゴールを「高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えること」に設定し、これまでに行った中学3年生の授業事例を紹介した。具体的には、放射線教育の義務教育段階でのゴールを「高レベル放射性廃棄物の地層処分について考えること」に設定した経緯や意義について、日本学会会議での「高レベル放射性廃棄物の処分について」の回答などを基に、私見を述べた。また、原子力発電環境整備機構（NUMO）による出前授業を通じ、高レベル放射性廃棄物の地層処分が選ばれている理由を考えさせたり、地層処分で使用が検討されている「ベントナイト」の性質を確認する観察・実験などを行ったりしたことを報告した（図3）。



図3 原子力発電環境整備機構（NUMO）による出前授業

さらに、今後の展望として、理科の授業の中で、福島県の高中生とオンラインでつないで「福島の実状」についての同年代の生の声を聞かせていただくことを授業に取り入れたり、高レベル放射性廃棄物の地層処分について、オーセンティックな文脈で考え、自分事にできるような資料提示や授業展開の工夫をしたりすることなども述べた。

最後に、放射線教育を行う上での問題点、要望・希望として、「年に数時間程度の授業のために準備することの大変さ」「放射線教育実践者の

少なさ」「予算確保の難しさ」「学習評価の難しさ」などを取り上げた。また、私の周りの理科教員の仲間に、中学2年生における「放射線教育」に対するアンケートを実施した結果を報告した。その結果、中学2年生で放射線を指導するのは難しいと考えている傾向が強いことや放射線に関する観察・実験にあまり取り組ませていないことが分かった。そのような理由として、使われる用語やその意味が難しいことが考えられる。例えば、「電離」は中学3年生「化学変化とイオン」で学習する内容であるため、電離という用語を使わずに指導したり、「透過性」は放射線のもつ性質というよりも放射線が通過する際の他の物質の相互作用によって決まるものであったりすることなどである。

さらに、霧箱の観察や放射線源を用いた遮蔽実験など、自然放射線を利用して放射線を学習する事例は、さまざまところで発表されているが、真空放電と関連付けながら、放射線の性質と利用を学習する事例はまだまだ少ないと感じている。中学2年生の放射線教育の授業事例がさらに増えてくることを希望したい。

参考文献

- 多田将「放射線について考えよう。」、明幸堂、2018.
- 遠西昭寿・福田恒康・佐野嘉昭「テキスト解釈としての科学理解と科学知識習得のための方法論的提案」、日本理科教育学会第64回東海支部大会研究発表予稿集、2018.
- 奈良大「クルックス管と放射線」、公益財団法人日本科学技術振興財団 2020年度放射線授業事例コンテスト、2021.
- 奈良大「中学校理科における放射線利用を学ぶための授業デザイン」、公益財団法人日本科学技術振興財団 2021年度放射線授業事例コンテスト、2022.
- 奈良大「中学3年間における放射線教育」、日本エネルギー環境教育学会第16回全国大会論文集、2022.

放射線教育フォーラム令和5年度第1回勉強会

日時：2023年6月11日(日) 13:30~16:00

会場：東京慈恵会医科大学高木2号館南講堂（東京都港区西新橋3-25-8）

【開催趣旨】

昨年度の勉強会では、放射線の理解を深めるために、放射線に関する基礎的事項の説明にとどまらず、放射線への興味を喚起するための事項の紹介も取り上げた。今回の勉強会でもその方向性を継続し、高レベル放射性廃棄物の地層処分にに関する研究開発の紹介、放射線照射施設とそこで品質保証手段として行われている大線量計測技術の紹介、さらに、東日本大地震後「福島での放射線教育」に取り組んだ授業の実践報告を取り上げる。

【プログラム】

開会挨拶（13:30~13:40）工藤博司理事長

講演1．地層処分研究開発の一端に触れて（13:40~14:20）

吉川英樹（東京慈恵会医科大学）

講演者がこれまで取り組んだ、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発を基に地下の化学、生物学的環境について紹介する。

講演2．放射線加工プロセスと品質管理（14:20~15:00）

小嶋拓治（ビームオペレーション株式会社）

一般生活の中で、放射線加工された滅菌製品や高分子材料製品などが多く使用されている。これらの加工を行う照射施設・装置及び品質管理手段として用いられている大線量計測技術について、その現状を概観する。

休憩（15:00~15:10）

講演3．福島の高校での放射線の授業（15:10~15:50）

原尚志（福島県立安積高等学校）

福島県立高校での授業実践報告。学習者主体の授業により、生徒が「放射線と福島復興」のテーマについて学習し、発表を行った。生徒が取り上げた内容を見ると、以前とは異なり「健康影響」は少なくなった。

閉会挨拶（15:50~16:00）柴田誠一副理事長

講演要旨

講演1. 地層処分研究開発の一端に触れて

吉川 英樹

高レベル放射性廃棄物について、その処分場はまだ決まらず社会問題となっています。実現における最大の課題は、処分の技術的、社会的問題が複雑すぎ、日常生活上の理解と開きがあることだと思います。その開きを少しでも狭められるよう、身近な研究材料から地下の状態の理解が深まるよう、研究開発を行っています。

放射性廃棄物はその発生源が多様であることから、その状態（固体、液体、気体）のみならず、含有する放射性核種の種類、濃度が多岐にわたっています。放射能の濃度レベルで見ると、大学の実験室や病院等で使用される放射性同位元素のように非常に低いレベルから、原子力発電所の原子炉で発生する使用済核燃料や燃料の再処理施設から発生する、極端に放射能濃度の高い高レベル放射性廃液までさまざまです。この高レベル放射性廃液をガラス固化したものを高レベル放射性廃棄物といいます。我が国の場合は高レベル放射性廃棄物とそれ以外の低レベル放射性廃棄物とに分類され処分に供せられます。

高レベル放射性廃棄物であるガラス固化体は、人の生活環境から長期間の隔離を達成するために、地下深部に定置する地層処分が最も有力な最終処分の方法であるとされています。ガラス固化体は高さ約 1.3 m、外径 40 cm の円筒状でステンレスの容器に入っています。ほぼ、使用済みウラン燃料の 1 トンがガラス固化体 1.2 本に相当します。ガラス固化体中には回収されたウランやプルトニウムを除く、核分裂生成物とアクチノイド元素、放射化生成物が含まれています。

長寿命の放射性核種を含有するガラス固化体は、人工的に設けられる安全防護系（人工バリア）と、地質本来が携えている安全防護系（天然バリア）との多重バリアシステムを用いて地下水による放射性核種の漏洩を遅くします。高レベル放射性廃棄物を処分した際の安全評価で重要となるのはこのバリア機能の評価です。

人工バリアはガラス固化体とその周囲に設置されるオーバーパックという炭素鋼の容器、ベントナイトという粘土質の材料により、放射性核種の漏えいを遅延させることがバリア機能となります。地下水シナリオで評価する際に重要なのが地下の環境です。特に酸化還元環境が重要です。本講演では地下に埋設されていた人工物を研究材料として地下環境を評価した研究を紹介します

講演2. 放射線加工プロセスと品質管理

小嶋 拓治

健康診断の血液検査で「電子線滅菌済」の表示があるディスプレイ注射器をご覧になった方もおられると思う。必ずしも表示されていないが、コバルト 60 ガンマ線や加速器・発生装置で発生させた電子線 (EB) を照射して滅菌されたヘルスケア用品や食品容器・包装材、また、耐熱性、発泡性、吸着・捕集・選択透過性などを付加して改質した樹脂・繊維材料などが、身近な生活の中で広く使用されている。ここでは、放射線照射施設とそこで品質保証手段として行われている大線量計測について、その現状を概観する。

このような放射線加工では、遮蔽を施した室内/装置システムに、コバルト 60 ガンマ線源または電子加速器/EB 装置が発生する放射線場を形成し、コンベア等により対象物を遠隔で連続搬送して梱包した照射物を均一に照射する工程が用いられている。照射によって対象物に新たな放射性物質を生じない種類/エネルギーの放射線であり、また線源からの汚染はない。照射施設には、自社工場内に設置されている施設と放射線照射を受託する施設があり、製造ラインに組み込まれている場合もある。

加工処理・製造においては、所期の目的である滅菌や改質などの達成に必要な放射線の量、また、放射線照射に伴う材質変化などが私たちの健康や安全に及ぼす影響や製品の品質低下について、加工の工程の設計及び制御、また、その実施状況の再現に係る確認（品質保証）が重要である。

この尺度となるのが吸収線量（以下線量）であり、照射対象物と同時に処理プロセス全体で受けた放射線の吸収線量（水等価）を測定するために、組成が水に近く、小型で対象物の近傍に貼付してプロセス全体にわたる積算線量の計測が簡便にできるフィルム着色などに基づく化学線量計測システムが持いられている。ヘルスケア用品の滅菌など、品質の保証が不可欠な放射線加工処理では、品質保証手段となる読み取り装置類を含めた線量計測システムについて、その信頼性を確保するため、最適な線量計測システムの選択、的確な取り扱い方法、線量計測値の読み取り方法などを規定した国際規格や工業規格などが整備されている。さらには、品質保証の根拠となる線量値について、国際/国家標準等とのトレーサビリティ（遡及性）の確保が実施されている。

講演 3. 福島の高校での放射線の授業

原 尚志

筆者は東日本大地震後「福島での放射線教育」に取り組み、前任校での実践の一部は物理教育学会誌などで紹介してきた。現任校に赴任して4年となるが、これまではコロナ感染症防止対策などによる休校のため、予定した内容の授業は実施できなかった。昨年度ようやく1年生の授業で実践できたので報告したい。授業計画で留意した点は以下の3点である。

(1) 事故直後、科学的正確さを欠く報道が多数行われ、放射線への過剰な不安が掻き立てられた。社会には今もその影響が散見され、誤解に基づく福島県産品への風評は消えていない。12年を経過して福島の放射線に関する報道量は少なくなり、人々が誤解を解く機会もない。そこで授業では、放射線はもちろん、風評や福島の復興などに関しても、正しく学ばせることを目的とした。地域では高い学力を有する生徒たちであり、教科書に記載された放射線に関する知識は一部すでに獲得している。地域に対する関心も多少あり、福島復興には様々な社会課題があることを知っている。

(2) 原発事故時、専門家による放射線影響の説明には、「安心は得られない」との言葉が向けられた。説明するだけでなく、困難を抱えた人々が課題解決に向かう姿に「寄り添う」ことが求められた。授業においては学習者主体の学びを大切にし、教師は学びの補助に徹することとした。テキストには、「放射線副読本」「ふくしま復興のあゆみ」「放射線リスクに関する基礎的情報」など行政や研究機関が発行する資料を用いた。

(3) 生徒に提示した授業課題は「放射線や震災後の福島について自分が関心を持つことを調べ、友人・家族などに伝えたい事柄をまとめる」であり、50分×5回の授業で実施した。最後の

2回を発表会とし、各グループが作成した資料に基づき、5分程度の発表を行った。

生徒が発表で取り上げた内容を項目に分けると、帰還や復興の進捗(5)、農水産物への風評(4)、原発再稼働(3)、放射線と健康(2)、他県民の福島への意識(1)、原発事故(1)、の6通りとなった。()内の数字は、その項目を取り上げたグループの数である。生徒が取り上げた項目の内容と数を見ると、「放射線の健康影響」は減り、以前とは変化していることがわかる。授業のまとめで実施したアンケートの結果と生徒が作成した資料を見比べると、生徒は放射線の科学的な知識を正しく身に付けた上で、社会課題について考察している姿がうかがえた。

道徳科や総合的な学習の時間でも行う放射線教育

鹿児島県中学理科教諭 原口栄一

理科の中で放射線について教えることは中学2年と3年であり、実践例も多いが、私はその理科以外に道徳や総合的な学習の時間を使い、多面的な放射線教育を行っている。過去に一度単元化もしているが、それについては東京書籍の第33回東書教育賞の中学部門で最優秀賞をいただき、ホームページにも論文がPDFの形でアップされているのでご覧いただきたい。⇒
<https://ten.tokyo-shoseki.co.jp/contest/tkyoiku/no33/haraguchi.pdf>

このように一度は完成させた道徳や総合を含めた放射線教育の単元化であったが、その後も対象となる学校や学年、生徒の変化により、常に新しい教材の開発に力を入れてきた。特に発達段階が低い生徒にも関心が持てるように工夫を重ねている。最近では、もの作りも取れ入れている。

今回は、今年、教材開発して道徳の時間に実践した授業について紹介する。タイトルは「どうする〇〇さん」で、〇〇には生徒それぞれの名前を入れるように指示している。ねらいとしては「福島第一原発事故について知る」「勉強の意義を知る。」「感謝の気持ちをもつ」で、道徳科の内容項目では、「A5 真理の探究」としている。授業の展開の方法はパワーポイントを使って進めていく。



(1)問い 2011年3月11日に何があったか知っていますか？

答え 東日本大震災。

生徒の半分くらいは答えられたが、知らない生徒も少なくなかった。災害の風化が始まっていると感じた。

(2)先日の新聞1面写真を見ましょう。ある駅近くの住宅写真です。見て気づいたことを何でも教えてください。(実際の写真はカラーではっきりしたものである。)



生徒の意見

- ・作りたてである・同じような家ばかり・人がいない・町並みがきれい・住民がまったくいない

(3)この写真が載っている新聞記事を見せる。「避難解除の福島・双葉町 空白の11年間、住民戻らず。学校や商店の再開険しく」(南日本新聞2023年3月11日)という内容である。写真は双葉町の入居が始まった「駅西住宅」で人影がまばらであると説明されていた。

(4)問い この記事を読んでわかったことは何ですか。

生徒の意見

- ・12年経っても人が戻ってこない。復興が始まっていない・住民が少ししか戻らない・福島

第一原発事故の影響・悲しい思い出があるから
もどらない・他の所に避難しているからもどれ
ない・今住んでいる家が良い

(5) 問い 11年経っても住民が被災地に戻ってこ
ない。復興できていないのです。普通の地震な
ら、いくら大地震でも復興が始まってもお
かしくないのに、なぜなのでしょう。

答え 皆さんが読み取った内容もちろんです
が、放射能について恐れている気持ちもあるか
らなんです。

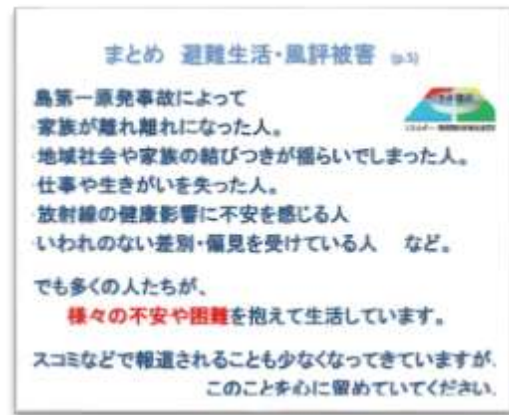
(6) 私は、実際に事故から2年目の時に現地に行
ってみました。この時の鹿児島の放射線量が約
0.1 $\mu\text{Sv/h}$ なので、それと比較しながら車で走っ
ていきました。（その時の写真をまとめたビデオ
を見せる。）



(7) 福島第一原発事故について説明する。

<東日本大震災による福島第一原子力発電所の
事故により、原子炉の損傷や放射性物質の
放出・拡散による住民の生命・身体の危険を
回避するために、国は原発事故直後から近く
の全住人に避難指示を出した。その後、地域
の除染やインフラ・生活環境の整備が進むこ
とにより、徐々に避難指示が解除され、特定
復興再生区域が設けられさっきの写真の様な
町並みが作られている。ふるさとに戻られる
方々の生活を考えながら、国や地方自治体は
いろいろな取組を実施している。>

(8) まとめ（避難生活・風評被害の説明）



(9) 問い さて、動画にあった黒い袋には除染作
業をした結果のものが入っています。なぜ、す
ぐに片付けずに道ばたに置かれているのでしょ
うか。



生徒の意見

- ・捨てるときに放射線が出ているから

(10) 2013年当時は、はっきりと置き場がまだ決
まっていなかったが、現在は、中間貯蔵施設が
できて、処理が進んでいること、最終的に県外
に持ち出しが決まっていることを説明する。

（中間貯蔵施設の説明動画を見せる。）

福島の人たちは災害も受けて、さらに廃棄物を
保存してくださっている。感謝である。ただ
し、まだ最終処分場をどこにするか決まってい
ないことを告げる。

(11) 問い 君たちなら、自分の住んでいる地域に
受け入れられますか。受け入れないとしたらどうす
ればいいですか。

○受け入れる 12人

- ・怖いけど、福島の人に戻れるようにするため
に。・どこかが受け入れないと行けないから

- ・役に立ちたいと思う
- ×受け入れない 10人
- ・差別を受けるかも知れない・危ない
- △わからない 8人

(12)教師の説話

難しい問題です。社会に出るということは、このような答えがみつきにくいような問題を考えていくことになります。今のうちに、勉強を通して少しでも頭を使って考える力をつけてください。そして、人の嫌がることをしてくださる方々のおかげで社会が維持されていることを知って感謝の気持ちを持てるようにしてください。

(13)各自、授業の感想を書く。

- ・放射線によって、いまだに故郷へ帰れていない人が多い事を知った。現在、原発事故の後片付けをしている方々に感謝の気持ちを持って生きていきたい。

- ・どんなに悲しいことやつらいことがあっても、まわりのものや人に感謝をすることが大事だと思いました。社会に出たら、やりたくない判断をさせられたりすることもあるかもしれないけれど、多くの人たちのために最終処分場を引き受けることも大切なんじゃないかなと思いました。

- ・住民が福島で快適に過ごすために今のうちに対策を考えていければと思った。勉強を頑張って考える力をつけていきたいと思う。福島を差別しないようにすることが大事。

- ・自分が知らなかった現実を学んで、これから向き合っていくといけないことについて、多く考えることができて良かった。

- ・放射線などの問題を僕たちの時代に解決しないといけなかったりもすることもあると思うので、そういうときはできるだけ受け入れていきたいと思った。

- ・原口先生の道徳授業は、とっても楽しくて毎

回本当に楽しみでした。普通の道徳では、絶対に記憶に残らないのに原口先生の道徳は全部しっかりと脳裏に焼き付いています。それぐらい僕はこういう他の先生がしないような道徳が大好きでした。

- ・とても楽しい道徳授業だったし、今までも知らなかった放射線のことなども知れて良かった。

- ・勉強はテストで点を取るだけのためにあるんじゃない。頭を使って考えるためにあるということは、今まで何度か聞いたことがあって、でもあまりできなかったことだ。自分が今何が出来るのか、よく考えることのできる人になりたいと思う。そして、最後の感謝という面では、すべてにおいて必要で大切なこと。親、友人、先生、環境、道具、すべての人、物、場所に通じる物だと僕は思う。だから、感謝を言葉にする。ありがとうという言葉は、とても大切で、あるべき最強の言葉だ。

- ・今日の道徳はとても感動しました。今でも帰れずに苦しんでいる人がいることを知って、今、自分の地で幸せに暮らせているのが当たり前ではないということがわかりました。黒い袋をいずれ、どこかの都道府県が受け入れなければならぬと思います。その時は受け入れてくれた県に感謝しようと思います。最後のじゅぎょうしてくださってありがとうございました。とても、ためになりました。

- ・実際に震災があったところでは、普通の300倍の放射線があることにびっくりしました。福島県に住んでいる人は差別されていることを知って悲しくなりました。本当は放射線はうつらないということをみんなに知って欲しいです。

- ・先生が実際に危険なときの福島に言ったこととても驚いたが、それ以上に動画で見たことに驚いた。事実を知ることが大切だと思う。今までの道徳授業ありがとうございました。

令和4年度決算書（案）

NPO法人 放射線教育フォーラム

(単位：円)

費目	令和4年度 予算	令和4年度 決算
1. 収入		
個人会費収入	618,000	587,000
団体会費収入	1,125,000	1,095,000
寄附金	0	0
資料掲載料収入	275,000	253,000
雑収入(勉強会支援金)	16,000	23,000
預金利息他	0	38
助成金等	0	0
(収入合計)	2,034,000	1,958,038
2. 支出		
A. 事業費		
勉強会・活動報告開催費	150,000	175,438
企画検討グループ	0	0
調査活動研究費	70,000	0
編集員会開催費	70,000	0
定期刊行物発行費	275,000	190,575
研究会等出展費	20,000	0
全国中学校理科教育研究会他	25,000	20,000
(事業費合計)	610,000	386,013
B. 管理費		
理事会開催費	80,000	3,300
総会開催費	30,000	27,280
旅費交通費	50,000	90,620
人件費	0	0
家賃・事務所借上代	616,500	701,250
光熱費	28,000	31,139
事務用品・消耗品費	250,000	106,552
通信運搬費	272,000	239,749
支払手数料	1,000	0
雑費	40,000	39,522
会計監査費	55,700	-55,685
予備費	800	0
(管理費合計)	1,424,000	1,183,727
(支出合計)	2,034,000	1,569,740
収支差額	0	388,298
(当期経常増減額)		
前期繰越正味財産額	3,222,844	3,222,844
当期正味財産増加額	0	388,298
次期繰越正味財産額	3,222,844	3,611,142

《会務報告》

日時	名称	開催場所	出席者数
2023年3月19日(日)	2022年第9回理事会	オンライン	11名
2023年4月16日(日)	2023年第1回理事会	同上	12名
2023年5月21日(日)	2023年第2回理事会	東上野区民館および オンライン	11名 オンライン4名

《ニュースレター原稿募集のご案内》

編集委員会では、会員の皆様からの寄稿をお待ちしています。「会員の声」は、学校教育の場での体験談、新聞・雑誌の記事に対する感想、研修会等への参加など、多少とも放射線・原子力・エネルギーの関係するもので、1000字以内です。「放射線ものしり手帳」は難しい話題を面白く親しみやすい読み物で解説するもので2000字以内。「書評」は最近刊行された本の紹介で2000字以内。投稿は原則として電子メールでお願いします [送付先(編集委員長) yoshimune.ogata@aichi-med-u.ac.jp]。発行は、3月、6月、11月の年3回です。ニュースレターへのご意見や特集記事などの提案も歓迎いたします。

《「放射線教育」誌の原稿募集案内》

放射線教育フォーラム発行の論文集「放射線教育」では、広く放射線教育に有益と考えられる内容の論文[研究報告、ノート、総説、解説]、資料、意見、諸報を募集しています。論文は編集委員会での審査を経て掲載されます。「放射線教育」は、年1回3月末に発行されます。原稿の締め切りは、1月31日です。論文に含まれる図表は原則として白黒とし、編集委員会が認めたときに限りカラーの使用を認めます。カラーページの印刷費は、原則として全額を投稿者に負担していただきます。投稿論文は編集委員長に電子メールの添付ファイルでお届け下さい。CD又はDVDの場合には、NPO法人放射線教育フォーラム事務局宛に送付して下さい。投稿規程は、放射線教育フォーラムのホームページから「刊行物」のページにある過去の「放射線教育」誌中に記載されています。別刷りは有

料となります。(詳細は事務局にお問い合わせください)。投稿規程は、の詳細は事務局にお問い合わせください。

《編集後記》

昨年2月に始まったロシアのウクライナ侵略戦争は終わりが見えない。子供を含む罪もない多くの市民が犠牲になっていると報道されている。また、ザポリージャ原発は、ロシア軍の占領下にある。いつ甚大な事故が起きても不思議のない状況である。さらにプーチンは、核兵器で脅しをかけている。ロシアにとって戦況が悪化することも予想され、「悪魔の兵器」使用の危険ささえ否定できない。未曾有の核災害の不安に心が痛む。一方、各地の大学でアイントープの施設が次々と廃止されている。放射化学の講座も少なくなった。気象庁も大気・海洋の環境放射能分析をやめてしまった。いざというときに的確な放射能をモニタリングできるのだろうか。不安ばかりが募るこの頃である。

(緒方良至)

NPO 法人 放射線教育フォーラム編集委員会
緒方良至(委員長)、柴田誠一(副委員長)、
田中隆一、細渕安弘、畠山正恒、大森佐興子、
皆川喜満
事務局: 〒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
NPO 法人放射線教育フォーラム ニュースレター
No.85、2023年6月10日発行
