テーマ 3「放射線に関する最新の話題」

⑧

# 中学学習指導要領の改訂に伴う
# 新時代の放射線教育を目指した
# 「みんなのくらしと放射線展」

大阪公立大学 大学院工学研究科　准教授
「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会
専門部会長　秋吉 優史

2021 年から全面実施された中学校の新しい学習指導要領では、2 年生の電流とその利用の単元で「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」と言う新しい内容が追加されており、全ての生徒が放射線について学習する極めて大きな転換点を迎えている。「みんなのくらしと放射線展」では現場の先生方との意見交換会を行うほか、子供達の後ろに居る保護者世代にも訴求できる放射線教育コンテンツを追求している。

# 中学学習指導要領の改訂に伴う新時代の放射線教育を目指した「みんなのくらしと放射線展」

大阪公立大学 放射線研究センター
秋吉　優史

## 1. みんなのくらしと放射線展とは

大阪公立大学（旧・大阪府立大学）を中心として、日本原子力研究開発機構、電子科学研究所、日本原子力文化財団、大阪ニュークリアサイエンス協会、大阪府診療放射線技師会、日本アイソトープ協会、日本原子力学会関西支部、関西原子力懇談会からなる、「みんなのくらしと放射線」知識普及実行委員会が長年開催している「みんなのくらしと放射線展」は、一時期はデパートの催事場などで一週間程度イベントを行っていた時期もあり、延べ来場者数は 30 万人を超える放射線教育イベントである。近年は大阪科学技術センターにおいて 8 月第一週の週末に 2-3 日間の開催で 2-3 千人程度の集客を行い、多くのこども達に放射線知識の普及を行ってきた。

2020 年以降のコロナ禍においては、オンラインでの開催となったが、多数のコンテンツを専用サイト[1]において公開してきた（図 1）。2021 年度以降は、中高生や放射線関係の会社に就職を検討する大学生向けに、比較的高度な内容を取り扱った「放射線アカデミア」として、専門家が様々なテーマについて解説する「放射線研究レポート」と、現場で働く人たちの声を取材した「プロフェッショナルの声」をコンテンツに加えている。

図 1 「みんなのくらしと放射線展」オンラインサイトトップと QR コード

## 2. 中学理科学習指導要領の改訂とクルックス管の放射線安全管理

放射線教育を取り巻く環境には非常に大きな変化が起こっている。2017 年に公示され 2021 年から全面実施となった中学理科の新学習指導要領に於いては、第一分野の「(3)電流とその利用」の単元に於いて、その内容の取扱で「電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また、真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。」と言う内容が新しく追加されている。さらに 2017 年 6 月に出された学習指導要領の解説理科編では、「高電圧発生装置 (誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流に関係していることを理解させる。その際、真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる。」「真空放電と関連づけながら放射線の性質と利用にも触れること」という新しい内容が追加された。当該単元は 2 年生で取り扱われ、全ての生徒が放射線について学習することになり極めて画期的である。

また、2008 年に行われた学習指導要領の改訂では第一分野の「(7)科学技術と人間」の単元に於いて、エネルギー教育の一環として原子力が取り上げられており、内容の取扱に於いて「放射線の性質と利用にも触れること」との記述が新しく追加され、30 年ぶりに放射線教育が復活している。しかしながら当該の単元は 3 年生の最後に学習する内容であり、入試問題として取り上げられないなどから実際に放射線教育を実施している学校はそれほど多くはなかった。

最新の学習指導要領によって全ての生徒に放射線教育が行われることが期待出来る半面、クルックス管から放出されるパルス状で低エネルギー（20 keV 前後）の X 線は測定が非常に困難であり、一般に普及している簡易なサーベイメーターはおろか、放射線管理の現場で信頼されている補償型の NaI シンチレーターを使用したサーベイメーターでも実際の線量とはかけ離れた小さな値しか測定されず、低エネルギー校正場で校正された電離箱や、ガラス線量計や OSL 線量計のようなパッシブ型の線量計での測定が必要である。正確な線量評価以前に、そもそもクルックス管から X 線が漏洩していると言うこと自体はレントゲン博士の X 線の発見のエピソードを知っていれば容易に理解出来るが、どの程度の線量なのか、どのように安全を確保すれば良いのかといったことは一部の専門家を除いて知られておらず[2]、我々の 2018 年度に行われた全国調査では製品によっては 15 cm の距離で、70μm 線量当量率が 200 mSv/h にも達する場合がある事が見いだされ[3]、安全上の注意喚起が不可欠である。

このため、2017 年度からクルックス管から漏洩する X 線に関する安全管理を目的とした「クルックス管プロジェクト」が線量計測、放射線教育、放射線安全管理など各方面の有志により立ち上げられた[4]。その成果は様々な論文[5-12]、日本保健物理学会の「教育現場における低エネルギーX 線を対象とした放射線安全管理に関する専門研究会」としての報告書[13]、そして日本で販売される中学理科の教科書会社 5 社のうち 4 社において教師向けの指導書で特集記事としてクルックス管の安全管理について掲載された[14-17]。また、全国中学校理科教育研究会の全国大会（2019, 2022, 2023 年度）においてブース出展を行うと共にリーフレットの配布を行ってきた。

最も重要な知見は、製造時の真空度調整の問題や製造後の吸着などによって管内のガスが枯れてしまい冷陰極を叩く陽イオンが不足するため電流が出にくいクルックス管は、誘導コイルが電流を流そうとして電圧が上がり、発生する制動放射 X 線のエネルギースペクトルが高エネルギー側にシフトすることでクルックス管を構成するガラス管に対する透過率が大幅に大きくなる（図 2 に示すように 15 keV が 30 keV に上がっただけで 100 倍大きくなる）ことにより漏洩線量が上がってしまう場合がある[8]、という事実である。実はこの現象はクルックスが装置を発明した時代から知られており、ガス圧を調整する調整器(softener, エネルギーが高くなると透過力の高い「硬い」X 線と

なることを防ぐという意味だと考えられる) が設けられていた。国内でも非常に古い装置では調整器が付いている例が確認されており(図 3)、古い装置であっても安定したビーム電流が得られている。しかしながら現在販売されている装置にはそのような調整器はついておらず、製造時の条件や製造後の様々な条件によって線量が高くなってしまう場合があり、製品の区別による安全管理を困難なものとしていた。

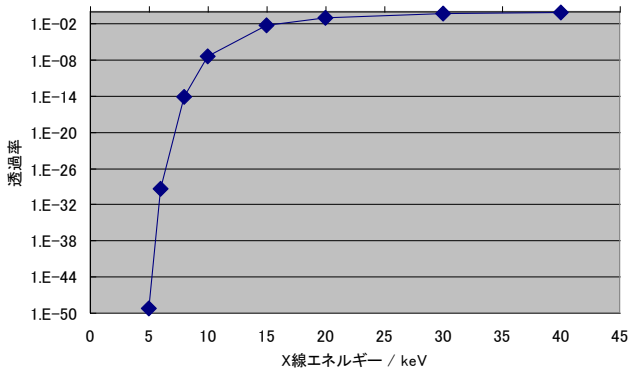


図 2 3 mm のソーダガラスに対する低エネルギーX 線の透過率。100 keV 以下ではわずかなエネルギーの違いにより大幅に透過率が変化する。

図 3 ガス圧の調整器（緑色の丸で示す）の付いた島津製作所製のクルックス管。

クルックス管に印加される電圧をコントロールする手段としては誘導コイルに備わっている放電出力調整ダイヤルがあるが（備わっていない製品もある)、極端に巻き数の異なるトランスである誘導コイルの一次側の電圧パルスを調整して二次側の電圧をコントロールする物で、絶対的な電圧制御を行うことは出来ない。このため、誘導コイルに備わっている放電極を、意図せずに電圧が上がらないようにするための安全弁として捉えた。空気中での放電距離は概ね 1 kV で 1 mm であるから、放電極の電極間の距離を 20 mm とすることで 20 kV 以上の電圧がかかりそうになると空中放電によって短絡して電流が流れることにより、並列に接続されたクルックス管に対する印加電圧を抑えることが可能である（図 4)。

この運用法によって漏洩線量が抑えられることを、2019 年度の全国調査によって確認した[3]。測定条件として 放電極距離は 20 mm、放電出力は観察が可能な範囲で最低、距離は 20 cm で 10 分間の測定とした。運用を行う上での暫定的なガイドラインは以下の通りであり、1 m の距離での線量を評価するために測定値を 1/25 にした。

・放電極を必ず使用し、放電極距離は 20 mm 以下とする。
・放電極表面は清浄にした上で、円板電極側を－極にする。
・誘導コイルの放電出力は、電子線の観察ができる範囲で最低に設定する。
・できる限り距離を取る。生徒への距離は 1m 以上とする。
・演示時間は年間 10 分程度に抑える。

また、測定は 70 μm 線量当量について行ったが、実効線量への換算を ICRP Pub 116 Fig.5.2 や 1 cm の水に対する透過率などを元に 1/10 とすることで求めた。この換算は暫定的な物であり、今後 PHITS コードなどを用いた計算によりより詳細な検討が必要である。

図 4 誘導コイルの放電極による最大電圧のコントロール

2019 年度の全国調査で測定を行った 191 本中 187 本の装置については 1 m 距離、10 分間の実効線量が国際的な免除レベルである 10 μSv(IAEA BSS など) 以下に抑制されていることが確認された。4 本だけ 10 μSv を超えると評価されたが、3 本は 20 μSv 以下、1 本だけ 42 μSv に相当すると評価されたが、ICRP Pub36 「科学の授業に於ける電離放射線に対する防護」 では、古い単位である実効線量当量での記載であるが年間の線量限度を 0.5 mSv、個々の授業ではその 1/10 (50 μSv) としており、観察時間の考え方から最も線量の高かった装置についても十分にこの指標を下回っていると言える。

## 3. 教員に向けた情報発信

クルックス管に関する安全管理については、みんなのくらしと放射線展においても 2020 年度にオンライン講習会という形で情報発信を行っている。しかし安全情報の周知はまだ十分ではなく、今後義務教育を受ける生徒達は全員が放射線に関する授業を受ける一方で 1977 年告示の学習指導要領の改定以降中学理科の教科書からは放射線に関する内容が一切無くなっており、2008 年告示の前回改定までそれが続いたため、現在教壇で教育を行う教員のほとんどが自分自身放射線に関する教育をほとんど受けておらず、教える必要も無かったため関心も持たれない状態であった。このため放射線教育関係者意見交換会を 2021 年から実施することで、中高の学校教育現場の教員に向けての情報発信を行ってきた。2023 年度の基調講演では文科省の小林一人先生から、学習指導要領における放射線教育のあり方についての講演を頂き、単なる知識の詰め込みでは無い、考える力を養い、「子どもたちの『何ができるようになるか』という環境を授業の中で作ることが大切」と語った。続いて、独自の中高生の放射線探究ネットワークを構築し、極めて活発な中高生と大学のコラボレーション研究を行っている、加速キッチン合同会社を経営する田中 香津生先生

から、これまでの 3 年間の活動で論文（6 本）や学会賞（19 回）、学会発表（108 回）という成果をあげている中高生に対する放射線教育支援の先進的な取り組みについて紹介をいただいた。

4. 中高生による放射線に関する研究発表会 ハイスクール ラジエーションクラス

さらに、高校生の放射線研究発表会を行うことにより、高校生とその教員が共に放射線について学び、発表する場を設けている。2019 年度まではハイスクール放射線サマークラスとして、工作教室などのイベントと同時に 8 月頭に開催していたが、2022 年度からは 4 月に呼びかけても十分な研究時間が確保出来るように 10 月末の開催としており、ハイブリッドでの全国からの参加も含めて 2022 年度は 10 校の参加、2023 年度は 8 グループ（複数校からなるグループあり）の参加を得ており、極めてレベルの高い発表が行われた。特に、2023 年度は最優秀賞に続く優秀賞に大阪市立豊崎中学校の生徒一名による「身近なカメラを用いたシンチレーション光の観察」と題した発表が選ばれており、会場を驚かせていた。また、実験を元にした研究だけでなく、2022 年度に引き続き参加した福島県立郡山萌世高等学校の生徒一名による「なんとなくの福島 II ～報道の変遷から見る処理水海洋放出の社会的認知～」が審査員特別賞を受賞しており、社会的な研究についても取り上げることで、より幅の広い発表会となった。

5. 一般人に向けた知識普及

また、今後は全ての生徒が放射線について学ぶ機会を得ているが、それまでに義務教育を終えた大人達に関しては、情報提供を行う機会は極めて限られている。その中で、放射線展を始め、科学の祭典など教育イベントに参加する親子は比較的科学的リテラシーが高いと期待できる。子供達が霧箱で α 線の飛跡を見て「見えた見えた」で喜んで終わりの時代は卒業し、身の回りの放射線やその性質の違い、影響の大きさについて等、後ろに居る大人達に訴求することが出来る極めて貴重な機会と捉え、多少子供達にとっては難しい内容であっても、積極的に説明を行っていく形へと変革を行っている。

2023 年度は COVID-19 に関する取り扱いが 5 類に変更となり行動制限が解除されたため、飛沫除去などの感染症対策を行った上で OSTEC 701 室に於いて対面での工作教室イベントを開催した。霧箱工作と、UV レジン工作は一回 12 名、30 分を 10 ステージ実施して、それぞれ 51 名、82 名+飛び入り数名の参加を得た。

ダイソーのコレクションケースを使用して安価で非常に簡単ながらも確実に観察が出来る霧箱工作では、線源として空気中のラドン娘核種を使用することで、身の回りにも放射線と放射性の物質が飛び交っていることを学べるようにした。なお、実施には日本原子力学会関西支部からの実演者の協力を得た。

UV レジン工作では、分光シートで虹を見ることで光の波長について理解させたあと、目に見えない紫外線の存在をスパイペンやウランガラスなどを用いて実演して認識させ、可視光でも太陽光発電や光合成が、そして紫外線では殺菌や今回工作で使うような化学反応を起こす力があり、もっとエネルギーの高い放射線は透過して物の中の殺菌や、架橋や重合と言った反応で暮らしの中の役に立っていることを説明した。

測定コーナーでは自然放射線源を GM サーベイメーターで測定して身近な物からの放射線の放出を実感し、ラジウムボールと GM サーベイメーターを用いた宝探しゲームでは、目に見えなくても放射線によって中の様子が分かり、気まぐれで自然の放射線が来る、少し距離が離れると放射線は弱くなる、測定器を早く動かすと見つからないなど様々なことを学習出来る。また、大阪府診療放射線技師会からの展示も行って頂いた。

## 6. おわりに

今後は様々な学協会が連携して放射線知識の普及活動を行っていくべきであり、その先駆けとなるべく低予算で実施可能な様々なコンテンツの開発、検討を進めていく予定である。

## 参考文献・資料


[1] みんなのくらしと放射線展ホームページ https://housyasen-fukyu.com/event/

[2] 大森儀郎, クルックス管から漏洩する X 線の実態とその対策,神奈川児立教育センター研究集録, **13**, 21-24 (1994).

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

[4] 秋吉優史研究教育紹介サイト、クルックス管プロジェクトのご紹介
http://bigbird.riast.osakafu-u.ac.jp/~akiyoshi/Works/CrookesTubeProject.htm

[5] 秋吉 優史, 低エネルギーX 線の放射線安全管理-線量測定と線量拘束値-, 日本放射線安全管理学会誌, **18** (2019) 46-48.

[6] 秋吉 優史, 谷口 良一, 松浦 寛人, 宮丸 広幸, Do Duy Khiem, 神野 郁夫, 濱口拓, 野村貴美, 谷口 和史, 小林 育夫, 川島 紀子, 佐藤 深, 森山 正樹, 宮川 俊晴, クルックス管からの低エネルギーX 線評価手法の開発, 放射線化学, **106**, 31-38 (2018).

[7] 秋吉 優史, クルックス管からの低エネルギーX 線に対する安全管理の必要性, 放計協ニュース、**65** (2020) 2-5.

[8] Do Duy Khiem, H. Ando, H. Matsuura, M. Akiyoshi, Investigation of Low-energy X-ray Radiated from the Crookes Tube Used in Radiological Education, Radiation safety management, **18**, 9-15 (2019).

[9] Duy Khiem Do, Hiroto Matsuura, Masafumi Akiyoshi, Measurement of dose distribution from a Crookes tube using thermoluminescent dosimeter, Radiation Measurements, **134** (2020) 106312.

[10] 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** (2021) 106-111.

[11] 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** (2020) 1-12.

[12]秋吉 優史, クルックス管プロジェクトの歩みと着地点（第 6 回放射線教育国際シンポジウム基調講演 和訳）, 放射線教育, **25** (2021) 45-48.

[13] 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ, Vol 13, No2,
http://www.jhps.or.jp/upimg/files/task-group_report_13-2.pdf

[14] 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, 新興出版社啓林館 ( 2021) 8-11.

[15] 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, 大日本図書 (2021) 342-343.

[16] 秋吉 優史, クルックス管の安全な取扱いについて, 令和 3 年度版 中学校理科教師用指導書 新しい科学 中 2, 東京書籍 (2021) 454-457.

[17] 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）, 教育出版 (2021) 150-151.

## 講 演 者 略 歴

### 秋吉　優史（あきよし まさふみ）


所　　属　大阪公立大学 放射線研究センター　准教授

住　　所　〒599-8570 大阪府堺市中区学園町 1-2

連 絡 先　TEL: 072-254-9852、E-mail: akiyoshi-masafumi@omu.ac.jp


学 職 歴

| | |
|---|---|
| 1995 年 | 東京工業大学大学　工学部　無機材料工学科卒業 |
| 2001 年 | 博士（工学）（東京工業大学）「中性子照射がセラミックスに及ぼす微視的・巨視的影響の研究」 |
| 2002 年 | バージニア大学　材料工学科 Research Associate |
| 2002 年 | 核燃料サイクル開発機構 大洗工学センター 照射材料試験室 博士研究員 |
| 2004 年 | 京都大学 工学研究科 原子核工学専攻 助手 |
| 2014 年 | 大阪府立大学 地域連携研究機構 放射線研究センター准教授 組織改編などを経て現在に至る |

研究・活動分野など　核融合炉材料に対する照射損傷研究が元々のテーマであったが、放射線教育用教材の開発、クルックス管からの低エネルギーX 線に対する安全管理から、現在では感染症対策の研究が主なテーマとなっているが、光触媒や紫外線など量子に関する研究と言うことでまとめることが出来る。

日本保健物理学会と日本放射線安全管理学会両学会の理事を務め、学会連携を担当し、2024 年度の合同大会では保物学会側の大会長を務める。