

光のアナロジーを活用した放射線理解促進ツールの開発

山田 耕治*

東京電力株式会社 福島復興本社福島本部除染推進室
(〒960-8041 福島県福島市大町7番11号三共福島ビル4階)

Development of a Tool to Facilitate the Understanding of Radiation Applying Analogy between Radiation and Light

Koji YAMADA*

Decontamination Promotion Office, Fukushima Revitalization Headquarters, Tokyo Electric Power Company
(Sankyo Fukushima Bldg., 7-11 Ohmachi, Fukushima 960-8041, Japan)

Summary

Invisibility of radiation might hamper people's understanding on radiation. To overcome this invisibility a new tool, which could visualize the characteristics of radiation and the effects of decontamination by replacing invisible radiation to visible light based on the physical analogy between radiation and light, has been developed. Light emitting diode (LED) is adopted as light source in lieu of radionuclide. Illuminometer is used instead of dosimeter as detector to enable the quantitative measurement of illumination intensity. All these functions are equipped in a compact case made of acrylic resin plates. Contamination condition could be represented by turning on LED lights and decontamination condition could be represented by turning off LED light. Both spot and areal contamination conditions could be simulated by changing the shape and arrangement of LED lights. Inside space of the case is partitioned to two sub-spaces with an acrylic plate which simulates the outer wall of building. One sub-space stands for indoor space and the other outdoor space. This tool using light could facilitate the intuitive understanding as follows; (1) physical characteristics of radiation such as attenuation by distance and shielding by substance, (2) concept of decontamination and its effects, and (3) exposure dose concept. Besides this tool has been developed another tool which could demonstrate the wide range of radiation doses in a shape of intensity of light by the combination of LED lights and shading filters.

These tools are very effective and fascinating teaching material or risk communication device for supporting the intuitive understanding of radiation and decontamination by people.

Key Words: Analogy between radiation and light, Radiation education tool, Risk communication tool,
Radiation and decontamination

1. はじめに

光のアナロジー(類似性)を活用して、見えない放射線に見える光(可視光)に置き換えることで、放射線の性質や除染の効果を見える化したツールを開発した。具体的には、線源として、放射線を発生させる放射性物質の代わりにLED光源を採用した。検出部には、可視光であるので視覚に捉えることができるが、定量的な測定を可能にするために、放射線測定器の代わりとして照度計を採用した。これらをアクリル製ケース内に収納

して、LED光源の点灯・消灯による放射線源の有無や除染・未除染を表現できるようにした。また、LED光源の形状・配置を工夫して、面線源と点線源を表現できるようにした。さらに、ケース内空間を、家の壁に見立てたアクリル板で左右に仕切り、屋内外空間を表現できるようにした。

本ツールを利用することにより、放射線による距離減衰や遮蔽の効果といった物理現象、除染の特徴・効果、被ばく線量の概念が、見える光によって体感でき、見えない放射線の直感

*Corresponding author: E-mail: yamada.koji@tepcoco.jp

的理解に役立つ。放射線や除染に対する理解促進を支援する教育教材やリスクコミュニケーションツールとして活用できる。

本報告では、この「光で放射線の性質・除染の特徴・被ばく線量を体感できるツール」について詳細に述べる。また、このツールとは別に開発した何桁にも及ぶ放射線量（例えば $1 \mu\text{Sv} \sim 1 \text{Sv}$ の6桁）の大小を、LED光源と減光フィルターを組み合わせることにより、「光の強弱で放射線の高低を体感できるツール」についても併せて報告する。

2. 光で放射線の性質・除染の特徴・被ばく線量を体感できるツール

(1) 開発に当たったの基本方針

体感型の放射線理解支援ツールとして、放射線を可視化した「霧箱」、放射線の測定・実験用キットである「はかるくん」などが有名である。本ツールの開発に当たっては、見えない放射線に代えて、物理的アナロジーが適用できる可視光を用いて、放射線に対する直感的な理解に役立つことを目指した。また、扱う対象は、今回の事故に鑑みて、放射線のみならず、従来のツールでは扱っていない除染や個人被ばく線量に対する理解も対象とした。具体的には、以下の点を開発方針とした。

a) 体感型とする

直感的な理解を実現するため、視覚で確認しながら自ら手を動かし種々の実験ができる体感型のツールとする。これまでも見えない放射線を光（懐中電灯）に例えた模式図等は使われているが、今回はさらにこれを発展させて、見えない放射線の性質、除染の特徴、被ばく線量の概念を学習できる。

b) 定量的に表現・再現できる

基本的な物理的な性質や特徴を許容できる精度を持って表現・再現できるようにする。そのため、放射線と光の間で成立する物理的なアナロジー（類似性）を活用する。なお、視覚では定量的に把握できないので、物体表面を照らす光の明るさを表す物理量である「照度〔ルクス〕」を、放射線の「シーベルト〔Sv〕」に代えて定量的な指標とする。これを測るため、放射線測定器の代わりに照度計を用いる。

c) 双方向の対話型とする

対話型のコミュニケーションツールとして、このツールを使用するユーザー間（例えば、話し手と聞き手、先生と生徒）で、共に目で追って手を動かしながら情報共有が図れるような形態とする。そのため、様々な実験を対話形式で実演できるよう立体的な模型とする。

d) オールインワンタイプで可搬型とする

この立体模型一つで、実現象と関連付けた種々の事象を模擬再現できるようにする。また、どのような場所にも持ち運びできるように軽量で堅牢性を兼ね備えたツールにする。そのため、見た目にも配慮して、ツールの素材にはアクリル板を採用した。

(2) 開発方針の具体化に向けた諸検討

a) 放射線と光の共通点と相違点

放射線の種類には、ヘリウム原子核であるアルファ線、電子線であるベータ線、電磁波であるガンマ線などがあるが、ここでは、可視光と同じ電磁波であるガンマ線を対象にする。同じ電磁波であっても、ガンマ線は、 0.010 nm より短い波長の電磁波で、可視光のそれは、 $380 \sim 780 \text{ nm}$ である。エネルギーは波長に反比例して大きくなるので、ガンマ線は可視光に比べ、5～6桁大きいエネルギーを有している。そのため、物質への透過力が大きいのが特徴である。

b) 表現・再現の対象とする現象とその実現方法

外部被ばく低減に訴求する観点から、放射線防護上重要である「距離」「遮蔽」「時間」の三要素に関わる物理現象を表現できるようにする。

i) 「距離」：線源から測定点までの距離が大きくなれば、放射線も光もその強度が物理法則に従って減衰することを再現する。

ii) 「遮へい」：線源と測定点の間にある物質（遮へい物）によって、放射線も光もその強度が減衰することを再現する。放射線による遮へいの効果は、遮へい物質の「密度」と「厚さ」に依存する。一方、光の場合は、「密度」に相当する物理量ではなく、「透明度、色の違い・濃さ」といった物理量に置き換える。なお、遮へい率〔%〕 $=100 - \text{透過率〔%〕}$ である。

iii) 「時間」：個人の被ばく線量は、各場所における線量率とそこでの滞在時間の積である。このような個人被ばく線量の概念を光で表現する場合は、積算照度の概念が必要になってくる。従って、本ツールで使用する照度計には、ある時間断面の照度を時間積算する機能を持たせる。

c) 対象とする現象を精度よく表現・再現するための工夫

本ツールを使って諸現象を再現する際は、ケース内への外部の光（照明）の漏れ込みや使用光源（LED）のケース内面の反射は、実験データの雑音となる。そのため、ケース上枠は下枠に比べ庇状に長くして天井照明等による外部からの光の漏れ込みを抑える工夫や、ケース表面に艶消し処理が施された不透明の黒色アクリル板を採用する工夫をしている。また、ツールの大きさは、持ち運びの観点からはなるべく小さくすべきであるが、一方で、小さくし過ぎるとケース内面の反射の影響が大きくなり再現性能が落ちるので、実験を繰り返し行い、 $60 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 36 \text{ cm}$ とした。

(3) ツールの外観と構成

図1は、ツールの外観写真である。総アクリル製のプレートでできた外枠ケース本体の内部空間を、向かって左側を「模擬屋内空間」、右側を「模擬屋外空間」に区切っている。この2つの空間を区切っているプレートは、家屋の壁を模擬している遮へい用仕切り板である。そして、模擬屋外空間の下部にあ

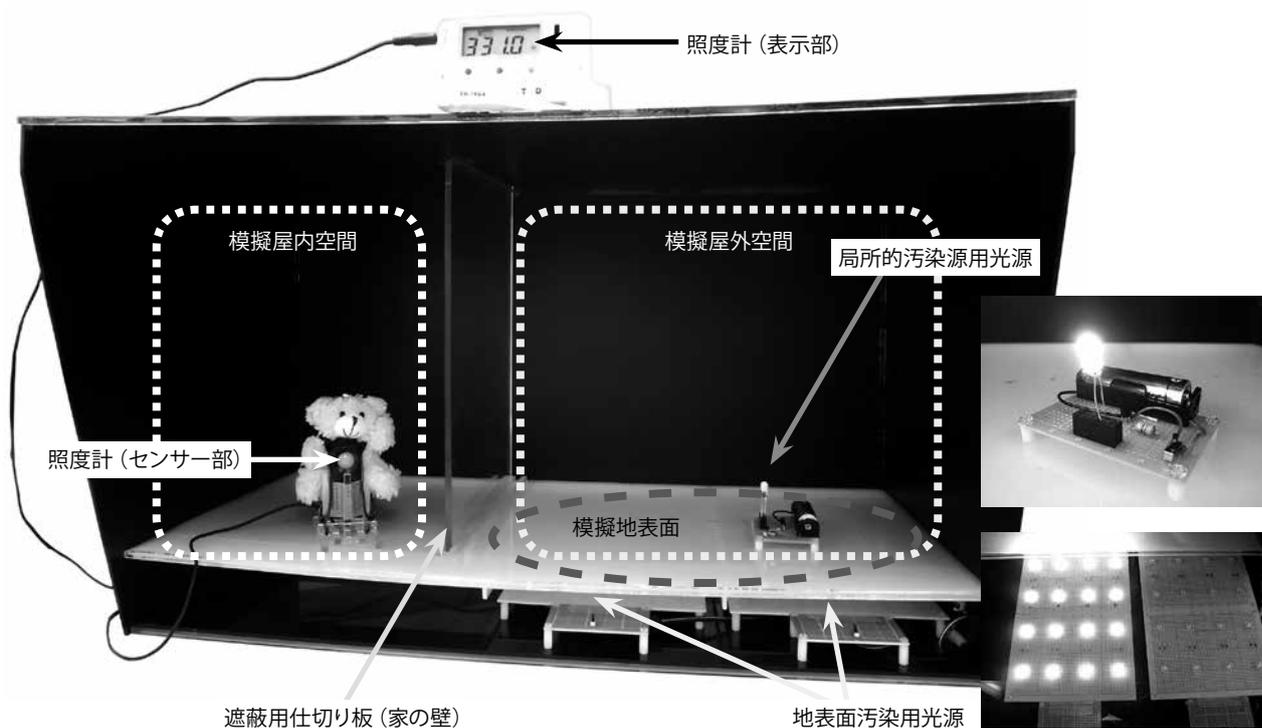


図1 ツールの外観と構成

る乳白色アクリル板は「模擬地表面」である。

放射線発生源を模擬したLED光源は、形状の違う2種類を準備している。一つは模擬地表面の下部に配置した「地表面汚染用光源」で、多数の角型フラットLEDにより構成しており、地表面に当たる部分には半透明の乳白色アクリル板を採用することで、LEDからの光を拡散させ全面的に光るように工夫している。この「地表面汚染用光源」は模擬地表面を左右分割して点灯・消灯が可能である。なお、「地表面汚染用光源」は、土壌表面といった面的な汚染状況を表現する際に使用する。

もう一つは、いわゆるホットスポットと呼ばれる、周囲に比べて放射線量の高い箇所を表現した「局部的汚染用光源」で、単独の3mm砲弾型LEDによる点状の光源である。また、このLEDには、半透明白色の樹脂製キャップを被せて、生のLEDの光を四方に拡散させるとともに、直視に耐えるよう工夫している。ちなみに、この光源は、単独の基板上に電池やLED等必要な部品を搭載しているので、模型内空間を自由に移動させることができる。

これらLED光源を点灯させている状態は、放射性物質が存在し放射線が発生している、あるいは未除染の状態であることを表現している。消灯している場合には放射性物質が無く放射線が発生していない、あるいは除染がされている状態であることを表現している。

また、模擬屋内空間下部に置かれたぬいぐるみは、照度計

のセンサー受光部である。LED光源からの可視光をただ目で見ただけではなく「模擬屋内空間」や「模擬屋外空間」に照度計のセンサー受光部を置くことで、可視光を数値で検出する仕組みとしている。このセンサー受光部で受けた照度の値は、外枠ケース上部に設置した照度計の表示部に表示される。放射線の単位は「シーベルト[Sv]」であるが、可視光は、照度の単位である「ルクス[lx]」に置き換えられる。

このように、放射線と類似した物理的性質を有するLED光源の可視光を使うことで、視覚で確認しながら様々な実験を行うことができ、放射線に対する直感的な理解促進に役立つツールとなっている。

(4) 本ツールで再現できる現象と実験による確認結果

a) 放射線の性質に係わる再現実験

i) 発生源から離れることの効果（距離減衰）

発生源から測定点が離れることで強度が減衰する距離減衰の効果を実験で確認する。

放射線の強度は、線源の形状が点状であれば、距離(r)の2乗に反比例して減衰する。この現象を本ツールで再現するため、点状の光源と見なすことのできる「局部的汚染用光源」を用いて、距離と照度の関係を測定した。具体的には、模型の屋外空間地表面に「局部的汚染用光源」を固定して、水平方向に、照度センサーを、光源から測定点までの距離を3cm間隔

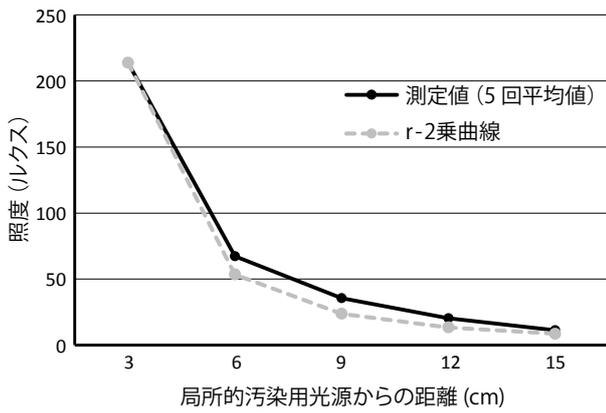


図2 局所的汚染用光源による距離減衰曲線

で3 cm ~ 15 cm まで動かしながら、5地点の照度を測定した。なお、この際、「局所的汚染用光源」を点灯しない場合の照度(バックグラウンド:BG)も併せて測定した。また、より正確な測定のため、「局所的汚染用光源」と照度センサー受光面の高さを合わせた。

図2のグラフは、その結果(5回平均)を、縦軸に照度、横軸に発生源からの距離をプロットしたものである。なお、ここで採用している照度値は、BGを除いた正味の値である。この結果をみると、実線の測定値と、破線の距離の2乗で減衰した時の理論曲線がほぼ一致しており、距離減衰が再現できていることが確認できた。

ii) 壁の材質や厚さの違いによる遮へいの効果

屋外から屋内へ透過する放射線の強度は、家の壁などの遮へい物の材質(密度)や厚さの違いによって変わってくる。この現象を本ツールで再現するため、家の壁に見立てた透明あるいは半透明アクリル製の遮へい用仕切り板の「色・透明度(濃

淡)」や「厚さ」を変えて、照度を測定した。なお、「色・透明度(濃淡)」については、①「単に透明アクリル板の色を変えた場合」、②「アクリル板の色合いを揃えて透明度(濃淡)を変えた場合」の2ケースで実験した。

具体的には、模擬屋外空間の地表面汚染光源を点灯した状態で、家の壁に見立てたアクリル製の遮へい用仕切り板の向こう側、つまり模擬屋内空間に、照度計センサーを設置する。この仕切り板が無い時の照度を基準として、仕切り板が有る時の照度の割合を透過率とした。ちなみに、この透過率を100%から引くと、遮へい率である。図3のグラフは、遮へい用仕切り板である5 mm厚の透明アクリル板の色や枚数を、無色、黄、橙、グレー、赤、グレー2枚に変えたときの透過率をプロットしたものである。なお、破線で表した部分が、遮へい率となる。この結果をみると、無色や黄色の遮へい率は、現実の木造住宅に、グレーや赤色の遮へい率は、鉄筋コンクリート造りのビルに相当する遮へい率となることが確認できた。

以上は、遮へい率の違いを、透明アクリル板の色の違いで再現したが、見た目の感覚と合わず混乱する可能性がある。これを解決するために、色違いではなく、色合いを揃えて見た目の感覚に近くなるよう透明度や濃淡を変えて遮へい率を再現することも試みた。市販のアクリル板から選定するという制約の中で、この条件を満たす色合いは、白色系統であった。具体的には、無色、曇りガラス調、薄い乳白色、濃い乳白色、ほぼ不透明の白の5種類を選定した。そして、この5種類と、ほぼ不透明の白の2枚重ねの計6ケースの透過率を、前述の色違いの時と同様の方法で実験して求めた。その結果を図4に示す。この結果をみると、無色や曇りガラス調の遮へい率は、現実の木造住宅に、ほぼ不透明の白あたりの遮へい率は、鉄筋コンクリート造りのビルに相当した遮へい率となることが確認できた。

なお、ここでは、あくまでも、家の壁を例示として、物質の遮へい効果を理解することが目的であるので、現実の屋内の放射線量率の低減割合が、単に家の壁の遮へい効果だけで決ま

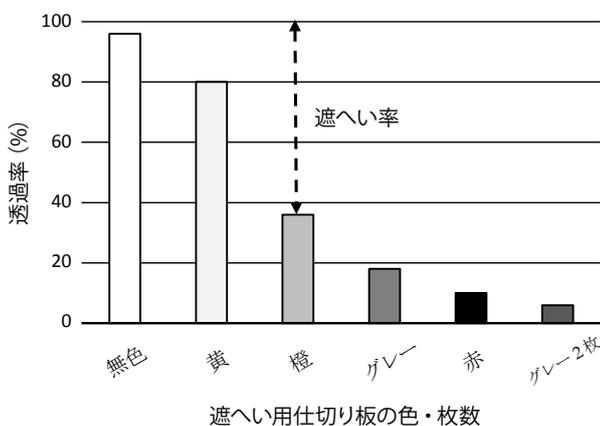


図3 仕切り板の色・枚数を変えたときの透過率

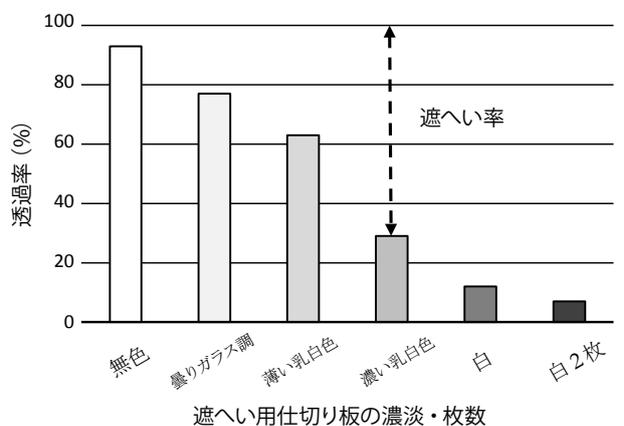


図4 仕切り板の透明度(濃淡)・枚数を変えたときの透過率

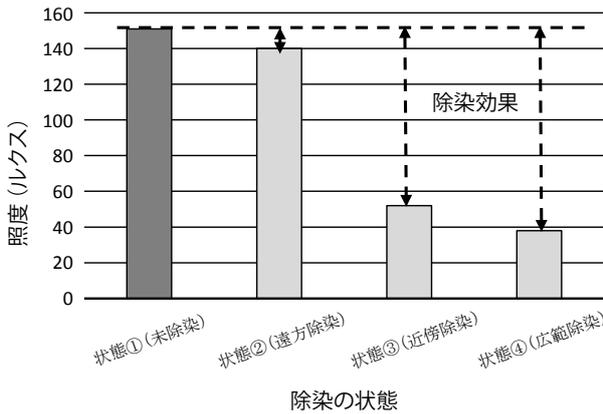


図5 除染の範囲・場所の違いによる効果の違い

る訳ではないことに留意が必要である。

b) 除染事例の模擬実験

放射線の基本的な性質である距離減衰、遮へい効果の再現が確認できたところで、次は、実際の除染事例を模擬する。たとえば、比較的線量の高いところでの住宅周りの除染は、土壌表面に付着している放射性物質を除去するため土壌表面を薄く剥ぎ取る方法が採用されている。この事例でのもっとも単純な模擬シナリオとしては、屋外が未除染の状態から除染された時の効果を確認するものである。具体的には、模擬屋外空間の地表面に照射度センサーを置き、地表面汚染用光源を点灯して未除染の状態を再現して、この時の照射度と、この地表面汚染用光源を消灯して除染状態を再現した時の照射度の違いを比較することにより、除染の効果を定量的に確認することができる。

次に、より複雑な模擬シナリオとして、除染する範囲と場所の違いにより除染の効果がどのように違ってくるか、実際に実験を行った。なお、ここでいう除染の効果とは、屋外の除染前後における屋内での線量率低減の大きさである。具体的に

は、家の壁に見立てた遮へい用仕切り板を設置し、模擬屋内空間の仕切り板に近い位置に照射度計センサーを置く。そして、屋外空間の両エリアの地表面汚染用光源を点灯した「未除染」状態①から、②同光源の片側（仕切り板から遠いエリア）を消灯した「遠方除染」状態、③同光源の（仕切り板に近いエリア）を消灯した「近傍除染」状態、さらに、④両エリアの地表面汚染用光源を消灯した「広範除染」状態の4ケースの照射度を測定する。図5にこの測定結果を示す。この結果をみると、①の未除染と比べ、④の「遠方除染」は殆ど除染の効果が見られないが、家近くの「近傍除染」は効果が大きい。その一方で、この倍の範囲を除染する「広範除染」をしたとしても、その効果は「近傍除染」の効果と比べそれ程変わっていない。以上のことから、家近くの「近傍除染」が効果的なことが分かる。

c) 個人被ばく線量の再現確認実験

人体への影響の観点から、各個人が生活する中で実際にどれだけ被ばくしたかの個人被ばく線量、積算線量の考え方が重要になってくる。そのためには、その個人が行動した場所ごとの線量率と滞在時間の二つの情報が必要となる。そこで、照射度計のデータ蓄積・積算機能を利用して、行動パターンで違ってくる個人被ばく線量の変化を再現できるかどうかの確認実験を行った。なお、この実験における汚染状況は、屋外の庭や道路などの家周りの地表面に汚染はなく、局所的な汚染、いわゆるホットスポットが単独に存在している状況を模擬した。行動パターンとして、人に見立てた照射度計のセンサーを屋内から屋外に移動させて、局所的汚染源を模擬したLED光源近くを通過して、また屋内に戻ってくることを想定した。模擬した実時間は3分である。図6に、この行動パターンで測定した照射度の時間的変化を示す。この結果をみると、局所的汚染源の近くを通った時は、線量は一時的に上がるが、そこでの滞在時間が短ければ、総被ばく線量（斜線部分の面積）に占める割合は限定的なことが分かる。

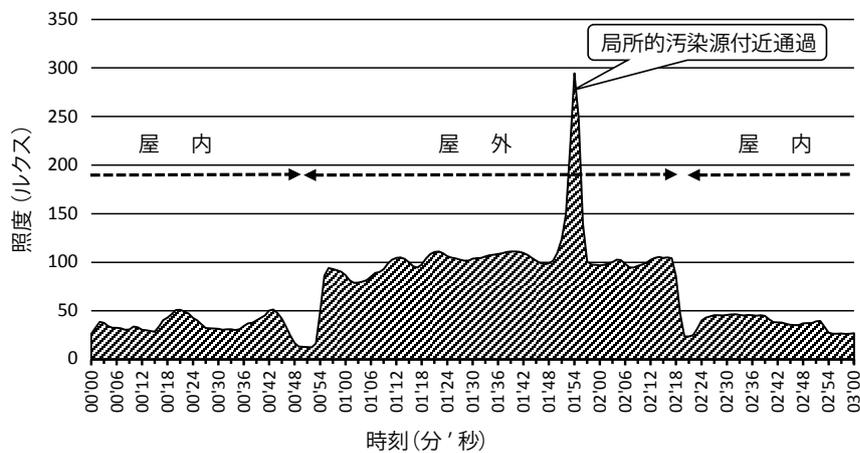


図6 ある行動パターン(屋内→屋外→局所的汚染源付近通過→屋内)の被ばく線量模擬[3分間]

(5) 本ツールの妥当性と留意点に関する理論面からの考察

本ツール開発の目的は、放射線に関する教育用やリスクコミュニケーション用のツールとしての利用であり、精緻に実現象を再現・評価するようなシミュレーターとしての機能・性能は備えていない。しかし、現実の現象を扱う以上、理論的な裏付けは必要である。前述した「距離減衰」では理論値との比較を行うことで再現確認を行ったが、「遮へい効果」や「除染効果」については、実験結果を示すのみで、理論的側面と関連が不明確である。そこで、これら二つについて、本ツールで実施した実験と実現象とを関連付けて、理論的側面からの妥当性を検討し、併せて本ツールを利用する際の留意点について考察する。

a) 本ツールでの遮へい効果再現の妥当性

本ツールで示した遮へい効果の確認実験について、実際の建材として使われるコンクリートの遮へい効果を例として、理論的な考察を行う。(4) a) ii) で「グレーや赤色の遮へい率は、鉄筋コンクリート造りのビルに相当する遮へい率となる」と述べた。このアクリル板の色毎の透過率と同等になるコンクリート厚さを理論的に求めてみる。コンクリートのγ線エネルギー 0.6, 0.8 [MeV] における全減衰係数¹⁾に、コンクリート密度 2.15 [g/cm³] をかけて、0.6, 0.8 [MeV] における線減衰係数をそれぞれ求める。この二つの線減衰係数を比例按分して¹³⁷Cs (0.662 [MeV]) に対する線減衰係数μを求めると、0.1679 [1/cm] となる。このμの値を使い、厚さx [cm] 【= -ln(透過率) / μ】を求めた。表1にその結果を示す。この結果をみると、グレーと赤の透過率に相当するコンクリートの厚さは、¹³⁷Cs (0.662 [MeV]) に対して、それぞれ 10 cm、14 cm 程度となる。このような方法で、アクリル板の透過率と実際の建材の遮へい率を理論的に関連付けることができる。

b) 本ツールによる除染効果確認の妥当性と留意点

本ツールで実施した除染効果の確認実験と現実の除染を対比させて、実験の設定条件や得られた結果の妥当性や留意すべき点について、理論的な考察を試みる。

実際の汚染形態は、点状線源ではなく面状線源の場合が多

く、距離の二乗に反比例して放射線の強度が下がる訳ではない。本ツールの面状光源である地表面汚染用光源を使って、

(4) a) i) で述べた点状光源の距離減衰と同様の実験を行った。その結果を図7に示す。実線の測定値は、点状光源の場合の1/r²曲線と比べると、はるかに小さい減衰効果しか得られていないことが分かる。本来、面状の線源が無限に広がって言えば理論的に距離依存しないが、ツールの大きさは有限であるので、減衰効果は弱いものの距離依存性が認められる。しかし、現実の除染現場をイメージした場合に、遠方除染と近傍除染の効果の違いを点状の距離減衰の効果で説明するのは妥当ではない。(4) b) で述べた除染効果の実験では、面状光源である「地表面汚染用光源」を使用している。

また、現実の除染における空間スケールでは、空気による減衰効果は無視できなくなる。面状線源の広がりや有限性に加え、この空気減衰があることによる距離依存性が生じる。ちなみに、この空気減衰の効果を見るため、¹³⁷Cs (0.662 [MeV]) の空気中での平均自由行程を算定してみる。空気 (20°C) のγ線エネルギー 0.6, 0.8 [MeV] における線減衰係数¹⁾を比例按分して、¹³⁷Cs (0.662 [MeV]) に対する線減衰係数μを求めると、9.324E-5 [1/cm] である。この逆数が、強度が1/eになる平均自由行程であり、約 107 m である。この厚さの空気層があれば、1/e ≒ 0.368 に減衰することになり、現実の空間スケール規模ではこの効果も考慮する必要がある。

さらに、現実の除染においては、放射線の成分である直接線、散乱線の区別が重要になる場合がある。直接線は前述した平均自由行程で4割弱までに減少するものの、散乱線の影響は広範囲に及ぶ。除染範囲が広がれば広がるほど、除染エリアの中心付近では、線量率の絶対値は低下していくが、この線量率に占める散乱線の直接線に対する比率が増えてくる²⁾。つまり、広範囲に除染した場合、除染エリアの線量率は、周辺の未除染エリアからの散乱線による影響が直接線に比べ相対的に大きくなることを示している。

表1 アクリル板 (5 mm 厚) の透過率と同等になるコンクリート厚さ

アクリル板の色	透過率 [%]	コンクリート厚さ [cm]
無色	96	0.22
黄	80	1.33
橙	36	6.13
グレー	18	10.14
赤	10	14.01
グレー 2 枚	6	16.90

密度: 2.15 [g/cm³]

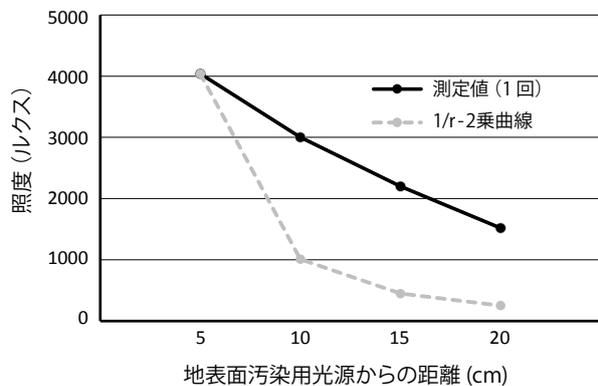


図7 地表面汚染用光源による減衰曲線

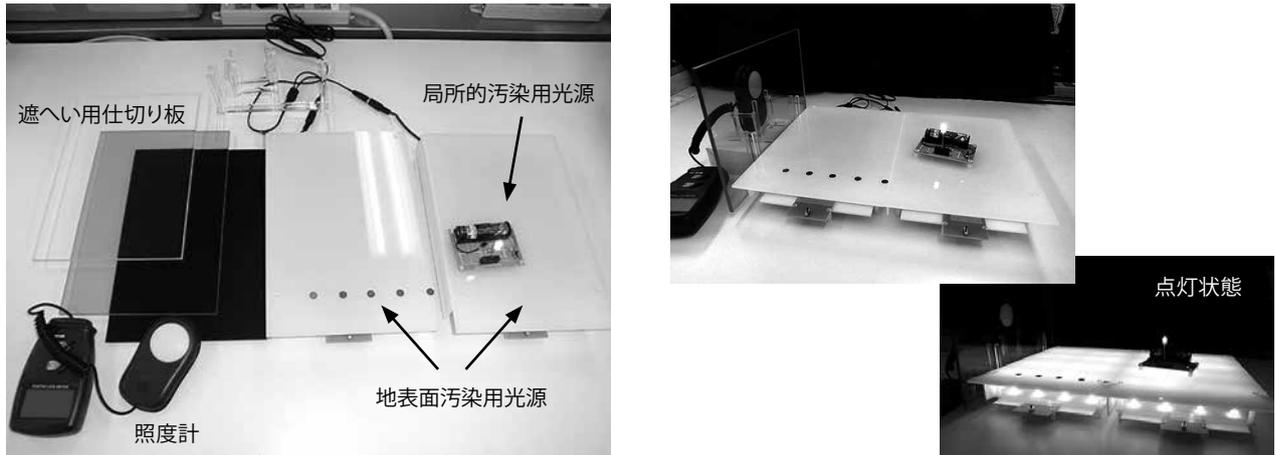


図8 簡易キット版の内容と使用風景

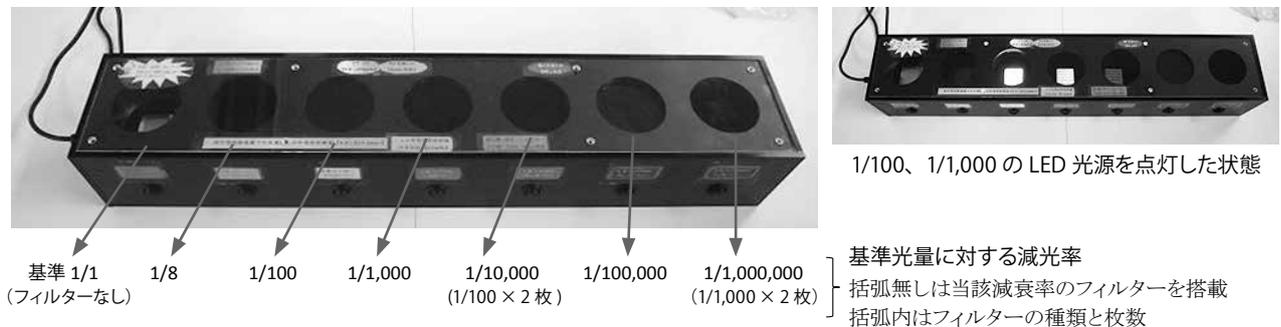


図9 光の強弱で放射線の高低を体感できるツール

c) 本ツール利用上の留意点のまとめ

以上、放射線のアナロジーとして光を利用した本ツールにおいて、「距離減衰」や「遮へい」といった基本的な物理現象を、理論的な根拠、あるいは関連付けを持って再現できることを確認した。一方、「空気減衰の効果」、「散乱線の影響」までを含めた本ツールの有効性については留意が必要である。

(6) キット化した簡易版

このツールのバリエーションとして、図8の写真の通り、キット化した簡易版も作製した。かさばる外枠ケースをなくし、光源、遮へい板、照度計といった最少構成でキット化したもので、携帯性に特化したものである。この簡易版では、外枠ケースの代わりに、段ボール箱で代用や暗室での使用を想定している。

3. 光の強弱で放射線の高低を体感できるツール

次は、これまで報告したツールとは、放射線と光のアナロジーを活用している点では同じであるが、全く別のコンセプトの「光の強弱で放射線の高低を体感できるツール」について報告

する。

身の回りの放射線による被ばく線量の大きさ³⁾は、例えば、胸部X線1回で0.06 mSv、また自然放射線の世界平均で年間2.4 mSv、CTスキャン1回で2.4～12.9 mSvなど、実にその大きさに幅があり、数値自体を見てもなかなか実感しにくい。そこで、このツールでは、そうした量的な広がりをも光の強弱に置き換え、視覚で体感できるようにした。図9に、本ツールの写真を示す。大きさは横幅55 cmで、ケース上面に直径6 cm程度の7つの穴を均等に開け、それぞれの穴に対応するケース底面に、25×25 mm角の平面型高輝度LEDを計7枚配置している。これらLED光源の上部に、減光率の異なるフィルターを組み合わせて被せることにより、元は同じ明るさのLED光源を穴上部から覗くと7種類の明るさの違う光を同時に見ることができる。ここでは、フィルターなしの基準光量を1として、ほぼ一桁ずつ光量を落とすよう減光率を調整し、100万分の1までの7種類の光の強さを同時に表現できるようにした。

仮に基準光量を1,000 mSv (1 Sv)と見立てれば、1 μSvまで7種類の放射線量の強さを光の強弱として相互に目で見て比較しながら体感することが可能である。ただし、被ばく線量事例



図10 同ツールの実験用バージョン

の単位時間が「年」や「回」のように相違している場合があるので、単純に光の強さと比較する際には注意が必要となる。また、放射線量の大小を光の強弱に対応させる目的は、あくまでも数値間の開きを体感するためであり、放射線による人への影響度合いは様々であることに留意が必要である。

以上のツールは、7つの穴に組み込まれた減光フィルターは固定であるが、図10に示す通り、減光フィルターをケース上面で、自由に複数枚組み合わせて任意の減光率を設定できる実験用バージョンも作製した。このツールを使えば、自分が比較したい線量に対応した光の強弱を自由に作り出すことができる。

4. まとめと今後の展望

以上、放射線と光のアナロジーを活用した二種類のツールについて報告した。

2章で報告した「光で放射線の性質・除染の特徴・被ばく線量を体感できるツール」については、種々の実験により、見えない放射線のアナロジー（類似性）として見える光である可視

光を用いることで、放射線の性質、除染の特徴、被ばく線量の概念を定量的に再現できることが確認できた。また、3章で報告した「光の強弱で放射線の高低を体感できるツール」については、感覚で捉えにくい幅のある放射線量の強度を、定量的裏付けのある光量の強弱で体感できるツールとなっている。

これら開発したツールは、リスクコミュニケーションや教育教材用として、除染関連、学校教育関係機関に紹介し、展示品やデモ用ツールとしてご利用といただくと共に、これらツールをヒントにして新しい教材・ツールの開発に役立てていただいている。

今後も引き続き、関係者の方々のご意見を伺い、更なる改善を図りながら、放射線に関する教育教材やリスクコミュニケーションツールとして、活用を広げていきたいと思っている。そのため、本ツールを単体で使用するのではなく、体系だった放射線教育プログラムの中で、例えば「実践編」の一部に本ツールを利用していただくことも提案できればと考えている。

参考文献

- 1) 日本アイソトープ協会:「アイソトープ手帳(11版)」, p.153, 丸善出版株式会社, 東京(2011).
- 2) 岩元 洋介, 佐藤 大樹, 遠藤 章, 坂本 幸夫, 呉田 昌俊, 久語 輝彦:JAEA-Technology 2011-026「汚染土壤の除染領域と線量低減効果の検討」, pp.7-10, 日本原子力研究開発機構(2011).
- 3) 環境省:身の回りの放射線 自然・人工放射線からの被ばく線量, 2013年, 環境省HP (<http://www.env.go.jp/chemi/rhm/kisoshiryo/attach/201510mat1-01-58.pdf>), 2014年3月閲覧.

2015年12月18日受付

2016年 2月19日受理

和文要約

放射線への理解が進みにくい理由として、目に見えないことが挙げられる。そこで、光のアナロジー（類似性）を活用して、見えない放射線に見える光（可視光）に置き換えることで、放射線の性質や除染の効果を見える化したツールを開発した。具体的には、線源として、放射線を発生させる放射性物質の代わりにLED光源を採用した。検出部には、可視光であるので視覚に捉えることができるが、定量的な測定を可能にするために、放射線測定器の代わりに照度計を採用した。これらをアクリル製ケース内に収納して、LED光源の点灯・消灯による放射線源の有無や除染・未除染を表現できるようにした。また、LED光源の形状・配置を工夫して、面線源と点線源を表現できるようにした。さらに、ケース内空間を、家の壁に見立てたアクリル板で左右に仕切り、屋内外空間を表現できるようにした。本ツールを利用することにより、(1)放射線による距離減衰や遮蔽の効果といった物理現象、(2)除染の特徴・効果、(3)被ばく線量の概念が、見える光によって体感でき、見えない放射線の直感的理解に役立つ。

さらにこのツールとは別に、幅広い領域に及ぶ放射線量を、LED光源と減光フィルターを組み合わせることにより、光の強弱として視覚で体感できるツールも開発した。これらツールは、放射線や除染に対する直感的な理解を支援する教育教材やリスクコミュニケーションツールとして活用できる。