

# GM 管式サーベイメータのイメージと 実用化に向けた工夫の検証

## Verification for utilization method based on the image of Geiger-Mueller survey meter

北宮 千秋<sup>1, †</sup> 吉野 浩教<sup>1</sup> 多喜代 健吾<sup>1</sup> 會津 桂子<sup>1</sup>  
西沢 義子<sup>2</sup> 野戸 結花<sup>1</sup> 細川 洋一郎<sup>1</sup>

Chiaki KITAMIYA<sup>1, †</sup> Hironori YOSHINO<sup>1</sup> Kengo TAKIDAI<sup>1</sup> Keiko AIZU<sup>1</sup>  
Yoshiko NISHIZAWA<sup>2</sup> Yuka NOTO<sup>1</sup> Yoichiro HOSOKAWA<sup>1</sup>

キーワード：体表面汚染検査、放射線、緊張緩和、GM 管式サーベイメータ

Key words : body surface contamination inspection, radiation, relieve the tension, Geiger-Mueller survey meter

要旨：本研究の目的は、GM 管式サーベイメータの検出器の窓にイラストを印刷した紙を貼付することに伴うイメージの評価および測定効率への影響を明らかにすることである。イメージの評価は、A 大学の看護学生 46 名を対象とし、SD 法による自記式質問紙調査を実施した。イラストを用いる工夫することで、「陽気な」イメージが高まり、「緊張した」イメージは和らいだ。イラストの遮へい影響については教育用の密封線源 <sup>60</sup>Co を用い GM 管式サーベイメータで測定し遮へいによる測定効率への影響を求めた。測定効率の影響は 1~9% であった。除染基準値の 90% 程度の値を示す場合はイラストを取り外して再測定することが望ましいと考えられた。イラスト貼付の工夫は測定時の緊張を和らげる有用な手段と考えられた。

This study aimed to identify people's perception when illustrations were attached to the detection unit of a Geiger-Mueller survey meter. Another aim of this study was to ascertain the impact of the measurement efficiency on the measured value when illustrations were attached. A questionnaire using the semantic differential method was circulated to 46 nursing students. In the devised version, the use of illustrations enhanced the "cheerful" image and provided relief from the "tense" image. The sealed cobalt-60 sources were measured using a Geiger-Mueller survey meter fitted with illustrations to investigate their impact on measurement efficiency. The impact on the measurement efficiency ranged from 1% to 9%. A suggestion was provided to ascertain an additional reading in the manner prescribed via illustrations if the measured value was approximately 90% of the standard. Attaching illustrations appeared to be effective for relieving tension among the study subjects when measuring radiation.

### 1. はじめに

2011 年 3 月、東日本大震災後に東京電力福島第一原子力発電所は電源喪失による水素爆発が起

り、政府は原子力災害対策特別措置法に基づく原子力緊急事態を宣言するに至った。20km 圏内の周辺住民に対して避難指示が、20~30km の住民には屋

1 弘前大学大学院保健学研究科 Hirosaki University Graduate School of Health Sciences

2 弘前医療福祉大学 Hirosaki University of Health and Welfare

† 連絡先：北宮千秋 (chiaki@hirosaki-u.ac.jp)

内退避指示が出された。この時、多くの避難者がGM管式サーベイメータを用いた放射線体表面汚染検査（以下、サーベイとする）を受けることになった。その人数は2011年3月13日から31日まで114,488人にのぼり、2013年6月までに延266,042人となった<sup>1)</sup>。福島県内保健所の報告<sup>2)</sup>によると、3月14日がピークとなり1日に2,000人超えのサーベイが行われていた。3月14日に全身除染を行う場合のスクリーニングレベルを100,000cpmとし、13,000cpm以上100,000cpm未満の数値が検出された場合には、部分的な拭き取り除染を行うこととされた<sup>3)</sup>。

これらのサーベイに関する研究は、福島第一原子力発電所の事故後のサーベイ結果の分析<sup>4)</sup>、GM管式サーベイメータの特性の分析<sup>5,6)</sup>、GM管式サーベイメータ応答に関すること<sup>7,8)</sup>などが検討されていた。一方、看護の視点からはサーベイでの看護実践<sup>9,10)</sup>についての報告が散見された。筆者らの所属機関では2月16日から7月末日まで、延365名、20隊のチームを福島県に派遣し、2,195人のサーベイを行った<sup>11)</sup>。乳児を抱いて検査に訪れる若い母親は特に表情が硬く、大きな不安を抱えていることが読みとれた<sup>11)</sup>。その時の看護職の役割として、対象者の状況に応じた柔軟なサポート、要配慮者へ考慮した会場の設定、子どもへの配慮、スタッフのリスク評価などが示された<sup>9,11)</sup>。

原子力災害発生時においては被災地住民および負傷者に対して放射性物質による汚染の有無の測定や処置のために検査者は放射線防護の立場から防護服、帽子、マスク、ゴーグル、手袋、足袋などを着用する<sup>12)</sup>。さらにサーベイに使用されたGM管式サーベイメータの検出器部分の機械的なデザインは、サーベイ時に緊張と心配な気持ちを強める可能性が考えられた。そのため検出器部分の汚染防止用シートに絵を描くことでその緊張を軽減させる取り組みが、一部のサーベイチームで取り入れられていた<sup>11)</sup>。

本研究では検出器の窓にイラストを貼付したGM管式サーベイメータを提示（以下、イラスト型とする）し、被測定者の器材から受けるイメージが変化し、緊張を緩和することが示されれば、今後のサーベイ方法に寄与することが可能である。同時に、イラスト型を用いることで、紙やインクによる放射線の遮へいによる測定効率への影響をどの程度考慮す

るかを検討する必要がある。

そこで、有事の際に行われるサーベイにおいて、イラスト型GM管式サーベイメータのイメージを評価すること、およびイラスト用紙の貼付による測定効率への影響を確認することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 研究1：イラスト型のイメージの評価

- 1) 対象：A大学の看護学生46名とした。
- 2) 調査時期：2016年8～9月
- 3) 調査方法：自記式質問紙法とし、回収は留置とした。
- 4) 質問紙の内容：基本属性として性別、年齢、居住地、サーベイ経験の有無について確認した。また、GM管式サーベイメータ（以下、標準型とする）とイラスト型の2種類の写真を示した（図1）。そのイメージ比較にはSD(Semantic Differential)法を用い、「明るい-暗い」、「暖かい-冷たい」、「緊張した-緩んだ」などの10からなる形容詞対<sup>13-15)</sup>を示した。その際、「1非常に」「2やや」「3どちらともいえない」「4やや」「5非常に」の選択肢に応答を依頼した。最後に、放射線による汚染の有無を測定する際に改善したほうがよい点を自由記述で求めた。イラストはB大学美術専攻の学生に制作を依頼したデザインから共同研究者が協議のうえで選出した。
- 5) 分析方法：イメージの評価はイラスト型と標準型の比較とし、対応のあるt検定により分析した。解析にはIBM SPSS 23を用いた。

### 2. 研究2：紙やインクによる放射線の遮へいに伴う測定効率への影響実験

- 1) 測定：GM管式サーベイメータTGS-146B(日立アロカメディカル)検出器の窓と線源の距離を1.0cmとし、計数率(cpm)を測定した<sup>16)</sup>。
- 2) 線源：密封線源のCo-60(日本アイソトープ



標準型

イラスト型

図1. GM管式サーベイメータ提示写真

協会：型番 1398、放射能 0.799 MBq：検定日 1992.7.13) を使用した。線源の選定において、所属施設所有のいくつかの線源を GM 管式サーベイメータで予備的に測定したところ、Co-60 でおおよそ 13,500 cpm であった。福島第一原子力発電所の事故後のサーベイでは、13,000 cpm 以上 100,000 cpm 未満の数値が検出された場合には部分的な拭き取り除染等を行うこと<sup>3)</sup>とされており、その基準値と同程度の計数率であった Co-60 を用いた。

- 3) イラストの印刷：RICOH MPC6003(レーザープリンター) を用いた。
- 4) 印刷用紙：プラス株式会社ジョインティックスカンパニー(品番 A074J)フルカラープリント用紙(紙厚(坪量)：約 99 $\mu$ m(約 81 g/m<sup>2</sup>)、白色度：iso 約 96%) を使用した。この用紙を選定する際、光沢紙やラベル紙、OHP 紙の用紙を用意した。光沢紙は厚みがあること、ラベル紙はラップに貼付するのに手間がかかること、OHP 紙は GM 管式サーベイメータに貼付すると器機の形状が透けるためイラストが不鮮明となり、イラストを鮮明にするにはさらに用紙を貼付する必要が生じたことから、手順が複雑となるため選択しなかった。ラップに直接イラストを描く場合にも、用紙を貼付する必要が生じることを確認した。そのため、災害時の緊急性を考慮した際に、すぐに入手可能な良質のコピー用紙を選定した。
- 5) トナーの種類：RICOH MP P トナー C6003 を使用し、マゼンタ、シアン、イエロー、ブラックは 1 色みの印刷設定を行った。また、イラスト印刷には混合色(以下、イラスト)とした。用紙装着なし(以下、良質紙なし)は、標準的な汚染予防のための装備であるラップ一枚により検出器を覆う状態とした<sup>12, 16, 17)</sup>。トナーは顔料インクを使用しており、顔料インクは用紙の着色成分が大きな粒子で溶剤に溶けきらず、用紙に浸透せず表面にインクを定着させる<sup>18)</sup>方法で印刷される。耐水性・耐光性にすぐれ速乾性が高い<sup>18)</sup>とされるため、災害時の使用に適すると考えられた。コンビニエンスストアで印刷可能であることも簡便性の面から有用と考え、顔料インクの印刷機を選定した。また、選定した印刷機では、各トナーを単色で印刷する機能が

あったことも選定理由であった。印刷に際し、普通濃度での印刷では十分な発色が得られず、最も濃い設定で印刷を行った。

- 6) 実験環境：実験室は屋内の一般的なコンクリート建設の校舎で、南側に窓のある一室とした。
- 7) 実験手順：以下のとおりとした。
  - ①バックグラウンドの計数率を測定した。時定数を 30 秒とし、2 分 30 秒経過後の指示値を読み取り、測定値とした。これを計 3 回計測し、3 セット分の測定値の平均値をバックグラウンドの計数率とした。2 分 30 秒を設定した理由は、線量率の低いレンジでは時定数が長く正確な測定を要する場合、時定数の 3 倍以上の時間が必要とされる<sup>19)</sup>。今回の実験では正確さを求めるため、通常より長く最終指示値の 99% となる測定時間を設定した。
  - ②線源から 1.0 cm の距離に GM 管式サーベイメータの検出器をセットし、計数率を測定した<sup>18)</sup>。その際、バックグラウンドの計数率を差し引き、正味の計数率を算出した。なお、時定数および測定時間の条件は①と同条件で行った。
  - ③測定条件として 7 種の条件を設定した。7 種とは、印刷用紙なし(以下、良質紙なし)、印刷用紙あり(以下、良質紙あり)、印刷用紙にマゼンタのトナーで印刷(以下、マゼンタ紙)、同様にシアン紙、イエロー紙、ブラック紙、イラスト紙とした。良質紙なしと良質紙ありは 3 セット 2 回を分析に用いた。また、マゼンダ紙とシアン紙、イエロー紙、ブラック紙、イラスト紙は 3 セット 1 回を分析に使用した。測定は良質紙なし、良質紙あり、マゼンダ紙、シアン紙、イエロー紙、良質紙なし、良質紙あり、ブラック紙、イラスト紙、良質紙なしの順に行った。
  - ④用紙は検出器の窓(直径 7 cm)に合わせ、直径 7 cm の円形とした。ラップ 1 枚で検出器を覆い(良質紙なしの状態)、さらに用紙を検出器の窓合わせて置き、その上からラップ 1 枚で覆うことにより貼付した(図 2)。
  - ⑤ 7 種の条件別に正味の計数率をデータとした。
  - ⑥用紙の条件の変化により、cpm カウント数の違いがあるかを、一元配置分散分析を行い、Turkey による多重比較を行った。有意水準

は .05 未満とした。

⑦紙やインクによる放射線の遮へいに伴う測定効率への影響は、(良質紙なしの正味の計数率 - 良質紙ありの正味の計数率) / 良質紙なしの正味の計数率 × 100 とした。良質紙ありの正味の計数率を各測定条件に合わせて計数率を入れ換え算出した。

⑧室内の温度および湿度、気圧は、Thermo Recorder TR-73U を用いて測定した。

8) 印刷紙の面密度の算出：分析天秤 (sartorius 社：型番 AX224) を用いて各色の印刷紙の重量を測定し、その重量を面積で除し面密度 (mg/cm<sup>2</sup>) を算出した。



実験全体像



60Co の位置、測定状況



マゼンタ紙貼付



直径5cmの良質紙、マゼンタ紙、シアン紙、イエロー紙、ブラック紙、イラスト紙

図2. 遮へい率の測定実験 (写真)

### 3. 倫理的配慮

本研究実施に際しては、研究1の趣旨を対象者に口頭により説明し、研究への参加に関しては授業とは別に実施した。無記名による投函のため、個人が特定されることはないこと、撤回はできない旨を説明した。研究への参加のない場合でも成績などに影響を及ぼさないことに言及した。留置による質問紙の回収により同意とした。弘前大学大学院保健学研究科倫理委員会 (2016-016) の承認を得て実施された。

### III. 結果

#### 1. 研究1：イラスト型 GM 管式サーベイメータがもたらすイメージの評価

##### 1) 研究対象者の属性

対象者は平均年齢 21.1 ± 2.9 (平均 ± 標準偏差) であった。女性 39 名、男性 7 名計 46 名を対象とした。居住地は全員福島県外であり、対象者はサーベイを受けた経験がなかった。

##### 2) 看護学生の標準型とイラスト型から受けるイメージ比較

標準型と比較してイラスト型のイメージは、「陽気な」、「明るい」、「やさしい」、「やわらかい」、「暖かい」、「好きな」、「弱い」、「緩んだ」へ有意に移行した (表1)。本研究の主題である緊張緩和に関連する「緊張した-緩んだ」は標準型の平均が 1.98 と「緊張した」イメージをもたらし、イラスト型は 3.61 と「緩んだ」にイメージが傾いた ( $p < 0.001$ )。また、「暖かい-冷たい」は標準型の平均が 4.00 であり、イラスト型が 2.66 と「暖かい」 ( $p < 0.001$ ) に、同様に「陽気な-陰気な」は標準型が 3.63 でありイラスト型が 2.00 と「陽気な」にイメージの変化が見られた ( $p < 0.001$ )。また、「やさしい-こわい」では標準型 3.80 からイラスト型 2.24 と「やさしい」に変化した ( $p < 0.001$ )。「安定-不安定」と「静かな-うるさい」は変化が認められなかった。

##### 3) 放射線による汚染の有無を測定する際に改善したほうがよい点

自由記述に 4 名が改善点を記載した。「金属部分が見えなくなるとより良い」や「金属の部分が冷たい印象を与えるので、カバーしたり、塗装すると良いのではないかと金属部分に冷たさを感じ、加工に関する意見が見られた。また、コミュニケーションで補う工夫として「声掛けを行いながら測定を行

表 1. 標準型とイラスト型から受ける GM 管式サーベイメータのイメージ比較

(n=46)

	標準型	イラスト型	t	p
	平均±標準偏差	平均±標準偏差		
1 暖かい-5 冷たい	4.00±.56	2.46±.72	16.62	<.001
1 やわらかい-5 かたい	3.96±.79	2.43±.83	9.47	<.001
1 明るい-5 暗い	3.39±.88	2.22±.55	8.38	<.001
1 やさしい-5 こわい	3.80±.69	2.24±.79	11.99	<.001
1 陽気な-5 陰気な	3.63±.57	2.00±.73	12.97	<.001
1 好きな-5 嫌いな	3.50±.62	2.83±.77	5.59	<.001
1 強い-5 弱い	2.54±.78	3.35±.71	- 6.35	<.001
1 安定-5 不安定な	2.89±.88	2.89±.80	0.00	n.s.
1 静かな-5 うるさい	2.72±.98	2.76±.77	- 0.33	n.s.
1 緊張した-5 緩んだ	1.98±.75	3.61±.91	- 10.22	<.001

対応のある t 検定 (n.s.: not significant)

表 2. 貼付用紙の条件別計数率の比較

用紙の条件	測定回数	計数率 (cpm)	標準偏差	Turkey による多重比較
良質紙なし	18	13,500	450	イエロー紙 (p<.001)、イラスト紙 (p<.001)
良質紙あり	18	13,300	380	イエロー紙 (p<.001)、イラスト紙 (p<.05)
マゼンタ紙	9	13,200	160	イエロー紙 (p<.001)
シアン紙	9	13,300	110	イエロー紙 (p<.001)
イエロー紙	9	12,300	80	良質紙なし、良質紙あり、マゼンタ紙、シアン紙、ブラック紙 (p<.001)、イラスト紙 (p<.01)
ブラック紙	9	13,200	120	イエロー紙 (p<.001)
イラスト紙	9	12,900	130	良質紙なし (p<.001)、良質紙あり (p<.05)、イエロー紙 (p<.01)

一元配置分散分析 p<.001

う。子供に対して測定を行う場合、目的を子供にわかるように説明する」と、検査の目的を説明し声をかけることにより、緊張を緩和する提案があった。

## 2. 研究 2: 紙やインクによる放射線の遮へいに伴う測定効率への影響実験

実験室は平均室温 28.8°C、湿度 11.5%、エアコン作動環境とした。

### 1) 良質紙の有無による遮へいの影響

良質紙なしおよび良質紙ありの計数率は良質紙なし 13,500±450(平均値±標準偏差) cpm、良質紙あり 13,300±380 cpm であり、良質紙による有意な計数率の低下は認められなかった (表 2)。

### 2) 着色した良質紙による遮へいの影響

良質紙に着色した 5 種類の計数率はマゼンタ紙 13,200±160 cpm、シアン紙 13,300±110 cpm、イエロー紙 12,300±80 cpm、ブラック紙 13,200±120 cpm、イラスト紙 12,900±130 cpm であった (表 2)。良質紙なしと良質紙あり、マゼンタ紙、シアン紙、ブラック紙には有意な低下は認められず (表 2)、イエロー紙とイラスト紙に有意な計数率の低下が認められた

(前者 p<.001、後者 p<.001)。良質紙ありにイエロー紙とイラスト紙に有意な計数率の低下が認められた (前者 p<.001、後者 p<.05)。イエロー紙はマゼンタ紙、シアン紙、ブラック紙と比較して、有意な計数率の低下を示した (いずれも p<.001)。

### 3) 遮へいによる測定値への測定効率への影響

良質紙なしの計数率を基準とし遮へいによる測定値への測定効率への影響を算出したところ、良質紙ありが 1.8% であり、シアン紙が 1.64%、ブラック紙が 2.2%、マゼンタ紙が 2.3%、イラスト紙が 4.6%、イエロー紙が 9.2% であった。

### 4) 各紙の面密度の算出結果

良質紙ありが 8.13 mg/cm<sup>2</sup>、ブラック紙が 8.41 mg/cm<sup>2</sup>、マゼンタ紙が 8.42 mg/cm<sup>2</sup>、シアン紙が 8.44 mg/cm<sup>2</sup>、イエロー紙が 8.46 mg/cm<sup>2</sup> であった。

## IV. 考察

### 1. GM 管式サーベイメータの工夫によるイメージ変化

放射線汚染を検査することは、自身の安全を確認するうえで、五感で感じることでできない放射性物

質を認識することができる手段である。それにより、人々は放射線被ばくによる健康影響への心配を軽減することにつながる。その際に使用する器材は、はじめて目にする物体であり、何をされるのかという心配をもたらす。GM 管式サーベイメータのイメージは「冷たさ」と「緊張した」を想起させ、視覚的に得られた情報から受けるネガティブイメージが浮き彫りとなった。GM 管式サーベイメータはシルバーと水色、白と黒が使用されており、自由記述されていたように「金属の部分が冷たい印象を与える」ことにより「冷たさ」や「緊張した」、「こわい」、「暗い」などのイメージをもたらしたと考えられた。

木村らは形と色の調和的關係を規定する要因を検討し、形と色の調和的關係が形と色のそれぞれの評価という構成要素の加算ではなく、感情効果の類似性という両者の関係性により規定される<sup>20)</sup>ことを示した。特に、軽明性（「明るい-暗い」や「陽気な-陰気な」などで構成された）・活動性（「騒がしい-静かな」や「動的な-静的な」など）は感情効果の類似性による調和度への効果<sup>20)</sup>が認められた。そこで、本研究結果の軽明性のイメージを確認した。イラスト型のイメージ結果は、「陽気な」や「明るい」イメージが付加され、軽明性のイメージが強くなっていた。イラスト型は色と形状の調和に変化がもたらされることとなり、標準型よりも軽快性というポジティブなイメージにつながり、感情効果があることが示唆された。今回のイメージの結果から標準型とイラスト型で変化が見られなかったのは、「安定-不安定」と「静かな-うるさい」であった。活動性を示す「静かな-うるさい」は、写真を提示したことから静止している状態であり、イメージにほぼ変化がなかったものと考えられた。また、「安定-不安定」の「安定」は安堵感状況と関係が深い<sup>21)</sup>とされていたが、今回の工夫では「安定」に結びつかないことが推察された。

次に、色から受ける感情に着目すると、裹の「わくわく感」を色彩で表現する研究<sup>21)</sup>において、男女ともに寒色系より暖色系の色を多く選択し、一番選ばれた色は「赤」、次いで「オレンジ」であった。今回のイラストは寒色系の「水色」を用いた（図1）ことやGM 管式サーベイメータも寒色系であったことから、暖色系のイラストを用いることで、よりポジティブな印象をもたらす可能性が示唆された。

今回イラストにはネズミの絵を用い、そのデザインをしたのが大学生であったことから、同年代の対象者にとって受け入れやすいイラストであったことがポジティブなイメージにつながり効果的であったと考えられた。イラストにより受け取るイメージは年齢層によっても異なることが予想され、どのようなイラストを貼付するのが良いかについては、今後精査する必要がある。

他方で今回の工夫は、直径7cmの円形用紙というワンポイントの工夫であった。布施谷らのめがね着用による素顔の印象変化の研究において、丸顔と細面の被験者の印象の違いはメガネの着用によって相殺され二人が同じような印象になり、メガネそのものの印象の強さによる<sup>25)</sup>ことが報告されていた。ネガティブなイメージのある器材であっても印象の強いワンポイントの工夫によって、印象を変えることの可能性が示唆された。人と物との違いはあるものの、GM 管式サーベイメータにイラストを貼付することは、印象の強さや意外性から心をなごませポジティブなイメージを引き起こし、簡便にできる工夫の一つではないだろうか。実際に、GM 管式サーベイメータを使用するサーベイ場面を想定すると、GM 管式サーベイメータは測定者が手に持ち使用する。その際、防護服を着用することになる。その姿（形状）は医療衣と比較した時に「圧迫と緊張」が最も高くなり<sup>23)</sup>、さらに淡い着色をした防護衣と比較した場合に、「快活・爽快」、「安らぎ」が低く、「抑鬱・動揺」、「圧迫・緊張」が高い<sup>24)</sup>。また、防護服の白色および形状はサーベイという緊迫感がある場面においては好ましい色とは言いがたい<sup>24)</sup>と指摘される。これらより、防護服による緊張感の高まりに加え、GM 管式サーベイメータが「緊張した」、「冷たい」、というイメージを想起させ、被検査者への緊迫感をさらに高める可能性が示唆され、ワンポイントによる工夫が効果を示すのではないかと推察された。

自由記述において、緊張を緩和するためにコミュニケーションの工夫として、検査の目的を説明し声をかける提案があった。サーベイを実施することは同時に避難を伴う。そのため日常の心理状態ではないときにサーベイを受けることで、より緊張を高めることにつながりやすい。本来、サーベイは被ばくを気にかけることなく避難することができるという、安心につながる検査である。放射線検査に

関する緊張は GM 管式サーベイメータによる検査に限らず、医療機関においても安心してできる放射線検査が受けられるように実践的な取り組みが行われている。子どもを対象とした取り組みでは、ビデオや部屋の装飾の工夫を行いながら検査を受ける子どもの発達段階、過去の医療体験などを考慮したうえで、子どもへの検査の説明や子どもと親への心理社会的サポートが提供されていた<sup>26)</sup>。福島第一原子力発電所の事故においてもサーベイ会場で子どもにあめ玉を手わたすことで笑顔を導き、手洗いうがいを指導することで除染効果と風邪予防につなげる取り組み<sup>9)</sup>がなされていた。前述の防護服の改良<sup>23,24)</sup>もまた緊張緩和につながるであろう。GM 管式サーベイメータにイラストを貼付するという一部の変更は、サーベイのプロセスの一部である。先行研究に見られたように検査について理解を促す工夫や検査後のケア、リスクコミュニケーション、有事に備えた訓練を含めて、一連のプロセスにも目を向けた検討が重要であろう。

大人に対するサーベイは「緊張した」や「冷たさ」をもたらすとしたら、子どもにはどのように影響するのであるか。新潟中越沖地震において、子どもの心的外傷後ストレス障害に関連する症状や行動の変化は親の精神状態が影響を与えていた<sup>27)</sup>とされ、けが、病気、家屋の被害などの因子も子どもの行動に影響を与える<sup>27)</sup>ことが報告されている。サーベイはこのような症状を引き起こすほどの経験ではないと考えるが、複合的な災害においては影響因子が複数重なることから、ケアが必要となるであろう。災害時は子どものケアとともに親への精神的なサポートが重要<sup>27,28)</sup>とされ、親の感情の変化は子どもたちに影響することが示されていた。大人であっても GM 管式サーベイメータに緊張を感じることから、子どもはサーベイにおいてより緊張が高まることが想定されるため、今後は子どもを対象としたイメージ調査や子どもに緊張緩和効果の高いイラストの選定などにより、さらなる実用化に向けた検討が求められる。

## 2. GM 管式サーベイメータにイラスト紙を貼付する際に留意すべきこと

実際に GM 管式サーベイメータへイラストを貼付することは測定値にどの程度の影響を与えるのか。研究 2 の結果から、良質紙なしと比較してイエ

ロー紙とイラスト紙に計数率の低下が認められた。実験でイラスト印刷に用いたトナーは顔料インクであった。しかしながら、これらの構成成分は公表されておらず、主要成分は明らかではない。顔料インクは用紙の着色成分が大きな粒子で溶剤に溶けきらず、用紙に浸透せず表面にインクを定着させる<sup>18)</sup>。顔料インクの成分については何らかの遮へい物質により構成されていることが推察された。また、今回の印刷にはインクを最高濃度にして用いているため、用紙に付着したインクが普通の濃度より密度が高い状態であると考えられ、その影響が推察された。本研究において各印刷紙の厚さ（面密度）を求めたところ、計数率が最も低かったイエロー紙で最も厚く、トナーの色の違いにより 0.28~0.33 mg/cm<sup>2</sup> 程度厚さが異なっていた。 $\beta$ 線の吸収曲線は物質の厚さ (mg/cm<sup>2</sup>) に関して実験上ほぼ指数関数的に減弱するとされているため、便宜的に式 (1) と式 (2) を用い、Co-60 の $\beta$ 線（最大エネルギー 0.318 MeV、最大飛程 84 mg/cm<sup>2</sup>）に対する 0.28~0.33 mg/cm<sup>2</sup> の吸収体厚の透過率への影響を検証した。式 (1) から Al 中における質量吸収係数 $\mu$  (cm<sup>2</sup>/mg) を求め<sup>29)</sup>、その値を利用し式 (2) を用いて減弱率 (1 - N/N<sub>0</sub>) を計算した<sup>30)</sup>。

$$0.017 \times E^{-1.43} \quad (1)$$

$$N/N_0 = e^{-\mu d} \quad (2)$$

ここで E は最大エネルギー (MeV) で、厚さ d (mg/cm<sup>2</sup>) を通る時に N<sub>0</sub> は N に減少するとする。

その結果、0.318 MeV の $\beta$ 線は 0.28~0.33 mg/cm<sup>2</sup> の吸収体厚により 2.3~2.8% 減弱すると算出され、トナーの色による厚さの違いによって約 0.5% の減弱率の違いが生じると考えられた。この減弱率は最大エネルギーをもとに算出したものであり、平均エネルギーの 0.106 MeV の場合、最大エネルギーの場合と比べてその飛程も 18 mg/cm<sup>2</sup> に低下するため、減弱率は若干高くなることが予想されるが、それでも本研究で観察されたトナーの種類による約 10% の減弱率の違いを説明できるとは考え難い。本研究において減弱率の違いが観察された正確な理由は不明であるが、放射線計測においては放射線の発生に特有の統計的揺らぎや、デジタル表示の指示値に対する許容差（メーカーの仕様書によると 3% ± 1 digit）や数え落し<sup>31)</sup>による影響（分解時間 200  $\mu$ s、計数率 13,500 の場合約 5%）などの測定器による誤

差などの要因、さらに実験条件の再現性の要因（本研究では各印紙の装着や取り外しに伴う検出器と線源との距離や角度などの精度）が存在する。したがって、トナーの違いによる要因（厚さの変化や顔料インクの成分）も僅かながら減弱率の違いに寄与している可能性はあるが、主な原因は放射線計測に伴う不確かさであると推察された。

本研究により、印刷紙やトナーの種類による厚さなどの変化が測定効率に影響する可能性も示唆されたため、イラストを貼付してのサーベイにおいては貼付による測定効率への影響をあらかじめ検討する必要があると考えられた。本研究で用いた用紙の条件においては、遮へいによる測定効率への影響を考慮して、除染基準の約90%を超えた場合にイラスト紙を取り外して、再度サーベイを行うことが適切と考えられた。今後は、イラストの材質などの更なる検討を行うことで、測定効率を落とさず、迅速な測定法の開発につなげる必要がある。

### 3. 放射性核種の選定について

原子力災害に伴う放射線汚染事故を想定した場合であればCs-137などの線源を使用することが望ましいと考えられるが、前述したように本研究の測定効率の影響実験では係数率に焦点をあて線源としてCo-60を使用した。結果的にCo-60を使用したことは、以下のことから有用と考えられた。 $\beta$ 線のエネルギーが低いと透過能力は低くなるが、Co-60から放出される $\beta$ 線のエネルギーは0.318MeVと他の福島第一原子力発電所の事故で放出されたCs-137(0.514MeV)やI-131(0.606MeV)の $\beta$ 線のエネルギーと比べて低いため、本研究の測定効率の影響実験は他の放射線源を用いた場合と比べて用紙による遮へい効果を過大評価している可能性が考えられた。しかし、そのことは裏を返せば体表面汚染検査における用紙の測定効率への影響を十分に考慮した条件であり、安全側に配慮するという放射線防護の考えに即した実験であるともいえよう。さらに、Dirty bombなどの他の放射線事故・事件ではさまざまな放射性核種による汚染が想定されること、またI-131からもCo-60の $\beta$ 線と同程度のエネルギーの $\beta$ 線(0.248MeV；放出割合2.1%、0.334MeV；放出割合7.3%)が放出されるため、サーベイにおいても用紙による測定効率の低下の可能性は十分に考えられる。以上のことから、Co-60線源を選択し実験

を行ったことは問題ないと考えられた。

### 4. 今後のサーベイ方針に照らした実用化の可能性

サーベイの実施開始直後は、前述のように大人数がサーベイ会場を訪れる。また、医療機関においても事故翌日から13日間で372名が訪れていたと報告<sup>32)</sup>がなされていた。大人数が会場を訪れた場合には、効率的なサーベイの実施により時間の短縮が求められるため、その方法についての検討が行われていた<sup>7, 8, 32-34)</sup>。2016年3月に内閣府から原子力災害発生時等における避難者の受け入れに係わる指針<sup>35)</sup>が示され、サーベイの方法が大きく変更された。「放射性物質の放出後にUPZ(Urgent Protective action planning Zone：緊急防護措置を準備する区域、概ね5~30km圏)内等からの避難者を受け入れる場合には、原則避難退域時検査場所で避難退域時検査及び簡易除染(以下「避難退域時検査等」という)を受けているかについて、避難所等で通過証等により確認する。その際、避難退域時検査場所を通らずに避難するなど、当該避難者が通過証等を持っていない場合には、原則受入市町村又は受入都道府県は、必要に応じて受入市町村又は受入都道府県が指定する場所において、避難退域時検査等を実施し、放射性物質による汚染状況を確認すること」<sup>35)</sup>とされた。避難退域時検査に車両の汚染検査が盛り込まれた<sup>12)</sup>ことを受け、指定場所での汚染状況の確認を行う規模の縮小が見込まれている。そこで住民への検査では、放射性物質が付着している可能性が高い、①頭と顔面、②手指及び掌、③靴底の指定箇所検査を行うことになる<sup>12)</sup>。3カ所を集中的に検査することにはなったが、顔面をGM管式サーベイメータが通過する緊張は依然として残っている。このような場合に本研究で検討したような測定時の緊張を和らげる工夫が一つの選択肢であると考えられた。

### 5. 本研究の限界と課題

本研究のイメージ評価の対象者は少なく、母集団を反映するといえないところに限界があり、今後対象人数を増やしての調査が望まれる。また、多様な年齢層へのイメージ調査により、サーベイにおけるイラスト紙を貼付する工夫がもたらす感情効果を調査していくことが課題である。さらに、イラストの種類や色については、今回のイラストが最適とはいえないところに限界があり、各年代に共通して

好まれる、より緊張を和らげるなどの要件を確認することが課題である。用紙の種類については、災害現場ではある程度の耐久性が求められるが、耐久性を求めると紙が厚くなるため測定効率に影響を与える可能性が示唆されたことから、紙の選定についても検討の余地が見いだされた。印刷についてはコピー機で印刷することは簡便であり実用的と考えられたが、インクの密度や種類、用紙の密度の影響を受ける可能性が示唆された。そのため今回のようなイラスト紙による工夫を実践で用いるには、事前に検証してみることが最善であるが、それができない場合において、緊急時に作成したイラストを用いるには、測定効率への影響を考慮する必要が示唆された。

## V. 結語

- GM 管式サーベイメータへのイラスト貼付により、「陽気な」や「明るい」に代表されるポジティブなイメージが高まり、「緊張した」や「冷たい」というネガティブイメージは和らいだ。
- GM 管式サーベイメータへのイラスト紙が測定値への影響は1~9%であったことから、除染基準値の約90%を目安にイラストを除去し、汚染部位を再測定することが適切であると考えられた。

## 研究助成

本研究は JSPS 科研費 JP15K11545 の助成を受けたものです。

## 利益相反

本研究に際し、申告すべき利益相反はございません。

## 引用文献

- 福島復興ステーション復興情報ポータルサイト. 緊急被ばく医療におけるスクリーニングについて (検索日2019.3.22). <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-iryoku-screeningkatsudou.html>
- 安村誠司 (編). 原子力災害の公衆衛生: 福島からの発信. 南山堂, 東京, 2014. p. 47.
- 福島復興ステーション復興情報ポータルサイト. 緊急被ばく医療におけるスクリーニングについて, スクリーニング検査の基準 (検索日2019.3.22). <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/ps-iryoku-screening.html>
- 坂谷内徹, 渡辺 昭, 柴田隼弥, 他. 福島第一原

子力発電所事故に関連した放射線スクリーニング結果の検討. 大崎市民病院誌. 2017, 21(1). 5-7.

- 西條 毅. 放射線測定条件の違いから見た測定値の課題: 福島の放射線スクリーニング支援活動から得たデータ値から. 乙訓医学会集録. 2013, 22. 27-30.
- Ogino H, Hattori T. Operational level for unconditional release of contaminated property from affected areas around Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Radiation Protection Dosimetry*. 2013, 157(3). 446-454.
- 飯田治三, 鎌田貴志, 渡井勝範, 他. 動的予測サーベイメータの<sup>60</sup>Co汚染検査への応用. *RADIO-ISOTOPES*. 2008, 57. 669-677.
- 飯田治三, 鎌田貴志, 渡井勝範, 他. 動的予測サーベイメータの応答の高速化. *RADIOISOTOPES*. 2007, 56. 351-357.
- Noto Y, Kitamiya C, Itaki C, et al. Role of nurses in a nuclear disaster: Experience in the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *International Nursing Review*. 2013, 60(2). 196-200.
- 日本看護協会出版会編集部 (編), 西川 健, 加藤洋明. File56 福島県でのDMAT活動を振り返って: ナース発東日本大震災レポート. 日本看護協会出版会. 東京, 2011. pp. 352-355.
- 弘前大学大学院保健学研究科被ばく医療検討委員会 (編). 緊急被ばく医療人材育成プロジェクト活動成果報告書平成23年度. 2012. pp. 9-35 (検索日2019.4.17). <https://www.hs.hirosaki-u.ac.jp/hibakupj/img/pdf/23seika.pdf>
- 原子力規制庁放射線防護企画課. 原子力災害時における避難退域時検査及び簡易除染マニュアル. 平成29年1月30日修正 (検索日2019.03.22). <http://www.nsr.go.jp/data/000119567.pdf>
- 井上正明, 小林利宣. 日本におけるSD法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観. *教育心理学研究*. 1985, 33. 253-260.
- 宇野多美子, 山本直成. 色彩と形態の合成感情効果. *維製品消費科学*. 1976, 17(9). 340-346.
- 神作順子. 色彩感情の分析的研究. *心理学研究*. 1963, 34(1). 1-12.
- 原子力安全技術センター. 原子力防災研修救護所活動実務講座テキスト. 2008. p. 29.
- 原子力安全技術センター. 緊急時モニタリング機材取り扱いポケットガイドブック. 2008. p. 46.
- 違いがわかる事典. 染料インクと顔料インク (検索日2019.6.13). <https://chigai-allguide.com/染料インクと顔料インク/>
- 原子力安全技術センター. 原子力防災基礎用語集. 2010. p. 68.
- 木村 敦, 和田有史, 野口 薫. 感情効果の類似が形と色の調和的關係に及ぼす影響. *デザイン学研究*. 2005, 52(6). 1-8.
- 門地里恵, 鈴木直人. 状況からみた安堵感の因子

- 構造：緊張からの解放とやすらぎ. 心理学研究. 2000, 71(1). 42-50.
- 22) 斐 湖珠. 「わくわく」感を色彩で表現する事に対する研究. 日本色彩学会誌. 2018, 42(3+). 213-214.
- 23) 西沢義子, 野戸結花, 北宮千秋, 他. 看護学生と看護師が受ける放射線防護服のイメージ. 日本放射線看護学会誌. 2014, 2(1). 29-34.
- 24) Nishizawa Y, Aizu K, Kudo K, et al. Impressions of Hazmat Suits based on color. Open Journal of Nursing. 2018, 8(12). 879-888.
- 25) 布施谷節子, 柴田優子. メガネ着用による印象変化. 一般社団法人日本家政学会研究発表要旨集. 2009, 61. 120-120.
- 26) 相吉 恵. 子供が安心できる放射線検査を目指して：医療者とCLSとのチームワーク. 日本小児放射線学会雑誌. 2009, 25(1). 48-53.
- 27) 遠藤太郎, 塩入俊樹, 鳥谷部真一, 他. 新潟中越沖地震が子どもの行動に与えた影響. 精神医学. 2007, 49(8). 837-843.
- 28) 増子博文. 福島県の災害と子どもへの支援. トラウマティック・ストレス. 2014, 12(1). 22-27.
- 29) 公益社団法人日本アイソトープ協会. アイソトープ手帳 11 版. 公益社団法人日本アイソトープ協会. 東京. 2011. p. 5.
- 30) 野口正安, 富永 洋. 放射線応用計測：基礎から応用まで. 日刊工業新聞社. 東京. 2004. p. 47.
- 31) 長 哲二. 診療放射線技術選書 放射線計測学. 南山堂. 東京. 2004. p. 13.
- 32) 田代雅実, 大葉 隆, 遊佐 烈. 原子力災害に対する当院の放射線スクリーニングへの対応について. 日本集団災害医学会誌. 2012, 17(4). 685.
- 33) 沼田恭一, 濱田順彌, 大石小太郎, 他. 原子力災害時放射線スクリーニングにおける「セグメント法」の提唱. 日本集団災害医学会誌. 2011, 16(3). 480.
- 34) 田代雅美, 島田二郎, 長谷川有史, 他. 避難指示区域における多数傷病者に対する放射線スクリーニングの意義と課題について. 日本集団災害医学会誌. 2014, 19(3). 508.
- 35) 内閣府原子力防災担当. 原子力災害発生時等における避難者の受入れに係る指針. 2016. p. 10.(検索日 2019.3.22). [https://www8.cao.go.jp/genshiryoku\\_bousai/pdf/02\\_ukeireshishin1.pdf](https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/02_ukeireshishin1.pdf)