原 著

仮想現実を利用した放射線検査における散乱線分布の
四次元可視化による放射線防護教育への活用法の検討藤淵俊王¹ 上田昂樹² 門柳紗妃³ 上野大輝⁴ 中村千裕⁵論文受付
2019年6月5日論文受理
2019年9月18日Code Nos. 622
131¹ 九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野² 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻(現 福岡労働衛生研究所診療技術部診療放射線課)³ 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻(現 福岡記念病院放射線科)⁴ 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻(現 福岡赤十字病院放射線科部)⁵ 九州大学医学部保健学科放射線技術科学専攻(現 古賀病院 21 診療放射線課)

緒 言

医療機関において、放射線診療に関わる医療従事者は、放射線診療従事者として登録され、取り扱いの制

限や職業被ばくの管理が実施されている。放射線は技術開発の進歩に伴い容易に多くの分野で用いられる一方、国際放射線防護委員会(International Commission

Examination of Application to Radiation Protection Education by Four-dimensional
Visualization of Scatter Distribution in Radiological Examination Using Virtual RealityToshioh Fujibuchi,^{1*} Koki Ueda,² Saki Kadoyanagi,³ Daiki Ueno,⁴ and Chihiro Nakamura⁵¹ Division of Medical Quantum Science, Department of Health Sciences, Faculty of Medical Sciences, Kyushu University² Radiological Science Course, Department of Health Sciences, School of Medicine, Kyushu University (Current address: Division of Radiology, Medical Technology Department Radiology Center, Fukuoka Institute of Occupational Health)³ Radiological Science Course, Department of Health Sciences, School of Medicine, Kyushu University (Current address: Department of Radiology, Fukuoka Kinen Hospital)⁴ Radiological Science Course, Department of Health Sciences, School of Medicine, Kyushu University (Current address: Department of Radiology, Japanese Red Cross Fukuoka Hospital)⁵ Radiological Science Course, Department of Health Sciences, School of Medicine, Kyushu University (Current address: Department of Radiology, Koga Hospital 21)

Received June 5, 2019; Revision accepted September 18, 2019

Code Nos. 622, 131

Summary

Purpose: When working on fluoroscopy and patient assistance in a healthcare facility, workers need to understand how to properly protect scattered radiation. In this study, we examined a four-dimensional visualization method to make it easy to understand the spread of scattered radiation visually, and proposed its application to radiation protection education. **Methods:** We constructed the X-ray room, X-ray CT room, and angiography room using Particle Heavy Ion Transport code System (PHITS), and calculated the scattered radiation distribution when the patient was irradiated with X-rays. The three-dimensional distribution of each moment was continuously displayed to create a four-dimensional distribution. Using the created data, we conducted radiation protection education including exercises to make the students confirm the scatter distribution from any direction. The effectiveness of the scattered radiation visualization data was evaluated by a questionnaire. **Results:** The position of assistance for standing chest radiograph was less scattered radiation at the side and below the patient. As a result of the questionnaire, this education has confirmed the effect of attracting attention about radiation protection. The four-dimensional visualization allowed students to understand the behavior of radiation and the source of scattered radiation. **Conclusion:** Visualization of three- and four-dimensional scattered radiation distribution in the radiological examination room can intuitively enhance the understanding of the invisible radiation spread and appropriate aids.

Key words: education and training, virtual reality, occupational exposure, Monte-Carlo simulation, four-dimensional scatter dose distribution

*Corresponding author

on Radiological Protection: ICRP)のICRP Publication 113¹⁾では、放射線診断およびIVRにおける放射線防護教育と訓練の重要性について、ICRP Publication 117²⁾では、画像診断部門以外で行われるX線透視ガイド下手技における放射線防護として、散乱線の防護方法に関する理解を深める必要性が記載されている。放射線防護教育の欠如は、放射線業務従事者の放射線被ばくのリスクを高めることにつながる。また、近年ではICRPから水晶体のしきい線量および線量限度の引き下げについて声明が出された³⁾。特に血管造影検査に従事する医師の被ばくは高く、実態調査や防護対策に関する多くの報告がある^{4~6)}。その他、内視鏡検査やCT検査においても照射中に室内で業務をする際の被ばくについての報告もあり^{7,8)}。放射線診療従事者は、適切な放射線防護対策をしないと確率的影響や組織反応の恐れがある職種として被ばく管理が求められる。

更に、小児や体を静止できない高齢者などの患者の放射線検査において、患者の家族などが介助して照射をすることもある。この際にも合理的に可能な限り被ばくを抑えられるよう配慮する必要がある。そのためには介助を依頼し説明するスタッフに十分な専門知識が求められる。このことは医療安全の中で装置の安全利用、職員の安全につながる大事な問題である。

被ばく対策の理解の困難な問題の一つに、放射線は目に見えないということがある。放射線の専門教育を受けていない医療従事者を対象に、放射線防護教育を目的として、モンテカルロシミュレーションを利用し、散乱線を可視化したコンテンツを示した先行研究⁹⁾がある。このコンテンツは散乱線の二次元分布を表示して医療現場における医療従事者と患者・介助者への端的かつ的確な放射線防護教育と注意喚起を促すものであり、視覚的に散乱線の広がりを二次元画像として認識することは有効と考えられている。しかし、放射線は三次元に拡散することから、二次元分布では散乱線の広がりを認識、理解するのに限界がある。

そこで本研究では、放射線の初学者に対して散乱線の広がりを視覚的に理解しやすくするため、モンテカルロシミュレーションによる高精度な放射線挙動計算技術と仮想現実(virtual reality: VR)環境技術を組み合わせ、放射線診療時の定点の線量評価に加えて散乱線分布の三次元データ、更に時間軸を追加した4次元可視化動画を作成した。これらの資料をもとに、医療系資格取得者を対象に受講者によるVR画像の操作演習を含む60分の放射線防護教育プログラムを作成して研修を実施し、アンケート調査により有効性を検討した。

1. 方法

1-1 X線検査室の散乱線分布のシミュレーション

モンテカルロコードとしてParticle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.05¹⁰⁾を使用した。本研究では立位胸部X線撮影を想定し、高さ250 cm、X線照射方向400 cm、横方向200 cmのX線撮影室、この室内にX線管、X線源、可動絞り、画像検出器、および患者としてICRP 110の男性人体ボクセルファントム(以下、ボクセルファントム)¹¹⁾を用意した。線源は、診断領域X線スペクトル計算ソフトウェアであるX-Birch¹²⁾により管電圧120 kV、総濾過2.5 mmAlでの光子の連続エネルギースペクトルを0.5 keV間隔で算出したデータを用いた。焦点-検出器間距離200 cmで照射野を大角サイズとなるようファンビームを可動絞りにより絞り照射させた。光子、電子のカットオフエネルギーは、ともに10 keV、ヒストリ数は 1×10^9 とした。計算結果として、室内全体の光子フルエンスを1辺2 cmの三次元分布として出力した。フルエンスから線量への換算は、まず線源から1光子当たりの入射表面線量を計算し、この逆数を室内の光子フルエンス分布 $[1/\text{cm}^2/\text{source}]$ に掛けることで、入射表面線量1 mGy当たりの光子フルエンス分布 $[1/\text{cm}^2/\text{mGy}]$ を算出した。この値にICRP Publication 74に掲載されている光子エネルギーごとのフルエンス-周辺線量当量率換算係数 $[\mu\text{Sv}/(1/\text{cm}^2)]$ ¹³⁾を掛け、入射表面線量1 mGy当たりの周辺線量当量である三次元散乱線分布 $[\mu\text{Sv}/\text{mGy}]$ を算出した。更に、放射線発生直後から15 n秒後まで等間隔で15分割し、放射線や散乱線の時間ごとの挙動をシミュレーションし、四次元散乱線分布データを作成した。

作成したデータはParaView version 7.0^{14, 15)}を用いて三次元空間上に二次元、三次元散乱線分布を表示させた。更に1 n秒ごとのデータを、散乱線の発生や挙動を視覚的にわかりやすくするため、ParaView上でアニメーションとして保存した。

1-2 X線CT検査室

CT検査室について、当施設で所持する4列のマルチディテクタCTであるAlexion Access Edition(キヤノンメディカルシステムズ、東京)をモデルとして、X線管を固定した状態で120 kVの管電圧でアイソセンタ上のビームプロファイルをradiochromicフィルムで取得してボウタイフィルタの形状を模擬し、寝台進行方向8 mmのビーム幅で、36方向からの多門照射としてX線管が1回転する際のビームデータを作成した。CT線量指数(computed tomography dose in-

Fig. 1 Constructed CT examination room and assistance position.

(a) Observer's eye view of the CT examination room where the patient was placed, (b) The position of the assistant

dex: CTDI) ファントムに照射した際の室内の周辺線量当量率を電離箱サーベイメータ ICS-321 (日立製作所, 東京) で 1 m メッシュ間隔で床に 34 箇所目印を付け, それぞれ高さ 45, 95, 145, 195 cm で測定した. シミュレーション上の CT ガントリ内は均一な鉄で満たした. 実際にはガントリ内にも隙間などの空気成分が含まれることから, CTDI ファントムへの照射時の室内の散乱線分布の測定値に合うよう密度を調整し, 測定点と同地点を計算値を比較することで計算精度を検証した. CTDI ファントムへ照射した際の 100 mAs 当たりの線量を換算係数として用いることで, PHITS での出力の単位を $\mu\text{Sv}/100 \text{ mAs}$ とした.

検証後, ボクセルファントムを寝台に配置し, 頭頂部から骨盤部までの 1 回転ごとのスキャンの三次元散乱線分布を 1 cm 間隔で計 105 cm のスキャン長を計算した.

頭部, 胸部および腹-骨盤部スキャン領域について, 検査ごとに各領域の計算結果を合算して検査時の散乱線分布を作成した. CT 検査で介助のために医療従事者が入室することを想定し, 検査部位や位置による被ばくの違いを評価した. いずれも高さ 95 cm であり, ガントリの奥側で線源からの距離は 1 m に A 点, ガントリの手前側の点で線源からの距離が 1 m に B 点, ガントリの手前側の点で線源からの距離が 0.5 m に B' 点とした. CT 検査室内および介助位置の幾何学的配置を Fig. 1 に示す.

1-3 血管造影室

Sato らが作成した血管造影室のモデル¹⁶⁾ を利用し, 測定との精度検証に利用したアクリルスラブファント

Table 1 Eight directions of left coronary artery imaging

No.	Direction
1	RAO 30°, Cranial 30°
2	Cranial 30°
3	LAO 50°, Cranial 30°
4	RAO 30°, Caudal 30°
5	Caudal 35°
6	LAO 50°, Caudal 35°
7	LAO 15°, Cranial 40°
8	LAO 15°

ムをボクセルファントムに置き換えシミュレーションを実施した. 心臓カテーテル検査を想定して照射野サイズを 6 インチとし, Table 1 に示す左冠動脈の基本的な撮影方向である 8 方向¹⁷⁾ からの三次元散乱線分布を評価した. 表示させる線量は患者照射基準点で 1 mGy 当たりの周辺線量当量を 1-1 と同様の方法で計算した.

手技中の医療従事者の立ち位置として, A 点および B 点は術者である医師, C 点は介助者や麻酔科医, D 点は記録係として看護師を想定し, それぞれの箇所に置いて床から 50, 100, 150, 200 cm の高さの 4 点, 計 16 点を線量評価点とした. また D 点は図の点線的位置で 0.5 mm の鉛当量の遮蔽板によって散乱線を遮蔽していると仮定した. ここで, 計算時間を考慮し遮蔽板は直接体系には組み込まず, 計算結果に遮蔽板の遮蔽能力を加味することで評価した. 構築した血管造影室および位置を Fig. 2 に示す.

また寝台下の含鉛カーテンの効果と有効性を示すため, 高さ 50 cm, 幅 100 cm, 厚さ 0.5 cm のカーテンを配置した状態での散乱線分布も計算した.

Fig. 2 Configured angiography room and assistance position.

(a) Observer's eye view of the angiography room where the patient was placed, (b) The position of the assistant

1-4 放射線防護教育での活用についての検討

放射線診療従事者の放射線防護教育を目的として、各検査での散乱線分布データを活用した研修プログラムを作成した。コンテンツとして、最初に放射線防護教育の必要性、放射線影響の機序、しきい線量と線量限度、放射線防護の3原則、防護具の種類と効果、個人線量測定方法とその活用方法について30分で説明するスライドを作成した。次にParaViewや1-1で作成したアニメーションを用いて各検査室の三次元および四次元散乱線分布を15分で説明し、最後に15分程度受講者が各自でパーソナルコンピュータ(personal computer: PC)を操作することにより血管造影時の含鉛カーテンの有無による散乱線分布の違いを任意の位置から確認する構成とした。受講者が各自で散乱線分布をPCで操作するにあたり、Webブラウザで動作するParaView Glance¹⁸⁾に装置および散乱線分布のデータをアップロードして操作できるようにした。

作成した教育プログラムの有効性を検証するため、倫理審査委員会の承認を得たうえで、新入医療機関職員を想定して当施設の看護師、診療放射線技師、臨床検査技師の免許を有する修士課程の大学院生計23名を対象に60分の研修を実施し、同意を得た被験者から、ARCS動機付けモデル¹⁹⁾およびプログラムの感想についてアンケート調査を実施した。ARCS動機付けモデルは、注意(attention)、関連性(relevance)、自信(confidence)、満足感(satisfaction)の四つの因子に関する質問を計36問用意し、5段階(1:まったくそう思わない, 2:あまりそう思わない, 3:どちらともいえない, 4:ややそう思う, 5:強くそう思う)のリッカートスケールによりスコアするものである。具体的な質問

項目は、スコアとともに結果で示す。研修は受講者全員が同時にPCを使える当施設の情報処理室で実施した。

2. 結果

2-1 X線検査室の散乱線分布

三次元空間に表示した二次元散乱線分布をFig. 3に示す。Figure 3のようにParaViewでは任意の位置の断面を表示させ、更に自由に移動することも可能で被写体との位置関係の把握が容易になった。

各瞬間の三次元散乱線分布から作成した四次元散乱線分布のうち、(a)照射3n秒後および(b)7n秒後の画像をFig. 4に示す。Figure 4aの放射線はX線管から射出された一次X線であり、X線管から画像検出器方向へ進行した。Figure 4bの放射線は、一次X線が患者に衝突した後の患者から放出される散乱線で患者を中心に広がった。いずれの放射線も前後の画像と比べることのできる方向に進行しているか、特に散乱線はファントムに衝突することで後方に発生し、その広がりや短時間で消失することが視覚的に認識できた。

ParaViewではソフト上で散乱線表示のしきい値を変更することで、ある一定の線量までを無色として三次元状に可視化させることが可能であり、三次元線量分布はマウスを操作することで撮影室を左右方向、上下方向の回転や縮小、拡大して表示できた。

放射線防護教育の活用例として胸部立位撮影時の適切な介助位置の説明画像をFig. 5に示す。患者から発生する散乱線は照射された領域から後方に広がるため、患者横でかつなるべく低い位置から支えることで、患者への散乱線量が減らせることが視覚的に認識できた。

Fig. 3 Two-dimensional scattered radiation distribution of patient sagittal plane displayed on three-dimensional space.

Fig. 4 Display of four-dimensional scattered radiation distribution at a certain time.
(a) After 3n s, (b) After 7n s

Fig. 5 Three-dimensional scattered radiation distribution during chest standing radiography.
(a) View from the ceiling, (b) View from the side

2-2 X線CT検査室の散乱線分布

CTDIファントムに1回転照射した際の室内121点のシミュレーションによる計算値に対する電離箱サー

ベイメータによる周辺線量当量の測定値の比の平均は 0.921 ± 0.197 であった。

頭部、胸部、腹-骨盤部の各検査部位スキャン時の天

Fig. 6 Two-dimensional scattered radiation distribution in CT scan of head and chest and abdomen-pelvis region.
(a) Head scan, (b) Chest scan, (c) Abdomen to pelvis scan

Table 2 Ambient dose equivalent per CT examination by gantry at each CT category [$\mu\text{Sv/exam.}^*$]

Category	Scan time [s]	Moving range of couch ^{**} [cm]	A	B'	B
Head	17	0–17	199	336	46.2
Chest	32	26–58	304	685	145
Abdomen-pelvis	64	46–110	261	1660	418

*Tube current is 100 mA

**The position of the head end is 0 cm

井側から見下ろしたアイソセンタを通る水平断面での二次元空間線量分布図を Fig. 6 に示す。次に、頭頂から 50 cm 足側の胸部の位置で 1 回転照射した際の三次元線量分布を Fig. 7 に示す。任意の方向から任意の値の等線量分布および等線量断面を表示、観察し重ね合わせることができた。更に Table 2 には各検査部位におけるスキャンでの三つの測定点における空間線量の積算値を示す。線源からの距離が 0.5 m の B' 点は、1 m の B 点と比べ、頭部撮影では約 7.2 倍、胸部撮影では約 4.7 倍、腹-骨盤部撮影では約 4.0 倍も線量が大きかった。ガントリの奥である A 点とガントリの手前である B 点を比較すると、頭部撮影では A 点が B 点より 1.7 倍大きく、胸部撮影では A 点が B 点より 2.5 倍大きく、腹-骨盤部撮影では B 点が A 点より 1.6 倍大きかった。

2-3 血管造影室の散乱線分布

例として Table 1 の照射方向 3 (LAO 50°, cranial 30°) における患者の矢状断面、冠状断面で二次元散乱線分布、三次元等線量分布を重ね合わせた画像、寝台横の含鉛カーテンの有無による三次元等線量分布を重ね合わせた画像を Fig. 8 に示す。遮蔽体の有無による分布の違いを同時に画像上に表示させることで、遮蔽効果のある位置や効果が容易に確認できた。次に同じ C アームの角度から照射した際の 1 $\mu\text{Sv/mGy}$ を下限しきい値とした、三次元線量分布を Fig. 9 に示す。これらの分布から、術者の足側への後方散乱が多いことが視覚的に確認できた。また、Fig. 9d において含鉛カーテンによる遮蔽を視覚的に確認できた。各照射位置における医療従事者の位置での高さ 100, 150 cm における線量を Fig. 10 に示す。全体的にアイソセンタから最も近い評価点 A の線量が高くなる傾向があ

Fig. 8 Two-dimensional scattered radiation distribution when irradiated with LAO 50° and Cranial 30° in the cardiac catheterization laboratory.

The isocenters of the heart and C-arm are matched, and all are the planes passing through isocenter.

(a) Sagittal section of the patient, (b) Cross-section of the patient, (c) Coronal section of the patient

り、特に照射方向3, 7では他の評価点よりも顕著に高い値を示した。しかし、回転中心からほぼ同じ距離が離れた評価点Cと比較すると、照射方向4, 5, 6のcaudal方向では評価点Cの線量が高くなった。

2-4 放射線防護教育教材としての活用

ARCSモデルの質問項目ならびに結果をTable 3に示す。スコアは各5点満点で各項目の平均値は、注意(attention): 3.4 ± 1.1 , 関連性(relevance): 3.8 ± 0.9 , 自信(confidence): 3.2 ± 1.1 , 満足感(satisfaction): 3.7 ± 0.8 だった。4点を超える高得点の項目は、「この教育システムの内容は、私に放射線防護の注意を引きつける助けになった(4.3)」, 「この教育コンテンツが誰にとって重要なのかを示す画像や事例があった(4.2)」, 「この教育コンテンツで、医療従事者がどのように放射線防護の知識を活用するかの説明や例があった(4.1)」だった。2.5点以下の比較的评价が低かった項目は「この教育コンテンツは情報量が多すぎて、重要なポイントを拾い上げて覚えることが難しかった(2.5)」, 「この教育コンテンツは同じ内容が繰り返され、時々退屈になった(2.5)」, 「この教育コンテンツの演習は難しかった(2.2)」だった。教材内容に対する自由回答でよかった点として、自由に任意の位置から散乱分布が可視化

でき理解しやすい、放射線の挙動が動画で示されることで発生源がわかりやすい、遮蔽板の効果や危険な位置を認識できた、という意見があった。改善点として、タブレット端末やスマートフォンでいつでも簡単に見れるとよい、他のモダリティや複数の体型の患者でも確認したい、放射線検査室で装置を見学しながら散乱線分布を確認したい、という意見があった。

3. 考 察

今回、シミュレーションに人体ボクセルファントムを使用した。散乱線分布を検査時に測定することは困難であり、シミュレーションを用いることで、放射線診療中の現実に近い場を高分解能でかつ時間軸まで含め任意の方向から確認することが可能である。今回作成した検査室の体系は例示であり、さまざまな装置や照射条件の変更、防護具の追加などをコストを掛けずに実施し比較できることから、放射線防護教育において有効なツールといえる。適切な介助位置についても示すことができたが、患者の体型や状況により安全・安心に支えられない場合もあり、位置だけでなく防護衣や防護眼鏡を着用するなど遮蔽の防護効果も組み合わせることが効果的である、と研修時には説明する必要がある。

Fig. 7 Three-dimensional scattered radiation distribution in the CT examination room when one rotation irradiation is performed 50 cm from the head end.

The lower threshold dose is displayed as $5 \mu\text{Sv}/\text{scan}$.

(a) Sagittal section of the patient, (b) Coronal section of the patient, (c) A bird's-eye view of the patient and equipment, (d) An image obtained by superimposing a two-dimensional dose distribution of a sagittal section and a coronal section on a three-dimensional image of a patient and an X-ray equipment

Fig. 9 Two-dimensional scattered radiation distribution when irradiated with LAO 50° and Cranial 30° in the cardiac catheterization laboratory.

(a) An image obtained by superimposing the patient's sagittal cross-sectional two-dimensional dose distribution on the device and patient, (b) An image obtained by superimposing a coronal cross-sectional two-dimensional dose distribution and a three-dimensional isodose distribution on a device and a patient, (c) Images showing three-dimensional isodose distributions of 0.5, 1, 2, 3 $\mu\text{Sv}/\text{Gy}$, (d) Image with red isodose distribution with lead-containing curtain under the bed and blue isodose distribution without the curtain

Fig. 10 Ambient dose equivalent at each medical staff location.
(a) 100 cm height from the floor, (b) 150 cm height from the floor

Table 3 Questionnaire items and results by ARCS model of radiation protection education implemented

No.	Item	Contents of question	M.S.	S.D.
1	C	When I first looked at this educational content, I had the impression that it would be easy for me.	3.23	1.19
2	A	There was something interesting at the beginning of this educational content that got my attention.	3.50	0.96
3	C	This educational content was more difficult to understand than I would like for it to be.*	2.73	1.03
4	C	After reading the introductory information, I felt confident that I knew what I was supposed to learn from this educational content.	3.95	0.84
5	S	Completing the exercises in this educational content gave me a satisfying feeling of accomplishment.	3.55	0.80
6	R	It is clear to me how this educational content is related to things I already know.	4.00	0.87
7	C	This educational content had so much the information that it was hard to pick out and remember the important points.*	2.55	1.01
8	A	This educational content was eye catching.	3.91	0.68
9	R	There were stories, pictures or examples that showed me how this educational content could be important to some people.	4.18	0.59
10	R	Completing this educational content successfully was important to me.	4.05	0.65
11	A	The quality of this educational content helped to hold my attention.	4.27	0.63
12	A	This educational content was so abstract that it was hard to keep my attention on it.*	2.77	0.75
13	C	As I worked on this educational content, I was confident that I could learn the content of the setup.	3.68	0.72
14	S	I enjoyed this educational content so much that I would like to know more about setup.	3.86	0.77
15	A	This educational content looked dry and unappealing.*	2.91	0.61
16	R	This educational content was relevant to my interests.	3.55	0.80
17	A	The way of presenting information about the setup training system helped to attract my attention.	3.68	0.84
18	R	There were explanations or examples of how radiological technologist involved radiotherapy uses the knowledge in this educational content.	4.09	0.75
19	C	This educational content used mixed reality was too difficult.*	2.23	0.92
20	A	This educational content had things that stimulated my curiosity.	3.77	0.69
21	S	I really enjoyed studying this educational content.	3.41	0.73
22	A	The amount of repetition in this educational content caused me to get bored sometimes.*	2.45	0.60
23	R	This educational content and style conveyed the impression that its content is worth knowing.	3.91	0.61
24	A	I learned some things that were surprising or unexpected through this educational content.	3.32	0.95
25	C	After working on this educational content for a while, I was confident that I would be able to pass a setup test.	3.45	0.86
26	R	This educational content was not relevant to my needs because I already knew most of it.*	2.64	0.58
27	S	The wording of feedback after the practice, or of other comments in this educational content, helped me feel rewarded for my effort.	3.27	1.08
28	A	The variety materials, such as slides, figure, videos, etc., used to explain this educational content using mixed reality helped keep my attention at the beginning of this practice.	3.77	0.81
29	A	The style of this educational content was boring.*	2.68	0.78
30	R	I could relate to this educational content to things I have seen, done or thought about in my own life.	3.73	0.77
31	A	There were so many explains that it was irritating in this educational content.*	2.82	0.96
32	S	It felt good to successfully complete this educational content.	3.91	0.43
33	R	This educational content will be useful to me.	3.86	0.77
34	C	I could not really understand most of this educational content.*	3.00	0.76
35	C	The good organization of this educational content helped me be confident that I would learn setup.	3.68	0.72
36	S	It was a pleasure to work on such a well-designed educational content.	3.91	0.81

*: Reversed items, M.S.: Mean Score, S.D.: Standard division, Item A: Attention, R: Relevance, C: Confidence, S: Satisfaction

研修によるアンケートの結果から、「関連性」のスコアが比較的高かった。これらはコンテンツが親しみやすく、目的が明確であることを意味する。自分自身で任意の位置からの散乱線分布を確認できることが高評価につながったと考えられる。一方、「自信」の項目の評価が最も低かった。これは操作に慣れるまでに十分な時間が取れなかったことが原因と考えられる。自由回答では、より自由に扱えるよう、タブレット端末やスマートフォンで操作ができることを希望する意見が多かった。また四次元散乱線分布は、放射線の進行方向を視覚的に確認できることから、放射線に関する教育経験の少ない看護師や臨床検査技師に対して散乱線の広がりイメージするのに有効であった。散乱線分布の操作や動画の視聴には電子教材が必須となり、複数名が操作するには端末の用意が必要になるが、学習効果は高いことが示された。

今回実施した受講者が各自で散乱線分布を操作し理解を深める放射線防護教育について、今回使用した ParaView で受講者が任意の視点から四次元の分布を閲覧するためには、ParaView のインストールと PHITS で基となる大容量のデータの端末へのダウンロードが必要となる。更に、散乱線分布の空間分解能を向上させようとする、基のデータ容量が膨大になり、取り込みや処理に時間がかかる。実際に、本研究では ParaView 用に作成した一般撮影室の四次元散乱線分布のデータは合計約 1.1 GB となった。また ParaView は多機能である反面、操作がやや複雑な点

から、E-learning で自主的には閲覧するには専用マニュアルを用意してサポートする必要がある。ParaView Glance に関してはインストールの必要がないためオペレーティングシステムを問わず Web 上で操作が可能であるが、三次元画像を取り扱うことから端末の性能が低いとスムーズに動作しない可能性がある。これらのことから、端末を問わず三次元の散乱線分布データを自由に操作するには、いかにデータ表示を効率化するか表示ソフトを含めた検討が必要である。

4. 結 語

モンテカルロシミュレーションによりさまざまな放射線検査室内の三次元および四次元の散乱線分布を取得し可視化させることで、任意の角度や断面から散乱線の発生源や挙動、広がり観察可能な放射線防護教育資料を提示した。三次元、四次元散乱線分布の放射線防護教育への活用は、放射線に対する専門的な知識をもたない放射線診療従事者に対して、目に見えない放射線の広がりや適切な介助法の直感的な理解の向上に効果を与えることが期待される。

本研究の要旨は第 47 回日本放射線技術学会秋季学術大会(2019 年、大阪)にて発表した。

利益相反

筆頭著者および共著者全員が開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) Vaňo E, Rosenstein M, Liniecki J, et al. ICRP Publication 113. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. Ann ICRP 2009; 39(5): 7-68.
- 2) Rehani MM, Ciraj-Bjelac O, Vaňo E, et al. ICRP Publication 117. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures outside the imaging department. Ann ICRP 2010; 40(6): 1-102.
- 3) Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al. ICRP Publication 118. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Ann ICRP 2012; 41(1-2): 1-322.
- 4) Krisanachinda A, Srimahachota S, Matsubara K. The current status of eye lens dose measurement in interventional cardiology personnel in Thailand. Radiol Phys Technol 2017; 10(2): 142-147.
- 5) Reeves RR, Ang L, Bahadorani J, et al. Invasive Cardiologists Are Exposed to Greater Left Sided Cranial Radiation: The BRAIN Study (Brain Radiation Exposure and Attenuation During Invasive Cardiology Procedures). JACC Cardiovasc Interv 2015; 8(9): 1197-1206.
- 6) Vanhaverea F, Carinoub E, Domienik J, et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project. Radiat Meas 2011; 46(11): 1243-1247.
- 7) Zagorska A, Romanova K, Hristova-Popova J, et al. Eye lens exposure to medical staff during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. Phys Med 2015; 31(7): 781-784.
- 8) 宮島隆一, 藤淵俊王, 宮地優介, 他. X 線 CT 撮影の介助時における医療従事者被ばくの効果的な防護方法について. 日放技学誌 2018; 74(4): 326-334.
- 9) 荒川弘之, 徳森謙二, 亀澤秀美, 他. 放射線防護教育を目的とした X 線撮影室における散乱線の可視化. Radioisotopes 2018; 67(1): 11-15.
- 10) Sato T, Iwamoto Y, Hashimoto S, et al. Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02. J Nucl Sci Technol 2018; 55(6): 684-690.
- 11) 加藤秀起. 放射線技術学に関連する自作ソフトウェアの紹介. 日放技学誌 2019; 75(1): 104-110.
- 12) Menzel HG, Clement C, DeLuca P. ICRP Publication 110. Realistic reference phantoms: an ICRP/ICRU joint effort. A report of adult reference computational phantoms. Ann ICRP

- 2009; 39(2): 1-164.
- 13) ICRP Publication 74. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. Ann ICRP 2016; 26(3-4).
- 14) Ahrens J, Geveci B, Law C. ParaView: an end-user tool for large data visualization. Visualization Handbook. Amsterdam: Elsevier, 2005.
- 15) 林 真. 各機能の解説. はじめての ParaView. 工学社, 東京, 2014: 108-112.
- 16) Sato N, Fujibuchi T, Toyoda T, et al. Consideration of the protection curtain shielding ability after identifying the source of scattered radiation in the angiography, Radiat Prot Dosim 2017; 175(2): 238-245.
- 17) 新谷聡一, 川中秀文. 心血管, 胸部血管撮影・IVR. 図解診療放射線技術実践ガイド. 文光堂, 東京, 2016: 250-261.
- 18) ParaView Glance. <https://kitware.github.io/paraview-glance/app/> (2019. 7. 21 accessed).
- 19) Keller JM. Development and use of the ARCS model of instructional design. Journal of instructional development 1987; 10(3): 2-10.

問合せ先

〒812-8582 福岡市東区馬出 3-1-1
九州大学大学院医学研究院保健学部門医用量子線科学分野 藤淵俊王