

「原子力災害時医療の初動体制に関する
アクティブ・ラーニング教材の構築」

弘前大学大学院保健学研究科保健学専攻

提出者氏名： 辻 口 貴 清

所 属： 放射線技術科学領域

指導教員： 柏 倉 幾 郎

目次

略語一覽.....	2
序 論.....	3
方 法.....	7
結 果.....	10
考 察.....	23
結 語.....	26
謝 辭.....	27
引用文献.....	28
英文要旨.....	32
論文一覽表.....	33

略語一覧

NEMAT: Nuclear Emergency Medical Assistance Team。原子力災害医療派遣チーム。

PAZ: Precautionary Action Zone。原子力施設から概ね半径 5km 圏内を指す。

UPZ: Urgent Protective action Zone。原子力施設から概ね半径 30km 圏内を指す。

DMAT: Disaster Medical Assistance Team。災害医療派遣チーム。

MCLS: Mass Casualty Life Support。多数傷病者への対応標準化トレーニングコース。

AL: Active Learning。学習者の能動的な学習への参加を取り入れた教授法。

JCS: Japan Coma Scale。意識障害の分類。

EMIS: Emergency Medical Information System。広域災害救急医療情報システム

序 論

本邦では、1999 年 9 月に発生した東海村 JCO 臨界事故を契機に¹⁾、同年 12 月「原子力災害対策特別措置法」が制定され放射線緊急事態時における対策に取り組んできた。この法律は、原子力関連施設にて異常事態が発生した際の事業者の報告義務や、原子力緊急事態宣言の発令について定めたものであり、医療機関の体制については 2001 年 6 月に当時の原子力安全委員会が報告した「緊急被ばく医療のあり方について」にて詳細な言及がなされている²⁻⁴⁾。つまり、東海村 JCO 臨界事故により、本邦は初めて原子力事業所の作業員が高線量被ばくによる急性放射線障害を発症するという事態を経験し、有事の際には国・自治体・原子力事業者・医療機関が連動して被ばく傷病者に適切な医療を提供できるよう、被ばく医療体制の整備が開始され始めた。その後、2011 年 3 月に発生した福島第一原子力発電所事故を契機に、2012 年に「原子力災害対策指針」が制定され、現行体制に至っている^{5, 6)}。福島第一原子力発電所事故では急性放射線障害を伴う傷病者は発生しなかったものの、放射性ヨウ素や放射性セシウムなどの環境中への放出による一般公衆の大規模な避難や低線量／低線量率被ばくが問題となった⁷⁻¹⁰⁾。福島第一原子力発電所事故は、3 月 11 日に発生した東日本大震災に伴う発電所の外部電源喪失に起因した大規模な二次的な災害であり、震災直後に原子力発電所近隣地域の 2000 名以上の入院患者や介護施設の高齢者が避難を始めた。しかし、医療支援が行き届かず、50 名以上の災害弱者が低体温症や基礎疾患の悪化が原因とみられる災害死に見舞われた^{8, 11)}。この経験を基に制定された原子力災害対策指針は 2015 年の指針改定を経て、平時において自治体や医療機関が整備すべき相互支援および傷病者／災害弱者搬送の体制、住民避難やスクリーニング計画などが詳細に記載されることとなった¹²⁾。本邦における被ばく医療体制／原子力災害医療体制の主な変遷の歴史を **Table 1** にまとめる。本邦では 1999 年に高線量被ばく傷病者に対する「緊急被ばく医療体制」が整備され始め、後の福島第一原子力発電所事故を契機に複合災害や大規模な住民避難も考慮した「原子力災害医療体制」の整備へと変遷してきている。

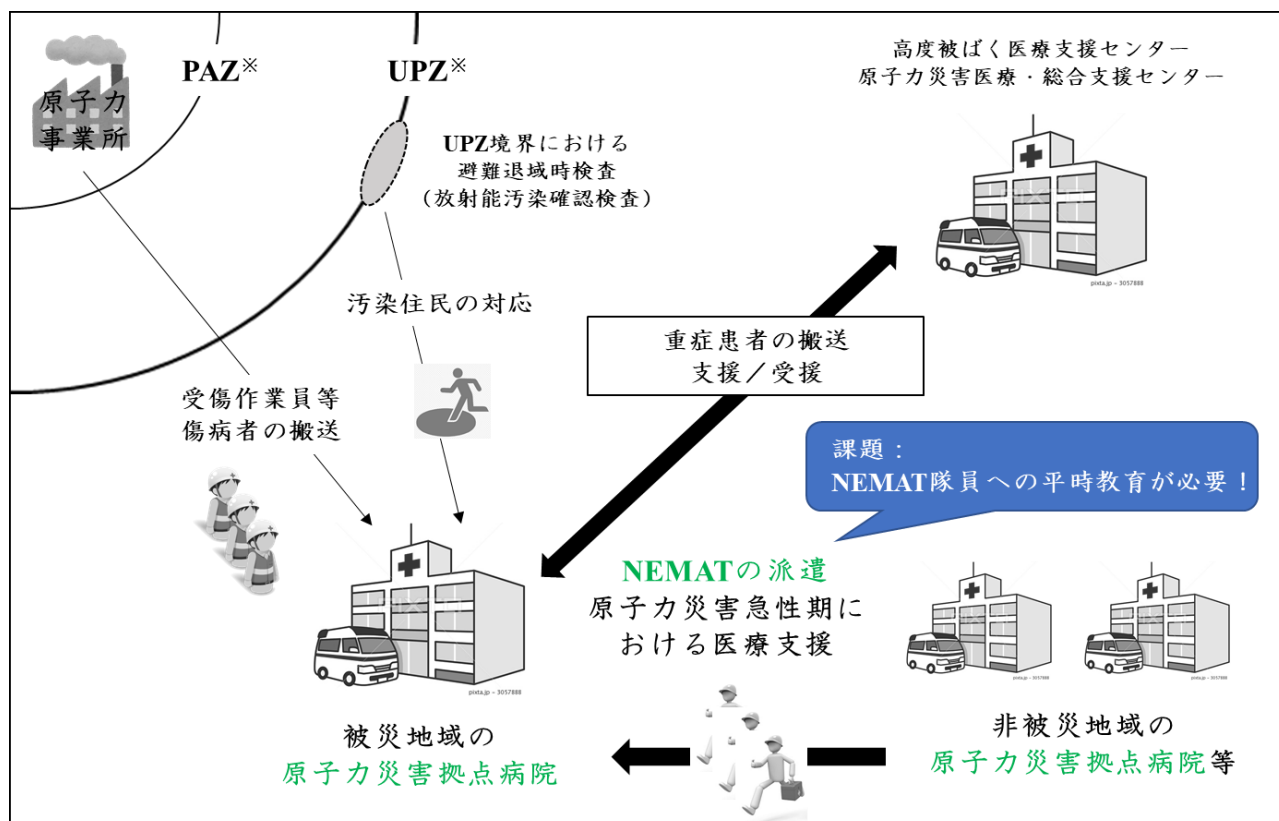
Table 1. 本邦における被ばく医療体制／原子力災害医療体制の変遷

年月	項目	主な内容
1999 年 9 月	東海村 JCO 臨界事故発生	国際原子力事象評価尺度レベル 4 の放射線事故。 日本で初となる事業所作業員の高線量被ばく事故。
1999 年 12 月	「原子力災害対策特別措置法」制定	原子力災害の予防に関する事業者の義務や原子力緊急事態宣言の発出について言及。 第十条、第十五条通報について言及。
2001 年 6 月	「緊急被ばく医療のあり方について」報告	緊急被ばく医療体制の枠組み（初期、二次、三次被ばく医療機関）や事業所との連携について言及。
2011 年 3 月	東京電力福島第一原子力発電所事故発生	国際原子力事象評価尺度レベル 7 の原子力災害。 急性放射線障害を発症する傷病者は発生しなかったものの、原子力災害急性期における医療支援や住民避難に関する問題が表面化。
2012 年 10 月	「原子力災害対策指針」制定	被ばく医療体制の枠組みを変更。原子力災害拠点病院を中心とした医療体制へ変遷。また、指針改定を経て緊急時の住民避難や安定ヨウ素剤配布についても言及。

前述の通り、本邦における原子力防災体制は 2012 年の原子力災害対策指針制定を経て現行の体制を迎えている。とりわけ原子力災害時の医療体制は 2015 年の指針改定を経て従来体制から大きく変遷している^{13, 14)}。

現行の原子力災害医療体制について詳細に述べる。従来までは原子力関連施設を保有する道府県および隣接道府県が関連する医療機関を初期・二次被ばく医療機関へと指定し、国が三次被ばく医療機関を指定するツリー型の体制を敷いていたのに対し、現行では被災地域の原子力災害医療の中心を担う「原子力災害拠点病院（Nuclear Emergency Core Hospitals）」が関連道府県に指定され、従来と比較してよりフラット型の医療体制となるよう整備が進められている¹³⁻¹⁸⁾。また、各自治体や原子力災害拠点病院が実施する原子力災害対策に協力する「原子力災害医療協力機関（Nuclear Emergency Medical Cooperative Institution）」、重度の被ばく／汚染傷病者に対する高度専門的な医療の提供や平時の人材育成およびネットワーク構築を支援する「（基幹）高度被ばく医療支援センター（Advanced

Radiation Emergency Medical Support Center)」と「原子力災害医療・総合支援センター(Nuclear Emergency Medical Support Center)」が全国に指定されてきている^{13, 14, 19)}。尚、原子力災害拠点病院は有事の際に「原子力災害医療派遣チーム (Nuclear Emergency Medical Assistant Teams : NEMAT)」を派遣する機能を有することが求められている。NEMATは原子力災害時における医療派遣チームであり、活動内容は2017年3月に原子力規制庁より示された「原子力災害医療派遣チーム活動要領」によって定義されている²⁰⁾。活動要領によると、原子力災害時における NEMAT の主な役割は被災道府県の原子力災害拠点病院に対する支援活動であり、被ばく／汚染傷病者に対する救急医療の提供及び両支援センターへの搬送支援と定義されている。現行の原子力災害医療体制において中心的役割を担う医療機関や傷病者対応のスキームを **Figure 1** にまとめる。



※PAZ：原子力事業所から概ね5km圏内の区域。Precautionary Action Zoneの略。
 ※UPZ：原子力事業所から概ね30km圏内の区域。Urgent Protective action planning Zoneの略。

Figure 1. 現行の原子力災害時の医療体制概要。

前述の通り、被ばく／汚染傷病者へ迅速に対応するには原子力災害拠点病院および NEMAT の担う役割は大きい。特に、原子力災害拠点病院にて NEMAT 隊員が業務を遂行する上では救急医学や放射線科学に関する基礎知識は勿論、災害急性期における病院支援および受援に係る指揮命令系統や情報管理を平時から学ぶ必要がある。NEMAT 隊員の多くは日本 Disaster Medical Assistance Team (DMAT) 隊員の資格を有している災害医療関係者が担っていくこととなっており、多くの隊員は災害医療教育に係る研修受講歴を持っていることが予想される²¹⁾。例えば、本邦で普及している災害医療分野の教育研修には日本 DMAT 養成研修／技能維持研修や日本災害医学会が情報を公開している Mass Casualty Life Support (MCLS) コースなどが挙げられる^{22,23)}。一方、これらの研修の中では現行体制の原子力災害医療のアクティブ・ラーニング (AL) を取り扱っておらず、現状では NEMAT 隊員養成に係る全国統一的な AL 教材は存在せず、また、教育機会は非常に限られている。

そこで本研究では、原子力災害急性期の病院支援並びに被ばく医療の提供を担う NEMAT 隊員養成を目的とした教育プログラムを開発し、原子力災害拠点病院の NEMAT 隊員に教育研修を実践した上で教育効果を検討した。更に、教材のブラッシュアップに資する教育ニーズを調査した。

方 法

教育目標の設定と教材のパッケージ化

AL 教材の開発に先駆け、弘前大学に所属する教職員にて教材開発ワーキンググループを立ち上げた。ワーキンググループは救急医学、災害医学、放射線科学のいずれかの領域を専門とし、且つ、災害医療や被ばく医療に係る専門研修受講の実績を有する医師、看護師、診療放射線技師、DMAT 業務調整員、で構成された。ワーキンググループにおいて NEMAT 隊員が習熟すべき項目を議論し、主な教育目標として以下 3 点を設定した (Table 2)。

Table 2. NEMAT 隊員が習熟すべき項目 (設定した教育目標)

教育目標	
1	原子力災害拠点病院において実施可能な放射能汚染検査／除染を理解する
2	病院内への汚染拡大防止と医療従事者の放射線防護を理解する
3	原子力災害急性期における病院支援および傷病者対応のスキームを理解する

これらを網羅的に学習できるよう、知識教授型講義と演習を織り交ぜた AL 教材を開発した。尚、教育対象となる NEMAT 隊員は各地域の原子力災害拠点病院において既に労働に従事していることから、開発教材 (以下:AL 教材) を使用した教育研修は単日開催できるようパッケージ化した。

AL 教材を用いた教育研修の実施

2018 年 3 月から 2019 年 9 月にかけて、原子力災害拠点病院において「原子力災害医療派遣チーム専門研修」を計 7 回開催した。受講生の人数および職種を Table 3 に示す。この教育研修会において AL 教材を使用し、研修会終了後に受講生の教育目標に対する理解度、教育ニーズを調査した。

Table 3. 原子力災害医療派遣チーム専門研修に参加した職種と合計人数

	医師	看護師	診療放射線技師	その他 (DMAT 業務調整員等)
人数	30	34	27	10

質問紙調査による理解度の測定および教育ニーズの検討

AL 教材を用いて実践した教育研修会終了後、受講生の目的に対する理解度および今後の教育ニーズを検討すべく質問紙調査(以下、アンケート調査)を実施した。質問項目は計 4 種類で、回答方式は項目に併せて択一式、複数回答のいずれかとした。質問内容を **Table 4** に示す。

質問項目について、Q1 から Q3 までは設定した教育目標を達成できたかどうかを問う内容に、また、Q4 は教育ニーズを問う内容になるよう、ワーキンググループにて議論をした後に設定した。それぞれの質問項目に対する回答は職種別に集計された。

倫理的配慮

対象者にはアンケート調査実施前に、回答の任意性、プライバシーの保護、匿名性について説明した。回答に際して個人名は求めず、アンケートの提出を持って本研究への協力同意を得たものとした。なお、本アンケート調査は弘前大学大学院保健学研究科倫理委員会の承認を経た後に実施した(承認番号:2018-004)。

Table 4. アンケート調査用紙の概要

質問項目	選択肢	回答方法
<p>Q1 可搬型放射線計測機器類の使用方法与汚染検査／除染の概要を理解できましたか？</p>	<p> <input type="checkbox"/>理解できた <input type="checkbox"/>やや理解できた <input type="checkbox"/>どちらともいえない <input type="checkbox"/>あまり理解できなかった <input type="checkbox"/>理解できなかった </p>	<p>択一式</p>
<p>Q2 個人防護や病院養生の概要を理解できましたか？</p>	<p> <input type="checkbox"/>理解できた <input type="checkbox"/>やや理解できた <input type="checkbox"/>どちらともいえない <input type="checkbox"/>あまり理解できなかった <input type="checkbox"/>理解できなかった </p>	<p>択一式</p>
<p>Q3 被ばく／汚染傷病者の診療や原子力災害急性期における病院支援の概要を理解できましたか？</p>	<p> <input type="checkbox"/>理解できた <input type="checkbox"/>やや理解できた <input type="checkbox"/>どちらともいえない <input type="checkbox"/>あまり理解できなかった <input type="checkbox"/>理解できなかった </p>	<p>択一式</p>
<p>Q4 原子力災害時医療派遣チーム活動を行うにあたり、今後必要になると思われる項目を教えてください。</p>	<p> <input type="checkbox"/>原子力災害医療派遣チームの出動基準の明確化 <input type="checkbox"/>原子力災害医療派遣チーム同士の情報共有の方法 <input type="checkbox"/>原子力災害医療派遣チームによる傷病者搬送訓練 <input type="checkbox"/>消防職員への被ばく医療に関する教育 <input type="checkbox"/>自治体災害対策本部との情報共有の方法 <input type="checkbox"/>原子力災害医療派遣チームの活動の標準化 <input type="checkbox"/>原子力災害医療派遣チームによる病院での診療訓練 <input type="checkbox"/>チームメンバーによる意見交換会 <input type="checkbox"/>消防との活動連携 <input type="checkbox"/>国（原子力規制庁等）との情報共有の方法 <input type="checkbox"/>除染方法の標準化 <input type="checkbox"/>自衛隊との活動連携 </p>	<p>複数回答</p>

結 果

AL 教材のパッケージ化と研修プログラム

NEMAT 育成を目的としてワーキンググループにて作成した AL 教材のコンテンツや教示形式、教示時間情報を **Table 5** に示す。尚、受講者となる NEMAT 隊員は現職の医療従事者である為、複数日の研修への参加が困難であると予想されることから、単日で研修を開催できるよう教材をパッケージ化した。

Table 5. AL 教材を用いた研修プログラムの詳細

教示時間 (min)	形式	コンテンツ
15	講義	本邦の原子力防災体制（法、枠組み）
60	講義	放射線の基礎
50	演習	AL1：医療機関における汚染検査と除染
15	講義	被ばく／汚染傷病者の受入体制作り
30	演習	AL2：医療機関の汚染拡大防止対策および個人防護
15	講義	原子力災害医療派遣チームの役割
45	講義	医療機関の初期対応の在り方
120	演習	AL3：原子力災害急性期における病院支援および傷病者対応（医療実習）

AL 教材内の知識教授型の講義では、原子力規制庁が公開している「原子力災害医療派遣チームに関わる専門研修テキスト」を用い^{24, 25)}、最新の原子力規制や放射線の基礎、また NEMAT に求められる原子力災害急性期の初動に関する要件などについて教示することとした。これら講義に加え、受講生が **Table 2** に示した教育目標に到達するための手助けとなるよう、ワーキンググループが開発した演習も含めてパッケージ化されている。

研修プログラム内の演習として、傷病者の汚染検査や体表面汚染部位の除染方法について学ぶ「医療機関における汚染検査と除染」、救急診療室（以下、ER）や医療従事者への汚染拡大を防止するための対策を学ぶ「医療機関の汚染拡大防止対策および個人防護」、原子力災害急性

期における病院支援および受援等を学ぶ「原子力災害急性期における病院支援および傷病者対応(医療実習)」の3つを組み込んだ。この3つの演習は全てALを意識して作成された内容になっており、受講生には能動的に参画してもらう形式となっている。次項より、3つの演習の詳細を述べる。

「AL1:医療機関における汚染検査と除染」の詳細

まず初めに、「AL1:医療機関における汚染検査と除染」演習について、詳細を説明する。この演習は、原子力災害拠点病院または NEMAT が保有している可搬型の放射線計測機器類(GMサーベイメータ、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータなど)の操作方法、個人の放射線防護に係る個人線量計の装着方法、体表面汚染の除染法習熟を目指した内容となっている。受講生が実際に放射線計測機器類を操作して演習に取り組んでいる様子や指導のポイントを **Figure. 2** に示す。特に、原子力災害時に傷病者の汚染計測に当たる診療放射線技師免許を持つ受講生には講師が適宜介入しつつ、GMサーベイメータプローブの移動速度や時定数による計数の違い、検出面と汚染面との距離感等を詳細に理解してもらえよう、演習内容を工夫している。

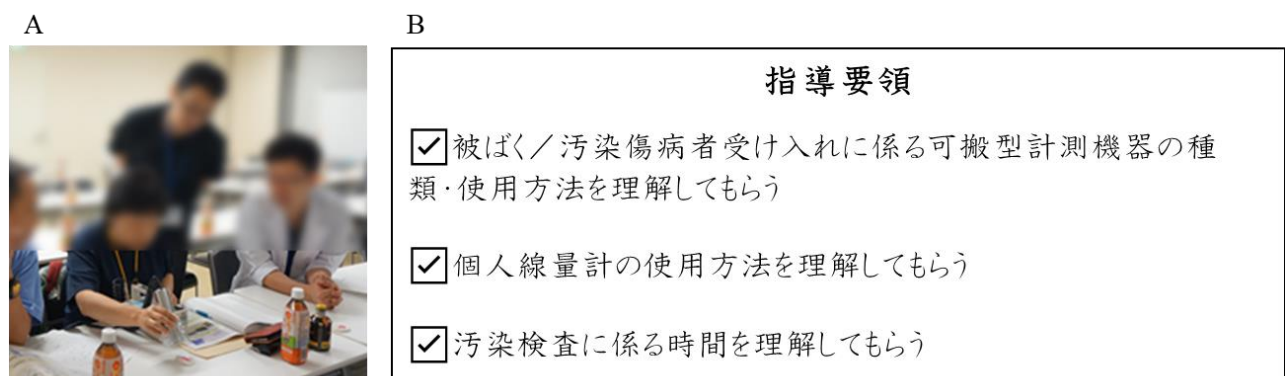


Figure 2. AL1にて受講生が汚染検査の方法を学んでいる様子と指導要領。

(A) GMサーベイメータの時定数を変更させた際の計数感度を確認している様子。

(B) 演習講師の指導要領。

放射線計測機器の使用方法を学んだ後、受講生には体表面に付着した放射能汚染の除染を体感してもらった。具体的には模擬汚染には蛍光塗料を、また、汚染を確認するための GM サーベイメータの代わりにブラックライトを用い、乾式／湿式除染を二人一組になって実施してもらった。**Figure 3** に受講生が乾式除染を実施している様子と指導要領を示す。除染を実施するには健常皮膚に汚染が拡大しないよう意識することが重要であること、且つ、処置後の廃棄物は「医療廃棄物」ではなく「放射線廃棄物」となる旨も受講生に理解してもらうことを狙っている。

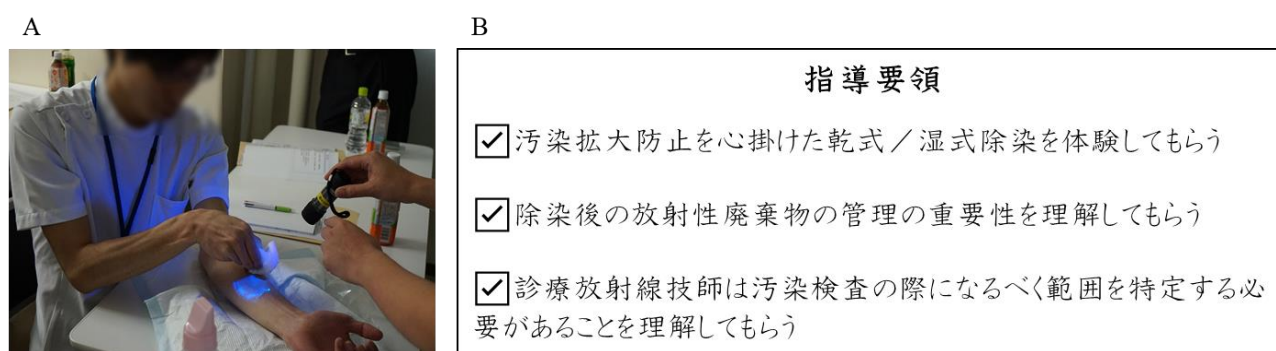


Figure 3. AL1 にて受講生が除染の概要を学んでいる様子と指導要領。

(A) 乾式除染を実施している様子。(B) 演習講師の指導要領。

「AL2:医療機関の汚染拡大防止対策および個人防護」の詳細

次いで、「AL2:医療機関の汚染拡大防止対策および個人防護」演習について、詳細を説明する。この演習は、原子力災害拠点病院に傷病者搬送に係る第一報が入ってから傷病者が到着するまでの間に実施すべき医療機関または救急診療室の養生、個人防護装備の着装について習熟を目指した内容となっている。

AL2ではまず、受講生にERと原子力災害対策本部がどのような位置で存在しているか想定を付与することとした。研修会場について付与する想定(レイアウト)を **Figure 4** に示す。演習講師陣は事前にパーテーションや机等で研修会場に ER や原子力災害対策本部となる骨格部分と医療、養生資機材を概ね準備しておき、その後、受講生に二つの ER を養生してもらうという流れに

なっている。ER を養生する際には、重要なポイントとしてホット／コールドエリアの広さ(ゾーニング)が挙げられる。受講生にはストレッチャーや物品ワゴンの大きさや直接介助を行う医療スタッフの人数などを念頭に置いてゾーニングをしてもらえるよう、演習講師が適宜介入できるようなレイアウトとなっている。

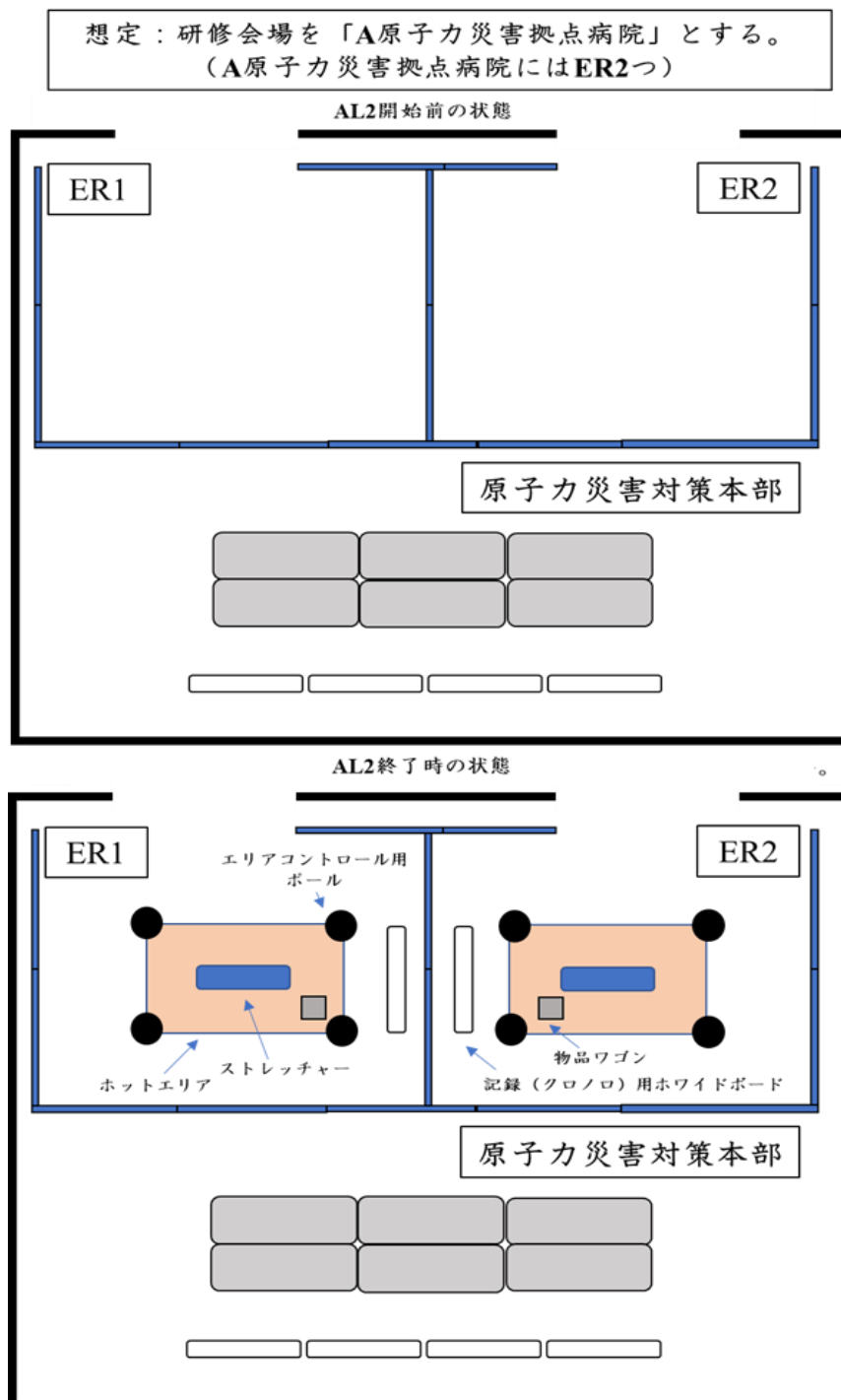


Figure 4. AL2 時の研修会場レイアウト。

更に、迅速にERの床や壁の養生を完成させるためには医師や看護師がメインで担当するのではなく、日常診療でERに介入する機会の少ない他の医療職者および病院事務職員の積極的なサポートも必須である。この点も受講生に理解してもらえよう、指導要領も用意した。受講生が実際に養生を実践している様子や指導要領を **Figure 5** に示す。尚、AL2 で作成した養生後の研修会場は AL3 でも使用することとしている。

A



B

指導要領	
<input checked="" type="checkbox"/>	医療機関内への汚染拡大は風評被害にも繋がるため、養生の重要性を理解してもらう
<input checked="" type="checkbox"/>	診療エリアの大きさや物品の養生を体験してもらう
<input checked="" type="checkbox"/>	医療機関の養生は医師や看護師以外の医療スタッフや事務職員の積極的なサポートが必要であることを理解してもらう

Figure 5. AL2 にて受講生が ER の養生をしている様子と指導要領。

(A) ストレッチャーや床を養生している様子と完成後。

(B) 演習講師の指導要領。

「AL3:原子力災害急性期における病院支援および傷病者対応(医療実習)」の詳細

次いで、「AL3:原子力災害急性期における病院支援および傷病者対応(医療実習)」について、詳細を説明する。この演習では原子力災害の発災後の第一報を病院が受信してから傷病者受け入れ後までの病院支援／受援を体感できるようシナリオが組まれており、受講生は原子力災害医療急性期の対応の習熟を目指す内容となっている。

AL3 ではまず初めに、医療実習の想定が研修講師より提供される。具体的な災害の時系列想定を **Table 6** および **Figure 6** に示す。**Table 6** 内のフェーズ 2 で示したシナリオに沿うよう、受講生には下記の様に役割分担をしてもらい、AL に臨んでもらう形とした。

- I. A 原子力災害拠点病院にて院内原子力災害対策本部を担当するチーム
- II. A 原子力災害拠点病院の NEMAT として ER を担当するチーム
- III. B、C 原子力災害拠点病院の NEMAT として A 院を支援するチーム

院内原子力災害対策本部は、A 病院における災害に関する全ての情報集約場所となる。具体的に、X 原子力発電所内の傷病者発生の情報に関しては道府県原子力災害対策本部または事業所から、傷病者搬送に関しては地域消防から、といった情報を常に収集しなければならない。また、刻一刻と変化する災害状況と自施設の人的／物的キャパシティーに応じて、他の原子力災害拠点病院等に支援を要請するか否かも判断する必要がある。AL3ではこのような情報の管理をロールプレイできるよう工夫がなされている。実際の研修時の様子を **Figure 7** に示す。**Figure 7A** ではA病院のスタッフ役の受講生全員が役割に関してディスカッションしている様子で、**Figure 7B** は A 病院原子力災害対策本部役が PHS などを使用して情報収集をしている様子を示している。PHS は全て演習講師と繋がるようにし、情報を付与していく形となっている。**Figure 7C** では B、C 病院 NEMAT 役が A 病院に到着し、本部にて役割を指示されている際の様子を示している。

Table 6. AL3 にて受講生に付与される想定。

フェーズ	シナリオ
1	X 原子力発電所（以下、原発）にて放射性物質が大気中へ拡散される原子力災害が発生。原子力災害対策特別措置法に則り、事業所から国等へ通報。X 原発内では複数名の作業員が受傷した模様。
2	被災道府県庁災害対策本部および原子力災害医療調整官が調整の結果、A 原子力災害拠点病院に原発からの傷病者の受け入れが要請。また、B、C 原子力災害拠点病院には NEAMT の派遣要請。
3	A 原子力災害拠点病院へ傷病者搬送開始。傷病者情報は X 原発医療救護室より FAX で連絡あり。
4	傷病者発生から 1 時間後、A 原子力災害拠点病院に傷病者到着。ほぼ同時に B、C 原子力災害拠点病院の NEMAT も到着。装備、役割等確認後医療対応。
5	道府県原子力災害対策本部を通して X 原発からこれ以上の傷病者搬送はない旨通知あり。現在受け入れている傷病者の対応が終わり次第 ER および個人防護等解除。A 原子力災害拠点病院院内安定化を宣言。

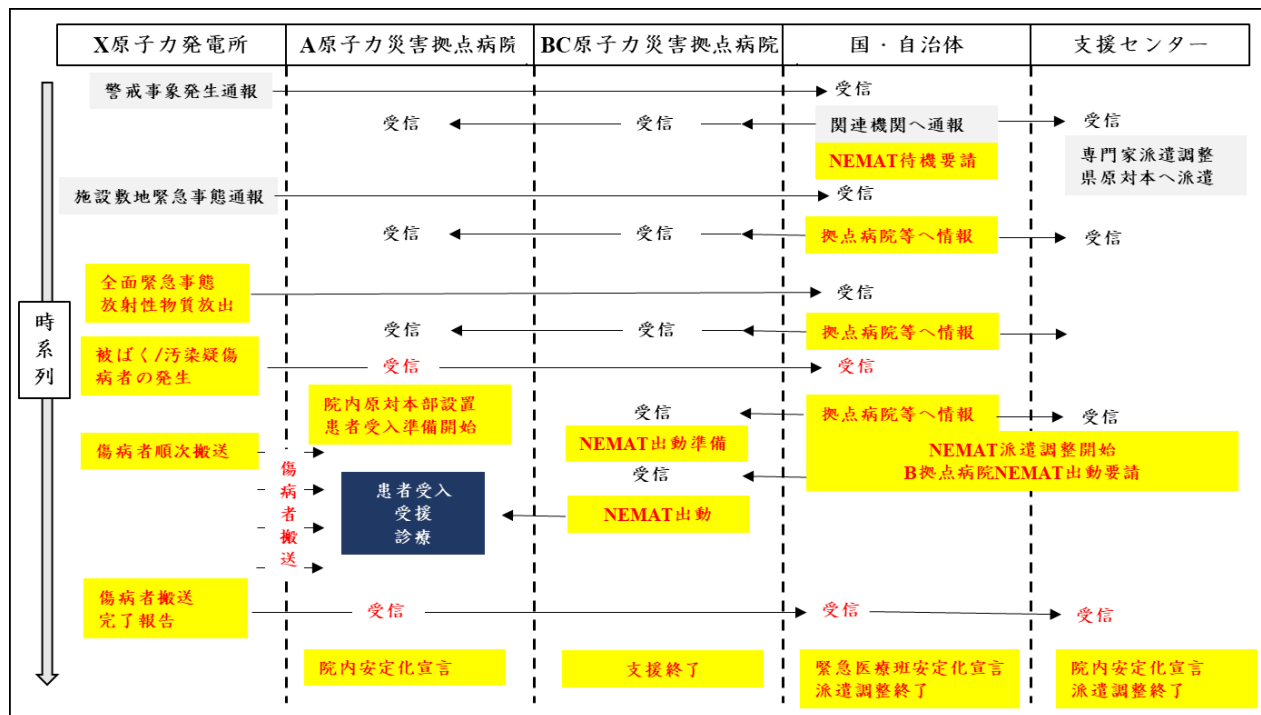


Figure 6.様々な機関の動きの想定。受講生にはA 原子力災害拠点病院またはB、C 原子力災害拠点病院の NEMAT をロールプレイしてもらう。

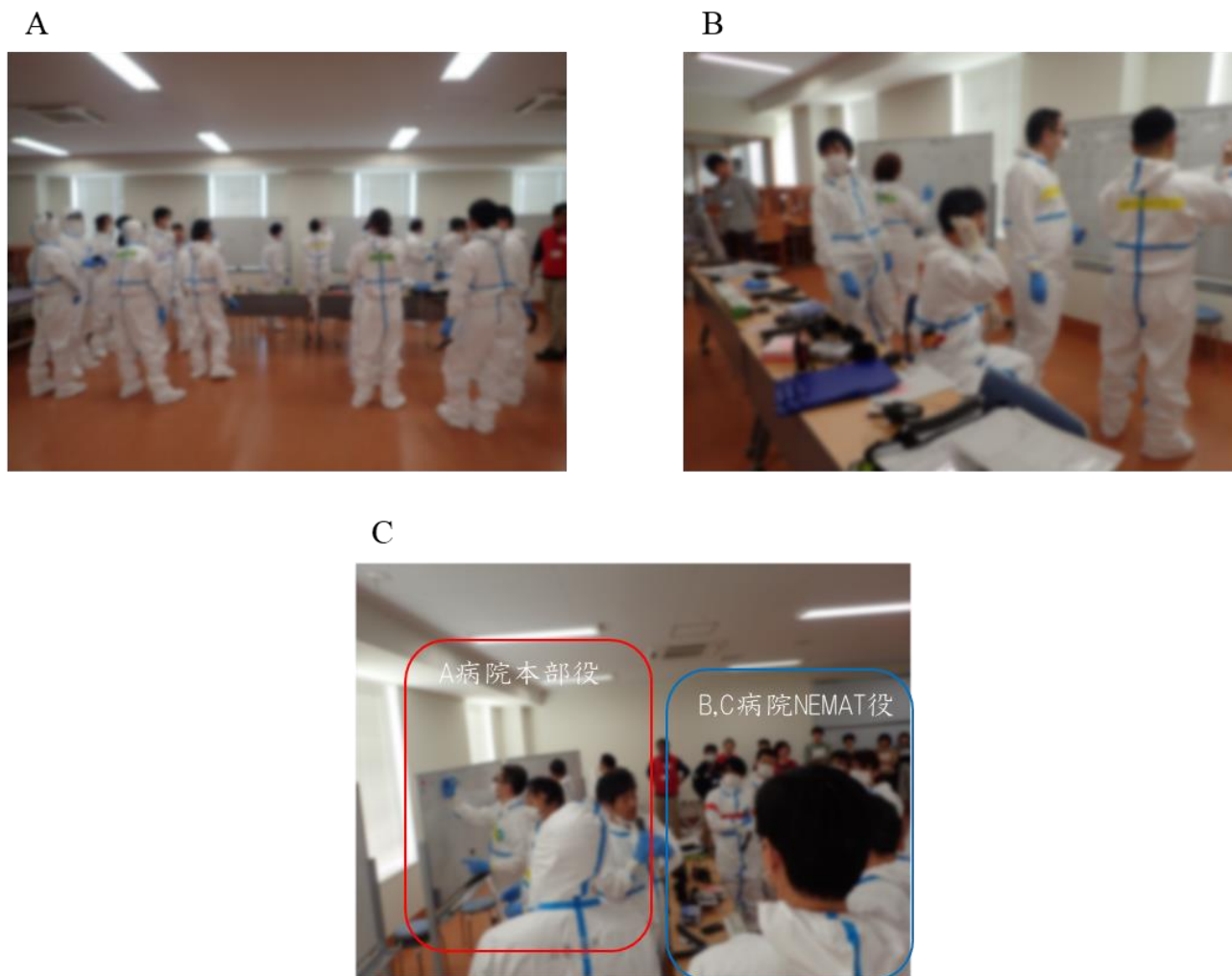


Figure 7. AL3 にて A 原子力災害拠点病院本部活動に関して実践している様子。

(A) A 病院のスタッフ役の受講生全員が役割に関してディスカッションしている様子。

(B) 災害情報を収集している様子。

(C) 到着した NEMAT 隊員 (B、C 病院) に役割や情報を伝えている様子。

院内原子力災害対策本部を担当する受講生以外は二つの ER にて搬送されてくる被ばく／汚染傷病者に対応することとなる。搬送されてくる傷病者想定を **Table 7** に示す。傷病者は 4 症例用意されており、番号 1 の症例では創傷汚染に対する基本的な対応を、番号 2 と 3 ではそれぞれ高線量被ばくと内部被ばく疑いがある場合の対応を、番号 4 では救命処置最優先の原則を体感することができるよう工夫がなされている。受講生が実践している様子等を **Figure 8** に示す。

Table 7. AL3 にて ER に搬送されてくる傷病者の想定。

番号	性別	年齢	創傷部の 汚染レベル※ (cpm)	受傷機転 & 患者概要	患者状態	被ばく／汚染に関する情報	受講生に求められる 対応
1	M	50	90,000 - 100,000	転倒により右下肢に擦過傷。 骨折の疑いも。	Body temperature (°C): 36.6 Pulse (min ⁻¹): 80 Respiration (min ⁻¹): 16 Blood pressure (mmHg): 135/70 JCS※ 0	創傷部に放射能汚染あり。 その他汚染なし。	外傷診療の基本に従い 診療を進めつつ、創傷部 の除染を実施する。
2	M	30	90,000 - 100,000	転倒により左下肢に裂傷。 骨折の疑いも。 吐き気あり。	Body temperature: 36.4 Pulse: 75 Respiration: 15 Blood pressure: 134/72 JCS 0	創傷部に放射能汚染あり。 その他汚染なし。	番号 1 に加え、吐き気 があるため急性放射線障害 を疑う必要がある。本部と 連携して情報収集や広域 搬送も視野に。
3	M	40	90,000 - 100,000	転倒により右下肢に擦過傷。 骨折の疑いも。 暑さによりマスクを事故現場 にて外したとのこと。	Body temperature: 37.1 Pulse: 80 Respiration: 25 Blood pressure: 148/84 JCS 0	創傷部に放射能汚染あり。 鼻腔スメア陽性。	鼻腔スメア陽性の為内部 被ばくを疑う。本部と連携 して情報収集や広域搬送 も視野に。
4	M	45	90,000 - 100,000	高所転落により左下肢変形。 変形部に擦過傷あり。 腹部激痛あり。 腹腔内出血疑いあり。	Body temperature: 36.5 Pulse: 120 Respiration: 25 Blood pressure: 90/56 JCS 10	創傷部に放射能汚染あり。 その他汚染なし。	患者状態がよくないた め、創傷部の除染よりも 救命処置を優先しなけれ ばならない。

※検出面が 20cm² の GM サーベイメータを使用した時の計数値。

※JCS: 意識障害の分類。Japan Coma Scale の略。

A



B



C

指導要領

- ☒ 原子力災害時の大まかな情報スキーム、支援／受援の流れを理解してもらう
- ☒ 原子力災害拠点病院としての役割、情報収集の大切さを理解してもらう
- ☒ 体表面汚染のある創傷に加え、高線量外部被ばく／内部被ばく疑いのある傷病者が搬送されてきた際の対応を体感してもらう。

Figure 8. AL3 にて ER 内の活動を実践している様子と指導要領。

(A) 傷病者到着直後、リーダー医師より診療手順の指示が出されている様子。

(B) 創傷部汚染の除染を実施している様子。

(C) 演習講師の指導要領。

受講生の理解度および教育ニーズ調査

AL 教材を用いて実践した教育研修会終了後に、教育目標に対する受講生の理解度および AL 教材のブラッシュアップに資するデータを取得すべく教育ニーズの調査を実施した。なお、アンケートは延べ 101 名に配布され、92 名より回答を得た(回収率 91.1%)。アンケートの回収状況を **Table 9** に示す。

Table 9. アンケートの配布と回収について。

	職種				合計
	医師	看護師	診療放射線技師	その他	
アンケート配布数	30	34	27	10	101
アンケート回収数 (%)	27 (90.0%)	33 (97.1%)	23 (85.2%)	9 (90.0%)	92 (91.1%)

理解度の調査結果を **Table 10** に示す。Table 2 に示した 3 つの教育目標に対し、全職種において約 9 割が「理解できた」または「やや理解できた」と回答し、また、「理解できなかった」と回答した受講生は 0 名であった (Table 10)。次いで、教育ニーズの調査結果を **Table 11** に示す。医師および診療放射線技師においては「NEMAT 出動基準の明確化」、「自治体災害対策本部との情報共有の方法」など、災害派遣時開始に係る部分の選択率が 4 割を超えていた。看護師においては、「除染方法の標準化」、「消防職員への被ばく医療に関する教育」といった傷病者対応力向上に資する項目の選択率が 6 割を超えていた。DMAT 業務調整員などは派遣途中の情報伝達に関する「NEMAT 同士の情報共有の方法」の選択率が 7 割以上であった。

Table 10. 各教育目標に対する受講生の理解度 (Q1 から Q3 の結果)。

		職種											
		医師（n=27）			看護師（n=33）			診療放射線技師（n=23）			その他（n=9）		
質問番号		Q1※	Q2※	Q3※	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3
選択肢													
理解できた		19 (70.4%)	16 (61.5%)	15 (55.6%)	25 (75.8%)	17 (51.5%)	21 (63.6%)	19 (82.6%)	14 (60.9%)	17 (73.9%)	7 (77.8%)	5 (55.6%)	2 (22.2%)
やや理解できた		6 (22.2%)	4 (15.4%)	8 (29.6%)	7 (21.2%)	12 (36.4%)	10 (30.3%)	3 (13.0%)	9 (39.1%)	4 (17.4%)	2 (22.2%)	3 (33.3%)	6 (66.7%)
どちらとも言えない		2 (7.4%)	3 (11.5%)	1 (3.7%)	1 (3.0%)	1 (3.0%)	2 (6.1%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	2 (8.7%)	0 (0.0%)	1 (11.1%)	1 (11.1%)
あまり理解できなかった		0 (0.0%)	3 (11.5%)	3 (11.1%)	0 (0.0%)	3 (9.1%)	0 (0.0%)	1 (4.3%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
理解できなかった		0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)

※Q1: 可搬型放射線計測機器類の使用方法和汚染検査／除染の概要を理解できましたか？（教育目標 1 の理解度を問う質問）

※Q2: 個人防護や病院養生の概要を理解できましたか？（教育目標 2 の理解度を問う質問）

※Q3: 被ばく／汚染傷病者の診療や原子力災害急性期における病院支援の概要を理解できましたか？（教育目標 3 の理解度を問う質問）

Table 11. 原子力災害時医療派遣チーム活動を行うにあたり、今後必要になると思われる項目（Q4 の結果）。

選択肢	職種				
	職種	医師 (n=27)	看護師 (n=33)	診療放射線技師 (n=23)	その他 (n=9)
		12 (44.4%)	16 (48.5%)	10 (43.5%)	6 (66.7%)
原子力災害医療派遣チームの出動基準の明確化		7 (25.9%)	9 (27.3%)	5 (21.7%)	7 (77.8%)
原子力災害医療派遣チーム同士の情報共有の方法		4 (14.8%)	12 (36.4%)	5 (21.7%)	2 (22.2%)
原子力災害医療派遣チームによる傷病者搬送訓練		11 (40.7%)	18 (54.5%)	6 (26.1%)	3 (33.3%)
消防職員への被ばく医療に関する教育		12 (44.4%)	7 (21.2%)	11 (47.8%)	2 (22.2%)
自治体災害対策本部との情報共有の方法		6 (22.2%)	7 (21.2%)	6 (26.1%)	3 (33.3%)
原子力災害医療派遣チームの活動の標準化		8 (29.6%)	10 (30.3%)	8 (34.8%)	4 (44.4%)
原子力災害医療派遣チームによる病院での診療訓練		3 (11.1%)	6 (18.2%)	5 (21.7%)	2 (22.2%)
チームメンバーによる意見交換会		4 (14.8%)	5 (15.2%)	2 (8.7%)	1 (11.1%)
消防との活動連携		13 (48.1%)	20 (60.6%)	11 (47.8%)	2 (22.2%)
国（原子力規制庁等）との情報共有の方法		9 (33.3%)	20 (60.6%)	7 (30.4%)	4 (44.4%)
除染方法の標準化		10 (37.0%)	21 (63.6%)	7 (30.4%)	2 (22.2%)
自衛隊との活動連携					

考 察

本研究では原子力災害急性期の医療活動を学ぶことが可能な AL 教材を構築した。DMAT 養成／技能維持研修や MCLS といった既存の災害医療教育コースでは放射線科学的な知見をメインには扱っておらず、また、従来までは被ばく医療教育の報告自体はあるものの、原子力災害時の本部活動／情報管理を扱っていないという問題があった²⁶⁾。つまり、本研究において開発した AL 教材はこれらの問題点を解決できる可能性がある。また、2015 年以降、原子力災害時の規制が大きく変遷しているものの、開発した AL 教材には除染の基準や情報のスキームなど最新の知見を取り込んでおり、非常に新規性が高く、実践に即した内容を構築できた。例えば Figure 6 に示した災害時の各機関への情報想定等は内閣府が公開している 2017 年以降の内閣府原子力防災訓練の報告等を参考に作成しており^{27, 28)}、受講生には臨場感をもった AL を実施してもらえるようになっている。教育研修会後に実施した教育目標を理解できたか否かを問うアンケート調査の結果では、いずれの職種においても 9 割以上が 3 つの教育目標について「理解できた」または「やや理解できた」を選択しており、AL 教材の教育効果も確認されている。

一方、Table 10 に示した受講生の教育目標に対する理解度の結果を詳細に見ていくと、「Q3: 被ばく／汚染傷病者の診療や原子力災害急性期における病院支援の概要を理解できましたか？」との問いでは医師・看護師・診療放射線技師以外の職種において「理解できた」と回答した割合が 2 割程度と低い傾向が見られ、また、医師においても約 1 割が「あまり理解できなかった」と回答している。原因として、搬送されてきた傷病者に内部被ばくや高線量外部被ばくが疑われる際の対応が浸透していない可能性や、医師・看護師以外の医療職種は外傷診療の基本を学ぶ機会が少なく、救急医学や放射線科学関係の専門用語が飛び交う ER 内での記録を難しく感じた可能性が考えられる。原子力災害拠点病院にて対応が難しい重度な被ばく／汚染傷病者については「高度被ばく医療支援センター」に搬送することが定義されているが^{12, 13)}、関係者に対して現行体制がまだ浸透していないことが示唆される。過去には災害医療について知識が豊富な

DMAT でさえ、放射線事故／原子力災害時には知識の少なさに起因して被災地域付近の病院への派遣を躊躇するという報告もあり^{29, 30)}、平時において被ばく医療の原則や現行体制について学ぶ機会を増やすことは本邦において喫緊の課題である。このような問題を解決するためには平時における被ばく医療、原子力災害医療に関する教育啓蒙が必要となってくるが、実際に医学生に対する被ばく医療教育は近年注目されており、2016年に文部科学省が公開した医学教育のモデル・コア・カリキュラムでは「放射線リスクコミュニケーション」や「放射線災害医療」といった項目が組み込まれてきている^{31, 32)}。また、例えば診療放射線技師においてはカリキュラム上救急医学に触れる機会が少ないことが報告されており³³⁾、職種に応じては原子力災害医療に特化した教育を受ける前に、救急医学に関する学生教育またはリカレント教育制度も人材育成において効果的かもしれない。

「Q4:原子力災害時医療派遣チーム活動を行うにあたり、今後必要になると思われる項目」との問いでは、全職種の4割以上が「原子力災害医療派遣チームの出動基準の明確化」と回答した。例えば DMAT では津波警報や東京都 23 区において震度 5 以上の地震が発生した場合にいつ派遣されてもよいよう自動的に待機状態になるよう基準が定められている³⁴⁾。NEMAT においてはこのような待機基準がないため、今後整備されるべき課題といえる。また、DMAT 業務調整員らの7割以上が「原子力災害医療派遣チーム同士の情報共有の方法」と回答していた。通常災害時に派遣された業務調整員は自隊の活動内容および所持物品等、派遣された医療機関のライフライン等の状況を逐一「広域災害救急医療情報システム」(Emergency Medical Information System: 以下、EMIS)と呼ばれるシステムにアップロードし、全隊がその情報を共有するという運用がなされている^{22, 35)}。原子力災害時には一般災害の情報に加え放射線に関する情報を管理しなければならないが、EMIS といった情報共有をするためのツールの運用が現状では定まっていない。医師、看護師、診療放射線技師においては情報の管理に関わる項目である「自治体災害対策本部との情報共有の方法」や「国(原子力規制庁等)との情報共有の方法」などは比較的

選択率が高い傾向にあり、業務調整員のみならず、情報管理について学ぶことにニーズがあることが示唆された。また、医師と看護師の4割以上が「消防職員への被ばく医療に関する教育」を選択していた。原子力事業所で発生した被ばく／汚染傷病者の搬送にはその地域の消防が当たり、医療機関で受け渡しされることとなる。つまり、直接介入して診療にあたる医師および看護師にとって、例えば汚染傷病者はどのような状態で搬送されてくるのか、可能であれば救急車内で除染をしてくれるのかどうか、といった合意を平時から形成しておくことに興味があることが示唆された。

本研究で開発したAL教材を用いた教育研修を通し、NEMAT隊員が出動基準や情報管理に関する最新の規制等に教育ニーズがあること、また、本邦の原子力災害時の医療体制をより強固にしていく上で課題であることが示唆された。AL教材を用いた研修会自体では、受講生の職種を問わず一定の教育効果を持つことが示唆されており、今後は教材ブラッシュアップを経て本邦の被ばく医療に携わる人材育成に寄与するデータをより多く発信していきたい。

結 語

本研究において、原子力災害急性期の病院支援並びに被ばく医療の提供を担う NEMAT 隊員養成を目的とした AL 教材を開発することができ、一定の教育効果を挙げられることが分かった。更に、アンケート結果より、NEMAT の出動基準や情報管理に関する最新の規制について受講生の教育ニーズがあると同時に本邦の原子力災害時の医療体制をより強固にしていく上で課題であることが示唆された。また、消防など他職種と連動した教育についても必要性が示唆された。

謝 辞

教育研修会開催に当たりご助力頂きました弘前大学放射線安全総合支援センター事務局の皆様
に深く感謝申し上げます。また、教材内の患者想定を作成に当たりご指導いただきました弘
前大学医学部附属病院高度救命救急センター 伊藤勝博 医師、並びに 三上純子 看護師に
深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) International Atomic Energy Agency: Report on the preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in Tokaimura, Japan. International Atomic Energy Agency (IAEA), INIS-XA-223, 1999.
- 2) 石橋 悟, 小林 道生, 小林 正和, 佐々木 功, 高橋 邦治, 高橋 洋子, 市川 宏文, 古田 昭彦, 石井 正, 久志本成樹: 原子力発電所所在地域を支える災害拠点病院としての緊急被ばく医療に対する取り組み. 日本臨床救急医学会雑誌, 17(6): 737-742, 2014.
- 3) 山田 裕司, 明石 真言, 石樽 信人, 遠藤 章, 真田 哲也, 白石 久二雄, 静間 清, 鈴木 敏和, 高田 千恵, 中山 一成, 星 正治, 百瀬 琢磨, 山口 武憲: 初期および二次被ばく医療機関の線量評価・汚染評価機能に関する現状調査. 保健物理, 44(4): 393-399, 2009.
- 4) 青木 芳朗: 緊急被曝医療の展望. 放射線防護分科会誌, 13: 2-3, 2001.
- 5) 松田 尚樹: 原子力・放射線防災と緊急モニタリング. 日本放射線安全管理学会誌, 17(1): 34-41, 2018.
- 6) 富永 隆子, 相良 雅史, 蜂谷 みさを, 立崎 英夫, 明石 真言: 東京電力福島第一原子力発電所事故前後における日本の緊急被ばく医療体制. 日本集団災害医学会誌, 21(1): 1-9, 2016.
- 7) Ohtsuru A, Tanigawa K, Kumagai A, Niwa O, Takamura N, Midorikawa S, Nollet K, Yamashita S, Ohto H, Chhem RK, Clarke M: Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. Lancet, 386(9992): 489-497, 2015.
- 8) Hasegawa A, Tanigawa K, Ohtsuru A, Yabe H, Maeda M, Shigemura J, Ohira T, Tominaga T, Akashi M, Hirohashi N, Ishikawa T, Kamiya K, Shibuya K, Yamashita S, Chhem RK: Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. Lancet, 386(9992): 479-488, 2015.
- 9) International Atomic Energy Agency: The Fukushima Daiichi Accident. International Atomic

Energy Agency (IAEA), 2015

- 10) Murakami M, Takebayashi Y, Tsubokura M: Lower Psychological Distress Levels among Returnees Compared with Evacuees after the Fukushima Nuclear Accident. *Tohoku J Exp Med*, 247(1): 13-17, 2019.
- 11) Murakami M, Tsubokura M, Ono K, Nomura S, Oikawa T: Additional risk of diabetes exceeds the increased risk of cancer caused by radiation exposure after the Fukushima disaster. *PLoS One*, 12(9): e0185259, 2017.
- 12) 原子力規制委員会：原子力災害対策指針（平成 24 年 10 月 31 日制定）.
<https://www.nsr.go.jp/data/000024441.pdf>. 最終アクセス: 令和元年 12 月 9 日.
- 13) 田中 桜: 福島第一原発事故後の原子力災害医療体制再構築. *救急医学*, 43(6): 813-820, 2019.
- 14) Tsujiguchi T, Yamaguchi M, Mikami J, Sato D, Itaki C, Hosokawa Y, Ito K: Survey on Training of the Nuclear Emergency Medical Assistance Team and Their Educational Needs. *Radiat Environ Med*, 8(1) : 16-20, 2019.
- 15) 大葉 隆: 東日本大震災、原子力事故の経験から. *日本放射線技術学会雑誌*, 75(7): 661-668, 2019.
- 16) 飯干 亮太: 原子力災害医療体制における当院の役割と課題—原子力災害医療・総合支援センターとしての取り組み—. *日本放射線看護学会誌*, 6(1): 72, 2018.
- 17) Tsujiguchi T: The Transition of Nuclear Disaster Medical System in Japan; the Change after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and the Activities of Hirosaki University. *Biomed J Sci & Tech Res*, doi: 10.26717/BJSTR.2018.08.001644, 2018.
- 18) 富永 隆子, 明石 真言: 放射線災害・テロ対処と緊急被ばく医療支援チーム. *安全工学*, 55(6): 454-461, 2016.

- 19) Yamada Y, Orita M, Shinkawa T, Urata H, Kondo H, Takamura N : Nurses' interest in nuclear disaster medicine: future capacity building. J Radiat Res, 60(3) : 333-334, 2019.
- 20) 原子力規制庁放射線防護企画課:原子力災害医療派遣チーム活動要領(平成 29 年 3 月 29 日公開). <https://www.nsr.go.jp/data/000183394.pdf>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 21) 武田 多一, 永石 妙美, 大野 直子, 武田 裕子:災害直後の「支援」と「受援」を考えるアクティブ・ラーニング. 医学教育, 49(3): 219-222, 2018.
- 22) 山口 順子, 丹正 勝久:災害時の DMAT 活動と役割. 日大医誌, 71(1): 10-13, 2012.
- 23) 日本災害医学会:多数傷病者への対応標準化トレーニングコース MCLS . <https://jadm.or.jp/contents/MCLS/index.html>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 24) 原子力規制委員会:平成 26 年度原子力施設等防災対策等委託費(原子力災害時医療の要件及びガイドラインの作成等)事業 成果報告書(管理コード 262105) . <https://www.nsr.go.jp/data/000175873.pdf>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 25) 原子力規制委員会:平成 27 年度原子力施設等防災対策等委託費事業 原子力災害時の医療に係わる実践研修テキスト—原子力災害時の医療—(管理コード 272102) . <https://www.nsr.go.jp/data/000186587.pdf>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 26) Hachiya M, Akashi, M: Lessons learned from the accident at the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant – more than basic knowledge: education and its effects improve the preparedness and response to radiation emergency. Radiat Prot Dosimetry, 171(1): 27-31, 2016.
- 27) 内閣府:平成 28 年度原子力総合防災訓練実施要項(訓練の流れ) . https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/kunren/h28sg.html. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 28) 内閣府:平成 29 年度原子力総合防災訓練実施要項(訓練の流れ) . https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/kunren/h29sg.html. 最終アクセス:令和元年 12 月

9 日.

- 29) Akashi M, Kumagaya K, Kondo H, Hirose Y: Concerns of Disaster Medical Assistance Team (DMAT) members about troubles at the nuclear power plant: experience from the Niigata Chuetsu-Oki earthquake, 16 July 2007, in Japan. Health Phys, 98(6): 804-809, 2010.
- 30) Fukushima Y, Yoshida K, Orita M, Takamura N, Yamashita S: Factors relating to anxiety among medical teams dispatched to the Fukushima nuclear power plant disaster. Int J Disaster Risk Reduct, doi: org/10.1016/j.ijdrr.2019.101330, 2019.
- 31) 富永 隆子:わが国における緊急被ばく医療・原子力災害医療教育の現状と課題. 救急医学, 43(6): 796-802, 2019.
- 32) 文部科学省: 医学教育モデル・コア・カリキュラム(平成 28 年度改訂版).
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/__icsFiles/afieldfile/2017/06/28/1383961_01.pdf. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 33) 大保 勇, 小坂 健太, 住田 知隆, 山口 聖和, 近藤 賢一:Nuclear(核)／Radiation(放射線)テロ・災害時における 外傷患者対応と診療放射線技師の役割. 日本臨床救急医学会雑誌, 16(5): 707-713, 2013.
- 34) 厚生労働省 DMAT 事務局: DMAT とは(日本 DMAT 活動要領).
<http://www.dmat.jp/dmat/katsudoyoryo.pdf>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.
- 35) 厚生労働省: 広域災害・救急医療情報システム(EMIS)の歴史と進歩、そして課題.
<https://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-10801000-Iseikyoku-Soumuka/0000204301.pdf>. 最終アクセス:令和元年 12 月 9 日.

Abstract

The development of an active learning program for the medical responders in nuclear disaster

Takakiyo Tsujiguchi

Hirosaki University Graduate School of Health Sciences, Department of Radiation Science

Objective

In Japan, with the revision of the Nuclear Emergency Response Guidelines in 2015, Nuclear Emergency Medical Assistance Teams responsible for the medical treatment in acute phase of nuclear disaster have been developed nationwide. The purpose of this research is to develop active learning materials for the education of medical staff, to confirm the educational effect of the materials, and to identify the gaps in nuclear disaster risk reduction in Japan.

Methods

We established a working group and created active learning materials. We trained members of the Nuclear Emergency Medical Assistance Team using the developed active learning materials, then conducted a questionnaire survey for trainees who participated in the training.

Results

The contents of the developed active learning materials are a combination of a lecture to learn about the nuclear disaster prevention system in Japan and the role of the medical dispatch team, and an exercise to learn about the hospital support and medical provision when a nuclear disaster. In the questionnaire survey after the training (response rate: 91.1%), regarding the simulation training about practicing hospital support and medical provision, 90% trainees answered “I understood” or “Somewhat understood”.

Conclusion

The study demonstrated that the developed materials have an educational effect. Additionally, the results of the trainee questionnaire showed the necessity for future education about the latest regulations on dispatch standards and information management at the time of nuclear disaster.

論文一覧表

【主論文】

1. **Takakiyo Tsujiguchi**, Katsuhiro Ito, Daishi Sato, Junko Mikami, Yoshitaka Shiroma, Arifumi Hasegawa, Hitoshi Yamamura, Ikuo Kashiwakura. The Development of an Active Learning Program for the Medical Responders in a Nuclear Disaster. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. DOI: 10.1017/dmp.2018.168. (2018).

【参考論文】

1. **Takakiyo Tsujiguchi**, Hitoshi Yamamura, Ikuo Kashiwakura. The Medical Treatment of Radiation Exposure and Contamination in Radiation Accidents. *Radiation Environment and Medicine*. 6(2): 108-111. (2017).
2. **Takakiyo Tsujiguchi**. The Transition of Nuclear Disaster Medical System in Japan; the Change after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and the Activities of Hirosaki University. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.08.001644. (2018).
3. **Takakiyo Tsujiguchi**, Chieko Itaki, Taichi Kitaya, Yoshitaka Shiroma, Ikuo Kashiwakura. Nuclear Emergency Protection Measures and Standards: Outline of Evacuation Exit Inspections in Japan. *Japanese Journal of Health Physics*. 53(3): 169-175. (2018).
4. **Takakiyo Tsujiguchi**, Masaru Yamaguchi, Junko Mikami, Daishi Sato, Chieko Itaki, Yoichiro Hosokawa, Katsuhiro Ito. Survey on Training of the Nuclear Emergency Medical Assistance Team and Their Educational Needs. *Radiation Environment and Medicine*. 8(1): 16-20. (2019).
5. **辻口貴清**、坂本瑞生、鈴木陽子、柏倉幾郎. 原子力災害拠点病院および原子力災害医療協力機関における被ばく医療支援体制の調査. *保健物理*. 54 (3): 156-160. (2019).