

日本放射線事故・災害医学会雑誌

*Journal of Japanese Association
for Radiation
Accident/Disaster Medicine*

Vol.6
No.1
2023



巻頭言

—第6巻1号発刊にあたって—

2011年3月11日の東日本大震災とそれによる東京電力福島原子力発電所事故から12年以上が経過し、原子力災害に対する関心は徐々に失われつつあるように感じます。特に、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が2019年12月初旬に中国・武漢市で第1例目の感染者が報告され、2020年1月15日に日本において最初の感染者が確認された後は、人々の健康に関する関心はCOVID-19感染症に移ってしまった感があります。

そうした中で、2022年2月24日にロシア・ウクライナ戦争が勃発し、アメリカ、サウジアラビアに次ぐ世界第3位の産油国であるロシアの戦争により、エネルギー供給に大きな懸念が生じています。さらに、2023年10月7日には、イスラエル・ガザ紛争が発生し、中東の産油国を含めた世界的な混乱が広がっています。他方、福島原子力発電所事故以降全基停止していた原子力発電所は現在10基が稼働しており、エネルギー供給が滞った時の原子力発電の重要性に大きな変化はありません。原子力発電所の再稼働が進む中、福島原発事故を踏まえて原子力災害や放射線事故に対する医療を平時から備えることの必要性・重要性は全く変わっていないばかりか、むしろ増大していると言えます。

2023年9月より編集委員長を拝命し、編集の方針を変更しました。査読制を維持しつつ投稿された原稿をできるだけ早期に発刊できるように、必要な査読者の人数を3名から1名以上に変更しました。また、これまで学会誌の閲覧は学会員に限られていましたが、過去の発刊に遡り誰でも閲覧できるようにしました。

これらの編集方針の変更に関して貴重なご意見をいただいた編集委員の皆様、特に、第6巻のエディタ業務を一手に引き受けてくださった鈴木元編集委員に心から感謝致します。

日本放射線事故・災害医学会雑誌が、放射線事故や原子力災害の対応の改善に役立つ場になることを祈っております。

日本放射線事故・災害医学会 編集委員長
細井義夫

JJARADM2023 Vol.6 (1)

目次

巻頭言

第6巻1号発刊にあたって

細井義夫

原著論文

原子力災害医療領域の人材育成に係る課題と今後の教授内容の探索 …………… 1

山田裕美子、山口拓允、松田尚樹

宇佐俊郎、山下和範、田崎 修

原著論文

原子力災害時に活動できる DMAT 隊数の推計

—中国・四国 DMAT 隊員への意識調査より— …………… 10

越智元郎、長谷川有史、廣橋伸之、山本尚幸

森實岳史、馬越健介、平塚義康、大蔵隆文

学会レポート

EPRBioDose2022 Online に参加して …………… 19

山口一郎

機器紹介

原子力災害時における詳細測定用可搬型甲状腺モニタの製品化への

取り組みと利用…………… 21

小澤慎吾、酒井昭宏

文献レビュー

RENEB による 8 種類の線量評価法の研究機関間比較研究について…………… 24

吉田光明

原著論文

原子力災害医療領域の人材育成に係る課題と今後の教授内容の探索

山田裕美子^{1) 2) 3)}, 山口拓允^{4) 5)}, 松田尚樹^{2) 6)}, 宇佐俊郎^{2) 7)}, 山下和範^{2) 8)}, 田崎修^{2) 9)}

- 1) 長崎大学病院看護部, 2) 長崎大学原子力災害対策戦略本部, 3) 活水女子大学看護学部看護学科
- 4) 鹿児島大学医学部保健学科, 5) 原子力安全研究協会, 6) 長崎大学放射線総合センター
- 7) 長崎大学国際ヒバクシャ医療センター, 8) 長崎大学病院災害医療支援室
- 9) 長崎大学病院高度救命救急センター

要旨

2018年から2020年に高度被ばく医療支援センター（以下、支援センター）の1施設で行われた原子力災害時医療中核人材研修の受講後アンケートとポストテストをもとに、これまで実施してきた教育内容を振り返り、課題の抽出及び本分野を担う人材育成に向けた、より実効性のある教授方法を模索したので報告する。対象者は、医師・診療放射線技師・看護師の58名であり、受講後アンケートは、無回答欄があるものを除いた48名を分析対象とした。受講後アンケートによる各講義に対する「分かりやすさ」の評価は、医師では「放射線事故事例」、診療放射線技師では、「放射線事故時のメンタルヘルス」、看護師では、「机上演習」が一番低い評価であった。自由記載について、職種を外部変数として共起ネットワークを作図した結果、看護師は、机上演習に出題されている線量評価の計算が難しいと感じていることが明らかになった。看護師の役割には、生命維持のための医療処置や除染のみならず、不安を抱く被ばく傷病者や家族への対応が含まれる。そのため、机上演習では、線量評価を基にしたリスクコミュニケーションが実践できるような内容に再編し、より実災害への対応をイメージできる教授方法へ改良することが望ましいと考える。ポストテストでは医師と比較し、看護師の正答率が有意に低かった。今後は、看護師が普段聞き慣れない放射線に関する専門用語や放射線の影響について、理解しやすく、職種間で理解度の差が最小限になるように中核人材研修の受講以前に職種別の研修を受講することで理解促進を図るなど新たな取り組みを考慮する必要があると考える。また、ポストテストで、他の項目より特に点数が低かった「X線透視に使う鉛エプロンの防護効果」について、これまでの講義で受講生が習得できなかった要因を検討し、今後、鉛エプロンの防護効果についての知識を確実に習得できる教授内容にすべきである。

キーワード： 原子力災害、中核人材研修、机上演習、リスクコミュニケーション

Medical personnel development and Curriculum Issues in Nuclear Disaster Medicine

Yumiko Yamada¹⁾²⁾³⁾, Takumi Yamaguchi⁴⁾⁵⁾, Naoki Matsuda²⁾⁶⁾, Toshiro Usa²⁾⁷⁾, Kazunori Yamashita^{2) 8)}, Osamu Tasaki²⁾⁹⁾

1) Department of Nursing, Nagasaki University Hospital 2) Headquater for Nuclear Disaster Response and Preparedness in Nagasaki university, 3) Department of Nursing, Kwassui Women's University, 4) School of Health Science, Kagoshima University, 5) Nuclear Safety Research Association, 6) Atomic Bomb Disease Institute, Nagasaki University, 7) International Hibakusha Medical Center, Nagasaki University, 8) Disaster Medical Support Office, Nagasaki University hospital, 9) Acute and Critical care center, Nagasaki University Hospital

Corresponding author:: Yumiko Yamada,R.N.,Ph.D.
2-1246-3 Kubara, Omura city, Nagasaki 856-0835, Japan
Tel +81-957-27-3005
E-mail y.yamada@kwassui.ac.jp

2023年11月1日 受理

目的

2011年3月11日東日本大震災により引き起こされた東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下、福島第一原発事故)は、自然災害と原子力災害が同時に起きた未曾有の複合災害であり、これまでの緊急被ばく医療体制の想定を遥かに超えた原子力災害となった^{1), 2)}。この経験を教訓とし、従来の緊急被ばく医療体制を発展させ、災害・救急医療と融合した「原子力災害医療体制」へと再編された^{3), 4)}。基幹高度被ばく医療支援センターである量子科学技術研究開発機構を初めとして、国内の5施設が高度被ばく医療支援センター⁵⁾、4施設が原子力災害医療・総合支援センターに指定され、2015年8月に長崎大学は両支援センターに指定された⁶⁾。また、原子力施設立地道府県等は、被災地域の原子力災害医療の中心となって機能する医療機関として原子力災害拠点病院を指定しており、2023年8月1日現在、長崎大学が管轄する九州圏内には7施設が原子力災害拠点病院として指定されている⁷⁾。拠点病院の役割は、「汚染の有無にかかわらず傷病者を受け入れて、適切な診療を行うこと」である⁸⁾。高度被ばく医療支援センターは2018年より高度専門教育研修として、原子力災害時医療中核人材研修を実施してきた。受講生は全国からの希望者であり、医師・看護師・診療放射線技師をはじめとした多職種が同一の研修を受講している。放射線事故・災害は稀な事象であり、多くの人は実際に被ばく医療を経験することはなく、一般の医療の様に On the job training を受けることは極めて少ない。万が一に備え Off the job training で知識やスキルを維持・向上させなければならないため、このような研修の機会是有事の備えのために貴重なものとなる。教育側も職種の違いや受講生のレディネスに合った教授方法を模索し日々改訂しながら実施することが求められる。福島第一原発事故後12年が過ぎ、教育研修開始以来4年が経過した現在、今一度研修を振り返り、課題を抽出する事は、今後、より実効性の高い教育研修を実施するための一助となると考える。本研究は、これまでの研修報告と共に研修参加者のアンケート及びポストテストを評価し、課題の抽出を行うことを目的とする。

対象と方法

対象者：2018年から2020年の3か年において、長崎大学高度被ばく医療支援センターが実施した原子力災害時医療中核人材研修を受講した医師・看護師・診

療放射線技師の58名を対象とした(医師17名、看護師19名、診療放射線技師22名)。

解析方法：研修修了後に実施した無記名自記式受講後アンケート及び受講後の理解度評価のためのポストテストの結果を解析した。

研修後アンケートの解析：回答者56名のうち無回答欄がある8名を除外した48名(医師12名、看護師14名、診療放射線技師22名)を解析対象者とした。各講義(「原子力災害医療とは」「医療者に必要な放射線の基礎Ⅰ,Ⅱ」「外部被ばくと内部被ばくと線量評価」「被ばく医療に必要な体表面汚染の計測実習」「実習：線量評価/WBC見学」「放射線事故事例」「救護所、避難所などの住民に対する病院外での医療対応」「病院における初期対応」「汚染への対応」「机上演習」「放射線事故時のメンタルヘルス」)の評価を4段階で得点化(4-分かりやすい、3-やや分かりやすい、2-やや分かりにくい、1-わかりにくい)し、職種別に平均点を各講義に分けて算出した。また、自由記載については、アンケートに設けられた研修全体に対する自由記載の内容について、フリーソフトウェアKHCoder9)を用いてテキストマイニングを行った。KHCoderは、自由記述のデータの中から語句を自動で抽出し、抽出後の品詞別の分類、語句の出現回数、語句の含まれる文書数の確認が可能である⁹⁻¹¹⁾。記載内容の関連を視覚的に捉えやすいよう、出現語上位50位以上の語による共起ネットワークを作成し分析した。語と語のつながりの強さを表すJaccard係数は、出現語50以上の語を選択した場合に自動で選択されるように設定した。Jaccard係数とは、語と語の共起関係を示し、測定度は0から1までの値で、1に近づくほどつながりが強いことを示している^{12,13)}。さらに、Jaccard係数は、0.1以上を関連ありと判断するとされる¹³⁾。また、「思う」「感じる」「方々」「ありがとう」は、語としての意味はなさないため、除外語として取り扱い、「原子力災害」「机上演習」「専門用語」「事前準備」は、一語として抽出されるように強制抽出する語として指定した。今回描画した共起ネットワークは、出現パターンの似通った語句、すなわち共起の程度が強い語句を線で結んだネットワーク図である。線でつながっていることが、そのまま語句と語句の共起・関連の強さを示しているものである。なお、今回は、各職種(医師・看護師・診療放射線技師)において記載された語の違いや関連を見るため、記載

された語同士の共起ではなく、職種である「医師」「看護師」「診療放射線技師」を外部変数とした共起ネットワークを作成した。

ポストテスト結果解析：全職種同一問題の全 20 問が出題され、正解であれば 1 点、不正解であれば 0 点として各回答者の得点数を算出した。内容は①「自然放射線による被ばくについて」、②「X 線透視に使う鉛エプロンの効果に関して」、③「実効線量の意味」、④「確率的影響について」、⑤「放射線の急性被ばくの症状」、⑥「遺伝性影響について」、⑦「急性放射線症候群について」、⑧「事故発生時の被ばく線量把握に関して」、⑨「被ばくによる染色体異常に関して」、⑩「預託実効線量の説明」、⑪「ホールボディカウンタの説明」、⑫「内部被ばくのキレート剤について」、⑬「タイベック® スーツの着用目的」、⑭「原子力災害時の診療の基本」、⑮「施設内の汚染拡大防止策について」、⑯「汚染患者の診療場所について」、⑰「安定ヨウ素剤の効果について」、⑱「原子炉の事故後の環境汚染について」、⑲「原子力災害時のメンタルヘルスについて」、⑳「チェルノブイリ原発事故について」である。その後、各職種間（医師、看護師、診療放射線技師）の差を明らかにするため、原子力災害時中核人材研修の受講年を調整変数とした共分散分析を行い、Tukey 検定にて多重比較を行った。有意水準は 5 % とし、統計解析には、IBM SPSS Statistics version 28 を使用した。

倫理的配慮：本研究は、長崎大学医学系倫理審査委員会の承認を得て実施した（許可番号 21042301）。本研究は、新たに試料・情報を取得することはなく、既存情報のみを用いて実施した学術研究であるため、研究についての情報を研究対象者に公開（長崎大学ホームページへの掲載）し、研究が実施されることについて、研究対象者が拒否できる機会を保障した。

結果

2018 年から 2020 年に長崎大学で実施された原子力災害時中核人材研修には 58 名（医師 17 名、看護師 19 名、診療放射線技師 22 名）が参加した。2020 年は新型コロナウイルス感染拡大の影響を受け、受講者の人数制限を行ったため例年より参加人数が減少している。

1) 研修受講後アンケート結果について

アンケート回収率は 2018 年度 90.9%、2019 年度 95.8%、2020 年度 100%であった。各講義の評価には無回答欄がある 8 名を除外した 48 名を対象者とした。受講生の原子力災害関連の研修受講回数の平均は 1.48 回で、初めて参加するものが一番多く、全体の 64.6%であった。

2018 年から 2020 年の受講生による各講義の分かりやすさの評価（平均点）では、全体で一番低い評価（3.29 点）の項目は「机上演習」であった。職種別にみると、医師では「放射線事故事例」が 3.25 点、看護師では「机上演習」が 3.07 点、診療放射線技師では、「放射線事故時のメンタルヘルス」が 3.23 点と一番低い結果であった。医師では、WBC 見学・机上演習・放射線事故時のメンタルヘルスが事故事例に続き評価が低く、看護師は、ホールボディカウンタ（WBC）見学や放射線の基礎も 3.14 点、3.18 点と低い評価であり、診療放射線技師では、メンタルヘルスに続き、事故事例や机上演習が 3.36 点、3.41 点であった（表 1）。

2) 自由記載内容

自由記載欄に記載があったのは 37 名（2018-2020）であった。職種別の共起パターンをみるために共起ネットワークを作図した（図 1）。上位 50 語の共起ネットワークを作図した際、Jaccard 係数は 0.171 以上であった。抽出語の出現頻度は Frequency の円のとおり、頻出語であれば語を取り囲む円が大きくなる。医師・看護師・診療放射線技師それぞれに特異的に記載されていた語は、各変数に共起した Degree 1 の語であった。

医師が記載した語で Jaccard 係数が 0.2 以上の語は「少し」「演習」「分かる」であり、「机上演習」は Jaccard 係数 0.19 であった。実際に、「演習がもう少し長いと良いと思います（あと少しでよりしっかり理解できる気がしました）」「専門用語の解説をもう少しして欲しかった（OIL や単位など）」「机上演習が少し分かりにくかったので、事後配布資料があるといいと思いました」「Bq、Sv へのアレルギーが少し減りました

表1 属性と受講後アンケート結果

職種 (n)	研修参加回数			各講義内容の評価(平均点)										
	初めて (人)	2回目 (人)	3回以上 (人)	原炎医療 とは	放射線の 基礎	線量評価	汚染計測 実習	WBC 見学	事故事例	病院外 医療対応	病院での 初期対応	医療実習	机上演習	メンタル ヘルス
全職種 (48)	31	11	6	3.60	3.44	3.48	3.67	3.33	3.35	3.65	3.63	3.60	3.29	3.35
医師 (12)	9	1	2	3.50	3.50	3.42	3.67	3.33	3.25	3.50	3.67	3.67	3.33	3.33
看護師 (14)	9	3	2	3.64	3.18	3.29	3.57	3.14	3.43	3.71	3.79	3.64	3.07	3.57
診療放射線 技師 (22)	13	7	2	3.63	3.57	3.64	3.73	3.45	3.36	3.68	3.50	3.55	3.41	3.23

た」「机上演習はワークショップ的な事はわかるが、十分な説明もなく、またせっかく4グループの意見を見ているのに、そこに着目したフィードバックができていない。」「机上演習のシナリオが全く分かりませんでした（理解できない。）資料が欲しかった。（言っている事はわかるが、復習できない。）」等が記載されていた。

診療放射線技師が記載した語で Jaccard 係数が 0.2 以上の語は、「汚染」「方法」「勉強」であり、「体表面汚染の計測だけでなく、評価方法まで学べて勉強になりました」「汚染への対応で各役割の仕事がやや分かりにくいのと、スクリーニング（プライマリサーベイ）の順序の説明が無かった様に思いました」「机上演習は大変役立った」等が記載されていた。

看護師が記載した語で Jaccard 係数が 0.2 以上の語は、「机上演習」「理解」「計算」「難しい」「初めて」「聞く」「参加」「自分」「原子力災害」「先生」「講義」であり、「机上演習の計算に慣れずグループワークが難しかったです。解説で理解に努めました。」「机上演習で示されたスライドはハンドアウトでもらいたい。計算等、後からゆっくり復習したかった。」「机上演習は看護師の自分にとっては普段あつかわないので難しかったです。」「日頃ふれる事のない、専門用語の咀嚼が出来ず途中から混乱してしまいました。」「計算のところが理解がむずかしかったが、机上演習を行うことでなぜ計算が必要なのか、どういう意味なのかが分かった。」等の記載があった。

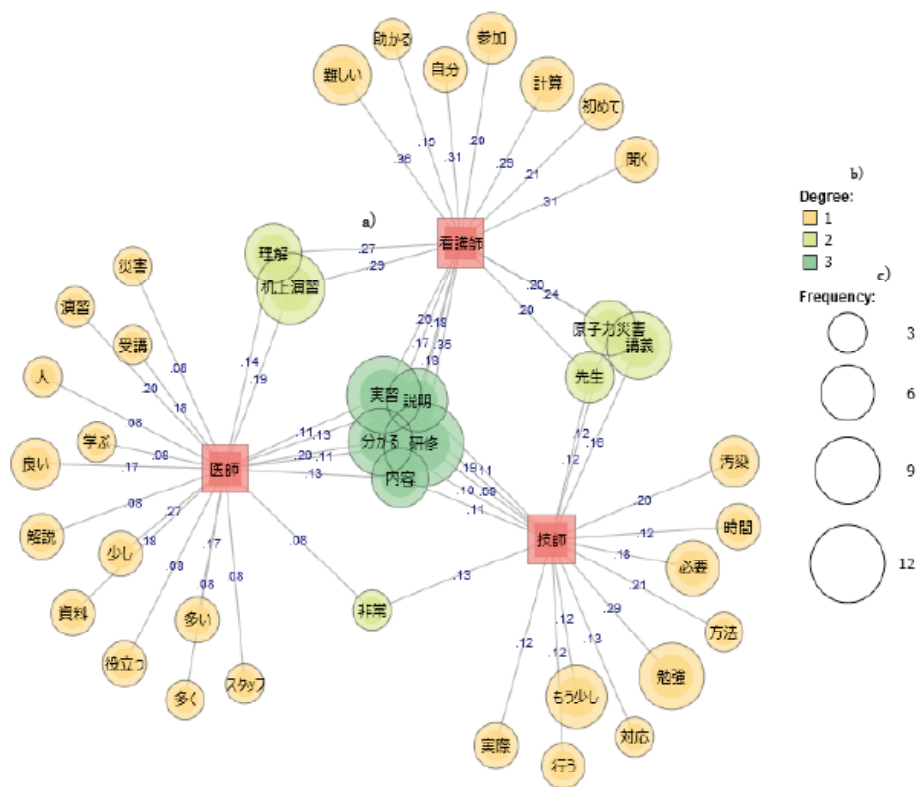
3) ポストテスト結果の職種間比較

2018年の参加者の内訳は、医師7名、看護師5名、診療放射線技師10名。2019年は、医師8名、看護師8名、診療放射線技師8名。2020年は、医師2名、看護師6名、診療放射線技師4名であった。テストは全20問であり、全体平均は84.7点であった。職種別の平均点は、医師87.4点、看護師81.1点、診療放射線技師85.7点であった（表2）。各年度を調整変数とした共分散分析にて職種間の得点の比較を行った結果、職種間の得点に統計学的に有意な差が認められた（ $F(2,49) = 3.91; p = 0.027$ ）。さらに、Tukey検定にて多重比較を行った結果、医師と比較して看護師は有意に得点が低く、診療放射線技師と看護師間では有意差はなかった（図2）。20問中、全職種で正答率が一番低い項目は「鉛エプロンの防護効果に関する質問」であった（表3）。

考察

「原子力災害時医療中核人材研修」（以後、中核人材研修）は、全国に定められた基幹を含めた5施設ある高度被ばく医療支援センター（以後、支援センター）が行う研修であり¹⁴⁾、2017年より本格的に研修が開始された。本学も2017年度から2022年度までに8回開催してきた。今回は、2018年から2020年に実施した中核人材研修について受講後アンケート及びポストテストを解析し、原子力災害医療に携わる医療職者（医師、看護師、診療放射線技師）の原子力災害医療に関連する内容の理解状況や研修の課題を考察する。

図1 職種別共起ネットワーク



- a) 図中の数字は Jaccard 係数を示す。
- b) Degree1; 医師ないし看護師ないし技師のどれかの外部変数と共起している語
 Degree2; 医師と看護師のどちらの外部変数とも共起した語、または医師と技師のどちらの外部変数とも共起した語、あるいは看護師と技師のどちらの外部変数とも共起した語、
 Degree3; すべての外部変数と共起した語。
- c) 抽出語の出現回数

受講者の職種の内訳は、医師 17 名、看護師 19 名、診療放射線技師 22 名であり、約 65% が原子力災害関連の研修に初めて参加する者であった。

受講後アンケートによる講義の分かりやすさの評価では、医師では「放射線事故事例 (3.25 点)」、看護師では「机上演習 (3.07 点)」、診療放射線技師では、「放射線事故時のメンタルヘルス (3.23 点)」が一番低い評価であることが明らかとなった。自由記載欄の職種別の共起パターンとそれぞれの特徴的な語を分析した結果、医師または診療放射線技師に共起する語には、それぞれ講義評価が低かった「放射線事故事例」「放射線事故時のメンタルヘルス」に関する語は含まれていなかった。一方で、医師においては、2 番目に講義の評価が低かった「机上演習」は Jaccard 係数 0.19 と医師に関連しており、実際の記載内容から、机上演習について線量評価が難しいことやシナリオや説明が分かりにくいと感じていたことが分かった。

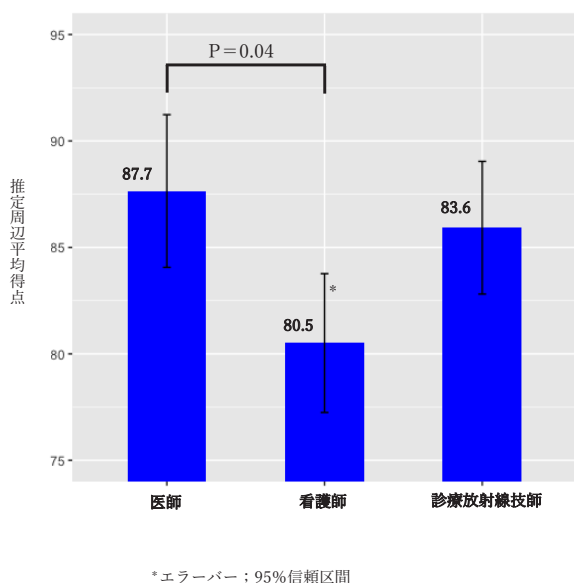
看護師に共起する語の中で「机上演習 (Jaccard 係数 0.29)」「計算 (Jaccard 係数 0.29)」「難しい (Jaccard

係数 0.36)」が強く関連しており、受講後アンケートにおいて机上演習が一番分かりにくいという評価になった理由として、自由記載の分析から、看護師は普段聞き慣れない放射線測定値 (cpm、Sv、Bq 等) やその他放射線分野の専門用語が含まれる線量評価を理解することが困難であることが考えられる。机上演習の計算問題には、表面汚染密度や皮膚の吸収線量、預託実効線量等を求めるものが出題されている。看護師が必ずしも線量評価の方法を知っておく必要はない。しかしながら、人体が受けた被ばく線量とその影響について理解しておくことは、看護師に必要であると考えられる。原子力災害時は、放射線単独の影響によって生命の危機的状況に陥ることは、非常に低頻度であるが¹⁵⁾、放射線被ばくによる健康影響に対して不安が高く、福島第一原発事故後の調査をみても、特に子どもや子孫への影響に対する不安は非常に高い¹⁶⁻¹⁸⁾。また、原発事故後は長期の避難を余儀なくされ、ふるさとを離れ、これまでの生活が一変し、家族との生活を取り戻せなくなった住民も多かった。これらの問題は

表2 ポストテスト開催年及び職種別結果

	全年		2018		2019		2020	
	人数	平均点±SD	人数	平均点±SD	人数	平均点±SD	人数	平均点±SD
医師	17	87.35±7.88	7	82.9±6.36	8	89.4±8.21	2	95.0±7.07
看護師	19	81.05±7.71	5	86.0±6.52	8	77.5±7.56	6	81.7±8.17
診療放射線技師	22	85.68±8.02	10	83.5±8.84	8	85.0±7.56	4	92.5±5.0

図2 各職種におけるポストテスト得点の比較



身体的または精神的健康度の低下に大きく影響していることがいくつかの先行研究において明らかにされており、事故後12年過ぎた今でも非常に大きな社会問題となっている¹⁹⁻²³⁾。従って、救命処置や除染のみならず、このような被ばくや汚染による傷病者自身・家族あるいは施設職員の不安や混乱への対応、さらには長期的な精神面への対応も看護師の役割として求められる²⁴⁻²⁶⁾。今後は、被ばく線量評価から健康リスクを評価し、それをさらにリスクコミュニケーションへ活用できるスキルを身につけるための教育を机上演習のメインテーマとすることは、福島第一原発事故と同様の事象が起こった際に対応できる医療者の育成に

非常に意義があると考えられる。

長崎大学高度被ばく医療支援センターでは2019年より、机上演習において、傷病者の汚染や被ばくによる不安の表出を仮想した例題を加え、線量評価をもとに実際に原子力災害時の不安に対応するロールプレイ等も導入している。この効果に関しては、今後評価する予定である。

ポストテストの結果では、看護師の平均点が一番低かった。得点の差を職種間で比較した結果、看護師と診療放射線技師では有意差はみられなかったが、医師と比較して看護師は有意に得点が低かった。看護師の各項目の正答率をみると、X線透視に使う鉛エプロンが高エネルギーγ線の防護にあまり有効でないこと(正答率; 26.3%)、原爆被曝者やチェルノブイリ事故の疫学調査で遺伝性影響の確認がないこと(正答率; 42.1%)の正答率が50%未満であった(表3)。この2点について中核人材研修の講義や演習または実習で学んだ知識の習得が不十分であることが考えられる。鉛エプロンの効果については、看護師に限らず、医師・診療放射線技師においても、それぞれ23.5%、45.5%と他の項目に比べ正答率が低い。原子力災害時に放出される主な核種には高エネルギーγ線放出核種があることや適切な防護策を知っていることは重要であり、この知識は、原子力災害に特化したものではなく、日常の診療においても必要な内容であると考えられる。正しい防護方法を知っておかなければ原子力災害時に混乱を招きかねないため、鉛エプロンの防護効

表 3. ポストテスト正答率（その1）

	質問	全体 (%)	医師 (%)	看護師 (%)	診療放射線技師 (%)
1	自然放射線による被ばくは、世界中どこでもほぼ同じであり、特異的に高い地域は存在しない。	86.2	100	63.2	95.5
2	X線透視に使う鉛エプロンは、高エネルギーγ線の防護にはあまり有効ではない。	32.8	23.5	26.3	45.5
3	実効線量は、全身の発がんなどのリスクを示す指標となる。	84.5	76.5	84.2	88.2
4	確率的影響の1つに遺伝性影響がある。	69.0	58.8	68.4	77.3
5	放射線の急性被ばく後の典型的な前駆期症状として、皮膚のびらんが挙げられる。	63.8	64.7	84.2	72.7
6	遺伝性影響は、原爆被爆者やチェルノブイリ事故の疫学調査で確認された。	58.6	82.4	42.1	54.6
7	被ばく後2～3時間後に嘔吐があれば、1Gy以上の全身被ばくを疑う。	93.1	100	94.7	86.4
8	事故発生時に、被ばくした者が装着していた個人線量計がその場で読み取れるものでなければ（バッジ等）、業者に依頼して早急に線量を読み取る必要がある。	63.8	70.6	57.9	63.6
9	通常の染色体分析による放射線被ばくの診断では、二動原体染色体や環状染色体の数を調べる。	94.8	100	89.5	95.5
10	内部被ばくによる預託実効線量は摂取後24時間の線量を積算したものである。	75.9	88.2	63.2	77.3
11	ホールボディカウンタは、創傷部内の放射性物質の量の判定に有効であるため、創傷部の除染の前に計測する。	100	100	100	100
12	プルシアンブルーはセシウムの内部被ばくの際、体内からの排泄を促進するために投与される。	87.9	100	89.5	77.3
13	タイベックスーツのような防護衣は、医療スタッフへの放射性物質の付着の防止が主な目的である。	94.8	88.2	100	95.5

果に関する内容は今後特に注意し、正しく習得できる教授方法へ変更することが喫緊の課題である。また、原子力災害後は人々の遺伝性影響に対する不安は非常に高くなる¹⁶⁻¹⁸⁾。その不安に看護師として対応するために、チェルノブイリ原発事故や広島・長崎原爆被曝者の疫学調査結果を通して、放射線被ばくによる遺伝性影響について正しく理解しておくことは必要不可欠である。今後はこれまでの疫学調査結果となぜそれを知っておくべきか等を含め印象に残るような講義内

容へと改善する必要がある。

ポストテストや受講後アンケートを分析した結果、これまで実施した中核人材研修の課題として、「看護師の理解が他の職種より低いこと」や「特に看護師では、線量評価をメインとした机上演習が理解しにくいこと」が抽出された。多職種が同一研修を受講することは、原子力災害時のチーム医療を学ぶことができる等のメリットがある一方で、今回の調査結果にあるように、職種による知識習得に差が出る可能性がある。研

表3 ポストテスト 正答率（その2）

	質問	全体 (%)	医師 (%)	看護師 (%)	診療放射線 技師 (%)
14	放射線障害に対する診療よりも、救命処置や、致命的な疾患や外傷の診療を優先する。	100	100	100	100
15	汚染の拡大防止のために床や診察台の養生が有効であるが、患者の医学的状況から直ちに診療が必要であれば、養生完了前でも到着したらすぐ診療を開始する。	94.8	94.1	94.7	95.5
16	汚染患者を診療する建物は、汚染拡大防止の点から、必ず病院本体と別の建物にする。	98.3	100	100	95.5
17	ヨウ化カリウム剤（安定ヨウ素剤）の投与は、ほとんどの放射性核種による内部被ばくに対して予防効果がある。	93.1	100	79.0	100
18	原子炉の事故で放射性物質が放出されると、家などの周囲に放射性物質が沈着していき、放射性物質を含むブルームの通過後も空間線量率が下がらないことがある。	93.1	100	89.5	90.9
19	原子力災害時には、作業員や医療従事者の精神面にも注意が必要である。	100	100	100	100
20	チェルノブイリ原発事故では、急性放射線障害による死亡はなかった。	94.8	100	94.7	90.9

修を受講することで十分に知識を習得できないと感じることは、今後、原子力災害医療分野に携わる意欲・意思の低下にも繋がりがかねない。福島第一原発事故以降、本分野の人材育成の課題は継続しており、12年を経過した現在においても喫緊の課題である。今後、人材の輪を広げるためには、中核人材研修の受講以前に職種別の研修を受講することで中核人材研修の内容の理解促進を図るなど新たな取り組みも考える必要がある。

結語

ポストテストの結果では、医師と比較して看護師は有意に得点が低く、診療放射線技師と看護師間では有意差はなかった。受講後アンケートの分析より看護師

は、「机上演習」が講義内容で一番分かりにくいとの評価であった。その理由として、普段触れない、聞き慣れない放射線に関連する測定値や専門用語が含まれる線量評価の理解が難しかったのではないかと推察する。今後は、本調査結果を基に、多職種参加型である中核人材研修の受講前に職種間で理解の差を最小限にするために職種別研修の実施を考慮する。さらに、原子力災害で特に重要な放射線リスクコミュニケーションの内容も組み込みながら実効性のある研修体制へとブラッシュアップしていきたいと考える。

利益相反

開示すべき利益相反はない。

参考文献

- 1) 江尻 豊, 大和田憲司. 東日本大震災そして福島第一原発事故から学んだ大規模災害医療の教訓. 日職災医学会誌. 2015.63.357-363.
- 2) 島田二郎, 田勢長一郎, 塚田泰彦. 地震, 津波, そして原子力災害に対し訓練はどう生かされたか. 日臨麻会誌. 2013.33(1).126-130.
- 3) 鈴木元. 緊急被ばく医療の現状と将来の展望. MOOK 医療科. 2012.5.1-16.
- 4) 松成裕子, 今村圭子, 吉永健嗣. 日本における原子力災害医療の変遷に関する文献調査. 鹿児島大保健紀. 2019.29.7-17.
- 5) 原子力災害時における医療体制 原子力規制委員会 (nra.go.jp) <https://www.nra.go.jp/activity/bousai/measure/medicalsyst.html> (検索日 2023年2月1日)
- 6) 被ばく医療総合研修センター完成 長崎大学 <https://www.nagasaki.ac.jp/ja/news/news3358.html> (検索日 2023年2月1日)
- 7) 原子力規制庁 原子力災害拠点病院及び原子力災害医療協力機関の一覧 <https://www.nra.go.jp/data/000216042.pdf> (検索日 2023年2月1日)
- 8) 原子力規制庁 原子力災害拠点病院等の役割及び指定要件 <https://www.nra.go.jp/data/000119566.pdf> (検索日 2023年2月1日)
- 9) Koichi Higuchi. A two-step approach to quantitative content analysis: KH Coder tutorial using Anne of Green Gables (Part I) . Ritsumeikan Social Sciences Review. 2016.52.77-91.
- 10) 森田哲夫, 入澤覚, 長塩彩夏, 他. 自由記述データを用いたテキストマイニングによる都市のイメージ分析. 土木学会論文集 D3. 2012.68.I_315-I_323.
- 11) (財) ひょうご震災記念 21 世紀機構. 家族と地域における公共意識の形成戦略報告書. 2008.16-19.
- 12) Koichi Higuchi. A two-step approach to quantitative content analysis: KH Coder tutorial using Anne of Green Gables (Part II) . Ritsumeikan Social Sciences Review. 2017.53.137-147.
- 13) KH coder. <https://kxcoder.net/en/> (検索日 2023年2月1日)
- 14) 原子力災害医療研修 量子科学技術研究開発機構 <https://www.qst.go.jp/soshiki/101/48091.html> (検索日 2023年2月1日)
- 15) Akira Ohtsuru, Koichi Tanigawa, Atsushi Kumagai, et al. Nuclear disasters and health: lessons learned, challenges, and proposals. Lancet 2015.386(9992).487-489.
- 16) Yuriko Suzuki, Hirooki Yabe, Seiji Tasumura, et al. Psychological distress and the perception of radiation risks: the Fukushima health management survey. Bull World Health Organ 2015.93.598-605.
- 17) Mayumi Shimizu, Ruriko Kidachi, Koya Ogura, et al. Text Mining Analysis of Questions and Explanations in Radiation Risk Communication Round Table Discussions. Jpn. J. Health Phys. 2021.57.36-48.
- 18) Yuriko Suzuki, Yoshitake Takebayashi, Seiji Yasumura, et al. Changes in Risk Perception of the Health Effects of Radiation and Mental Health Status: The Fukushima Health Management Survey. Int.J.Environ.Res.Public Health. 2018.15.1-11.
- 19) Itaru Miura, Masanori Nagao, Hironori Nakano, et al. Associations between external radiation doses and the risk of psychological distress of post-traumatic stress after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: the Fukushima Health Management Survey. J Epidemiol. 2022.32.95-103.
- 20) Toyooki Sawano, Yoshitaka Nishikawa, Akihiko Ozaki, et al. Premature death associated with long-term evacuation among a vulnerable population after the Fukushima nuclear disaster. A case report. Medicine. 2019.98.1-4.
- 21) Koji Yoshida, Tetsuko Shinkawa, Hideko Urata, et al. Psychological distress of residents in Kawauchi village, Fukushima Prefecture after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: the Fukushima Health Management Survey. PeerJ. 2016.1-12.
- 22) Nobuaki Moriyama, Tomohiro Morita, Yoshitaka Nishikawa, et al. Association of living in evacuation areas with long-term care need after the Fukushima accident. JAMDA. 2022.23.111-116.
- 23) Arifumi Hasegawa, Koichi Tanigawa, Akira Ohtsuru, et al. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. Lancet. 2015.386.9992.479-488.
- 24) 吉田浩二, 中島香菜美, 廣島陽子, 他. 東京電力福島第1原子力発電所事故による放射能汚染等に対する緊急被ばく医療. 日放線看会. 2013.1(1)37-42.
- 25) Hikaru Sasatake, Maiko Kitajima, Mayumi Urusizaka et al. Reviewing domestic literature on radiation emergency medicine: Role of nurses as viewed in the literature. Radiat Environ Med. 2017.6(2).71-80.
- 26) 草間朋子 基調講演「日本放射線看護学会の挑戦—放射線防護のキーパーソンとしての看護職を目指して—」日放線看会誌. 2022.10(1).6-8.

原著論文

原子力災害時に活動できる DMAT 隊数の推計 —中国・四国 DMAT 隊員への意識調査より

越智元郎¹⁾、長谷川有史²⁾、廣橋伸之³⁾、山本尚幸⁴⁾、森實岳史⁵⁾、馬越健介⁶⁾、
平塚義康⁷⁾、大蔵隆文⁸⁾

1) 市立八幡浜総合病院 麻酔科 / 救急・災害対策室、7) 同 放射線科 (現・愛媛県立中央病院放射線科)、8) 同 内科、2) 福島県立医科大学医学部放射線災害医療学講座、3) 広島大学 原爆放射線医科学研究所 放射線災害医療開発研究分野、4) 原子力安全研究協会 放射線災害医療研究所、5) 松山赤十字病院救急部、6) 愛媛県立中央病院高度救命救急センター

要旨

【目的】日本 DMAT (Disaster Medical Assistance Team) 隊員の 30%以上が原子力災害時に活動する意思を有すると、われわれの既調査から推測されている。これをもとに、原子力災害時の緊急病院避難において、中国・四国地方の DMAT により編成しうる派遣隊と活動車両の数を試算・調査し、一例として四国電力伊方原子力発電所 (伊方原発) 過酷事故時に運用可能か評価することを目的とした。

【方法】中国・四国地方の DMAT 隊員を対象に 2019 年に実施したアンケート調査において、原子力災害時に活動可能と回答した隊員数から派遣隊数と患者搬送車両数を試算し、別途推計した伊方原発過酷事故時の必要派遣隊数と比較検討した。また DMAT 事務担当者から電話聴取し、避難患者などを臥位で搬送できる車両の保有数を集計し、担送を要する患者を搬送できるか評価した。

【結果】1人以上の医師または看護師を含む 2~3人の DMAT隊員で搬送支援隊を組むとの想定では、中国・四国地方で原子力災害時に 200 隊 (うち >1mSv線量許容は 79 隊) を編成可能であった。原子力災害医療派遣チームとの兼務隊員を除くと、191隊 (うち >1mSv線量許容は 72隊) と試算された。1施設から複数隊を派遣できるケースでは半数を次回以降の派遣に回すと仮定すると、2つの線量限度で最初に派遣できる全隊数は 120および 56隊であった。要配慮者を臥位搬送可能な車両は 51台であった。

【考察・結語】過去に試算した伊方原発過酷事故時に避難を要する一定重症度以上の入院患者数と比較すると、確保できる DMAT 隊数で搬送支援に当たることができると推定され、一方 DMAT が保有する車両のみでは全担送患者を搬送することは困難と考えられた。DMAT が原子力災害時の病院避難に関与した場合、多大な貢献が期待され、本結果を原子力災害時におけるより具体的な避難計画策定に反映させたい。

キーワード：原子力災害、入院患者避難、避難支援、DMAT

1. はじめに

2011 年の東京電力福島第一原子力発電所事故 (以下、福島第一原発事故) において、原子力発電所 (以下、

原発) から 20km圏に避難指示が出され、医療機関や避難等から 50 人を超える要配慮者が死亡した¹⁾⁻⁵⁾。原発過酷事故に備え、周辺の入院入所者の避難を安全に実施するための避難計画を策定しておく必要があるが、搬送中の患者観察や医療継続を誰がどのように行うかの課題は未解決である。われわれは、2012 年 12 月、四国電力伊方原発 (以下、伊方原発) から 30km圏内の入院患者および社会福祉施設入所者の総数ならびに救護区分、重症患者数などを調査した⁶⁾。さらに上記のうち同地域の入院介護

著者連絡先：〒796-8502 愛媛県八幡浜市大平 1-638
市立八幡浜総合病院麻酔科 越智元郎
TEL 0894-22-3211, FAX 0894-24-2563
E-mail: GCA03163@nifty.ne.jp

2023 年 11 月 21 日 受理

老人保健施設の入院入所者が避難する過程で、受入れ調整の遅延、不適切な長時間のバス患者において、自主避難でなく病院避難を選ぶ患者の数を試算した⁷⁾。また、2018年に予定された愛媛県原子力災害時の入院患者避難訓練に関する事前調査で、訓練4週間前における伊方原発に最も近い3病院（いずれも原発から12.5km以内）の入院患者総数、担送患者数、重症者数を調査し、病院避難で求められる医療ニーズを推計・報告した⁸⁾。

2019年には、中国・四国地方9県と福島県の日本DMAT登録隊員（病気休暇などのために活動を休止している者を除く）に質問票を送付し、被ばくを許容し原子力災害時の支援活動などに従事することができるかを調査した。この調査では、対象者の62.2%から回答を得て、回答者1,068人中532人（回答者の49.8%、送付者の31.0%）が原子力災害時に活動する意志を有するとの結果を報告した⁹⁾。

さらに今回、特に中国・四国地方9県に焦点を当て、原子力災害発生時に編成することができるDMAT数、及び上記支援活動に供することのできるDMAT保有車両台数を試算し、それらを伊方原発で原子力災害が発生した際の急性期における病院避難時に求められる医療ニーズと比較することで、DMATが原子力災害時の病院避難にどの程度寄与できるかを示すことを研究の目的とした。

なお2013年の調査⁶⁾において、同地域の社会福祉施設入所者総数は入院患者総数（2012年度平均1,789人）を上回る規模（同2,358人）であり、その搬送・医療監視の需要は多大なものがある。しかし、人工呼吸や循環作動薬の持続静注を実施している者など、重篤な要配慮者は入院患者により多く含まれ、DMATはまずそのような重症患者の避難支援に当たる。このことから、今回、中国・四国地方のDMATが同地域の入院患者の避難をカバーできるかにしぼって検討した。

2. 方法

1) 対象

2019年2～8月に、中国・四国地方9県に所属する1,554人の日本DMAT隊員に質問票を送付し、回答が得られた960人のうち、原子力災害時に活動可能と回答した隊員458人を本研究の対象とした。

2) 原子力災害時に活動可能なDMAT隊員数、派遣隊数の試算

以下の条件で編成可能なDMAT派遣隊数を試算し

た。

①派遣先での従業務を原子力災害急性期の病院避難における医療搬送支援と仮定。

②DMAT1隊の構成は2～3人（医師または看護師を含む。以下、DMAT縮小派遣隊）。

③活動中に許容する累積線量は公衆の被ばく線量限度である1mSv¹¹⁾以内。

④原子力災害医療派遣チーム兼任の隊員はDMAT派遣隊に加わらない。

⑤派遣隊を複数組織できる施設では、その半数強を初回に派遣、残りを2回目以降に派遣する。

⑥DMAT縮小派遣隊が病院避難における医療搬送を担当できる患者数については、人工呼吸や循環作動薬の持続静注などを実施中の重症者は1隊当たり1人、持続点滴・酸素吸入・経管栄養などの医療行為実施中の患者（重症者を除く）は1隊当たり5人と仮定。搬送車両1台で対応できる患者数について、重症患者は1人（救急車）、医療行為実施中の患者を含む担送患者は10人（大型バスなど）と想定。

3) 原子力災害時に患者を臥位搬送できるDMAT車輛数の調査

2020年6～8月に、原子力災害時に活動可能と回答した隊員が1人以上所属する中国・四国地方9県の医療施設のDMAT担当事務職に対して、災害時に派遣されるDMAT隊が使用できる車輛の保有台数、およびこのうち患者などを臥位で搬送できる車輛の保有台数について、電話調査を行った。

4) 原子力災害時の急性期病院避難における必要派遣隊数・車両台数の推計

上記、方法の1)で算出したDMAT縮小派遣隊1隊が病院避難における医療搬送を担当できる患者数を、①原子力災害発生後超急性期（発災後数日）で生ずる病院避難の医療需要、②事故が進展し30km圏内に避難指示が出た段階（例えば発災1週間後）で生ずる医療需要、の2つの時相毎に比較した。①については伊方原発に最も近い3病院の特定の1日（2018年7月7日）における入院患者総数とその内訳（病院避難に至る入院患者数、うち担送患者数、医療行為実施中の患者数、重症者数⁸⁾）を適用し、病院避難における医療搬送に必要なDMAT派遣隊の総数・臥位搬送車両台数を試算した。また、②については2012年12月時点の、伊方原発から30km圏内の入院患者の総数ならびに救護区分、重症患者数など^{6),7)}を適用し、必要となる派遣隊の総数・臥位搬送車両台数を試算した。

表 1. 中国・四国地方の日本 DMAT 隊員数（職種別）と原子力災害時の活動許容性

職種	回答者総数	原子力災害時の活動を 容認する隊員数	1mSvを超えるの累積 被ばく線量を容認する 隊員数
医師	250 (13)	152 (10)	81 (9)
看護師	412 (15)	164 (5)	73 (4)
診療放射線技師	33 (5)	26 (4)	21 (4)
薬剤師	54 (1)	28 (0)	4 (0)
理学療法士他の医療職	104 (2)	52 (1)	22 (0)
事務職	107 (3)	36 (1)	13 (1)
合計	960 (39)	458 (21)	214 (13)

括弧内の数字は原子力災害医療派遣チーム兼任の隊員数

2019年、中国・四国地方の1,553人の日本DMAT隊員（1,594人の登録隊員の内、調査時点で病気休暇などのため非活動中であった隊員41人を除く）にアンケート票を送付して調査した。回答総数は960人、うち39人は原子力災害医療派遣チーム兼任であった。

5) 倫理的配慮

本研究は、市立八幡浜総合病院および福島県立医科大学倫理委員会の承認を受けて行った（承認番号20190110-001 および一般2019-038）。

3. 結果

1) 原子力災害時に活動可能なDMAT隊員数、派遣隊数

中国・四国地方9県に所属する日本DMAT隊員で、被ばくを許容し原子力災害時の支援活動などに当たることができると回答した458人中、原子力災害医療派遣チーム兼任の隊員は21人であった。上記を除く437人の内訳を職種別にみると、医師が142人（32.5%）、看護師159人（36.4%）、診療放射線技師（以下、放射線技師）22人（5.0%）、薬剤師28人（6.4%）、理学療法士など51人（11.7%）、事務職35人（8.0%）であった。一方、許容線量別では、上記437人中、1 mSvを超えて活動できると回答した隊員は196人で、その内訳は医師が72人（36.7%）、看護師69人（35.2%）、放射線技師17人（8.7%）、薬剤師4人（2.0%）、理学療法士など22人（11.2%）、事務職は12人（6.1%）であった（表1、図1）。

上記437人でDMAT縮小派遣隊を編成すると、活

動中の累積線量上限を1 mSv以下と設定した場合は191隊、それ以上の線量では72隊と試算された。さらに、1施設2隊以上を組織できる場合に半数弱を2回目以降の派遣に回すとすれば、1回目に派遣可能なDMAT縮小派遣隊数は、許容線量1 mSv以下では120隊、1 mSvを超えて活動ができる隊は56隊と試算された（図1、2）。

2) DMAT縮小派遣隊が使用できる、臥位搬送用車輛の数

原子力災害時に派遣できる隊を有する87施設において、それぞれ1台以上のDMAT活動用の車輛を保有していた。このうち要配慮者を臥位で搬送できる車輛は51台であった。

3) 原子力災害時の急性期病院避難における必要派遣隊数・車両台数との比較

① 原子力災害発生後超急性期（発災後数日）で生ずる病院避難需要との比較

2018年7月7日の時点での伊方原発に最も近い3病院（いずれも発電所から直線距離12.5km以内）の入院患者総数（353人）、病院避難を希望する入院患者数（228人）、うち担送患者数（101人）、医療行為実施中の患者数（49人）、重症者数（6人）であった⁸⁾。従って、重症患者（6人）および病院避難に至る医療

図1. 中国・四国地方における原子力災害時に活動できるDMAT 隊員（2019年調査時）の詳細

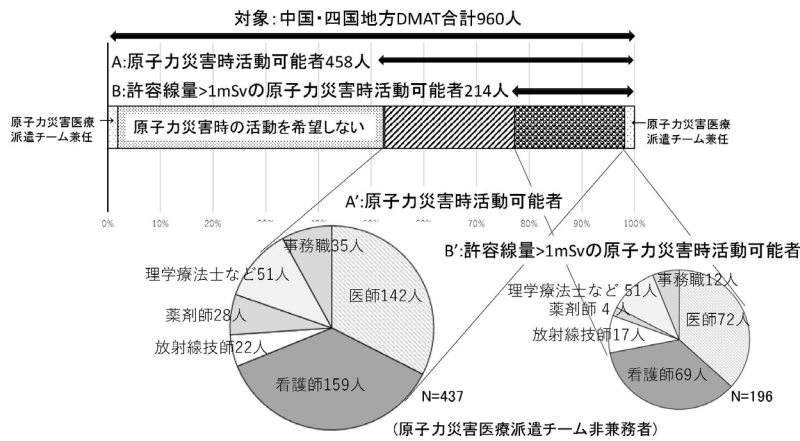
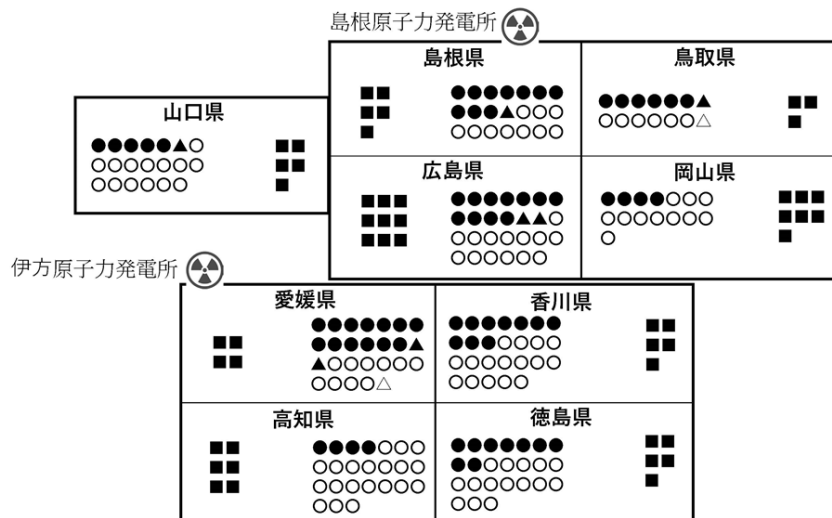


図2. 中国・四国地方における原子力災害時に活動できる縮小派遣隊数と臥位で搬送できる車輛数（2019年調査時）



●, ▲; 累積被ばく線量 1 mSv を超えて活動できる縮小派遣隊 (●は原子力災害医療派遣チーム非兼任、▲は原子力災害医療派遣チーム兼任)、○, △; 累積被ばく線量 1 mSv 以下で活動できる縮小派遣隊 (○は原子力災害医療派遣チーム非兼任、△は原子力災害医療派遣チーム兼任)、■; 原子力災害時に使用できる車輛 (臥位で搬送可能なもの)

行為実施中の患者数（重症者を除き 43 人）を搬送するのに必要な派遣隊数は、近隣 DMAT による派遣隊 1 隊が担当できる重症者数を 1 人、医療行為実施中の患者数（重症者を除く）を 5 人と仮定すると、少なくとも 14 隊が必要と試算された。上記 3. 結果 1) で試算された 191 隊のうち、愛媛県内で確保できる初回の派遣隊数（原子力災害医療派遣医療チーム兼任者を除く）は 13 隊で、医療行為実施中の患者 49 人中 41 人（83.7%、重症患者 6 人とそれ以外 35 人）を搬送できると試算された。これらの隊が使用できる車輛で

患者を仰臥位で搬送できるものは 4 台で、重症患者 6 人中 4 人（66.7%）を自力で搬送できるとどまった。

② 30km 圏内に避難指示が出た段階（概ね発災 1 週間後）で生ずる医療需要との比較

2012 年⁶⁾、2014 年⁷⁾に行った調査によると、30km 圏内の入院患者に避難指示が出た場合に、病院避難を選択する入院患者は 1,168 人、担送患者は 437 人（医療行為実施中の患者については調べていない）と想定され、人工呼吸や循環作動薬の持続静注を要する重症患者は 69 人に上ると予想された。これ

らの搬送需要に中国・四国地方の DMAT 縮小派遣隊で対応した場合、9 県で確保できる初回の派遣隊数(原子力災害派遣医療チーム兼任者を除く)は 120 隊で、これらの隊で重症患者の全員と残る担送患者 368 人のうち 51 人(13.9%)を搬送できると試算された。それゆえ 30km 圏内の入院患者に避難指示が出た場合にも、DMAT 縮小派遣隊で主要な医療搬送が可能と試算された。これらの隊が使用できる車輛で患者を仰臥位で搬送できるものは 51 台で、重症患者の 73.9%を自力で搬送できるとどまった。

4. 考察

本研究における中国・四国地方の DMAT 隊員への意識調査の結果から、原子力災害時に活動可能な DMAT 隊数は、原子力災害発生後超急性期、同 30km 圏内に避難指示が出た段階の双方における重症患者の医療需要を上回ると試算された。また、重症患者以外の医療行為実施中の患者搬送についても、超急性期医療需要の 8 割以上を担うことが可能と考えられた。従って中国・四国地方で原子力災害が発生した場合、DMAT は原子力災害時緊急病院避難での医療搬送(特に重症患者の搬送)において多大なる貢献が可能であるとえられる。

2011 年の福島第一原発事故において、入院入所者の避難に際し 60 人以上の死亡者が発生した¹⁾⁻⁵⁾。原子力災害時の入院患者の避難に際しては、被災地外の医療機関に連絡を取り搬送先を確保し、また搬送手段を確保する必要がある。そして、実際の搬送時には搬送中のケアや医療の継続、バイタルサイン監視などを担当する医療従事者の同乗が望まれる。しかし、愛媛県などの地域防災計画¹¹⁾をみる限り、搬送中の患者観察や医療継続を誰がどのように行うか、立地道府県が搬送要員派遣をどのように調整するか、などの具体的な方法については記載されていない。

われわれは原子力災害時の医療支援を行いうる組織として、第 1 に上げるべきは DMAT と考えた。過去の事例においては、2011 年 3 月 18 日～22 日に有志 DMAT が介護保健福祉施設入居者 509 人の医療搬送を担当している。DMAT の活動中には搬送中や直後の死亡者は 1 人も発生しておらず、それ以前の緊急避難時に発生した避難時死亡と考え合わせると、DMAT の高い医療搬送能力を示す事実と考えられる^{12,13)}。しかし、日本 DMAT 活動要領¹⁴⁾には 2022 年、新興感染症に係る DMAT 活動についての記載が加えられたが、依然原子力災害時の活動については触れられて

いない。ただ、仮に厚生労働省の DMAT 事務局が原子力災害の被災地への DMAT 派遣を考慮しないとしても、自治体の応援協定¹⁵⁾などに基づき、その設置母体自治体の医療機関などが DMAT 資格を有する医療職を派遣する状況があると考えられる。

わが国における医療者の災害医療派遣では、原子力災害被災地への派遣及び活動を隊員個人が了承することが前提となる。本研究の結果からは、DMAT に原子力災害時に活動する意志を有する隊員が存在し、少なく見積もっても全 DMAT 隊員の 30%以上が原子力災害時の活動を許容すると想定される⁹⁾。そして、その数は中国・四国地方 9 県では 450 人を超えると考えられた¹⁰⁾。改めて DMAT に原子力災害における医療活動の中心的役割を期待しうることが示された。

原子力災害時の DMAT 編成を実効性あるものとするため、本研究では以下の 3 点を工夫した。

1 点目は県原子力防災訓練の一環として実施した入院患者避難訓練の経験¹⁶⁾から、大型バスで搬送できる要担送患者数を推計したことである。われわれは座位を取れない模擬患者を大型バス内へ搬入し、3 座席分のスペースに横臥させた。また同乗医療スタッフの座席、医療機器や患者の荷物(点滴や経管栄養食を含む医薬品、医療情報文書など)を再現、配置した。この経験から、53 人乗り大型バスであれば要担送患者 10 人を搬送、これを同乗者 5 人程度で看視・医療継続することが基準になると考えた。また、人工呼吸や循環作動薬投与を要する重症患者では救急車 1 台、(運転手を含む)同乗者 2,3 人の体制が妥当と考え、解析に用いた。

2 点目は DMAT 1 隊の構成と人数を同一医療機関に所属する 2～3 人からなる縮小派遣隊とした点である。特に原子力災害発生後超急性期(発災後数日)において、隊員は被災地到着後より速やかに活動を開始でき、各隊がある程度の医療処置を現場で実施することが望ましい。このことから同一医療機関から派遣される、医師または看護師に調整担当職員 1 人を加えた、1 隊 2～3 人からなる派遣隊、いわば「DMAT 縮小派遣隊」として、避難のための搬送に当てられた救急車や大型バスに同乗、あるいはトリアージや治療ゾーンなどで活動することができるよう配慮した。

3 点目は、当初から後発隊派遣を想定して、隊編成を行った点である。大規模施設では複数の派遣隊を組織する能力を持つ。シームレスな災害医療支援を行うためには、施設の保有する全隊を一度に派遣するのではなく、一部を 2 回目以降の派遣に回すのが戦略的な

表2. 累積線量 1mSv 以下またはこれを超える線量を容認する中国・四国地方の DMAT 隊員によって組織できる縮小派遣隊数および臥位搬送できる車輛数

県No.	施設 No.	≦ 1 mSv		> 1 mSv		使用可能な車輛数
		隊数	各隊の隊員数	隊数	各隊の隊員数	
1	1	2 (1)	3, 2	1 (1)	2	
	2	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	
	3	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	
	4	3 (2)	3, 3, 3	3 (2)	3, 2, 2	1
	5	5 (3)	3,2,2,2,2	4 (2)	3,2,2,2	1
	6	5 (3)	3,2,2,2,2	2 (1)	2, 2	1
	7	4 (2)	2,2,2,2	2 (1)	3, 2	1
	8	3 (2)	2,2,2	1 (1)	2	
	合計1	26 (15)		15 (10)		4
	合計2	23 (13)		13 (10)		
2	9	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	10	2 (1)	2, 2			
	11	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	
	12	4 (2)	2,2,2,2	2 (1)	2, 2	1
	13	3 (2)	3,2,2	1 (1)	3	1
	14	2 (1)	3, 2	1 (1)	2	1
	15	6 (3)	3,2,2,2,2,2	3 (2)	3, 2, 2	2
	16	4 (2)	2,2,2,2			1
	17	3 (2)	2,2,2	1 (1)	2	
合計1,2	26 (15)		10 (8)		7	
3	18	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	19	3 (2)	2,2,2			1
	20	3 (2)	2,2,2			
	21	4 (2)	2,2,2,2	1 (1)	2	
	22	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	
	23	2 (1)	3, 2	1 (1)	2	
	24	4 (2)	3,2,2,2	3 (2)	2,2,2	
	25	2 (1)	2, 2			1
	26	2 (1)	2, 2	1 (1)	3	
	27	1 (1)	2			
	28	2 (1)	2, 2	1 (1)	3	1
29	1 (1)	3			1	
30	1 (1)	2				
合計1,2	29 (17)		9 (8)		5	
4	31	4 (2)	2,2,2,2	1 (1)	3	
	32	3 (2)	2,2,2	2 (1)	3, 2	
	33	3 (2)	3,2,2	1 (1)	2	1
	34	1 (1)	2			1
	35	1 (1)	2			
	36	1 (1)	3			1
	37	4 (2)	3,2,2,2			
	38	1 (1)	2			
	39	1 (1)	2			
	40	1 (1)	2			1
	41	2 (1)	2, 2			
	42	1 (1)	2			1
	43	1 (1)	2			1
合計1,2	24 (17)		4 (3)		6	

県No.	施設 No.	≦ 1 mSv		> 1 mSv		使用可能な車輛数
		隊数	各隊の隊員数	隊数	各隊の隊員数	
5	44	1 (1)	3			1
	45	1 (1)	2			
	46	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	47	1 (1)	3			
	48	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	49	1 (1)	2			
	50	2 (1)	3, 2	1 (1)	2	1
	51	2 (1)	3, 2	1 (1)	3	
	52	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	53	1 (1)	3	1 (1)	2	1
	54	2 (1)	2, 2	1 (1)	3	1
	55	1 (1)	2	1 (1)	2	1
	56	6 (3)	2,2,2,2,2,2	3 (2)	3, 2, 2	
	57	2 (1)	3, 2	2 (1)	2, 2	
	58	1 (1)	2			1
	合計1	27 (17)		13 (11)		9
	合計2	25 (16)		11 (10)		
6	59	2 (1)	3, 2	1 (1)	2	
	60	1 (1)	3	1 (1)	2	1
	61	1 (1)	2			1
	62	5 (3)	3,2,2,2,2	4 (2)	2,2,2,2,2	1
	63	6 (3)	2,2,2,2,2,2	5 (3)	2,2,2,2,2	1
	64	1 (1)	2			
	65	2 (1)	2, 2			
	66	1 (1)	3			1
	合計1	19 (12)		11 (7)		5
	合計2	18 (12)		10 (8)		
7	67	3 (2)	2,2,2	2 (1)	2, 2	
	68	2 (1)	2, 2			1
	69	5 (3)	2,2,2,2,2	2 (1)	3,2	
	70	4 (2)	3,2,2,2	3 (2)	2,2,2	2
	合計1	14 (8)		7 (4)		3
合計2	12 (7)		6 (3)			
8	71	1 (1)	3	1 (1)	2	
	72	2 (1)	3, 2			1
	73	3 (2)	3,2,2	1 (1)	3	1
	74	3 (2)	3,2,2	1 (1)	3	
	75	2 (1)	2, 2	1 (1)	3	1
	76	1 (1)	2			1
	77	1 (1)	2			
	78	1 (1)	3			
	79	2 (1)	2, 2	1 (1)	3	1
	80	4 (2)	2,2,2,2	1 (1)	2	
合計1	20 (13)		6 (6)		5	
合計2	19 (13)		5 (5)			
9	81	3 (2)	3,2,2	1 (1)	2	1
	82	1 (1)	2			1
	83	1 (1)	3			1
	84	2 (1)	2, 2	1 (1)	2	1
	85	6 (3)	2,2,2,2,2,2	2 (1)	2, 2	1
	86	1 (1)	3			1
	87	1 (1)	3			1
合計1,2	15 (10)		4 (3)		7	
全県	合計1	200 (124)		79 (60)		51
	合計2	191 (120)		72 (56)		

括弧内の数字は2隊以上の縮小派遣隊を派遣できる施設が、その半数弱を次回以降の派遣のために温存した場合の派遣隊数。合計1は原子力災害医療派遣チーム兼任隊員を縮小派遣隊に加えた場合の、合計2は兼任隊員を隊に加えなかった場合の、派遣隊数。

派遣方針と考える。このことから、本研究の試算では複数の隊を派遣派遣できる施設ではその半数を次段階の派遣のために温存すると想定した。この考え方に立てば中国・四国地方では原子力災害発生時には 87 施設から 191 隊を組織可能であり、うち 120 隊を初回に派遣することができる（原子力災害医療派遣チーム兼任の隊員は除く）。そして、120 隊のうち 56 隊には空間線量値が比較的高い地域での活動を依頼することが可能と試算された。なお、上記派遣隊が運用可能でかつ、臥位での患者搬送が可能な車輛は総数 51 台であった。

時相別に DMAT 縮小派遣隊派遣を考察すると、事故時相①、原子力災害発生後超急性期（発災後数日）に生ずる病院避難の対象は PAZ : Precautional Action Zone（原発から概ね 5km 圏内）¹⁷⁾ とその周辺医療機関と考察した。上記にわれわれの調査⁶⁾における、2018 年 7 月時点、伊方原発に最も近い 3 病院の入院患者総数 353 人、医療処置を受けていた者 49 人（うち重症患者は 6 人）を当てはめ、別途推計した DMAT 縮小派遣隊数と比較すると、このような過酷事故進展の初期においてさえ、立地県内から派遣される派遣隊（今回の試算では愛媛県内から 13 派遣隊を初回に派遣）によって、重症患者の全員を含む医療処置を受けている患者の 80% 以上に、緊急避難中の医療搬送を提供できると試算できた。ただし医療搬送時の車輛については重症患者全員の搬送に対応するのは難しく、別途確保する必要があると考えられた。

事故時相②、すなわち事故の進展により原発 30km 圏内の住民に避難指示が出た場合、病院避難を選択する入院患者は 1,168 人、人工呼吸や循環作動薬の持続静注を要する重症患者は 69 人に上ると想定された^{6),7)}。愛媛県を含む中国・四国地方から約 120 の派遣隊が編成可能で、うち 56 隊は空間線量率が比較的高い地域でも活動することができることから、最初に活動している 13 の DMAT 縮小派遣隊を除いても、重症患者全員を含む、一部の医療処置を受けている患者の避難時の医療搬送が可能と考えた。一方、搬送車輛については、中国・四国地方で確保できる臥位搬送可能な車輛 51 台のうち、第一陣で使用した車輛が再運用可能である保証はなく、医療搬送時の車輛確保が課題と考えられた。原子力災害発生時に入院患者を被災地外へ医療搬送するのに際し、訓練を受けた DMAT 隊員の関与は大きな力になる。しかし、担送患者などを搬送できる車輛の不足が予想されるため、その確保が課題と考えられた。

原子力災害における医療活動中の被ばく線量については、福島第一原発事故時の災害救助等の活動に従事した警察官、消防隊員、自衛隊員を対象として、原子力災害の初期段階（概ね 2011 年 3 月 12 日～3 月 31 日）の同原発から半径 20 km 圏内で活動を行った者 2,967 人の被ばく線量分析結果によると、防災業務関係者（警察・消防・自衛隊）の 62% で累積被ばく線量が 1mSv 未満であり、消防・警察に限るとその 88% が 1mSv 未満（最大累積被ばく 2.2mSv）であったと報告されている。上記からは、より被ばく機会の多い職種であっても累積 1mSv を超える活動は稀であったことがうかがわれる¹⁷⁾。活動中に隊員ごとに被ばく線量をモニターし、公衆のひばく被ばく線量限度¹¹⁾である 1 mSv を超えない段階で活動を他の隊またはそれ以上のひばくを許容する隊に引き継ぐ方針を取ることにより、隊員個人の許容可能な線量の範囲内で医療活動を実施することが可能と考えられた。

今回の検討により、中国・四国地方の 2 つの原発のいずれかが過酷事故を来し、原発周辺の医療機関からの避難が必要になった場合、どのくらいの規模の DMAT 隊員による支援を要請できるかについて試算することができた。しかし、横断研究である本研究の限界として、DMAT 隊員の原子力災害における活動許容性は将来の原子力災害が発生した時点において変化し、結果として本研究結果とは異なる可能性がある。今後は、現時点の対応能力を知ることを起点とし、将来に向けて、原子力災害についての知識を持ちかつ原子力災害時の活動を許容する隊員を増やして行けるよう、情報提供や教育を行ってゆく事が重要と考えた。また、厚生労働省や DMAT 事務局に原子力災害時の DMAT 派遣をより積極的に検討していただくこと、原子力災害時の相互協力に関して自治体間の協定締結や計画策定を推進していただくことが期待された。その他、抽出された担送可能車輛が現実的に原子力災害時に利用可能かは未知数である点、愛媛県を含む中国・四国地方の入院患者総数・医療行為実施中の患者数・重症者数の代表性、受入れ医療機関とその調整に関する要因を試算に加味していない点、などが本研究の限界と考えられた。また、原子力災害時の要配慮者の避難支援を考える上で、医学的重症度は入院患者を下回るものの、多数の要担送者を含む老人保健施設入所者への搬送、医療支援についても必要人員についての試算が必要である。

以上、原子力災害時の活動を許容すると回答した中国・四国地方の日本 DMAT 隊員を対象に、原子力災害

時に同地方において組織できる DMAT 派遣隊の数を試算した。これらの結果をもとに、原子力災害時のより具体的な避難計画策定につなげたい。

参考文献

- 1) 谷川攻一、近藤 久禎、浅利 靖ほか：福島原子力発電所事故災害に学ぶ—震災後 5 日間の医療活動から—。日本救急医学会雑誌 2011; 22: 782-91.
- 2) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会：4.2.3. 病院の全患者避難。国会事故調報告書、東京、徳間書店、2012、pp 357-365.
- 3) Tanigawa K, Hosoi Y, Hirohashi Y, et al: Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. Lancet 2012; 379: 889-891。
- 4) Hasegawa A, Tanigawa K, Ohtsuru A, et al: Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. Lancet 2015; 386: 479-88.
- 5) Willoughby M. Mortality in Nursing home Following Emergency Evacuation A Systemic Review. JAMDA 2017; 18: 664-70.
- 6) 越智元郎：原発 30km 圏内医療機関の入院患者と職員の避難について。全自病協雑誌 2016: 55; 208-215。
- 7) 越智元郎、川口久美、石見久美ほか：伊方原発 30km 圏内からの入院患者避難シミュレーション—実入院患者および家族からの聞き取り調査をもとに—。南予医誌 2020; 20: 1-6。
- 8) 越智元郎、平塚義康、川口久美ほか：中止となった 2018 年愛媛県原子力災害時の入院患者避難訓練に関する検討、南予医誌 2022; 22:36-45。
- 9) 越智元郎、長谷川有史、廣橋伸之ほか：原子力災害時の活動に関する DMAT 隊員への意識調査。日本災害医学会雑誌 2022; 27: 65-74。
- 10) 環境省：第 1 章 放射線の基礎知識と健康影響、放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料（平成 26 年度版）
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/kisoshiryo/attach/201510mat2s-01-4.pdf>（2023 年 11 月 14 日アクセス）
- 11) 愛媛県地域防災計画（原子力災害対策編）、2021 年 3 月 10 日更新 <https://www.pref.ehime.jp/h15550/keikaku/bousaikeikaku.html>（2023 年 11 月 14 日アクセス）
- 12) Ushizawa H, Foxwell AR, Bice S, et al. Needs for disaster medicine: lessons from the field of the Great East Japan Earthquake. Western Pacific Surveill Response J 2013;4:51e55.
- 13) Yanagawa Y, Miyawaki H, Shimada J, et al. Medical evacuation of patients to other hospitals due to the Fukushima I nuclear accidents. Prehosp Disaster Med 2011; 26: e391-393.
- 14) 日本 DMAT 活動要領の一部改正について—医政地発 0208 第 1 号（2022 年 2 月 8 日、厚生労働省医政局地域医療計画課長発、各都道府県衛生主管部（局）長宛
- 15) 中国・四国地方知事会：中国・四国地方の災害等発生時の広域支援に関する協定に基づく支援・受援マニュアル、2017 年 3 月。
- 16) 越智元郎、川口久美、石見久美ほか：愛媛県原子力防災訓練の一環として実施した入院患者避難訓練。南予医誌 2021; 21: 64-73
- 17) (3) 原子力災害対策重点区域。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、令和 2 年 2 月 5 日一部改正) p.53-57. <https://www.nsr.go.jp/data/000300735.pdf>（2023 年 11 月 14 日アクセス）
- 18) 内閣府政策統括官（原子力防災担当）：東京電力福島第一原子力発電所事故時のオフサイトでの実動組織の活動状況等について、2015 年 10 月 26 日 https://www8.cao.go.jp/genshiryoku_bousai/pdf/05_shiryoku0411.pdf（2023 年 11 月 14 日アクセス）

Estimating the number of DMAT units that can act during a radiation disaster through a questionnaire survey in Chugoku and Shikoku areas

Genro Ochi¹⁾, Arifumi Hasegawa²⁾, Nobuyuki Hirohashi³⁾, Naoyuki Yamamoto⁴⁾, Takeshi Morizane⁵⁾, Kensuke Umakoshi⁶⁾, Yoshiyasu Hiratsuka⁷⁾ and Takafumi Ohkura⁸⁾

1) Dept. of Anesthesiology/Disaster Management Office, 7) Dept. of Radiology and 8) Director, Yawatahama Municipal Hospital

2) Dept. of Radiation Disaster Medicine, Fukushima Medical University School of Medicine

3) Dept. of Radiation Disaster Medicine, Research Institute for Radiation Biology and Medicine, Hiroshima University

4) Nuclear Safety Research Association

5) Dept. of Emergency Medicine, Matsuyama Red Cross Hospital

6) Dept. of Emergency Medicine, Ehime Prefectural Central Hospital

Abstract

Background: Based on a previous study, it was estimated that approximately 30% of Japanese DMAT (Disaster Medical Assistance Team) members accept activities during a radiation disaster. In this study, we simulated the number of DMAT units composed of members who can be organized in the event of a radiation disaster and the number of DMAT's vehicles to transport patients in a supine position in Chugoku and Shikoku areas.

Method: We aggregated the number of DMAT members who accepted a posting during a radiation disaster in Chugoku and Shikoku areas. This is assuming that each DMAT units comprises 2 or 3 members who can act for a cumulative dose of 1 mSv (millisievert) or less and for a dose exceeding 1mSv of radiation. We also investigated the number of vehicles that can transport patients in a supine position through telephonic interviews with staffers organizing rosters for each DMAT. Then, we estimated whether DMAT in Chugoku and Shikoku areas could satisfy the demand of transportation and medical support for hospitalized patients who need evacuation from the Ikata nuclear power plant in Ehime Prefecture.

Results: Results showed that 200 units at 87 institutes and 48 units at 79 could operate for a cumulative dose of 1 mSv or less and for a dose exceeding 1 mSv of radiation, respectively. Excluding radiological DMAT members from the DMAT activities, 191 and 72 units could be posted for a dose within 1 mSv and for a dose exceeding 1 mSv of radiation, respectively. Assuming that half of the units would be posted if more than two units are available from an institute, 120 and 56 units were posted for the cumulative doses of radiation. Regarding transport, 51 vehicles could transport patients in a supine position.

Discussion and Conclusion: Comparing the simulated number of hospitalized patients who need evacuation from the Ikata nuclear power plant in the previous study, DMAT in Chugoku and Shikoku areas could satisfy medical demand of transporting seriously ill patients but the number of DMAT's vehicles could not meet the demand of transportation in the case of a radiological disaster. These data will help in drawing up more concrete evacuation plans in the event of a radiation disaster.

EPRBioDose2022 Online に参加して

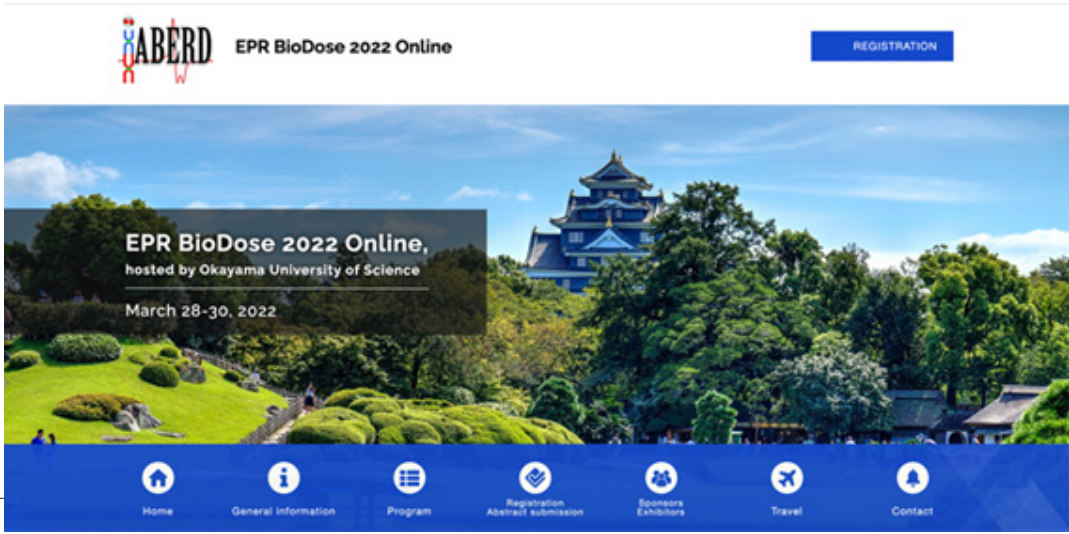
国立保健医療科学院 山口一郎

事故の際に受けた放射線の量を評価する方法として生体試料や生理学的試料を用いる方法がある。この方法には生物学的なものや物理的なものがあり、物理的な方法には電子スピン共鳴法を用いたものもある。これらの2つの線量評価法を扱う EPRBioDose2022 Online が国内組織委員会 (LOC) の運営により 2022 年 3 月に開催されたので報告したい。

EPRBioDose2022 Online は International Association of Biological and EPR Radiation Dosimetry (IABERD) の主催により開催された。EPRBioDose は、The International Symposia on EPR Dosimetry and Dating (EPR) と The International Conference on Biological Dosimetry (BioDose) が合同で開催されるもので、当初は、EPR の会合が 1985 年に開始されており、1998 年から拡大され BioDose の会合も含むようになった。

EPRBioDose2022 Online の前の開催は、EPRBioDose2015 であった。米国のダートマス大学で開催された EPRBioDose2015 では次回の開催に関して日本を含めて 3 カ所から提案があったがさらに検討が必要とされ翌年の学会員による投票に持ち越され、投票の結果、今回は 2020 年に岡山で開催することとされた (大会長は岡山理科大学の豊田新教授)。しかし、その後の Covid-19 の蔓延により延期され 2021 年にハイブリッド形式での開催が模索されたが状況が改善せず、完全オンラインで 2022 年 3 月に開催することが 2021 年 6 月に決定された。このように社会情勢が変化の中で開催のあり方に関して LOC でも継続的に議論されてきたが、かつて経験がない完全オンライン開催に向けての準備が求められた。

図 学会ホームページ



Proceedings of the 2022 EPR Biodose Conferences は、Radiation Protection Dosimetry で出版されている (199(14), 2023)。

1 <https://iaberd.org/>

オンライン開催では、どのようなプラットフォームを用いるかを選択する必要がある。LOC では委員の一人である弘前大学の Anderson Donovan 特任助教（開催準備中は福島大学に所属）が使用経験のある Remo を用いることとした。結果として、満足のいく運営ができたが、準備や当日の運営において Donovan 先生が果たした貢献が極めて大きかった。また、オンラインでの開催となるため情報の円滑な共有が重要となるが、参加者向けには JAEA の岡壽崇先生と広島大学の廣田誠子先生が学会の web site を管理くださり（図）、運営スタッフ間では Slack を用いたがこれらもよく機能した。初めての試みであることからリハーサルでは IABERD の Scientific committee の方々にも多大な協力を頂いた。

EPRBioDose2022 Online には 22 の国・地域からおおよそ 130 人の登録参加者があり、5 つの招待講演と 67 のポスター発表があった。オンライン開催であったので、口頭発表での直前の演者と座長の確認に参加者も関わることができ、発表開始直前まで議論する場面もあった。また、ポスター発表ではオンラインの特性をいかして動画も利用可能となり工夫したプレゼン資料を楽しむことができた。さらにオンラインの開催であるので、Remo の機能を用いてプレゼン資料をインタラクティブに操作することで発表内容に対する検討を深めることができた。学会開催中に参加者を呼び出すことも容易でポスターの前での参加者間での議論で解決が付かないところは発表者を呼び出して質疑につなげることができるだけでなく、出展してくださっている企業のブースに常時、スタッフがいなくても会場内にいるのであれば参加者の求めに応じて容易に呼び出すことができ相談に応じてもらっていた。その一方でオンラインでの開催のためのトラブルへの対応も必要となった。筆者もリテラシーの不足からリハーサル時にマイクの接続に苦労したが、皆様からアイデアを頂き解決できた。中国からの参加者は Remo でのビデオ会議参加が不可となっていたので、急遽、LOC により Zoom を用いた中継を追加した。学会は好評でコンテンツの公開期間を延長した。

このように EPRBioDose2022 は Online で開催されたが、対面での学会を望む意見もあり、EPRBiodose Paris 2022 が 7 月 7 日から 10 日にフランスのパリで開催された。日本では対面で実施されなかったこともあり、EPRBioDose2024 は弘前大学で 2024 年 9 月 25 日から 28 日に開催が予定されている（大会長は三浦富智教授）。ご関心をお持ちの方の参加をお待ちしている。

調査報告

原子力災害時における詳細測定用可搬型甲状腺モニタの製品化への取り組みと利用

株式会社千代田テクノロ 小澤 慎吾、酒井 昭宏

背景

国の原子力災害に関する防災計画では、緊急時に甲状腺被ばく線量モニタリング（以下、甲状腺モニタリング）等を対象となる住民等に行い、当該住民等の被ばく線量の評価・推定を適切に行えるよう、必要な資機材及び要員を確保することが求められている。甲状腺モニタリングは、放射性ヨウ素（主に I-131）の甲状腺への蓄積による内部被ばくが懸念される場合に実施される。I-131 は半減期が約 8 日間と短いため、限られた期間に多くの避難住民を適切に測定する必要がある。現在、甲状腺モニタリング実施マニュアルが令和 5 年 5 月に制定されており、国は原子力災害時の甲状腺被ばく線量把握について具体的な検討を進めている。上記マニュアルでは、甲状腺モニタリングを実施する対象地域、対象者、期間を定めており、NaI(Tl) サーベイメータを用いた簡易測定を概ね 3 週間以内、原子力災害拠点病院等に設置された甲状腺モニタによる詳細測定を概ね 4 週間以内で行うことになっている。しかし甲状腺モニタは、可搬性が劣るため移動して使用することが困難であること、台数が限られているこ

とから、被災地域へ容易に運搬し詳細測定を行うことができ、かつ、放射線感受性の高い小児にも使用可能な、可搬型の甲状腺モニタの開発が求められている。そこで弊社はそれぞれ特徴の異なる 2 種類の甲状腺モニタについて製品化に向けて取り組んでいる。

高バックグラウンド環境下で検査可能な甲状腺モニタ

開発品の特徴

この甲状腺モニタは、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）が開発し、その構造は 1 面が開いた遮蔽体の中に、放射線のエネルギー測定が可能な放射線検出器が 2 台搭載されている（図 1 参照）。

本装置での甲状腺被ばく線量の測定は、遮蔽体の開口面が上に向くように机の上に置き、椅子に座った被検査者が上体を伏せることで、甲状腺部分を検出器に近づけて行う（図 2 参照）。このとき、検出器に対する甲状腺部分の位置を一定にするため、ガイド治具を使用する（図 1 参照）。

図 1. JAEA 開発甲状腺モニタ

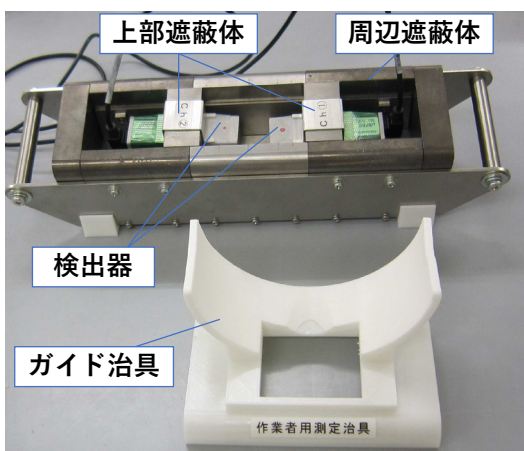


図 2. 甲状腺モニタ測定風景



本装置の大きな特徴は可搬型でありながら遮蔽体を有している点であり、原子力災害の発災箇所近傍の高バックグラウンド環境下に装置を持ち込み検査を行うことが可能である。高バックグラウンド環境下での測定を目指した背景に、福島第一原子力発電所の事故時、避難所での測定の際、測定場所のバックグラウンド線量率が高く、詳細な甲状腺被ばく線量の評価が困難であったことがある。

利用シーン

本装置の特徴から、原子力災害発災時の原子力発電所、オフサイトセンター、避難所等の比較的バックグラウンドが高い場所での利用を想定している。これまで、甲状腺モニタは主に病院で使用されており、その操作及び検査は医師や技師等、放射線分析の専門家が行っていた。しかし、今後の利用シーンでは、必ずしも放射線分析に長けた方が検査を実施できるとは限らないこと、被検者は老若男女にわたること、及び災害時で混乱していることが想定される。製品化にあたっては、ハードウェアについて、安全に検査が行え、かつ装置の運搬・設置が容易に行えるように設計を行う。また、子どもも安心して検査に臨めるような外観デザインを検討する。ソフトウェアについては、専門知識が必要な用語、グラフ等を極力省いた表示画面(別画面で閲覧可能とする)とし、操作方法・検査結果表示の分かりやすさを重視した設計を行う。

高感度で軽量コンパクトな甲状腺モニタ

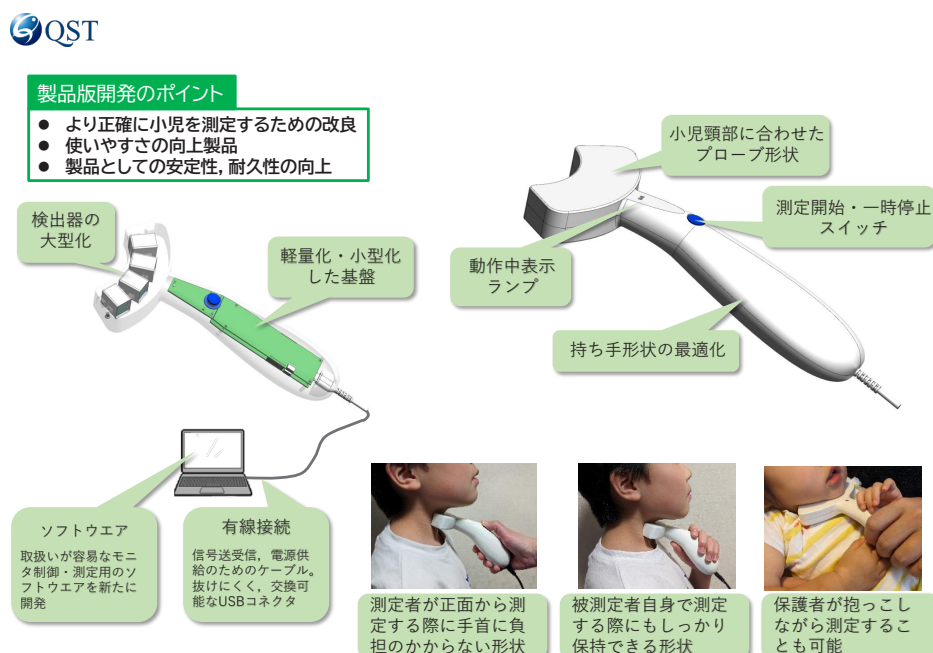
開発品の特徴

この甲状腺モニタは国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下、QST)が開発し、軽量コンパクトな検出プローブを備えている(図3参照)。本装置は複数の検出器を最適に配置することで甲状腺のI-131に対して高い感度を有し、測定中の被検者の頸部の動きに影響を受けにくい特徴を持つ。本モニタは頸部の短い乳幼児にも十分に使用できるように開発している。保護者自身が子どもを抱いた状態で測定することを想定して、検出プローブの形状を持ちやすく設計するとともに、手元で測定開始・停止が行なえるスイッチを備えている。本装置の校正には小児から成人までの年齢別ファントムを用いており、幅広い年齢の被検者に対する甲状腺モニタリングを適切に行うことが可能である。

利用シーン

本装置はバックグラウンドが比較的管理された環境での測定を想定しており、避難先や各原子力災害拠点病院等での利用を想定している。本装置は軽量で可搬性にも優れているため、簡易測定と同じ会場において詳細測定を兼ねることも可能である。また、簡易測定では保護者等の代理測定が推奨される8歳未満の小児に対しても、必要に応じて測定を行うことができる。

図3. QST 開発甲状腺モニタの外観と特徴



将来展望

将来的には、どちらの甲状腺モニタともに可搬性に優れる点、取り扱いが容易である点を活かし、自治体が行う甲状腺モニタリングにおける簡易測定用としての用途拡大の他、医療分野における放射性ヨウ素治療の摂取率測定、退出確認等での利用も検討する。

謝辞

甲状腺モニタの製品化に向けてご協力いただいている、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構殿、及び国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構殿に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

防災基本計画，令和5年5月，中央防災会議
甲状腺被ばく線量モニタリング実施マニュアル，令和5年5月，内閣府
谷村嘉彦，2022年8月、FBNews No.548

RENEB Inter-Laboratory Comparison 2021: Inter-Assay Comparison of Eight Dosimetry Assays (RENEBによる8種類の線量評価法の研究機関間比較研究について)

Radiation Research vol. 199 (No.6): 535-555, 2023

Port, M., Barquinero, J-F., Endesfelder, D., Moquet, J., 等、他 100 名

吉田光明 (染色体生命科学研究所・代表、原子力安全研究協会・主任研究員)

RENEB (Running the European Network of Biological and retrospective Physical dosimetry) は 2016 年以降、欧州 16 か国の計 26 機関が加入し、大規模な放射線・原子力災害の緊急事態における被ばく者の線量推定のために相互に支援を行うネットワークである。今回、RENEB は 27 か国 46 機関から線量評価を実施している 86 チームを招聘し、8 種類の線量評価方法 (DCA, CBMN, FISH, PCC, γ H2AX, EPR, GE, LUM) 間の比較研究を実施し、その結果を Radiation Research に報告した。日本からは量子科学技術研究開発機構 (QST)、弘前大学、福島県立医科大学、長崎大学の 4 機関において細胞遺伝学的線量評価を担当している研究者が参加した。

放射線による被ばく事故または原子力災害における放射線被ばく者の医療措置を支援するためには、放射線被ばくを再構築するためのツールが必要である。さまざまな生物学的および物理的線量測定方法をあらゆる被ばくシナリオに適用して、被ばく者が吸収した電離放射線の線量を推定することが可能である。生物学的線量評価とくに染色体異常を指標とした線量評価に携わる者は、いついかなる時、ど

のようなシナリオの被ばく事故が発生しても対応できるように日頃からスキルの維持は必要不可欠である。また、より高品質・高精度な結果を保証するためには、研究機関間比較 (ILC: Inter-laboratory Comparison) による解析技術の調整や定期的な検証も不可欠である。今回の RENEB による研究機関間比較研究では、技術的に確立された細胞遺伝学的線量評価法 [二動原体染色体法 (DCA)、細胞質分裂ブロック小核法 (CBMN)、染色体転座法 (FISH) および早期染色体凝縮アッセイ (PCC)] の品質について研究機関間において比較研究が行われた。さらに、本論文ではその結果と分子生物学的評価法 [ガンマ-H2AX (γ H2AX)、遺伝子発現 (GE)] および物理線量測定ベースの評価法 [電子常磁性共鳴 (EPR)、光学的または熱刺激発光 (LUM)] との比較も行われた。

今回、3 種類の被検サンプル (血液、エナメル質、モバイルなど) が X 線 (240 kVp, 1 Gy/分) 0、1.2、3.5 Gy の 3 種類の線量で照射され、参加機関 27 か国、46 機関の 86 の専門チームに送られた。これら 3 種類の線量は、被ばく無しから低線量被ばく (0 ~ 1 Gy)、中等度被ばく (1 ~ 2 Gy、重度の急性健康影響は予想されない) および高線量被ばく (> 2 Gy、早期の集中治療が必要) の臨床的な分類にほぼ対応している。日本からの参加 4 機関は全て DCA 法による線量推定に参加した。また、QST は DCA 法に加えて染色体転座法による線量推定にも参加した。この比較研究が終了するまでの 6 週間以内に、86 チームから合計 554 件の線量推定値が提出されたが、時間的に最も早い線量推定値 / カテゴリーは、GE、 γ H2AX、LUM、EPR 法によるもので、サンプルを受け取ってから、5 ~ 10 時間以内に報告された。一方、細胞遺伝学的線量推定法である DCA、CBMN については

略語

DCA : Dicentric Assay

CBMN : Cytokinesis Block Micronucleus Assay

FISH : Fluorescence In Situ Hybridization

PCC : Premature Chromosome Condensation

GE : Gene Expression

EPR : Electron Paramagnetic Resonance

LUM : thermally stimulated luminescence

2～3日以内、染色体転座法については6～7日以内に報告された。

非照射サンプル(0Gy)の場合、8種類の方法において、提出された回答の85.7%～100%がほぼ正しい値を示したが、3.5 Gy照射のサンプルの場合、2 Gy以上の値が得られたのは、 γ H2AX <66.7%>を除く7種類すべての推定法で89%～100%であった。つまり、 γ H2AXによる解析では約33%が0～1Gyとより低い値を示している。また、中等度である1.2 Gyのサンプルの場合、推定結果をみると臨床的に関連するグループ(1～2Gy)に正確に割り当てることは難しく、1～2Gyの範囲に推定値を示したのは22.6%～100%で、誤った推定値の頻度は27.8%～77.4%であった。染色体異常に基づくアッセイでは、非照射と高い線量においてより正確な値が得られたが、EPR、FISH、GEアッセイでは基準線量の2～6倍を超える極端な外れ値が観察された。これらの外れ値は、検査した特定の材料(歯のエナメル)、(FISH法を行った)チームの経験レベルおよび方法的な不確実性(GE)に関連していると考察している。

今回の研究機関間比較研究では、複数の生物学および物理的測定アッセイのために、血液採取から照射、サンプルの発送までを同じ施設で組織化し、実現された最初のRENEBによる比較研究であったが、殆ど全ての分析法は、非被ばく者と高線量被ばく者の識別には適用できると思われる。ただし、極端な外れ値または線量推定値の系統的なシフトが観察されているが、考えられる理由については別の論文(関連文献リスト参照)で説明するという事である。

最期にまとめとして、今回実施された研究機関間比較研究の結果を見ると、技術的な問題を特定し、将来の比較研究を最適化するためだけではなく、どのような研究が今後必要かを見極めるために定期的に訓練を実施する必要がある事を明確に示していると考察した。

関連文献

Vral A, Endessfelder D, Balazs K et al. RENE B Inter-Laboratory Comparison 2021: The Cytokinesis-Block Micronucleus Assay. *Radiat Res* 2023; 199:571-582. doi: 10.1667/RADE-22-00201.1

Endesfelder D, Oestreicher U, Bucher M et al. RENE B Inter-Laboratory Comparison 2021: The Dicentric Chromosome Assay. *Radiat Res* 2023; 199(6):556-70. doi: 10.1667/RADE-22-00202.1.

Barquinero J-F, Abe Y, Aneva N et al. RENE B Inter-Laboratory Comparison 2021: The FISH-based translocation assay. *Radiat Res* 2023; 199(6):583-90. doi: 10.1667/RADE-22-00203.1.

Moquet J, Ainsbury E, Balazs K et al. RENE B Inter-Laboratory Comparison 2021: The gamma-H2AX foci assay. *Radiat Res* 2023; 199(6):591-7. doi: 10.1667/RADE-22-00205.1.

Abend M, Amundson SA, Badie C et al. RENE B Inter-Laboratory Comparison 2021: The gene expression assay. *Radiat Res* 2023; 199(6):598-615. doi: 10.1667/RADE-22-00206.1.

日本放射線事故・災害医学会 編集委員会

編集委員長 細井義夫
編集委員 鈴木 元
富永 隆子
百瀬 琢磨
吉田 光明

日本放射線事故・災害医学会雑誌

2024年1月16日 Vol. 6 No.1 (Ver.2)

発行者 日本放射線事故・災害医学会

〒113-0033 東京都文京区本郷3-11-9

ビクセルお茶の水 医療科学社 内

TEL 03-3818-9821

FAX 03-3818-9371

編集人 日本放射線事故・災害医学会編集委員会

編集委員長 細井義夫

〒113-0033 東京都文京区本郷3-11-9

ビクセルお茶の水 医療科学社 内

TEL 03-3818-9821

FAX 03-3818-9371