

厚生労働行政推進調査事業費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

放射線事故等のリスクアセスメント・対応の検討に関する研究

研究分担者 富永隆子（量子科学技術研究開発機構 放射線医学研究所被ばく医療部 次長心得）

研究要旨：放射線あるいは放射性物質は、さまざまな分野、場所、施設等で使用されており、これらの保管、管理が適切になされなくなると、放射線テロ、災害発生リスクとなる。本分担研究では、放射線、放射性物質に関連する事故、事件を整理し、そのリスク評価と、放射線事故、テロ、災害時の対応について、初動対応の課題を整理した。また、標準枠組みの作成に必要なツール等を整理して、初動対応機関の現場対応、医療機関での診療、専門機関による線量評価や専門的診療の支援、長期的フォローアップ体制の構築まで取り入れた枠組みが必要であることを示した。

A. 研究目的

放射線の事故、災害は非常に稀な事象であることから、過去の事例をもとに対処方法を構築していることが多い。本分担研究では、公表されている近年の放射線に関するイベントや事故の報告を調査、整理して、放射線テロ災害として発生する事象について検討し、対処方法の枠組みについて検討することを目的とした。

さらに、国外の核・放射線の脅威に関する対応状況についても情報収集し、状況を整理することも目的とした。

B. 研究方法

大規模イベントの準備・対応に求められる要素について、特に重要とされるリスクアセスメントとして、国内外の放射線、放射性物質に関する事故、事件について整理した。

国外の事故、事件については、放射線事故等の事象の評価である国際原子力放射線事象評価尺度（INES）¹⁾に基づき、各国が事象に関して、事象の説明、INES 評価、関連する技術情報、プレスリリースが含まれる情報を報告したものを取りまとめたサイト

である NEWS（Nuclear Events Web-based System）²⁾から 2024 年に報告がなされたものを確認し、整理した。

国内の事故、事件については、原子炉等規制法または放射性同位元素等規制法に基づく報告として原子力規制庁に報告され、ウェブサイト公表されているものを確認し、整理した。

放射線事故の初動対応については、警察、消防と化学剤、放射性物質の同時使用を想定した実動訓練を実施し、課題の抽出、解決策の検討を行った。

世界健康安全保障イニシアティブ（GHSI）核・放射線の脅威作業部会（RNWG）に出席し、核・放射線に関する各国の状況について情報共有を行った。

（倫理面への配慮）

本研究は政策研究であり、特段の配慮は必要としない。

C. 研究結果

(1) 標準枠組に求められる要素の整理

NEWS に 2024 年に報告され公表されたイベントは、11 件である。報告は 2024 年であるが、イベントの発生は、2019 年 1 件、2022

年 1 件、2023 年 3 件、2024 年 6 件である。このうち線源が関係するイベントは 4 件あるが、中でもインドネシアのイベントはテロ災害で使用された場合には、外部被ばくをする被災者が多数発生する可能性は否定できない。

インドネシアのイベントの概要は次のとおりである。

- ・ 2024 年 1 月 11 日現地時間 18:00 頃、東ジャワ州スラバヤ市ジャンバンガン地区で、イリジウム 192 を含むガンマカメラ（事件発生時の放射能は 1917.8 GBq/51.8 Ci）の輸送中に、危険線源が紛失したと通知があった。東ジャワ州警察の CBRNE 派遣隊が捜索活動を直ちに実施した。
- ・ 2024 年 1 月 13 日現地時間 07:00 頃、東ジャワ州スラバヤ市パカル地区で、東ジャワ州警察の CBRNE 派遣隊がガンマカメラを発見し、回収した。機器はそのまま残っており、機器の周囲に測定可能な放射線の増加は検出されなかった。所有会社に引き渡された。

このイベントでは線源は無事に回収され、被ばくも発生しなかったが、このイリジウムの線源（Ir-192, 1917.8GBq）がどこかに放置されるようなことが起これば、周辺の人が被ばくする可能性がある。この線源では、Ir-192 の 1 cm 線量当量率定数が $0.117 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ であることから、50cm、1m の距離では、1Sv/h、266mSv/h となり、50cm の距離に 30 分ほど滞在すると 500mSv 程度の被ばくとなる。

メキシコのイベントの線源は、健康影響が起こるほどの被ばくとはならない可能性が高いが、テロ等に使用された場合には、多数の人たちへの対応が必要となることが予想される。メキシコのイベントの概要は次のとおりである。

- ・ 2024 年 9 月 20 日 15:00(UTC-21:00)頃メキシコのバハ・カリフォルニア州ティファナ市で車両に搭載されていた CPN 核密度計が盗難された。この機器には Am-241/Be (当時の放射能は 1.75 GBq)、Cs-137 (当時の放射能は 170 MBq)が含まれていた。
- ・ 2024 年 12 月 6 日 19:36 (UTC-6)、被害を受けた会社の放射線技師は、機器が「Playas de Tijuana」高速道路にあることを知らせる匿名の電話を受けた。最終的に、機器は確保され、20:20 (UTC-6) 頃に回収された。

Am-241 は、原子番号 95、半減期 432.2 年の α 放射体で、超ウラン元素の一つである。Am-241 が α 壊変して Np-237 となる。 α 線のエネルギーは 5.4MeV、 γ 線のエネルギーは非常に低く、僅か 0.06MeV のため、優れた α 線源として厚さ計、煙感知器、Am-Be 中性子線源、水分計などに用いられる。 α 放射体であることから Am-241 では外部被ばくは起こらない。また、酸化ベリリウムと Am-241 を均一に混合してペレットにした Am-241/Be が中性子源として広く利用されている。Cs-137 170MBq は、50cm、1m の距離では、63 $\mu\text{Sv/h}$ 、16 $\mu\text{Sv/h}$ となり、50cm の距離に 30 分ほど滞在すると 30 μSv 程度の被ばくとなる。これらの線源が放置されても健康影響が問題となるほどの被ばくとはならないが、その回収や健康相談の窓口設置などの対応が必要となることが予想される。

国内の事例としては、原子力規制庁に報告され Web ページで公表されている事故を確認、整理した。放射性同位元素等取扱事業所の報告及び届出件数は、2023 年度 6 件、2024 年度（12 月 15 日現在）4 件となっている。このうち放射性同位元素の所在不明の報告は 2023 年度 3 件、2024 年度 2 件となっている。2023 年度の 2 件は、教育機関

でECD ガスクロマトグラフの密封線源(ニッケル 63, 555MBq, 370MBq)の所在不明である。残る1件は事業所での密封線源(アメリカシウム 241, 18.5kBq, 1個)の所在不明である。

2024年度の1件は、海上保安庁の羽田空港における事故に関連する放射性同位元素の所在不明である。もう1件は、研究所の密封線源(ニッケル 63, 370MBq, 1個)を内蔵したECD ガスクロマトグラフ1台が所在不明となっている報告である。

国内の事例の中で、所在不明の線源による外部被ばくは、健康影響が出るほどの線量率になる可能性は非常に低いが、Am-241の所在不明の事案については、内部被ばくの可能性を検討することができる。所在不明のAm-241の線源は密封線源ではあるが、これが非密封の状態となったら、内部被ばくが問題となる。

Am-241, 1 μ mAMADの実効線量係数は 3.9×10^{-5} Sv/Bq³⁾であり、Am-241 18.5kBqを全量吸入摂取した場合の預託実効線量は721.5mSvとなる。この場合、バイオアッセイによる内部被ばく線量評価やCa-DTPAやZn-DTPAによる治療が適応となる。

実際に放射線・放射性物質が使用されたテロ災害は発生していないが、線源の盗難や紛失、所在不明の事例は複数報告されていることから、これらがテロ災害に使用され、放射線テロ災害が発生する蓋然性はないとは断言できない。そのため、外部被ばく、内部被ばく、放射性物質による汚染への対応の枠組みを作成する必要がある。

放射線テロ災害への取組みの標準的枠組みの作成には、リスクの可能性について評価する一方で、対処における体制整備、標準的枠組みの作成では、装備についても検討が必要である。国内では、テロ対策特殊装備展(SEECA; Special Equipment Exhibition & Conference for Anti-Terrorism)が毎年開催されているが、放射

線検知のみならず、さまざまなテロ対策の装備があり、日々進歩している状況である。特に、近年はUAV(Unmanned Aerial Vehicle), UGV(Unmanned Ground Vehicle)が多く展示されている。また、カメラ画像とLiDAR、放射線測定器とLiDARの組合せで、より視覚的に状況把握が簡易にできる機材がいくつかみられた。UAV(Unmanned Aerial Vehicle)はテロ対策の装備としては、検知活動での使用が主流のようだが、広範な現場での対応となると、飛行時間、距離が課題である。無人化による現場活動者の危険回避が可能である。物資輸送では、ペイロードが10kg、最大航続距離400kmのUAVもあった。UAVについては、染色体分析のための血液試料を専門機関に緊急輸送したり、高線量率の現場での放射線量の測定を無人で実施したりするなどの活用方法が考えられる。このような最新の装備についても、標準的枠組みを検討する際には、どのように有効活用、配備すべきか検討する必要がある。

(2) 標準枠組(案)の作成

英国では、保健社会福祉省の執行機関であるUK Health Security Agency(UKHS)が、原子力事故や放射性物質によるテロ後の復興戦略を策定する意思決定者を支援するためのツール⁴⁾が作成されている。

米国では、米国保健福祉省戦略的準備・対応管理局(US Department of Health and Human Services, Administration for Strategic Preparedness and Response)がRREMM(Radiation Emergency Medical Management)⁵⁾というWebサイトを運営しており、ここには放射線緊急事態への対応に関する被ばく医療の診断、治療、線量評価に関する様々な情報やガイドライン、対応者、教育者が必要とする教材や情報などが多岐にわたって提供されている。さらにス

スマートフォンやタブレットで利用できるアプリも提供されている。

国内では、厚生労働行政推進調査事業費補助金^{6),7)}で作成された医療者・現場対応者向けの CBRNE テロ対応の知見を集約し、CBRNE テロ発生時における医療従事者・現場対応者の迅速かつ簡便なテロ傷病者への診断・治療に貢献する情報を提供した CBRNE テロ対策医療・救護支援ツール⁸⁾が使用できる。

このような対応者のために意思決定ツールといったものではないが、量子科学技術研究開発機構（量研）では、被ばく医療の診断、治療、処置、線量評価に関して医療者を主な対象として「被ばく医療診療手引き」（被ばく医療診療手引き編集委員会、2022 年）⁹⁾を発行し、全文は PDF で公開している。さらに、医療機関向け、初動対応機関向けの CBRNE テロ災害の初動対応マニュアル¹⁰⁾を作成して、こちらをウェブサイトでも公開している。これらは各組織でのマニュアル作成の参考となるよう作成したものである。

また、放射線、放射性物質に限らず、CBRNE（Chemical 化学, Biological 生物, Radiation/Radiological 放射線／放射性物質, Nuclear 核, Explosion 爆発）に関して、現地調整所に参集する多機関の対応者を主な対象者とした「実戦 CBRNe テロ・災害対処 -事故・事件・テロでのより良き現場対応のために-」¹¹⁾を本年度改訂して発行した。この書籍では、各初動対応機関の役割や活動方針とともに専門機関の役割、活動についても解説しており、さらに放射線テロ災害と核テロ災害時の基本的形態と対処要領について解説している。

放射線テロ災害の対処については、関係機関、医療機関が、それぞれのマニュアルを作成していると考えられるが、多機関の連携や協働を取り入れた枠組みの作成には至っていないと思われる。放射線テロ災害

が発生した場合、高線量被ばく、内部被ばくの専門的対応の他、被ばくに関する健康被害の不安への対応、急性期の治療は必要ではないが晩発性のリスクの評価が必要な群への健康相談の体制といったことを考慮して、標準的枠組みの作成では、初動対処機関の現場対応、医療機関での診療、専門機関による線量評価や専門的診療の支援、長期的フォローアップ体制の構築まで取り入れた枠組みが必要である。

(3) 放射線事故等の初動対応

放射線事故等は稀な事象であることから知見や技能の向上は実際の対応から得られる機会はない。そのため、マニュアルや活動計画は、訓練によって実効性を検証する必要がある。放医研は 2015 年から、千葉県内で CBRNE テロ災害が発生した場合に、対処能力の向上と連携のための相互理解を深める目的で、千葉県警察、千葉市消防局等と毎年 CBRNE テロ災害に関係した研修や図上訓練、実動訓練を繰り返し実施してきた。10 年以上継続してきた活動であるが CBRNE テロ災害の初動については、多くの課題がある。今回、千葉県警察と千葉市消防局、千葉県内消防の協力により化学剤と放射性物質が同時に使用された事案を想定

（表 1）として初動対応の訓練を実施し、課題抽出と解決策を検討した。以下の 3 点を目標として実施した。

- ① 不審物な白い粉、液体が散布された後の初動対応
- ② 負傷者の救助と初期対応（汚染検査、除染を含む）
- ③ 関係機関間の情報共有、活動方針の決定

ここで、本分担研究に関わる事項として次の課題が抽出された。

多数傷病者発生時には、1 つの消防機関だけでなく、広域応援等で複数の消防機関

や警察組織が連携して対応にあたることになる。そこで被災者の症状や現場の状況を的確に共有できることが重要であるが、相互に必要な情報が異なることから、各組織が必要とする情報が円滑に入手できないことがあった。情報共有のあり方を相互理解しておく必要があった。

神経剤の想定で、負傷者の症状を提示し、検知器でも神経剤の検知があったと状況を付与したことから、解毒薬（アトロピンおよびオキシム剤）の使用が必要であることの判断は的確にできた。しかし、神経剤に対する解毒剤の自動注射機能を有する筋肉注射製剤（以下、「自動注射器」）は一部の消防本部にしか配備されていないことから、現場に解毒薬の搬送を要請するのがどのタイミングなのか、どのように要請するのかといった具体的な方法が明確でなかったことから、訓練実施中に自動注射器の使用まで実施できなかった。

不審な粉は放射性物質の想定であったが、今回の実動訓練では、実際に放射線を検知できるようにはしていなかったことから、汚染検査は適切に実施できなかった。

液体も粉も、視認できる状況であったことから、ビニールシートを被せるといった汚染拡大防止の対策は適切にできていたが、検知器が正常に作動しない、無線機の通信の不具合があるなど、実際の対応でも起こり得る機材の不具合があった。放射線測定器も日常の点検や校正のより適切な管理しておく必要があり、訓練等で正常に動作することを確認することも重要であることが今回の実動訓練で確認できた。

(4) 世界健康安全保障イニシアティブ (GHSI) 核・放射線の脅威作業部会 (RNWG)

2024 年度については、作業部会は 2 月 15 日にオンライン開催された。WG メンバーの連絡先と連絡方法の確認がなされた。ま

た、ドイツでは、「Protection strategies in case of nuclear detonation（核爆発時の防護戦略）」を作成中であり、完成したら英訳して公表する予定であることが報告された。

なお、11 月初旬に作業部会のメンバーによる WhatsApp を利用した GHSI RNTWG WhatsApp group が作成された。11 月 11～15 日に the Event Management Response Framework (EMRF) の訓練が実施され、WG のメンバーにもメール等での通報が入る予定であったが、この通報は受け取っていない。訓練は、東南アジアで、環境中の放射性物質の濃度上昇が検知され、何らかの事象発生が考えられることから、緊急会合が招集されるという想定であった。

D. 考察

放射線はさまざまな分野で使用されており、身近に存在するものである。適切に管理されていれば脅威となることはないが、非破壊検査用の線源といったものは数十 cm の距離に 30 分ほど滞在すると健康影響をきたす線量となるものもあり、外国ではこのような線源が所在不明となっている事例の報告が複数ある。また、放射線テロは、直接的な健康影響が出なくても、放射性物質による汚染や低線量の放射線でも公衆に恐怖や健康影響の懸念を惹起することができ、国内でも放射性物質、線源は多くの分野、場所で使用されていることから、脅威となりうる物質が悪意を持って盗取、使用されるリスクは小さくはない。放射性物質の保管、管理を徹底することがリスク回避には重要である。

技術の進歩によりさまざまな脅威に対する検知器材や装置が開発され、現場で使用されている。UAV、UGV に CBRNE の原因物質の検知機材を搭載して対応車の安全を確保しつつ迅速に原因物質を特定できる機材もあり、放射線のモニタリングができる機材

もある。これらの機材を用いて迅速に現場の状況を把握して、的確に救助、対処方針を決定することができると思われる。このような機材の導入にあたっては、詳細な運用方法を検討し、活動計画に取り入れる必要がある。

地下鉄サリン事件から 30 年が経過し、化学災害・テロ対策として、神経剤に対する解毒剤（アトロピンおよびオキシム剤）の自動注射機能を有する筋肉注射製剤（以下、「自動注射器」）が本邦でも医師、看護職員以外での現場対応者が使用できる体制が整備されてきた。自動注射器の必要性の判断と使用方法については研修が実施され、前述の CBRNE テロ災害対処千葉連携の実動訓練でも迅速に判断されていた。しかし、配備されている場所、消防本部等から現場に自動注射器の輸送を要請するタイミング、方法が明確になっていないことから、自動注射器の使用が訓練中にできなかったことは課題である。この具体的な計画については、多機関連携としても明確にして、共有しておく必要があることから、継続して検討することとしている。

さらに、放射性物質が付着した汚染の可能性がある想定であったが、15 名の負傷者の汚染検査に時間がかかっており、ホットゾーンからの救助後に迅速な脱衣等の除染がなされていない状況でもあった。これは、汚染検査、除染をウォームゾーンで対応する人数が少なかったことが原因であった。汚染検査、除染は、実動訓練でも実際の対処時間を設定して、多数傷病者発生時に 1 時間あたりにどの程度の被災者を対応できるのかを検証する機会が少なく、放射性物質と化学剤が同時に使用されるような

訓練想定を実施することも稀であることから、図上訓練での検証と実動訓練での実際の時間を比較し、活動計画に反映する必要がある。今後の実動訓練ではこの点も検討課題としている。

E. 結論

放射線事故等のリスクアセスメントと対応について、放射線事故等のリスクと起こり得る事故の形態や規模を評価するために、近年の国内外の放射線、放射性物質に関する事故、事件について整理した。対応については、初動対応機関等における課題を整理し、多機関連携や対応の標準的枠組みの作成のために利用可能なツール等を確認した。今後は、これらを参考にマスギャザリングにおける多機関連携を含めた放射線事故、テロ、災害での初動対応について検討していく。

GHSI RNTWG の会合に出席して、放射線事故、テロ、災害への対応に関する情報収集を次年度も継続する。

F. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他

表 1 実動訓練の概要

放医研訓練想定イメージ	REM 施設を貸会議室のビルに見立てて訓練実施 REM 施設前の通路で初動対応を実施 各部隊の現着から開始  2 階で粉、液体散布 多数の負傷者発生 貸会議室のビル (REM 施設) 化学剤 放射線検知 指揮所 現地調整所 汚染検査 除染 一次トリアージ 講堂 (控室)
訓練想定	平日 12 時過ぎに貸し会議室のビル 2 階で男性が粉と液体を複数の部屋に散布して逃走し、多くの負傷者が発生（歩行不能 10 名、歩行可能 5 名）。化学剤、放射線、生物剤等の検知を行い、化学剤と放射線を検知。負傷者は化学剤（神経剤）と放射性物質による汚染が混在している。
訓練目的	多数の一般客が使用する商業施設において CBRNE テロ災害が発生した際の初動対応における各関係機関の活動、役割、関係機関間の連携について訓練、検証する。 ① 不審物な粉、液体が散布された後の初動対応 ② 負傷者の救助と初期対応（汚染検査、除染を含む） ③ 関係機関間の情報共有、活動方針の決定
想定脅威の	粉；蛍光剤を使用して汚染拡大を視認できるようにした。 液体；サリチル酸メチルを使用して、神経剤として検知したこととした。
機 参 関 加	千葉県警察、千葉市消防局、千葉県内消防機関、量研機構放射線医学研究所 訓練評価； 放医研

参考資料

1. 国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA), INES THE INTERNATIONAL NUCLEAR AND RADIOLOGICAL EVENT SCALE USER'S MANUAL 2008 EDITION, VIENNA, 2009
2. 国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA), NEWS The Information Channel on Nuclear and Radiological Events
<https://www-news.iaea.org>
3. Annals of the ICRP, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers ICRP Publication 68
4. UK Health Security Agency (UKHSA), UK recovery handbook for radiation incidents 2024
<https://www.gov.uk/government/publications/uk-recovery-handbook-for-radiation-incidents-2024>
5. US Department of Health and Human Services, RREMM (Radiation Emergency Medical Management)
<https://remm.hhs.gov/index.html>
6. 平成 31 年度厚生労働行政推進調査事業費補助金(厚生労働科学特別研究事業)「2020 年オリンピック・パラリンピック東京大会等に向けた包括的な CBRNE テロ対応能力構築のための研究」 研究代表者 小井土雄一(国立病院機構災害医療センター)
7. 平成 31 年度～令和 3 年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)「CBRNE テロリズム等の健康危機事態における対応能力の向上及び人材強化に関わる研究」 研究代表者 近藤久禎(独立行政法人国立病院機構本部)
8. CBRNE テロ対策医療・救護支援ツール
<https://h-crisis.niph.go.jp/medact/>
9. 被ばく医療診療手引き編集委員会, 被ばく医療診療手引き, 2022
https://repo.qst.go.jp/?action=repository_uri&item_id=83073&file_id=10&file_no=1
10. 量研放射線医学研究所, 初動対応者のための CBRNE テロ災害対処のテキスト, 2019.
<https://www.qst.go.jp/site/nirs/nuclear-emergency-medicine-text.html>
11. 事態対処研究会, 実戦 CBRNe テロ・災害対処 -事故・事件・テロでのより良き現場対応のために- 2 訂版, 東京法令出版, 2024.