

提言

我が国の放射線防護方策の改善に向けて

令和 4 年 3 月

日本放射線安全管理学会

日本放射線影響学会

日本放射線事故・災害医学会

日本保健物理学会

放射線防護アンブレラ代表者会議

この提言は、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会ならびに放射線防護アンブレラ代表者会議に設置した実効線量と実用量に関するワーキンググループが実施した調査や検討に基づき、我が国の放射線防護対策の推進に必要な方策を放射線防護アンブレラ代表者会議が取りまとめ、放射線防護アカデミアに参加する学会との連名で公表するものである。

目 次

1 はじめに.....	1
2 我が国の放射線防護方策の改善のための緊急提言.....	4
(1) 放射線施設における事故・事象発生予防および収束に向けた方策.....	4
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
(2) 大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に向けた方策.....	12
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
3 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言.....	17
(1) 実効線量と実用量に関する新概念の国内導入に向けた方策	
①提言の背景	
②現状及び問題点	
③提言	
4 まとめ.....	22
5 参考文献.....	23
6 謝辞.....	25

1 はじめに

近年、放射線の災害・事故に関して、我が国の備えの確認の契機となりうる 2 つの社会的出来事があった。

1つ目は、2021 年 5 月 29 日に発生した、X 線を使う測定装置の点検中に起こった被ばく事故である(厚生労働省、2021)。この事故では、装置を点検していた作業員が年間の線量限度の数倍から数十倍に及ぶ被ばくをした可能性があるとして報道された。通常、点検作業中は電源を切るがなぜ X 線を発生し続ける状態になっていたのか等、この事故の発生には不明点が多く、労働基準監督署が調査を行っているものの、被ばく者個人への配慮もあり、事故の詳細は明らかにされていない。

2つ目は、新型コロナウイルスの感染拡大により医療体制が逼迫する中で、2021 年 7 月 23 日から 8 月 8 日、並びに 8 月 24 日から 9 月 5 日に開催された第 32 回オリンピックと東京 2020 パラリンピックである。このような状況下において万が一の大規模核テロが発生したら、多数の傷病者および被ばく患者の搬送先の確保には、これまでの想定以上の困難が伴うことが予想された。こうした場合、傷病者の外傷や状態をもとにトリアージを行い、適切な医療機関に振り分けつつ、同時に線量評価のための情報や試料の収集を開始する必要があるが、線量評価の専門家の少なさ、また線量評価の技術開発や組織間連携において、解決すべき課題を抱えているのが現状である。

放射線防護アカデミア¹はこれまで専門性や関心が異なる学会が協力して、放射線安全規制研究の重点テーマの提案や放射線防護人材の確保・育成の課題検討に取り組んできた。そして 2020 年度には、各学会の問題意識に応じて、放射線の災害・事故に関連したテーマを選び、海外の最新知見の収集や独自の国内実態調査を行った。こうした学会の調査や検討について代表者会議で検討した結果、以下の 2 点を重要な結論であるとの合意を得た。そこで、国・地方自治体、事業者および専門機関に対して、それぞれの役割を十分に果たすことを具体的に求める緊急提案を行うこととした(本文中に記載)。

- 1) 事故・事象の発生予防や発生後の対応には、事業所のきめ細かい規程やマニュアル整備が肝要である。
- 2) 事故の対応には線量評価が必須であり、特に大規模放射線災害発生時の線量推定に関しては、高度被ばく医療支援センターを中心に制度の改善とリンクした技術開発を急ぐ必要がある。

¹2017 年度に原子力規制委員会の放射線安全規制研究戦略的推進事業において形成された放射線防護研究ネットワークの一つ。放射線防護に関連する 4 つの学会等が参加している。参加団体からの代表者をメンバーとする代表者会議がネットワークの意思決定機関である。

また放射線防護アカデミアでは、国・地方自治体、事業者および専門機関に対して、それぞれの課題解決に必要な方策を緊急提言として提案することに至った。

さらに国際動向に目を向けると、国際放射線防護委員会(ICRP)は 2007 年勧告の更新に向けたレビューに着手し、2021 年 7 月に“Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose”を発表した(Clement et al., 2021)。これを皮切りに、今後数年をかけて、世界中の専門家が科学の進展と社会の変化に見合った形に放射線防護体系を改善するための議論を行うことになる。上記の文書では、ICRP の新勧告以降に、2020 年に国際放射線単位測定委員会(ICRU)が提案した実用量および防護量の変更(ICRU, 2020)を導入することが明記されている。これにより、日本をはじめ世界中の放射線規制は大きな影響を受けることが予想される。そこで 2020 年より、放射線防護に関する 5 つの学会²から推薦されたメンバーによりワーキンググループを組織して、国内規制に線量の新概念を取り入れるために必要な準備について検討した。こうした調査や検討をもとに、放射線関係行政機関、関連学会、研究開発・放射線管理・医療の実務者等に向けた中長期的な提言を行う。

この提言の取りまとめは、放射線防護アカデミアにとって、今後の放射線規制への貢献活動に関するファーストステップである。この分野の専門家にとって、放射線規制・放射線防護の適切な実施や改善に貢献することは、自らの存在意義にも関わることである。しかしながら放射線規制・放射線防護分野では、原子力分野や医療放射線防護分野に比べると、これまでのところ学会等の関与は少なかった。その一つの理由として、放射線防護に関わる領域が広く、学会も専門性と問題意識によって細分化されており³、専門家の見解を統一しにくい状況にあったことによる。そのため、放射線防護アカデミアを連携の場として、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会、日本放射線事故・災害医学会および日本保健物理学会は放射線防護の課題解決に取り組み、日本原子力学会や日本リスク学会、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)と情報共有を行ってきた。

こうした活動の継続には大きな課題も残っている。学会活動は学会員の自発的活動を基本としており、規制や防護への貢献も例外ではない。個々の学会員が放射線規制・放射線防護への貢献を意識しない限り、学会活動として継続していくことは難しい。研究の出口の一つとして、規制の改善への貢献をこれまで以上に意識するため

²日本原子力学会保健物理・環境科学部会、日本放射線安全管理学会、日本放射線影響学会、日本放射線事故災害・医学会、日本保健物理学会の 5 つ。

³日本原子力学会の個人会員数は約 6500 人かつ賛助会員数は約 200 団体、日本医学放射線学会の個人会員数は約 1 万人。一方、放射線防護アカデミア参加学会では、会員数が最も多い日本保健物理学会でも会員数が約 800 人。

には、規制者、事業者および専門家の間の連携を強化する中で、成功体験を積み上げていく必要がある。

その手始めとして、今後、放射線防護に関わる学会が連携して、本提言の実現に向けて、規制者や事業者、さらには国際的機関の関係者との意見交換を行うこととする。こうした規制活動、研究活動、国際連携活動を通じて、専門家が我が国の放射線防護方策の改善に果たす役割を具象化していくこととする。

また、上記の学会は、今後も継続して、(i) 低線量被ばく(公衆、職業被ばく)ならびに緊急時被ばくの科学的知見の創出と収集、(ii) 防護体系・安全基準の策定の提言、(iii)放射線防護の人材育成といった諸問題に対して、協力して検討していくこととする。

令和4年3月4日

日本放射線安全管理学会
会長 中島 寛

日本放射線影響学会
理事長 島田義也

日本放射線事故・災害医学会
代表理事 明石眞言

日本保健物理学会
代表理事(会長) 吉田浩子

放射線防護アンブレラ代表者会議
議長 児玉靖司

2 我が国の放射線防護対策の改善のための緊急提言

(1) 放射線施設における事故・事象発生の予防および収束に向けた方策

① 提言の背景

放射線や放射性物質の不適切な取り扱い、あるいは放射線関連施設管理に関する事故等は海外でも多数報告されており、中には計画外被ばくを伴う事象も散見される。国内では 2021 年 5 月に X 線を使う測定装置の点検中に被ばく事故が発生した。こうした事故・事象発生の予防や速やかな収束のためには、国内外の事故・事象から原因や対処における問題点を明らかにし、その分析結果を広く共有することが重要である。

そこで日本放射線安全管理学会(2021)では、2000 年以降に海外で発生した被ばく事故⁴(国際原子力・放射線事象尺度(INES)のレベル 2 以上)の調査を行い、我が国の被ばく事故対応の参考とするため、I) 作業中の非密封 RI の飛散による被ばく、II) インターベンショナル・ラジオロジー(Interventional Radiology: IVR)従事者等の職業被ばくの線量限度超え、III) 線量・リスクの過小評価の3つに分類して、事故発生や被ばくに至った過失の事例について分析を行い、教訓を抽出した。また 2013 年以降の国内法令報告事象を類型化し、非密封 RI の所在不明、表示付認証機器の所在不明、破損による漏洩、火災といった 4 分類の中の代表的事例を分析し、事故の要因や問題点を明らかにした。また、それらの事例から抽出した 8 つの問題点に対応するマニュアルの整備状況についてアンケート調査を行った結果、それぞれ国内施設の約 2 ～5 割では同様のトラブルに対応するマニュアルで不十分であることが明らかとなった(日本放射線安全管理学会、2021)。

放射線防護アカデミアでは、上記の日本放射線安全管理学会の分析結果を検証し、被ばく事故発生の予防や収束の対応には、国内の事業所における管理方法や体制の自主的かつ継続的な見直しが必要であり、その実効性を担保することが重要であると判断した。そこで事業者に対して、それぞれの事業所の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルをより実効性のあるものに改善するために、具体的な提言を行うことにした。また規制者に対しては、再発防止に向けてオールジャパンレベルでの PDCA サイクルを回すことを提言する。

⁴「事故」という用語は、国際原子力・放射線事象尺度(INES)では、JCO 東海村臨界事故のような局地的な影響を伴う事故であるレベル 4 以上の事象を呼ぶこととしているが、本提言内では、想定外の被ばくを伴う INES のレベル 3 以下の異常事象も含めて「被ばく事故」と呼ぶこととする。

②現状及び問題点

【海外で発生した放射線による被ばく事故の現状と課題】

オランダの LAKA (Landelijk Kernenergie Archief) 財団が公開するデータベース⁵から 2000 年以降に発生した事故に関する情報を網羅的に抽出した結果、海外で発生した INES レベル 2 以上の放射線安全管理関連の事故・事象は 2000 年 1 月 1 日から 2020 年 12 月 4 日までに 473 件報告されており、その多くは欧州や北米からの報告で INES レベル 2 であった。

また地域に関わらず「異常被ばく」に関する報告が多数を占めていた。そのうち RI 施設で発生した INES レベル 2 以上の事故・事象 203 件に関しては、経緯や原因および収束に向けた対応を調査した。調査の結果、日本においても対策を講じる必要があると判断された 3 つの典型的事例については、国内での対応方策を検討した。

I. 作業中の非密封放射性物質の飛散の予防への対応

作業者が不安全な操作により飛散した RI 溶液等をかぶり、目や手などが汚染する事故が世界でも散発的に発生している。

2019 年、スイスの病院で、放射性薬剤を取扱う作業者が Ga-68 溶液を含む密閉バイアルからサンプルを取り出すため、バイアルの開口部に注射器を突き刺したところ、液滴が飛び散り、右目を汚染した (INES 2)。作業者は保護眼鏡をかけておらず、洗眼などの措置を行ったが、眼の水晶体の等価線量は 27 mSv と計算された。

また 2017 年、オーストラリア原子力科学技術機構 (Australian Nuclear Science and Technology Organisation: ANSTO) の傘下の組織において、作業者が Mo-99 を含む溶液の入ったバイアルを誤って落下させ、溶液が飛散し、手を汚染する事故が発生した。作業者は二重の手袋をしていたが、手に紅斑と水泡が発生したことから、手の皮膚の等価線量は 10～20 Sv と評価され、INES 3 (重大な異常事象) と分類された (ARPANSA, 2018)。オーストラリア放射線防護・原子力安全庁 (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency: ARPANSA) は、事故の背景にある要因について分析し、①軽微なトラブルやヒヤリハット事例から効果的に学ぶ組織的仕組みの欠如、②作業者の事故時のリスクに関する不十分な認識、③事業所のマニュアル等における作業中の危険性に対する注意喚起の記載の欠如、④作業の安全性に関する訓練の欠陥を指摘した。また ARPANSA は ANSTO に対して被ばく低減の準備や作業者の教育訓練に係る指導を行った。

我が国においても同様の事故が発生する可能性があり、作業者および事業者は表 1 に記載したような方策の徹底を図る必要がある。

⁵<https://www.laka.org/docu/ines/>

表 1. 作業中の非密封放射性物質の飛散による被ばくの予防や低減のための方策

対象	方策
作業員個人	保護眼鏡等、防護具の着用を徹底する
事業者	ヒヤリハット事例から効果的に学ぶ組織的仕組みを整備する 作業員への適切な訓練を実施する リスク低減のための作業場や作業工程を見直す (例)・ドラフト内の鉛シールドを人間工学に基づいて調整する ・作業員の手動による作業を自動化する ・品質管理サンプル中の放射性物質濃度を低くする 除染等、被ばく医療上の早急の措置を速やかに実行しうる体制を構築する (例)・事業者の産業医や産業保健師への教育 ・被ばく医療実施機関との事前協議など

II. IVR 従事者等、特に職業被ばくの線量限度を超える可能性が高い場合への対応

IVR は、医師らが患者からの散乱 X 線により被ばくするため、IVR 実施件数が多い医師では、特段の過誤がなくても職業被ばくの線量限度を超える被ばくをする可能性がある。

海外では、INES を利用して IVR 従事者の医療従事者の異常被ばくの報告がなされている。2019 年に発生した英国の事例では、水晶体における等価線量が 25.8 mSv と評価されたと報告されている⁶。この線量は、個人用防護具の使用に関する従事者自身の記憶に基づき、現実的な仮定で推定されたものである。

また 2017 年には、フランスのサン・ドニの病院で第 1 四半期に放射線科医の手の被ばくが年間の等価線量限度(500 mSv)を超過した事例が発生した。これは CT 透視下で IVR を行い、医師の手が CT の照射野に入ったためである。フランス原子力安全局(Autorité de sûreté nucléaire:ASN)は、2018 年 1 月 24 日にこの事例を調査し、原因や是正措置、INES の評価結果等を ASN のウェブサイトにて報告している⁷。なお、ASN では、この事故が発生する前に、関係する職能団体や産業界並びに規制当局などと協力をして、新しい機器を設置する際にはオペレータに提供される訓練を強化することを目的とした勧告を発表していた⁸。

我が国では、医療現場においては、個人線量計や防護眼鏡の未装着・未着用がしばしば問題になっている(樺田、2019; 細野ら、2021)。また実際に職業被ばくの線量限度を超えるケースは医療関係者に多いと推測されている⁹。しかし、労災申請や勤

⁶欧州連合では欧州 Basic Safety Standards(BSS) 指令の法制化を加盟国に求めている。英国では 2017 年に規制整備に向けた規制影響分析を行い、欧州指令の求めに応じて、2018 年 2 月 6 日の期限までに IAEA の General Safety Requirements (GSR) part3 で規定されている眼の水晶体の等価線量限度(100 mSv/5 年)を国の規制に反映していた。

⁷<http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/A-radiologist-suffers-radiation-overexposure-of-the-hands>

⁸<https://www.asn.fr/espace-professionnels/activites-medicales/radiologie-et-scanographie/guides-de-l-asn/recommandations-relatives-a-la-formation-a-l-utilisation-des-dispositifs-medicaux-emetteurs-de-rayonnements-ionisants>

⁹<http://www.kosenkyo.jp/siryoku/gyousyu31.PDF>

務時間管理の問題で労働基準監督署が立ち入り調査をした際に判明することが多く、法令違反として線量限度超えが判明する事例は限られている。

放射線を利用する医療施設が電離則第 44 条を遵守しなければならないことは当然である。厚生労働省では、被ばく線量低減設備改修等補助金事業（厚生労働省、2020）や放射線被ばく管理に関する労働安全衛生マネジメントシステム導入支援事業（原子力安全技術センター、2020）を実施し、医療従事者の被ばく低減のために事業者への幅広い援助を行っているおり、このような事業を継続するとともに、事業者において積極的な活用が望まれる。今後、線量限度の確実な遵守に向けて、規制者や専門家のさらなる協力が求められる（表 2）。

表 2. 特に線量限度を超える可能性の高い医療放射線による被ばくへの対応方策

対象	改善策
作業員個人 (医療従事者)	個人線量計や防護眼鏡等の装着・着用を徹底する
事業者	放射線を取り扱う医療従事者等を対象とした防護研修を実施する 特に新機種導入の際に、防護方策や訓練情報の更新を徹底する
規制者	医療従事者の被ばく低減のための事業者へ援助を継続的に実施する 電離則第 44 条に基づき報告された事例に対して、INES レベルの分類や IAEA への報告、HP 上での公開を行う 全国的に再発防止となるような啓発的情報発信を行う
専門家	報告された事例に対して、専門的な意見を持つ学会等、関係機関が協力して、当該事業所の背景も踏まえて課題解決の援助を行う体制を確立しておく

III. 線量・リスク評価の過小評価への対応

海外での放射線被ばく事故において、発生当初に被ばく線量やリスクを過少に評価していたケースは少なくない。初期に診療した医師が放射線被ばくをアレルギーや虫刺され等と診断し、適切な医学的処置がなされず、被害が増大したケースもある。

1 で紹介した作業員の手の汚染の事象（2017 年、オーストラリア）も、線量が過小評価された事例である。当初 ANSTO は、手の等価線量を 0.85 Sv と評価したが、被ばく後 2 週間以上経って作業員の手に紅斑と水泡が発生したことから、10～20 Sv が妥当と上方修正した（ARPANSA、2018）。ARPANSA は、現場が適切に保全されておらず、線量評価に重要な情報が収集できなかったことや線量評価のシステムの準備などにおいて適切な対応が採られていなかったと指摘し、指導を行った。

我が国においても、2021 年 5 月に X 線を使う測定装置の点検中に事故が起き、作業員が線量限度をはるかに超える被ばくをしたと見られているが、最終的な被ばく線量は明らかにされていない。そこで、ANSTO で起きた事象から得られた教訓をもとに、線量・リスク評価に関与する者の役割について表 3 にまとめる。

表 3. 被ばく事故・事象発生時の線量・リスク評価における役割

対象	役割
専門家(線量評価)	局所被ばくに対しては、被ばくした身体部位の吸収線量の分布をできるだけ正確に把握して、重篤度(数週間から数か月以内に起こりうる炎症や壊死などの組織反応の程度)の予測評価に供する。
専門家(被ばく医療)	局所被ばくをしても、痛みや紅斑、水疱などの症状が被ばく直後に明確に現れない場合もあるので、患者の行動や周囲の状況に関する情報を広範に収集し、放射線被ばくの可能性を確認の上、それに応じた医学的処置を判断する。
事業者(経営層)	産業医が被ばくの特徴などの知識を得るための教育を実施する。
事業者(放射線取扱主任者や産業医など)	事象が発生した時点で、線量評価に有用な情報(現場の写真、モニタリングデータ、関係者の供述/行動記録、衣類や爪など遡及的線量推定に役立つ試料等)をできるだけ詳しく収集・保存し、規制当局や独立した専門機関による遡及的検証を容易に行えるようにする。

【国内で発生した放射線施設の事故・事象の現状と課題】

原子力規制庁では、事業者から報告された法令報告事象に該当する事故トラブル情報や危険時の措置の届出を web サイトで公開している。日本放射線安全管理学会は、2013 年 4 月から 2020 年 11 月までに発生した 29 件を類型化し、そのうち多くの放射線施設で起こりうる可能性のあると判断された以下の 4 件の事例を詳細に調査し、問題点を 8 点抽出した(詳細は日本放射線安全管理学会 2021 を参照のこと)。

- 非密封 RI の所在不明(2017 年 12 月 21 日発生、企業)
概要: 滅菌処理後、保管廃棄するまでの間に保管中の C-14 投与動物死体を紛失
問題点 i: 投与動物の使用記録の不備
- 表示付認証機器の所在不明(2019 年 12 月 16 日発生、企業)
概要: 照射線量率標準ガンマ線源 Cs-137 の所在不明
問題点 ii: 表示付認証機器の使用記録の不備
- 破損(経年劣化)による漏洩(2013 年 10 月 29 日発生、大学)
概要: 保管していたトリチウム密封線源から汚染が拡大
問題点 iii: トリチウムや電着線源を含む密封線源の管理に対する認識不足(経年劣化や密封線源施設ならびに通報判断基準等への認識不足、異常事象に対する行動基準の不備)
- 火災(2016 年 7 月 1 日発生、大学病院)
問題点 iv: 線量率測定が不正確

本事例では電離箱式サーベイメータ¹⁰での計測により0.5 μSv/hが計測され、通常時の10倍の線量率であるように見えたが、この計測値は有意ではなく、不正確な値であった。

問題点 v: 核種・数量の使用記録の不徹底

問題点 vi: 原子力規制庁への通報や近隣住民への情報公開の遅れ

本事例では、核種・数量の把握ができず(問題点v)、情報公開が遅れた。

問題点 vii: 複数の管理部署間の連携の不備

本事例では、建屋の管理、RI 室管理、放射線取扱主任者の部局が異なり、緊急時における情報共有や組織的対応が遅れた。

問題点 viii: 放射線取扱主任者不在時の対応の不備

上記4件の事例から抽出された問題点 i～viii に対して、民間・医療・教育機関等の放射線施設に所属する学会員16名が自施設の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルを調査し、「通常管理業務で予防(発生を制御)可能」な事象について十分な予防方法が規定されているか、「通常管理業務では予防(発生を制御)不可能」な事象については問題なく対応できるよう規定されているかを評価した(表4)。

表4. 自施設の放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルの準備状況
(16施設からの回答)

事象	特性	評価項目	評価の視点	規定済みの施設の割合
非密封RIの所在不明	通常管理業務で予防(発生を制御)可能	i.投与動物の使用記録の整備	自施設が整備している放射線障害予防規程では、左の事象に十分に対応できるような規定がなされているか	50%
表示付認証機器の所在不明		ii.表示付認証機器の使用記録の整備		58%
破損(経年劣化)による漏洩		iii.密封線源の管理や正しい認識		50%
火災	通常管理業務では予防(発生を制御)不可能	iv.正確な線量率測定	自施設が整備している緊急時対応マニュアルには、火災に問題なく対応できるような記載がなされているか	73%
		v.核種・数量の使用記録		73%
		vi.適切な情報公開		60%
		vii.管理体制の連携		79%
		viii 主任者の代理者設定		73%

その結果、i 投与動物の使用記録の整備、iii 密封線源の管理や正しい認識、ii 表示付認証機器の使用記録の整備、vi 適切な情報公開の順で、放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに事態を想定した対応がなされていると回答した施設の割合

¹⁰高い線量率を想定して電離箱式サーベイメータで計測すると、線量率が低い場合(1 μSv/h 未満)、値が不正確になることがある

が低いことが明らかになった。i～viii の項目に関する規定を設けていない施設においては、確認の上、必要に応じて改善することが望ましい。

③ 提言

2000 年以降に海外で発生した被ばく事故ならびに 2013 年以降の国内法令報告事象の分析からは、同様の事故・事象の発生予防や発生後の対応には、規制の強化というよりも、全事業所における管理方法や体制の自主的なかつ継続的な見直しが重要であることが明らかになった。特に事業者には、実施すべき具体的方策の規定化・マニュアル化、さらにはその継続的な実効性の確認及び改善として、以下の遂行を提言する：

1. 放射線を照射する機器の新規導入やヒヤリハット事例の発生のタイミングで、組織として、防護方策や訓練内容の見直しの効果や妥当性を検討したうえで、適切なものは速やかに取り入れる。また規定やマニュアルへの取り入れを行う。また作業者が被ばくリスク低減のために作業場や作業工程の改善を事業者提案した場合、組織としてその効果や妥当性を検討し、取り入れる体制を構築する。
2. 被ばく事故の速やかな対応のため、線量評価やリスク評価の重要性を事業所内で周知し、必要な情報の広範な収集や試料の収集・保存を行うためのマニュアル整備や教育訓練を行う。
3. 放射性廃棄物の帳簿の作成に当たっては、全ての使用を追うために適切な記録が残されているか、投与動物(死体)の保管記録など、盲点となっている取り扱いはないか継続的に確認し、必要に応じて規程やマニュアルを見直す。さらに記録を付けるユーザへの周知を徹底することも規定化・マニュアル化し、仕組みを整備する。
4. 密封線源の健全性が保たれなくなったことによる汚染への備えとして、定期的に漏洩の有無を確認する、もしくは ISO 等で定められたワーキングライフを厳守する。
5. 表示付認証機器は、法令の規制が緩やかなため管理が手薄になりやすい点に配慮し、適切な専用容器への収納の上、施錠付き金庫中で管理されていることを定期的に確認する。
6. 火災等の事故が起こった場合、必要な情報を集約し、遅滞なく原子力規制庁及び地方自治体や関係機関への通報や近隣住民への情報公開ができる体制を構築する。

これらについて確実に実施できるように、必要に応じて規程類を見直すとともに、実施体制を整備する。規程類や体制は定期的に見直して改善を行う。

なお、被ばく事故や放射線施設での事故・事象が発生した場合、規制当局や第 3 者機関による分析や検証は必須である。規制当局は、事業者による情報公開を促し、

専門機関による分析や検証を進め、分析・検証結果を全事業者へフィードバックするといった PDCA サイクルを回すことにこれまで以上に注力すべきである。

また放射線に関する事故・事象に対する PDCA サイクルの結果、規制の強化等について検討する場合には、ポリシーメーカー、研究者、産業界など、さまざまなステークホルダーが協力し、リスクに応じた管理を行い、資源配分を最適化できるように IAEA GSR part 3 (IAEA、2014) や GSG-7 (IAEA、2018) の段階的な放射線管理の規制への導入を目指して検討する、あるいは規制影響分析をベースに、より合理的な規制構築を行うことが望ましい。

(2) 大規模放射線災害発生時の線量推定の高度化に向けた方策

① 提言の背景

東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、福島原発事故）の対応では、環境中に放出された放射性核種による空間放射線量率の測定、及びその測定値を用いた外部被ばく線量の推定において、チェルノブイリ事故に比べて大幅な進展がみられた（日本放射線影響学会、2021）。また個人線量の測定・評価の重要性も強く認識された。福島原発事故以前、外部被ばく推定用の個人線量計による実測や内部被ばく推定用の体外計測は、モデルを用いた線量評価結果を検証するために、限定されたケースだけを実施すると位置づけられていた。しかし実際の事故対応では、福島原発事故では急性障害や内部被ばくを含めて、治療を要する者はいなかったが、健康管理とリスクコミュニケーションの観点から多数の住民に対して行われた。

個人線量評価は本来、急性放射線症や内部被ばく等の早期診療あるいは詳細な線量評価の対象者のスクリーニングにおいてより重要な意味を持つ。このような場合には、生物学的線量推定法が有効な手段となりえる。2001年に米国で発生した同時多発テロを契機に、大規模放射線災害発生時の生物学的線量推定法の開発が国際的課題となっており、米国では数万人規模の生物学的線量評価を可能とするハイスループットシステムの開発に着手している（Grace et al., 2011, Wang et al., 2020）。

現在、過去の国内外の事故や災害（テロを含む）を教訓に、我が国の線量評価に関してはさまざまな技術開発と制度の改良が進められているが、効率的な改善や実効性の担保には国・地方自治体、専門機関、専門家、事業者、医療機関等の連携が必須である。2015年に原子力規制委員会が指定した高度被ばく医療支援センターは、こうした連携に重要な役割を果たすとともに専門家集団であるアカデミアとの接点でもある。そこで日本放射線影響学会では、大規模な放射線災害時における線量推定方法に関する国内外の調査を行うとともに、各高度被ばく医療支援センターにアンケートを行い、現状分析を行った（日本放射線影響学会、2021）。

こうした日本放射線影響学会の調査結果を放射線防護アカデミアが検討した結果、我が国では高線量被ばく患者のトリアージや高線量被ばくの可能性がある住民スクリーニングの目的で100～1000人規模の線量評価を行うためには、二動原体染色体頻度、未成熟染色体凝集法（PCC法）、細胞質分裂阻害微小核アッセイ法（CBMN法）などの生物学的線量評価領域での体制整備が不十分であり、早急に対策を講じるべきであると判断した。そこで、国・地方自治体ならびに高度被ばく医療支援センターに対して具体的な提言を行うこととした。

② 現状及び問題点

日本放射線影響学会（2021）の調査によると、大規模な災害に向けた高度被ばく支援センターの準備状況は以下のとおりである。

【大規模放射線災害時に用いる線量評価手法】

高度被ばく医療支援センターでは、物理学的線量評価として、被災者の個人被ばく線量計や環境放射線モニタリング等のリモートで得られる情報から推定される外部被ばく線量、体表面汚染検査(GM サーベイ)、NaI サーベイによる甲状腺モニタリングおよびホールボディカウンターによる内部被ばく検査など、国際規格が整備され、我が国でも国際規格に準拠した技術基準に基づき実施される手法による線量評価が対応可能になっている。福島原発事故で課題となった甲状腺被ばく線量モニタリングに関しては、原子力規制委員会主導で機器の開発とリンクした制度設計並びに関係機関の連携が進められており(原子力規制庁、2021)、近く充実化が図られる。

一方、生物学的線量評価については、これまで高線量被ばくを念頭において、10 名以内の線量評価への対応を中心に議論されてきた歴史があり、高度被ばく医療支援センターでは二動原体染色体法(トリアージ法)での対応が可能である。染色体分析による線量評価の欠点は血液細胞培養(～48 時間)と染色体異常解析に時間を要することであり、国内外で AI 技術等を活用した自動化やハイスループット解析化が進められている。また国内のトレンドとして、自動化・ハイスループット解析化が容易な分析法(例:血液/尿中の代謝物あるいは遺伝子/miRNA 発現が指標)の線量評価への応用が進められている。

CBMN 法は国際的にも認証されたトリアージ法であり、分析の自動化が最も進んでいる。二動原体染色体法に比べ線量評価の精度は低いものの、数ヶ月以内の線量評価法として使うことができるという利点がある。また血球数の変化は個人差が大きく、推定線量の精度が低いと言われているが、以前よりも少量の血液で分析が可能になってきており、被ばく医療に精通した医師が不在でも要線量評価対象者のスクリーニングが短時間で可能であることから、100～1000 人のトリアージ手法としての有用性を今後再検討する余地がある。

JCO 事故¹¹や福島原発事故の経験に鑑みると、各高度被ばく医療支援センターが連携して大規模放射線災害の線量評価を担うためには、染色体画像撮影システムの共通化や画像共有システムの構築が必要になる。しかし現状、必要な設備の整備は各高度被ばく医療支援センターに委ねられており、具体的な検討には至っていない。

また福島原発事故以前には、国の三次被ばく医療機関であった放射線医学総合研究所(現 量子科学技術研究開発機構)の主導のもとに染色体分析の専門家による染色体ネットワーク会議が設けられていた。現在は、高度被ばく医療支援センターが連携し、研修による人材育成や線量効果標準曲線の作成等を行っているものの、緊急時において全国の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行うネ

¹¹1999 年に発生した JCO 臨界事故の際には、低線量被ばくをした JCO 職員と消防士、血中のリンパ球数が少なかった住民ら計 43 名の染色体分析を行ったが、5 機関から参加した 10 人近い専門家が協力して実施しても、全ての解析を終了するまでに半年以上を要した。

ットワークとしての機能は不十分で、連携体制をより強化する必要がある。

【大規模放射線災害時における線量評価の依頼】

高度被ばく医療支援センターでは、線量評価を依頼されるタイミングとして、①救命のための医療行為に並行した依頼、②救命処置が済んだ後の依頼、③救命処置は不要であるが線量評価が必要、の3つを想定しているとのことであった。

物理学的線量評価では、①～③のいずれに対しても線量評価情報を提供できる可能性があるが、提供までの時間及び精度は線量評価を依頼された時点で利用可能な情報に大きく依存する。

一方、生物学的線量評価の依頼-受け入れは、現場の情報判断を担う医師による患者の被ばく状況の判断や高度被ばく医療支援センター等分析を行うラボの処理能力に依存する。しかしながら、現時点では誰が依頼するのか(診療している医師、医療機関、事業者など)、どこに依頼するのか(ラボ、支援センター、専門機関など)といった具体的な依頼と受入について体制は整備されておらず、各ラボが独自に依頼を受けている状況である。大規模災害時の依頼-受け入れを、ネットワーク等の形成と実施可能な施設の集中化と周知により整備すべきである。

また、線量評価の依頼、検体受け渡しの方法及び線量評価報告様式については、各支援センターが個々に検討している状況である。多数の傷病者の試料の輸送から分析、結果報告を複数のラボが協力して行うのであれば、これらの方法及び様式について、共通ガイドラインを作成する必要がある。

なお、排泄物等分析による内部被ばく線量評価、いわゆるバイオアッセイにおいても、同様の問題があると思われるが、現時点では、試料入手から化学分離を行って定量するバイオアッセイ分析には放射能定量に数日間を要するため、トリアージ及びスクリーニングへの適用は考慮されていない。

【原子力防災訓練における線量評価の関与】

原子力関連施設および半径 30km 圏(UPZ)を含む 24 道府県のほとんどで「福島事故と同規模の RI 放出を想定した原子力防災訓練」が例年開催されている。しかし、これらの訓練は、①関係者の通信訓練、②UPZ 内の住民避難訓練、③オンサイトにおける数名汚染傷病者への医療訓練、④その他、環境モニタリングや参集訓練で構成されており、線量評価に関する内容は訓練に取り入れられていない。

被ばく患者を受け入れる原子力災害拠点病院および高度被ばく医療支援センターにおける大規模放射線災害発生時の実効的な線量評価体制を整備するため、今後の原子力防災訓練において甲状腺モニタリングや住民の線量評価を含めた線量評価に関する訓練を組み込む必要があると思われる。この取り組みにより、上述の線量評価の依頼方法、検体受け渡し方法および線量評価報告様式に関する共通ガイドラインの作成が可能になる。

③ 提言

上記のように、福島原発事故により、個人の被ばく線量評価の重要性が再認識され、外部被ばくについての物理学的線量評価分野においては、100～1000人規模の対象者のモニタリングやトリアージを行う上で技術的に大きな課題はないように思われる。

一方、生物学的線量評価のうち染色体検査等に関しては、まずは原子力防災に係る行政機関が主導し、大規模放射線災害時において染色体検査の対象とする被災者や職業人の範疇を定め、対処すべき規模感とスピード感を明らかにして、高度被ばく支援センターの機能を強化することが望ましい。具体的には、線量評価手法の技術面に加えて、高度被ばく医療支援センター間の協力のための基盤(ソフト・ハード)および事故現場－医療機関－高度被ばく医療支援センターの分析ラボとの情報共有や連携の面で戦略的に備えを進める必要がある。

そこで、放射線防護アカデミアでは、高度被ばく医療支援センターの生物学的線量評価機能に対して以下の提言を行うとともに、当該分野の専門家には提言遂行のための協力を依頼する。

1. 高度被ばく医療支援センターは、大規模災害で多数の傷病者に対して生物学的線量評価を行う場合に備え、センター同士が協力して実施できるよう、連携体制をより強化する。
 - ・設備の導入、人事交流、技術研修等による二動原体染色体分析技術の標準化
 - ・遠隔分析を可能とする画像共有システムの整備
 - ・各ラボの受け入れ可能検体数の把握と役割分担(分業)の検討
 - ・線量評価の依頼方法、検体受け渡し方法および線量評価報告様式に関する共通ガイドラインの作成など
2. 各高度被ばく医療支援センターにおいて、上記の連携体制を取った上でも設備や人員に不足があれば、人材育成や人事交流による底上げを行う。また高度被ばく医療支援センター以外の機関と契約を結び、緊急時に組織的な支援を受けるなどの方策を行うことが望ましい(民間企業との連携を含む)。
3. 正確な線量評価が可能な二動原体分析法は時間と労力がかかるため、多数の傷病者のトリアージに適した手法については継続的に高度被ばく医療支援センター間で協議を行うとともに、標準的手法に関する情報収集にあたっては国内外の専門家のネットワーク¹²を活用する。
4. 生物学的線量評価法として、5 Gyを超えるような高線量被ばくに対してはPCC法、慢性被ばくの場合には転座染色体の検出やCBMNなど、多様な被ばくに対応でき

¹²WHO が運営する国際的生物学的線量評価ネットワーク(BioDoseNet)は、現在、世界各国の生物学的線量評価ラボの体制や準備状況について、The 3rd WHO BioDoseNet survey を実施している。本調査結果はEPR-BioDose2022(岡山理科大学)にて報告され、我が国のラボや専門家の実態も明らかになる予定である。

るように準備すべきである。

5. 緊急時において全国の染色体分析の専門家が協力して正確かつ迅速な線量評価を行えるネットワークを再構築する

線量評価の専門家の多くはラボでの作業を想定して配置されており、発災現地で傷病者のトリアージ(要線量評価対象者のスクリーニング)に対応する人材については考えられていない。そこで現場の対応者とラボで作業する線量評価の専門家との連携について検証する必要がある。放射線防護アカデミアでは、原子力防災訓練を企画・実施する国・地方自治体に対して、原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込むことを提言する。

また生物学的線量評価ではヒト由来試料を用いるため、機関間で情報交換や検査依頼に際し、個人情報交換、同意取得、血液・標本・顕微鏡画像の提供・共有に関する取り決めが必要となる。こうした取り決めは、高度被ばく医療支援センターによる生物線量評価に関する支援について、各センターと自治体との協議に基づき、行うことが望ましい。なお、高度被ばく医療支援センターは原子力災害対策指針に基づき指定されているため、原子力災害以外のテロ・事故・災害に対応する役割は担っていない。原子力災害以外の緊急時において線量評価を行う枠組みに関しては、国や自治体の対応方針の決定を待つことになるが、組織的に線量評価が可能な機関は限られているので、いずれの放射線災害のケースでも高度被ばく医療支援センターとして指定されている機関が担う可能性が高い。よって、このような事態における高度被ばく医療支援センターの役割を明確化するとともに、もし原子力災害とは異なる指揮系統や被ばく医療体制での対応が採られるのであれば、必要に応じ予め各都道府県または地方単位での自治体と各支援センターとの協定を締結すること等が必要である。

3 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言

(1) 実効線量と実用量に関する新概念の国内導入に向けた方策

① 提言の背景

放射線防護や放射線規制において、線量の把握が重要になることは言うまでもない。しかしながら放射線防護で用いる線量体系は必ずしもわかりやすいものではない。特に、放射線被ばく事故等が発生し、メディアによる報道がなされる際には、緊急時に用いる吸収線量と実効線量の考え方やシーベルトと発がんリスクの関係について社会に誤解を与えぬよう、平時からアカデミアが意識して情報発信する必要がある。また「1. はじめに」で記載した通り、ICRP が数年後には公表するであろう新主勧告では、2020 年に ICRU が提案した実用量および防護量の変更を導入することが公表されている(Clement et al., 2021)。こうした変更は、日本をはじめ世界中の放射線規制が大きな影響を受けることになると思われる。

そこで令和 2 年度のアンブレラ事業において、アンブレラ代表者会議の直下に「実効線量と実用量に関するワーキンググループ」(線量 WG)を設置し、放射線に関わる量に対する正しい理解に向けた活動と将来的の具体的アクションに結び付けるための提言を検討することとした。線量 WG は実効線量と実用量に関する Webinar(全 5 回シリーズ)の企画・開催を通じて、線量の歴史、リスク評価、国外動向、生物影響、コミュニケーション等様々な情報を収集し、アカデミア内の情報共有を行った。そして以下の 3 点について情報を整理の上、現状分析を行った。

- (1) 実用量の新しい概念を国内で取入れる場合に必要な検討や準備
- (2) 実効線量の利用現場が抱える課題への対応
- (3) 実効線量を用いたリスク評価の限界

また(1)に関しては、規制当局、研究開発機関や専門家および放射線管理の実務者ならびに関連学会に、(2)は放射線防護関連学会と放射線関係行政機関に、(3)は放射線診療関連学会と医療現場の実務者に対し、提言をとりまとめた(実効線量と実用量に関するWG、2022)。代表者会議では、線量 WG による現状分析と提言内容の妥当性を確認し、そのポイントを整理して記載することとした。

② 現状及び問題点

我が国においては、ICRP2007 年勧告の国内法令の取入れや水晶体線量限度の引き下げが行われたが、現場は未だ対応に追われており but workplaces have been busy dealing with the aftermath,しかし国際的には、次期 ICRP 主勧告において、実用量および防護量の変更の導入がほぼ確実なものとなってきた(ICRU、2020; ICRP、2020)。

ICRP は 2007 年に主勧告を公表後、2010 年にタスクグループ 79 を設立し、線量を

取り巻く課題の解決に着手した。課題の一つは、現行の周辺線量の評価では、高エネルギー光子の場合、防護量を安全側に評価していないという点である。近年医療や研究、商業飛行の分野において、防護の対象となる放射線の種類やエネルギー領域を拡張する必要が生じたことで、問題が顕在化した。ICRU と ICRP が共同で検討した新たな考え方の概要は以下のとおりである：

①外部被ばくの実用量の定義の変更

実効線量の評価のための実用量として、従来の ICRU 球から標準人体ファントムに変更し、防護量を過小評価しないフルエンスあたりの換算係数を用いて定義される測定量とする。これにより、実効線量と実用量の両方で人体形状ファントムを使うことになる。また多少の機器・手法変更が必要となる。

②組織反応の評価のための線量の変更

白内障や皮膚の急性障害等の組織反応の防止には、等価線量ではなく吸収線量を用いる。これにより、等価線量は実効線量計算の中間的な量であり、防護量という意味合いを持たないことになる。また放射線の種類等に依存した吸収線量と組織反応の生物学的効果比(RBE)の情報が必要となる。

こうした新たな線量とその利用方法に関しては国際的なガイドラインはそろいつつあり、今後、国際原子力機関(IAEA)や国際標準化機構(ISO)による基準化が行われると思われる。

我が国においては、医療における放射線利用の拡大や福島原発事故の発生により、公衆・行政等が放射線の線量を耳にする機会がこの 10 年間で格段に増えた。よって、過去において防護量の単位や組織加重係数に変更された際とは異なり、放射線防護や管理の関係者のみが承知していればいい、あるいは、新実用量を取り入れるための技術的な問題だけに対応すればいい、という状況ではなくなっている。そこで、この実用量と防護量の変更への社会全体への影響を検討し、混乱を最小限にする対応をする必要がある。

【防護量・実用量に関する変更への対応と課題】

実用量の定義が変わる、また組織反応を防止するため線量限度の単位が等価線量から吸収線量に変更されることによる影響については、既にさまざまなところで議論されている。例えば、測定機器・校正手順の変更としては、3 MeV 以上の光子もしくは 50 MeV 以上の中性子に対して検出器応答を大きくしたり、水晶体線量をより精度よく測定する検出器を開発したりする必要があると言われている。

原子力安全研究協会(2020)では、実用量の概念変更を国内法令等へ取り入れた場合、実用測定器を用いた実用量の測定と評価が受ける影響について調査した。実用測定器の換算定数の変化のみならず、ISO、国際電気標準会議(IEC)、日本産業規格(JIS)による規格化とその対応、マニュアル類の用語、シンボルの変更まで含め

ると、今後予想される実用量の概念変更への対応には、校正機関、放射線測定器メーカー、放射線管理の現場それぞれが単独で行うことは困難であり、互いに連携した取り組みが必要であるとまとめている。

また個人線量に関する影響としては、個人線量計の設計、個人線量測定サービス機関による線量算出や利用者による被ばく管理も影響を受ける。中でも眼の水晶体及び皮膚の線量限度が等価線量(Sv)から吸収線量(Gy)と変わること、中性子・光子混在場では、中性子のRBEを考慮した加算が必要になる。

なお、組織反応には対象となる組織・臓器が複数あり、またその反応については、例えば皮膚の場合で初期の一時的紅斑、主な紅斑反応、一時的な脱毛、永久的な脱毛等、様々であり、さらに放射線の種類やエネルギーによって生物学的な効果が変わりうる(ICRP、2012)。そのため、RBE、線質係数及び放射線加重係数の検討は国際的な課題であり、世界的に粒子線治療をリードしている我が国の貢献が期待されている。

【実効線量、年齢別の実効線量の使い方と課題】

放射線防護の目的のための実効線量は、人体の臓器・組織の平均の線量に基づいている(ICRP、2007)。また臓器・組織の等価線量の計算には、成人の標準男性と成人の標準女性の標準コンピュータファントムが用いられている。近年、外部被ばくについてICRPは全身被ばくの照射条件を設定して換算係数を評価しており、ICRP Publication 144では年齢別(0歳、1歳、5歳、10歳、15歳及び成人)のファントムと実効線量(率)係数を提供している(ICRP、2020)。また放射性薬剤の投与といった内部被ばくに対する年齢別の線量係数も提供されている。このように年齢別の実効線量は改良の途上ではあるが、次期の主勧告までには整理されていくと思われる。

一方で、実効線量の使い方の見直しが行われている。例えば、医療被ばくはほとんど局所被ばくであるため、実効線量の使用は不相当と見られがちであるが、モダリティや撮影技術の比較やリスクコミュニケーションの目的で使うことは認められている(ICRP、2021)。また一般的に100 mSv以下の線量で使用されるが、約1 Svまでの範囲の急性線量での使用は妥当とみなされている。

実効線量は、起こりうる健康リスクのおおよその指標であることから社会的には最も浸透しているが、計算ならびに使用については多くの取り決めが存在する。放射線関係行政機関が作成している一般向けの放射線に関する資料には、実効線量あるいはシーベルトの説明が含まれているものの¹³、時には誤った使用もあるため、関係者が実効線量の意味合いと意図する使い方に関して共通認識を持つことが重要であ

¹³ 現在も省庁が更新している資料の例を以下に挙げる：内閣府 消費者庁 復興庁 外務省 文部科学省 厚生労働省 農林水産省 経済産業省 環境省 原子力規制庁による「放射線に関する基礎的情報」、文部科学省作成の「放射線副読本」、環境省作成の「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料」、消費者庁作成の「食品と放射能 Q&A」

る。特に年齢別の実効線量は、改良・整理の途上で社会的関心を集める可能性があることに鑑み、その普及に備えるべきである。

【実効線量を用いたリスクの説明と課題】

実効線量とリスクの関係について、ICRP2007 年勧告では、名目リスク係数として約 5%/Sv を与えている。これは 100 mSv の被ばくによって集団でのがん死亡が 0.5%程上昇すると評価することを意味する。この名目リスク係数の計算には、線量・線量率効果係数 DDREF、組織加重係数 w_T が使われているため、低線量(率)放射線による全身被ばくが基本となっている。よって福島原発事故のリスクコミュニケーションでも用いられ、このリスク係数は国内で広く広まった。

これまで DDREF、 w_T 、及び放射線加重係数 w_R は性別、年齢にかかわらず同一の値を用いてきた。しかし胎児、妊婦などより詳細なファントムが提供され、年齢区分に応じた精緻な吸収線量評価の開発が進み、年齢別実効線量の改良が進んでいることは上述の通りである。

一方、国内の状況に鑑みると、福島原発事故から 10 年が経過し、がんの潜伏期間を超えると、被災者個人の被ばく量とがんの誘発の因果関係が問題視されることになる。そこで、放射線影響・防護の専門家は、福島原発事故による放射線被ばくのがん寄与率を説明する必要性に迫られる。こうした緊急事態対応時のリスクコミュニケーションのみならず、日常的に行われる放射線診療の現場でも、様々な被ばくのシナリオに整合したリスクの説明が求められる。

ICRP は健康へのリスクに関連した線量の使用を明確にするため、Publication 147 を公表した(ICRP、2021)。これまでも医療においては、異なる医療行為による線量の比較、正当性の判断、医療研究における介護者やボランティアの制約条件の設定などに、実効線量を用いられてきた。医療被ばくのリスクを患者や臨床医に説明する場合、引き続き注意が必要で、「特定個人の実効線量が当該個人のリスク値の代替になる」といった誤解を招かないようにする必要がある。そこで ICRP(2021)では、一般的な用語(無視できる、最小限、非常に低いなど)や「30 歳代での被ばくのリスクと比較して 0-9 歳では約 2 倍」といった表現の利用を推奨している。

また実効線量は例外的に緊急時被ばく状況では 1 Sv 程度まで使用可とされている。しかし 2017 年に発生したプルトニウム内部被ばく事故では、預託実効線量が 12 Sv¹⁴ と報道されたため、全身被ばくの 12 Sv と混同され、1999 年に発生した JCO 臨界事故並みの被ばくであると誤解された。

医療現場では実効線量の値がリスクに直結して受け止められがちであるため、医療関係者が実効線量の意味や制約を理解して、適切に説明に用いる必要がある。

¹⁴ 日本原子力研究開発機構は「大洗研究開発センター燃料研究棟における汚染について(続報)」(6 月 9 日)を公表し、「鼻スミア・肺モニタ測定値」の測定結果の表に、「 2.2×10^4 Bq の Pu-239 を吸入摂取した場合、預託実効線量約 12 Sv に相当する。」と記述した。

③ 提言

上記のように、防護量・実用量に関する変更が国際的にも大きな変更であることから、国際的な動向の把握、国内検討状況を統括的・長期的に議論する仕組みが重要である。放射線アカデミアでは、規制当局や研究開発機関や専門家及び放射線管理の実務者に対して、新実用量に対応した測定器の校正の在り方、測定方法の妥当性の確認方法、ISO、IEC、JIS等の線量計の校正標準化、妥当性が担保できないときの対処、線量の記録の変更に伴う影響等の課題を整理することを提言する。この際、メーカー、サービス、規制、ステークホルダーを交えてコミュニケーションを促進し、変更の背景の理解に加え、十分な議論を重ねることが望ましい。さらに関連学会や放射線管理の実務者には RBE の情報を収集・整理し、実務への影響について取りまとめること、研究開発機関や専門家には、RBE の科学的データや実務への影響予測に関して国際的組織へ情報発信することを期待する。

また医療での放射線利用の拡大や放射線リスクへの社会的関心の増大といった社会的背景に鑑みると、放射線防護関係者のみならず、広く実効線量、年齢別の実効線量の使い方に正しい理解が必要である。そこで、放射線防護に関連する学会に対し、内部被ばくと外部被ばく、放射線管理や医療被ばくの側面から用語解説といった理解の土台となる情報も含めて構造的に整理し、ICRP 等が示す実効線量の意味合い、年齢別の実効線量の意図する使い方が認識を共通化できる報告書を協働して作成することを提言する。こうした共通認識を効率的に社会に普及するために、放射線関係行政機関に対しては、学会が作成した報告書の内容をそれぞれが発行する一般向け資料等に反映することを提言する。学会の報告書の作成や省庁による資料の更新にあたり、ステークホルダーを交えたブラッシュアップや社会への浸透のため、省庁と学会が協力して学術大会、シンポジウム、セミナー、勉強会等の開催や HP の意見募集を行うことが望ましい。

さらに、放射線診断適用の正当化について説明する場合、実効線量を用いて健康リスクを説明する場合がある。そこで医療関係者は実効線量の意味や医療利用する場合の制約を十分理解する必要がある。そこで放射線防護アカデミアでは、放射線診療系学会は放射線防護関連学会と協力して、実効線量の医療利用とリスクの意味合いを整理し、医療関係者に周知するとともに、患者に適切な説明が可能となるような標準資料を整備することを提言する。また医療現場の実務者からのフィードバックや放射線診断技術の進歩に合わせて、患者への説明手法を継続的に更新することを放射線診療系学会の業務と位置付けることを期待する。

4 まとめ

放射線利用の安全と安心の確保の根幹は、計画外被ばくの予防にある。しかし、ヒューマンエラーを完全に防ぐことは不可能で、作業中の非密封 RI の飛散や、IVR 作業中の作業者の被ばくは起こりうる。こうした事象が発生した際、適切な措置を行い、被ばくを最小限に抑えるため、作業者の線量計や防護具の着用は当然であるが、事業者が照射機器の新規導入やヒヤリハット事例発生タイミング等で、作業工程や訓練内容、マニュアルなどの見直しを行い、PDCA を回すこと、事故の原因究明や影響の検証ができるように常に情報共有を行うことが重要である。また 2013 年に国内で発生したトリチウム密封線源の汚染や、2017 年に発生した RI 投与動物死体の紛失に関しては、今も国内放射線施設の半数で、こうした事態への対応が放射線障害予防規程や緊急時対応マニュアルに定められていない、という調査結果が出た。そこで、放射線防護アカデミアでは、事業者に対して、事故予防と速やかな収束のための具体的な提言を行った。また規制当局には、事業者による事故・事象の情報公開を促し、専門機関による分析や検証を進め、その結果を全事業者へフィードバックするといった PDCA サイクルを回すことを期待する。

また大規模な放射線・原子力災害や核テロの際には、多数の被ばく患者が発生する可能性がある。福島原発事故により、個人の被ばく線量評価の重要性が再認識され、物理学的線量評価分野においては、100～1000 人規模のモニタリングやトリアージを行う上での課題は解決されつつある。一方、生物学的線量評価には様々な手法があり、それぞれが長所・短所を持っている。そこで、多数者のトリアージに適した線量評価手法を開発しつつ、現時点では専門機関間の協力により、二動原体法が持つ短所をカバーする必要がある。そこで、放射線防護アカデミアは、高度被ばく医療支援センターに対して、支援センター間の協力のための基盤の整備を具体的に提言するとともに、専門家に協力要請を行う。また原子力防災訓練を企画・実施する国・地方自治体に対して、原子力防災訓練に線量評価の訓練を組み込むことを提言する。

実効線量と実用量の変更と国内への導入は数年以上先の話であり、上記の 2 つの提言に比べ、緊急性はないものの、放射線防護アカデミアは、研究開発及び放射線管理の実務者に対して、メーカーやサービス機関と連携して、線量計や校正手法等の規格化に取り組むよう、提言する。また福島原発事故以降、放射線への社会的関心が高い我が国においては、実効線量の使い方、特に実効線量を用いた健康リスクの適切な説明は、現在進行形の課題である。改良途上の年齢別実効線量が、特定個人のリスク指標と誤解されないように、放射線防護と放射線診療に関わる学会が協力し、実効線量の意味や制約等に関する共通認識を形成することを提言する。また放射線関係行政機関の協力を得て、これを社会全体で共有することを期待する。

5 参考文献

【1. はじめに】

厚生労働省 労働基準局安全衛生部労働衛生課長: エックス線装置の点検作業等における被ばく防止の徹底について、2021 年 6 月 1 日

<https://www.mhlw.go.jp/content/000787485.pdf>

Clement, C, Rühm, W, Harrison, J et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, J. Radiol.Prot. doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021

International Commission on Radiation Units & Measurements(ICRU): Operational Quantities for External Radiation Exposure, Journal of the ICRU, 20(1), 2020

【2. 我が国の放射線防護方策の改善のための緊急提言】

日本放射線安全管理学会: 放射線防護対策の推進に関する調査と提言, 2021 年 2 月作成/9 月改訂 http://www.umbrella-rp.jp/R2JRSM_report.pdf

Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA): Report to Parliament – Radiation exposure of a worker at ANSTO Health, Lucas Heights on 22 August 2017, Tabled in Parliament 26 February 2018 <https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto>

<https://www.arpansa.gov.au/about-us/corporate-publications/reports-parliament/report-parliament-radiation-exposure-worker-ansto>

樺田尚樹:十分な放射線防護を行っても、なお高い被ばく線量を眼の水晶体に受ける可能性のある労働者に関する実態調査について(第5回 眼の水晶体の被ばく限度の見直し等に関する検討会用資料 2)、2019 年 6 月 20 日

<https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000519683.pdf>

細野真ら:医療分野の放射線業務における被ばく実態と被ばく低減に関する調査研究(労災疾病臨床研究事業費補助金研究 放射線防護分野研究班合同連絡会議用資料)、2021 年 5 月 31 日

http://www.radher.jp/J-RIME/report/rousaijigyou_siryou_20210531.pdf

厚生労働省 労働基準局安全衛生部: 被ばく線量低減設備改修等補助金(間接補助金)に係る補助事業者(執行団体)の公募について(公募要領), 2020 年 2 月

<https://www.mhlw.go.jp/content/11300000/000599446.pdf>

原子力安全技術センター: 令和 2 年度厚生労働省委託事業放射線被ばく管理に関するマネジメントシステム導入支援のご案内 募集要項, 2020 年 7 月

<https://ms.nustec.org/wp-content/uploads/2020/07/boshuyoukou.pdf>

International Atomic Energy Agency(IAEA) et al: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards No. GSR Part 3, 2014

International Atomic Energy Agency(IAEA): Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, 2018

日本放射線影響学会: 放射線影響分野における放射線防護対策の推進に関する調査と提言ならびに放射線防護人材の確保・育成, 2021 年 2 月作成/9 月改訂

http://www.umbrella-rp.jp/R2JRR_report.pdf

Grace, M. B., Cliffer, K. D., Moyer, B. R. et al: The U.S. government's medical countermeasure portfolio management for nuclear and radiological emergencies: Synergy from interagency cooperation. Health Physics: 101(3), 238-247, 2011

Wang, Q., Lee, Y., Shuryak, I. et al: Development of the FAST-DOSE assay system for high-throughput biodosimetry and radiation triage. Scientific Reports 10, 12716, 2020.

原子力規制庁:「緊急時の甲状腺被ばく線量モニタリングに関する検討チーム」からの報告(令和3年度第34回原子力規制委員会資料2)、令和3年9月22日
<https://www.nsr.go.jp/data/000365637.pdf>

【3. 我が国の放射線防護方策のグローバル化に向けた中長期的提言】

Clement, C, Rühm, W, Harrison, J et al: Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose, J. Radiol.Prot. doi: 10.1088/1361-6498/ac1611, 2021

実効線量と実用量に関するWG: 放射線に関わる量に対する正しい理解に向けたとりまとめと提言、2022年3月

International Commission on Radiation Units & Measurements(ICRU): Operational Quantities for External Radiation Exposure, Journal of the ICRU, 20(1), 2020

International Commission on Radiological Protection(ICRP): Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. Ann. ICRP 49(2), 2020

原子力安全研究協会: 令和元年度放射線対策委託費事業報告書 放射線管理に係る実用量の測定等の実態調査、2020年3月
<https://www.nsr.go.jp/data/000319356.pdf>

International Commission on Radiological Protection(ICRP): ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2), 2012

International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007

International Commission on Radiological Protection(ICRP): Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1), 2021

6 謝辞

本提言作成に協力、助言いただいた関係各位に感謝の意を表する。

明石 眞言氏	黒澤 忠弘氏	辻口 貴清氏	前川 和彦氏
赤羽 恵一氏	児玉 靖司氏	角山 雄一氏	松田 尚樹氏
赤羽 正章氏	小林 純也氏	寺東 宏明氏	三浦 太一氏
阿部 悠氏	古渡 意彦氏	床次 眞司氏	三浦 富智氏
飯塚 裕幸氏	斎藤 公明氏	富田 悟氏	百瀬 琢麿氏
飯本 武志氏	酒井 一夫氏	富永 隆子氏	保田 浩志氏
岩井 敏氏	佐々木道也氏	中島 覚氏	山口 一郎氏
岩岡 和輝氏	佐瀬 卓也氏	永田 健斗氏	山田 崇裕氏
馬田 敏幸氏	真田 哲也氏	長谷川 有史氏	山田 裕氏
大森 康孝氏	島田 義也氏	橋本 周氏	山本 尚幸氏
岡村 泰治氏	志水 陽一氏	濱崎 幹也氏	横山 須美氏
小田 啓二氏	数藤 由美子氏	桧垣 正吾氏	吉澤 道夫氏
折田 真紀子氏	杉浦 紳之氏	平尾 茂一氏	吉田 浩子氏
甲斐 倫明氏	鈴木 元氏	廣井 朋子氏	吉田 光明氏
笠井 篤氏	高田 千恵氏	廣橋 伸之氏	吉田 由香里氏
加藤 真介氏	高橋 昭久氏	二ツ川章二氏	吉野 浩教氏
神田 玲子氏	高橋 賢臣氏	古澤 哲氏	米内 俊祐氏
久下 裕司氏	武田 晃氏	外間 智規氏	米原 英典氏
工藤 輝氏	立崎 英夫氏	細井 義夫氏	王 冰氏
栗原 治氏	谷 幸太郎氏	細田 正洋氏	(五十音順)