

放射線に関する線量の現状と課題

-課題解決に向けた提言-



令和4年（2022年）2月

原子力規制委員会委託事業「放射線安全規制研究戦略的推進事業費

（放射線防護研究分野における課題解決ネットワークとアンブレラ型

統合プラットフォームの形成）」

実効線量と実用量に関するWG

目 次

1.	前書き	2
2.	背景と現状	3
2.1	2007 年 ICRP 主勧告前後の動向	3
2.2	ICRU 報告書 95	4
2.3	ICRP 刊行物 147	6
2.4	原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費事業の調査結果と国際動向報告会での指摘 ..	7
2.5	医療及び放射線防護専門家の指摘、日本放射線影響学会の活動と ICRP 論文	7
3.	提言の検討	9
4.	課題と提言	10
4.1	実効線量の取扱い	10
4.2	放射線管理で用いる線量	11
4.3	リスクの説明	12
5.	結び	13
6.	参考文献	14
付録		
I.	委員名簿	16
II.	2021 年度の会議と WG 提言の検討	16

1. 前書き

放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成事業（アンブレラ事業）は、原子力規制委員会が平成 29 年度から開始した「放射線対策委託費（放射線安全規制研究戦略的推進事業費）」の一課題として採択された事業であり、放射線規制の喫緊の課題の速やかな解決のため、個別の専門領域の視点でさまざまな課題解決案を国等に提案するだけでなく、より幅広い専門家集団の総意として現実的な 1 つの提案をする、あるいはステークホルダー間での合意形成や施策の実施に協力することを目指している。

このような中、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、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を目的とした WG を組織することが決定され、実効線量・実用量の新概念が与える影響、緊急時に用いる吸収線量と実効線量、シーベルトと発がんリスクに関する誤解など、放射線防護アカデミア全体にかかわるテーマを扱う「実効線量と実用量に関する WG」（線量 WG）が設置された。

線量 WG は関係者（専門家、実務家、規制当局）の共通理解を深めるための webinar を検討し、令和 2 年度に計 5 回の実効線量と実用量に関する Webinar を開催した。これにより、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が改めて示され、課題が共有された。また、平成 31 年度の国際動向報告会、令和 2 年度のアンブレラ事業参画学会（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、日本原子力学会・保健物理・環境科学部会、J-RIME）の調査や提言、他団体からの情報等を踏まえ、実効線量と実用量に関する国際動向の把握、アンブレラ事業としての課題検討を行った。

令和 3 年度の活動は昨年度までに整理された情報、あるいは新たな情報をふまえて背景と現状を今一度整理しつつ、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。提言は、関連学会及び規制関連省庁に対しては新実用量を取入れる場合に必要な検討や準備に関して示し、研究開発機関、専門家及び実務者に対しては、規制ニーズのある研究と放射線管理・医療の実務的課題の整理及びとりまとめに関して示した。さらに国際機関に対して日本から提供可能な情報（粒子線の RBE など）の観点を加えた。また、内容については、アンブレラ代表者会議及び放射線防護に関連するステークホルダーに確認を受けた。以下に実効線量と実用量に関するこれまでの背景と現状の概略を説明し、さらに、具体的な個別の課題と提言について、特に対象を明確に整理した結果を述べる。

2. 背景と現状

2.1 2007年 ICRP 主勧告前後の動向

「線量(dose、dose quantities)」は、放射線の照射によって単位質量あたりの物質が吸収するエネルギー量である。吸収線量は放射線に関連した基本的な物理量の一つであり、放射線の測定、防護の歴史と発展¹⁾により、吸収線量をベースとして、防護量、実用量が定義されてきた[1] (図 1)。

日本保健物理学会専門研究会「放射線防護に用いる線量概念の専門研究会」では、2007年に国際放射線防護委員会 ICRP 及び国際放射線単位測定委員会 ICRU の示す線量からなる体系は、人の放射線防護の目的では、十分に合理的なものであるという一定の結論を示した一方で、高エネルギー放射線に対しては、ICRU 球の 1cm 深さを基準とした周辺線量の評価では過小評価になるという課題も示していた[2]。

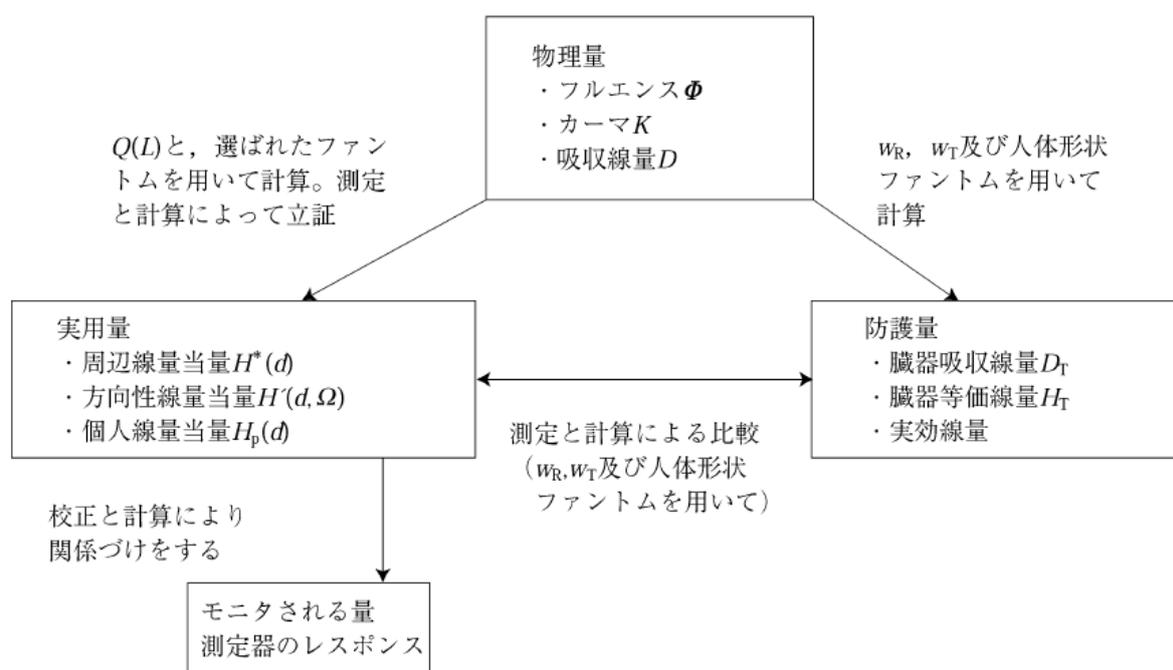


図 1 物理量、実用量、防護量の関係 (ICRP 刊行物 74[1]より)

2007年にICRPの主勧告[3]が公表された後、ICRPは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。医療における放射線利用の拡大もあり、公衆、行政等が放射線(防護)を耳にする機会/理解する必要性が増し、その中でICRP、ICRUは線量の定義と使用について、日本保健物理学会の専門研究会が指摘した課題も含め、さらなるブラッシュアップがなされていった。

このような中、2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故において、放射性物質の放出により、一般公衆が被ばくする状況が発生し、社会に線量に関する数値と情報が多数出

¹⁾ 国際放射線防護委員会 ICRP の放射線防護体系は 2005 年以降環境も防護対象として扱うようになり、線量“率”(mGy/day 等)を単位とした誘導考慮参考レベルが基準値として示されている。

現し、これらが人々の不安を引き起こす原因の一つとなった。等価線量(equivalent dose)、線量当量(dose equivalent)の名称が類似していること、実効線量と等価線量の単位が同じであること等は、放射線防護に関連して生じた混乱の要因であり、今後検討すべき課題として、2014年にICRPのタスクグループ84の報告書に示された[4]。ICRP、ICRUは線量に関する議論を継続的に重ね、後述する報告書のドラフトが作成されていくと同時に、国際シンポジウム等を通じて専門家、あるいは社会と線量に関する課題が共有され、検討が進められた。

2.2 ICRU 報告書 95

2020年12月、ICRUは報告書95「外部放射線被ばくの実用量(Operational Quantities for External Radiation Exposure)」[5]を公開し、

- ・ ICRU 報告書 39 と 51 の実用量は、核燃料サイクル、ウラン処理、原子力発電所、核廃棄物貯蔵・再処理で発生する光子(50 keV~3 MeV)と中性子(熱~20 MeV)のエネルギー範囲に対する防護量の推定値を示した。
- ・ この20年の間に、医療や研究、商業飛行の分野で電離放射線にさらされる労働者の数が増え、既存の実用量を使って測定してきた放射線場よりも低いエネルギーや高いエネルギーの場にさらされるようになった。
- ・ 職業上の放射線防護には、防護量の適切な推定値を示す実用量が必要である。
- ・ 防護量とその利用の変化は、ICRUが実用量を再検討する動機となり、防護量の定義と同じファントムに基づいた実用量の定義へと代替するアプローチを推奨しており、それによって実用量は定義上、防護量の良い推定値となる。

ことを述べ、新しい量を紹介するとともに、高エネルギー放射線場でのみ発生する粒子を含む広範囲の粒子とエネルギーに対する換算係数を示した。

また、従来使用されてきた個人線量当量は、身体上の特定の点の深さdにある軟組織中の線量当量と定義されてきたが、「特定の点」は定量的に定義されていないため、これは概念的な定義に過ぎず、十分な定量的な定義とは言えなかった²。しかし、ICRU報告書95では、個人線量をICRPの標準人のボクセルファントムから求められる実効線量をベースとしてしっかりと定量的に定義した。このことは、重要な点であろう。

全身、眼の水晶体及び局所皮膚に対して、これまでICRPの2007年主勧告[3]及びICRU報告書39/51[6, 7]にて示された、防護量、実用量と使用されるファントムの関係と、ICRU報告書95が示した防護量、実用量と使用されるファントムの関係をそれぞれ表1.1~1.4に示す。いずれの表もICRU報告書95[5]より引用したものである。

² 現在はスラブファントムを用いて個人線量当量の換算係数を定義しているが、これはあくまでも個人線量計の校正等に使用する値の推奨値を示したものであり、個人線量当量の一例にすぎない。

表 1.1 防護量(ICRP 主勧告[3])と ICRU レポート 39/51 の実用量の関係(ICRU 報告書 95[5]より)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	実効線量 E	眼の水晶体の等価線量 H_{lens}	局所皮膚の等価線量 $H_{local\ skin}$
実用量			
エリアモニタリング	周辺線量当量 $H(10)$	方向性線量当量 $H(3, \Omega)$	方向性線量当量 $H(0.07, \Omega)$
個人モニタリング	個人線量当量 $H_p(10)$	個人線量当量 $H_p(3)$	個人線量当量 $H_p(0.07)$

表 1.2 場を特徴付ける量(フルエンス、空気カーマ)から防護量(ICRP 主勧告[3])及び ICRU レポート 39/51 の実用量への換算係数を計算するために使用したファントム(ICRU 報告書 95[5]より、一部改変)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	100 mm x 100 mm x 100 mm 皮膚組織ファントム
実用量			
エリアモニタリング	ICRU 球, $\phi 300$ mm	ICRU 球, $\phi 300$ mm	ICRU 球, $\phi 300$ mm
個人モニタリング	スラブファントム 300 mm x 300 mm x 150 mm	円柱ファントム $\phi 200$ mm x 200 mm	スラブファントム 300 mm x 300 mm x 150 mm 柱状ファントム $\phi 73$ mm x 300 mm ロッドファントム $\phi 19$ mm x 300 mm

注. 実用量のすべてのファントムは ICRU の 4 元素組織で構成される。

表 1.3 防護量と ICRU 報告書 95 が勧告する実用量の関係(ICRU 報告書 95[5]より)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	実効線量 E	眼の水晶体の等価線量 H_{lens}	局所皮膚の等価線量 $H_{local\ skin}$
実用量			
エリアモニタリング	周辺線量 H	眼の水晶体の方向性吸収線量 $D'_{lens}(\Omega)$	局所皮膚の方向性吸収線量 $D'_{local\ skin}(\Omega)$
個人モニタリング	個人線量 H_p	眼の水晶体の個人吸収線量 $D_{p, lens}$	局所皮膚の個人吸収線量 $D_{p, local\ skin}$

表 1.4 場の量(フルエンス、空気カーマ)から防護量と ICRU 報告書 95 が勧告する実用量への換算係数を算出するために使用されるファントム(ICRU 報告書 95[5]より、一部改変)

	全身	眼の水晶体	局所皮膚
防護量	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	100 mm x 100 mm x 100 mm 皮膚組織ファントム
実用量			
エリアモニタリング	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	ICRU 球, $\phi 300$ mm
個人モニタリング	全身 ICRP/ICRU 成人標準ファントム	全身ファントムに組み込まれた眼球モデル	スラブファントム ^a 前面が 2mm の皮膚で覆われた 300 mm x 300 mm x 148 mm ICRU 組織 柱状ファントム ^a 円柱表面が 2mm ICRP 皮膚で覆われた $\phi 69$ mm x 300 mm ICRU 組織 ロッドファントム ^a 円柱表面が 2mm ICRP 皮膚で覆われた $\phi 15$ mm x 300 mm ICRU 組織

^a断面積 1cm²の ICRP 皮膚の円柱で、表面に垂直な軸、深さ 50 μ m から 100 μ m の間で、ファントム面の中心での評点

2.3 ICRP 刊行物 147

2021年3月、ICRPはタスクグループ79の成果としてICRP刊行物147「放射線防護における線量の使用(Use of Dose Quantities in Radiological Protection)」を公表した[8]。その中で、線量を取り巻く課題として

- ・ I-131 などの特定の臓器に集中する内部放出源からの線量を考慮する場合、注意深く区別されていない場合に等価線量と同じ単位 (Sv) で表され、実効線量との混同。
- ・ 手足、眼の水晶体及び皮膚の被ばくの場合の組織反応を回避するための限度を設定する際の等価線量の使用。つまり、臓器や組織への急性障害の発生のしきい値より下の限度が設定されており、作業者と公衆の限度は異なる。
- ・ 外部被ばくを測定するために使用される実用量と防護量との混乱：具体的には、線量当量（実効線量の推定として使用される外部放射線の測定量）と等価線量（実効線量の計算における中間量）。
- ・ すべての低線エネルギー付与 (LET) 放射とアルファ粒子に対しては単純なアプローチであるが、中性子に対してはより複雑であり、実用量に線質係数を使用する別の重み付けアプローチを使用する、放射加重係数の設定における明らかな不整合。
- ・ がんリスクの年齢、性別及び人口に関連する違いが認識されているにもかかわらず、すべての年齢層及び男女の実効線量の計算における単一セットの組織加重係数の使用。
- ・ 男性と女性、子供と大人を別々にではなく、性別平均の標準人の実効線量の計算及び標準人と代表的個人との間の混乱。
- ・ 特に個々の臓器/組織への高吸収線量を伴う可能性のある事故で発生する可能性のあるより高い被ばくを考慮する場合に、実効線量が適用できる線量範囲。
- ・ 内部放出源からの預託線量を計算することの明らかな保守性。つまり、成人の場合は50年間、小児の場合は70歳までの線量が積算される。
- ・ 内部放出源への母親の被ばく後の胎児への実効線量の計算。
- ・ 特に医療処置からの患者の被ばくを評価する際のリスクを推定するための実効線量の使用。
- ・ 集団へのリスクを評価するための集団実効線量の使用。

を具体例として総括した上で、実効線量、吸収線量に関連する主要な点（将来の主勧告に対する提案を含む）として以下を示した。

- ・ 実効線量及び集団実効線量は、職業上及び公衆の被ばくにおける確率的影響、主のがんに対する防護を最適化するために用いる役立つツールである。
- ・ 実効線量は、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用いられる。
- ・ 実効線量は、一般的に100mSv以下の線量で使用される。特に線量の不均一な分布による組織反応の発生の可能性を忘れてはならないが、約1 Svまでの範囲の急性線量での使用は妥当である。
- ・ 吸収線量は、組織反応（確定的影響）を防ぐための臓器・組織線量の限度を設定する際に使用する最も適切な量である。委員会は、新たな一般勧告が出される時点で、臓器・組織線量の限度値を設定するために、等価線量の使用から変更する予定である。

2.4 原子力規制庁平成 30 年度放射線対策委託費事業の調査結果と国際動向報告会での指摘

原子力規制庁は平成 30 年度放射線対策委託費事業として、実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査を行った[9]。この調査では、上述の ICRU 及び ICRP のドラフト段階の文書を参考に、実用量及び実効線量の概念変更に伴う情報収集、我が国への影響整理、導入にあたっての課題整理が詳細になされた。また、平成 31 年度のアンブレラ事業においては国際動向報告会による課題の抽出が行われ、報告書において以下の論点が示された[9]。

- ・ 等価線量は実効線量を計算する過程での中間的な量となり、確率的影響は実効線量で制限するために評価し、確定的影響の防止には吸収線量で評価する。これによって、確定的影響の吸収線量に線質の異なる放射線に対して生物学的効果比 RBE が必要となる。
- ・ デトリメントを基礎にして、年齢、性、がんベースラインの異なる国ごとのリスクを平均化している組織加重係数は、防護の標準化のために定義されている。よって、年齢別標準ファントムによる年齢別の実効線量の評価や個別化する上での線量係数についての研究の進捗が必要である。またデトリメントの不確かさ及びデトリメントを基礎とした実効線量の意味や制約などについて、整理する必要がある。
- ・ 実効線量は防護量であるが、原子放射線に関する国連科学委員会 UNSCEAR は放射線被ばくを包括的に定量する指標として活用してきた歴史がある。防護量であっても便利なツールとしての線量として今後も活用するためには、その制約等の考え方を整理して、広く共有する必要がある。
- ・ 実効線量をベースにした実用量は、防護量として理論的に理解しやすくなったが、実務上の課題を明らかにして、対応の準備をする必要がある。

2.5 医療及び放射線防護専門家の指摘、日本放射線影響学会の活動と ICRP 論文

令和 2 年度に開催された上述の webinar においては、細井義夫教授、甲斐倫明教授より線量に関連した現状と以下の課題が改めて指摘された。

- ・ 放射線診断は一般に 100mSv を超えない。
- ・ 一方、放射線治療では一般に 30-76Gy が照射され、腫瘍内に設定されたリファレンスポイントにおける吸収線量として表記される。
- ・ 核医学も一般に 100mSv を超えないが、投与量 MBq と実効線量 Sv の関係で示される。なお、医療現場での説明では、しばしば実効線量が用いられるが、等価線量が用いられることはほとんどない。
- ・ 緊急被ばく医療では、単位は Gy または GyEq³を用いるべき（急性放射線障害が問題となる場合には通常は 1GyEq 以上の被ばく）。
- ・ X 線、電子線、 β 線、 γ 線の場合には、吸収線量は組織反応（確定的影響）の制限に使用する最適な量。

³ 高線量被ばく時に放射線の種類に応じて急性影響に特有な生物学的な効果を考慮して影響の程度を表す単位

(<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy99/siryoy78/siryoy112a.htm>)

- ・ 等価線量は、確率的影響を制限するときの線量（計算目的）として使用。
- ・ 等価線量は実効線量計算の中間的な量とみなすべきである。
- ・ 実効線量は特定年齢の標準人の男女平均で計算される。
- ・ 実効線量は最適化、限度などの基準との比較、コンプライアンスの証明に使用。
- ・ 実効線量は 100mSv 以下で一般的に使用、例外的に緊急時被ばく状況では 1Sv 程度まで使用可とされている。
- ・ 実効線量は医療で異なるモダリティや撮影技術の比較に使用できる。
- ・ 実効線量は医療従事者と患者のリスクの目的に、異なる医療行為を大まかにカテゴリ分けする指標に使用できる。
- ・ 放射線診断における医療被ばくは一般に局所被ばくが多く、そのような場合には実効線量は局所の吸収線量や組織の等価線量よりも小さい数字となる。このため、実効線量を用いることで医療従事者や患者の被ばくに対する印象を過小にしてしまう可能性がある点に留意すべきである。
- ・ 実効線量はリスクの近似指標であるが、特定個人のリスク代替にはならない。
- ・ 集団実効線量は、最適化（特に職業被ばく）の有用なツールであるが、リスク予測に使用する場合には注意して扱い、文脈を考慮して、バックグラウンド罹患率との関連で判断されるべきである。

日本放射線影響学会では、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) の情報を整理するとともに、それらを吸収線量の重みづけに用いる際の諸問題とそれらの解決に向けた方向性を示すことに取り組んだ。より具体的には、高線量被ばくがもたらす確定的影響の RBE 値に関する広範な情報を、造血機能障害、皮膚障害、腸機能障害、中枢神経障害、生殖機能障害、白内障等の主要な生物学的エンドポイント毎にとりまとめ、これらの RBE 値を被ばく医療に取り入れる際の課題について考察した[11]。

ICRP は次期主勧告の検討を開始するにあたり 2021 年 7 月に論点を示した「Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose」を発表した[12]。この論文の中で実効線量については、

- ・ ICRP は、さまざまな年齢の子供の一連の標準ファントムを開発し、妊婦と胎児用の標準ファントムも提供する。
- ・ 実効線量とそれに関連する損害をグループごとに個別に計算し、透明性を高めることができる。たとえば限度のような適切に平均化された線量基準を設定するといった単純化をプロセス全体の最後に行うことができる。
- ・ これにより、防護体系と防護の最適化を駆動する実効線量と確率的リスクとの関連がより明確になる。

と説明し、年齢、性別、個人の特性を含んだ実効線量について述べつつも、組織反応では放射線加重吸収線量 (Gy)、確率的影響では実効線量 (Sv) とそれぞれ別々に検討することによる簡素化にも触れている。また、医療における実効線量については、患者固有の数値に基づく評価について言及している。

3. 提言の検討

以上で示した背景状況に基づき、本線量 WG では放射線防護コミュニティに対して、以下の基本方針に沿って線量に関連した課題を改めて整理し、提言として取りまとめることとした。

- ・ 既存の学会報告書、アンブレラ事業報告書、ICRU 報告書、ICRP 刊行物等で指摘された課題を参考に、線量 WG 会合の議論によって重要とみなされた課題を本提言で取り上げる課題として抽出する。なお、課題数が多いと対象が不明瞭になるため、本線量 WG での提言は 3 つの課題に絞る。
- ・ それらの課題に対し、現状及び問題点を改めて整理した上で、提言先と想定した放射線防護に関連する学会、規制関連省庁等が今後具体的なアクションを起こすことを促進する記述となるよう、記載内容を検討する。具体的には、(1) 関連学会及び規制関連省庁に対して：新実用量を取入れる場合に必要な検討や準備、(2) 研究開発機関、専門家及び実務者に対して：規制ニーズのある研究と放射線管理・医療の実務的課題を整理し、とりまとめる。
- ・ 我が国での議論、整理結果あるいは研究成果等は国際的組織に向けて情報発信する意義があるものも含めることとする。そのため、国際機関に対して日本から提供可能な情報（粒子線の RBE など）の観点も加える。

提言の原案は線量 WG で検討整理し、代表者会議での意見、また国内専門家への意見聴取に基づいてブラッシュアップを図った。これらの会議等の整理検討経緯は付録 II に示す。

4. 課題と提言

4.1 実効線量の取扱い

(1) 現状及び問題点

- ・ ICRP2007 主年勧告によれば、放射線防護の目的のための実効線量は、人体の臓器や組織の平均の線量に基づいている。これは標準人について定義され、推定されたものである。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 刊行物 144[13]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。
- ・ 内部被ばくについて ICRP は職業と公衆に対して、それぞれ 50 年及び 70 年で積算した預託線量の線量係数を提供している。職業被ばくに対しては 2007 年主勧告の組織加重係数等に基づく線量係数が提供されつつあるが、公衆被ばくについては今後発行される見込みである。
- ・ 医療に関しては特に放射性薬剤の投与、すなわち内部被ばくに対して年齢別の線量係数がこれまで提供されている。治療、検査等の外部被ばくでは、ICRP が設定する照射条件ではなく、局所被ばくがほとんどである。
- ・ 最近発行された ICRU 報告書 95 及び ICRP 刊行物 147 は、実用量(外部被ばくの周辺線量当量)の換算に ICRU 球ではなく標準コンピュータファントムを用いるなど、大きな変化があった。
- ・ 年齢別の実効線量について ICRP は次期主勧告の改定に関する論文[12]でも触れられており、改良・整理されていく途上にある。また、実効線量の計算においては多くの取り決めが存在し、中心的な防護量ではある一方で、起こりうる健康リスクのおおよその指標であることの認識が必要である。
- ・ また実効線量を細分化することにより、実効線量が特定の個人のリスクを示したものと誤解を生じかねない。実効線量は定められた算出方法があり、また、防護量であるため個人のリスク評価でないことを丁寧に伝え、国、規制当局、学会での理解を深める必要がある。

(2) 提言

- (i) 関連学会は、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を、内部被ばくと外部被ばく、あるいは放射線管理、医療被ばくの側面からそれぞれの現場での使われ方を横並び整理し、認識を共通化できる報告書を協働して作成すべきである。
- (ii) 関連学会及び規制関連省庁は、同報告書の作成においては、学術大会、シンポジウム、HPでの意見募集、セミナー、勉強会等を通じたブラッシュアップをステークホルダーも交えて検討すべきである。
- (iii) 規制関連省庁は、学会等によって整理された共通認識の報告書に基づき、実効線量の意味合いと意図する使い方を社会に広く普及させるための資料、素材を、一般公衆が理解しやすい型式で提供すべきである。なお、2.5 節に示したように、ICRP 次期主勧告の策定に向けて議論が進みつつあるため、国際的なコンセンサス、国際動向、方向性を考慮しつつ社会に広めるタイミングを十分に検討する必要がある。

4.2 放射線管理で用いる線量

(1) 現状及び問題点

- ・ 実効線量は主に確率的影響を管理する目的で使われる。実効線量は直接評価できないため、測定可能(と定義される)実用量を用いて、実用量>防護量であることを踏まえて放射線管理に活用されてきた。
- ・ 実用量である周辺線量当量 $H^*(10)$ あるいは個人線量当量 $H_p(10)$ の評価計算には、ICRU 球及びスラブファントムの深さ 10mm の位置が定義されているが、ICRU 報告書 95 等では標準人ファントムを使った評価計算が推奨され、実効線量(防護量)に近い換算係数が示されている。
- ・ また、ICRP 刊行物 147 において、吸収線量は、組織反応(確定的影響)を防ぐための臓器・組織線量の限度を設定する際に使用する最も適切な量であるとし、将来的に臓器・組織線量の限度値を設定するために、等価線量ではなく、吸収線量の使用変更について言及した。ICRP 論文[12]においても、等価線量は実効線量を計算する中間段階の量として説明されている。
- ・ 組織反応には ICRP 刊行物 118[14]に示されるように対象となる組織・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化しうる。

(2) 提言

- (i) 研究開発機関、専門家、放射線管理の実務者、関連学会及び規制関連省庁は、実用量の定義が変わり、さらに組織反応に対する線量限度が、等価線量から吸収線量になる場合、あるいは個々の組織ごとに異なる線量限度が設定された場合の課題について、特に放射線管理に及ぼす影響を整理する必要がある。具体的には、測定器の校正の在り方、測定方法の妥当性確認方法、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(名称や単位の整合性、継続性、評価対象臓器、局所被ばくの扱い、線量登録システムの改修等)の課題を参考文献[9]のまとめをふまえて整理する。この際、メーカ、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必要がある。ICRU 報告書 95 の取り入れは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。
- (ii) 関連学会及び放射線管理の実務者は、日本放射線影響学会が取りまとめ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)の情報を整理し、現場実務への影響についてとりまとめる必要がある。具体的には、RBE は同じエンドポイントでも線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること、実験の条件によって大きく異なる等を整理し、呼称も含め実務での扱いに関する課題を把握する。
- (iii) 現在 ICRP はタスクグループ 118 において、RBE、線質係数及び放射線加重係数の検討を行っている。我が国は世界的にも重粒子治療をリードしていることから、研究開発機関及び専門家は、RBE の結果が線量率、線質、放射線エネルギーによって大きな幅があること等を国際的組織に対して情報発信を行うべきである。また、治療分野と防護のリスク評価の違いを整理し、RBE、線質係数及び放射線加重係数の扱いを含め放射線防護の取り決めに資するべきである。

4.3 リスクの説明

(1) 現状及び問題点

- ・ 実効線量及び集団実効線量は、職業上及び公衆の被ばくにおける確率的影響、主になんに対す防護を最適化するために用いる役立つツールである。実効線量とリスクの関係について、ICRP2007年主勧告では、名目リスク係数として約5%/Svを与えており、これは1Svの被ばくによって集団でのがん死亡が5%程度上昇する評価であることを意味する。
- ・ 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、実効線量とリスクの関係では、低線量(率)放射線による全身被ばくが基本となっている。また、線質によるがんへの影響の違いは、放射線加重係数 w_R によって考慮されている。ただし、DDREF、 w_T 及び w_R は ICRP2007年主勧告において、性別、年齢にかかわらず同一の値が与えられており、外部被ばく、内部被ばくに対する実効線量換算係数の算出に用いられている。
- ・ 一方、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んでいる。
- ・ 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、実効線量が用いられてきた。
- ・ 実効線量は、一般的に100mSv以下の線量で使用される。特に線量の不均一な分布による組織反応の発生の可能性を忘れてはならないが、約1Svまでの範囲の急性被ばくでの使用は妥当とみなされている。
- ・ 医療現場では実効線量を用いた説明がされている事実があり、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。この際、バックグラウンドの放射線レベルを把握することも必要である。

(2) 提言

- (i) 関連学会及び医療現場の実務者は、実効線量の医療利用とリスクの意味合い(例えば被ばく時年齢による違い)を医療現場が理解整理し、患者に適切な説明が可能となるような資料を整理すべきである。

5. 結び

実用量、実効線量等の線量に関連した個々の課題は、放射線防護、放射線管理、医療、放射線影響等の学会活動などを通じ、また、国内外の様々な立場の声によって、これまで長きにわたって指摘されてきたが、近年それらに対応した国際的なガイドラインとして ICRU 報告書 95、ICRP 刊行物 147 が公表された。

いくつかの課題は対応されたものもあるが、引き続き残っている課題もある。また、現時点では、それ以降の国際的な基準化（IAEA、ISO 等）及び国内への取入れ（国内法令、JIS 等）、現場適用、それらに対する課題の洗い出しは十分なレベルに達していないといえる。我が国では ICRP の 2007 年主勧告の国内法令取入れが検討中である一方で、2011 年のソウル声明に基づいて水晶体の新しい線量限度が取入れられ、さらに国際的には ICRP が次期主勧告の検討に着手した。このように、国際的な動向と国内法令取入れのうごきが絡み合っている状況にあり、現場への適用も見通されていないため、関連学会、規制関連省庁、研究開発機関、専門家及び実務者に対する提言は複雑かつ多岐にわたる。また、社会やステークホルダーに対して理解を深めることが重要であるものの、説明の方法、目的、タイミングには十分に留意する必要がある。一方で線量は医療では日々患者への説明に使われ、緊急時への備えは着実に進めなくてはならないのも事実である。

本報告では、実用量、実効線量等の線量に関連した放射線に関わる量に対する正しい理解活動への提言をとりまとめたが、ICRP 次期主勧告の策定に向けて議論が進みつつあるため、国際的なコンセンサス、国際動向、方向性を考慮すべきと考える。これらは、社会に普及させるタイミング、我が国の実状等も踏まえて検討する必要があるだろう。

6. 参考文献

- [1] ICRP, 1996. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3-4).
- [2] 日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ, Vol.5 No.1, 放射線防護に用いる線量概念の専門研究会, 2007年8月.
- [3] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- [4] Abel J Gonzalez et al., Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident, 2013 J. Radiol. Prot. 33 497 doi:10.1088/0952-4746/33/3/497.
- [5] ICRU (2020). International Commission on Radiation Units and Measurements. Operational Quantities for External Radiation Exposure, ICRU Report 95, J. ICRU 20(1) (Sage Publishing, Thousand Oaks, CA) (2020).
- [6] ICRU (1985). International Commission on Radiation Units and Measurement. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources, ICRU Report 39 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- [7] ICRU (1993). International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Report 51 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- [8] ICRP, 2021. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP 50(1).
- [9] 平成30年度原子力規制庁委託成果報告書, 実用量及び防護量としての実効線量に係る動向調査, 平成31年3月, 公益財団法人原子力安全研究協会.
- [10] 平成31年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)事業, 放射線防護に関する国際動向報告会報告書, 令和2年2月, 公益財団法人原子力安全研究協会.
http://www.umbrella-rp.jp/H31international_report.pdf
- [11] 一般社団法人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, 令和2年度放射線安全規制研究戦略的推進事業費(放射線防護研究分野における課題解決型ネットワークとアンブレラ型統合プラットフォームの形成)報告書, 2021.
- [12] C. Clement et al (MCメンバー), 2021, Keeping the ICRP Recommendations Fit for Purpose J. Radiol. Prot. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac1611>
- [13] ICRP, 2020. Dose coefficients for external exposures to environmental sources. ICRP Publication 144. Ann. ICRP 49(2).

[14] ICRP, 2012. 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).

付録

I. 委員名簿

佐々木 道也	一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部 生物・環境化学研究部門 上席研究員
保田 浩志	国立大学法人 広島大学 原爆放射線医科学研究所 教授
床次 眞司	国立大学法人 弘前大学 被ばく医療総合研究所 所長（教授）
細井 義夫	国立大学法人 東北大学大学院医学系研究科・医学部 教授
橋本 周	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門 大洗研究所 放射線管理部 次長
岩岡 和輝	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構 量子生命・医学部門 放射線医学研究所 放射線規制科学研究部 主幹研究員

事務局：神田 玲子 量子科学技術研究開発機構

II. 2021年度の会議とWG提言の検討

5/31 線量WG 第4回会合 骨子案の作成

6/15 第17回アンブレラ代表者会議 線量WGの提言の骨子に関する議論

7月～9月末 骨子案の作成（メールによる意見交換）

10/7 線量WG 第5回会合 提言案の作成と検討

10/15 第18回アンブレラ代表者会議 線量WGによる提言案の説明

専門家への個別確認、（～11月中旬）

学会報告と意見募集（10/15代表者会議後 ～11/20）

コメントの対応整理

12/7 線量WG 第6回会合 提言案へのコメント対応確認

12/10 第19回アンブレラ代表者会議 線量WGによる提言案の報告

12/10～12/22 アンブレラ代表者会議からのコメント募集

コメント対応の整理

1/18 第20回アンブレラ代表者会議 線量WGによる提言案の最終報告 代表者会議による承認