

測定値（空气中放射線量）と実効線量

放射線工学部会
線量概念検討 WG

はじめに

福島原子力発電所事故後、多く場所で空气中放射線量（以下、空間線量という。）の測定が行われている。一方、人体の被ばくの程度の定量化には、実効線量が使われるということについても、多くのところで解説がされている。しかしながら、同じシーベルトが使われている両者の関係についての解説はほとんど見られない。両者の関係を理解することは、測定される線量について理解するためにも重要であるので、それぞれがどのように定義されているかということを含めて両者の関係について解説する。

1. 実効線量

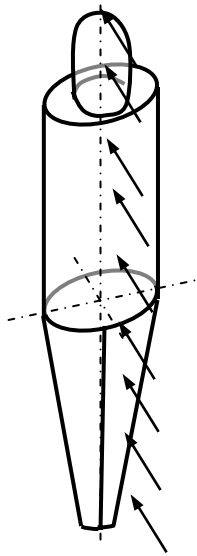
ICRP が線量評価に用いている「実効線量」は、各臓器の等価線量に組織加重係数を掛けたものの総和として定義されている。

等価線量は、放射線により各臓器の吸収された単位質量当たりエネルギー（吸収線量： $1 \text{ J/kg} = 1 \text{ グレイ (Gy)}$ ）に放射線の種類による影響の効果（放射線加重係数）を掛けたものであり、単位はシーベルト(Sv)である。ガンマ線の場合、放射線加重係数は1なので、臓器の吸収線量が1グレイの場合は、1シーベルトとなる。

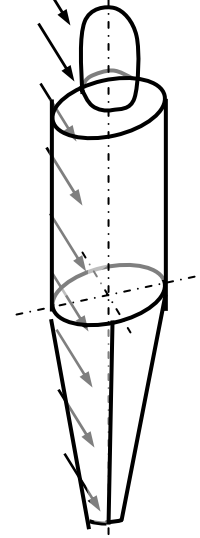
外部被ばくによる各臓器の吸収線量は、人体を模擬した人体ファントム全体に放射線が入射したとして計算する。照射形状により同じ種類、同じエネルギーの放射線であっても、各臓器の吸収エネルギーは異なる。ICRP では、照射形状として第1図に示す5種類を考えている。AP照射形状は、人体前方からの入射で、同じ放射線に対して最も大きな実効線量となることから、放射線障害防止法における線量評価に使用されているものである。LAT照射形状は、右又は左側面から、PA照射形状は、人体後ろからのみ放射線が入射する特殊な場合である。この様な状況を考慮して、以下の説明では、AP照射形状と、放射性同位元素が広い領域の拡がっている福島等の現在の被ばくに近いと思われるISO照射形状及びROT照射形状について検討する。

また、各臓器の吸収線量の値は、体格が大きく異なるために、年齢により同じ放射線でも異なる値となる。ICRPのレポート（ICRP Publ. 74）でも、年齢（体格）依存があることはグラフで紹介されているが、具体的な数値は示されていない。年齢依存については、山口の論文¹⁾により公開されている実効線量を使用して比較を行う。

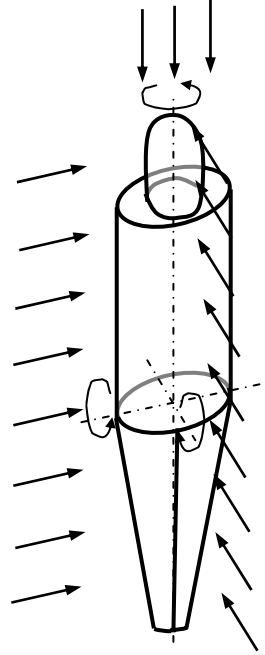
AP 照射



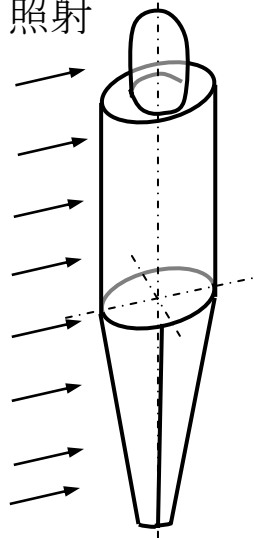
PA 照射



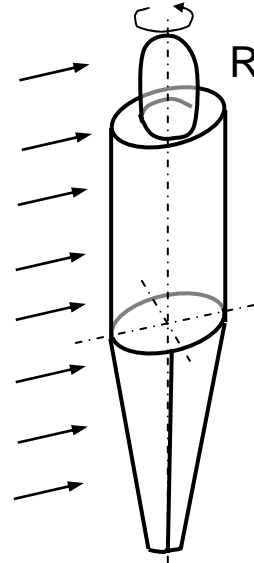
ISO 照射



LAT 照射



ROT 照射



第 1 図 実効線量計算のための照射条件

組織加重係数は、確率的影響のリスクに対する各臓器の影響を表す係数である。現在使われている 1990 年勧告の放射線荷重係数を、第 1 表に示す。ICRP の最近の勧告では、原爆被爆者の疫学調査の結果に基づいて値が若干変更されている。

第 1 表 1990 年勧告の組織加重係数 (ICRP Publication 60)

組織加重係数、 <i>w_T</i>	組織又は器官
0.20	生殖腺
0.12	赤色骨髄, 結腸, 肺, 胃
0.05	乳房, 甲状腺, 食道, 肝臓, 膀胱
0.01	骨表面, 皮膚
0.005	副腎, 脳, 大腸上部, 小腸, 腎臓, 筋肉, 膵臓, 脾臓, 胸腺, 子宮

2. 空間線量として測定される線量

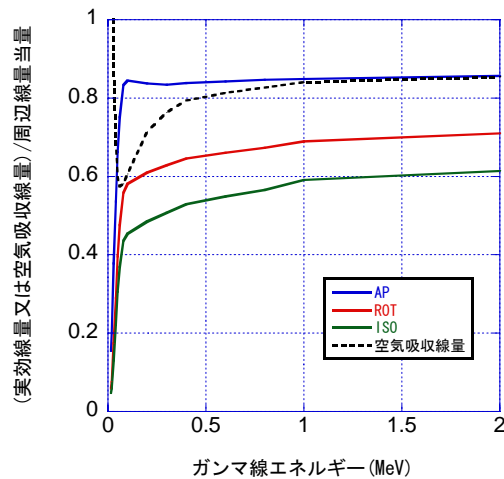
ICRP は、定義通りの実効線量は測定できないということから、空間線量の測定は、ICRU が定義した周辺線量当量 (Ambient dose equivalent) を用いることにしている。周辺線量当量は、直径が 30cm の球形状の人体等価ファントム (人体の軟組織 [骨、肺を除く組織] に近い元素組成を持つ物質) に放射線が平行に一樣に入射したときの特定深さの線量当量であり、全身の被ばくに対応する場合には 1cm の深さの値が使われる。そのため、1 センチメートル線量当量と表現される場合もある。

周辺線量当量の定義通りの測定を行う測定器を作ることも、原理的に不可能に近いので、周辺線量当量を測定する線量計は、様々な工夫をして (ガンマ線の場合であれば、エネルギー情報を取り入れた「エネルギー補償型」や、各種のフィルターを使用する等) あくまで周辺線量当量のエネルギー応答に近い応答を持つようにしたものである。

空間線量の測定値として使用されているもう一つの線量は、空気の吸収線量 (Air Gy) である。空気吸収線量は、以前レントゲンという単位で使用されていた照射線量に対応する線量である。使用する検出器によるが、定義に近い測定が可能な線量であり、多くのモニタリングポストで測定されている線量である。

3. 周辺線量当量と実効線量の比較

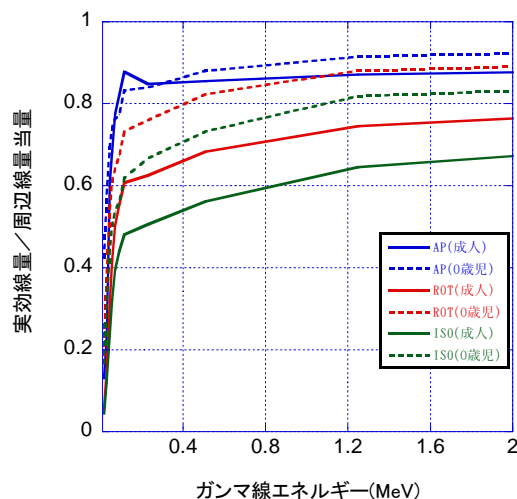
測定される線量と実効線量の違いを理解するために、測定される線量である周辺線量当量と AP, ROT 及び ISO 照射形状の実効線量及び空気吸収線量 (Gy) の比を第 2 図に示す。



第2図 周辺線量当量に対する実効線量及び空気吸収線量の比

この図より、どの照射形状 (AP, ROT, ISO) の実効線量も、周辺線量当量より値が小さくなることが判る。空気吸収線量についても低エネルギー(30keV 以下)領域を除き同様である。また実効線量間でも、照射形状により値が異なることが判る。

年齢依存を明らかにするために、第3図には文献1で公表されている0歳児と成人に対する実効線量の周辺線量当量に対する比を示す。ICRPが公表している実効線量(ICRP Publ. 74)は、文献1の成人の値とほぼ一致しているが、様々な研究成果(計算)をまとめたものなので、若干の違いがある。ROT及びISO照射形状では、0歳児に対する実効線量が成人に対する実効線量に比べ約1.3倍程度大きくなっているが、それでも周辺線量当量よりは小さいことが判る。



第3図 周辺線量等量に対する実効線量の比

図2,3で示した通り、実効線量当量と周辺線量当量の比はガンマ線のエネルギーに依存している。第2表にはI-131, Cs-134及びCs-137から放出されるガンマ線のエネルギーと放出率データを基に、文献1の値を使用して得られた実効線量をまとめる。第2表には、

ICRP のレポート (ICRP Publ.74) に基づく値も併せて示す。全ての値が 1 以下になっており、周辺線量当量は実効線量のより保守的な評価値の線量を与えることが判る。

第 2 表 年齢別実効線量の周辺線量当量に対する比

I-131

	0 歳児	1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人	ICRP
AP 実効線量	0.87	0.87	0.87	0.87	0.85	0.85	0.83
ROT 実効線量	0.80	0.77	0.74	0.71	0.70	0.66	0.64
ISO 実効線量	0.71	0.66	0.63	0.60	0.56	0.54	0.52

Cs-134

	0 歳児	1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人	ICRP
AP 実効線量	0.90	0.89	0.89	0.88	0.87	0.87	0.85
ROT 実効線量	0.85	0.81	0.78	0.75	0.72	0.71	0.68
ISO 実効線量	0.77	0.72	0.68	0.65	0.61	0.59	0.58

Cs-137

	0 歳児	1 歳児	5 歳児	10 歳児	15 歳児	成人	ICRP
AP 実効線量	0.89	0.89	0.88	0.88	0.86	0.85	0.84
ROT 実効線量	0.84	0.80	0.77	0.74	0.71	0.70	0.67
ISO 実効線量	0.75	0.70	0.67	0.64	0.60	0.58	0.57

4. 線量の測定値を使用する場合に留意すべき点

4-1 被ばく線量を評価する場合

これまでの説明で判るように、実効線量は、どのような照射形状を適用するか、どのような年齢を対象にするかによって、無視できない違いが生じる。

地表に分布した線源からの被ばくに近い自然放射線からの被ばくについては、以下に示すように ICRP の ISO 照射形状の実効線量が使用されているように思われる。自然放射線の場合は、地面からと宇宙線起源による上空からの放射線によるため、ISO 形状を採用したのではないかと推測される。

(1) 原子放射線による影響に関する国連科学委員会報告 (UNSCEAR Report) で使用されている係数

外部被ばくの実効線量として、空気吸収線量 (Gy) から実効線量への変換係数として、0.7 を使用している。0.7 という値から類推すると、ISO 照射形状の実効線量であると思われる。

(2) 放射線医学総合研究所 (放医研) による「大地(大気を含む)の自然放射性核種からの空気吸収線量率と実効線量率 (全国および都道府県別)」で使用されている係数

放医研の説明では、「UNSCEAR 2000 年報告書では、空気吸収線量率 (Gy) から実効線量 (Sv) への換算係数として 0.7 Sv/Gy を用いている。この換算係数は、エネルギーが 0.5 MeV のガンマ線に相当するものであり、環境中のガンマ線エネルギー (数 10 keV

- 2.6 MeV)に適用した場合、若干低めに見積もられる可能性がある。したがって、ここでは森内らによって評価された実効線量換算係数 (0.748 Sv/Gy) を用いた。」としている。

一方、文部科学省が公開している全国の「環境放射能水準調査結果」では、 $1 \mu\text{Gy/h}$ (マイクログレイ毎時) = $1 \mu\text{Sv/h}$ (マイクロシーベルト毎時) と換算したという脚注がある。しかしながら、この変換が、周辺線量当量への変換なのか、実効線量への変換なのかという説明はない。種々の測定値の一つとして公開されていることから、周辺線量当量への変換と思われるが、そうだとすると Cs の場合で、2 割弱の過小評価になる。

どの様な年齢のどの様な照射形状の実効線量よりも高めの値となる周辺線量当量を実効線量としてリスク評価に使用するの、一つの合理的な考え方であると思われるが、そうでない考え方をするばあいには、その根拠を含めて、丁寧な説明が行われることが必要である。

5-2 放出量の推定に空間線量率の測定値を使用する場合

今回の事故では、環境に放出された放射能の総量が明確になっていないことから、広い領域で多くのデータがある空間線量率の測定値 (周辺線量当量率) と大気中の拡散モデルから求めた「線量」との比較により放出量が推定される場合があると思われる。この場合、拡散モデルで評価している「線量」が実測値 (周辺線量当量) と対応しているかどうかを確認する必要がある。ISO 照射形状や ROT 照射形状の実効線量で求められたモデルの線量が周辺線量当量の測定値と対応しているとして評価すると、周辺線量当量が正確に測定されていたとしても、第 2 図から判るように、放出量を 2 倍近く過大評価する可能性があるため、注意が必要である。

6. まとめ

実効線量は、同じエネルギーのガンマ線でも照射形状により値が異なる。また、年齢によって同じ照射形状でも値が異なる。線量計によって測定される周辺線量当量は、ガンマ線の場合は、どの様な年齢、照射形状の実効線量よりも大きな値となり、実効線量を安全側に評価する線量となっている。測定値を具体的な目的に使用する場合には、このことを理解して対応する必要がある。

参考文献

1. Y. Yamaguchi, "AGE-DEPENDENT EFFECTIVE DOSES FOR EXTERNAL PHOTONS", Radiation Protection Dosimetry, Vol. 55(1994)123-129.