

表題：ラドン吸入による内部被ばく問題（6）

副題：世界の機関によるラドンの取り扱い_ICRP

筆者：SCE-Net 環境研究会 郷 茂夫

（化学工学会 会員， 放射線影響学会 会員）

2021年 9 月 30 日作成（改訂）

ラドンは地球上のあらゆる環境に存在しており，われわれが呼吸によって体内に取り込む放射性物質です．屋外のラドン濃度は一般的にかなり低いものの，建物の中や特に洞窟や鉱山のような地下空間では，かなり高い濃度で存在する場合があります．日本における平常値（一般には低い）から比べると，欧米のラドン濃度はびっくりするような値も出てくることがあります．

1987年から2017年までの期間で，ICRPがラドン問題について，どういう評価をして報告書を公開してきたかを見てみましょう．

ICRPがよく使う以下の「参考レベル」とか「線量限度」とかの用語の理解が必要ですが，それは補足資料（1）でICRPや環境省の資料を載せていますので，参照ください．

1. ICRPにおけるラドンの取り扱い経過

（1）疫学研究を主体として言ってきたこと

1980年以前の古い時代；		
対象：鉱山	最初の勧告はPublication24として1977年に刊行され54)，ウラン鉱山や他の鉱山における防護に焦点を当てた．勧告が <u>ウラン鉱山のみに限らず他の鉱山を対象としたのは</u> ，ラジウム226がほとんど至る所にあるウラン238壊変系列の核種であることによる．	
限度	<u>疫学研究の急速な進展により</u> ，ラドン子孫核種による被ばくの <u>年間限度は12WLM（※）</u> であると勧告．	

（※）連載（3）2. で，ラドンに関わる，いろいろな特殊単位を紹介していますが，それを参照ください．WLとは1m³当たりのエネルギー濃度で，WLMは累積被ばく量（=被ばくエネルギー量）の単位です．今はあまり使いません．

1993 (ICRP Pub. 65 勧告) に表明したこと ;			
対象, レベル	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 住居内での防護まで拡張, ➢ ラドン濃度に対して対策レベルが設定 → 現在「対策レベル」という言葉は用いられていない。 「対策」という言葉はよく出てくるが. 		
場所	ラドン濃度 (Bq/m ³)	年間実効線量 相当値 (mSv)	付帯条件
住居内	200-600	約 3-10	公衆 ; 住居内の年間滞在時間を 7000 時間と仮定する.
職場環境	500-1500	住居と同じ 3-10	職業人に対して, 公衆とは異なった線量換算係数と年間労働時間 (2000 時間) を使用
対策レベルに関連して, 職業被ばくとしての 実効線量限度		5 年間で平均 20 mSv (換算すれば 5 年間で 平均 4 WLM)	いかなる 1 年でも 50 mSv, (いかなる 1 年でも 10WLM を越えないこと)
線量換算係数 ; 右記を採用		Work	Home
表示 単位 :	mSv / WLM	5	4
	mSv / mJ h m-3	1.4	1.1
	nSv / Bq h m-3	8	6

2010 (ICRP Pub. 115 勧告) に表明したこと ;				
対象・テーマ	<ul style="list-style-type: none"> ➢ ラドンとその子孫核種による被ばくによる肺がんリスクの評価値 ➢ レベルのラドンに被ばくした鉱山作業者のコホート研究の結果に加え, 初めて屋内ラドンによる肺がんに関する疫学研究結果 (※) も考慮. 			
喫煙とラドンが 肺がん に与える影響評価 ;		ラドン濃度 (Bq/m ³)		
		0	100	400
非喫煙者の 75 歳までの肺がんの絶対リスク		0.4 %	0.5	0.7
喫煙者の 75 歳までの肺がんの絶対リスク		10%	12	16
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 重要な結論 ; 屋内ラドン濃度の増加とともに肺がんリスクが直線的に増加する. 喫煙者では非喫煙者に比べて, 肺がんリスクは約 25 倍高い. (喫煙が肺がんの最も重篤な原因であることを意味する) ➢ 住居内の参考レベルの最大値 : 600 Bq/m³ → 300 Bq/m³ へ下げるべき. → 100-300 Bq/m³ となる. 				

(※) 症例対照研究 [Case-control study] ; 疫学研究の一種で, 着目する疾患に罹患している被験者集団 (例えば肺がんの症例) を, 当該疾患に罹患していないが類似した特徴 (性別,

到達年齢など)をもつ被験者集団(比較対照)と比較するもの。この疫学研究デザインは、屋内ラドンの研究において最も多く用いられた。被験者一人ひとりについて、現在居住中および以前居住していた住居でのラドン濃度の測定から、これまでの被ばく量が推定されている。コホート内症例対照研究は、症例と対照の両方を1つのコホート研究から抽出する特殊なタイプの症例対照研究で、コホート全体で可能である以上に、より詳細な評価を得ることを目的とする。

(2) 新たな科学的知見と最新の原理原則と方法論(線量評価も)を考慮

2014 (ICRP Pub. 126) で表明したこと ;	
対象, 目的, レベルの適用	全ての建物内のラドン被ばくに対する防護のための取り組みを勧告。建物の目的や占有者が仕事をしているか否かに関わらず同じ 参考レベルが適用 。
年間上限基準値	年間約 10 mSv の上限基準値 を継続することを勧告
住居内参考レベル	参考レベル を 100-300 Bq/m³ の範囲 で合理的に達成可能な限り低く設定すべき。
適用の考え方	ラドンによる職業人の被ばくが職業被ばくとして考慮されない場所(例えばオフィスビル)では、 <u>第一段階は住居のために設定された同じ参考レベル以下まで合理的に達成可能な限り低いレベルまでラドン濃度を低減させること</u> である。もし第一段階で困難な状況に遭遇するならば、第二段階としてより現実的な取り組みが勧告される。
職業被ばくの 実効線量限度	作業者が職業的に被ばくするとみなされるかどうかに関わらず、実効線量は現存被ばく状況の 上限値(年間 20mSv) 以下に維持されるべきである。

(3) 2017 (ICRP Pub. 137) で表明したこと/現状最新版

線量評価 (疫学ではなく)の目的	<ul style="list-style-type: none"> ● 作業者が地下鉱山のように複数の線源から被ばくする際に防護の目的で価値がある。 ● 公衆被ばくの線源を比較するために必要。
成人に対する 線量換算規約 (疫学研究)	成人に対する線量換算係数は右の値; この値は基本的に疫学研究のエビデンスに基づいたもの 3.3 mSv / mJhm⁻³
成人に対する 線量係数 (線量モデル)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 一方, 線量モデルを用いた場合, その線量係数は 鉱山作業者に対して ; ➔ <u>疫学的比較に基づいた値と極めて良く一致</u> 3.3 mSv / mJhm⁻³

	◆座って作業するオフィス労働者；	4 mSv / mJhm ⁻³
	◆住居内での被ばくに対して；	3.7 mSv / mJhm ⁻³
	◆観光用洞窟；	6.7 mSv / mJhm ⁻³
	◆作業者が滞在時間の 2/3 を活動すると仮定する ような屋内作業環境；	5.7 mSv / mJhm ⁻³
	◆作業者が滞在時間の 2/3 を活動すると仮定する 場合の屋内作業環境	5.7 mSv / mJhm ⁻³
上の両者の方法とそれに関連した不確かさを考慮して、	◆ 建物内と地下鉱山内 → 値を丸める	3 mSv / mJhm⁻³ (~10 mSv/WLM) = 5.6×10 ⁻⁶ mJ / m ³ = 16.7 nSv / Bqhm⁻³
<p>(換算を言っている) ラドン 222 ガスによる被ばくとして表記した線量係数は、ラドンガス濃度と子孫核種濃度すなわち平衡等価ラドン濃度の間の平衡ファクタに依存する。 平衡等価ラドン濃度 1 Bqm⁻³は ポテンシャルアルファエネルギー濃度に換算すると 5.6×10⁻⁶ mJm⁻³となるので、16.7×10⁻⁶ mSv / Bqhm⁻³と書き換えられる。 多くの屋内状況での平衡ファクタが 0.4 という標準的な仮定を用いると、この線量係数は 6.7 (=16.7×0.4) ×10⁻⁶ mSv / Bqhm⁻³ に相当する。</p>		
公衆被ばくの線量係数	Publ. 137 では公衆被ばくに焦点を当てていないが → 3 mSv / mJhm⁻³ は住居内被ばくにも当てはまるとしている。	公衆を対象とした線量係数は近日刊行予定
国家参考レベル推奨値の上限 (300 Bq/m ³) のラドン被ばく	実効線量 (年間) (標準的な仮定条件を用いる)	作業環境 : 4 mSv 居住環境 : 14 mSv
かなりの物理的活動を含む屋内作業の特別な状況や、観光用洞窟での被ばくに対して、その線量係数は右値→		6 mSv / mJhm⁻³ (大略 20 mSv / WLM) と勧告
<p><現状では、未だ不確定要素があり、今後の詳細検討のためにコメントあり> エアロゾルの性状、データが利用可能な場所において評価された線量がより詳細な考察を保証する場合は、固有の線量係数を計算することが可能であると。</p>		

2. 2017 Publication 137 における最大の変更点

<住居での線量係数の大幅なアップ>

住居内、公衆被ばくの線量係数	3 mSv / mJ h m⁻³ for homes (= 10 mSv/WLM)
-----------------------	--

EERC への換算は、連載 (3) の 2. を参照ください。 ざっと;	$3 \text{ [mSv / mJ h m}^{-3}] \times 5.6 \times 10^{-6}$ [mJ m ⁻³ / Bq m ⁻³ EERC] = $16.8 \times 10^{-6} \text{ [mSv / Bq h m}^{-3} \text{ EERC]}$ 17 [nSv / Bq h m ⁻³ EERC] (ICRP Publ. 137)
UNSCEAR2006 と比較	9 [nSv / Bq h m ⁻³ EERC]
今回の ICRP Publ. 137 は、UNSCEAR2006 の値の 約 2 倍ある!	
ラドン (トロンと子孫核種も含む) による 年間実効線量	<日本の場合> 0.59 mSv →→ 1.21 mSv に増大すること! * トロンに対する線量係数 107 nSv / Bq h m ⁻³ EERC
<世界の場合> 参考レベル推奨値の上限 300 Bq/m³ のラドン被ばく 100-300 Bq/m³ の範囲:	当然、全世界の各地域のラドン被ばく量の推定線量がほぼ倍増することになります! 年間実効線量 = 300*0.4*7000*17 = 14 mSv/年 5 (4.8) ~ 14 mSv/年 【結論的数字】 5 mSv 以下はどう考えるの? → 対応不要でいいか?

3. 新しいラドン線量換算係数がもたらすもの

(床次先生の文献のコメントをそのまま引用, 「だ, である」調で記述)

これまで UNSCEAR と ICRP ではラドンの線量換算係数をそれぞれ独立に与えてきた。事の発端は同じ ICRP でも疫学的手法から導かれた線量換算係数と線量モデルから推定した線量換算係数の間には 3 倍以上の開きがあったことによる。

UNSCEAR の立場として、その中間値を取ることが妥当であることから ICRP とは違う値を提唱した。

しかしながら ICRP において、さらに研究が進み、異なる 2 つのアプローチから導かれた線量換算係数は合致した。

UNSCEAR が今後どのような線量換算係数を採用するかを見きわめたい。仮に今回 ICRP によって示された線量換算係数のうち、住居内の被ばくに関する値 $3.3 \text{ mSv / rmJhm}^{-3}$ ($21 \text{ nSv / Bqhm}^{-3}$) を用いて世界平均の屋内ラドン濃度 40 Bq m^{-3} から年間の屋内実効線量を計算すると **2.4 mSv** となり、これまでのすべての自然放射線源からの年間実効線量と同程度になる。

このことは自然放射線源からの被ばくの約 70% がラドン子孫核種の吸入摂取による内部被ばくの実効線量となることを意味する。

ちなみに、わが国の屋内ラドン濃度の全国平均値 16 Bqm⁻³ を用いて同様の計算をすると、**0.94 mSv と評価**され、これは食物の経口摂取による年間実効線量に匹敵する。日本では屋内ラドン濃度の平均値は高くないものの、**一部の住居では 100 Bqm⁻³ を超える場合がある**。この度の改訂に基づく線量増加により屋内ラドンの対策が必ずしも無視できないものとなってくることから、今後屋内ラドン対策がこれまでより重要になると思われる。

5. ICRP の線量係数に関する変遷

以上をまとめると、下表 1. のようになります。

ICRPの線量係数に関する変遷							
	疫学的手法		線量学的手法				参考
	mSv/WLM		mSv/WLM				
発表年	職場	家屋	職場	家屋	屋内	屋外	
1987					6.4	8.9	ICRP Publ. 50/NEA
1993	5	4					ICRP Publ. 65
1994			13.4				ICRP Publ. 66/RADEP ¹⁾
2000				15			ICRP Publ. 66/RADEP
2001			13.7	14.3			ICRP Publ. 66/LUDEP ²⁾
2010	9 ³⁾	7 ³⁾					ICRP Publ.115 & 60
2014	12 ⁴⁾	9 ⁴⁾					ICRP Publ. 126 & 103
2017			10				ICRP Publ.137
(注釈)							
1) RADEP: Radon Dose Evaluation Program							
2) LUDEP: Lung Dose Evaluation Program							
3) 生涯過剰絶対リスク (LEAR) が 2.8×10 ⁻⁴ から5×10 ⁻⁴ へと変更された							
(ICRP Publ. 60の名目リスク係数から計算)							
4) ICRP Publ. 103の名目リスク係数とICRP Publ. 115と同じ生涯過剰絶対リスクから計算							

(連載 022 おわり)