

**表題：ラドン吸入による内部被ばく問題（9）**

**副題：床次先生の印象記 と トロン問題 と 国内ラドン立法化の動き**

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 25 日作成

## 1. おわりに - 床次先生の印象

（床次先生が（文献 2）において現状のご印象を論じておられる部分をそのまま転用します。福島事故以降の状況にも触れられているので、参考になります。ここは「だ、である調」で記述します。）

<引用>

UNSCEAR の報告書や ICRP の刊行物を俯瞰して、ラドンの線量評価に関する歴史を紐解き、この度新しく提示されたラドンの線量換算係数について論じてみた。本稿ではトロンの線量評価については言及しなかった。ICRP Publication 137 ではトロンの線量換算係数について言及されてはいるものの、ラドンに比べて圧倒的にデータが少ない。ラドンとトロンの線量評価の最も大きな違いの一つは、ラドンには疫学データがあるがトロンにはないという点である。

今回両者（UNSCEAR と ICRP）のアプローチが一致したことにより、疫学データの無いトロン被ばくについてトロン子孫核種の線量評価に対する重要性が高まるものと考えられる。トロン ( $^{220}\text{Rn}$ ) の線量換算係数については、わが国（日本のこと）の特徴的な問題を有していることから近いうちに別報で論じたい。

わが国は、不幸にも 2011 年 3 月に東日本大震災に伴い福島県で原子力発電所の事故を経験した。事故直後から福島県内の原発近くにあった多くの自治体の住民が避難を余儀なくされた。事故後 7 年経過した今日、避難指示が解除された後でも多くの住民が戻らない現実がある。この理由の根底にあるものは公衆が持つ放射線のリスクに対する理解が十分ではない点にある。

例えば計画被ばく状況下において、公衆に対する追加被ばく線量限度は年間 1 mSv 以下と決められている。事故後の福島県内では現存被ばく状況下で追加被ばく線量限度を 1 mSv 以下を目標として除染事業を展開している。

このような背景から、地域住民は 1 mSv を安全と危険の閾値と誤解しがちである。

そのため、専門家は地域住民に対して放射線のリスクを説明する際、自然放射線源による公衆の被ばく線量がどれだけ大きいのかを示すために、UNSCEAR が提示するデータをししば用いる。専門家は、住民が疑問として抱いている極低線量域での生体への影響を、追加被ばく線量限度の 1 mSv と自然放射線源による避けられない被ばくによる 2 mSv という線量の尺度で比較することにより、放射線リスクに対する理解を深めることを期待しているのではないだろうか。

この度の線量換算係数の改訂は科学的なコミュニティでは長年の懸案であった不一致がある程度の収束を見たということで満足できるものとなった。しかしながら、この変更を一般公衆にどのように上手く説明して情報として共有できるかが、専門家と一般公衆との間の合意形成に向けた大きな課題となるであろう。 <引用終わり>

## 2. トロン問題

上で、床次先生が、トロンのお話をされていますので、ここでトロンについて筆者の知る限りで簡単な計算を示しておきます。

ラドンは  $^{238}\text{U}$  の子孫核種です。トロンは  $^{232}\text{Th}$  の子孫核種です。地球の地殻中の両者の存在比は、場所によりいろいろ違うでしょうが、大雑把にいますと、 $^{232}\text{Th}$  が  $^{238}\text{U}$  より 3 ~ 4 倍多いそうです（原子数の比）。半減期は、 $^{238}\text{U}$  が 44 億年、 $^{232}\text{Th}$  が 140 億年です。こんなに気の遠くなるような長さだから、今でもたくさんのウランやトリウムが地下に眠っているのです。もし、これらの元素の半減期がずっと短かったら、両者の元素はもう地球には存在していおらず、原子力エネルギーというようなものは、人類はまだ知らなかったかもしれません。

それはともかく、この両者の、原子数比と放射能比は以下ようになります。

現在の原子数比 =  $N_{\text{Th}}/N_{\text{U}} = 3.5$  倍とします。

現在の放射能の比は =  $(\lambda_{\text{Th}} * N_{\text{Th}}) / (\lambda_{\text{U}} * N_{\text{U}})$  です。

$\lambda$  は、崩壊定数で、 $\ln 2 / \text{半減期}$  です。

現在の放射能比 =  $(1/140) * 3.5 / (1/44) * 1 = 1.1$  となります。

つまり、現状の放射能は、両者でほとんど同じということです。

ところで、両者の半減期は、共に、子孫核種に比べて極端に長いので、この 2 つの放射性壊変系列は「永続平衡」にあります。子孫核種の放射能は、ともに親と同じです。

つまり、 $A_{\text{Th}} / A_{\text{U}} = A_{\text{tron}} / A_{\text{radonn}} = 1.1$  ということです。

ということは、地中奥深くの密閉系では、ラドンの放射能も、トロンの放射能もほぼ同じ

ということです。

また、**原子数の比も** =  $N_{\text{tron}} / N_{\text{radon}} = 3.5$  ということですが、

最後は、地中から地上まで浸透してたどり着くのには大きな差があります。それは半減期の差で、ラドンの半減期は 3.82 day であり、トロン半減期はわずか 56 sec です。トロンは、地下から地上にたどり着くのはわずかで、大部分は地中の途中でポロニウムに代わってしまうでしょう。

その比率は、拡散の方程式でも立ててやってみないことにはわかりません。

トロンにつきましては、連載 (4) の 3. で、引用した UNSCEAR のデータが出ていますが、ラドンに比べて寄与は 20% 以下ということでしょうか？

でも、データが少ないので今後の課題すると、床次先生は言われています。

### 3. 日本において基準値、規制値を作ることの検討中の動き

<連載 (7) の表 1. の中の日本の記事を再掲>

わが国のラドンの防護・規制に関しては、放射線審議会では“引き続き国際動向に注視する”という状況にあること。ただし、(一社)日本保健物理学会では、ラドンに関する防護のガイドラインについて議論しており、その内容について下に紹介する。なお、**このガイドラインに法的拘束力はないものの、放射線審議会の報告書内に記載されていること**について触れる。

<上記で言っている検討中のガイドラインのモデル>

#### 「ラドンに関する防護のガイドライン」

##### ○適用の範囲

このガイドラインは、ラジウム線源や核原料物質、核燃料物質など、すでに放射線管理システムの中にある線源から発生するものを除き、家庭や職場の環境、地下洞や温泉場などの特殊な自然環境も含め、ラドンに起因する現存する被ばく状況に適用する。個々の状況への適用や、線量の規準から誘導されるラドンの空気中濃度の計算法など、具体的な適用にあたって解釈と技術を要する事項については、参考となる資料を別に用意する。

##### ○線量規準

これ以下では介入が正当化されそうにないレベルとして 10 mSv/年

介入を免除できるレベルとして 1 mSv/年

以上」

#### 4. 文献 16 (下 道國, 藤田保健衛生大学大学院 客員教授) の要点紹介.

この文献が, 国内の規制のやり方について述べているので, 要点のみ紹介します. ちゃんとした内容は文献を見てください.

##### <生活環境中のラドン濃度/日本分析センターの全国調査(2)>

- ・ラドン濃度は, 屋内で  $15.4\text{Bq/m}^3$ 、屋外で  $6.1\text{Bq/m}^3$  であって, わが国の屋内濃度は世界の屋内平均値のほぼ 1/3 弱である.
- ・屋内濃度の標準偏差は  $13.5\text{Bq/m}^3$  で, 90%は  $27\text{Bq/m}^3$  以下の濃度にある.
- ・ $200\text{Bq/m}^3$  を超える住居の割合は 0.22%以下であり, 最大値は  $208\text{Bq/m}^3$  である.
- ・屋内での測定数が 908 軒と決して多くないが, わが国の傾向は示していると考え, 全国における実際の数に置き換えると相当な軒数となる.
- ・屋外大気中の濃度はそのほぼ 1 / 3 程度である.
- ・住居におけるラドン濃度は, 地域(地質や地形, 特殊な場所), 建築材, 建築様式, 換気の有無, 生活形態などさまざまな要因によって異なることが明らか.

##### <リスク係数の比較 - 事故による害リスク係数のこと>

- ・発癌のような確率事象の評価は, リスク論によるのが科学的合理性を有している.
- ・放射線のリスクは, 表 2 に示すように, 原爆被爆者その他のデータ(4)から評価されていて,  $1\text{mGy}$  の生涯リスク(死亡率)はリスクモデルの違いを入れても  $(4\sim 11)\times 10^{-5}$  程度とみられる.
- ・放射線およびそれ以外のリスクの相対的な評価は, すでに ICRPPub1.45(5)に害の指標(表 3 に示した)として示されている.

##### <ラドンの規制 - 濃度の 3 区分( 2 段階レベル規制)>

・一般公衆の住居におけるラドン濃度を 3 区分 (3つのレベル: 0 レベル, 1 レベル, 2 レベル)とすることを, まず提案したい. 3 区分の境を示す 2 つの基準値などは以下に表に示す.

レベル	実効線量値 mSv/y	線量換算係数 (mSv/h)/(Bq/m <sup>3</sup> )	対応ラドン濃度 Bq/m <sup>3</sup>	名目リスク係数 (相当で)	コメント
レベル 0					「無関与レベル」; (筆者注釈) 日本の場合は, ほとんどすべてここには入る.
境界 1	3	$9\times 10^{-6}$	120	$1.7\times 10^{-4}$	下参照

			→丸めて, <b>100</b>		
	この濃度は、わが国の屋内平均ラドン濃度の <b>6.5 倍程度</b>				
レベル 1	「注意レベル」				下参照
境界 2	30		1,200 →丸めて, <b>1,000</b>	$1.7 \times 10^{-3}$	
レベル 2	(筆者注釈) こんな状況は日本では考えられない.				下参照

レベル 0 : 100Bq/m<sup>3</sup> 以下の場合には注意を要しない意味で、「無関与レベル」とする。

境界 1 : このリスクは、放射線作業以外の他の産業などと比較することができる。

レベル 1 : 何か影響があるかもしれないので、「個人的に意識を持って注意を払う」と言う意味でのレベルで「注意レベル」。

レベル 2 : これを超えたからといって直ちに確率的影響の出現が顕著となり、発がんが是認されるというレベルではない。このレベルを超えると行政庁が何がしかの強制力を持って規制するレベル（規制に関しては別途、慎重な検討が必要）とするが、なお、このレベルは確定的影響が現れる線量レベルより十分に下であることは言うまでもない。

<まとめとして>

- ・ 日常生活の自熱放射線源であるラドンについて、一般公衆の住居内濃度を規制しようとする場合、リスク論に立脚するのが合理的であること、またその場合でも一般公衆の理解が得られやすいことに配慮して、単一レベルの規制ではなく、2段階規制レベルが適切であることを述べた。

- ・ 受容され得る具体的数値として、リスク係数  $5.5 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$  を基に導出した実効線量を 3mSv/y と 30mSv/y とした。

- ・ 対応するラドン濃度レベルは、一般公衆に注意だけを喚起する注意レベルが 100Bq/m<sup>3</sup> であり、強制力を持つ勧告レベルを 1,000Bq/m<sup>3</sup> とした。

- ・ この複数レベルの考えは、自然災害の場合の注意報と警戒警報や、日常慣れ親しんでいる交通信号などがあることから、ラドンに対する2段階規制の考え方は、一般公衆に理解されやすいのではないだろうか。 文献 16 の終わり」

## 5. 最後に拙い筆者の感想など

長い文章でしたが、お付き合いいただきありがとうございました。

筆者は、この連載の目的についてホームページで触れていますが、主な目的は「低線量放射線の健康影響ということについて、色々な角度から再考していただくために、事実に基づくデータや情報を共有してゆくこと」です。

まだまだ扱うテーマが少なく、成果は見えませんが、今回の表題「**ラドン吸入による内部被ばく問題**」も、そのような目的を意図したもののひとつでした。

その意識の中で思っていたことは、われわれ日本人の多くが、一般公衆の「**追加線量限度 1 mSv**」について、それが放射線の安全ラインだとなんとなく感じていることに、微力でも正確な理解のクサビを打ち込めないだろうかということでした。

いままで、長々述べましたように、世界基準で、参考レベル推奨値の上限を 300 Bq/m<sup>3</sup> として、参考レベルの範囲を 100-300 Bq/m<sup>3</sup> とすることが ICRP によって明確にされました。従って、全世界の各地域のラドン被ばく量の推定線量が従来認識値よりほぼ倍増することになります。つまり、参考レベル 100-300 Bq/m<sup>3</sup> 対応する年間実効線量は、5 (4.8) ~ 14 mSv/年 となります。

そして、多くの国はそれらの評価値に従うと言われています。

さて、今回のラドン評価の見直しは、ラドン及びその子孫核種による放射線という「天然の放射線」に関わる話であり、それこそ何十万年、否、人間の祖先も含めれば何百万年もの間、人間はずーとその放射線を浴びてきたものです。大昔は、洞穴住居や石や土で造った家など古代では当たり前のことだったと言えます。そのような住環境は、まさにラドンを被ばくするためにあるようなものだったでしょう。そして、肺がんなどの疾病で失命を落とした人は少なくなかったと思われます。でも、今のコロナのような突然死者が増えるというような流行病ではなく、比較的低いが一定の死亡率をずっと続けていたと思われます。しかし、天然の見えない線エネルギーが関与しているなどは人間は誰も気づかなかったでしょう。

一方、「追加線量限度 1 mSv」の方ですが、これは、核兵器の使用、原子力事故や誤った放射性物質の拡散、などによる被ばくを受けたときに適用される放射線限度値です。自然天然放射線やそれに基づく自然放射線を体内に取り込んだ場合、また医療や診断などで受ける放射線は含みません。つまり、「追加線量限度 1 mSv」と「ラドン及びその子孫核

種による被ばく」は別のことなのだという事になります。今後、天然ラドン線量が倍増します。しかし、それは「追加線量限度 1 mSv」にはあまり関係ないということなのではないでしょうか？

年間実効線量は 5 (4.8) ~ 14 mSv/年 ですが、下側の 5 mSv 以下はどう扱うのでしょうか？ 通常理解は「対応不要」ということでしょうか；いわば線量限度以下では、それが維持されている限り、追加対策は不要のものと考えます。他方、「追加線量限度 1 mSv」では「線量限度」と言っているのだから、それ以上の場合は対策要請があるということになります。

**この2つの事象は、低線量領域における対応の要否において矛盾しており、整合性がないと考えられます。**

上記2つの事象は、上述のように、別の範疇の事象ですが、低線量領域における各放射線の生物に対する影響が同じ次元レベルのものならば、同列に並べて基準や規制を定めなければならないはずで

どうも結局、この問題は、低線量領域における各放射線の生物に対する影響の次元レベルの違いの有無の話になりそうです。

時々聞きますが、人間は天然放射線には慣れていてかなり防御力が整っているが、最近出てきたセシウムなどのような放射線には慣れておらず、その防御力はあまりない（比較対象で、天然放射線への防御力はあまり有効ではないということ）と言う人が少なからずいます。しかし、それは基本的な誤解ではないでしょうか？

超長期間に人間はラドンを被ばくして、おそらく体内にはあるレベルの防御機構ができて来たといわれますが、筆者もそれは同感です。もちろん「ある範囲に対しては有効なレベルの防御機構がある」ということです。今でも、その範囲を超えた高いラドン被ばくは肺がんを起こします。

人間の身体の放射線防御機構は、別にラドンだけによって創られたわけではなく、いろいろな天然放射線（特にカリウムの役割が多い）が関係していたはずで

ラドン Rn はアルファ線を出します。カリウム  $^{40}\text{K}$  はベータ線とガンマ線を出します。セシウム  $^{137}\text{Cs}$  &  $^{134}\text{Cs}$  はベータ線とガンマ線を出します。線種による、エネルギー転移の集中度はアルファ線が相当大きいのです。ラドン系列の核種の内部被ばくの態様は線質の影響が強いわけですが、一方セシウムとカリウムは同等レベルと言えます。そういう意味で、強い放射線に対する防御力が存在したならば、それが弱い放射線に対して効果が逆に低いというようなことはほとんど誤解だと思います。もちろん線質のみならず、ベクレル数

や半減期も関係しますが、

よく、半減期が長いと、いつまでも放射線の放出が続き良くないといいますが、それはそうですが、あくまで放射線の数（ベクレル）に依ります。ただ、医学診断では短い半減期の放射性医薬品を使いますが、量が同じなら半減期が長いのは非常に困るということと思います。その点では、ラドンの子孫核種の半減期時は実に短く、都合は良いと言えます。

筆者の能力では、到底判断はできませんが、ラドンの限度値 5 mSv 以下はどう考えるの？ それは、ラドン問題は低線量域の放射線の影響の考え方に一石を投じていると思います。ラドンはすべての人間が毎日吸っているわけであり、すでに身体影響の結果は出ているのです。そして、LNT 型や閾値型などの低線量放射線被ばくのモデルをどう考えるかということにもつながっていると思います。

(連載 025 おわり)