

2020年5月29日

放射線管理区域の表面汚染基準の由来

今中哲二

京都大学複合原子力科学研究所

ずいぶん前から、放射線管理区域を設定すべき条件のひとつである「1 m² 当り 4 万 Bq」（アルファ核種の場合はその 10 分 1）という表面汚染値の由来が気になっていた。（私が放射線取扱主任者の試験を受けた 1976 年は「1m² 当り 1μCi」だったが、単位変更で 1 μCi=37000Bq≐ 4 万 Bq となった。）昨年、きっかけになりそうな情報を見つけていたので、コロナ休業で自宅研修を余儀なくされている間に、ネットで調べてみた。

◇ 浜田氏情報

昨年、別件で調べ物をしている時に、『緊急被ばく医療研修』のホームページで、浜田達二氏（2014 年逝去）が表面汚染基準値について次のように解説しているのを見つけた。

『この数値は古くからありますが、その起源を辿ると、放射性輸送物の表面汚染について使われたのが最初ようです。国際原子力機関（以下、「IAEA」という。）では、1960 年代初めから放射性物質輸送規則を勧告し、各国はこれに従って国内法令を定めています。その根拠について記した文書は、最初に作成された IAEA 輸送規則の付属文書にあります。それによると、輸送物表面の放射性物質が空気中に飛散し、その呼吸摂取による内部被ばくが公衆の線量限度に等しくなるというシナリオで計算した結果、β 核種について 10⁻⁴ μ Ci/cm² (3.7Bq/cm²)、α 核種についてはその 1/10 となり、それを採用したわけです。放射性核種は β 線放出核種としては、最も放射能毒性の高いストロンチウム 90 (Sr-90) を仮定し、飛散の程度（再浮遊係数）もかなり高い値を用いているなど、非常に大まかにかつ過大評価された値ですが、輸送規則では未だにこの値を使っています』

<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9519378/www.remnet.jp/newsletter/01/column.html>

（浜田先生は、日本の放射能研究の草分けのお一人で、今中が広島・長崎原爆放射線量再評価の WG で作業をしたとき、日米シニア評価委員会のメンバーで、個人的にも何度かコンタクトさせてもらった。）

この情報をきっかけに、IAEA 輸送規則などアレコレ検索をかけて調べてみたら、保健物理学会のホームページに「汚染した物の搬出のためのガイドライン（案）」という資料があった。

http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku_commentary.pdf

この資料から該当するところをコピーする。

『物品搬出基準の設定根拠⁽²⁾について、表 1<略>に示す。α 線を放出する核種について、1960 年当時に日常的に用いられていた核種の中から、慢性の吸入摂取に対して最も危険度の高い代表核種として、Pu-239 が選定された。国際放射線防護委員会 (ICRP) の Pub. 2⁽³⁾で、Pu-239 の決定臓器である骨に対する空気中最大許容濃度 MPCa（1 週間あたり 40 時間の作業時間）が 2 x 10⁻¹² μ Ci/cm³ であり、これを再浮遊係数の 2 x 10⁻⁸ cm⁻¹ で除することで、α 線を放出する核種についての表面密度限度 1 x 10⁻⁴ μ Ci/cm² が導出された。同様に、α 線を放出しない核種については、3 通りの代表核種 (Sr-90、Pb-210、α 核種と Ac-227 を含まない混合核種) が選定され、表面密度限度 1 x 10⁻³ μ Ci/cm² が導出された。

物品搬出基準の設定では、搬出先で再使用する際に接触する可能性のある公衆の被ばくを考

慮し、当時の作業者と公衆の最大許容線量の比が 10 であったことから、管理区域内での表面密度限度の 10 分の 1 が物品搬出基準とされた。』

その他、穴吹豊ら『作業環境のモニタリング(VI)；表面汚染のモニタリング』RADIOISOTOPRES、26 (1976) にも、同様の説明が出ている。

https://www.jstage.jst.go.jp/article/radioisotopes1952/26/4/26_4_276/pdf-char/ja

◇ Dunster 論文

保物ガイドラインや穴吹論文が、表面汚染密度の出处として引用しているのは、下記の Dunster 論文だった。

- ・ H. J. Dunster “Surface contamination measurements as an index of control of radioactive materials” Health Physics 8:353-356 (1962)

Dunster 氏は、英国核開発が始まった頃の放射線管理専門家のように、ICRP の 1950 年勧告、1958 年勧告には名前は見あたらないが、1965 年勧告には出てくる。

この論文では、放射能を扱う施設での表面汚染の許容限度値を導くのに、皮膚のβ線外部被ばくと舞い上がりにもなう吸入内部被ばくを取り上げている。(ガンマ線被ばく検討されていない。) 皮膚のβ線被ばくより、吸入の方が厳しそうということで基準値が議論されている。

表面汚染許容限度の算出方法は次の通り；

- ① 空气中放射能濃度 C (Ci/cm³) と表面汚染密度 S (Ci/cm²) の間には次の関係があると仮定。C = k × S ここで k (cm⁻¹) は、表面汚染からの舞い上がり係数。
- ② C の値としては、ICRP Pub2 (1959) に示されている、作業環境中 (週 40 時間) の最大許容濃度 MPCa (Ci/cm³) を引用。
- ③ k = 2 × 10⁻⁸ (1/cm) とし、作業環境における表面汚染許容限度 MPS (Ci/cm²) を MPC から逆算する。MPS = MPC/k

Dunster 論文で計算の対象となっている核種は、α核種として Pu239、β核種としては、Sr90 (+Y90)、Pb210 (+娘核種)、核種不明 (Ac227 が無くて核種不明) の 3 種類で、全部で 4 つ。計算結果と当時の英国基準値 (1961) を表 1 に示す。

表 1 Dunster 論文の計算と基準値

核種	MPC μCi/cm ³	MPS μCi/cm ²	英国基準値		< Bq 換算 > 管理区域外 Bq/m ²
			MPS μCi/cm ²	管理区域外 (MPS の 1/10)	
α Pu239	2 × 10 ⁻¹²	1 × 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	4000
Sr90	3 × 10 ⁻¹⁰	1.5 × 10 ⁻²	(左の 3 つを		
β Pb210	1 × 10 ⁻¹⁰	5 × 10 ⁻³	丸めて?)		40000
不明	3 × 10 ⁻¹¹	1.5 × 10 ⁻³	10 ⁻³		

浜田氏情報で、値の由来とされている IAEA 輸送規則 (Safety Standards No. SSR-6) の初版 (1961 年版) はチェックしていないが、1967 年版では表 1 の管理区域外と同じ値で、2018 年版でも変わっていない。由来についての記述はない。英国のコールダーホール原発が稼働をはじめたのは 1956 年で、IAEA の設立は 1957 年であることを思うと、IAEA の輸送規則の方が英国基準 (Dunster 論文など) から取り入れたのであろう。

◇ 日本の法令基準の変遷

日本の原子力法令のはじまりは、1955年の『原子力基本法』である。これを受けて1957年に『核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律』（原子炉等規制法）と『放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律』（放射線障害防止法）が成立している。

1957年12月の科学技術庁告示の別表第四で、許容表面密度が次のように決められている。

放射性物質の種類	許容表面密度、 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$
Pu、Ra、Ac、Po	10^{-4}
Pu、Ra、Ac、Po以外の放射性物質	10^{-3}

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V03/N02/195818V03N02.HTML>

当時の法令を眺めると、使用施設とか貯蔵施設という用語はあるが、「管理区域」という用語は出てこない。「管理区域」が決められたのは、1960年の法令改定からのようだ。「管理区域」を設定すべき条件のひとつに表面汚染密度が登場し、その値は、次の別表第四「最大許容表面密度」の10分の1とされた。

区分	最大許容表面密度、 $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$
アルファ線を放出する放射性同位元素	10^{-4}
アルファ線を放出しない放射性同位元素	10^{-3}

同時に、管理区域から持ち出す汚染物の表面汚染許容限度も別表第四の10分の1とされている。

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V05/N10/196021V05N10.html>

<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/ugoki/geppou/V05/N10/196000V05N10.html>

原子炉等規制法と放射線障害防止法（現在は、放射性同位元素等規制法）は幾度となく改訂されてきたが、表面汚染限度については1960年の値が引き継がれている、ということになる。

ちなみに、表面密度限度とは、「管理区域内で人が触れる物の表面の密度限度」である。

◇ Pub 2 の MPCa 値と現行の空气中濃度限度

参考に、原子力発電がはじまった頃の空气中許容濃度と現行の値を比較しておこう。

Dunster 論文が使っている MPCa 値は、ICRP Publication 2『体内放射線の許容線量』（1959）の値である（日本語訳：http://www.icrp.org/docs/P2_Japanese.pdf）。Pub2 は、私が放射線取扱主任者試験を受けた1976年でも effective な報告書だった。

Pub2 の考え方は、ある核種に対して「決定臓器」とその臓器での「最大許容負荷量」（MBD）に基づいている。最大許容負荷量とは、決定臓器に対して「毎週 0.3rem (3mSv)」、全身が対象の場合は「毎週 0.1rem (1mSv)」をもたらす蓄積放射エネルギーである。ただし、骨については別扱いで、ラジウムダイアルペインターなどのデータを基に、「Ra226 の骨の MBD は 0.1 μCi 」とされた。Pu239 については、Ra226 よりリスクが大きいということで骨の MBD は 0.04 μCi とされた。

MPCa（空气中最大許容濃度）は、『その環境下で作業者が50年間仕事を続けたとき決定臓器に最大許容負荷量の蓄積が起きる空气中濃度』として算出されている。ただし、労働時間は、40時間/週、50週/年で、作業中の呼吸量は10m³/日として計算されている。実効半減期が短ければ、蓄積量は直に飽和するが、Ra226 や Pu239 のように長いと50年経っても飽和しない。

いくつかの核種について Pub2 のパラメータと MPCa 値、日本の現行法令の管理区域空气中濃度限度を表2にまとめてみた。比較のため、MPCa 値を Bq に換算した値も示した。

表 2. 管理区域空气中濃度限度の比較：Pub2 と現行法令

核種	Publication 2					現行法令
	決定臓器	最大負荷量 μCi	実効半減期 日	MPCa μCi/cm ³	Bq 換算 Bq/cm ³	空气中濃度限度 Bq/cm ³
Ra226	骨	0.1	16000	3×10 ⁻¹¹	1.1×10 ⁻⁶	9×10 ⁻⁶
Pu239	骨	0.04	72000	2×10 ⁻¹¹	7.4×10 ⁻⁷	7×10 ⁻⁷
Pb210	腎臓	0.4	494	1×10 ⁻¹⁰	3.7×10 ⁻⁶	2×10 ⁻⁵
Sr90	骨	2	6400	3×10 ⁻¹⁰	1.1×10 ⁻⁵	3×10 ⁻⁴
Cs137	全身	30	70	6×10 ⁻⁸	2.2×10 ⁻³	3×10 ⁻³
I131	甲状腺	0.7	7.6	9×10 ⁻⁹	3.3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻³

現行法令の値：

・原子炉等規制法は、「核原料物質又は核燃料物質の製錬の事業に関する規則等の規定に基づく線量限度等を定める告示」<https://www.nsr.go.jp/data/000306810.pdf>

・RI 等規制法は、「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」

<https://www.nsr.go.jp/data/000045581.pdf>

空气中濃度の値は同じだが、炉規法の方は「3 カ月平均」で RI 規制法は「1 週間平均」。

Pub2 と現行法令を比べると、Pu239 の値はほぼ同じであるが、その他は現行法令の方が甘い値になっている。「Pub2 は（原則）毎週 3mSv」で「現行は毎週 1mSv」なので、現行の方が小さいかと思っていたが意外だった。

現行法令の基になっているのは、ICRP の Pub68「作業員による放射性核種の摂取についての線量係数」（1994）である。1 Bq を吸入または経口で体内摂取したとき、それ以降 50 年間の内部被ばくにともなう積算実効線量が「預託実効線量」として与えられている。現行法令の濃度限度は、その値に基づいて求められているようだ。

・吉澤道夫、水戸誠一『「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術指針」について』保健物理、34:319-322（1999）https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps1966/34/3/34_3_319/pdf/-char/en

◇ おわりに

「1 平方 m 当り 4 万 Bq」の由来についてはだいたい了解できた。（舞い上がり係数の妥当性はチェックしていないが。）福島原発事故にともなう放射能汚染で長期的に問題となるのは、半減期 30 年のセシウム 137 である。沢野伸浩さんの解析によると、「1 平方 m 当り 3.7 万 Bq」以上のセシウム 137 汚染を受けた面積は 8424 平方 km で、東京都の面積 2188 平方 km の 4 倍に相当する。<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/etc/kagaku2017-3.pdf>

私からすれば、福島原発事故によって汚染された土壌などは、原子炉等規制法で定めるところの『核燃料等汚染物』である。スジから言えば、「1 平方 km 当り 4 万 Bq」を越える汚染地域は東京電力が一時管理区域に指定し原状回復すべきである。東電や政府がどう後始末にかかるのかと思っていたら、半年後に「放射性汚染物質対処特措法」という新たな法律が制定された。“後出しジャンケン”のようなこの法律で『事故由来放射性物質』という新たな概念が考案され、福島の汚染が原子炉等規制法から切り離されて扱われることになった。

この 9 年間、莫大なお金をかけて除染が進められてきた一方、避難を続けている人々への支援は切り捨てられつつある。汚染地域の原状回復が困難である以上、東電と政府には、被災者がどのような選択をしようとその選択を面倒見る責任がある、ということを改めて述べておきたい。