

佐川さんを行っている空気サンプリング測定結果の意味合いについてのメモ

今中哲二

京都大学原子炉実験所

福島在住（現在は二本松市東和地区）の佐川よう子さんが、一昨年から福島の汚染地域で（空気中浮遊粒子をフィルターで捕集する）空気サンプリングを実施し、フィルターを私の方で測定している。先日のメモ『佐川さん空気サンプリングフィルター測定結果速報値（4）』（2016.6.8付）では、2015年10月31日から2016年5月19日までの45回の測定結果をまとめた。

私としては、（今回の測定結果以前より）飯舘村や福島市の空気中セシウム137汚染にともなう吸入被曝の現状は、（強風や除染作業などでホコリだらけといったことでなければ）“神経質になるようなレベルではない”と思っているし、そう発言してきた。佐川さんから、測定結果をサンプリング協力者に説明するにあたって、『今中センセの見解』を文章にするように要請されているので、この機会私が考えていることをまとめておく。

◇ 現状のデータと基本的な知識に基づく被曝量推定

● 空気中セシウム137濃度

図1に、2015年10月31日以降45回分のデータをプロットしてみた。最大値は今年4月27日の飯舘村での1立方m当り6.5ミリベクレル（ mBq/m^3 ）であった。このサンプリングは農地除染中のところで行ったそうである。2番目は、昨年11月7日の川俣町山木屋の $1.3mBq/m^3$ であるが、このときは道路除染中だったそうである。この2つを除けば、残りは全部 $1mBq/m^3$ 以下なので、『普通の状態であれば、飯舘村や川俣町山木屋のセシウム137濃度はせいぜい $1mBq/m^3$ 程度でしょう』と言って差し支えないであろう。

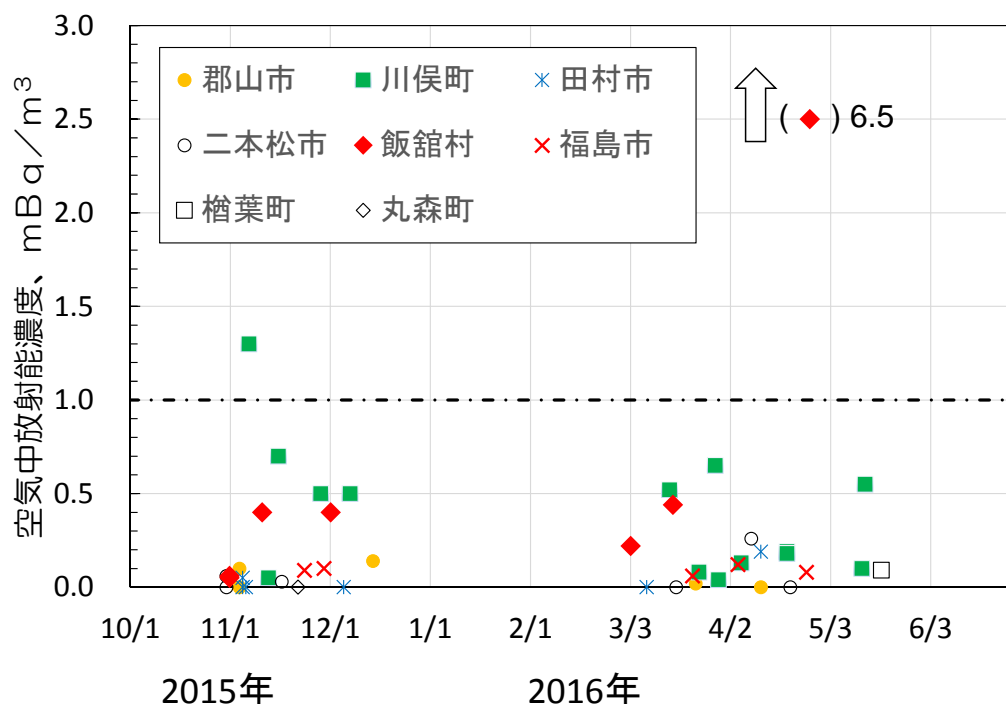


図1. 空気フィルター測定に基づく空気中セシウム137濃度.
ND（検出限界以下）は、濃度ゼロとしてプロットした.

● 毎日の呼吸量

人が一日で呼吸する空気量についてはいろんな見積りがあるが、ここでは ICRP71 の値を採用しておく。ICRP モデルでは、大人の一日の空気呼吸量は 22.2 立方m (m³) となっている。(ちなみにダイキンのホームページでは、体重 50kg の人で 1 日の呼吸量は 15m³。)

ICRP による大人の 1 日の呼吸量見積りの内訳を表 1 に示す。

表 1. ICRP71 モデルの大人の 1 日呼吸量の内訳

状態	時間、h	呼吸率、m ³ /h	呼吸量、m ³
睡眠	8	0.45	3.6
座位	6	0.54	3.24
軽作業	9.75	1.5	14.63
重作業	0.25	3.0	0.75
			22.2

ICRP71 は、6 つの年齢区分について 1 日の呼吸量を表 2 のように与えている。

表 2. ICRP71 の年齢区分別 1 日呼吸量

年齢区分	3 カ月幼児	1 歳	5 歳	10 歳	15 歳 (男)	大人 (男)
呼吸量、m ³	2.86	5.16	8.72	15.3	20.1	22.2

ここで、

$$(1 \text{ 日の取込放射能}) = (\text{平均空気中濃度}) \times (1 \text{ 日の呼吸量})$$

なので、図 1 のデータを基にセシウム 137 の平均空気中濃度を 1 mBq/m³ とすると、呼吸にともなう毎日のセシウム 137 摂取量は、大人で約 20mBq となり、1 歳の子どもなら約 5mBq となる。

● 吸入にともなう内部被曝換算係数

“20 ミリベクレルのセシウム 137” と言われても、放射能・放射線になじみのない方は、どれくらいの放射能なのかピンとこないだろうが、40 年間、放射能・放射線に関わってきた私からしたら、『毎日 20mBq のセシウム 137 を取り込んでも何ほどの被曝にはなりません』という感覚を持っている。1 年ほど前に、『セシウム 137 による内部被曝量計算メモ』(2015.2.7 付) をまとめたが、その中で、大人が毎日 1 Bq のセシウム 137 の経口摂取を続けたら、1 年間で約 5 μSv (マイクロシーベルト) という計算を紹介した。

http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/etc/Cs137_internal_dose15-2-7.pdf

毎日 20mBq という経口摂取では、その 50 分の 1 なので年間約 0.1μSv の被曝ということになる。

自然放射線による日本の平均的な空間放射線量率は 0.05μSv/時である。0.1μSv という被曝量は、日本のどこかに 2 時間いるだけで自然放射線から受ける外部被曝量に相当する。(ちなみに、飯舘村の現在の空間放射線量率は 0.5~1.0μSv/時程度。)

ただ、上記の『毎日 20mBq で年間 0.1μSv』というのは、経口摂取、つまり飲食物の汚染としてセシウム 137 を取り込んだときの話である。このメモで問題にしているのは吸入摂取、つまり汚染空気を呼吸することによる被曝なので、上記の話はそのままでは適用できない。

吸入摂取が厄介なのは、経口摂取のように『速やかに体内に吸収されて、軟組織にほぼ万遍なく分布する』といったシンプルなモデルが適用できないからである。

空気中のセシウム 137 は、エアロゾルと呼ばれる微粒子に含まれた状態で浮遊している。いまの飯館村のようなどころでのセシウム 137 を含むエアロゾルは、主に汚染土壌が巻き上がったもの、いわゆる再浮遊粒子であることは確かだろう（測定データで確認しているわけではないが。）こうした粒子の吸入被曝を考えるにあたっては、まず、

- A. 鼻や口から呼吸したセシウムのうち肺に入るのはどれだけか？
- B. 肺に入ってから、肺の奥（肺胞）まで到着せずに途中の気管や気管支の表面に沈着するセシウムはどれだけか？
- C. 各領域に沈着したセシウムはどうなるのか？体内に吸収されるのか、ずっとそこに留まるのか？と言った問題が出てくる。

これらの問題の解答には、粒子の大きさや化学的な性質が関係してくるが、ICRP71 では、かなり細かいモデルでこれらの問題に対応している。

（私もキチンとフォローできていないのだが）簡単に言うと、

- 粒子の大きさによって呼吸気道（鼻孔、咽頭、気管、気管支、肺胞などといった）のそれぞれの領域に沈着する割合を決定。
- 沈着粒子のうち、一部は気道表面の繊毛の活動によって咽頭まで戻って食道から消化器系へ移行したり、一部は溶解して血液吸収されたり、一部はマクロファージに取り込まれてリンパ節に運ばれたりする。（といったプロセスをモデル化し、領域ごとに細かいパラメータが与えられている。）
- 粒子の化学的性質については、速やかに溶解（F）、中くらいの溶解度（M）、なかなか溶解しない（S）の3つに区分して溶解パラメータを設定。

これらのプロセスを考慮しながら、セシウムを含む粒子が吸入されるとどのように移行するかをモデル化して、1 Bq のセシウム 137 の吸入があったときに、どれくらいの被曝量になるかを計算している。表 3 は、平均粒径 1 μm の微粒子（空気動力径 AMAD= 1 μm ）であったとしたとき、1 Bq のセシウム 137 を吸い込んだらどれだけの被曝量（実効線量）になるかを示している。

表 3. セシウム 137 の吸入にともなう年齢区分別の内部被曝換算係数. AMAD= 1 μm . ICRP71.
最後の行は経口摂取の換算係数

F : 溶けやすい、M : 中くらい、S : 溶けにくい

粒子タイプ	換算係数、 $\mu\text{Sv/Bq}$					
	3 カ月幼児	1 歳	5 歳	10 歳	15 歳	大人
F	0.0088	0.0054	0.0036	0.0037	0.0044	0.0046
M	0.036	0.029	0.018	0.013	0.011	0.0097
S	0.11	0.10	0.070	0.048	0.042	0.039
経口摂取	0.021	0.012	0.0096	0.010	0.013	0.013

粒子タイプ S の換算係数が大きいのは、なかなか溶けないぶん、肺の滞在時間が長くなるためであろう。表 3 の値がどれくらい頼りになるものかは検証しがたいが、粒子タイプによって、経口摂取の値より大きくなったり、小さくなったりしている。

● セシウム 137 汚染空気の吸入にともなう年間の被曝量

これまでの議論から、次の仮定を採用する、

- ・飯館村の平均的なセシウム 137 空気汚染を 1 mBq/m^3 とする。
- ・一日の呼吸量は、表 2 の値を用いる

・吸入にともなう内部被曝換算係数には表3のタイプSの値を採用する
 そうすると

$$(1 \text{ 年間の吸入被曝量}) = 365 \times (\text{平均空気中濃度}) \times (1 \text{ 日の呼吸量}) \times (\text{内部被曝換算係数})$$

なので、表4のような結果が得られる。

表4. セシウム 137 汚染空気の吸入にともなう年間の被曝量、 μSv (実効線量)

年齢区分	3カ月幼児	1歳	5歳	10歳	15歳	大人
1日取込量、Bq	0.00286	0.00516	0.00872	0.0153	0.0201	0.0222
換算係数、 $\mu\text{Sv/Bq}$	0.11	0.10	0.070	0.048	0.042	0.039
年間被曝量、 μSv	0.11	0.19	0.22	0.27	0.31	0.32

以上のことから、現状のデータと基本的な知識に基づくと、『飯館村のような汚染地域でのセシウム 137 汚染空気の吸入にともなう被曝量は、年間 0.3 マイクロシーベルト程度』と推論できる。

◇ 空気中の自然放射能

これまで、空気中にただよっている自然放射能については、話がややこしくなるのであまりふれたことはないが、元々ウジャウジャとただよっている。環境放射能を勉強した者にとっては常識だが、地面からは四六時中ラドンというガス状の放射能がわき出ている（コンクリートや石を使っている建物の壁からも）。ラドン (Rn-222 : 半減期 3.8 日) は、土壤中に微量に含まれているウラン (U-238 : 半減期 45 億年) が、 $\text{U-238} \rightarrow \text{Th-234}$ (半減期 24 日) $\rightarrow \text{Pa-234}$ (1.2 分) $\rightarrow \text{U-234}$ (25 万年) $\rightarrow \text{Th-230}$ (8 万年) $\rightarrow \text{Ra-226}$ (1600 年) $\rightarrow \text{Rn-222}$ という放射性壊変を起こして発生する (図2)。日本の野外空気のラドン濃度は平均約 5Bq/m^3 とされている。

ラドンは空気中にただよいながら、さらに Po-218 、 Pb-214 、 Bi-214 といった子や孫の放射能を生み出している。それらはガスではないが、エアロゾルにくっついて“空気中にウジャウジャと”ただよっている。その空気を私たちは毎日呼吸しているので、当然ながら肺を中心とした被曝を受けている。ラドンとその子孫核種からのその被曝量を見積もるのは、半減期が短かかったり、アルファ線もあつたりするので、セシウム 137 よりもっとややこしくなるが、日本人平均で年間 $370\mu\text{Sv}$ 程度とされている。(「新版生活環境放射線 (国民線量の算定) 原子力安全研究協会 平成 23 年)

◇ まとめ

佐川さんのエアサンプリング測定データを基に、飯館村あたりでのセシウム 137 吸入被曝量を見積もってみると、年間 $0.3\mu\text{Sv}$ 程度となった。空気中に本来あるはずのないセシウム 137 がただよっていることはシャクではあるが、通常の状態では、吸入にともなう被曝量は“神経質になるほどではない”と言えるだろう。

図2. ウラン-238から始まる崩壊系列 (ウラン系列)

