

日本人の自然放射線による被曝量が増えた理由について

今中哲二

京都大学複合原子力研究所





一般の方はあまりご存じないだろうが、自然放射線による日本人の平均被曝量の『公称値』が、2011年の福島原発事故の直後に引き上げられた。それまで年間1.5ミリシーベルト（mSv）とされていたのが、突然に年間2.1ミリシーベルトとなった。公称値という意味は、お役所のホームページなどで引用されているといった意味合いである。私は、講演会などではもっぱら「身体全体の被曝で平均して年間1ミリシーベルト程度です」と言ってきた。

その当時、公称値が大きくなった理由をチェックすると、「それまで計算に入っていなかった海産物からのPo210（ポロニウム210）摂取を考慮したので大きくなった」とのことだった。「何やら変だな」と当時の私が感じた理由は、その何年前か前、金沢大学の山本さんが『日本人のPb210（鉛210）とPo210の摂取量』に関する論文を発表したとき端っこに名前を入れてもらったことがあって、その際にPo210による被曝はさほどは大きくなかった、という記憶があったからだった。そこでPo210被曝量が増えた理由を辿ってみたら、ICRP勧告に基づく被曝量換算係数がいつの間にか5倍になっていたのを見つけ、一応の納得に至っていた。コロナ自粛で時間が出来たこともあり、もう少し突っ込んで調べてみたのでまとめておく。

◇ 自然放射線被曝量

表1は、原子力文化振興財団のホームページからで、自然放射線による年間の被曝量は日本で2.1mSv、世界で2.4mSvとなっている。<https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-03-04.html>

表1 ■ 一人あたりの自然放射線の内訳

ミリシーベルト/年	 宇宙から	 大地から	 ラドンなどの吸入	 食物から
2.4(世界)	0.39	0.48	1.26	0.29
2.1(日本)	0.30	0.33	0.48	0.99

出典：（公財）原子力安全研究協会「新版生活環境放射線（2011年）」より作成

被曝量が増えたことについて、日本での被曝問題の権威である放医研（放射線医学総合研究所、現・量子科学技術研究開発機構）のホームページには、次のような説明が出ている。

- 2011年12月に「新版 生活環境放射線（国民線量の算定）」が発行されたことから、その信頼性を検証し、2.1 mSvの値を採用することといたしました。値が変わった理由の一つに、食品中のポロニウム210による内部被ばく線量が計算に加えられたということがあります。

<https://www.qst.go.jp/site/qms/39813.html>

☆ 「生活環境放射線」新版と旧版の比較

編者として名前が出ている「原子力安全研究協会」とは、私に言わせてもらおうと、原発推進のシンクタンクみたいなところである。今回、「生活環境放射線」の旧版（1992年）を取り寄せたので、新旧を比較してみよう。

表2. 日本人の平均自然放射線被曝量：新版（2011年12月）と旧版（1992年3月）. mSv/年.

	宇宙から	大地から	吸入から	食物から	合計
新版（2011年）	0.30	0.33	0.48	0.98 ^{注1}	2.09
旧版（1992年）	0.29	0.38	0.40 ^{注2}	0.41 ^{注2}	1.48

注1：表1では0.99だが、原本では0.98。合計も2.1ではなく、2.09となっている。

注2：旧版では、吸入と食物を合わせて、「体内線源からの被曝 0.81mSv/年」になっている。今中が、「吸入から」（Rn222→Po214, Rn220→Tl208）と「食物から」（吸入以外の核種）に振り分けた。

宇宙、大地、吸入については、新旧で大きな違いはないが、『食物から』が0.41→0.98と、0.57mSvほど増えており、これが新旧での主な違いと考えていいだろう。そこで、『食物から』の内訳を比べてみよう。

表3. 食物からの自然放射線被曝：新版と旧版. 単位：mSv/年

核種	新版	旧版
主に Pb210 と Po210 ^{注1}	0.80	—
Pb210 と Po210	—	0.16
カリウム 40 (K40)	0.18	0.20
炭素 14 (C14)	0.0025	0.014
トリチウム (H3)	0.0000082	0.00029
ルビジウム 87 (Rb87)	—	0.003
ラジウム 226 (Ra226)	(0.012)	0.007
ウラン系列 (U238 から Th230 まで)	(0.00067)	0.012
トリウム系列 (Th232 から Ra224 まで)	(0.00039)	0.016
合計	0.98	0.41

注1：0.80mSv/年は、下記 Ota 論文(2009)において、日本人の食物摂取被曝として示されている値で、そのうち Pb210 と Po210 を合わせると 0.788mSv/年 (0.058 と 0.73) なので、「主に Pb210 と Po210」となっている。Ra226、U238、Th232 の()内の値が『主に』以外に相当し、0.80に含まれている。

・T. Ota et al, Jpn J Health Phys (2009) https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps/44/1/44_1_80/pdf-char/ja

注2：新版の K40 の値は、H. Sugiyama et al, J Toxicol Sci (2009) より

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jts/34/4/34_4_417/pdf-char/en

旧版にも、Pb210 と Po210 の経口摂取にともなう被曝が入っていることに注意されたい。

新版と旧版では、内部被曝の計算方法が異なっている。

- 旧版では、各臓器に存在する放射能濃度の測定データを使って年間の預託実効線量を求めている。放射能濃度から預託実効線量への換算係数は、ICRP Pub30 の補足試料を基に、著者が独自に求めたようだ（後述）。
- 新版の値は、年間の経口摂取量を基に、ICRP Pub72 の換算係数を用いて、預託実効線量を計算している。

旧版の計算手法についての議論はややこしくなるので後回しにして、年間取り込み量から換算係数を使って Pb210 と Po210 からの被曝を求めている、Ota 論文、Sugiyama 論文、Yamamoto 論文（2009）を比較してみる。

・Yamamoto et al, J Radio Nucl Chem (2009) <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10967-007-7198-8.pdf>

◇ 3論文の概要

- Ota 論文：1989年から2005年にかけて、11都道府県から137種類の市販食材の放射能濃度を測定（サンプル数2000以上）。分析対象核種は、Sr90、Cs137、Pu239+240、U238、Th232、Ra226、Pb210、Po210で文科省マニュアルに従って測定。食材は17群に分類して平均的濃度を求め、厚労省が発表している各群の摂取量とICRP Pub72の換算係数から大人に対する年間預託実効線量を評価している。
- Yamamoto 論文：1990年から1992年までの3年間、石川県の海岸集落と新興集落それぞれ20人を対象に、年に2度、1日分の陰膳サンプルを調達（合計240サンプル）。陰膳中のPo210をSi検出器で測定し、Pb210量は、2回測定の間Po210量変化で推定。Pb210とPo210の年間摂取量を求めICRP Pub68の換算係数で預託実効線量を評価。
- Sugiyama 論文：2007年から2008年にかけて日本の7つの都市のスーパーで13群の食材を購入（各都市での購入数は153～174サンプル）。飲料水も合わせてサンプリング。測定対象はPo210（Si測定）とK40（Ge測定）。13群の食材はボイルしたり揚げたりしてまず調理。各都市での食材消費を考慮して13群を混合しPo210測定サンプルを作成（横浜市については13群別々にもPo210測定）。Ge測定は、7都市全部で13群別に測定。都市毎の年間摂取量を基に、ICRP Pub72の換算係数で大人に対する預託実効線量を算出。

表4. 食物からのPb210とPo210の摂取による年間預託実効線量：3論文の比較

	太田論文 食材積み上げ方式		山本論文 陰膳方式		杉下論文 調理モデル方式	
	Pb210	Po210	Pb210	Po210	Pb210	Po210
毎日摂取量 Bq/d	—	—	0.20 (median)	0.61 (median)	—	0.66 (mean)
年間摂取量 Bq/y	85	610	73	223	—	241
預託実効線量換算係数 Sv/Bq	6.9×10^{-7}	1.2×10^{-6}	6.8×10^{-7}	2.4×10^{-7}	—	1.2×10^{-6}
年間預託実効線量, mSv/y	0.058	0.73	0.050	0.053	—	0.29
Pb210+Po210 mSv/y	0.788		0.103		—	

注1. 杉下論文ではPb210の評価はない。

注2. 太田論文では、各食材の代表濃度の決め方（平均かメディアンか）が不明。

注3. 山本論文の毎日摂取量をmeanに変更すると、Pb210とPo210は、0.26と1.23Bq/dとなり、Po210は約2倍。預託実効線量は0.065と0.11（合計0.17）mSv/yに増加する。

注4. 山本論文のPo210値は、サンプリング時に減衰補正したとあるが、他の2つは不明。

表4ならびに注を眺めて頂くと、太田論文と山本論文のPo210預託線量の違いは、線量換算係数にあることが分かる。（ここまでは2012年頃、増えたのに気づいた段階でチェック済みだった。）

◇ ICRP Pub 68 と Pub 72 の Po210 の経口摂取換算係数の違いについて

山本論文が使っている Pub 68 (1994) のタイトルは、

- ・「作業による放射性核種の摂取についての線量係数：ICRP Pub 61 に置き換わるもの」

http://www.icrp.org/docs/P68_Japanese.pdf

太田論文と杉山論文の ICRP Pub72 (1995) は、

- ・“Age-dependent Doses to the Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 5
Compilation of Ingestion and Inhalation Coefficients” (邦訳なし)

https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_26_1

である。

Pub 68 は放射線作業従事者に対する値で、Pub72 は一般公衆に対する換算係数が6つの年齢別に与えられている。表5に、大人に対する預託実効線量換算係数を比べてみる。ついでに、古い Pub30 と新しい Pub137 の値も示しておいた。

表5. Po210 の経口摂取にともなう預託実効線量換算係数の比較

	胃腸管吸収割合 f1 値	預託実効換算係数 mSv/Bq	関連する組織荷重係 数の勧告書
Pub 30 (1978)	0.1	5×10^{-4}	1976 年勧告
Pub 68 (1994)	0.1	2.4×10^{-4}	1990 年勧告
Pub 72 (1995)	0.5	1.2×10^{-3}	1990 年勧告
Pub 138 (2017)	0.1	1.8×10^{-4}	2007 年勧告

Pub68 と Pub72 の違いは、f1 値に由来している。f1 値とは、胃腸管から体内に吸収される割合で、Pub30 や Pub68 では0.1だったものが、Pub72 で0.5 となり、換算係数も丁度5倍になっている。違いの理由については Pub67 (1993) で説明されている。Pub30 では、人体実験1例やラット動物実験に基づいて0.1とされていた。1993年に Hunt らが、6人のボランティアを使ってPo210を多く含むロブスターを食べさせる実験を行ったところ、f1値は平均0.76(0.60~0.94)だったそうだ(J Radiol Prot 1993 13:119-126)。この論文を基に、一般公衆に対する経口摂取のf1値は0.5となった。一方、放射線作業中に食事はしない原則なので、(Pub137のように)作業員に対するf1値は0.1のまま残ったようだ。

以上から、日本人の自然放射線被曝量が年間1.51mSvから年間2.1mSvに増えたのは、『海産物からのPo210摂取を新たに考慮した』というより『ICRPの換算係数が5倍になった』からと言って良いであろう。

◇ 旧版の被曝評価方法

「生活環境放射線」旧版での内部被曝評価の方法は、新版と違っていて、ある臓器中の放射能濃度の測定値を基に年間の預託実効線量を見積もっている。ICRPでは、そのような換算係数を示していないのだが、旧版の本文に「器官、臓器1g当たりの放射能濃度から実効線量当量を評価するための換算係数はICRP Pub30補遺の基礎計算データを使って算出した」(p44)とある。

詳細は省略するが、ICRP Pub30の資料を眺めながら、Po210とPb210の経口摂取について、私なりに旧版の換算係数に相当する値を算出し、旧版の値と比較してみたものが表6である。今中の値は、丸めの誤差程度で旧版の値と一致した。換算係数については、旧版の値を再現できたと行ってよいであろう。

表 6. 「生活環境放射線」旧版の内部被曝換算係数

核種	着目臓器	(mSv/yr) / (Bq/g・臓器)	
		旧版	今中
Po210	腎臓	94	93
	肝臓	540	540
	脾臓	54	54
Pb210	腎臓	220	210
	肝臓	100	99
	皮質骨	18	19
	梁骨	18	18

表 3 に示した、Po210 と Pb210 からの被曝量について旧版本文は次のように記述している。

「腎臓には Pb-210 由来の Po-210 が Pb-210 濃度の約 81% 相当が存在するという情報を引用し、表 1.4.1 の換算係数を使い実効線量当量の計算を行った。その結果、腎臓の Pb-210 データ (0.33Bq/kg-生)¹⁵⁾ から計算した平均年実効線量当量は、 7.3×10^{-2} mSv/y、Po-210 の形で体内に取り込まれた腎臓の Po-210 データ 8.7Bq/kg-生から換算した年実効線量当量は平均で 8.2×10^{-2} mSv/y となり、合計値は 15.5×10^{-2} mSv/y となった。」(p. 47)

この記述を基に、腎臓の放射能濃度と表 6 の換算係数で預託実効線量を計算してみると、

- Pb210 については、 $0.33/1000 \times 220 = 0.0726$ mSv/y
- Po210 については、 $8.7/1000 \times 94 = 0.818$ mSv/y

で、合計は 0.89 mSv/y となり、表 3 の 0.16 mSv/y と合わない。

「“8.7Bq/kg” → “0.87Bq/kg” の間違い」ということで計算し直すと、 $0.0818 + 0.0726 = 0.1544$ となり、旧版の値とほぼ一致する。

引用にでてくる (文献 15) 「滝沢行雄、阿部亨、趙蘭才、人体中の 210Pb と 210Po 濃度 LLRL-AR-13 p.9 (第 31 回日本放射線影響学会 (於広島) での報告)」はチェックできていないが、Takizawa et al, J Radioanalytical Nucl Chem, Articles 138:145(1990)には、日本人剖検からの腎臓の Pb210 と Po210 測定データが出ており、Pb210 は 19 サンプル平均で 11.6pCi/kg-wet (4.9~20.3)、Po210 は 8 サンプルで平均 32.9pCi/kg-wet (21.1~54.4) となっている。

Bq/kg にすると Pb210 は 0.42Bq/kg となる。Po210 は 1.22Bq/kg となるが、先の記述に従い、Pb210 の 81% 分を差し引くと 0.87q/kg となる。旧版のテキストにおいて、『0.87』と書くべきところを『8.7』と間違えてしまった可能性が大きい。

◇ まとめ

日本人の自然放射線被曝量『公称値』が年間 1.5mSv から年間 2.1mSv に増えた理由は、『海産物からの Po210 摂取を新たに考慮したから』というより、『「生活環境放射線」の旧版 (1994) と新版 (2011) とで、計算方法が変わったから』で言うべきであろう。「どちらがベターな値か」と聞かれても、“実効線量”とか“預託線量”といった単位にとまなういい加減さや不確かさを考えたとき、私には答えようがないが、『公称値』がまことしやかな説明とともに流布しているのも不思議なことと思っている。