

2024年7月20日

フクシマ事故後のスクリーニングについて

甲状腺被曝線量とサーベイメーターの応答

小出 裕章（元京都大学原子炉実験所助教）

1. フクシマ事故時の住民の被曝線量と防護

2011年3月11日に起きた福島原発事故（以下フクシマ事故と表記）では、大量の放射性物質が環境に放出され、住民が被曝した。しかし、敷地内外の放射線測定システムは地震や停電によってほとんどが動かなくなっていた。その上、事故時に放射性物質の移動を予測するために開発されていた SPEEDI のデータは隠蔽され、住民は放射性雲が流れて濃密な汚染を受けた地域に向かって避難することになった。汚染の中を避難した住民は放射性物質を吸入することで被曝したし、身体や衣類に付着した放射性物質からも被曝した。大量の被曝をする場合には、住民に安定ヨウ素剤を飲ませて、甲状腺の被曝を防ぐ必要があったし、皮膚や衣類が汚染されている場合には衣服を脱ぎ、身体の洗浄をする必要がある。そのために、避難してきた住民の汚染調査（スクリーニング）が行われた。しかし、もともと大混乱の中でのスクリーニングで、人も機材も足りず、汚染が分かっても除染するための水すらがなく、衣服の替えもなかった。そんな中で、スクリーニングの基準も根拠のないまま大幅に緩和され、安定ヨウ素剤の投与すらなされなかった。

2. 甲状腺被曝線量とサーベイメーターの応答の関係

避難してきた住民の衣服や皮膚の汚染量は放射性雲から皮膚や衣類に沈着した放射性物質の量によって決まる。甲状腺の被曝量は、避難の途中で放射性雲から吸入した主としてヨウ素の多寡によって決まる。しかし、フクシマ事故時に個別の放射性核種がどれだけ放出され、どれだけ放射性雲に存在していたか、正確に知ることができない。それは放射線モニタリング体制が崩壊していたためで、その責任は重大事故など起きないと言っていた国と東京電力にある。ここでは仕方がないので、放射性雲にはヨウ素 131 だけが含まれていたとする。

放射性雲から吸入する量、衣服や皮膚に付着する量は、放射性雲に含まれる放射性核種の濃度にもよるし、どれだけの時間その雲の中に居たかにもよる。放射性核種（ここではヨウ素 131）の濃度を χ [Bq/m³] とし、放射性雲の中にいた時間を T [hr] とすると、問題となるヨウ素 131 の時間積分濃度は $\chi \cdot T$ [Bq/m³·hr] となる。そして、被曝量を評価する人の呼吸率を R [m³/hr]、ヨウ素 131 の沈着速度を V_g [cm/s] とすると、吸入する量を A [Bq]、皮膚や比類表面に沈着する量を S [Bq/cm²] とすると、それぞれ以下となる。

$$A = \chi \cdot T \cdot R \quad \text{①}$$

$$S = \chi \cdot T \cdot V_g \quad \text{②}$$

吸入した A [Bq] のヨウ素 131 から甲状腺が受ける被曝量 D [Gy]（被曝の単位である Gy は 1kg 当たり 1 J のエネルギーを吸収した時の被曝量）以下の式で計算できる。

$$D = (\varepsilon \cdot \chi \cdot T \cdot R) / m \times E \times 1.602 \times 10^{13} \times T_e / \ln(2) \times 86400 \quad (3)$$

ここで、

ε : 吸入したヨウ素 131 のうち甲状腺に蓄積する割合[-]

R : 呼吸率[cm³/hr]

m : 甲状腺重量[kg]

E : ヨウ素 131 が甲状腺に加える実効エネルギー[MeV]

T_e : 甲状腺に移行したヨウ素 131 の実効半減期[day]

1.602×10^{-13} : [J/MeV]の換算係数

86400 : [sec/day]

甲状腺の被曝が問題になるのは、大人よりも小児であり、ICRP-Publication2 に示されている以下のデータを使う。

$\varepsilon = 0.23$ [-]

$R = 8 \times 10^6$ [cm³/day] = $(8 \times 10^6 / 24)$ [cm³/hr]

$m = 4/1000$ [kg]

$E = 0.23$ [MeV]

$T_e = 7.6$ [day]

これらの数値を③式に代入すると、以下となる。

$$\begin{aligned} D[\text{Gy}] &= (0.23 \cdot \chi \cdot T \cdot 8 \times 10^6 / 24) / (4/1000) \times 0.23 \times 1.602 \times 10^{-13} \times 7.6 / (0.693) \times 86400 \\ &= 0.669 \cdot \chi \cdot T \end{aligned}$$

一方、皮膚や衣類の表面汚染密度を評価する場合には、沈着速度 V_g を仮定する必要がある。これまでの実験結果からヨウ素が有機型の場合の沈着速度は 0.1[cm/s]、粒子状ヨウ素の場合には 1.0[cm/s]程度であることが知られている。そこで、②式にヨウ素 131 の沈着速度 V_g として有機ヨウ素の場合の 0.1[cm/s] (=360cm/hr) の値を代入すれば、以下となる。

$$S[\text{Bq/cm}^2] = 360 \cdot \chi \cdot T$$

スクリーニングの基準は小児甲状腺の線量が 100mGy (=0.1Gy) に相当する被曝量になれば、安定ヨウ素剤を投与して甲状腺の被曝を低減することを目指していた。その場合の時間積分濃度 ($\chi \cdot T$)、そしてそれに対応する表面汚染密度は以下となる。

$$\chi \cdot T = 0.1 / 0.669 = 0.15 \quad [\text{Bq/cm}^3 \cdot \text{hr}]$$

$$S = 360 \times 0.15 = 54 \quad [\text{Bq/cm}^2]$$

ここで少し脱線するが、放射能の単位について触れる。現在の放射能の国際単位はベクレル[Bq]である。これは、天然にあるウランから放射線が出ていることを発見したフランスのアンリ・ベクレルにちなんで、放射能の単位となった。1秒間に1個の原子核が崩壊するときの放射能の強さが Bq である。Bq が国際単位になる前は広くキュリー[Ci]が放射能の単

位として用いられていた。これはウランからラジウムとポロニウムを分離したキュリー夫妻の功績をたたえて採用された単位であった。そして、1 g のラジウム 226 が 1 秒間に崩壊する強さで定義づけられ、1 秒間に 3.7×10^{10} 個の崩壊が 1 Ci だった。つまり、Ci と Bq の関係は以下の如くなる。

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \mu \text{ Ci} = 3.7 \times 10^4 \text{ Bq}$$

日本の放射能に関する法令はすべて、Ci が放射能の単位として用いられていた時に作られた。例えば、放射線管理区域から放射性物質（アルファ線を放出する核種を除く）を持ち出す時の基準は $1 \times 10^{-4} \mu \text{ Ci/cm}^2$ だった。つまり、 3.7 Bq/cm^2 である。それが法令の改定に合わせて少数点以下を四捨五入して 4 Bq/cm^2 にされた。1 平方メートル当たりにすれば 4 万ベクレル ($4 \times 10^4 \text{ Bq/m}^2$) となる。

先に求めた、表面汚染密度 54 Bq/cm^2 という値ももともとは Ci を放射能の単位としていた時に計算されたもので、その時には $1.46 \times 10^{-3} \mu \text{ Ci/cm}^2$ として計算された。それを小数点以下四捨五入して、 $1 \times 10^{-3} \mu \text{ Ci/cm}^2$ が 100 mGy の小児甲状腺被曝を与える場合の皮膚や衣服の表面密度として採用された。つまり 37 Bq/cm^2 であり、それを少数点以下四捨五入して 40 Bq/cm^2 なる値としたのが現在の値である。最終的に要約すれば、小児の甲状腺に 100 mGy の被曝を与えるヨウ素 131 の場合、それは皮膚や衣類の表面汚染の密度が 40 Bq/cm^2 となると考えたのである。

3. 表面汚染のスクリーニング基準

事故時に避難してきた住民が実際に甲状腺にどれだけのヨウ素 131 を蓄積していたかを直接測定することは、事故時という混乱状態を考えれば、現実的には不可能である。そのため、サーベイメーターで皮膚や衣類の表面汚染を測定することで、甲状腺の被曝量を推定することになった。前項で示したように、小児の甲状腺の被曝線量が 100 mGy に達すると考えられる場合には安定ヨウ素剤を投与することにされていたし、その場合の皮膚や衣服に沈着したヨウ素 131 の表面汚染密度は 40 Bq/m^2 とされていた。

では、表面汚染密度とサーベイメーターでの測定値との間にはどのような関係が成り立つのか考えよう。以下の記号を用いる。

S : 表面汚染密度 [Bq/cm^2]

C : サーベイメーターの計数率 [cpm]

δ : 線源効率（線源からサーベイメーターの有感部に届く割合） [%]

η : 機器効率（サーベイメーターの計数効率） [%]

A : サーベイメーターの有感窓面積 [cm^2]

そうすると C は以下の式で得られる

$$C = S \times 60 \times \delta / 100 \times \eta / 100 \times A$$

ここで、以下の数値を代入する。

$$S=40[\text{Bq/m}^2]$$

$\delta = 50[\%]$ （半分がサーベイメータがある表面方向へ放出され、半分は反対側へ放出される）

η ：日本国内で、広く使われている日立アロカ製 TSG-136 の場合、40～58%

A：19.6[cm²]（サーベイメータの検出部が直径 5cm とする。）

そうすると η が 40% の場合には C[cpm] は以下となる。

$$\begin{aligned} C &= 40 \times 60 \times 50 / 100 \times 40 / 100 \times 19.6 \\ &= 9408 [\text{cpm}] \end{aligned}$$

η が 58% の場合には、同様の計算で、

$$\begin{aligned} C &= 40 \times 60 \times 50 / 100 \times 58 / 100 \times 19.6 \\ &= 13642 [\text{cpm}] \end{aligned}$$

となる。

フクシマ事故が起きた時、緊急医療対応が必要となるスクリーニングレベルは、サーベイメータの計数率で 10000cpm あるいは 13000cpm とされていたが、それはそれぞれ上に示した値に対応していた。

すなわち、使用するサーベイメータの特性に従い 10000cpm あるいは 13000cpm を超えるような汚染を検出した場合には、安定ヨウ素剤を投与することになっていた。[cpm]とは「counts per minutes」の略で、1 分間に放射線をいくつ数えるかということを示す。そして、普通のサーベイメータでは、放射線を検出する度に警報音を出す。60cpm といえば、1 分間の 60、約 1 秒ごとに放射線を検出し、警報音を出す。「ピッ、ピッ、ピッ」と音がし、計数が多くなるとその間隔が短くなっていく。600cpm にでもなれば、1 秒間に 10 個の放射線を検出し、警報音が鳴るが、その頃になれば、音は断続的でなく、連続して聞こえるようになる。スクリーニングレベルだった 10000cpm、13000cpm ともなれば、警報音は連続で「ピーーーーー」と音が鳴りっぱなしとなる。フクシマ事故当時、スクリーニング会場自体も汚染していたし、そこに汚染した住民たちが詰めかけてきて、会場ではサーベイメータの連続音がずっと鳴り響いていたはずだと思う。10000cpm、13000cpm を超える住民は軒並みで、結局、現地対策本部はスクリーニングレベルを引き上げられないかと問い合わせをした。それに対して、紆余曲折の末、原子力安全委員会はスクリーニングレベルを 100000cpm に引き上げることを了承した。しかし、このレベルは IAEA が身体の除染のためのレベルとして設定したもので、もともと安定ヨウ素剤の投与とは関係がない。こんな判断をするのはもともと誤りだし、原子力安全委員会という組織の理解度の低さが露呈した。そうでないなら、原子力安全委員会は事故の深刻さの隠ぺいにむしろ積極的に加担した。結局、フクシマ事故時、住民は甲状腺被曝に対して何の防護処置も取られないまま、被曝を続けさせられたのである。

4. 住民の被曝影響について

普通放射線と呼ばれるのは電離放射線のことで、それが持つエネルギーは keV～MeV（

eV とは、1 個の電子を 1 V の電位差に逆らって引き上げるために必要なエネルギー) で測られる。生命体を含めこの世界の物質は原子がお互いに手をつなぎあって分子となっていて、その時に原子が結合するエネルギーは eV の単位で測られる。つまり、放射線のエネルギーは分子結合のエネルギーに比べ、1000 倍も百万倍も高い。そのため、電離放射線は、分子結合の電子を容易に弾き飛ばし、結合を破壊する。大量の被曝をすれば、死を含め急性の放射線障害が出るが、仮に急性の障害が現れなくても、DNA を含め生体の分子結合が破壊されることは避けられず、それがいずれ障害として現れる。そのため、日本を含め、世界各国は被曝について法令で制限をつけていた。日本の法令では、一般の人の被曝限度は 1 年間に 1 ミリシーベルトと定められ、それ以上の被曝を一般の人にさせてはならないことになっていた。また、放射線を取り扱う仕事に携わり、給料を得る大人は「放射線業務従事者」に指定され、給料を得る代償に 1 年間に 20 ミリシーベルトまで被曝を我慢しろとされていた。

細胞分裂を活発に行って成長していく子どもたちは、傷を受けた細胞を複製していくため、放射線感受性が高い。1 年間 20 ミリシーベルト迄の被曝をさせられれば、様々な障害が発生するのは当然である。それどころか、すでに記したように、事故直後は事故対応が崩壊してしまっていて、子どもを含め多くの住民がなすすべなく被曝させられた。

原発が事故を起こした場合、様々な放射性核種が放出されるが、中でもヨウ素は揮発性が高いため大量に放出される。そのことは 1986 年の旧ソ連チェルノブイリ原発事故でも立証され、それによって小児甲状腺がんが多発した。フクシマ事故の時には、その経験を踏まえて、小児甲状腺がんの発生が危惧され、福島県は県民健康調査と名付けた調査を始め、30 万人を超える 18 歳以下の子どもたちの甲状腺がんの調査を始めた。小児甲状腺がんは極めてまれな病気で、従来の医学的知見によれば、1 年間に 100 万人当たり 1 人から 2 人程度しか発生しなかった。しかし、調査を始めた途端、100 万人当たり 300 人を超える小児甲状腺がんの発生を見つけた。その後も、調査が続けられてきたが、いまだに 100 万人当たり 100 人の桁の小児甲状腺がんが発見され続けている。

検査種類	先行検査	本格検査						
実施年度	2011-2014	2014-2016	2016-2018	2018-2019	2020-2021	25 歳時の節目の検査	30 歳時の節目の検査	合計
対象者 (人)	367637	381237	336667	294228	252938	129006	22625	
受診者 (人)	300472	270552	217992	183410	113937	11867	1571	
受診者 (%)	81.7%	71.0%	64.8%	62.3%	45.0%	9.2%	6.9%	
穿刺細胞診で悪性疑い(人)	116	71	31	39	43	23	5	328
穿刺細胞診で悪性疑い(人) (100 万人あたり)	386	262	142	213	377	1938	3183	
手術後甲状腺がんと確定 (人)	101	56	29	34	34	17	3	274
集計されていない甲状腺がん確定								43

1 巡目は 2018 年 3 月 30 日、3 巡目は 2021 年 3 月 31 日、2 巡目は 2022 年 3 月 31 日現在のデータ、4 巡目は 2022 年 6 月 30 日、5 巡目と節目検査は 2023 年 9 月 30 日

従来の医学的知識から見て極めて異常なこの発生率を見て、国や東京電力、あるいは福

鳥県はこれはスクリーニング効果、あるいは過剰診断だと言い出した。彼らは、従来はきちんと調査をしていなかったから見つけなかったが、フクシマ事故後は詳細な調査をしているので、本来は見つけなくてもいい小児甲状腺がんを見つけているだけだと言っている。彼らはフクシマ事故そのものを忘れさせてしまいたいと思っていて、調査自体をやめてしまおうとしている。しかし、科学とは分かったことは分かったと言ひ、分からないものは分からないというべきものである。従来は調査しなかったというなら、調査を続け、本当に異常でないかどうか明らかにするというのが科学的な態度である。

そのうえ、県民健康調査で見つかった小児甲状腺がんは悪性で、甲状腺の摘出手術が必要であり、さらに一度片側の甲状腺を摘出した後も、残った甲状腺に再発があつて全摘した例もある。見つけなくてもいいガンを見つけたなどという主張は事実と反している。

さらに、彼らは、フクシマ事故の場合、甲状腺の被曝量はチェルノブイリ原発事故に比べて極めて低いので、甲状腺がんが発生するはずがないと言っている。その根拠を、彼らは国連科学委員会（UNSCEA）の報告に頼っている。日本人は国際的な権威に弱い。でも、何のことはない UNSCEA の委員会には日本の原子力推進派の学者が参加して、都合のいいデータだけをもとに報告を書いているだけである。本メモで記したように、事故直後、日本政府を含め大混乱に陥り、特に事故初期は、放射能に対するモニタリング体制が崩壊し、住民の甲状腺被曝を抑制するためのスクリーニングも行えず、安定ヨウ素剤の投与もなされなかった。フクシマ事故の甲状腺の被曝量は少ないなどという前に、まずは小児甲状腺がんの異常な発生という事実こそ、視なければいけない。

かつて私は京都大学原子炉実験所で「放射線業務従事者」として働いていた。そして、給料を得る代償に1年間に20ミリシーベルトまで被曝を我慢しろとされていた。でも被曝には危険を伴うので、「放射線管理区域」は常に放射線の監視をするよう雇用者に義務づけられていたし、「放射線業務従事者」には被曝手帳を渡し、個人に被曝線量計を常時持たせて被曝を記録するとともに、毎年健康診断を課することも義務づけられていた。そして仮に1年間に5ミリシーベルト以上の被曝が被曝手帳に記録されている人が白血病やがんになった場合には労災が認定されるようにもなっていた。

しかし、フクシマ事故の当日、日本は「原子力緊急事態宣言」を発令し、法令を停止した。その後、事故由来の放射性物質からの被曝については次から次へと特別措置法、あるいは根拠のない通達などを出してきた。事故から13年半も経とうとする今でも「原子力緊急事態宣言」は解除できないままだし、ごく普通の人も1年間に20ミリシーベルト迄の被曝は我慢しろと強制されている。普通の人々が日々生活している場の放射線の監視もほとんどなく、健康診断も受けさせてもらえず、被曝手帳も持たされないまま被曝し続け、仮に白血病やがんになったとしても何の補償も受けられない。

フクシマ事故直後の被曝スクリーニングが正常に機能しなかったことは、住民にとって誠に不幸なことであつた。しかし、国を含めて全く想定外の事故が進行したため、国や原子力安全委員会などにとって、なすすべがなかったと言ひ訳はできるかもしれない。しかし、事故後13年半も経った今でも、「原子力緊急事態宣言」を言ひ訳にして、人々を被曝させ続け、すでに現れてきた被害について事故とは関係がないと言ひ訳することなど、どうして許されるのだろうか？ そのうえ、日本の現政権は、フクシマ事故について誰一人として責任を取らないまま、再度「原子力を最大限活用する」と言ひ出した。誠に呆れた政権だと私は思う。