

放射線科学

1 ミリシーベルト考

下 道國

1. はじめに

放射線が1895年にレントゲンに発見されてから、すでに120年が経とうとしている。この間、放射線に関する発見に対してノーベル賞が幾度となく授与されてきた。その意味では、20世紀の学術は放射線を中心として発展してきたと言っても過言ではないだろう。また、放射線の応用利用も、学術分野をはじめとして、医療、製造業、非破壊検査、農業、食品分野等々、様々な分野で行われてきており、今や日常生活においても欠くべからざるものと言えよう。

利用による便益の一方で、原爆や原子力発電所事故等により、放射線への恐怖が日本はもちろん世界中を覆い、その安全面への配慮が必要欠くべからざるものとして、社会的に、行政的に、そして政治的にも関心がもたれている。

そのような状況にあるにもかかわらず、放射線が五感に感じないことが、恐らく大きな要因と考えられるが、われわれ人体への影響について、その量的な理解が十分であるとは決して言えないのではないだろうか。このことは、2011年3月11日の地震津波による東京電力福島第一原子力発電所事故後の政府や社会の動向を見て感じられたことである。

それまでは、大半の人々が「シーベルト」など知らず、何を意味するものかわからなかったことが、事故後は「ミリシーベルト」が小学生の口からも発せられるようになりながら、1ミリシーベルトがヒトにどれほど生物学的な影響（健康影響）を与えるのかについて、人々の理解は甚だ不十分と思われる。それにもかかわらず、社会的には極めて大きな影響を及ぼし、結果として過度とも言える懸念や考え、判断が蔓延している。

ここでは、この「1ミリシーベルト」について論考してみたい。

2. 内閣参与の退任の弁

未曾有の大事故に対処するために、内閣に幾人かの内閣参与が任命され、そのうちの一人に放射線防護の専門家として東京大学教授の小佐古敏荘氏が任命された。氏は着任一月にして退任したが、退任時の会見が放映され、その時の言が注目を浴びた。氏は、それまでに国際放射線防護委員会（ICRP）委員を12

年間務めた我が国きっての放射線防護の専門家である。氏の真意を解することなく（氏の声明文全文を読めばわかるが、その一部だけを切り取った形で）報道された結果、「学童に対して1ミリシーベルトを守らなければならない」と涙ながらに抗議して辞任したと世間では取沙汰された。

事故から幾日も経たないうちに、一部の必ずしも防護を専門としない学識者や市民からは、「1ミリシーベルトが国の防護基準であり、法律を守らないのは遺憾千万」といった主張がなされ、同調しているメディアもあった。また、1ミリシーベルトが危険と安全の境界のように一部の人々から喧伝されていたこともあって、氏の言辞はこれらにうまく利用され、この後、1ミリシーベルトが絶対基準のように社会に浸透していった。この「基準」については、後で詳述する。

この辺りの経緯は、ここで主題とするべき事柄ではないが、簡潔に記しておきたい。特にメディアが、彼ら自身の志向している方向に世間を誘導するかのように、真実に即さない報道をすることは極めて遺憾で、かついかに危険であるかを、報道する側も、またされる側もよく認識する必要があることを指摘したい。メディアが自己主張するのは自由であり、正当な権利であるが、その場合は、新聞であれば社説で述べるべきであって、他の記事の中で世論を誘導するような手法は排除されるべきである。

3. 飲食品の規制基準の1 mSv/y

事故のない平常時では、原子力施設等で発生した放射性物質は法令の許可範囲内で、随時、施設から排気または排水として環境中に排出されている。それらの放射性物質は広い環境で希釈され、通常では、われわれ生体に影響を及ぼすことはない。

他方、事故等により大量の放射性物質が環境に広く飛散した場合、放出源に近い場所やプルームが通過した地域で、浮遊している、あるいは地表面等に沈着した放射性物質からの放射線による外部被曝と、呼吸および飲食によって体内に摂取された放射性物質による内部被曝を考慮しなければならない。このために、旧原子力安全委員会は、防災指針で事故時に制限すべき飲食物の摂取基準として、1年で5 mSvの実効線量を守るように、事故後1年の期間の体内摂取を勘案して数値を決めている¹⁾。

今回の事故では、事故直後における対応として、食品に関する暫定基準にこの値が使用された。その後、1年後以降に対応するために、恒久的な規制値の設定が厚生労働省の食品安全委員会で検討され、その結果、ヒ素や有機物など他

の多くの物質の規制基準と同列の規格基準値として、1年間の実効線量の上限を1 mSv にするように、飲料水と食品（食材や加工食品）中の放射性セシウム濃度が決められた²⁾。

食品中の放射性物質濃度 (Bq/kg) の導出では、基準値とした 1 mSv/y から 0.1mSv/y (飲料水に充当分) を引いた 0.9mSv を線量係数 (mSv/Bq) で除し、更に、これを考慮の対象としている食品を 1年間に食する量 (kg/y) で割ることによって求められる。実際の算定過程で考慮された様々な事項や仮定とその経緯は文献 2) を参照していただくとして、決められた規格基準値を表 1 に示す。

なお、基準値としてセシウムだけが示されていて他の核種が示されていないのは、他の核種にも配慮しながら限度を決めているため、セシウムが限度内であれば、他の核種も含めて 1 mSv 内に収まるように設定されている。

表 1 4つに区分された飲食品の規格基準

分類	摘要	基準値
飲料水	ミネラルウォーター類（水を原料とする清涼飲料水） 飲用茶（茶を原料とする清涼飲料、飲用状態の茶）	10 Bq/kg
牛乳	牛乳、低脂肪乳、加工乳、乳飲料	50 Bq/kg
乳児用食品	乳児の飲食を目的に販売される食品	50 Bq/kg
一般食品	上記以外の食品（乾燥品などは食する状態とする）	100 Bq/kg

ここで留意しておきたいことは、規格基準値の決定に当たっては「年間 1 mSv」を限度としたことであるが、この値は、平常時において施設に由来する一般公衆の線量限度をこの範囲とするように、ICRP が勧告している値であり、また放射能で汚染された飲食物の国際取引の基準を決める国際食品規格委員会（コーデックス委員会）のガイドラインに示されている線量目標値である。これらを勘案してこの値を用いたと思われる。

なお、実効線量は外部被曝と内部被曝による合計線量であるので、それぞれを限度いっぱい守ったとしても、全体としては 1 mSv を超え、2 mSv となる。

4. 除染目標の 1 mSv/y

汚染地域の除染は、最優先事項として対処されなければならないことは言を俟たない。

事故後間もないころから、政府は除染目標について、事故由来の物質からの線量を 1 mSv/y 以下にすると声明し続けてきた。この値は、自然減衰や降雨に

よる流出や地下への沈降なども含んだもので、長期にわたる最終の目標値である。しかしながら、これは、「目標」というよりも「基準」として、世間では捉えられているように思われる。

学校・幼稚園の校・園庭や公園、あるいは農地などで、線量の高い区域については、優先的な除染によってかなり下げることができているが、現時点で 1 mSv/y には程遠く、今後、再除染をし、また自然減衰もあるとしても、短期な達成は困難である。

原発事故に由来する、お呼びでない汚染物はすべて完全に除去したい、また、してほしいという気持ちはよく理解できるが、完全に履行することは無理である。現実問題としては、期間を区切りながら、期間内でどれ程低減させるかということであろう。

5. 公衆被曝の線量限度 1 mSv/y と防護基準

これまで述べてきたように、ICRP は、自然放射線と医療で受ける放射線による線量を別にした、いわゆる原子力・放射線取扱施設に由来する平常時の実効線量について、一般公衆では「年間 1 mSv」を限度とすることを勧告している。ICRP の勧告は強制力を持たないが、各国ともにその知見と権威を尊重して、国内法令に取り入れることを基本としている。

我が国も、ICRP 勧告を尊重するとともに、ICRP 勧告に基づいて国際間で決められる拘束力のある国際原子力機関（IAEA）の提言に基づいて、国内法令が整備されてきた。両機関の違いは、ICRP は専門家による任意の委員会であるが、IAEA の方は各国の政府からの代表が委員会に出ていることにある。

我が国は、法令で防護基準を規定している。法令には、原子力施設および放射線取扱施設において、設置者が施設内とその境界および環境に対して守るべき事項、および放射線業務従事者（作業員）を防護するための事項が記されているのであって、一般公衆の線量について、「かくあるべき」と規定した条項はない。制度上は、使用者側が法令を守ることによって、公衆の年間 1 mSv が担保されるようになっている。

公衆の実効線量限度 1 mSv/y は、平常時に適用される値で、事故時は別である。平常時は、利用する立場から余裕をもって十分に安全とみられる範囲で設定されるのであり、相当のマージンがかけられているとみるべきものである。一方、事故が起きた時は、これ以上では安全が損なわれるかもしれないという値が設定されるのは自明のことであり、その数値は平常時の設定値よりも大きくなるのは当然と言えよう。

6. 1 mSv/y の由来

それでは、そもそも実効線量「1 mSv」はどのようにして決められた値であるうか。

ICRP がはじめて規制すべきとして値を示したのは1934年で、放射線作業員に対して、すなわち職業被曝として0.2レントゲン/日(0.2 r/d)であった。これは、現在の労働環境からすればおよそ50レントゲン/年(50 r/y)となり、現在の単位では500 mSv/y程に相当する。これを「耐容線量」といった。その3年後の1937年には0.2 r/d または1レントゲン/週(1 r/w)のいずれかが守られるべきであるとした。

1950年の勧告では、悪影響の出ない許容される値として、これまでの値を1/3下げ、職業被曝の「最大許容線量」を0.3 r/wとした。これは、およそ3 mSv/yで、150 mSv/yに相当する(単位、期間とも変遷があるが、以降は、単位はmSv/yで表示する)。

1954年には原発運転に伴い、はじめて一般公衆の被曝に対しても防護基準が示され、公衆被曝は職業被曝の1/10、すなわち15 mSv/yが適切として勧告された。

1958年の勧告で、それまでの値を更に1/3下げることが提案され、職業被曝50 mSv/y、公衆被曝5 mSvが示され、その後の約30年間この値が継続された。

1977年の勧告では、これまでになかったリスク判断が導入された。すなわち、他の安全な職業と比べて同等とされるリスクであるかどうかの判断がなされ、結果として50 mSv/yは受け入れられるとし、また公衆被曝の5 mSvも継続された。この勧告では、最大許容線量から「線量当量限度」と用語が変わった。

1985年のパリ声明において、発癌による死亡リスクを勘案すると従来の値は大きいとして、公衆被曝の線量当量限度が1/5引き下げられ、1 mSv/yとなったが、特別に考慮すべき事情のある場合は、これまでの5 mSv/yも適用可能とされた。

1990年の勧告では、実効線量で職業被曝は5年間の平均で20 mSv/y(任意の1年で50 mSv超過しない条件付き)とされたが、公衆被曝はパリ声明での値がそのまま引き継がれ、いずれも2007年勧告でも変わらず現在に至っている。なお、この勧告で、線量当量限度が「線量限度」に改められた^{3,4)}。これらについて、表2にまとめて示した。

また、自然放射線による被曝では、国や地域によって、生活環境や個人の生活状況・習慣によって大きな違いがあるが、このことを承知の上で見れば、世界

平均は約 2.4 mSv/y であり、日本の平均は 2.1 mSv である^{5, 6)}。このうち、内部被曝を除いた外部被曝による実効線量は、大雑把に言えば 1 mSv/y 程度であるが、この 1 mSv/y が線量限度を決めるときに影響していることは否めないように思われる。

表2 放射線業務従事者及び一般公衆の防護基準 (ICRPによる)

年 (呼称)	放射線業務従事者	一般公衆
1934 (耐用線量)	500 mSv/y (0.2 r/d)	—
1937 (同)	(0.2 r/d または 1 r/w)	—
1950 (最大許容線量)	150 mSv/y (0.3 r/w)	—
1954 (同)	〃	15 mSv
1958 (同)	50 mSv/y	5 mSv/y
1977 (線量当量限度)	〃	〃
1985 (同)	〃	1 mSv
1990 (線量限度)	20 mSv/y	〃
2007 (同)	〃	〃

7. 1 mSv/y は安全レベルか

公衆被曝の線量限度が 1 mSv/y に至った経過でもわかるが、初期のころは、職業被曝で身体に悪影響が出ないことを基準にしており、後には他の職業とのリスクの比較もなされてきた。公衆の放射線防護を考慮する段階に至り、公衆被曝は職業被曝の 1/10 が適当とされてきたが、1/10 の根拠は明瞭でなく、必ずしも合理的とは言えない。また、1985 年のパリ声明での判断も安全側に立ったもので、それほど明白な根拠はない。

1 年の実効線量 1 mSv は、発癌リスクを 1000 mSv 当たり 1% とすると、年間の死亡リスク 10 万人に 1 人 (10^{-5}) に相当する。ICRP2007 (Publication 103)⁷⁾では、罹患データに基づく名目リスク係数に 0.057 Sv^{-1} が採用されていることから、これを使うと、10 万人に 6 人弱の発癌 (すべての癌で、致死癌だけではない) が推測されるという計算になる (このような計算の意義については後述)。

10^{-5} オーダーのリスクレベルは、おおむね許容されるレベルとみなされているが、許容されるレベルとは国や時代、また状況や立場、更に人によっても変わるものである。表3に英国での見方を一例として示した³⁾が、これから判断する

と、1 mSv/y は多くの人々が危険と思わないレベルと言えるだろう。

表3 リスク受容の限度

リスクレベル(/年)	判 断
10^{-2}	継続的にこのレベルのリスクは受け入れられない
10^{-3}	防護の最適化が図られている時、受け入れ可能
$(1\sim3)\times 10^{-4}$	危険な作業の事故による死亡率
10^{-5}	更なるリスクを軽減するために費用を投じようとはしない
$10^{-6\sim-7}$	取るに足らないリスクとみなすことができる

(Royal Society 1983)

放射線に限らずどのような事象であっても、ゼロリスクということはないから、絶対安全というのはいずれもあり得ないということと、リスクの判定に当たっては、リスクが許容されるかどうかのほかに、リスクを軽減する費用との兼ね合わせで決定されることもしばしばあるということ、留意しておくべきであろう。

このように、1mSv/y には、様々な状況からいろいろな視点や思惑のあることがわかる。現実の生活においては、放射線が直接引き金となって健康影響の害が出るという事態は見られていないので、したがって、気にするレベルではないと言えよう。その意味において、1 mSv/y は安全なレベルと言うことができ、安全と危険の境界ということにはならない。境界はもっと高いところにある。

8. 1 mSv の生物学的意味

生物学的な影響は総線量で説明される。たとえば、最も低い線量で影響がみられるとされる血液中のリンパ球の数の変化は、250 mSv で現れはじめ、そのときの線量が閾線量（閾値；しきい値、またはいき値）とされる。この症状は、リンパ球をつくる組織が損傷を受けたことによって生じると理解されている。他の多くの組織や器官の機能障害も、線量は異なるが同様に閾値があり、閾値以上で発症すると考えられている。それらの障害は、放射線以外が原因となって発生する場合もある。また、症状の程度が軽い場合には治癒する。

なお、最近、250mSv 以下で白内障が出るとの症例から閾値の見直しの検討が進められるなど、最新の知見・データに沿った検討がなされている。

一方、癌や遺伝性疾患では閾値がないとされている。これは、閾値が全くないというのではなく、閾値があるかないかが定かでないことにある。疫学調査

では、100 mSv 以下での放射線による発癌は、他の多くの原因による発癌と競合し、あるいはそれらに隠れて、発癌の原因が放射線にあると確定することができない。このことは、放射線防護・管理上、100 mSv 以下の低線量域でも線量と影響は比例関係にあつてそれなりの影響があるとする、いわゆる「閾値がない」とするモデル（LNT モデル）が使われていることに関連するが、これは、わからない場合は、安全側に立って物事を決めようという立場に立っているからである。

しかし、生物影響の研究者の中には、数十 mSv ほどのところに閾値があると考えられる学者も多い。また、自然放射線レベルから数十倍程度の範囲では、プラスの効果（ホルミシス効果）があると考えられる学者もいる⁸⁾。これらの考えはいずれもデータに基づいてはいるが、現時点では、関係者の間で合意される状況にはない。

さて、年間の実効線量、すなわち線量率（mSv/y）と年数で積算した総線量との関係はどのように考えればよいのであろうか。1年間の線量が1 mSv と少ないと言っても、同じ量を被曝し続けたとすると、100年生きれば生涯の総線量は100 mSv 近くになる。10 mSv/y の場合では1000 mSv 近くになる。これは、影響を心配すべき線量だろうか。

生涯で1000 mSv になるような、1年間に10 mSv 程度の低線量率被曝をそのまま積算した総線量を、短期間の高線量被曝による線量と同等に扱うことには疑問があるとされている。つまり、生物の免疫機能や修復作用、新陳代謝等を考えると、低線量率での線量をそのまま積算した線量から考えられる影響より、実際の影響は低いと考えられ、これを支持する学者・専門家は多い。

事実、日常生活で浴びる自然放射線の積算線量が250mSv を超え出してから、明らかにリンパ球が減少し出したとか、あるいは他に症状が出るようになった、といった現象は発生していない。確かに、高齢になるに従い身体が衰え、それと共に生活習慣病をはじめ様々な病症がでてくる。その要因を放射線とする考えがあるかもしれないが、しかし、放射線も数多くある様々な原因の一つと考えるのが妥当な考え方であろう。

このように未解明のことがあるため、被曝では、低線量と低線量率の両者を併せて、総合的に考察することが重要である。

前記したように、防護管理で使用しているLNTモデルとリスク係数を使えば、例えば、自然放射線による被曝のように、年間1 mSv の低い線量率での被曝でも癌死者数を推定することは、確かにできる。しかし、それが実態を表しているかどうかの判別できないために、実際には意味をなさない。このような計算

をするためにこのモデルを使うべきでない、ICRPも注意を喚起しており、この種の推定値の扱い方については、十分に慎重でなければならない。

9. おわりに

ここで述べてきた1 mSvは、原子力・放射線利用に伴う平常時、あるいは事故時の被曝線量を念頭に置いており、自然放射線と医療による被曝は勘定に入れていない。実際の被曝は、これらを合算した被曝であるから、総被曝量は年間数 mSvとなる。また、その値の幅は、治療による被曝を別にしても生活環境や習慣等によって大きく変わり、10 mSv近くになることも、それほど珍しいことではない。

福島原発事故による外部被曝では、一般公衆でこれまでに1年間で10 mSvを超えた人はほとんどいない。また、今後もあることは考えられず、ほとんど大部分の人は、多くても平均的な自然放射線レベルの数倍以内の被曝量と推定される。汚染飲食品からの被曝は、厚生労働省によるマーケットバスケット調査による実態では、事故のあった年で1 mSv/yよりはるかに小さい0.0数 mSv/y程度であり²⁾、3年後の現在では、さらに一桁小さい0.00数 mSv/y以下と計算されている⁹⁾。

人工の放射性物質と放射線は、自然の放射性物質と放射線と違い、危険度が大きいと世間で言われることがしばしばある。そのように考えたい気持ちはわからなくもないが、それは科学的真実ではない。

この小論では、1 mSvが担っている様々な意味合い、また導出過程の背景や生物学的な評価について記して、世間で絶対視しているような値ではないことを述べた。以上のことから、1 mSvにこだわり過ぎるのは賢明なことではないとわかるが、このことが一般社会でも広く理解されることを期待したい。

参考文献

ここでは、関連する文献として、主に書籍、テキストをあげた。

- 1) 下 道國：飲食物の摂取制限値(1) 防災指針における指標、ESI-NEWS, 30, 185-189, 2012.
- 2) 下 道國：飲食物の摂取制限値(2) 規格基準値、ESI-NEWS, 30, 215-219, 2012.
- 3) 辻本 忠、草間朋子：「放射線防護の基礎」第2版、日刊工業新聞社、1995.
- 4) 村上道夫、永井孝志、小野恭子、岸本光生：「基準値のからくり」、講談

- 社、2014.
- 5) 放射線医学総合研究所監訳：「放射線の線源と影響」、UNSCEAR 2008年報告書 [日本語版]、放射線医学総合研究所、2011.
 - 6) 原子力安全研究協会編：「新版 生活環境放射線（国民線量の算定）」、2011.
 - 7) 日本アイソトープ協会訳：「国際放射線防護委員会の2007年勧告」、ICRP Publication 103, 丸善, 2009.
 - 8) 近藤宗平：「低線量放射線の健康影響」、近畿大学出版局、2005.
 - 9) 厚生労働省ホームページ：東日本大震災関連情報＞食品中の放射線物質への対応

(藤田保健衛生大学大学院 客員教授)

