

放射性廃棄物処分の安全規制と 線量規準・リスクに関する様々な考え方

藤川陽子

京都大学 原子炉実験所

1. はじめに

1-1. シーベルトは便利な単位だが…

実効線量や等価線量の単位であるシーベルトは防護量として、大変便利な単位である。全ての放射線の外部照射や放射性物質の摂取による被ばく線量を総合して、この一つの単位であらわされている。さらに、シーベルトという単位は、実用量としてモニタリング機器の単位ともなっている。

原爆放射線の人体影響に関しては、長年にわたる原爆被爆者の追跡調査が行われてきた。さらに最近の DS02 (Dosimetry System 2002) をめぐる研究において、懸案であった広島原爆の中性子線量の計算値に基づく誘導放射能の推定値と、実際の被爆石材から検出された誘導放射能の実測値の乖離の問題が解決した。これにより、原爆放射線の線量評価の主要部分が完成、DS02 は日米の上級委員会で正式に、原爆被ばく線量評価システムとして認められた。結論的に、DS86 からの線量変化はガンマ線で 10%程度の増加であったが、これまで ICRP の推奨してきた放射線のがん死の推定確率(被ばく線量 1Sv あたり成人作業者に 4.0×10^{-2} [Sv⁻¹]、一般公衆に 5.0×10^{-2} [Sv⁻¹]) を大きく変える結果とはいえない。従って、放射線被ばくの確率的影響は、ヒトの疫学データに基づいており、膨大な量の研究がなされていることから、他の多くの環境中の発がん要因と比べても大変よく判っていると言える。

このようなことから、例えば緊急時被ばく事象において、個人線量計の読み値からある人が被ばくしたか判明すれば、現場の実務者は、その被ばくによって確定的影響はありそうか否か、おおよその見当をつけることができる。また、その被ばくによってがんになる確率が有意に増えそうかどうかについても、大体的見通しを持って行動するであろう。

一方、学術的に言えば、放射線量には、測定可能な「物理量」であるフルエンス・カーマ・吸収線量、実測できない量であるが標準人の被ばくを放射線防護の観点から評価する上で重要な「防護量」として等価線量・実効線量、モニタリング機器で測定される「実用量」である周辺線量当量・方向性線量当量・個人線量当量、に分類できる。「実用量」は Sv であらわされ、装置によって実測してえている値ではあるが、あくまで放射線防護実施のための目安である。「防護量」として等価線量・実効線量も、放射線の線量率やエネルギー、性差・年齢・被ばく部位等によるリスクの変動を反映しているわけではない。更に言えば、個々人の感受性の差も考慮されているわけではない。従って学術的には、被ばく線

量を放射線障害のリスクと1対1に結び付けることは困難であるということになる。

実際、ICRP2007年勧告では、実効線量はあくまで防護量であってリスク評価に使うものではないとしている。また個々人の僅かな被ばく線量を集団線量として集積しこれを集団全体の放射線による発がんのリスク評価に用いるようなアプローチは適切でない、とも記している。

その一方、後で述べるように、規制の場面ではSvをリスクに換算することはあちこちで行われている。

さらにSvの単位が出てくれば、現場実務に携わる多くの保健物理関係者は、身に付いた習性で自動的に色々な規制値を思い浮かべるであろう。

さて、後出の2節で述べるように、放射性廃棄物の最終処分安全性評価においても、最後の評価結果はSvであらわされる。ただし、安全評価では、複雑なものでは百余の核種をふくむ放射性廃棄物を地中に埋めて、溶出した核種がそれぞれ異なった挙動を環境中での過程をシミュレーションし、あまつさえその核種が仮想的なヒト（標準的な体型と体重、そして生活習慣をもつ）に摂取・吸入されて、被ばくを起こしたとして、計算を行うのである。その結果をあらわすのが、安全評価でのSvであるが、これは上記で記した物理量・防護量・実用量としてのSvのどれとも整合しない。安全評価で算出されたSvは「仮想量」とでも呼ぶのが適切であろうと筆者は考えている。

1-2. 放射線以外の世界ではヒトと環境の安全についてどう考えているか

近年、いわゆる先進国における環境研究では、温室効果ガス排出増に伴う気候変動とそれに付随する水資源・エネルギー資源の管理が大きなテーマである。それと並んで、産業活動の高度化に伴って新たに製造・使用され、または非意図的に生成・排出されるようになった有機化学物質の健康影響および環境動態、生態系への影響についても、一貫して研究されてきている。

いわゆる先進国では近年、かつて問題となった環境汚染物質の問題は、かなり解決され、一見、クリーンな環境が既実現されている場合が多いことである。そのため、先進国においては環境学者、そしてしばしば一般市民も、健康と環境の関係においては、いわゆるmicropollutant（微量汚染物質）を問題にすることが多い。

その例として、いわゆる外因性内分泌かく乱化学物質（環境ホルモン）がある。内分泌系に影響を及ぼすことにより、生体に障害や有害な影響を引き起こす外因性の化学物質群である。日本では当初67物質が指定された（SPEED'98、環境省）。その後、国際協力を強めながら野生生物への影響調査を含む基盤的な研究を進める方針が出されている（EXTEND2010、環境省）。また、2002年に採択されたストックホルム条約に指定される残留性有機汚染物質（POPs）も濃度的にはmicropollutantのレベルである。これらの物質は、難分解性で長距離を移動しやすく、生物濃縮性が高い、また人や動物に対する毒性が高いという

特徴を有する有害な農薬と産業化学物質（非意図的生成物も含む）である。神経と免疫系を損ない、がんと生殖障害、正常な幼児と子どもの発達障害を引き起こし、極圏の生態系に蓄積して伝統的な食品を汚染する。2009年時点で当初の12物質に加えて9物質が新たに指定されている(計21物質)。水道水の中の micropollutant である消毒副生成物に関する懸念は環境ホルモンや POPs より更に以前から存在する。これらの微量汚染物質の中には最近になって認知されたものも含まれている。それらの毒性は、放射線の毒性ほどにはわかっていない。

大気汚染規制では、大気汚染防止法で有害大気汚染物質として指定されている物質群が micro-pollutant に相当する。これらは、継続的に摂取される場合には人の健康を損なうおそれがある(長期毒性を有する)物質で大気の汚染の原因となる化学物質であって、可能性のあるものが234物質指摘され、うち22物質は優先取組物質として指定されている。その規制に関しては、1物質あたり、 10^{-5} の生涯リスク[年リスクではなく]を目安にしている。いわゆる *deminimis risk* である。この22物質のリスクが仮に相加的とすれば、生涯リスクを合算すると 2.2×10^{-4} 、ヒトの寿命を70年として22物質の合算リスクを年リスクに直すと、 $3 \times 10^{-6} [y^{-1}]$ 相当になる。一見してかなり低いリスクレベルを目指していることになる。ただし、放射線のように確立したリスク係数がこれらの物質についてはないため、目指しているリスクレベルが実際に達成されているかどうかの確認は容易でない。

以上、記してきたことは、放射線以外の環境汚染の関係では、いわゆる micropollutant を問題にすることが多くなっているということである(ただし、先進国に限り)。求めるリスクレベルも極めて低く、また対象となるリスク(エンドポイント)は、死だけでなく行動や発育、生殖の異常も含む。防護の対象は人だけではなく、野生生物・生態系も含む。

1-3. 放射線規制であらわれる様々な線量と該当する生涯リスク

放射線規制で現れる数字は国によってある程度の変化はあるものの、ICRP 勧告、そしてIAEAの各種のガイドラインを基礎としている。列举すれば、①公衆の年被ばく限度 1mSv/年、②公衆の限度を担保するために線源に対して付与する線量拘束値として $300 \mu\text{Sv}/\text{年}$ (リスクレベル 10^{-5}年^{-1})、③介入の必要な線量として $10 \text{mSv}/\text{年}$ 超から $100 \text{mSv}/\text{年}$ の範囲、④被ばくした個人にとって無視できる線量である $100 \mu\text{Sv}/\text{年}$ 、⑤規制免除の線量 $10 \mu\text{Sv}/\text{年}$ (④の線量を10分の1としたもので、10分の1としたのは現在または将来において複数の規制免除された線源から被ばくする可能性を考慮したため)、となる。

上記を更に炉規法で定める原子力発電所の敷地境界での線量 $50 \mu\text{Sv}/\text{年}$ とあわせて示したのが図1の左側である。右側には対応する生涯リスク(年リスクではなく)を示している。これは1-2で示したように化学物質のリスクは年リスクでなく生涯リスクで考えることが多いため、読者に放射線のリスクと化学物質の規制の世界でのリスクの対応を考えて頂

く意図で示している。ただし、ヒトの一生は70年、就労期間は40年と仮定してある。

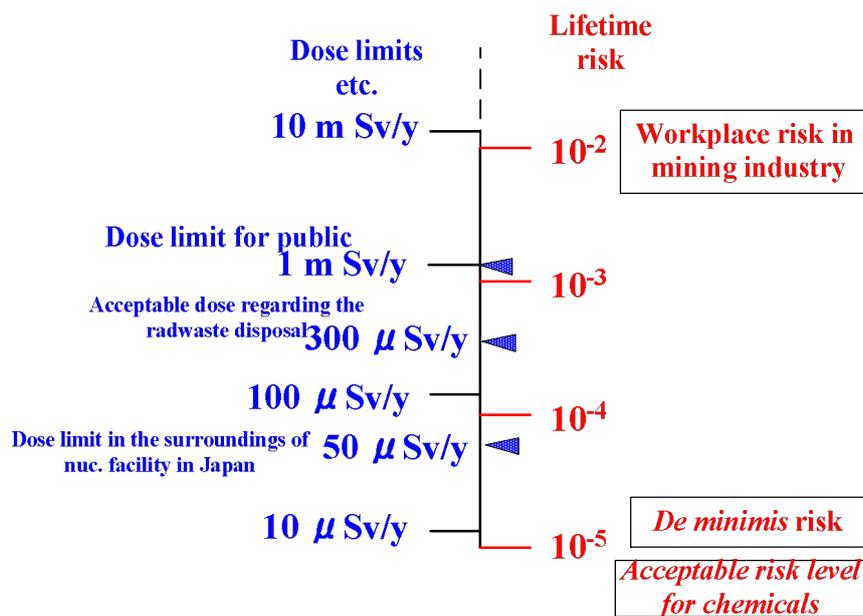


図1 様々な線量と該当する生涯リスク

化学物質規制でめざしているリスクレベルは1-2節でも記したようにきわめて低く生涯リスクで 10^{-5} レベルにある(図1の右側 *de minimis* レベル)。仮に100の化学物質についてのリスクを集積したと想定すると、リスクレベルとして2桁上がり、ほぼ公衆の年線量限度1mSv/yと同程度のレベルとなる。そういう意味では、放射線規制と化学物質規制はほぼ整合している。一方、個々の化学物質に関してめざす生涯リスクレベル 10^{-5} 、これに対して放射線の世界では線源に対して付与する線量拘束値として300 μ Sv/年であることだけを比較すると、放射線規制は化学物質の規制に比して緩いようにも見える。

2. 放射性廃棄物処分の規制と放射線防護の理念

2-1 二つの報告書

ここでは2010年に、放射性廃棄物処分の規制に係わって出された二つの報告書の名前をあげる。ひとつは、放射線審議会基本部会「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係る放射線防護に関する基本的考え方について」(平成22年1月19日)である。もうひとつは原子力安全委員会「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」(平成22年4月1日)である。以下、前者を、「基本部会報告書」、後者を「原安委報告書」と称する。以下にそれぞれの報告書の概要を示す。

(1) 基本部会報告書

放射性固体廃棄物が処分された後、通常の被ばく状況下での線量拘束値として300 μ Sv/年(リスクレベルにして 10^{-5} 年⁻¹)とする。線量/確率分解アプローチを用いることとする。すなわち、起こりそうなシナリオ、あるいは代表的なシナリオ下で計算した線量と300

$\mu\text{Sv}/\text{年}$ を比較することで判断を行う。あまり起こりそうにないシナリオについては、そのシナリオ下で算出される線量と、そのシナリオの発生確率を別々に考察することができる。
*。また廃棄物の地中処分場への人の偶然の侵入については、1 から $20\text{mSv}/\text{年}$ の線量とする。

*この事項は、筆者の解釈によれば、また、シナリオの発生確率自体を定量的に議論する代わりに、たとえば「起こりそうなシナリオ」「やや起こりそうにないシナリオ」、「稀にしか起こらないシナリオ」等でシナリオを分類し、それぞれのシナリオ下で異なる線量規準で評価を行ってよいという意味になる。本来リスクは、発生確率 \times 線量（つまり掛け算）になるのであるが、実際の自然界においてある事象の連鎖が起こる確率を定量化するのは、例えば機械の故障確率を予想するのと異なり極めて難しいためである。リスク論的規制という理屈に立てば、「稀にしか起こらないシナリオ」という低確率下では、許容される線量は「起こりそうなシナリオ」下よりも、大きくなる。

(2) 原安委報告書

この報告書では、余裕深度処分対象の廃棄物について、数万年から数十万年の長期の評価を行う必要がある長寿命核種を含むという状況に鑑みて、管理期間終了以後のリスクを 10^{-6}年^{-1} 以下とすることを目指す旨が記されている。それに加え、実際の処分場の性能評価においては、発生確率に応じて A「基本シナリオ」（発生の可能性が高く、通常考えられる）、B「変動シナリオ」（発生の可能性は低いが、安全評価上重要な変動要因を含む）、C「稀頻度事象シナリオ」（明らかに発生するとは考えがたいが念のため考慮するシナリオ）、D「人為事象シナリオ」（人間侵入）を考慮した。そのうえで、それらのシナリオに対応する線量の「めやす」として、A： $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、B： $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ 、C：基本的に $10\text{mSv}/\text{年}$ を超えず、最大でも $100\text{mSv}/\text{年}$ 以下となる、D：周辺住民への影響については $1\text{mSv}/\text{年}\sim 10\text{mSv}/\text{年}$ の範囲を超えないこと、特定の接近者個人に対する影響は基本的に $10\text{mSv}/\text{年}$ を超えず、また大きくても $100\text{mSv}/\text{年}$ 以下であること、を掲げている。

2-2. 二つの報告書の違い

基本部会報告書においては、放射性廃棄物全般について、通常の被ばく状況（「起こりそうかあるいは代表的な放出シナリオ」下）においては $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ (10^{-5}年^{-1}) を指定している。一方、原安委報告書は余裕深度処分対象の廃棄物について、 10^{-6}年^{-1} のリスクレベルを目指し、なおかつ、基本シナリオではこの 10^{-6}年^{-1} に対応する $10\mu\text{Sv}/\text{年}$ をめやすとしている点である。その一方、原安委報告書では、「変動シナリオ」において $300\mu\text{Sv}/\text{年}$ を割り当てている。

このようになった理由は原安委報告書のパブリックコメントへの回答にあらわれている。「放射線審議会基本部会報告で示された「起こりそうかあるいは代表的な放出シナリオ」に相当するシナリオの評価は、本報告書では変動シナリオの評価に対応すると考えられま

す。これは、変動シナリオが処分システムの設計が様々な不確かさに対応しうるものであるか否かを確認するために用いるためのものであるからです」。

つまり、原安委報告書における「基本シナリオ」下での $10 \mu\text{Sv/y}$ は、事業者がもっとも理想的な（危険側）の条件下で、処分場の性能を示すベンチマーク・テストの意味となっている。つまり、処分場の仕様を入力して、基本シナリオの条件下で、安全評価の計算コードを走らせた時、 $10 \mu\text{Sv/y}$ 以下の数字が出てくるようであれば、同じ仕様の処分場は「変動シナリオ」下で $300 \mu\text{Sv/y}$ 以下の数字が出やすいであろうという配慮があるとも解釈できる。これは一重に、原子力安全委員会が、規制の大枠について審議をする放射線審議会に比べて、より要素技術も含んだ審査を行う機関であるという特性があるためとも考えられる。

3. まとめ

1 節で述べたように、放射線のリスク規制、環境化学物質のリスク規制では、前者では年リスク、後者では生涯リスクが多くつかわれるという特性があるが、目指すところは大きく異なる。すなわち、先進国では極めて低いリスクレベルが規制目標とされる。

また、2 節で述べたように、放射性廃棄物の処分後のリスクに関しては、「起こりそうかあるいは代表的な放出シナリオ」条件下においては $300 \mu\text{Sv/年}$ (10^{-5}年^{-1}) というのが規制の大枠である。放射線の分野では廃棄物処分のリスク評価においても、 Sv という単位を使う。ただし、この時の Sv は、保健物理の実務者がなじんだ「実用量」あるいは「防護量」の Sv ではない。仮想的なシナリオと条件下で計算してえた「仮想量の Sv 」というべきものであることに注意が必要であると考えられる。