

《公講演会記録》

ヒロシマ 『原爆報告』 から
フクシマ 原発事故を見る

埼玉大学名誉教授 大滝 英征



放射線被曝の健康への影響

今回の福島原発事故は、戦後確立されてきた行政・経済・科学技術のあり方を改めて問い直す機会となり、隠蔽されてきた政策やその執行体質の欠点等が白日の下に晒されました。国民はそれを目の当たりにし、考え直す機会となりました。原子力という科学技術に鋭い視線が注がれています。科学者に対して、国民の抱いている疑問に率直に応え、科学面から道を切り拓く手段を提供して欲しいという願いも高まりました。日本は広島・長崎の原子爆弾投下によって大きな犠牲を

払いました。放射線被曝に対する治療についても医学的な成果を上げ、犠牲になっただ人々へのせめてもの慰霊としてきたはずなのに、今回の原発事故に殆ど生かさずなっています。理学面では「放射線はこのような特性のもので」とか、医学面では「こんな臓器に放射線は集まり易い」という話しか出て来ません。国民の知りたいのは、放射線量とその被曝による発症の可能性、あるいは被曝量をいかに減らすかです。これには何ら情報提供がありません。原発事故の責任論だけが独り歩きしています。今後起こるかもしれない原発事故の放射線被害について予測できないものか、と問う人も多いはずで

放射性物質の人体に及ぼす影響についての研究を回顧すると、元になったのは、日本学術会議が発行した『原子爆弾災害調査報告書』（総括篇、1951年）および『原子爆弾災害調査報告集』（第一分冊、第二分冊、1953年）（以下一括して『原爆報告』と略称）です。この『原爆報告』の冒頭に、『……原子爆弾は二度と繰返へされ度くない悲しい経験であるが、この学術的研究調査の結果が利用され、悲しい災害を導ひて社会の福祉増進のために利用せられれば、幸ひこれに過ぐるものはなからう』（亀山直人）。この言葉は大切です。医学科会を指導して調査した東京帝国大学教授都筑正男も

同様であったと推察されます。都筑はABCの一員となったものの、収集資料の解析に日本の研究者の参加は認められなかったことに、忸怩たる思いがあったことでしょう。このABCは原爆傷害調査委員会 (Atomic Bomb Casualty Commission) といひ、1946年11月に日本に派遣された調査団です。当時アメリカはマンハッタン計画を推進中であったため、放射線被曝下での生存可能性を探ることに焦点を当てました。そこで調査を自らの支配下におくため、原爆災害調査の医学分野の調査責任者であった都筑正男を、改めて大日本帝国政府を代表する科学者に据えて日本人研究者を統括させたのです。これが「日米合同調査団」です。そして厚生省にも働きかけABC調査への協力を約束させ、1947年に「国立予防衛生研究所」を設立しました。ABCは「傷害の実態調査」が目的であったため、「被曝者の治療」には一切あたりませんでした。被曝者は、人体実験のデータとなってしまう（「加療の影響」を避け、「原爆の威力」を知る目的でした）。ここでの調査研究結果とアメリカがビキニ環礁や砂漠地帯で行っていたデータを基にして、後の放射線影響の評価基準データとして利用されました。このデータの

公表は、1975年にABCと厚生省国立予防衛生研究所が再編され、日米共同出資運営方式の財団法人放射線影響研究所 (RERF) に改組された後のことです。当時は東京オリンピックも開催され、高度成長期に向かっていました。ベトナム戦争も終了し、原水爆開発も一段落していた時期です。今回の福島原発事故に際して、多くの書に「最も貴重なデータは、広島・長崎の原爆被害者についての『放射線影響研究所の調査資料』である」とされ、その調査結果を引用した白血病やがんで死去した人の図表データも紹介されています。これらは「生データ」ではなく「整理・加工されたもの」です。表現が分かりにくい上、言葉も特異な言い回し、米国データの翻訳調です。例えば、(1万人・年・1グレイ当たりの死亡率)といった表現で、解釈はいかようにもできます。福島原発事故に対して、『放射線影響研究所調査資料』を利用する場合は、改めて『原爆報告』とつき合わせて検討すべきです。

ICRP (International Commission on Radiological Protection 国際放射線防護委員会、1950年設立) なるものがマスコミを賑わせています。これはイギリスの非営利団体で、国際原子力機

関、経済協力開発機構、世界保健機構、国際放射線防護学会、英・米・欧州連合、日本・カナダ等から基金拠出がなされている機関です。基金拠出団体を見ても、強力な影響力を持つ団体と言えます。人が受ける被曝線量の限界として、①計画的に管理できる平常時 (計画被曝状況) / 一般人の被曝は年間1ミリシーベルト以下、放射線を扱う業務に従事し、被曝線量を常時観測できる人には、5年間に100ミリシーベルト。②事故や核テロなどの非常事態 (緊急時被曝状況) / 上記の線量限度は適用せず、一般人の場合で年間20〜100ミリシーベルト。③事故後の回復や復旧の時期等 (現存被曝状況) / 年間1〜20ミリシーベルトを打ち出しています。この値は、強力な「規制値」となり、裁判にも影響を与えています。この背景には、医学的な研究成果だけでなく、政治的な側面が影響していると思います。放射線影響研究所のデータも反映されています。

というわけで、国民の知りたい放射線量とその被曝による発症の可能性、あるいは被曝量をいかに少なくするか等は、曖昧模糊としているのが現状です。だからこそ、『原爆報告』、『放射線影響研究所資料』を検討し、問題解決に向けての道筋を開くことが喫緊の課題です。

計 算 式 1

$$p = \frac{1}{t_m - t_0} \ln \frac{N_0}{N_m}$$

t_0, t_m : 観察を始めた時の時間及び経過後の時間

N_0, N_m : t_0 時での個数、 t_m 時に残存している個数

「原爆報告」所収の様々な統計量を整理するに際しては、以下の式を使用しました（計算式1）。 N_0/N_m の値が分かっている時に使用します。推計学等では出生率や生存率を導く公式です。 p は重要な値です。逆に、 p の値が求まっていて、 N_0/N_m の値を知りたい場

その道筋・手段は、導かれた結果が一般性あるものでなければなりません。すなわち既に確立されている推計学、信頼性工学に基づく必要があります。福島原発事故に適用できるだけでなく、今後起ると予測される原発事故に対しても適用できるものとなるはずはです。

ここで検討すべき内容は、①放射性物質の拡散、②被曝線量と発症の関係、③時間経過に伴う被曝線量とそれによる発症です。

計 算 式 2

$$\frac{N_0}{N_m} = \exp(p \times (t_m - t_0))$$

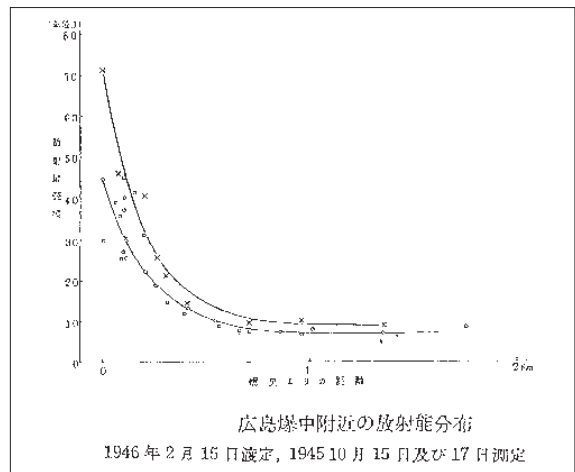
放射性物質の拡散

最初に広島原爆の資料を整理して、爆発の数日後、放射線がどのように広がっていたかを検討します。そこから福島原発の状況を逆に探ることが出来ます。図1は、「原爆報告」に記載されている放射線の強度の距離的变化を示す、地上での値です。「強度」と記されていますが、「放射線量」と読み替えます。このデータを整理して p の値を求めると、 $0.59 / \text{km}$ となります。この値は 1 km 離れるにつれて、 $\ln(N_m/N_0)$ の値が減少していく様子を示す指標です（ \ln はログと呼ばれる自然対数で、エクセルで簡単に計算できる）。

合にも計算できます。exp というのは指数関数です（計算式2）。

この式では「時間と N_0/N_m の関係」を意味しますが、「時間」の代わりに、「距離」を挿入し、「距離と N_0/N_m の関係」としても構いません。

図1 広島爆中付近の放射能分布



この p の値を使用すると、爆心から遠く離れた任意地点における値も計算出来ます。 \ln がログであることに注意して整理すると N_m/N_0 の値の減少は、 5 km なら 0.075 で、 10 km なら 0.03 、 20 km なら 0.008 となります。先に述べた式を利用すれば、「事故直近のデータ」がなく、「ある時間経過した時のデータ N_m 」しかない場合でも、その経過時間（ t_m マイナス t_0 ）と N_m から N_0 を逆算出来ます。 N_0 が分かれば、事故の元の様子を推察出来ます。福島原発でも、放射能を帯びた埃がどのように降り注がれたか知

る必要があります。原爆で放出された放射線物質は膨大な量でした。広島では、爆発後風が吹き西山地区と呼ばれる方向へ流れました。この地区の放射線量が高いのですが、他の地区でも大きな放射線量が測定されています。プルーム（雲のようになった埃の塊）があちこち行き来したからです。福島原発は広島原爆の何倍もの放射性物質が撒き散らされました。公表された値では、セシウム137は、 15000×10^{12} 砂（広島原爆の168個分）、ヨウ素131は、 160000×10^{12} 砂（広島原爆の2・5個分）、ストロンチウム90は、 140×10^{12} 砂（広島原爆の2・4個分）です。プルームがあちこち移動し、それぞれの地方に相当量の放射性物質をまき散らしました。

話を戻し、pの値を福島原発に適用して見ましょう。拡散に対する原爆エネルギーと原発エネルギーは異なります。しかし広島原爆の数倍ですから、皆さんの住んで居られる場所に飛来した放射線量も福島原発からの距離さえ分かれば容易に計算できます。福島原発では当初発表された爆発位置での放射線量は、3月15日（4号炉付近で火災が発生した直後）の新聞報道では、 400 ミリシーベルト/時 でした。この値を、先程の式の N_0 に代入して求め

ます。広島原爆の調査は、爆心から数kmというかなり狭い範囲でした。従って式を適用するにしても福島原発から10数km離れた地域までですね。『原爆報告』から、今日まで厚労省は、被曝者の裁判に対して、強圧的と思われるほどの態度を取って来ました。裁判では「放射能の広がりやその被害」について、何らかの解析をした上で対応したとは思えません。今回、福島原発事故に対して積極的な対応を取れなかったのは、弁明の余地がない失態です。菅直人前首相が『原爆報告』の存在を知ったのは国会答弁によれば2010年の由です。歴代の首相は目をつむって来ました。被曝者にとっては悔しいことでしょう。

次に上空方向に対してはどうだったか。『原爆報告』では、上空方向に対するデータはありません。しかし、福島原発事故では、原子炉冷却の為に、3月17日に上空の放射線量をヘリコプターで計測したデータがあります。上空3点ほどですが、これを基にして、同じように整理すると、pの値は $0 \cdot 0009 \text{ ミリシーベルト/時}$ となります。地表での値 N_0 を 400 ミリシーベルト/時 とすると、測定された以外の上空での値も推察できます。800 以上上空では $3 \cdot 4 \text{ ミリシーベルト/時}$ となります。地表でのデータとして

と高い値がSPPEEDIによるシミュレーション値として示されています。1万 ミリシーベルト とされていますが、その根拠は示されていない。仮に地表での値 N_0 を1万 ミリシーベルト とすると、800 以上上空では85 ミリシーベルト となり、時間当たりの放射線量としては高い値です。この放射能が季節風に乗ってアメリカまで数時間で飛んで行ったことは容易に推察できます。米軍は上空で測定したのですが、その結果値は公表されていない。事故後直ちに米国人の退避命令が出たのは、このデータに基づく判断ではないでしょうか。

次に地中に向かう放射能です。いま地表面を削除する除染が行われています。どれだけの深さまで掘ればよいか、やみくもに行なわざるを得ない状況です。『原爆報告』にはしっかりしたデータが残されています。その図からpを読み取ると $0 \cdot 027 \text{ ミリシーベルト/時}$ となります。この値から、測定位置以外の他の位置での放射線量も計算できます。

N_m/N_0 の値の減少は、5 メートル なら $0 \cdot 87$ で、10 メートル なら $0 \cdot 76$ で、15 メートル なら $0 \cdot 67$ となります。地表での値が異なった場合でも、横方向への広がりの場合と同様に推察できます。広島では、直下に近い位置では、爆発エネルギー密度が高かつ

たため、放射線が深くにまで入り込みました。しかし福島原発では、遠く離れた位置ではエネルギー密度が小さいため、かなり小さいものと推察されます。福島原発では、表面の放射線量が1 μ Sv/時以上の土地が除染対象となっています。

上の値に従って、計算すると、5 μ Sv程掘った位置では0.8 μ Sv/時で、余り下がない。表面の放射線量が3 μ Sv/時の土地では、10 μ Sv掘っても2.1 μ Sv/時の放射線が残ることになります。福島で現在除染対象となっている地域からより原発に近い位置の場合、広島での値に近い値になる恐れが強い。その場合、除染すべき土の量は莫大になります。

次に問題となるのは、半年も経て次から次へと公表されるセシウム以外の物質、ストロンチウム等です。

前にも述べたように、ヨウ素やストロンチウムも大量に放出されたと公表されましたが、その後どうなったのか。最近、飯館村で4.5 μ Svと公表されました。到る所で測定されても不思議ではありません。ストロンチウムは危険性のある物質で、肝臓や骨に蓄積され易い。このストロンチウムは、飯館村で4.5 μ Svなら、他の地域ではどのくらいでしょうか。飯館村が原発から45km離れているとすれば、

原発の存在する地点では1.53 $\times 10^{12}$ が分かります。公表されている爆発後の放射線量は140 $\times 10^{12}$ で、100分の1程度の値です。これは、飯館村での爆発からかなり日数が経つてからの値を基にしています。飯館村以外の地でも大きな量のストロンチウムが存在するはず。原発の存在する地点での値を1.53 $\times 10^{12}$ と推定すれば、他の地域でのストロンチウム量も導かれます。

取り敢えず計算してみました。N_mの値は、5kmならば、0.075 $\times 1.53 \times 10^{12} = 0.114 \times 10^{12}$ 、10kmならば、0.003 $\times 1.53 \times 10^{12} = 0.005 \times 10^{12}$ 、20kmならば0.00008 $\times 1.53 \times 10^{12} = 0.0012 \times 10^{12}$ です。

次に中性子は最も危険な放射線です。中性子線はガンマ線以上の被害を及ぼす。そのため国際放射線防護委員会でも、その被害の人体へ及ぼす影響程度を放射線荷重係数という値で示しています。10km電子ボルトであれば5倍です。言葉を換えればセシウムの5倍の被害を与えます。中性子は遠くへ飛びませんが、原発の作業に当たった人にとっては要注意です。この中性子については、3月14日9時頃に測定されたと報道されました。

放射線量は不明とされただけで、その後一切公表されていません。この中性子線は、核反応に伴って生じるもので、単なるガンマ放射線とは異なります。核反応物質が放出されたことを意味し、原子炉事故の原因究明にも欠かせない最も注目すべきものです。今回の福島原発が水素爆発でなく、「再臨界による核爆発だ」というアメリカ学者の説もここに根拠があります。この中性子についても、広島『原爆報告』ではしっかり調査され、明記されています。爆心からの距離との関係もはっきりしています。その図を整理しpを求めてみますと1.06/kmとなります。中性子の減少を計算すると、N_m/N₀の値は、5kmなら0.0005で、10kmなら0.000025となります。

福島原発中心における中性子量が仮に10km電子ボルト程度の場合、5km離れた地域では、0.05km電子ボルト存在することになります。エネルギー的には高い値です。後遺障害が出る可能性のある値と言えるでしょう。

最後になりましたが、原発爆発直後から放射線量は、どのように下がったのか。日数が経つてからの値しか公表されていません。実際はかなり高い値の放射線量が当初放出されたと考えるのが当然です。

放射性物質の大半は半減期が短い核種です。そのため、地表近くの放射線の強度は急速に低下します。『原爆報告』にもあるように、Way と Wigner は核分裂生成物の崩壊率を統計的手法で求めています。爆発1時間後の線量率を1とした場合、実測線量率は時間に対して $t^{-1.6}$ で減少するとしています。私も、3月15日に公表されたデータを基に、計算してみました。福島原発では、 $t^{-1.6}$ になります。今まで計算の元データとしてきた値 N_0 は、一定時間が経過後の値であり、本来ならば、時間が遡った値を使用する必要があります。もう一つ見落とされがちな放射線はベータ線です。ガンマ線が放出されると、それと見合った量のベータ線が放出される。『原爆報告』に記載されている図にお気づきかと思いますが、ガンマ線の5倍以上、10倍近くも測定されています。福島でも同様なことが起こっています。福島の症状としてこんなことが起こるとい、データがあります。しかし、ベータ線については、マイナスの電気を帯びた高速の電子の流れであり、その通り道にある原子の電子、これもマイナスですから互いに反発し合って電離し、エネルギーを失うから問題にならないとされています。

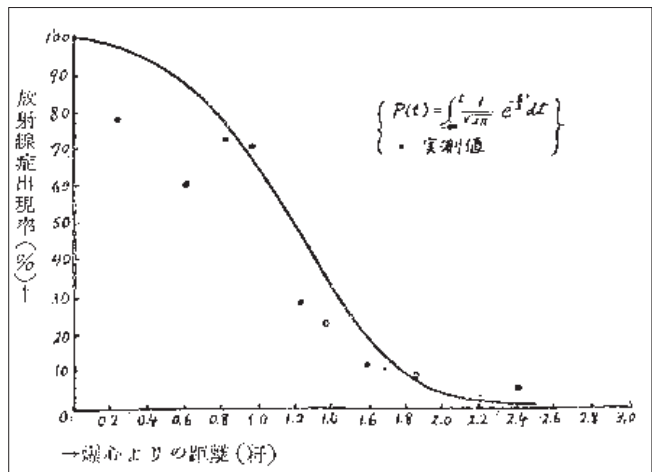
電離作用とは放射線が原子からその電子をはぎ取ってしまう作用で、はぎ取られた方は、大きな痛手を被るものです。しかし地球環境は、生物循環によって成り立っており、放射線に対する感受性は、生物の種類により大きく異なります。ほ乳類が放射線の影響を受けやすく、続いて鳥類、魚類、両生類、爬虫類へと続きます。植物の感受性は、針葉樹は広葉樹に比べ影響を受け易い。放射線の影響を受けにくい生物としてはウイルスや細菌がある。地球環境に影響を与える以上、問題です。『原爆報告』ではベータ線についても調査したのです。『原爆調査』では植物、動物、土中菌、そして放射性物質の抽出法に至るまで、詳細に調査し、結果が述べられています。現在の除染に役立つ情報が含まれているに違いありません。

被曝線量と発症の関係

図2は広島における放射線病の発症についてのデータです。

このデータは、米軍がマンハッタン計画の重要データとして利用したと言われています。爆心からの距離で取ってあり

図2 広島における放射線病の発症データ



ます。急性被曝症のデータも同じ方法で整理してみます。広島の場合、骨や血液中の放射線を調査し、熱傷の分と区分けし、放射線による障害を引き出すようにしています。熱傷の分も含まれている可能性がありますが、そのため爆心に近い所では、データが散らばっています。爆心から遠いところでは熱傷の影響が薄れ、より放射線の影響が大きかった。データ整理に当たっては、爆心から遠い地点に注目してpの値を求めました。pの値

計 算 式 3

$$\frac{N'}{N_0'} = \left(\frac{N}{N_0} \right)^{1.03}$$

$\frac{N'}{N_0}$: 爆発中心における放射線量 N_0' に対する放射線量 N の比率

$\frac{N}{N_0}$ 放射能症の発症比率

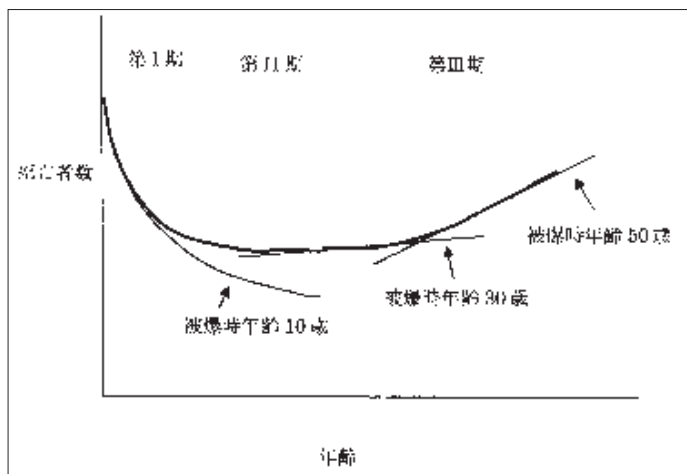
は $0.57/\text{km}$ となりました。被曝者の発症率は、爆央を1とすると、 3 km なら 0.84 で、 5 km なら 0.06 で、 10 km なら 0.003 となります。

爆央から離れるにつれ急速に減少します。当然それは被曝線量との関係を抜きにしては語れません。「距離と被曝線量」の関係を求めた結果と抱き合わせて考える必要があります。距離が同じ位置として、放射線量と放射能症の発症確率を結

び付けると（計算式3）となります。この結果、 N_0' の値が大きくても小さくても、 N/N_0' が同じ値であれば、 N/N_0 の値も同じになります。これは、どんな被曝であっても、程度の差はあれ、何らかの形で発症の可能性があることを示します。 N_0' の値が小さいと実際的には発症しないかもしれませんが、確率としては「それが暗に存在する」ことです。例えば「疲れる」とか、「めまいが生じる」とか「鼻血が出る」といった形での発症の可能性がある。他の放射線事故に対しても、事象が類似しているならば、確率も同じような値であると推察できます。福島原発事故に適用してみましょう。例えば、中心で 400 mSv/時 であったとすれば、 1.2 mSv/時 の位置（これは福島原発では原発から 10 km 離れた位置に相当）、その位置での発症確率は 0.003 と計算されます。この確率で何らかの形、「疲れる」とか「めまいがする」といった症状の発症の恐れがあるということになります。しかし実際には気付かないかもしれません。

では年齢によって発症確率はどのように変わるのか。放射線影響研究所の資料が参考になります。原爆被爆者がある年齢で白血病を発症し、死に至った場合の

図3 死亡者の確率曲線への拡張適用



資料です。その年齢経過に伴う死亡者数の変化が3つの曲線で示されています。この曲線は、「年齢による発症の確率」を示す図と読み替えて良いでしょう。この3曲線の包絡線を取ります。包絡線とは3つの曲線を滑らかに結んだ曲線です。図3に示した1本の曲線になります。この曲線の形は推計学の上で重要です。この曲線上での幼児期を第1期とします。大体15歳位まで、値が徐々に減少する。

青年、熟年期は、値がほぼ一定で、50歳位まで続きます。

これを第Ⅱ期と呼びましょう。それ以降、老齢になると、値が増加しますが、これを第Ⅲ期としましょう。幼児期は体力的に劣り、歳を加えるにつれ、体力も増し発症の確率は下がります。15歳以上は、余病が再発、併発したり、被曝した臓器が弱くなり思わぬ発症をしたりする。突発的とも言える発症です。その発症確率は、年齢的にほぼ一定です。『原爆報告』で対象になっていたのはこのような人達です。放射能症の発生確率が一定になったのは頷けます。60歳以上になると、体力も衰え発症の確率が高まります。年齢とともに、体力は衰える。原爆では、幼児期のデータは特別扱ひされ、封印されました。解剖資料もプレパラート化され米国に持ち去られました。日本に返還されたのは1973年で、その後には図の曲線が公表されました。この図を見ると子供の発症率は青年、熟年期の人の3倍程度です。注意すべきです。

体内に蓄積される放射線量

体内に取り込まれた放射線の排出あるいは減少は、「物理学的半減期」、「生物

学的半減期」の早さに影響を受けます。しかもこの両者を合わせた速さで減少する。この両方を合わせた速さを「実効半減期」と呼び、その値が表1のように示されます。

表1 実効半減期

核種	問題となる臓器	実効半減期
ナトリウム 22 (²² Na)	全身	11日
コバルト 60 (⁶⁰ Co)	全身	9.5日
ストロンチウム 90 (⁹⁰ Sr)	骨	50.4日
セシウム 137 (¹³⁷ Cs)	全身	70日
プルトニウム 239 (²³⁹ Pu)	骨	198年

いずれにせよ、体内に入った放射能は排出され、その排出の速度を規定するのが実効半減期です。セシウムならば、70

日なので、始めに取り込まれた放射性核種の原子数の半分に減少する過程では1日につき、0.014/日になります。その実効半減期は、被曝した放射線のエネルギー(グレイGyで表記)を対象にしている、臓器・組織で吸収される線量とは異なりません。吸収される線量にはエネルギーに対して放射線荷重係数と

いう値を掛け算し、換算した値が用いられます。その単位はご存知のシーベルトです。荷重係数はガンマ線やX線に対して1ですから、被曝エネルギーGyに吸収線量シーベルトとして使用されます。この実効半減期に基づく吸収線量の値は、排出に関する値としても使えそうです。話を戻し、個々の臓器は、この値の割合かを分担します。全臓器の値を加算したものが実効線量です。各臓器・組織についての線量は次に示す組織荷重係数という値を導入し、その値を実効線量に掛け算すれば求められます。(表2) この表で注目すべきは、今話題の甲状腺よりも、生殖腺や肺、胃等に入り込む線量の方がはるかに多いことです。人体・臓器への被曝線量の増加・減少を検討してみましょう。入ってくる量 Q_1 と出て行く量 Q_2 の差が蓄積される量 d_0/d_t です。この Q_1 と Q_2 がどんな値になるかが問題です。単位時間に入ってくる放射線量 Q_2 も出て行く放射線量 Q_1 も常に一定とするのが分かり易い。一定ならば、体内に蓄積される放射線量は時間とともに、直線的に増えます。

さて、医学の成果では、『適応応答』という現象があります。『適応応答』とは、[例えば、1cGyという低線量放射線を細胞に照射すると、細胞は次に与え

表2 組織荷重係数

臓器・組織	組織荷重係数
生殖腺	0.2
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
乳房	0.05
肝臓	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮膚	0.01

られる大線量(1 Gy)の放射線に対して抵抗性を示す現象です。この現象は、蓄積された放射線量に応じて単位時間当たりに入ってくる放射線量や排出される放射線量が影響を受けるといふことです。もう一つ、厄介な現象がある。実効半減期のほぼ10倍の時間が経つと、体内放射線量は増加も減少もしないレベルに達する。すなわち平衡値があります。放射線種の体内量は始めは増加しますが、体内からの減少量も次第に増していき、放射性核種の体内量の増え方は次第に緩やかになります。その平衡値は、体内放射線の平衡値 $\parallel 1 \cdot 44 \times (\text{一日当たりの放射能摂取量 } \text{ラジ/日}) \times \text{実効半減期(日)}$ です。ここで、実効半減期は、(物

理的半減期) \times (生物学的半減期) / (物理的半減期) + (生物学的半減期) で表されます。実効半減期が短ければ短いほど、平衡値は小さくなる。逆に一日当たりの放射能摂取量が多くなる程あるいは実効半減期が長くなるほど平衡値は大きくなります。

被曝の時間的経過と発症の確率

この確率は、『原爆報告』を基にして前掲の計算式3から求められます。そこで、体内に蓄積される放射線量が推測できれば、発症する時期が分かります。単位時間当たり入ってくる放射線量 Q_2 が被曝線量となります。出て行く線量 Q_1 は、実効半減期に基づく値となります。 Q_2 / Q_1 は、 Q_2 / Q_1 (Q_2 / Q_1) \times (1 / 放射線物質の実効半減期) となる。例えば、セシウムの場合、①臓器・組織に入ってくる放射線量(吸収線量)を 3 ミリラジ/日 とすれば、その全量を被曝します。②セシウムの実効半減期は70分の1なので、 $3 \text{ ミリラジ} / 2 \times (1 / 70) \parallel 0 \cdot 021 \text{ ミリラジ/日}$ が排出されます。③実際に体内に蓄積される放射線量は、 $3 \text{ マイナス} 0 \cdot 021 \parallel 2 \cdot 98 \text{ ミリラジ/日}$ となります。④発症の限界値を 5 ラジ とすると、発症まで

には、 $5000 \text{ ミリラジ} / 2 \cdot 98 \text{ ミリラジ/日} \parallel 1678 \text{ 日}$ となります。

被曝臓器との関係

より深く発症する臓器の可能性を探るために、放射能物質が体内のどんな臓器に集まり易いかを見ておきましょう。

「決定臓器」と言われます。今話題のセシウムは体内に入ると速やかに排出される分以外は、体内に均等に分布します。体内の弱い臓器が侵され易く発がんの可能性もあります。放射線は体内の水分と反応すると活性ラジカル(活性酸素)、を生じ、その活性ラジカルが臓器に悪さをすると言われてきました。血栓を生じたり、脳溢血や心臓病の元になると言います。その臓器での病症ですが、放射線影響研究所では、放射線の当たり方によって、異なるとしています。「確定的影響」と「確率的影響」という区分けです。これは国際放射線防護委員会の勧告を反映したものでしょう。多くの書籍に、細胞分裂との関わりなども記載されています。簡単に纏めると、「確定的影響」は細胞死によって確実に起こる病症とされています。白内障、受胎の減衰、皮膚損傷、造血器障害などが該当します。これらの

表3 病症とその閾(しきい)値

病症	閾値
白血球減少	200mSv 以上
悪心、おう吐	1 Sv 以上
皮膚の紅斑	3 Sv 以上
脱毛	3 Sv
無月経、不妊	3 Sv
胎児の奇形発生	100 mSv 以上
白内障	1.75 Sv

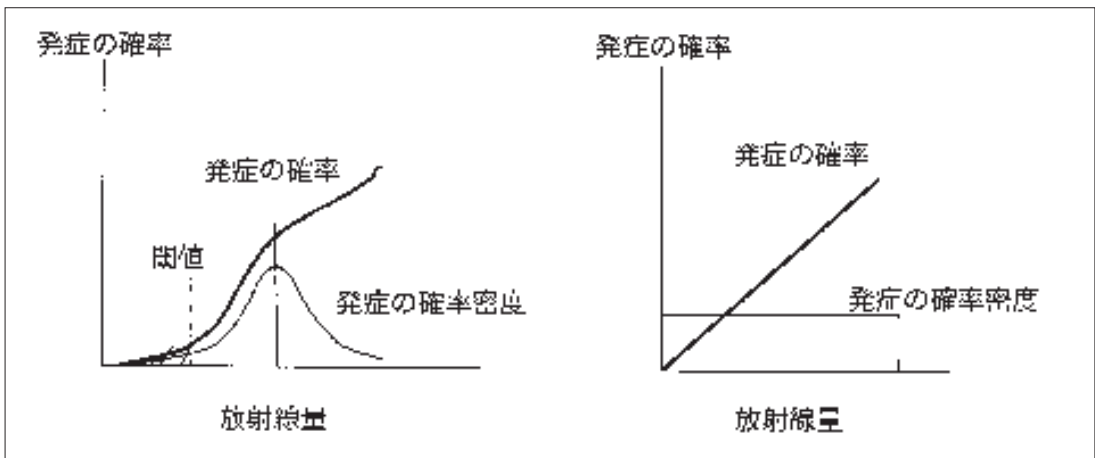
病症は、線量が多くなければ、一部細胞死が起こっても、生存している細胞が組織や臓器の機能を代償して表だって表れてこない。しかし線量が多くなると、細胞死の数があるレベルに達すると、確実に影響が表れます。この限界の線量が閾値です。体内に蓄積される放射線量を把握するには、この事象をも数理的に扱い易いようにモデル化しなければなりません。「確率的影響」とは、悪性腫瘍などの発がんや白内障などの晩発性の病症と、奇形や成長と発育などの遺伝的影響が大となる病症が該当します。

これらは、被曝線量がたとえわずかでも発症の可能性があると考えられます。放射線影響研究所では、悪性腫瘍は放射線で誘発されたものと自然に発がんしたものとの間に病理学的な差異が無いことから、リスクという概念を導入して放射能症のデータを整理しています。この結果によると、放射線量と発がんのリスクとは比例関係にあります。この事象も、数理的に処理し易いようにモデル化しなくてはなりません。

さて、閾値については、急性被曝の場合として、次表が示されていますが、その時の確率値が示されています(この統計値では、分布の広がりを示す「分散」を必要とします)。この閾値は確率1の場合(完全に発症する)と考えてもよいかもしれません。「確定的影響」の病症は、放射線の被曝が少なければそれだけ少なく、多くなれば発症の危険性も増す。この説明を考慮して、モデル化すると、おわん形、すなわち正規分布型となると考えられます。

図4に示したように、発症確率は直線状ではなく、少し丸みを帯びた曲線状となります。『確率的影響』の病症は、放射線量が僅かであっても、多くても同じように発

図4 発症の確率密度



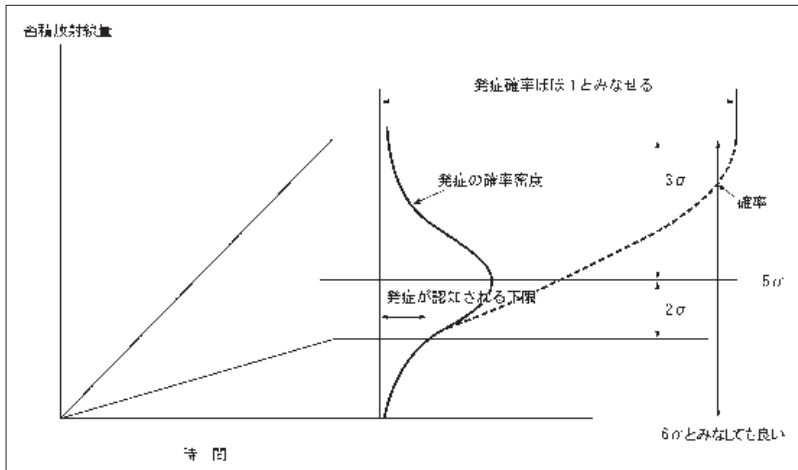
症する可能性がある。従って発症の分布は放射線量に対して一様となります。図4で示したように矩形となります。確率論で「一様分布」と呼ばれます。そして発症の確率は、直線状に伸びていきます。

発症に至るまでの回数

放射線の蓄積量がある値になると発症しますが、その放射線量にいつ達するか、達した後どのような発症確率が增大していくかを述べます。図5は「確定的影響に属する病症」で発症する場合があります。

横軸に経過時間が、縦軸には放射線量が採られています。放射線の蓄積量は時間の経過とともに直線的に伸びて行くことにしました。一方、発症はおわん形、すなわち正規分布型で示される。この時、放射線量は放射線の蓄積量に一致させるため、縦軸に取ってあります。従って、横軸方向に発症の確率が来ます。見にくいかもしれませんが、顔を横にひねって見て下さい。確定的症例には白内障がありますのでそれを対象としてみましょう。白内障の発症が確実に見られるのは1・75ミリシーベルトとしてみましよう。この値はおわん形をした分布のどのあたりに来るか

図5 確定的影響による発症

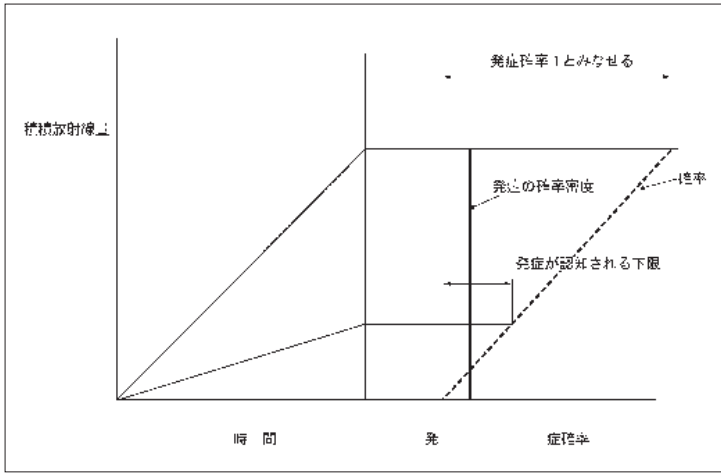


を検討しなくてはなりません。そのためにはおわん形の分布の裾野の方への広がりを考えなくてはなりません。おわん形の分布、すなわち正規分布ではその広がり方を分散(σという値)で評価します。裾野は無限大に伸びているのですが、平均値から分散の3倍(3σ)まで取る

と、マイナス無限大からその値の所までに含まれる総数、すなわち確率は0・9987となります。ほぼ1と見做して良いでしょう。そうすると、発症する下限値はどうなるか。下限値は平均値より小さいですが、平均値よりどのくらい下側にあるか、人によってどのようにでも取れます。私は、「分散の2倍下側」に取ってみます。この値での確率は0・0228です。2%強の発症確率となりますね。その場合の、放射線量を計算すると1・75ミリシーベルト(3σ-2σ)/(3σ+3σ)≡0・29ミリシーベルトで求められます。纏めると、白内障は、0・29ミリシーベルト被曝で、発症の確率は0・0228となります。(表3の閾値に対する私の推察が間違っていた場合、白内障の発症が見られる1・75ミリシーベルトが、平均値より下側の2倍の分散での値であったとすると、確実に発病するのは1・75ミリシーベルト×6≡10・5ミリシーベルトとなります。その場合は、1・75ミリシーベルトを被曝すると、発症の確率は0・0028となる)。

次に発症に至る時間を求めましょう。取り込まれるのがセシウムの場合。①臓器・組織に入ってくる放射線量を3ミリシーベルト/日と仮定します。②目に影響を与える分は、組織係数の生殖腺の値を準用することとします。0・20です。従って、0・

図6 確率的影響による発症



6^ミリ^シ／日となり、③セシウムの実効半減期は70分の1なので、0・6^ミリ^シ／2×(1/70)＝0・0043^ミリ^シ／日^シが排出される計算になる。④実質的に目に蓄積される放射線量は、0・6マイナス0・0043＝0・596^ミリ^シ／日となる。⑤0・29^シを被曝するまでの日数は、0・29×1000/0・596＝486・6日となる。⑥その時の発症の

確率は0・0028です。図6は「確率的影響に属する病症」で発症する場合です。前と同じように、時間、放射線量の軸を取ります。発症の確率は直線的に伸びます。一つの例として、甲状腺がんを発症する放射線量を求めましょう。先の表3には甲状腺の値がありません。皮膚の値は記載されています。前に述べた国際放射線防護委員会の組織荷重係数(表2)を見ると、皮膚と甲状腺の割合は、2対1となっています。大胆ですが、皮膚での値から甲状腺の発症限界を推定しましょう。すると、3^シ／2＝1・5^シとなり、この値を取る場合の確率は1とすると、発症が認知されるであろう確率が0・2の場合は、単なる比例配分ですから、1・5^シ×0・2＝0・3^シとなり、言葉を換えると、被曝線量が0・3^シの場合は、甲状腺を発症する確率が0・2になります(表3の閾値に対する取り方が間違っていた場合。甲状腺の発症が見られる1・5^シが、確率0・2での値であったとすると、確実に発病するのは1・5^シ×(1/0・2)＝7・5^シとなる。その場合は、1・5^シを被曝すると、発症の確率は0・2となる。発症は7・5^シになる)。発症に至る時間を求めてみましょう。体内へ取り込ま

れるのがセシウムの場合。①臓器・組織に入ってくる放射線量を3^シ／日と仮定します。②甲状腺に影響を与える分は、臓器に蓄積される量は組織係数より、そのうちの0・05です。従って、0・15^シ／日となる。③セシウムの実効線量は70分の1なので、0・15^シ／2×(1/70)＝0・0010^シ／日^シが排出されます。④実質的に、甲状腺に蓄積される放射線量は、0・15マイナス0・0010＝0・149^シ／日となる。⑤従って被曝線量の総量が0・3^シに至るのは、2013日後(5・5年後)となります。その時の発症確率は0・2になります。1・5^シに至る時は、10067日後(27・5年後)となります。

(10月14日・公開フォーラム)
【編集部注】この講演の前半部分は、YouTubeでご覧になれます。

<http://www.youtube.com/watch?v=9ggubvXuvY>

講師略歴(おおたき ひでゆき)

東大工学系大学院卒、工学博士。旧通産省工業技術院勤務を経て、埼玉大学工学部教授、同名誉教授。『原子爆弾災害調査報告書』(復刻版、不二出版、二〇一一年)に「解題」を執筆。