

## セシウム137による内部被曝量計算メモ

いつぞや IISORA シンポの懇親会で、鈴木先生からセシウムによるコイの内部被曝を聞かれ、『1 kg 当り 300 ベクレル(Bq)のセシウム 137 がずっと続いていたら人で年間約 1 ミリシーベルト(mSv) ですから、コイだったら（人に比べて小さい分体外へ漏れ出すガンマ線の割合が大きくなるので）1 kg 当り 500Bq 程度で年間 1 mSv でしょうね』という話になった。昨年 12 月の福島 IISORA シンポでも、この“酒飲み咄値”を引用してもらったので、キチンと説明しておかなくては、ということでその根拠をまとめておく。

### ◇ 数字の由来

“300Bq/kg のセシウム 137 で年間 1mSv”の由来は、ICRP(国際放射線防護委員会)の Publication2 『体内放射線の許容量に関する専門委員会 II の報告』(1959) で、私が京都大学の助手に採用されて放射線作業従事者になった頃(1976)の日本の法令基準の基になっていた文書のひとつである。当時の体内被曝の規制は、『最大許容身体負荷量』(MPBB: Maximum Permissible Body Burden) という値が基本にあつて、MPBB の放射能を定常的に体内にもっている、職業人の許容線量である年間 5 レム (rem) (=50mSv) の内部被曝になるのでそれ以下にせよ、という考え方であった。セシウム 137 の全身に対する MPBB は 30 マイクロキュリー ( $\mu\text{Ci}$ ) で、 $1 \mu\text{Ci}=3 \text{万} 7000\text{Bq}$  なので 111 万 Bq である。ICRP “標準人”の体重 70kg を用いて計算すると、“1 万 6000Bq/kg で年間 50mSv”となる。これを換算すると、320Bq/kg で年間 1 mSv となり、値を丸めて“**300Bq/kg で年間 1mSv**”となる。この数字を、私が頭に入れたのは、1986 年のチェルノブイリ事故後のことだった。

### ◇ 数字の根拠

今回、Publication2 を引っ張り出して、改めて数字の根拠をチェックしてみた。それによると、(1 Bq とは毎秒 1 回の放射性崩壊を起こしている放射エネルギーを表すが) **セシウム 137 が人体組織中で放射性崩壊を起こすごとに、その身体組織に吸収されるエネルギー量は平均で 59 万電子ボルト(0.59MeV)**とされている (MeV: 100 万電子ボルト。電子ボルトについては付録の基礎知識資料参照)。

◆身体組織 1 kg 中に 1 Bq のセシウム 137 が 1 年中あったとしたら、

$$\langle \text{1 年間の崩壊数} \rangle = 3600 \text{ [秒/時]} \times 24 \text{ [時/日]} \times 365.25 \text{ [日/年]} = 3155 \text{ 万} 7600 \text{ 回}$$

$$\langle \text{1 年間の吸収エネルギー} \rangle = 0.59 \text{ [MeV/回]} \times 31557600 \text{ [回]} = 1862 \text{ 万 MeV}$$

$$= 1.9 \times 10^7 \text{ [MeV]} \times 10^6 \text{ [eV/MeV]} = 1.9 \times 10^{13} \text{ eV}$$

となる。

ここで、**電子ボルト(eV)を、同じエネルギーの単位であるジュール(J)に変換**しておく。

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (\text{詳しくは付録資料参照}) \text{ なので、}$$

< **1Bq/kg のセシウム 137 によって組織 1kg が 1 年間に受け取るエネルギー量** >

$$= 1.9 \times 10^{13} \text{ [eV]} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ [J/eV]} = 3.0 \times 10^{-6} \text{ J}$$

一方、吸収線量 1 Gy (グレイ) の定義は、

$$1 \text{ Gy} = \frac{1 \text{ J}}{\text{物質} 1 \text{ kg}} \quad \text{つまり、物質} 1 \text{ kg} \text{ 当り} 1 \text{ ジュールのエネルギー吸収なので、}$$

**1Bq/kg の状態がずっと続いていると、 $3.0 \times 10^{-6} \text{Gy}/\text{年} = 3.0 \mu\text{Gy}/\text{年} = 3.0 \mu\text{Sv}/\text{年}$ の内部被曝となる。**

(ここでは、Gy (グレイ) と Sv (シーベルト) の区別はせず、同じと扱う。)

従って、年間  $1 \text{mSv} (= 1000 \mu\text{Sv})$  の内部被曝となるセシウム 137 体内蓄積量は、 $1000 \div 3.0 = 330 \text{Bq/kg}$  となる。(先の  $320 \text{Bq/kg}$  と若干異なるが、数字の丸め方の違いなので気にしない。)

## ◇ もう少し詳しい計算

上に述べた ICRP Pub-2 の取り扱いでは、ベータ線とガンマ線の寄与との違いが分からないが、米  
国放射線防護審議会 (NCRP) の No.52 レポート“Cesium-137 from the environment to man:  
metabolism and dose” (1977) では、ベータ線とガンマ線の被曝を分けて内部被曝を扱っている。(セ  
シウム 137 は、ベータ線とガンマ線の両方を放出する。)

NCRP-52 レポートによると、大人の体内に『組織 1 kg 当り 1 マイクロキュリー ( $\mu\text{Ci}$ ) のセシウ  
ム 137』が定常的にあると、1 日当り 25 ミリラド (mrad: rad は昔の吸収線量単位で、 $1 \text{Gy} = 100 \text{rad}$ )  
の内部被曝で、そのうちベータ線が 13 ミリラド、ガンマ線が 12 ミリラドとなっている。(ベータ線  
とガンマ線の寄与は半々程度。)

$1 \mu\text{Ci} = 3 \text{万} 7000 \text{Bq}$ 、 $1 \text{mrad} = 10 \mu\text{Gy}$  なので、 $\mu\text{Ci} \rightarrow \text{Bq}$ 、 $\text{mrad} \rightarrow \mu\text{Gy}$ 、日  $\rightarrow$  年と単位を換算  
して計算すると、**組織 1 kg 当り約 400Bq のセシウム 137 が体内にあると、年間内部被曝量は 1mGy (=**  
**1mSv)となる。**

### ◆セシウム 137 からのベータ線内部被曝

ベータ線 (高速の電子) が体内組織中を動く距離 (飛程) はきわめて短く、セシウム 137 からのベ  
ータ線ではせいぜい数 mm である。従って、人体内で発生したベータ線がもっているエネルギーはす  
べてその組織に吸収されると仮定してよい。セシウム 137 が、その放射性崩壊毎に高速電子線として  
放出するエネルギー量は平均  $250 \text{keV}$  (keV は  $1000 \text{eV}$ ) である。(これにはベータ線以外の電子放出  
も少し含まれているが、ややこしくなるので説明省略。)

そうすると、人体組織 1 kg の中に 1 Bq のセシウム 137 がずっと存在し続けるとして、

< 1 年間にベータ線として発生するエネルギー量 >

$$= 250 \times 10^3 [\text{eV}/\text{崩壊}] \times 3.16 \times 10^7 [\text{崩壊}/\text{年}] \times 1.60 \times 10^{-19} [\text{J}/\text{eV}]$$

$$= 1.26 \times 10^{-6} \text{ J}/\text{年}$$

となる。したがって、 $1 \text{Bq/kg}$  のセシウム 137 がずっと続いているときのベータ線による内部被曝は  
年間  $1.26 \mu\text{Gy}$  ( $= \mu\text{Sv}$ ) となる。

### ◆セシウム 137 からのガンマ線内部被曝

セシウム 137 は、その放射性崩壊の 85.1% で  $662 \text{keV}$  のエネルギーのガンマ線を 1 本放出する。  
ガンマ線は透過力が大きく、“すべてのエネルギーが組織に吸収される” という仮定が成り立たないの  
で話がややこしくなる。しかし、まずはその仮定が成り立つものとして内部被曝計算をすると、

< 1 Bq のセシウム 137 が 1 年間にガンマ線として発生するエネルギー量 >

$$= 0.851 [85.1\% \text{の放出率}] \times 662 \times 10^3 [\text{eV}/\text{崩壊}] \times 3.15 \times 10^7 [\text{崩壊}/\text{年}] \times 1.60 \times 10^{-19} [\text{J}/\text{eV}]$$

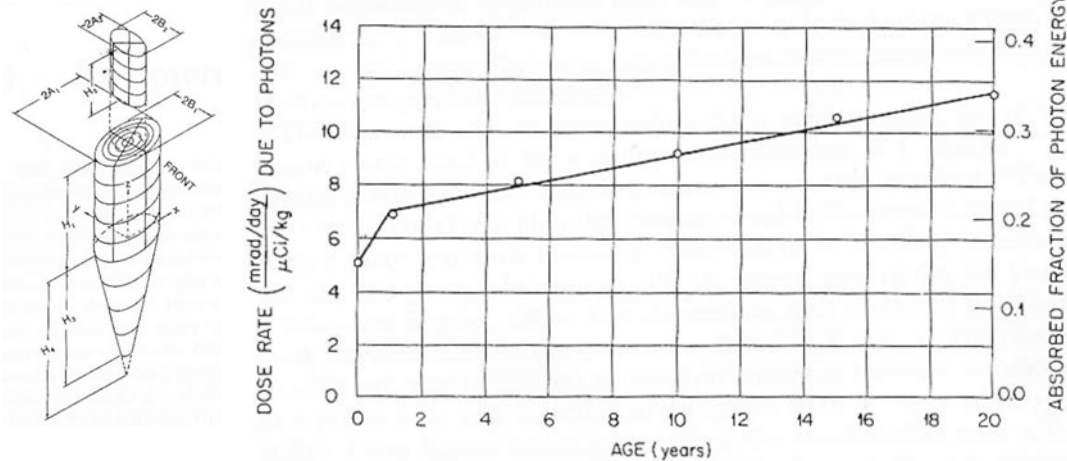
$$= 2.84 \times 10^{-6} \text{ J}/\text{年}$$

つまり、“すべてのエネルギーが組織に吸収される” という仮定の基では、 $1 \text{Bq/kg}$  のセシウム 137 が  
ずっと続いているときのガンマ線による年間内部被曝は  $2.84 \mu\text{Gy}$  となる。

では、**セシウム 137 からのガンマ線エネルギーのうちどのくらいが体内組織で吸収されるか？**

下図は、NCRP レポート 52 に出ている図で、人体内で発生したガンマ線による内部被曝の模擬計算結果である。左の図は計算に用いた人体モデルで、右が計算結果。グラフの横軸は年齢で、縦軸の左目盛りが  $\mu\text{Ci}/\text{kg}$  当りの毎日被曝量 [mrad/day]。年齢とともに被曝量が大きくなっているのは、身体が大きくなると体外に漏洩するガンマ線の割合が小さくなるからである。

縦軸の右目盛りは、**ガンマ線エネルギーのうち体内吸収される割合**で、大人（20 歳）場合のガンマ線エ



ネルギー吸収割合は 0.35。したがって、1 Bq/kg のセシウム 137 がずっと続いているときのガンマ線による内部被曝は、 $2.84 \times 0.35 = 1.00 \mu\text{Gy}/\text{年}$ となる。

以上より、**1Bq/kg の状態がずっと続いていると、(ベータ線)1.3+(ガンマ線)1.0=2.3  $\mu\text{Gy}/\text{年}$  の内部被曝となり、1mSv/年となる体内蓄積量は  $1000 \div 2.3 = 430 \text{ Bq}/\text{kg}$ 。**

0 歳の赤ん坊については、ガンマ線吸収割合を 0.15 として、“600Bq/kg で 1 mSv/年”と覚えておく。コイについては赤ん坊と同じとすると、“600Bq/kg で 1 mGy/年”くらいか。

(ただ、シーベルトは人間への影響を対象とした単位なので、コイには使わない方がいい。というか、本来の定義からすると、使ったら間違っている。)

## ◇ 現在の ICRP 内部被曝換算係数との整合性

内部被曝を計算する際に、いまの日本で通常用いられているのは、1 Bq の放射能を飲食物（経口）または呼吸（吸入）で体内に取り込んだら内部被曝量がいくらになるかという、内部被曝換算係数である。ネットなどに出ている表では、大人が 1 Bq のセシウム 137 を経口で取り込んだら、 $1.3 \times 10^{-8} \text{ Sv}$  (=0.013 $\mu\text{Sv}$ ) となっている。これは、体内に取り込んだ放射性物質が、“放射性崩壊によって消滅する”か、“体外に排泄される”か、長く体内にとどまる場合は“大人で 50 年間・子供で 70 年間”の内部被曝量である（預託実効線量と呼ばれる）。元を辿れば、現在使われているのは、ICRP が Publication72 (1996) に発表している値である。

ICRP の代謝・被曝計算モデルでは、セシウムの場合、大人では取り込んでから約 100 日後に体内量は半分になる。約 200 日後では 4 分の 1 である。数学で容易に示せるが、大人の体内に取り込まれたセシウム 137 が排泄されるまでの平均体内滞在日数は 143 日になる（半減期は 30 年と長いので体内での放射性崩壊で減るのは無視）。

ここで、毎日 1 Bq のセシウム 137 を経口摂取している状態が何年も続いている状態を想定してほしい。毎日取り込む量と毎日排泄する量は等しく 1 Bq となっているはずである（いわゆる、平衡状

態)。

**問題1: このとき、その人の体内に蓄積されているセシウム 137 の量は何 Bq だろうか?**

**答え: 143Bq** (“ある日に取り込んだ1Bqは、そのままずっと体内にあって143日後にまとめて排泄される”と算数的に考える。) 体重 70kg とすると、重さ当りは **2.04Bq/kg** となる。

**問題2: このとき、セシウム 137 の取り込みにもなう年間内部被曝は何  $\mu\text{Sv}$  だろうか?**

**答え:  $0.013 \mu[\text{Sv}/\text{日}] \times 365[\text{日}/\text{年}] = 4.7 \mu\text{Sv}/\text{年}$**

上の2つの答えより、組織当り **1Bq/kg のセシウム 137 がずっと続くと  $2.3 \mu\text{Sv}/\text{年}$**  となり、先の計算とぴったり一致する。つまり、現在の ICRP 内部被曝計算に基づいても、セシウム 137 の体内蓄積量と内部被曝量の関係は、**“約 400Bq/kg で  $1\text{mSv}/\text{年}$ ”** となる。

今後は、“**300Bq/kg で  $1\text{mSv}/\text{年}$** ” は止めて、セシウム 137 がずっと体内にあるときの内部被曝量は、“**約 400Bq/kg で  $1\text{mSv}/\text{年}$** ” を使うことにする。

## ◇ 放射性セシウムの経口内部被曝に関するデータ (ICRP72 より計算)

<セシウム 137 (半減期 30 年) の場合>

年齢	体重、Kg	預託実効線量換算係数、 $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$	平均体内滞在期間、日	1Bq/kg の時の年間被曝量、 $\mu\text{Sv}/\text{年}$	1mSv/年となる体内蓄積量、Bq/kg
大人	70	0.013	143	2.3	430
15歳	55	0.013	117	2.2	450
10歳	32	0.010	53	2.2	450
5歳	19	0.0096	30	2.2	450
1歳	9.8	0.012	19	2.3	440
3カ月	3.4	0.021	23	1.1	890

<セシウム 134 (半減期 2 年) の場合>

年齢	体重、Kg	預託実効線量換算係数、 $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$	平均体内滞在期間*、日	1Bq/kg の時の年間被曝量、 $\mu\text{Sv}/\text{年}$	1mSv/年となる体内蓄積量、Bq/kg
大人	70	0.019	125	3.9	260
15歳	55	0.019	104	3.7	270
10歳	32	0.014	50	3.3	300
5歳	19	0.013	29	3.1	320
1歳	9.8	0.016	18	3.1	320
3カ月	3.4	0.026	23	1.4	700

\*;セシウム 134 の体内滞在期間は物理的半減期も考慮したので、セシウム 137 より若干短い。セシウム 134 が放出するベータ線のエネルギーはセシウム 137 に比べ少し低いのが、1崩壊当りガンマ線を複数本放出するので、内部被曝換算係数はセシウム 134 の方が若干大きい。

## ◇ おわりに

鈴木先生との“酒飲み咄”の宿題のつもりで書き始めたメモだが、結構力が入った。実は、ICRP 報告をいろいろ調べていると、環境指標生物 12 種に対する内部被曝換算係数が 2008 年にすでに報告されていた。(2007 年の ICRP 勧告で、今後は環境の放射線防護も対象とし指標生物を選んだのは知っていたが、その後の follow をしていなかった。) ICRP Publication 108 “Environmental Protection - the Concept and Use of Reference Animals and Plants” で、その中に Trout (マス) が入っていて、マスのモデルの重量は 1.26kg だそうだ。マスに対するセシウム 137 の換算係数は、 $4.4 \times 10^{-3}$  ( $\mu\text{Gy}/\text{day}$ )/( $\text{Bq}/\text{kg}$ )となっている。day を year に変えると、 $1.6$  ( $\mu\text{Gy}/\text{year}$ )/( $\text{Bq}/\text{kg}$ )となる。つまり、マスに  $1 \text{ Bq}/\text{kg}$  のセシウム 137 が存在していると年間内部被曝は  $1.6 \mu\text{Gy}$  で、“ $1 \text{ mGy}/\text{年}$ となるのは  $620 \text{ Bq}/\text{kg}$ ”ということになる。マスをコイにすれば本メモの見積もりと一致する。

このメモを書き始めたもうひとつの動機は、1 年前から福島の子供たちのオシッコ測定を手伝っていることである。現在のオシッコ中のセシウム 137 レベルは、1 リットル当り  $0.1 \sim 0.2$  ベクレル程度で、セシウム 134 はその 4 分の 1。今中個人の見解として、『子供のオシッコが福島原発のセシウムで汚染されているのは全くシヤクなことであるが、現在のレベルはその被曝影響に神経質になるほどではない』と思っている。このメモは、なぜそう思っているかを説明するための資料のひとつのつもりである。

////////////////////////////////////

## 基礎知識資料

////////////////////////////////////

◆  $1 \text{ Bq}$  (ベクレル) : 放射能の強さを表す単位で、『この放射性物質の放射エネルギーは  $1 \text{ Bq}$  である』とは、その放射性物質の中で毎秒 1 回の“放射性崩壊”が起きている状態を示す。

◆ 放射性崩壊 : 不安定な原子核が、アルファ線、ベータ線、ガンマ線といった放射線を放出しながら、より安定な、別の元素の原子核に変わる現象。放射性崩壊には、ベータ崩壊とアルファ崩壊があって、原子核の変身にもなって、原子核からそれぞれベータ線かアルファ線が放出される。ガンマ線は、ベータ崩壊やアルファ崩壊のついでに放出される放射線で、放出されないこともある。(細かいことをいうとキリがないのでここまで。)

◆ ベータ崩壊 : 原子核は陽子と中性子がくっついて構成されている。放射性物質 (放射性同位元素) の原子核では、中性子と陽子の数のバランスが悪い。中性子が多すぎると、より安定なバランスとなるよう、ある中性子が (マイナスの電荷を持つ) 電子を放出して、(プラス 1 の電荷をもつ) 陽子に変身する。ベータ線とは、このときに放出される電子のことである。電子を放出した原子核では、中性子の数が 1 つ減って、陽子がひとつ増える。周期律表の順番 (原子番号) は、原子核の中の陽子の数である。したがって、ベータ崩壊を起こすと、元素が変わって、原子番号がひとつ増えることになる。ベータ線を出して新しくできた原子核では、たいていの場合、陽子と中性子の全体がざわついた状態 (励起状態) にあって落ち着きが悪い。そこで、より落ち着きのよい状態に変化するときに (余分なエネルギーが) ガンマ線として放出される。(ストロンチウム 90 のように、ベータ線を出しても落ち

着きが良くてガンマ線を出さないものもある。)

◆セシウム 137: ウラン (原子炉燃料であるウラン 235 の原子核では 92 個の陽子と 143 個の中性子が結合している) が核分裂を起こすと、2 つに分かれて様々な核分裂生成物が出来るが、たまたま陽子 55 個と中性子 82 個を含む組み合わせとなったものが (原子番号 55 の) セシウム 137 である。ウランの核分裂では、その約 6 % の場合にセシウム 137 が生成される。セシウム 137 の原子核では中性子が過剰なので、半減期 30 年でベータ崩壊する。原子番号 55 番のセシウム (Cs) がベータ崩壊すると 56 番のバリウム (Ba) になる。

ーセシウム 137 からのベータ線: ベータ崩壊当り平均で 187keV (18.7 万電子ボルト) のエネルギーを電子がひとつ放出される。(あと、内部転換電子とかオージェ電子とかが放出されるが説明は省略。)

ーセシウム 137 からのガンマ線: ベータ崩壊の 85.1% で 661.7keV (66.17 万電子ボルト) のガンマ線が 1 本放出される。(あと、弱い X 線も放出されるが無視。)

(自然界にもともと存在しているセシウムは、100% がセシウム 133 (陽子 55 個と中性子 78 個) で、放射性崩壊しない安定同位体である。)

◆電子ボルト (eV): 1 個または 1 本の放射線がもっているエネルギーを表すときに使われる単位で、keV は 1000eV、MeV は 100 万 eV。真空管に 100 ボルトの電圧を掛け、陰極ヒーターから飛び出た電子が 100 ボルト差の真空中を移動し陽極にぶつかる時持っている運動エネルギーが 100eV (電子ボルト) である。(100m の高さから 1kg の石を落として、地上にぶつかる時の破壊力 (運動エネルギー) を  $100\text{m}\cdot\text{kg}$  と表すようなもの。) 健康診断のレントゲン装置では、真空管の中で電子を 10 万ボルト (100kV) 程度の電圧で加速して陽極にぶつけている。ぶつかる時の電子のエネルギーが 100keV。一方、我々の身体を構成している原子・分子のつながりの強さも eV 単位で表すことができ (“つながりの強さ” とはその原子・分子の結合を切り離すのに要するエネルギー量でもある)、その大きさは数 eV から 10eV 程度。また細胞の生命活動など、体内代謝でやりとりされているエネルギーの最小単位は 0.5eV 程度。

◆被曝量グレイ (Gy): 吸収線量と呼ばれ、外部被曝か内部被曝かに関係なく、(人体でも石ころでも) 放射線との相互作用によって、物質が重さ当たりどれだけのエネルギーを放射線から受け取ったかを示す単位。

$$\text{定義は、 } 1\text{Gy} = \frac{1 \text{ ジュール}}{\text{組織 } 1 \text{ kg}} \text{ のエネルギー付与}$$

放射線と物質との相互作用にはいろいろあるが、被曝を考えるとときには、『放射線が体内の原子、電子、原子核とぶつかって、電子がはぎ取られたり、分子の結合が切れたりする現象』という解釈で十分。

◆エネルギー量ジュール (J: Joule): ジュールはエネルギー量を表す単位のひとつで、マクロなエネルギーを表すときに使われる。日常生活でなじみのあるエネルギー単位カロリー (cal) と比較すると、 $1 \text{ cal} = 4.18 \text{ J}$ 。

人の被曝では、4Gy の被曝を一度に全身に受けると半数が死亡すると言われている。このとき人体組織が受け取るエネルギー量は、組織 1kg 当り約 1 カロリーなので、体温上昇にすると 0.001 度 C にすぎない。

◆ジュールとワット：電気の消費率を表すワット (W) とは、 $1\text{W}=1\text{J}/\text{秒}$ のエネルギー消費率 (or 発生率) の関係である。言い換えれば、 $1\text{J}=1\text{W}\cdot\text{秒}$ で、1ワットの電気器具を1秒間使うと1ジュールのエネルギー消費になる。

◆電流量アンペア (A) と電気量クーロン (C)：家庭用100ボルト (V) のコンセントに100Wの電気器具を繋ぐと1アンペア (A) の電流が流れることはみなさん承知と思う ( $W=V\times A$ )。1Vの電位差を1Aの電流が流れていると1Wである。一方、1アンペア (A) とは毎秒1クーロン (C) の電気量の流れのことなので、『1Wの電気器具を1秒間使うと、1Vの電位差を1Cの電気量が流れ、1Jのエネルギーを消費する』ことになる。

◆eV (電子ボルト) と J (ジュール) の関係：電子はマイナス1の単位電荷 e を持っている (陽子はプラス1)。1電子ボルト (eV) とは、電子が1Vの電位差を移動したときに得るエネルギー量である。つまり、eV と J の違いは、e と C がもっている電気量の違いに帰することになる。

電子の発見は1897年の英国の物理学者トムソンによる業績になっている。では、その電子1個がもっている電気量がいくらかを測定したのは、1909年の米国の物理学者ミリカンの業績である。ミリカンの実験により、電子1個がもっている電化 e は、

$$e=1.6\times 10^{-19}\text{ クーロン (C)} \quad \text{であることが明らかになった。}$$

逆に言えば、1クーロンの電気量は、 $6.2\times 10^{18}$  個分の電子の電気量である。 $6.2\times 10^{18}$  個の電子が1ボルトの電位差を流れたときのエネルギーが1ジュールなので、

$$1\text{ eV}=1.6\times 10^{-19}\text{ J} \quad \text{となる。}$$

これで、放射線で扱うミクロなエネルギー単位 eV とマクロなエネルギー単位 J との関係づけができた。

◆被曝量シーベルト (Sv)：シーベルトは、人間の被曝量としてもっともよく使われている単位であるが、これはいい加減で複雑な単位で、キチンと説明すると、被曝になじみのない方はたいてい頭がパンクすると思う (こちらは40年つきあってきたので何とか理解していると思っているが、それでもときどき混乱して教科書を参照する。)

そもそも、同じGyの被曝を受けても、ガンマ線とアルファ線では出てくる影響の大きさが違うこと、胸部だけ10Gy受けた被曝と全身に1Gy受けた被曝の影響をどうやって比較するか、といった『放射線防護の基準設定のため』に導入されたのがシーベルトという単位で、ICRPの1976年勧告で実効線量という考え方が採用された。

とりあえず、3つのシーベルトを簡単に説明しておく (細かいことを言い出すとこれもキリがない話になる)。

◎等価線量シーベルト：人体組織の吸収線量Gyに、被曝をもたらした放射線の種類ごとに決まっている放射線荷重係数 (ベータ線、ガンマ線は1、アルファ線は20) をかけたもの。

◎実効線量シーベルト：人体の各組織が受けた等価線量シーベルトに、各組織に割り当てられた組織荷重係数を掛けて足し算したもの (各組織の荷重係数は、全部を足すと1になるように配分。ICRPはときどきその配分を変えるので、同じ被曝であってもシーベルトが変わってくる)。

◎実用量シーベルト：サーベメータで空間線量率を測定したり、ガラスバッジで個人外部被曝量を測定したりするときに使われるシーベルト。人体被曝を直接測ることはできないので、あるモデルでの被曝で代用する。サーベメータでは、直径30cmの人体等価の球での表面深さ1cmでの等価線量

(1 cm線量当量)を示すように設計してある(これも、等方の放射線ビームか、方向性のある放射線ビームかで値が変わってくる)。

◆ICRP のセシウム代謝モデル

経口摂取の放射性セシウムに対する ICRP の代謝モデルは比較的単純で、飲食物と一緒に体内に取り込んだセシウムは、全量がまず小腸で血液(通過コンパートメント)に吸収され、それが全身組織に一樣に分布し、(年齢依存の)一定の生物学的半減期で排出されるというものである。ただし、吸収された放射性セシウムは早めに排出される成分 A と遅めに排出される成分 B とに分けて扱う。

ICRP セシウム代謝モデルの成分割合とその生物学的半減期

年齢	成分 A		成分 B	
	割合 fa	生物学的半減期 Ta	割合 fb	生物学的半減期 Tb
大人	10 %	2 日	90 %	110 日
15 歳	13 %	2.2 日	87 %	93 日
10 歳	30 %	5.8 日	70 %	50 日
5 歳	45 %	9.1 日	55 %	30 日
1 歳	0 %	—	100 %	13 日
3 カ月	0 %	—	100 %	16 日

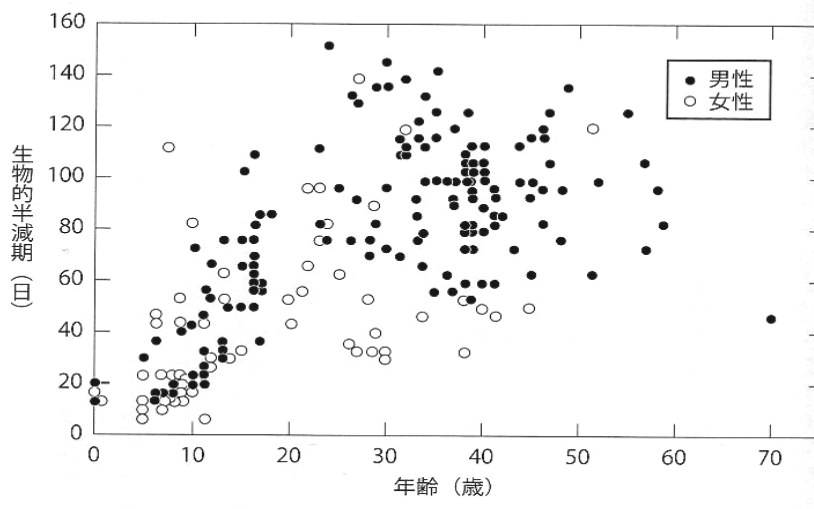
表のパラメータを使うと、セシウムを経口摂取してから t 日後に体内に残留している割合 R(t)は、

$$R(t) = f_a e^{-\lambda_a t} + f_b e^{-\lambda_b t}$$

と表される。ただし、 $\lambda_a = Ta/0.693$ 、 $\lambda_b = Tb/0.693$ 。本文で示して『平均体内滞在期間』は上式から求めたものである。

代謝モデルの値と実際の個人データとが違っているのは当たり前の話であるが、参考に生物学的半減期に関する個人データがどれくらいばらついているか示しておく。内部被曝の計算値とホントの値が2~3倍違っていても全く不思議はないことが分かってもらえると思う。

図 II-1 生物学的半減期 (T) と年齢の関係



長山淳也『胎児と乳児の内部被曝』緑風出版(2013)より

以上