

②一3:放射線の人体への影響を説明する時に使う線量単位

放射線エネルギーの吸収によって、初めて放射線からの影響が出現する可能性が生まれることは前述の通り。

基本的には、放射線エネルギー吸収の程度を示す単位が線量といわれるもの。

さらに放射線防護という観点から、放射線の人体への影響と評価も取り込んだ線量単位がICRP(国際放射線防護委員会)から提案され、国際的に取り入れられている。被ばくした放射線量を把握することを線量評価と言う。

つまり、線量が分かれば、ある程度、放射線の人体への影響が予測できるということ。

以下、これらに関連した用語が使用されているので、簡単に解説する。

照射線量 吸収線量 等価線量 実効線量 預託線量

被ばくした患者の治療方針を決め、適切な対応をとるためには、正確かつ迅速な線量評価を必要とする。

<用語解説> 照射線量: R(レントゲン)

出典: Wikipedia: ウィキペディアなど

放射線のもつエネルギーを空気をイオン化する能力で示したもの(X線、 γ 線のみ使用)。直接測定する事ができるため、長い間この値を放射線計測量として使われていた。以前はレントゲン(röntgen または roentgen, 記号:R)という値が使われ、 $1R=2.58 \times 10^{-4}C/kg$ 。

レントゲンはCGS単位系(CGS静電単位系)の単位であり、国際単位系(SI)には採用されていない。そのため日本では1989年(平成元年)4月の国際単位系への切り替え以降使われなくなった。

放射線のエネルギーが物質に与えられる時、電離という現象を引き起こす。この現象を電離箱を用いて測定する方法が生まれ、 $0^{\circ}C$ 、1気圧、 $1cm^3$ の空気に、1静電単位の電氣量に相当する正または負のイオンを電離によって生じさせる放射線量を1レントゲン(R)とした。

これは**照射線量**と呼ばれSI単位では 2.58×10^{-4} クーロン毎キログラム(C/kg)と表示される。ただし、この方法で測定できるのは、エネルギーが3MeV以下のX線、 γ 線に限られる。

X線の発見者であるヴィルヘルム・レントゲンに因んで命名されたもので、1928年に導入された。単位記号は当初小文字のrが当てられていたが、人名由来の記号は大文字から始めるという原則に基づき1962年にRに変更された。

空気中に放射線(X線や γ 線)を照射すると原子がイオン化(電離)される。1レントゲンは、放射線の照射によって標準状態(STP: 標準温度と圧力で気体の標準状態を定めたもの)の空気1立方センチメートル(cm^3)あたりに1静電単位(esu)のイオン電荷が発生したときの、放射線の総量と定義される。

<用語解説> 吸収線量: Gy (グレイ)

「吸収線量」はGy(グレイ)という単位で表され、1 Gy(グレイ)とは「1キログラムあたりに放射線から受けたエネルギー(1 J[ジュール]= 0.24 cal[カロリー])」のこと。

放射線が生体に及ぼす影響は、受けた放射線の電離作用の強さと吸収した臓器の種類によって異なる。

(注:放射線が物質中を通過する際、放射線が持つエネルギーにより原子の軌道電子をはじき飛ばす。その結果、この原子は陽イオンと電子に分離する。このことを「電離作用」という)。

吸収されたエネルギーを示す最も基本的な線量単位で、SI単位ではジュール毎キログラム(J/kg)を用い、固有の名称としてグレイ(Gy:英国の放射線物理・生物学者、Grayにちなむ)を使う。

実際には測定不可能なので、測定可能な照射線量から換算するか、化学線量計、熱ルミネセンス線量計、写真乳剤(フィルムバッジ)、半導体検出器等で測定し、いずれも換算によって、目的の物質に対する吸収線量を求める。

<参考> Gy(グレイ)からSv(シーベルト)への換算方法:

実効線量 = 吸収線量 × 放射線加重係数 × 組織加重係数

この計算は右のサイトから簡単に試算できる。 ◆ <http://keisan.casio.jp/>

ここで「放射能」を選び、次に「グレイからシーベルト換算」をクリックする。

<用語解説> 等価線量: Sv (シーベルト)

放射線にはα線(アルファ線)、β線(ベータ線)、γ線(ガンマ線)、中性子線など、沢山の種類がある。

その中で、DNAを壊す能力が高いのが、α線と中性子線で、同じ「吸収線量」の放射線を受けても、β線やγ線に比べてDNAが破壊されやすい。α線を出す放射性物質にはプルトニウムやウランなどがある。このように、夫々の放射線特性により同一の吸収線量(Gy(グレイ))でも影響度が異なる。

このことから、生物学的影響を共通の尺度で評価するために考案されたのが、線量等量の概念で、局所臓器対象には等価線量、全身には実効線量を使う。

局所臓器対象の場合、これら放射線のDNAに対する破壊能力を数値化したものが“放射線荷重(加重)係数”と呼ばれ、この放射線からの影響を加味したものが「等価線量」と言われるもので、即ち、

$$(\text{等価線量: Sv}) = (\text{吸収線量: Gy}) \times (\text{放射線荷重係数})$$

「等価線量」はSv(シーベルト)で表し、人体の“組織ごと”に被ばくした線量を与えることができる。等価線量は、各器官・臓器の線量を示しており、例えば、ヨウ素は甲状腺に多く集まり甲状腺の害が殆どのため、その観点から甲状腺に対する被ばくを考える場合には、この「等価線量」が使われる(甲状腺等価線量と呼ぶ)。

他方、全身被ばくを考えるときには、実効線量が使われる。セシウムは主に筋肉に集まりやすく、ストロンチウムは骨にと、核種によって様々と違うので、体全体での発がんについて統一的に知るには実効線量で見る必要がある。

放射線荷重係数

放射線荷重係数

放射線の種類	エネルギー範囲	放射線荷重係数
光子 (電磁波、X線、ガンマ線など)	全エネルギー	1
軽粒子 (電子、ミュー粒子など)	全エネルギー	1
中性子	<10keV	5
	<100Kev	10
	<2MeV	20
	<20Mev	5
	20Mev<	5
陽子	2Mev<	5
α粒子、核分裂片、重原子核		20

- 1 Sv = 1,000 mSv(ミリシーベルト) = 1,000,000 μSv(マイクロシーベルト)

<用語解説> 実効線量: Sv(シーベルト)

「実効線量」も「等価線量」と同じくSv(シーベルト)で表される。「実効線量」は「体全体のダメージの程度」を表わす。

「実効線量」は各組織の「等価線量」に“組織荷重(加重)係数”を掛け、それを総和したものになる。(全ての組織の“組織荷重係数”を足すと1になる。)

$$(\text{実効線量: Sv}) = (\text{等価線量: Sv}) \times \Sigma(\text{組織荷重係数})$$

組織・臓器の被ばくはそれ自体に影響を及ぼすだけでなく、全身にも影響を与えるが、等価線量が同じでも組織・臓器によってその度合いが異なる。

これを考慮して組織・臓器の被ばく線量を全身への被ばく線量に換算し、「全身への影響はどれくらいか」を評価できるようにしたのが実効線量である。

ICRPは、1990年勧告(Publ.60)で原爆被爆者に対する線量の再評価の結果等を取り入れた新しい放射線リスクの値に基づいた致死がんの確率係数と、更に非致死がん罹患による影響の大きさを総合損害とし(表1)、総合損害を参考にして組織荷重係数を決定した(表2)。

夫々の組織・臓器の等価線量に組織荷重係数を乗じ、各組織で加算して算出されたものが実効線量である。

法令で定める実効線量の線量限度は、女性を除く放射線業務従事者は5年間で100mSvかつ1年間で50mSvであり、一般公衆は1年間で1mSv。なお、ICRPの1990年勧告以前は、実効線量当量と呼ばれていた。

1990年ICRP勧告による係数など

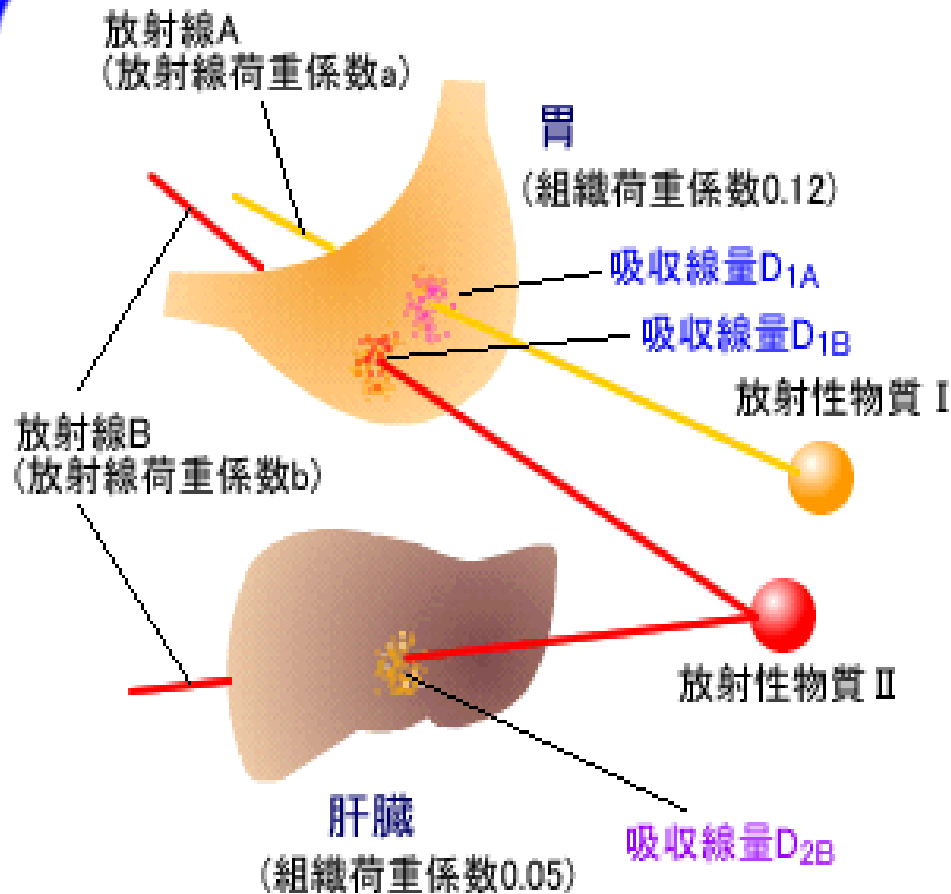
表1: 組織・臓器別確率係数

組織・臓器	致死がんの確率 (10^{-2}Sv^{-1})		総合損害 (10^{-2}Sv^{-1})	
	全集団	作業員	全集団	作業員
膀胱	0.30	0.24	0.29	0.24
骨髄	0.50	0.40	1.04	0.83
骨表面	0.05	0.04	0.07	0.06
乳房	0.20	0.16	0.36	0.29
結腸	0.85	0.68	1.03	0.82
肝臓	0.15	0.12	0.16	0.13
肺	0.85	0.68	0.80	0.64
食道	0.30	0.24	0.24	0.19
卵巣	0.10	0.08	0.15	0.12
皮膚	0.02	0.02	0.04	0.03
胃	1.10	0.88	1.00	0.80
甲状腺	0.08	0.06	0.15	0.12
残りの組織・臓器	0.50	0.40	0.59	0.47
合計	5.00	4.00	5.92	4.74
重篤な遺伝性障害の確率				
生殖腺	1.00	0.60	1.33	0.80
総計(丸めてある)			7.30	5.60

表2: 組織荷重係数

組織・臓器	組織荷重係数 w_T
生殖腺	0.20
骨髄(赤色)	0.12
結腸	0.12
肺	0.12
胃	0.12
膀胱	0.05
乳房	0.05
肝臓	0.05
食道	0.05
甲状腺	0.05
皮膚	0.01
骨表面	0.01
残りの組織・臓器	0.05

実効線量計算のイメージ図



胃の実効線量

$$(D_{1A} \times a + D_{1B} \times b) \times 0.12$$

+

肝臓の実効線量

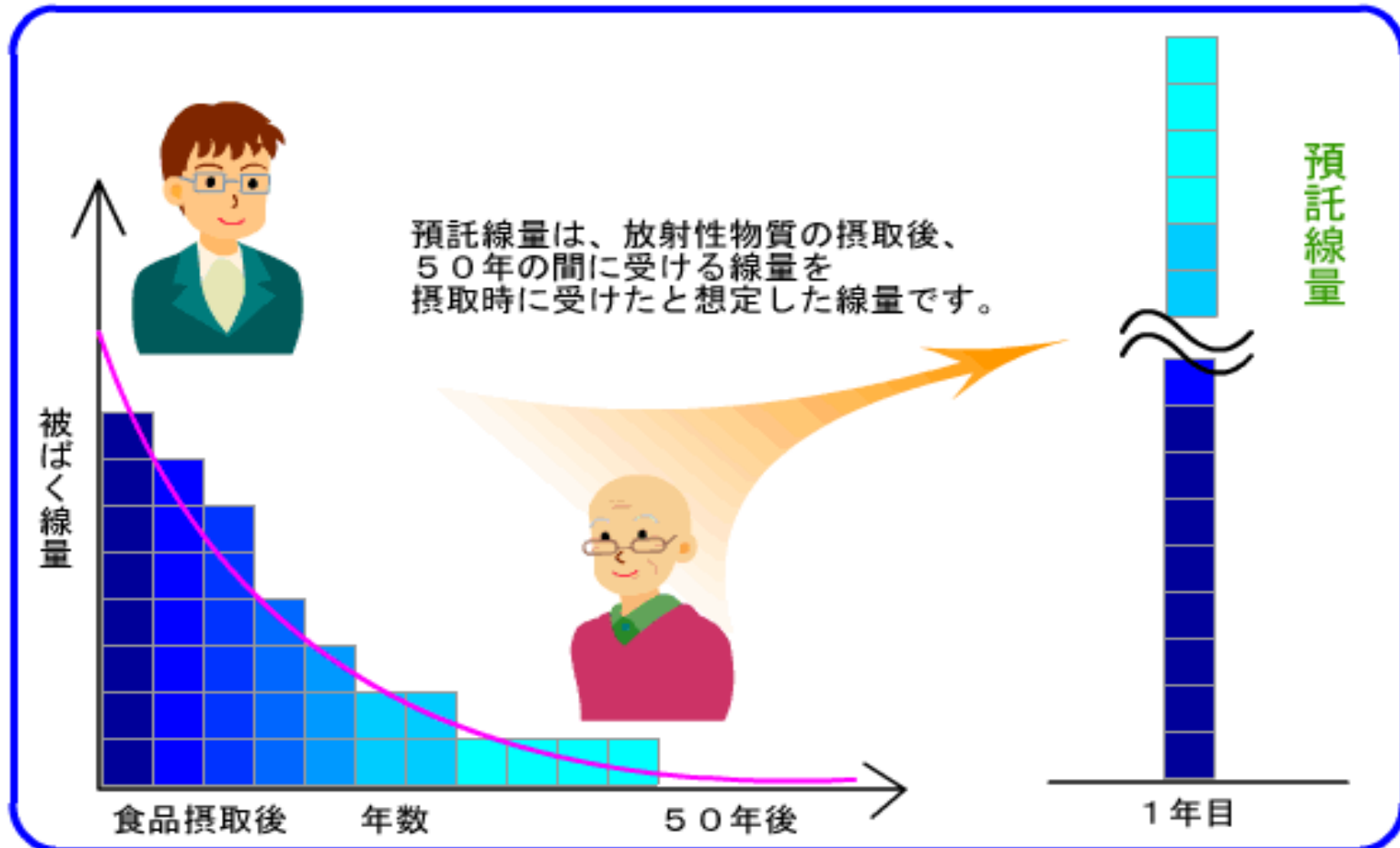
$$D_{2B} \times b \times 0.05$$

||

合計した実効線量

<用語解説> 預託線量

体内に摂取された放射性物質は、その半減期に従い放射能が減衰するとともに、代謝機能により体内から徐々に排泄される。この間に放出される放射線により組織や臓器が被ばくする。預託線量とは、体内の放射線から人体がどの程度影響を受けているか一般成人に対して摂取後の50年間(子供や乳幼児に対しては摂取時から70歳まで)に受ける量を摂取時に受けたと想定(仮定)した放射線量のことをいう。



預託実効線量の計算方法

出典:財団法人日本分析センター

預託実効線量は、以下の式(*1)を用いて計算する。

$$\text{預託実効線量 } H(\text{mSv}) = 0.001 \times m \times d \times p \times a \times f1 \times f2$$

*1:「環境放射線モニタリングに関する指針」(原子力安全委員会、平成13年3月一部改訂)より

m: 飲食物摂取量(単位:g/日):

厚生労働省が実施した国民健康・栄養調査「平成17年国民健康・栄養調査報告」の食品群別栄養素等摂取量(全国)の値を用いる。その値は、1人1日当たりの摂取量(g)を食品群別にまとめた一覧表として提供されている。(注記:◆平成17年国民健康・栄養調査報告)

d: 摂取日数(単位:日):

1年間の飲食物摂取量を対象とするため、**365日**となる。

p: 実効線量係数(単位:mSv/Bq):

経口摂取による線量係数は、ICRP Publ.72により核種別に定められている。

例)Sr-90の場合は 2.8×10^{-5} 、Cs-137の場合は 1.3×10^{-5} 注記:◆ICRP Publ.72関連資料

a: 放射能濃度(単位:Bq/kg):

全国の都道府県で採取した食品試料の核種別の放射能分析データを用いる。

(◆「食品と放射能」ページの検索結果から)

f1: 市場希釈係数:

f2: 調理等による減少補正:

f1,f2は流通経路、調理方法等、さまざまな条件によりこれらの値は異なるが、いちばん厳しい値として、ともに1を用いる。

預託実効線量は、摂取後(成人の場合)50年間に受ける線量を摂取した年の1年間に受けたものと見なして、その年の外部被ばくの実効線量と合計し、その(内部ひばく+外部被ばく)合計値が線量限度を超えないように核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律等において、個人の被ばくを管理することになっている。実効線量係数には、こうした前提で作られている。

預託実効線量の計算例

出典:財団法人日本分析センター

魚のあじを例に預託実効線量を計算してみる。

- ・あじ中の放射性核種Cs-137の濃度は0.20Bq/kgとする(◆「食品と放射能」ページの検索結果から)。
- ・あじの摂取量は1人1日当たり12.5g(厚生労働省「平成17年国民健康・栄養調査報告」の食品群別栄養素等摂取量の一覧表から)。これを365倍して1年間の摂取量を計算する。
- ・Cs-137の実効線量係数は 1.3×10^{-5} (ICRP Publ.72から)。
- ・市場希釈係数と調理等による減衰補正の値はともに1とする(一番厳しい値として、市場希釈と調理等による減衰補正を無視する)。

これらの値を、預託実効線量の計算式にあてはめる。

$$\begin{aligned} \text{預託実効線量 } H &= 0.001 \times m \times d \times p \times a \times f_1 \times f_2 \\ &= 0.001 \times 12.5 \times 365 \times 1.3 \times 10^{-5} \times 0.20 \times 1 \times 1 \\ &= 1.2 \times 10^{-5} \\ &= 0.000012 \text{ (mSv)} \end{aligned}$$

gからkgへの換算 1日当たりの摂取量(g) 実効線量係数(mSv/Bq) 放射性核種Cs-137の濃度(Bq/kg)

となる。

この結果、あじを1年間摂取した場合のCs-137の預託実効線量は、0.000012 mSvとなる。

もし、同一の食品についてデータの得られている放射性核種が他にもあれば、それについても同様に計算し、各々合計する。

なお、この預託実効線量の計算結果は、標準的なモデルケースに適用されるものであり、特定の個人の被ばく線量を評価するものではない。

Bq(ベクレル)からSv(シーベルト)への換算方法①

出典:エネルギー総合工学研究所
大震災に係る情報提供について

<計算式>

空気中の放射性物質を摂取した場合	飲料水、野菜、牛乳等の放射性物質を摂取した場合
<p>計算式 $A=C \times S \times K_a \times Q \times T$</p>	<p>計算式 $A=C_a \times K_a \times Q \times T$</p>
<p>A:実効線量(μSv) C:空気中放射性物質濃度(Bq/cm^3) S:滞在時間係数=$((S1+fc \times S2)/24\text{h})$ S1:屋外滞在時間;8h S2:屋内滞在時間;16h fc:低減係数;1/4程度 Ka:実効線量換算係数($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$) 表1の吸引摂取データによる Q:摂取量($\text{cm}^3/\text{日}$) T:摂取期間;1日(原子力安全委員会の提言)</p>	<p>A:実効線量(μSv) Ca:放射性物質濃度(Bq/kg) Ka:実効線量換算係数($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$) 表1の経口摂取データによる Q:摂取量($\text{kg}/\text{日}$) T:摂取期間;1週間程度=(7日)(原子力安全委員会の提言)</p>

表1：内部被ばくに関する実効線量換算係数

出典：ICRP Pub1. 72より抜粋

内部被ばくに関する線量換算係数としてICRPでは、Dose Coefficient(線量係数)という数値を勧告している。線量換算係数は、1Bqを経口あるいは吸入により摂取した人の**預託実効線量**で単位はSv/Bq。ただし、吸入による1Bqの摂取量とは、吸い込んだ放射能が1Bqであって呼吸気道に沈着した放射能ではないことに注意する必要がある。

また、ICRPは放射性核種夫々について経口または吸入摂取した作業員についての**実効線量係数**と子供および成人の一般公衆についての**実効線量係数**を勧告している。前者はICRP Publ.68(1994)に、後者はICRP Publ.72(1996)にまとめられている。なお、線量の積分期間は、作業員および成人の一般公衆で50年、子どもでは摂取した年齢から70歳までとしている。

下記に、緊急時に考慮すべき放射性核種について、ICRP Publ.72に勧告された成人の一般公衆が経口または吸入摂取した場合の**実効線量係数**の一例を示す。職業被ばく及び公衆の成人に対しては50年、子供や乳幼児に対しては摂取から70歳までの期間をとる。〈表1〉

核種	半減期	経口摂取 $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$	吸引摂取 $\mu\text{Sv}/\text{Bq}$
I-131	8.04日	0.022	0.0074
Cs-134	2.06年	0.019	0.02
Cs-136	13.1日	0.003	0.0028
Cs-137	30.0年	0.013	0.039
Pu-238	87.7年	0.23	110.0

BqからSvへの換算方法②: 具体的な事例

空気中の放射性物質を摂取した場合	飲料水、野菜、牛乳等の放射性物質を摂取
<p>3月30日の福島県相馬郡飯舘村におけるダストサンプリング測定結果(文科省HPより)28 Bq/m³のヨウ素131を含む空気を1日吸引した場合</p>	<p>1kgの野菜に100ベクレルのヨウ素131が付着し、それを毎日200グラムを1週間(7日間)食べた場合</p>
<p>計算式 $A=C \times S \times K_a \times Q \times T$ $=28 \times 0.5 \times 0.0074 \times 15 \times 1=1.554\mu\text{Sv}$</p>	<p>計算式 $A=C_a \times K_a \times Q \times T$ $=100 \times 0.022 \times 0.2 \times 7=3.08\mu\text{Sv}$</p>
<p>A: 実効線量(μSv) C: 空気中の放射性物質濃度 28Bq/m³ S: 滞在時間係数 $=((S_1+fc \times S_2)/24\text{h})$ $= (8+1/4 \times 16)/24=0.5$ S1: 屋外滞在時間; 8h S2: 屋内滞在時間; 16h fc: 低減係数; 1/4程度 K_a: 実効線量換算係数($\mu\text{Sv/Bq}$)=0.0074 (表1の吸引摂取データによる) Q: 摂取量 15,000L=15 m³/日(成人の場合で、1回の呼吸量を0.5Lとし、1分間の呼吸数を15~20回と仮定) T: 摂取期間; 1日</p>	<p>A: 実効線量(μSv) C_a: 放射性物質濃度100Bq/kg K_a: 実効線量換算係数($\mu\text{Sv/Bq}$)=0.022 (表1の経口摂取データによる) Q: 摂取量 0.2kg/日 T: 摂取期間; 1週間程度=7日</p> <p>上記の3.08μSvは、7日間の摂取量のため、時間当たりの摂取量は $3.08 / (7 \times 24) = 0.018\mu\text{Sv/h}$ となる。預託実効線量であれば一年間の試算が必要?</p>
<p>換算したSvは時間当たりの数値にはなっていない。即ち、表1の実行線量換算係数で換算されたSv値は、体内に取り込んだ放射性物質が体内に存在している間に(つまり半減期も考慮して)人体に影響を及ぼすと考えられる総線量を意味する。 上記の1.554μSvは、1日の摂取量なので、時間当たりの摂取量は$1.554 / 24 = 0.065\mu\text{Sv/h}$となる。</p>	<p>◆ 放射能内部被曝線量の簡易計算ソフト紹介 (上記の◆印をクリックする) 手順は次の通り</p> <ol style="list-style-type: none"> ①「放射能」をクリック ②「放射能の内部被曝線量」で(経口)或いは(吸入)を選びクリック 必要に応じ、「外部被曝線量」も計算。 <p>http://keisan.casio.jp/</p>

飲食物摂取制限に関する指標①

食安発0317第3号 平成23年3月17日
放射能汚染された食品の取り扱いについて

核種	飲食物の種類	摂取制限に関する指標値(Bq/kg)
放射性ヨウ素 (混合核種の 代表核種:ヨウ素131)	飲料水	300
	牛乳・乳製品	
	野菜類 (根菜、芋類を除く)	2,000
	魚介類	
放射性セシウム	飲料水	200
	牛乳・乳製品	
	野菜類	500
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	
ウラン	乳幼児用食品	20
	飲料水	
	牛乳・乳製品	
	野菜類	100
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	

放射性物質の汚染については、食品衛生法に規定がないため、原子力安全委員会の「飲食物摂取制限に関する指標」を用いて、健康被害が出ないように暫定的に規制措置を決めている。(=暫定基準値)

<厚生労働省医薬食品局食品安全部長通達による>

注記:

暫定値以下であれば大丈夫というものではない。緊急事態ということで暫定的に止むなく設定したもので、本来は可能な限り低い値が好ましい。

「粗飼料」中の放射性物質の目安
(農水省)

肉牛用
放射性セシウム
300Bq/kg

出典: [サイト](#)

http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/c_minasama_2.html

飲食物摂取制限に関する指標②

食安発0317第3号 平成23年3月17日
放射能汚染された食品の取り扱いについて

核 種	飲食物の種類	摂取制限に関する 指標値(Bq/kg)
プルトニウム及び超ウラン元素のアル ファ核種 (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu , ^{241}Am , ^{242}Cm , ^{243}Cm , ^{244}Cm) 放射能濃度の合計	乳幼児用食品	1
	飲料水	
	牛乳・乳製品	
	野菜類	10
	穀類	
	肉・卵・魚・その他	

放射性物質の汚染については、食品衛生法に規定がないため、原子力安全委員会の「飲食物摂取制限に関する指標」を用いて、健康被害が出ないように暫定的に規制措置を決めている。