

# 放射能の単位

第4回帰還のリスク勉強会

2014年6月12日

三原 翠

# ベクレル

1秒間に何回崩壊したかを意味する

- 例えば、セシウム1ベクレルは、 $\beta$ 線と $\gamma$ 線がそれぞれ1本出たという意味。
- 従って、その放射線の出る頻度を表しているのであって、強さやエネルギーには関係しない単位。(同じ1ベクレルでも、 $\gamma$ 線と $\beta$ 線では影響が異なる)
- 例えば、ピストルか機関銃かミサイルか関係なく、発射の頻度を表しているだけ。
- 半減期と密接に関係

# グレイ

- グレイ Gyという単位はJ/kgであって、放射線のなすミクロな破壊作業を熱量に換算して判定するのである。熱量は完全にマクロな概念である。例えば、1グラムの水に1カロリーの熱を加えると温度が1°C上昇する、というのは、水に加えられた焔などの熱で水の分子の振動が激しくなり、その振動の激しさが徐々に水の全体に伝わっていく。この平均化された振動を“熱振動”といい、その激しさの度合を表しているのが“温度”である。Gyは放射線のミクロな破壊作業を、熱量に換算して数値化しているので、熱量としてはごく微量なものになってしまうのである。熱量は対象全体に行きわたり平均化する“熱振動”を表しているマクロな概念であり、放射線のミクロな破壊作業はいかに激しくても局部的なものであって、仮に一様に全体に行きわたらせると微量なものになってしまうのである。したがって、Gyを使用するときには、放射線のなすミクロな仕事を“熱量に換算している”特別な単位であることを知っていないと意味がない。

# グレイの説明

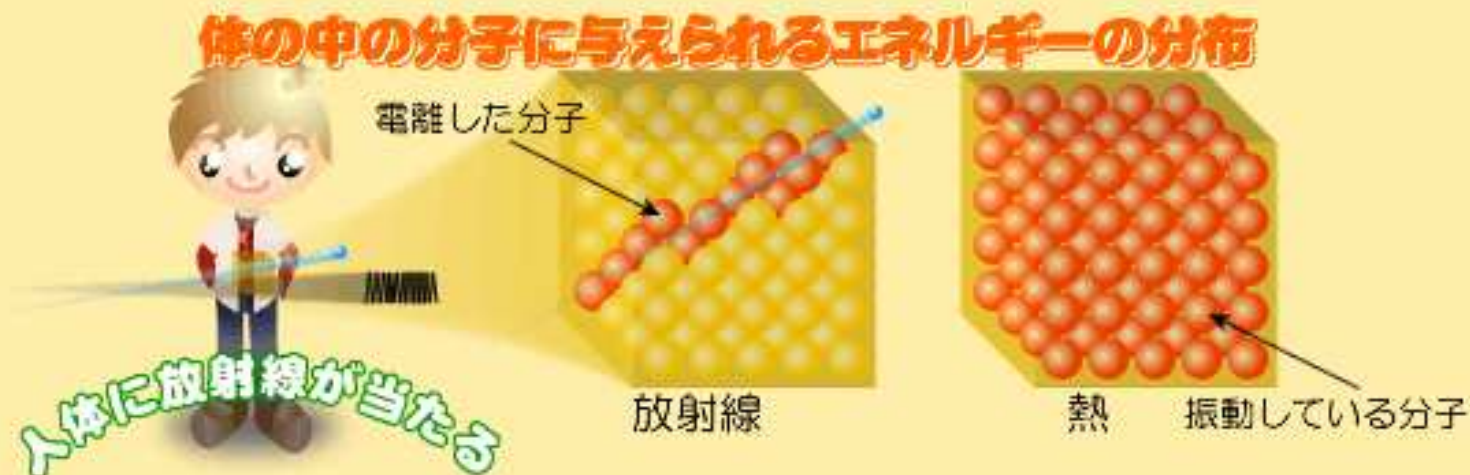
## グレイと吸収線量

放射線は、人に当たった場合、体の中の分子に衝突して電子を追い出す(電離)ことによって、分子にエネルギーを与え、化学変化を起こします。

人体1kgあたりに含まれる分子に与えられたエネルギー、すなわち人体1kgに吸収された放射線エネルギーを、**吸収線量**といいます。その単位がグレイです。

1グレイは、人体1kgあたりに吸収された放射線のエネルギーが1ジュールであることを表します。

$$1 \text{グレイ} = 1 \text{ジュール} / \text{kg}$$



熱による吸収エネルギーは、分子の熱振動によって周辺の分子に広がり暖めます。  
一方、放射線による吸収エネルギーは、分子の電離であるため、一部の分子にのみ高いエネルギーが与えられ、化学変化を起こします。

# グレイー2

- Gyは放射線のなすミクロな仕事をそのまま評価してはならず、それが仮に対象の全体に行きわたって平均化されたらどうなるであろうかという“熱量”に換算している。グレイ Gyによる放射線の照射数値化は、放射線の作用全体のからすれば、きわめて不十分な一面的なものである。それゆえにこそ、Gyをもとにして、照射対象によって異なる評価をつけて加えるシーベルト Sv という単位が必要とされるのである。
- 生体へ放射線が照射されて、その照射線量がグレイ Gyで測定される。グレイは生体の単位重量あたりの放射線のエネルギーを表しており、その放射線がアルファ線であろうがベータ線であろうが、区別していない。区別していないどころか、それらの放射粒子が体内でどのような働きをするのかについて、まったく何も考えていない。そして、考察している生体を構成するすべての物質粒子に平等にエネルギーが賦与される状態を想定した、極々“どんぶり勘定”のやり方なのである。

- アルファ線はプラスの電荷を2つもっており、ベータ線より7000倍以上重たい。ベータ線の電荷はマイナスで1つである。同一のエネルギーを持つアルファ線とベータ線なら、アルファ線は遅く、ベータ線は高速である。生体内部に入ったアルファ線は、ベータ線に比べて2倍の電荷を持ちながら“ゆっくりと”通過するので、近くにある生体の電子や分子結合を引きはがし・はね飛ばし・壊す効果が、すばやく通過するベータ線に比べて格段と大きい。通過しつつドンドン周囲を壊して、やがてエネルギーを失って止まる(止まったアルファ粒子は、近くの電子を2個とらえて、ヘリウム原子を構成すると考えられる)。(ここで扱うような)アルファ粒子は生体内で細胞3~4個分(数十ミクロン程度)ぐらいしか進むことができない。それぐらい激しく周辺の化学結合を壊すからである。
- それに対してベータ線はエネルギー損失が少なく、生体内でも数ミリメートルぐらいは進むと考えておいてよい(もちろん、初期エネルギーが小さければ進む距離は短い)。
- つまり、ガンマ線はほとんどエネルギーを他に与えず、通過している事になる。(影響が少ない)

# シーベルトの考え方

次に生体への影響がわかるようにするために、シーベルトが考えられた。

アルファ線とベータ線とを比べて、20倍の“影響”を与えることが分かったとすると、ベータ線を基準にして

$$\text{アルファ線の影響度} = \text{グレイ} \times 20$$

として、アルファ線とベータ線の影響度(危険度)を同じ尺度で扱うことができるようになる。これがシーベルト Sv という単位の発想。

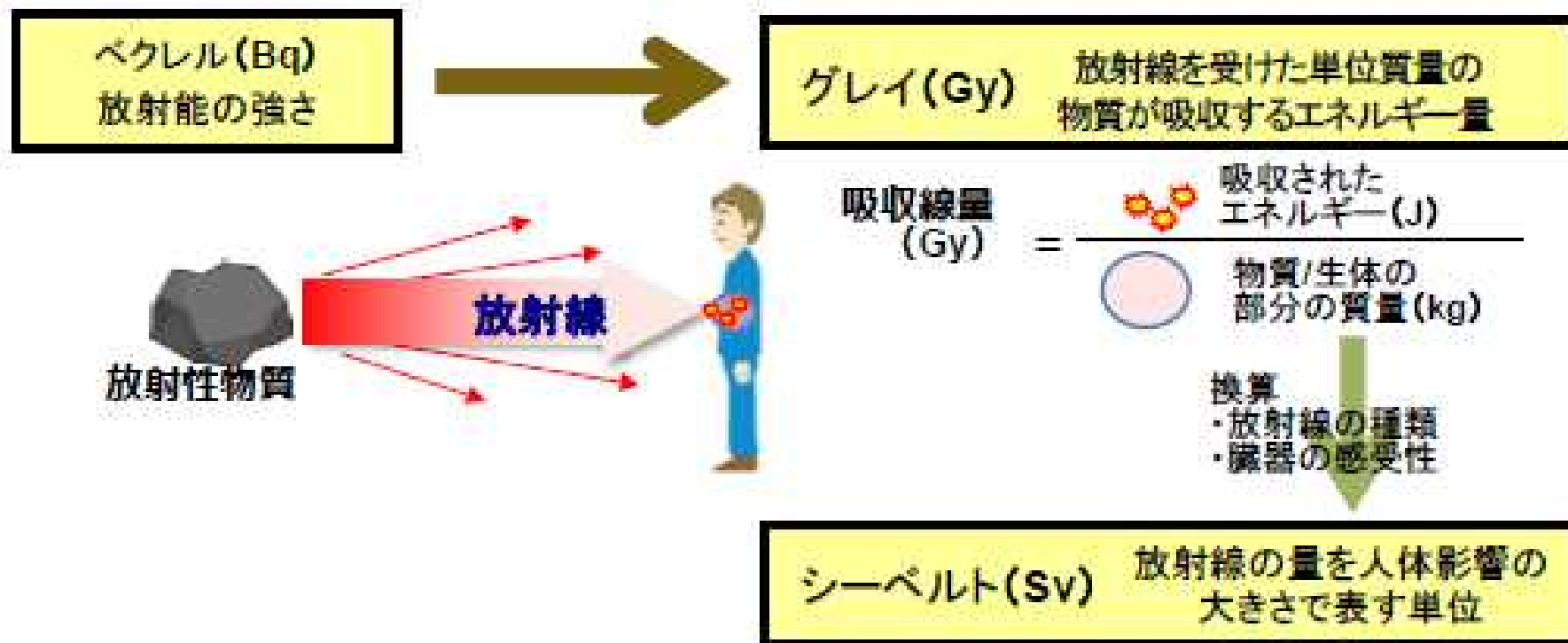
この係数を「生物学的効果比 RBE」(Relative Biological Effectiveness)という。放射線ごと、生体の部位ごとに各種のRBEを“経験的”に求めておき、シーベルト = グレイ × RBE

あるいは、異種の影響度を加え合わせるという考え方をする。

$$\text{シーベルト} = \Sigma (\text{グレイ} \times \text{RBE}) \quad \Sigma \text{ シグマは和の記号}$$

グレイには放射線の生体に対するミクロな効果の違いを取り込むことができないので、異質な効果の違いを単なる比率にして換算しよう、という乱暴な話である。相当怪しげな、“メノコ”の感じがするが、どうやらシーベルトというのはこういうものらしい。線量当量とも等価線量ともいう。

# ベクレル・グレイ・シーベルトの 基礎的情報説明図





- 当初、ICRPは、シーベルトに放射線の種類ごと、組織・臓器の感受性等を考慮に入れた荷重係数を考えていたが(1990年)、致死ガンについてのリスクのみとした。

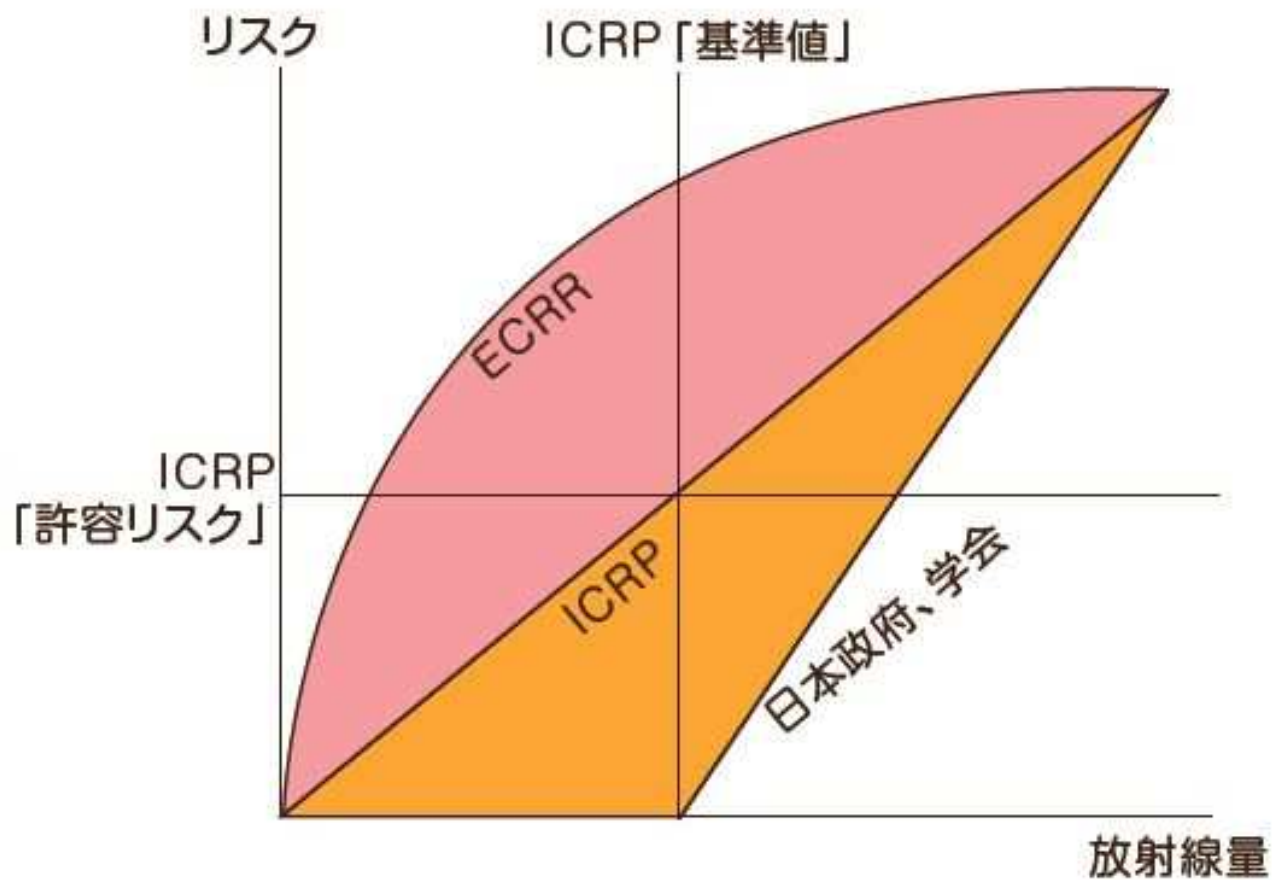
放射線の種類	荷重係数
X線、 $\gamma$ 線、	1
電子線( $\beta$ 線)	1
アルファ線( $\alpha$ 線)	20
中性子、陽子	5~20

- ECRR(欧州放射線委員会)は、当初の種々の加重係数を考慮する方法を採用している。

# ECRRの荷重係数

- 低線量領域の被ばくに対する生物学的危害係数  
被ばくのタイプを1. 外部急性、
    2. 外部延長(24時間で2ヒット(10~50)、
    3. 内部原子単一壊変(例、K)、
    4. 内部2段階原子壊変{20~50)、
    5. 内部不溶性粒子(20~1000)、内部重元素によるZ因子(2~2000)等
  - 特定の内部同位体生化学的強調係数
    - ・トリチウム(10~30)、
    - ・イオン性平衡カチオン例: K, Cs, Ba, Sr, Zn 界面イオン吸着による局所濃縮(2~10)、
    - ・DNA結合物例: Sr, Ba, Pu, Ra, U、DNAの一次、二次、三次構造の崩壊(10~50)
- 以下略

## 日本政府、ICRP、ECRRによるリスクモデルの違い



■ : ICRPが無視しているリスク

■+■ : 日本政府・学会が無視しているリスク

放射線量は核種の内容が分からなければ、シーベルトによる基準だけでは不十分である。更に、リスクモデルは個人の年齢、性別、遺伝、免疫、時期にも大きく左右されるので、基準値はあくまでも平均的な「目安」でしかない。

松井英介「内部被曝による子どもの健康障害」[月刊保団連 6, No. 1067](2011)

# ECRRとICRPの違い

- ECRRは、ICRPの内部被ばくの取扱において外部被ばくの結果に基づきリスク係数を使い、臓器単位のサイズで被ばく線量を平均化しているところを一貫して批判している。
- 例えばベータ線を考えれば、それはその飛跡周辺の細胞にしか影響を与えないにも関わらず、線量はkgサイズの質量で平均化されてしまう。ガンマ線による外部被ばくのケースにおける光電効果と同じではないか、と思われる向きも多いだろうが、ECRRはそれぞれの放射性同位体核種とDNAや酵素との親和性を問題にしている。細胞内のクリティカルな部分に近いところで発射されるベータ線やアルファ線に独自の荷重係数を掛けている。それによって疫学調査において出てくるICRPとの数百倍のリスクの違いを説明しようとする立場に立っている。
- ICRPの被ばくモデルはDNAの構造が理解される前に生み出されたものであるため、そこでは分子レベルでの議論や細胞の応答について議論する余地はない。単位質量当たりに吸収されるエネルギーの計算に終始するのみである。このやり方だとひとつの細胞に時間差で2つの飛跡が影響を与える効果を考慮に入れること、分子レベルでものを考えることが不可能になる。

## ECRRとICRPの違い-2

- ICRPのよって立つところは0.05 /Svというガンのリスク係数であり、それは疫学の結果である。その疫学とは広島と長崎に投下された原爆の影響調査であるが、ECRRはその調査が原爆投下から5年以上経ってから開始されていること、研究集団と参照集団の双方が内部被ばくの影響を受けていること、それらの比較から導けるのは1回の急性の高線量の外部被ばくの結果であるが、これを低い線量率の慢性的な内部被ばくに、すなわち異なる形態の被ばく影響の評価に利用することを批判している。
- 同じ非政府組織であってもECRRは「市民組織」であり、国連の科学委員会や国際原子力機関と連携しているICRPとは正確が異なる。ECRRのメンバーはチェルノブイリ原発事故の影響を旧ソビエト連邦圏の研究者らとともに明らかにしようとしているが、ICRPのメンバーは(例えば、ICRP2007をまとめた当時の議長は)チェルノブイリ原発事故で被ばくによって死んだのは瓦礫の片付けに従事した30名の労働者だけであるとの発言が記録され問題視されている。彼は子供の甲状腺がんについても認めようとしていなかったのだった。