

# 放射線と放射能について (その2)

一般財団法人 電子科学研究所  
辻本 忠

## 1. はじめに

原子力・放射線は新しい分野で、従来使われていた単位は国際単位系に属さない特別単位系と呼ばれている複雑なものであったが、1978年5月に国際度量衡総会の決議により国際単位系に統一される事になった。しかし、従来からの慣習で特別単位系を用いている国がまだ多い。さらに我が国においても多くの高齢者が放射線に従事している。これらの人達は特別単位系でなければピントこないと言う。このように放射線の関係者は国際的、年齢層等グローバル化されているので、日常使用している単位等の変更がたびたびおこなわれると社会的混乱が生じる。さらに、用語は短縮化され、それが流行する傾向がある。放射性同位元素の事を我々は「アールアイ」という、そして「RI」と書く。これは英語の Radioisotope の R と I を取ったものであるが、外国では通用しない和製英語である。

放射性同位元素の事を「RI」という  
これは和製英語である

かつて、中国で核実験が行われた。その時、多量の放射性降下物が日本に飛来した。その中に強烈な放射性物質の塊が含まれていた。これをジャイアンツパーティクルと言われている。命名者は巨人ファンの新潟大学の先生であった。当時の巨人軍（ジャイアンツ）は強かった（今も強いが）、そこで、強烈な放射性物質の事を、ジャイアンツパーティクルと名付けた和製英語である。これとよく似たものにホットパーティクル (hot particle) という用語がある。ホットパーティクルとは、アルファ線を放出する微粒子 (particle) の塊である。ジャイアンツパーティクルとホットパーティクルの使い分けが明確に行わないで使われている。ホットパーティクルは内部被ばくの時に問題になる。

ジャイアンツパーティクル  
と  
ホットパーティクル

福島第一原子力発電所事故に伴い多量の放射性物質が環境に放出された。こ

れら放射性物質（Cs-137、Cs-134）がスポット状に点在している。これをホットスポットと言う。Cs-137、Cs-134 はホットパーティクルではない。

ホットパーティクルの存在しているところが  
ホットスポットではない。

原子力・放射線は我が国では社会問題となり、マスメディア（mass media）が大きく取り上げる。マスメディアの情報は一方的に市民用語になり、いろいろな言葉が社会に氾濫していく。マスメディアが作った傑作は「死の灰」という言葉であると思う。アメリカがビキニ環礁で水爆実験を行った、その時、放射性物質を含んだ灰が漁船の上で操業していた久保山さんに降り注ぎ、久保山さんが亡くなられた。この放射性物質を含んだ灰の事をマスメディアは「死の灰」と名付けた。マスメディアは実に適格な名前を作るものである。

このように放射線・放射能に関連した用語や単位が氾濫し、混乱を招いているようである。そこで、基本的な用語・単位に群がるマスコミュニケーション（マスコミ）用語及び特別単位系等について整理を行った。間違っているところもあるかもしれないが、その時にはご指摘を頂ければ幸いである。前稿の「その1」では主として放射能、放射線の用語について述べた。本稿では「その1」では言い足りなかったところと単位について述べる。しかし、「その1」と重複するところがあると思うがその時にはご容赦いただきたい。

## 2. 放射線（radiation）

前稿の「その1」でも述べたが、昔は放射線という言葉はなかった。1955年（昭和30年）12月19日に原子力基本法が制定された。その時に中に放射線の定義が行われた（定義の内容については「その1」参照）。それまでは医療分野ではエックス（X）線又はレントゲン線、物理学の分野では輻射線という用語が用いられていた。放射線という言葉は非常に響きが良い、そのため、いろいろな分野で使われるようになった。ところが、原子力発電所等のトラブル等によって放射線に対する「イメージ」が悪くなり、医療関係では出来るだけ放射線という用語を使わないようになってきた。そして、昔のエックス（X）線という用語に戻りつつある。しかし、原子力基本法に関係する分野では法律により「放射線」が定義されているので使わないわけにはいかないのが現状である。「放射線」という言葉はやさしく、聞こえもいい、ところが放射能は重々しく、圧迫感があるので、マスメディアは人を引き付けるときには放射能という用語を用いる。そのため、放射線と放射能の区別なく使用されている。しかし、能と線の違いであるが、この両者は根本的に違う。放射性同位元素が崩壊する性質（能力）の事を「放射能」という、崩壊

により放出されるものが「放射線」である。そして、ある注目としている場を通過する放射線の数及び吸収された値を「放射線の量」又は「放射線量」という。その辺の区別が一般の人達及びマスメディアは明確に区分していない。原子力船（むつ）の放射線漏れの時もマスメディアは放射能漏れと放射線漏れを混在して報道した。この時は中性子線が容器の1部より漏えいしたもので、放射性物質（放射能）は漏れていない。

放射線を受ける事を「放射線被ばく」という。最近「被ばく」の事を「被曝」と書く人が多い。昔は「被ばく」、「被曝」、「被爆」の違いをよく教えられたものである。これらは全て「ひばく」と読むが意味が違う。「被爆」とは原子爆弾などにより爆撃を受けることである。爆撃を受けた後に放射性物質の含まれた黒い雨が降る事が多い。この黒い雨を受けた者は放射性物質に曝（さらされる）ので被曝という。原子爆弾の投下によって周囲の建物等が放射化された。これらの建物より放出する放射線を受けたる時を被ばくという。最近ワープロの普及により「ひばく」と打てばすぐに「被曝」と出てくるので、放射線を受けた場合でも被曝と書く人が多い。被ばくと被曝は定義が違う。

放射線と放射能の関係を光と比較して説明する事が多い。放射能とは電球のワット数で、放射線は電球に照明された場所の明るさに相当する。

放射線に被ばくした  
放射性物質に被曝した  
原子爆弾に被爆した

### 3. 放射能 (radioactivity、activity)

原子番号が同じで質量数の異なる元素を同位元素 (isotope) 又は同位体という。最近同位元素という言葉を使用する事が多い。この同位元素の核種が不安定性で崩壊 (壊変) を起こして別の元素になるものを放射性同位元素 (radioisotope) という。この崩壊という言葉も昔は壊変と言われていたが、最近崩壊という言葉を用いる事が多い。さらに放射性同位元素を含む物質を放射性物質 (radioactive Substance) という。放射性同位元素が崩壊して、別の元素になる現象を放射性崩壊 (radioactive decay)、放射性崩壊をする性質 (能力) のことを放射能 (radioactivity、activity) という。放射性同位元素が崩壊をする時に放射線を放出する。そのため、放射能とは放射線を放出して別の元素になる能力やその性質のことをいう。

放射性同位元素が崩壊する数及び割合を「放射能の強さ」という。放射能の強さは注目している物質中に含まれているその放射性核種の量と半減期により決

まる。しかし、最近「放射能の強さ」の事を単に「放射能」と言う事が定着しつつある。このように間違った使い方をされていても、いつの間にかそれが正しい言葉になってしまう。いく。JIS も時の流れに勝てないようで「放射能の事を」次のように定義している。

#### 放射能とは

1. 放射性崩壊を起こす性質をいう
2. 単位時間当りに生ずる原子核の自然的崩壊の数

#### 4. 放射能の単位

放射能の単位として、従来は、キュリー (Ci) が用いられていたが、国際度量衡総会の決議を受けて、ベクレル (Bq) という単位に変わった。そして、従来の単位キュリー (Ci) は、補助単位として使用されている。外国ではいまだ補助単位を使用している国が多い。

1 ベクレル (Bq) とは、毎秒 1 個の壊変数 (disintegration per second: dps) として定義されている。補助単位の 1 キュリー (Ci) は 1g の  $^{226}\text{Ra}$  の毎秒の壊変数  $3.7 \times 10^{10}$  により定められたものである。そのため、1 キュリー (Ci) は  $3.7 \times 10^{10}$  ベクレル (Bq) に相当する。しかし、中性子源などの場合は粒子放出率という単位を用いる。言い換えると、放射能の場合は放射性同位元素が崩壊する数及び割合のことで、放出する放射線の数ではない。これに対して中性子線の場合には単位時間あたりに放出する粒子の数 (/s) で定義されている。

#### 放射能の強さ ( $\text{Bq} = \text{s}^{-1}$ )

$$(1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq})$$

放射性同位元素が単位時間あたりに壊変する数

#### 中性子放出率 ( $\text{s}^{-1}$ )

中性子源より単位時間あたりに放出する中性子の数

#### 5. 放射線の単位

「放射能の強さ」は発生源の強さであるのに対して「放射線の強さ」はある注目している場を通過した放射線の数または物質が吸収した量 (吸収量) を表すものである。吸収量には電離量、発生イオン対数、吸収エネルギーなどがある。場を通過する放射線にはいろいろな種類がある。さらにこの放射線が場における相互作用の仕方が違う。そのため、単位はシーベルトであるが、表している定義が違うので、単純に比較できない。これが放射線の単位を複雑にしている。

第二次世界大戦 (太平洋戦争) 末期の 1945 年 (昭和 20 年) 8 月 6 日に広

島に原子爆弾が投下された。京都大学の研究者はこの新型爆弾の調査のため手製の GM サーベイメータ（当時はガイガーカウンターと言われていた）を持参して広島に出かけた。その当時の放射線測定器と言え研究室で簡単に作れる GM サーベイメータしかなく、で、日本には京都大学の物理学教室に 2 台しかなかったと言われている。

1954 年にビキニ環礁で水爆実験が行われた。放射能により汚染された第五福竜丸から水揚げされたマグロが大坂中央市場に入荷された。この時、大阪市立大学の西脇安先生が GM サーベイメータを用いて、放射線の計数率を基に放射性物質に汚染されたマグロの廃棄処分の判定をおこなった。その当時は廃棄基準値というものがなく西脇先生の判断にゆだねられていた。GM サーベイメータの表示はカウントパーセック (C・P・S) で GM 計数管に入った放射線の数を表したものである。

これが 60 年前の放射線の単位で、非常に単純で明快な単位であった。ところが、その後、放射線による人体影響に関する研究が進み、放射線の単位も急激に複雑になってきた。それに比例して放射線の測定器も進歩してきたが、我が国で用いられている測定器の表示は mSv/h が多い。そのため、同じ mSv/h であっても何を測定しているのかを理解していなければならない。以下、代表的な単位について述べる。

#### 5. 1 粒子フルエンス (particle fluence) $\phi$

粒子フルエンスとはアルファ線やベータ線などの粒子線がある場所を通過する数を表すものである。ガンマ線及びエックス線の場合は次節の照射線量を用いる。粒子フルエンスとは単位面積の円を通過する粒子線の数である。単位時間当たりの粒子フルエンスを粒子フルエンス (率) という。

粒子フルエンス  $\phi$  ( $\text{m}^{-2}$ )  
照射場の単位面積を通過する電離能力のある粒子の数  
粒子フルエンス (率) ( $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
単位時間当たりの粒子フルエンス

#### 5. 2 吸収線量 (absorbed dose) D

吸収線量とは、放射線がある物質に吸収されるエネルギーの量を表すもので、単位はグレイ (Gy) である。1 グレイは物質 1kg あたりに 1 ジュール (J) のエネルギーを吸収した場合を言う。補助単位では、物質 1g 中 100 エルグ (erg) のエネルギーを吸収した場合を 1 ラド (rad) で表わした。そのため、1 グレイ (Gy) は 100 ラド (rad) に相当する。

吸収線量  $\text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$   
(1 rad = 0.01 Gy)  
放射線の照射によって物質の単位質量あたりに吸収されるエネルギーの量

### 5. 3 カーマ (Kerma) K

カーマとは、ガンマ ( $\gamma$ ) 線、エックス (X) 線、中性子線等の非荷電粒子が物質内で反応を起こし、非荷電粒子によって生じた2次荷電粒子の初期運動エネルギーの和を、物質の質量で割った量である。荷電粒子の平衡が成り立ち、再び非荷電粒子が生ずる反応(制動放射等)を無視できる場合には、カーマは吸収線量に等しくなる。

カーマ Gy  
非荷電粒子の一次効果によって物質の単位質量あたりに  
発生する荷電粒子の運動エネルギーの総量

### 5. 4 照射線量(exposure)X

照射線量とは放射線(X線およびガンマ線)が空気中を通過する事により生じる電離の量を表すもので、単位は空気1kg中の電離量をクーロンで表したものである。補助単位では標準状態(0°C、760mmHg)の乾燥空気1cc中に1esu発生した場合を1レントゲン(R)と定義した。これを国際単位系に直すと $2.58 \times 10^{-4}$ クーロン(C)/kgになる。

一方、照射線量は、空気に対する吸収線量であるので、グレイ(Gy)とレントゲン(R)を比較すると1レントゲン(R)は8.7ミリグレイ(mGy)になる。

照射線量 ( $C \cdot kg^{-1}$ )  
( $1 R = 2.58 \times 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$ )  
1 (R) = 8.7 (mGy)  
光子によって単位質量あたりの空気中に  
生成される正または負の電荷量

### 5. 5 放射線防護の単位

放射線防護に用いられている単位はさらに複雑である。単位はシーベルトであるが、目的によって定義が異なる。放射線に対する人体影響は放射線の線質によっても、放射線を受けた臓器の種類によっても変わる。放射線の線種が同じで、全身に均等に放射線を受けた場合は吸収線量(グレイ)に等しくなる。しかし、放射線の線質<sup>1</sup>が違う場合にはその影響が違う。さらに、放射線を吸収した部位の違いによってもその影響は異なる。

特別単位系ではレム(rem)という単位が用いられていた。国際単位系と比較すれば、1シーベルト(Sv)は100レム(rem)になる。

(1) 等価線量(equivalent dose)  $H_T$

等価線量とは各組織・臓器の局所的な被ばく線量を表すものである。この場合、組織・臓器に対する放射線に対する障害は吸収線量だけではなく、放

射線の種類とそのエネルギーにも依存する。そこで、各組織・臓器に対する吸収線量に放射線の種類とエネルギーに対して決められた放射線加重係数 ( $W_R$ ) (radiation weighting factor) を掛けたものを等価線量という。単位はキログラム当たりのジュールで、これをシーベルトという。等価線量は確率的影響に用いられるもので、同じ臓器の確定的影響を問題にする場合には臓器吸収線量 (Gy) を用いる。組織・臓器 (T) について平均された放射線 R に起因する吸収線量を ( $D_{T,R}$ ) とすると等価線量は下記のようなになる。

$$\text{等価線量}(H_T) = \sum \{ \text{放射線加重係数}(W_R) \cdot \text{吸収線量}(D_{T,R}) \}$$

### (2) 実効線量 (effective dose) E

放射線に対する人体内の組織・臓器の感受性及び発がんリスク等は組織・臓器によって異なる。これらを組織・臓器毎に考察した係数を組織加重係数 ( $H_T$ ) という。実効線量とは等価線量に各組織・臓器毎の組織加重係数をかけた値の総和を表すものである。単位はシーベルト (Sv) である。

$$\text{実効線量 } E = \sum \{ \text{等価線量}(W_T) \cdot \text{組織加重係数}(H_T) \}$$

### (3) 線量当量 (dose equivalent) H

実効線量はすべての組織・臓器を直接測定し評価しなければならない、これは現実的ではない。そこで、直接測定が出来る代表的な組織、組織を用いて、全ての組織・臓器を代表させたものが線量当量である。代表的な組織・臓器の評価には皮膚表面からの深さによって決められている。皮膚表面からの深さが  $70 \mu\text{m}$  の時を  $70 \mu\text{m}$  線量当量、 $3 \text{mm}$  の時を  $3 \text{mm}$  線量当量、 $1 \text{cm}$  の時を  $1 \text{cm}$  線量当量という。 $70 \mu\text{m}$  は皮膚の基底層、 $3 \text{mm}$  は眼の水晶体、 $1 \text{cm}$  はその他すべてを対象とする線量当量に当てはめる。2001年の改正法令施行により  $70 \mu\text{m}$  線量当量と  $1 \text{cm}$  線量当量のみが測定対象となった。これは実務上、 $3 \text{mm}$  線量当量が他の二者の大きい方を超えないためである。

$70 \mu\text{m}$  線量当量: 皮膚の基底層

$3 \text{mm}$  線量当量 : 眼の水晶体

$1 \text{cm}$  線量当量 : 上記以外の線量当量