

## 放射線の測定について

### はじめに

- 本解説では、現在行われている放射線・放射能の測定に用いられている、代表的な測定器について説明をしています。報道等で示されている値について、ご理解いただけたら幸いです。
- 放射線の測定には、その特徴や目的によって測定器を選ぶ必要があります。またそれぞれの測定器によっても取り扱いが異なってきます。そのため、ご自身で測定を行われる際には、取り扱い説明書や専門家のアドバイスに従い、正しくお使い下さい。

- 本解説は、平易な表現となるよう記載しております。
- より正確な、また詳細な情報を求められる場合には、以下の関連サイトなどを参考にさせていただけたらと思います。
  - 原子力百科事典 (<http://www.rist.or.jp/atomica/>)
  - 放射線医学総合研究所・放射線Q&A (<http://www.nirs.go.jp/rd/faq/index.shtml>)
  - 日本原燃株式会社・放射線について (<http://www.jnfl.co.jp/radiant-env/index.html>)
  - 日本アイソトープ協会 (<http://www.jrias.or.jp/index.cfm/1,html>)
  - 高エネルギー加速器研究機構 (<http://rcwww.kek.jp/kurasi/>)

## 放射能とは？放射線とは？

- 放射能とは？
  - 放射線を出す能力があることを言います。その放射線を出す物質を放射性物質と言います。放射能の強さを示す単位はBqです。これは、1秒間に放射性物質がどれくらい崩壊するかを示しています。放射性物質は、崩壊する際にベータ線やガンマ線といった放射線を放出します。
  - ただし、現在ニュース等に使われている「放射能汚染」など、放射性物質を含めて放射能と言われていることもあります。

## 放射線と放射能の関係

放射能と放射線の関係は、昔のフラッシュ用電球(使い切り)と光にとえられます。放射能とは、フラッシュが点く個数を表し、放射線はそこから出る光と考えることができます。

Cs-137やI-131は、一度崩壊すれば、安定な元素に変化します。このように、時間が経てば、どんどん放射能が減っていきます。「半減期」とは、もともとあった放射能が半分になる時間をいいます。Cs-137の場合は約30年、I-131の場合は約8日で、この値は放射性物質によってそれぞれ決まっています。

放射線の線量は、ある場所における光の強さにたとえられます。ですので、放射能がある場所から離れれば、放射線の線量は低くなります。



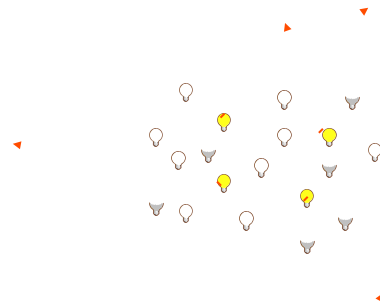
崩壊前の放射性物質



崩壊中の放射性物質



崩壊後(安定な物質に変化)



## Cs-137とは？

Cs-137は、崩壊する際にベータ線を放出します。またそれと同時に、ガンマ線も放出します。I-131も同じです。

ガンマ線



ベータ線

## 放射線とは？

### • 放射線とは？

- 私たちが放射線と呼んでいるものの種類としては、ガンマ線、ベータ線、アルファ線、中性子線などがあります。放射線の種類やエネルギーによって物質を通り抜ける力が異なりますが、最終的には物質に吸収され消えてしまいます。
- ベータ線はエネルギーを持った電子のことを言います。マイナスの電気をもっており、原子とぶつかりながら、そのエネルギーを失っていきます。
- アルファ線も、質量や電気を帯びていますが、ベータ線よりも重く(約七千倍)、ベータ線よりも短い距離で止まってしまいます。
- ガンマ線はエネルギーの高い光で、物質を通り抜ける力(透過力)が強い放射線です。ガンマ線は、原子とぶつかって電子を放出させます。

## 主な放射線の性質

ベータ線

- ◻ ベータ線(高いエネルギーを持った電子)は、まわりの物質とぶつかりやすい性質があります。ぶつかりながら、そのスピードを落としていき、最後には放射線としての性質は消えてしまいます。

Cs-137からのベータ線などは、アルミ板2 mm程度で完全に吸収されます。

ガンマ線

- ◻ ガンマ線は、物質を通りぬける力が強い放射線です。光と同じ性質で、異なることはそのエネルギーが高いことです。飛んでいる最中は、物質とぶつからない(エネルギーを落とさない)ため、人体への影響など悪さはしません。物質とぶつかった場合、玉突き原理で電子をたたき出します。この電子はベータ線と性質は同じになり、このたたき出された電子が人体へ影響を及ぼすことになります。

- このように放射線の種類によって性質が異なることから、被ばく量の測定、また放射能の測定をする際には、それに合わせて測定器を選ばなくてはなりません。

## 最近話題になっている単位について

- Sv(シーベルト)とは？

- 放射線による人体への影響を示す単位として「シーベルト」があります。それぞれの臓器に対してどれくらい放射線の影響があるかを示した値として「等価線量」、また全身の被ばく量を示す値として「実効線量」があります。これらの値はどちらも「シーベルト」で表されています。しかしこれらの値は実際に測定することが不可能です。
- そこで測定できる量として、「場の放射線量(周辺線量当量など)」や「個人の受ける放射線量(個人線量当量)」がICRUによって定義されました。これらの値は、「等価線量」や「実効線量」を安全側に評価(過大評価)する量で、単位は同じ「シーベルト」です。現在使われているサーベイメータや個人線量計などは、これらの値を示すように作られています。

- 外部からの放射線によって被ばくすることを「外部被ばく」、放射性物質を体内に取り込み、それによって被ばくすることを「内部被ばく」といいます。どちらも同じ「シーベルト」で表されます。
- $1 \text{ Sv(シーベルト)} = 1000 \text{ mSv(ミリシーベルト)}$   
 $= 1000000 \text{ }\mu\text{Sv(マイクロシーベルト)}$  となっています。
- $\mu\text{Sv/h(毎時マイクロシーベルト)}$  という単位は、1時間そこにいた場合に受ける被ばく量を示しています。

- Bq(ベクレル)とは？

- 放射性物質が放射線を放出して壊れることを放射性崩壊といいます。Bqは、「一秒当たりに起こる崩壊の数」を表しています。主な崩壊の種類には「ベータ崩壊」(ベータ線を放出)、「アルファ崩壊」(アルファ線を放出)があり、ガンマ線の放出を伴うことがあります。
- ベクレルに関連した値として、「Bq/cm<sup>2</sup>」や「Bq/kg」などがあります。「Bq/cm<sup>2</sup>」は、1 cm<sup>2</sup>あたりにどれくら放射性物質が付いているか、表面汚染の割合を示している値です。「Bq/kg」は、食品や水など物質1 kgあたりにどれくらい放射性物質が含まれているかを示している値になります。

## 放射線測定器の種類

- 放射線を測定する機器は、その測定の目的によって様々な種類があります。何を測定したいのかによって、測定器を選ぶ必要があります。ここでは、大きく3つに分けて説明します。
  - 外部被ばく(ガンマ線による)を測定する機器
    - 外部被ばくは、文字通り外からやってくる放射線によって被ばくする量を測定する機器です。外部被ばくで問題になるのは、透過力の強いガンマ線になります。(ベータ線は空気や衣服、皮膚表面でほとんど吸収されてしまうため)
  - 内部被ばくを推定する機器
    - 内部被ばくは、体内に取り込んだ放射性物質の量によって決まります。そこで体内にどれくらい放射性物質があるか測定する機器になります。
  - 放射能(ベクレル)を測定する機器
    - 表面に着いている放射性物質を測定する場合には、そこから放出されるベータ線を測定する機器を使います。また食品中など物質中に入っている放射性物質の量を測定する場合は、放出されるガンマ線を精度よく測る機器を使う必要があります。

## ガンマ線の外部被ばく(Sv)をはかる機器

放射線防護の観点から、線量測定に用いられる機器は、以下のように分類できます。

### 1. 環境の線量を測定する機器

- A) サーベイメータ(持ち運びできるもの)
- B) モニタリングポスト(通常は据え置き)

### 2. 各個人が受ける被ばく量を測定する機器

- A) リアルタイム個人線量計
- B) 積算型個人線量計

## 主なサーベイメータの種類

- サーベイメータは持ち運びがしやすいように小型化された放射線検出器です。基本的な検出原理は、実験室にある本格的な検出器と同じです。
- ガンマ線を測定するためには、光子が検出器と相互作用して生じた何らかの粒子を、最終的に電気信号に変える必要があります。この仕組みの違いにより、以下の1-3に示すような異なった種類のサーベイメータがあります。仕組みが違くと、検出の得意な部分も異なってきます。

1. 電離箱式サーベイメータ
2. GM(ガイガーミュラー)管式サーベイメータ
3. シンチレーション式サーベイメータ

## 電離箱式サーベイメータ

- ガンマ線は、空気を電離するので、電離によって作られたイオンを信号として取り出せば放射線を検出できるはずです。
- ガンマ線によって作られたイオンを中心電極で収集し、その電流を測定することによって線量を評価します。
- 測定範囲は検出器によりますが、 $0.1 \sim 1 \mu\text{Sv/h}$ 以上で使用可能です。
- 正確な線量評価が可能です。



## GM管式サーベイメータ

- 電離箱より中心電極と壁材の間に高い電圧を加え、放射線が通ると放電が起きるようにしておきます。この放電によるパルスを計測することにより測定します。
- 電離箱よりも制作が容易なため、安価で広く普及しています。
- 高い計数率になると、見かけの計数率が落ちてしまうのが欠点です。
- エネルギー特性が悪く正確な線量評価が難しいのが欠点です ( $0.1 \mu\text{Sv/h}$ 以上で使用)。





## シンチレーション式サーベイメータ

- シンチレータと呼ばれる物質は、放射線と反応して微弱な光(シンチレーション光)を発します。このシンチレーション光を光電子増倍管によって電流に変換し、得られたパルス電流を計数することによって放射線を測定します。
- ガンマ線のエネルギーが大きいほどシンチレーション光の光量も多くなります。つまり、エネルギーに応じてパルス電圧の大きさが異なるため、これを利用してエネルギー補正により正確な線量評価を実現しています。
- 感度が高く(0.01 $\mu$ Sv/h以上)微少な放射線線量測定に有効です。
- 高線量では測定できない(数十 $\mu$ Sv/hまで)のが欠点です。



## モニタリングポスト(設置型)

- 原子力発電所近くなどに設置されています。
- 検出器は、NaI(Tl)シンチレーション式と電離箱式線量計のコンビネーションが一般的です。
  - シンチレーション式は高感度(環境中の放射線レベルが安定して測定可能)、電離箱式は非常時の高線量測定用として使用されます。
- 原理は前述したサーベイメータと同じです。
- 遠隔でリアルタイムの測定結果の取得が可能です。

## モニタリングポスト



## 個人線量計(1) リアルタイム線量計

- 個人が被ばくする線量計測に用いられます。
- 積算値を表示するもの、また積算値とその時の線量率を表示するものがあります。
- 検出部は一般的に半導体検出器が用いられます。(Si半導体)
- シンチレーション式サーベイメータのように、パルス計測によって線量が表示されます。



## 個人線量計(2) 積算型個人線量計

- ある種のガラスに放射線を照射した後、紫外線を当てると発光が起きます。この現象はラジオフォトルミネッセンスと呼ばれ、この性質を用いた線量計は蛍光ガラス線量計(ガラス線量計)と呼ばれます。
- 広い測定レンジ(10 $\mu$ Sv~10Sv)を持ちます。
- 通常、1ヶ月~3ヶ月間衣服の胸などに装着し、その間に被ばくした線量が測定できます。
- 放射線業務従事者が業務中に受け取る線量を評価するために用いられます。



## 内部被ばくを評価するための測定器

- 内部被ばくを評価するために用いられる測定器として、「ホールボディカウンタ」があります。これは体内に取り込んだ放射性物質の種類と量を推定するために用いる機器です。検出器はNaI(Tl)シンチレータなどが用いられます。
- 測定時における体内の放射能の量を測定することができます。
- 取り込んだ時から時間が経過していると、その間に放射性崩壊が起きたり、生理学的な代謝によって放射性物質が体外に排出されたりするため、測定だけでは正確な内部被ばくの総量を評価することができません。そのため、その人がどのような行動をして放射性物質を取り込んだのかなどを推定して内部被ばく量を評価する必要があります。

## ホールボディカウンタ



## 放射能(Bq)をはかる機器

- 物質中(水や食品など)の放射能濃度をはかる機器として「Ge(ゲルマニウム)半導体検出器」があります。精度が高く、微少な量の測定も行うことができます。
- 物質表面に放射能が付いている場合は、「表面汚染測定用サーベイメータ」を使います。

## Ge(ゲルマニウム)半導体検出器



- 放射性物質から放出されるガンマ線を測定します。放射性物質の種類によって、放出されるガンマ線のエネルギーは異なります。この検出器は、ガンマ線のエネルギーを感度良く測定することができるため、どのような放射性物質があるか、またどれくらいあるか測定することができます。
- 自然界には、カリウム40などの放射性核種が存在します。微小な放射性物質を検出する際には、これらの影響を取り除く必要があります。このため、通常、ある物質中に含まれる放射能を測定する際には、写真にあるような遮蔽鉛の中で測定を行います。
- Ge半導体検出器で測定を行うためには、Geの結晶を冷却する必要があります。その目的に、通常は液体窒素を用います。現在では電氣的に結晶を冷却する装置も存在します。

## 表面汚染サーベイメータ



- 表面汚染測定用のサーベイメータは、GM管式やシンチレーション式などがあります。
- 表面汚染の測定は、放射性物質が放出するベータ線やアルファ線を測定して、どれくらい放射性物質が表面に付着しているか測定するものです。検出部の入射窓は薄くてできていて、ベータ線などの透過力の弱い放射線を測定できるように設計されています。このため、入射窓は非常に破れやすく取扱いには注意が必要となります。また、通常、検出領域を大きくするために、検出部が大口径に設計されています。
- Ge半導体検出器と異なり、どの放射性物質があるかどうかを特定することはできません。よって、通常は放射性物質の種類がすでに分かっている場合や簡易的な測定に用います。
- 同じサーベイメータでも、表面汚染用に設計されているもの、また空間線量である“Sv”を測定するものがありますので、取り扱う場合には注意が必要です。

## サーベイメータを使う場合の注意点！

- 特にガイガーミュラー(GM)サーベイメータですが、表面汚染(測定単位はcpm)と空間中の線量(測定単位はSv)の両方が測れるというものがあります。
- 表面汚染を測定する場合には、放射性物質から放出されるベータ線を測定することになります。空間線量を測定する場合には、ガンマ線を測定することになります。
- ベータ線が検出器に入るためには、薄い窓でないと検出部まで到達しません。そのためキャップなどを外して使用する必要があります。
- 一方空間線量を測定する場合には、ガンマ線のみを測定する必要があり、キャップでベータ線を遮へいしないと余計な信号が検出部に入ることになり、正しい線量を測定することができません！

## 測定値の信頼性について

## きちんと測れているのか？

- 校正されているか？
  - 放射線の測定器は、“校正”を行い、初めて正しい値を表示します。これは、時計、ものさし、はかりなどと同じです。例えば、時計が正しい時刻を示すためには、定期的に標準時刻と合わせることが必要となります。放射線測定においても、作製時及び定期的に標準となる値と比較することで検出器が示す値が正しいかどうかを担保します。この校正は、製品の種類だけでなく検出器毎に行う必要があります。(参照：[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/rad-accur/index.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/rad-accur/index.html))
- 目的にあった測定器を選んでいるか？
  - これまでに紹介した通り、放射線の測定器は、その測定の用途によって様々な種類があります。目的に合った測定器でなければ、知りたい量を正確に測定することはできません。
  - たとえば、GM管は、どのようなエネルギーのガンマ線が入っても、“1”カウントと出力します。一方、線量はガンマ線のエネルギーに依存します。よって、本来、GM管は線量の測定には適しません。ただし、測定器の校正に用いたエネルギーのガンマ線のみが入る状況においては、正しい線量を測定することができます。

- 正しい使用方法で測定しているか？
  - 一部のサーベイメータは、表面汚染(Bq)と空間線量(Sv)の両方が測定できる場合があります。ただし、それらを測定するにはキャップを取り付けるなどの正しい使用方法でないと正確な値が測定できません。(例：<http://www.hitachi-aloka.co.jp/products/data/radiation-002-TGS-131-PS-1202>)
  - 測定器自身が放射性物質に汚染している場合、正しい測定はできません。食品用のラップ等で有感部を包むことは、有感部が汚染しないようにする有効な手段です。
  - 測定器には方向依存性があります。つまり、検出器に正面から入射する放射線と、後方から入射する放射線は、ほとんどの検出器で出力する値は異なります。先に述べた校正では、放射線が入射する方向性についても行われています。特に、個人線量計ではどの面を体側にするかが決められています。正しく装着しない場合、正しい測定が行われません。

- 測定条件を統一しているか？
  - 同じ場所を複数の人が同じ検出器で測定した場合でも値が異なる場合があります。これは、測定条件が統一されていないために起こると考えられます。例えば、空間の線量を測定する際には、地表からの距離、検出器の向きを統一する必要があります。また、測定器を複数の人で取り囲むことで、それらの人が放射線を遮蔽し、過小評価につながることも考えられます。
- 測定値はばらつきます！
  - 放射線はランダムに放射性物質から放出されます。また、検出器に入射する放射線が検出器で検出されるかは、検出器の種類や放射線の種類、エネルギーによって、測定の確率が異なります。よって、放射線がたまたま検出されたり、されなかったりと、同じ場所を測定しても表示値がばらつきます。正確な値を測定する場合には、一定間隔で何回も測定し、その平均値をとる必要があります。