

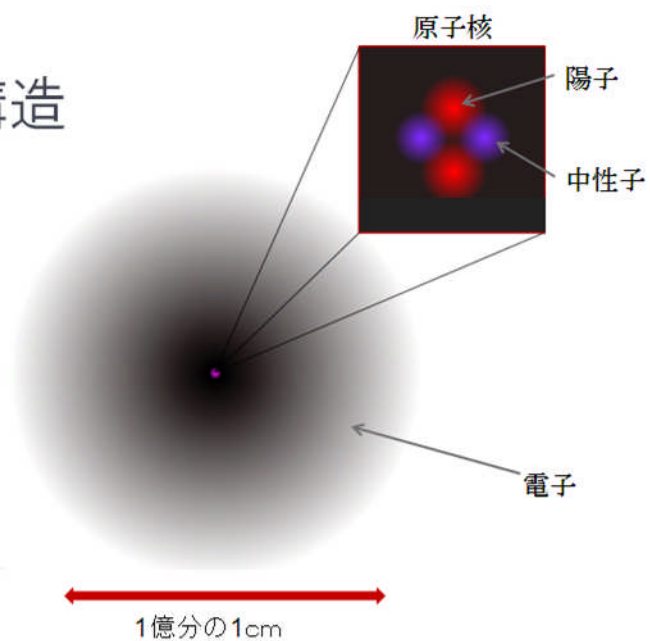
放射線とは

国民保護共同訓練に関する医療従事者向け研修会

2010年11月

放射線医学総合研究所
緊急被ばく医療研究センター
鈴木敏和

原子の構造



最初にまず原子の構造ですが、この長さが1億分の1センチです。

原子

- 電子の運動範囲が原子の大きさであり、原子核をゴルフボールとすれば、国立競技場に相当する
- 原子核はプラスの電荷を持ち、マイナスの電荷を持つ電子と中和している
- 原子核は中性子と陽子から成り、原子の質量の大部分を占めている
- プラス電荷の陽子同士がバラバラにならないのは中性子のおかげである

原子というのは、例えばゴルフボールを考えていただくと、ゴルフボールが真ん中であって、大体国立競技場の大きさ全体に霧のような電子が回っているというのが基本的な原子の構造で、中はすかすかです。そして原子核の中は陽子と中性子というものがぎっしり集まっているイメージでとらえていただければ結構だと思います。

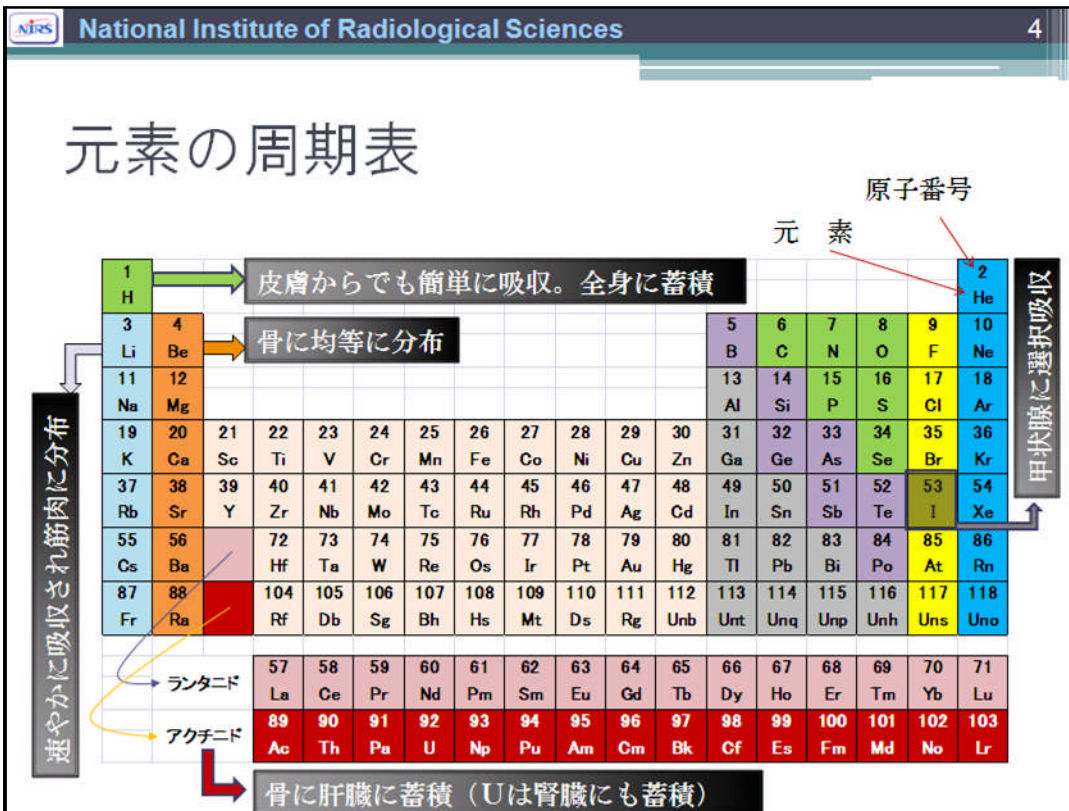
すなわち電子の運動範囲が原子の大きさなんですね。そして原子核を先ほど申し上げましたゴルフボールとすれば、国立競技場に相当する大きさが原子の大きさになります。それぐらい原子核と原子の大きさの違いはあります。

原子核はプラスの電荷を持っています。そして電子は当然マイナスですから、全体として中和されているという形になります。

先ほど図をお見せしましたように、原子核は中性子と陽子から成っていて、真ん中にぎっしり集まっているということですね。そして原子の質量の大部分はこの原子核が占めています。

その原子核は、先ほどの図に戻りますと、陽子はプラスなんですが、これがばらばらにならないのは、のりのように中性子がくっつけているとお考えいただければ結構です。

いずれにしろ、本当に真ん中に点のようにあって、周りに電子の霧のような雲があるというものでございます。



これは原子の周期表、皆さんは十分ご承知だと思いますが、原子番号に準じて1から番号がついていて、それに対応して元素が示されています。

ここで覚えていただきたいことはこの表ではなくて、縦の列を見ていただきたいのですが、ここはアルカリ金属と称する部分です。ここにある元素は、ほぼ同じような挙動をする。

例えばここにカリウムがあります。カリウムは大部分が筋肉中に含まれているのですが、もう1つセシウムという物質があります。放射性物質のある意味で代表的なものですが、カリウムと同じアルカリ金属に属しております。すなわちカリウムとセシウムは同じような挙動をする。すなわちセシウムも筋肉にたまるという意味です、縦の列ですね。

それから隣の列がアルカリ土類金属です。ここにカルシウムがあります。当然カルシウムは骨に分布いたします。同じようにこの列にストロンチウムやラジウムがあります。すなわちストロンチウムやラジウムも同じように骨に分布します。すなわち、化学的挙動がこの縦の列でほぼ決まっているということだけご理解いただきたいと思います。

それから、ここの中にアクチノイドというものがずらっと並んでいて、ここにウランとかプルトニウムがあるのですが、ここもみんな同じような挙動なんですね。大体骨、それから肝臓に蓄積するものがこのアクチノイドです。ウランは特に腎臓にも蓄積するというので腎毒性を持っております。

初めての放射線

- バレーボール用マシンからバレーボール球が打ち出されている場面を想像して下さい
→ α 線源と α 線はこんなものです
- 節分に豆まきをしている姿を想像して下さい
→ β 線源と β 線はこんなものです
- 夜空に向かってサーチライトが照らされている光景を想像して下さい
→ γ 線源と γ 線はこんなものです

では、そもそも放射線とは何かということで、まずバレーボール用のマシンからバレーボール球を打ち出している場面を想像いただきたいと思います。実はそのバレーボール用のマシンはアルファ線源で、バレーボールがアルファ線というようなイメージを持っていただければよろしいと思います。

同じように、節分に豆まきをしている姿をご想像いただきまして、このときの、例えば豆をまいている力士がベータ線源で、ベータ線は豆だというイメージで結構でございます。

あとは、夜空に向かってサーチライトが照らされている、その光を想像していただきますと、ガンマ線というのは大体こういったものなんです。

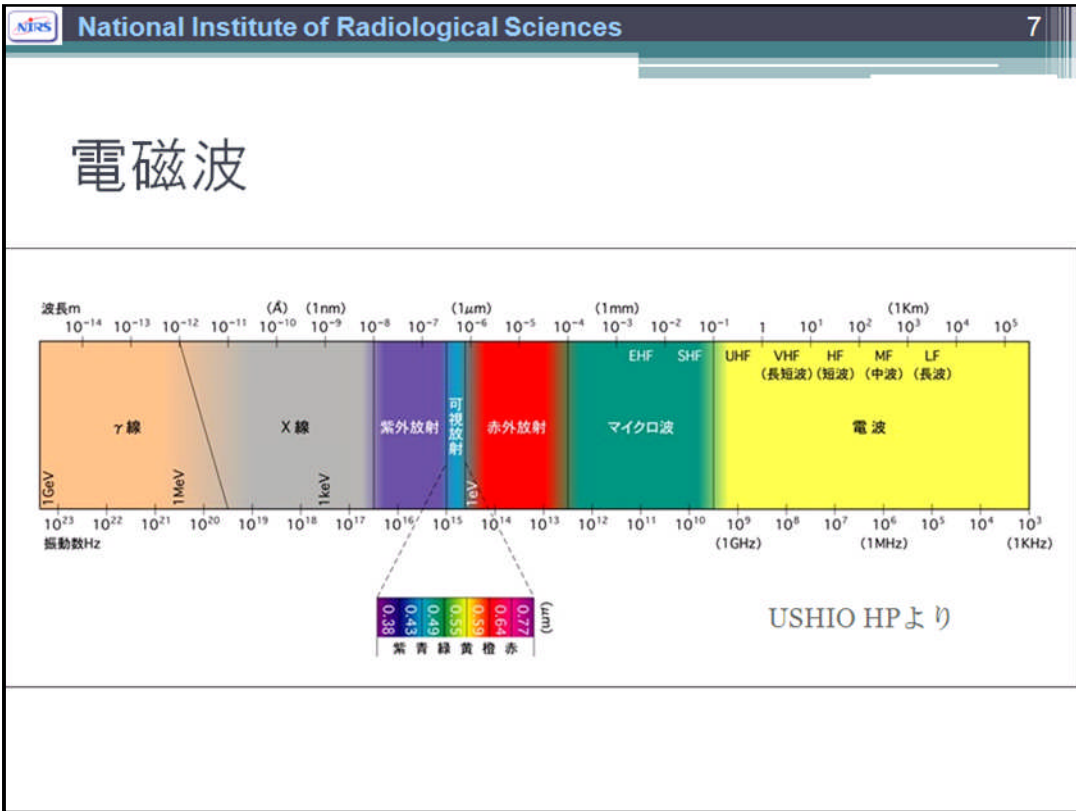
放射能と放射線

- 自然に放射線を出す能力があることを放射能があると言う
- 従って、電源がない限り放射線の出ないX線発生装置は放射能があるとは言わない
- 放射線は電磁波と粒子に大別される
- γ 線とX線は電磁波である
- β 線、 α 線、中性子線は粒子である

これをまとめますと、例えば放射能と放射線という言葉があります。紛らわしくてマスコミなどもよく混同することがあるのですが、例えば自然に放射線を出す能力があることを放射能があるという言い方をします。

したがって、例えばよく医療機関にあるX線発生装置は、電源が切れていれば放射線が出ませんね。ですから自然に放射線は出ません。したがって、X線の発生装置、レントゲン装置に放射能があるとは言いません。

放射線というものは、大別すると電磁波と粒子に分かれます。先ほど電磁波のほうはサーチライトでお示しいたしました。粒子はバレーボールとか豆ですね。そして、この中でX線とかガンマ線は電磁波に属します。それから、よく聞きますアルファ線、ベータ線、それから中性子線、こういったものは粒子に属する形になります。



電磁波ですが、周波数によって非常に大きく分かります。例えば虹の七色、こういったものが可視光です。

可視光よりも光の波長が長くなるとどうなるかと言いますと、赤外線になります。赤外線よりもっと波長が長くなるとマイクロ波になります。そしてもっと長くなると電波になるというものです。

ですから、例えばレーダーの前へ行くとやけどをすることがあります。まさにこれは赤外線の延長にあるからですね。

逆に可視光よりも光の波長が短いものは紫外線と言います。ですから、波長が短くなればなるほど、光のエネルギーは強くなります。したがって、殺菌などは紫外線でやっております。

さらに紫外線よりも波長が短いものがエックス線で、もっと短いものがガンマ線です。実はエックス線とガンマ線はもともと本性は一緒なので、大きな区別はないのですが、とにかく紫外線よりもっと波長が短くて、エネルギーが強いものだ、そういう電波だという認識を持っていただければ結構だと思います。

エックス線と γ 線

- エックス線は原子から発生する電磁波である
- γ 線は原子核から発生する電磁波である
- 低エネルギーエックス線は皮膚で全エネルギーが吸収されてしまうことからフィルタでカットしている

まとめますと、エックス線は原子から発生する電磁波です。ガンマ線は原子核から発生する電磁波です。

先ほど最初に原子の構造を説明いたしましたが、原子核は、大きな電子の雲の中に1点、点として存在している非常に大きな質量の塊で、ガンマ線はその原子核から出るものを――これは定義ですが――ガンマ線と言いますし、周辺をぐるぐる回っている電子から出てくるのは、これがエックス線です。

このエックス線の中で低エネルギーのものは皮膚で吸収されてしまいます。医療機関ですから技師の方も多くおられると思いますが、特にエックス線管にフィルターがついていないと、この低エネルギーガンマ線、エックス線が皮膚で吸収されてしまい、非常に大きな皮膚障害を起こすということもあって、実は低エネルギーのエックス線は、エネルギーを全吸収するという意味では非常に大きな問題を持っているものでございます。

β線

- β線はβ崩壊に伴って、原子核（中性子）から出てくる**高速の電子**である
- β崩壊ではβ線とニュートリノが放出される

ベータ線は、皆さんご承知のとおり高速の電子ですね。これは原子核から出てきます。これはベータ崩壊というものに伴って原子核から出てくるのですが、原子核は陽子と中性子から成っていましたね。そのうち中性子からベータ線が出てきます。これをベータ崩壊と言うわけでございます。

ベータ崩壊では、ベータ線とニュートリノが必ず出ています。ところが、ニュートリノは簡単に計測できないんですね。少なくとも我々が持っている放射線計測器では全く光りません。

例えばスーパーカミオカンデぐらいですと、原子炉が動きますと、その原子炉の中から出てくる大量のニュートリノの一部がやっと見えるというぐらいなものです。ベータ崩壊では必ずこのベータ線とニュートリノが放出されているということについてはご理解いただきたいと思います。

α線

- α線はα崩壊により、**Heの原子核**がひと固まりとなって大きな原子核から飛び出してきたものである
- α崩壊する放射性同位元素は質量数が200を超える重い核種が大部分を占める

アルファ線は、先ほど申し上げたバレーボールみたいなものです。ベータ線が例えば豆だとすると、アルファ線はバレーボールで、実際はアルファ線のほうがもっとはるかに大きいのですが、このアルファ線はアルファ崩壊によって出てくる、素性はヘリウムの原子核なんですね。それが一塊になって、その原子核が飛び出してくるものでございます。

アルファ線は、放出する核種はある程度限られています。一部例外はありますが、放射線同位元素の中で質量数が200を超える重い核種、すなわち鉛以上の重いものですね。例えばウランとかプルトニウムとかアメリシウムとか、そういう重いものから出てくるものがアルファ線です。そして、アルファ崩壊もそういった重い元素で起きてくるということをご理解いただきたいと思います。大部分の核種はベータ崩壊と考えて差し支えないでしょう。

中性子線

- 中性子は陽子とともに原子核を構成しているが、電氣的に**中性**で核分裂時に飛び出す
- 大量に中性子線が当たると、通常物質に放射能を持たせることがある (**放射化**)
- 中性子は半減期12.5分で電子を1個放出し、陽子に変わる
- 核分裂直後のエネルギーの高い中性子を**高速中性子**、エネルギーが下がり切った中性子を**熱中性子**と呼ぶ

もう1つ中性子を取り上げます。中性子は中性と言うぐらいで、電荷を持っていません。プラスもマイナスも持っていません。これは陽子とともに原子核を構成しているものだという説明を申し上げましたが、電氣的に中性で、出てくるのは主として核分裂の場合です。

一般に例えばアルファ線、ベータ線、ガンマ線がどんなに強く当たっても、当たった物質が放射能を持つことはありません。ただし、中性子が当たると、普通の物質が放射能を持つてしまうことがあります。そういった現象を我々は放射化と呼んでいます。

それで、中性子はその辺をふらふらしていると、大体12.5分ぐらいの半減期で陽子に変わってしまいます。陽子に変わると、測定も、これはプラスの電荷を持っているから簡単にできてしまうんですね。

中性子は、先ほど核分裂で出てくると申しましたが、原子炉等で核分裂が起きた直後のエネルギーの高い中性子を高速中性子と呼んでいます。高速中性子はあちこちにぶつかってエネルギーがどんどん落ちていくわけです。最終的にエネルギーが落ちて、これ以上落ちない、すなわち室温と同じぐらいのエネルギーまで落ちたものを熱中性子と呼んでいます。

通常は、中性子が出ているときは、このエネルギーの高い中性子、すなわち高速中性子から熱中性子まで、いろいろなエネルギーのものが分布しているとお考えいただきたいと思います。

放射線防護の三原則

- 遮蔽が最も有効である
- 医療用鉛エプロンで ^{137}Cs の γ 線は90%以上透過する
- 距離が2倍離れば被ばく量は1/4に減少する
- 10cm離れて問題のない線源も手で触ると指先の被ばく線量は10000倍となる
- 時間に比例して被ばく線量は増加する

次に放射線防護の3原則に移りたいと思います。よく言う「遮へい、距離、時間」の3つが放射線防護の3原則ですが、最も有効なものは「遮へい」です。

例えば医療用の鉛エプロンをお使いの方は多いと思いますが、実はこれは医療用のエックス線、例えば管電圧が140キロボルトとか150キロボルトとかいったものには十分有効でございます。

ただし、例えば管電圧150キロボルトですと、実効エネルギーで言うとせいぜい50~60キロエレクトロンボルトだと思えます。核テロあるいは放射線テロといったもので出てくるエネルギーはもっと高い。例えばエネルギー的に中程度なもの、すなわち662キロエレクトロンボルトというエネルギーを持ったセシウム137の場合、これは医療用の鉛エプロンをつけていても、実は10%もとめることができない、90%以上はすかさず抜けてきてしまうといったものでございます。ですから、例えばセシウム137のガンマ線をとめようとする、30ミリぐらいの鉛が必要です。

もう一つは「距離」という概念がございます。距離が2倍離れば線量すなわち放射線の量は2の2乗分の1ですから、4分の1に減ってくるというものです。

これは何を意味するかと言いますと、例えば放射線源があって、手から10センチ離れていて問題がないとします。ところが、その線源を手でさわると、指先の被曝は一挙に1万倍になってしまいます。

それについて簡単な実験を示したいと思えます。今、この音は自然の放射線をはかっています。この中にはNaIシンチレータという放射線検出器が入っています。

これがよく岩盤浴とかラジウム温泉とか、いろいろな名前がついていますが、そこで使われている天然の放射線源です。主成分はトリウムが入っています。インド産ですが、これをちょっと近づけてみます。それで距離と音の関係を聞いていただきたいと思えます。

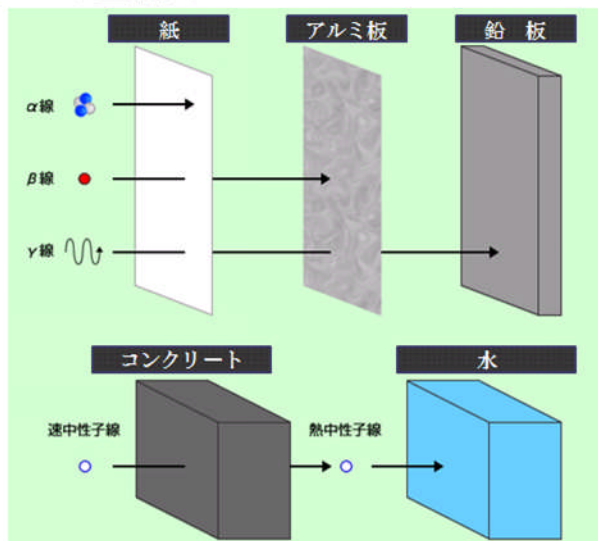
今、距離はこれぐらいです。

これを密着します。ちょっと離します。音が極端に変わっていくことがおわかりいただけると思えます。

すなわち、放射線源の場合は、とにかくどんなことがあっても、手で直接持つてはいけないというものでございます。先ほど言いましたように10センチで何でもない線源を持った瞬間に1万倍になる。ですから、距離という概念は非常に重要です。

最後に「時間」ですが、時間に関しては単純に比例でございます。1時間浴びたのと2時間浴びたのでは単純に2倍違う訳です。

放射線と遮蔽



放射線と遮へいという話で、今、距離と時間の話を申し上げました。では、遮へいはどうなるかというお話を申し上げますと、これはもう皆さんよくご存じだと思います。

アルファ線は紙でとまります。ベータ線はアルミ板でとまります。ガンマ線は鉛板でとまります。こういう説明がよくいろいろなものを書いてあります。本当でしょうか。

例えば、これは鉛板です。またちょっと音を出します。ちょっと音だけで聞いてください。今この先ほどの放射線源に鉛板を置いて、まず鉛を置かないときの音を聞いていただきます。

これが鉛板を置いていないときの音です。ここに鉛を入れてみます。違いをおわかりになりますか。もし放射線がなければこの程度の音です。鉛板を置いてこんなものなんですね。

すなわち、遮へいの場合には厚さという概念を入れないと、単に鉛だからとまるというものではありません。アルミだからとまる、アルミの場合には大体とまってしまうますが、ガンマ線の場合はガンマ線のエネルギー、強さによって鉛の厚さを考えていかないと、とまるものもとまらないことがございます。

そして、これは放医研で標準的に使っているアルファ線源です。ここから今、非常に弱いですが、アルファ線が飛び出してきています。

本当に飛んでいるかどうか確認いただきたいと思いますが、これはアルファ線とベータ線とガンマ線、何でも数えられるサーベイメーターです。GM管なんです、窓がすごく薄くて、アルファ線でも飛び込むことができます。普通のGMサーベイはアルファ線を数えることができませんが、これは数えることができます。これを使ってやってみます。

今何もないところでは音が出ていますね、これぐらいの音です。ちょっとアルファ線を近づけてみます。音が聞こえますか。これがアルファ線で、今数えているわけです。

それで、これは紙1枚です。この音だけ聞いておいていただいて紙を1枚入れます。音がしませんね。ちょっと簡単に紙をとってみます。はい、この違いです。

ですから、アルファ線の場合ですと、本当に紙1枚でとまってしまうというものなのです。

ちなみに、これが先ほどのガンマ線ですが、当然これは紙なんかあっても何の関係もないということがおわかりいただけると思います。

すなわち、アルファ線は確かに紙1枚でとまります。ベータ線は、今日は持ってきていませんが、アルミ板、ガンマ線は鉛でとまるという話がありますが、厚くなければとまらないということをご理解いただきたいと思えます。

半減期

- 放射能の強さが半分になるまでの時間を半減期と呼ぶ
- ^{137}Cs の場合、半減期は30年であるから、チェルノブイリ事故から25年経た現在も残留放射能は半分になっていない
- ^{18}F の場合、半減期は110分であるから、2日（2880分）で約1億分の1に減少する

半減期という概念はお教えしておかないといけないと思うのですが、放射能の強さが半分になるまでの時間が半減期です。

実際に半減期としてどれくらい体感できるかと言いますと、例えば今から25年前、ウクライナのチェルノブイリで原子力発電所の事故が起きました。そのとき大量に放出されて、今でも残っているものがストロンチウム90とセシウムの137です。

セシウム137の場合、半減期は30年です。ということは、チェルノブイリの事故から25年たった今でも、残留放射能は半分になっていません。

その一方、PETの検査で主に使っておりますFDGがあると思いますが、FDGの中のフッ素18の半減期は110分です。ということは、特定のPET核種にも指定されておりますとおり2日間、これは約2880分になりますが、放置すれば、もうこれは1億分の1に減ってしまうというものです。

すなわち半減期の大きさによって、長さによって、同じ放射性物質でも、あっという間になくなってしまうもの、それからずっと続いているものがあると。したがって、その放射性物質の種類がよくわからないとき、長さがわからない場合、半減期を調べることによって、どの程度注意しなければならないものかがわかりいただけます。

もう1つ、大事なことは、半減期が長いものほど放射能は弱いと思ってください。半減期が短いものほど放射能は強いということです。

もしかすると病院によって差があるかもしれませんが、例えばFDGの場合、旧単位では5ミリキュリーぐらい要と思いますが、それこそ数日でなくなってしまう。しかし、例えばプルトニウム239の場合2万数千年たつてやっと半分になるという訳です。

そのかわりプルトニウムは、長いがゆえに、放射能自体は非常に弱いものです。FDG、フッ素の場合は短いがゆえに非常に強いと思っておりますので、その辺は半減期としての概念をご理解いただきたいと思います。

放射線と放射能の単位

- Bq-ベクレル
放射能の強さを表す単位で、1Bqでは1秒間に1崩壊が起こる。1mCi=3.7×10⁷Bqである
- Sv-シーベルト
放射線防護の単位で発がんリスクの指標としている。
一般公衆の線量限度は年間1mSvと定められている
(ラドン等の自然放射線を除く)
- Gy-グレイ
吸収線量の単位で物質1kgに1Jのエネルギーが吸収されると1Gyの吸収線量となる

放射能の単位でベクレル、シーベルト、グレイというものがありますが、放射能と言えばベクレルです。放射能の強さをあらわす単位がベクレル。

シーベルトという単位系もよく聞かれると思います。放射線防護で使うのは普通シーベルトです。シーベルトというのは発がんのリスクの1つの指標になっているとご理解いただければ結構だと思います。

それから医療系で、治療領域でよく使われるものにグレイという単位があります。これは吸収線量で、物質中あるいは人体組織中に吸収されるエネルギーをあらわしています。

自然放射線

- 宇宙が出来た時に放射性同位元素も生まれた
- 地球誕生以降、短い半減期の核種は消えたが、長い半減期を持つ放射線は今でも地球上に存在する
- 世界平均で見た年間自然放射線量は**2.42mSv**である

内訳	宇宙線：0.39mSv
	大地放射線：0.48mSv
	食物摂取放射能：0.29mSv
	ラドン等の吸入摂取：1.26mSv

- 日本国内での線量は岐阜県の1.19mSv（最大）から神奈川県の0.81mSv（最小）と**世界平均の半分以下**である

大体こういったところを覚えていただければ結構ですが、最後に自然放射線について少しお話し申し上げたいと思います。

世界平均で、よく物の本に自然放射線が2.42ミリシーベルトだと書いてあります。

ただし、日本では決してそんなに強くありません。平均で1.4ミリシーベルトと言われており、そのうち宇宙線と大地放射線を合わせた線量は最大の岐阜県で1.19ミリシーベルトぐらいで、最小の神奈川県は0.81ミリシーベルト程度です。ですから、実は世界平均に比べて日本の自然放射線の量は大体半分ということす。

それから、実は大きな自然放射線の中で半分ぐらい占めているものが地中から上がってくるラドンの体内被曝であるということだけご理解しておいていただきたいと思います。

ご清聴を感謝いたします

以上でございます。