

放射線とその正体と作用

東北放射線科学センター理事 東北大学名誉教授

工藤 博司氏

はじめに

放射線は、自然界にも私たちの身の周りにも存在しています。この部屋の中にもありません。宇宙からも降ってきます。本日は、放射線とは何者なのか、またどのようなはたらきをするのか、このようなことを分かりやすくお話したいと思っています。中学校や高校の理科の時間のようになるかも知れませんが、中学時代に戻ったつもりで話を聞いていただければと思います。

ただ、中学校の現場ではここ二十年間、放射線教育は一切行われておりませんでした。今から五年前に理科の指導要領改訂があり、平成二十四年度から中学校で放射線教育が再開されることになっています。福島第一原子力発電所の事故を契機に放射線に対する社会の関心が非常に高まっていますが、この際ぜひ皆さんには放射線のことを正しく知っていただきたいと思っています。

元素・同位体・核種

資料①をご覧ください。ここに「ヨウ素」「セシウム」と大きく書いてあります。そして、それらの言葉の前には「放射性」とあり、後ろには131とか137という数字がついています。

放射性 ヨウ素-131 (^{131}I)

放射性 セシウム-137 (^{137}Cs)

ヨウ素-127 (^{127}I)

と
セシウム-133 (^{133}Cs)

は放射線を出さない (安定)

資料①

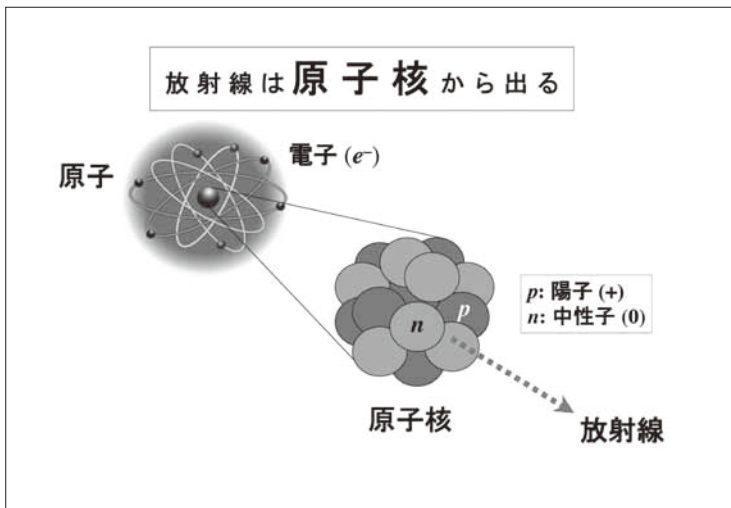
ン(U)は、92番目にあります。この後に出てくる93番元素がネプツニウム(Np)です。94番目には、皆さんご存じのプルトニウム(Pu)があります。

実は、この92番のウランまでの元素が、地球上に存在する元素で、93番目以降、118番までの元素は、全て人間がつくり出した元素です。112番目のコペルニシウム(Cn)は、今年(平成二十三年/講演当時)命名されたばかりです。111番目にあるのはレントゲニウム(Rg)で、放射線を発見したレントゲンの名前がついている元素です。この表で色が濃い網掛けの部分にある元素では、全ての原子が放射線を出します。その他の元素では、放射線を出す原子もあれば、出さない原子もあります。

少し横道にそれましたので、話を本筋に戻します。資料③をご覧ください。この図のように、原子は原子核と電子からできていて、プラスの電荷をもつ原子核の周りを-1の電荷をもつ電子が軌道に沿って回る構造をもっています。この図では、原子核を大きく描いていますが、実際には原子全体の十万分の一ほどの大きさです(ちなみに水素原子の大きさはほぼ一億分の一センチメートル)。実は、放射線はこの原子核から出てくるのですが、ここで大事なのは、原子核は陽子と中性子からできているということです。陽子も中性子も非常に小さな粒子で、その質量は原子の重さを表す単位でいうと、ともに1です。陽子と

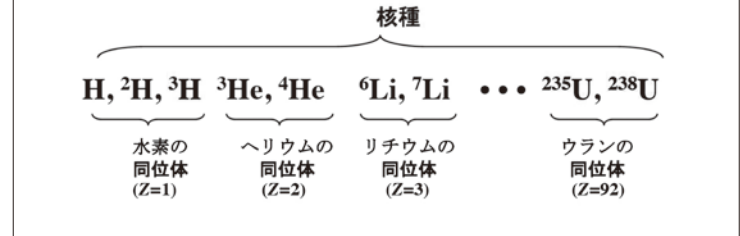
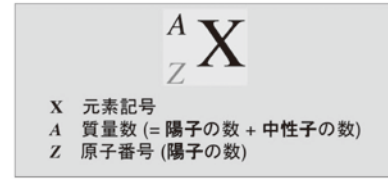
中性子の違いは電荷をもつかもたないかであり、陽子の電荷は+1、中性子の電荷はゼロです(中性子は電荷をもたないので中性という名が付いています)。したがって、原子核の全電荷は陽子の数で決まります。また、電子は非常に軽く、その質量は陽子や中性子の二千分の一ほどですから、原子の質量は原子核の質量にほぼ等しくなります。

先ほど、原子番号の話をしました。原子番号は原子核の中の陽子の数に一致します。原子番号が1である水素の原子核には陽子が1個ありますから、原子核の電荷は+1になります。その原子核の周りを電子(電荷-1)が1個回っているのが水素原子です。原子番号3のリチウムの原子核には陽子が3個、原子



資料③

元素・同位体・核種



資料④

番号92のウランの原子核には陽子が92個あります。ここで資料④をご覧ください。Xという元素記号の左肩にA、左下にZという文字があります。このZは原子番号を表します。水素(H)なら1、ウラン(U)なら92ですが、元素記号でHと記せば原子番号は1ですし、Uと書けば92番のウランですから、普通は元素記号の左下に数字をつけることはありません。

ところが、Hの左肩に2を付けて 2H とかUの左肩に235を付けて ${}^{235}U$ のように記すことがしばしばあります。元素記号の左肩の数字(A)は質量数と言います。これは整数で、原子核の中にある陽子と中性子の個数の合計のことです。 2H ということは、水素の原子核に必ず

陽子が1個ありますから、2になるためには中性子が1個入っていることを示します。この 2H は重水素と呼ばれます。水素には、中性子を2個もっている原子核もあり、それは 3H と記し三重水素(あるいはトリチウム)と呼ばれます。この三種類の水素のように、同じ元素でありながら質量数の異なる原子同士を「同位体(アイソトープ)」と称します。

ところで、 ${}^{235}U$ の原子核には中性子が何個あるでしょうか。ウランの原子番号は92ですから陽子の数は92個です。235から92を差し引いた143個が中性子の数になります。なお、元素記号を用いない時は、ヨウ素131とかセシウム137のように、元素名の後に質量数を記します。原子核の中の陽子と中性子の数の和を示す質量数(A)を付けて原子を表すとき、その一つ一つの種類のことを「核種」といいますが、そうすることにより原子核が秘める情報が一目瞭然になるのです。これが重要です。

先ほど、放射線を出す原子と出さない原子があると言いましたが、資料⑤(次ページ)をご覧ください。セシウムを例にとりますと、セシウム133は放射線を一切出さない安定な原子(安定核種)であり、セシウム137は β 線と γ 線を出す放射性核種で、その半減期は三十年であることなどが直ぐ分かります。セシウム134も β 線と γ 線を出す放射性核種ですが、半減期は約二年です。

放射線を出すと原子が変わる
(壊変)

放射性ヨウ素-131 (^{131}I)

ベータ線、ガンマ線
(半減期8日)

キセノン-131 (^{131}Xe) 安定

放射性セシウム-137 (^{137}Cs)

ベータ線、ガンマ線
(半減期30年)

バリウム-137 (^{137}Ba) 安定

放射性セシウム-134 (^{134}Cs) \rightarrow ^{134}Ba (安定)

ベータ線、ガンマ線 (半減期2年)

ヨウ素-127 (^{127}I) やセシウム-133 (^{133}Cs) は
放射線を出さない(変化しない:安定)

資料⑤

ここでもう一つ大事なことがあります。ヨウ素131はやはりβ線とγ線を出す放射性核種ですが、β線を出すとヨウ素だった原子がキセノン(Xe)という別の原子に変わります。詳しくは後で述べますが、この変化を壊変と言います。こうしてできたキセノン137は安定核種でもう放射線を出しません。セシウム137の壊変で生まれるバリウム137も安定核種です。胃の検診の時に飲む白い粉(硫酸バリウム)のバリウム(Ba)です。このように、放射性核種は放射線を出すことによってエネルギーを失い、より安定な状態へと変化します。

放射線の正体

それでは、放射線はいつ発見されたのでし

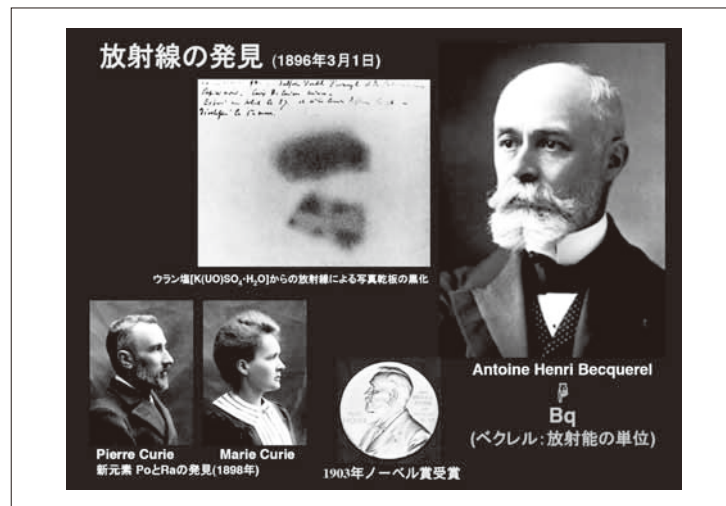
ようか。資料⑥をご覧ください。一八九五年十一月八日、放射線は突然発見されました。ドイツの大学で物理学を教えていたレントゲンは、図の左下にあるような手の骨の写真を撮影することに成功しました。図の左上のイラストのような装置を使って、目に見えない光(?)を手に当てると、骨の写真が撮れたのです。手に当てたものの正体が不明だったことから「X線」と名付けました。これが、現在でも使われているX線の語源です。レントゲンは、X線の発見によって一九〇一年にノーベル賞を受賞しました。これがノーベル物理学賞の第一号です。これに刺激を受けたのが、フランス・パリの大学の物理学の教授だったベクレルです。



資料⑥

発見されてまだ百十年余りしか経っていません。それ以前は、放射線の存在について誰も知らなかったのです。しかし、今では放射線の正体はよく分かっています。

資料⑧をご覧ください。ここに「原子核を飛び出し空間を移動するエネルギー」と記しました。高いエネルギー状態にある原子核が低いエネルギー状態に移るときに、その差に相当するエネルギーを粒子や目に見えない光として放出するわけです。動いているときは放射線ですが、止まってしまうばもう放射線ではなくなります。放射線には α 線、 β 線、 γ 線、中性子線などという名前がつけられています。目に見えない光です。 α 線も目には見えません

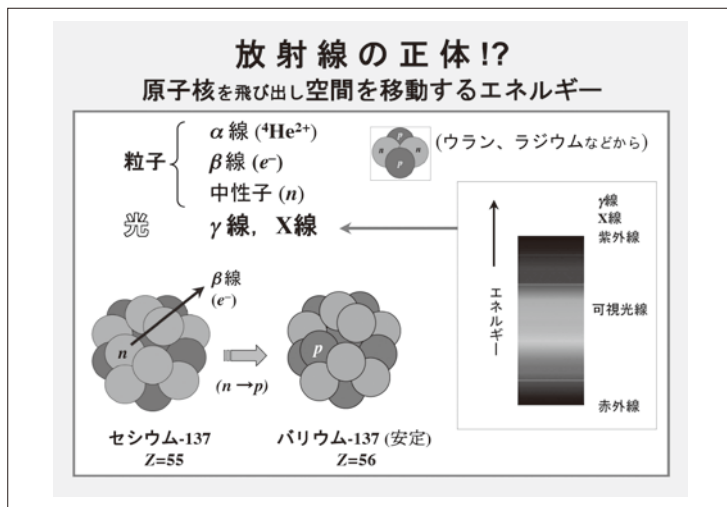


資料⑦

資料⑦をご覧ください。最近よく「ベクレル」という語句を耳にしますね。「ベクレル」とは放射能の単位ですが、実はこの先生の名前に由来しています。ベクレルは、ウラン鉱石から常に一定の割合で高エネルギーの粒子が出ていたことを発見し、 α 線と名付けました。資料⑦の中央の写真は、ウランから出た α 線が写真乾板を黒化させたものです。

同じ頃、ラジウムとポロニウムの発見で有名なキュリー夫妻は、ラジウムも α 線を出すことを発見し、その正体を突きとめる研究をしました。そして、ベクレルとキュリー夫妻の三人は、放射線の発見で一九〇三年にノーベル物理学賞を受賞しました。

このように、人類の歴史の中では放射線が



資料⑧

が、実はヘリウムの原子核です。ヘリウムの原子核は、陽子が二個と、中性子が二個からできています。この粒子の電荷は+2です。その周囲を二個の電子が回っているのがヘリウムの原子です。ヘリウムといえば、お祭りで風船に詰めるヘリウムガスを思い浮かべる方もいると思います。ヘリウムガスは、実は日本ではほとんど採れません。アメリカ南部にある井戸で天然ガスの副産物として採取できるのですが、地中にあるウランから出る α 線がヘリウムとなって地下に溜まっているのです。

ウラン238の半減期は非常に長くて、四十五億年です。地球の年齢が四十六億歳ですから、量が半分になるまでに地球の年代とほぼ同じくらいの時間がかかります。このウラン238が α 線を出すと、途中でラジウム226になったり、ラドン222になったりします。ラジウム226は、キュリー夫妻が発見したラジウムです。これは先日、東京の世田谷で何か線量の高いところを掘り返してみたら、ラジウムが出てきたというのもこのラジウムです。ラジウムの半減期は約千六百年と長いのですが、これも α 線を出してラドンというガスを発生させます。皆さんもラドン温泉やラジウム温泉という名前を聞いたことがあると思います。東北地方でいえば秋田県の玉川温泉が有名ですが、ここではガス性のラドンが空気中に出ています。この講演会場の鉄筋コンクリートの建物の中にも、ラドンが漂っています。私たちが呼吸

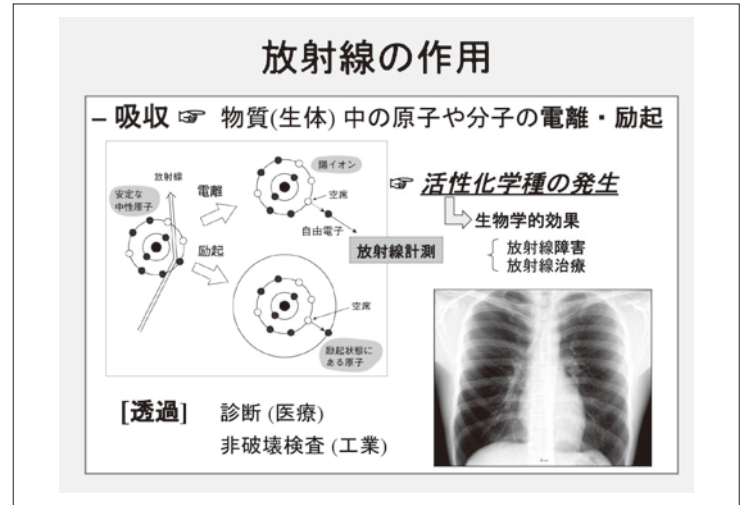
すると身体の中に入り、また出ていきます。

次に β 線についてお話しします。資料⑧には β 線という文字の後のカッコ内に e^- と書いてあります。 e^- とは電子のことを表します。つまり β 線の中身は電子と同じものです。ただし、この電子は原子核から出てきます。

それでは、この資料にあるセシウムの原子核を使って β 線について説明します。セシウム137には陽子が55個ありますから、137引く55は82となり、セシウム137は82個の中性子をもっています。その中性子の一個が β 線を出すと、陽子に変身します。中性子が陽子に変わることによって陽子が一つ増えると、原子番号が55のセシウムから56のバリウムに変わります。ただし、質量数の137に変化はありません。

当初は正体不明だったX線も、今では光の仲間であることが分かっています。光には目に見える赤から紫までの可視光線と、目に見えない紫外線や赤外線があります。太陽から降り注ぐ紫外線は高いエネルギーをもっているので日焼けを起こす原因にもなります。

しかし、紫外線で透過写真を撮ることはできません。X線は、体を通過してその後ろに置いた写真フィルムに影を写すことができるほど高いエネルギーを持っています。X線のエネルギーは紫外線の約千倍です。紫外線の千倍ものエネルギーを持っているX線ですか



資料⑨

放射線の作用

それでは、放射線が私たちの身体に当たったときに何が起きるのでしょうか。これは、皆さんが一番気になっている関心事だと思いますので、その話に移ります。

まず、放射線にはどんな作用があるのでしようか。資料⑨をご覧ください。左側に円が書いてある絵がありますが、中心にある小

な丸い部分が原子核で、その周りを電子が回っています。放射線がやってくると、軌道を回っている電子のいくつかが外に弾き飛ばされるような形で、軌道の外に飛び出します。飛び出した電子はマイナスの電気をもっていますから、原子全体がプラスのイオン、つまり陽イオンに変わります。この現象を電離といいますが、一方、電子は飛び出しません、少し高いエネルギーをもつ外側の軌道に移ることを励起と言います。

私たちの体の七割は水でできています。水に放射線が当たると、さまざまな変化が起きます。放射線は、水を分解していろいろな活性化学種(ラジカルや活性酸素)を私たちの身体の中につくり出します。それによって、さまざまな生物学的効果が現れてきます。その一つが放射線障害ですが、うまく使えばがんの治療にも役立ちます。

先ほど、電子が飛び出すと言いましたが、出てきた電子をうまく利用すると、放射線を計測することができます。最近、新聞やテレビのニュースでよく見聞きするサーベイメーターは、その仕組みを利用した計測器です(資料⑩次ページ)。サーベイメーターには、GM(ガイガー・ミュラー)方式やNaIシンチレーション方式などがあります。

ら、レントゲン写真が撮れるのです。

γ線も目には見えない光ですが、X線の千倍ものエネルギーをもっています。まとめますと、放射線とは原子核から出てくる高いエネルギーの粒子や光のことです。それが止まってしまうと、もう放射線ではありません。



資料⑩

放射線の透過力

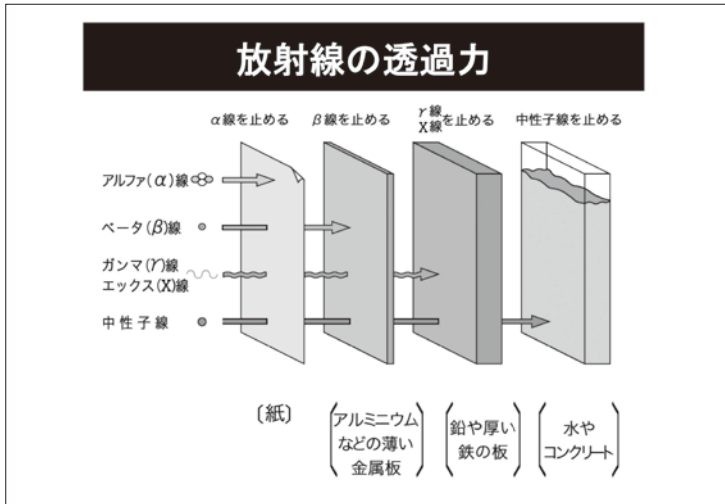
資料⑩をご覧ください。放射線には透過力があります。放射線は、いろいろな物体を透過します。物体の後ろに写真のフィルムを置いてX線を当てるとレントゲン写真が撮れることから、医療現場や工業分野で広く使われています。エンジンの検査を行う際、分解しなくても中の様子が分かります。空港での手荷物検査に使われているのもX線です。つまり、放射線がもつ透過力を利用して、ふたを開けなくても中のものを探し出すことができます。

放射線の透過力は、その種類によって異なります。資料⑪のように、 α 線は普段私たち

がメモを取る紙一枚でも止まってしまい、その先には飛んでいきません。

β 線は、紙は通過しますが、アルミニウムの板などの薄くて軽い金属で止まってしまいます。 γ 線は、アルミニウムのような軽い金属を平気で通過しますが、鉄や鉛といった重い金属があるとそこで止まってしまいます。

皆さんの中には、レントゲン写真を撮った経験のある方が大勢いらっしゃると思います。そして歯医者さんで歯の写真を撮るときに、ゴム製のエプロンをした記憶がある方もいらっしゃると思います。その時、ゴムのエプロンにしてはかなり重いと感じたのではないのでしょうか。それは、エプロンに使われているゴムに鉛の粉をまぶしてあるからです。



資料⑪

菌に向けてX線を当てて写真を撮るとき、誤って身体の別の部分に当たっても、エプロンに含まれている鉛がX線を止めてしまうので問題はなく、安心して下さいということです。

次に中性子線についてお話します。私たちの体は、炭素や水素、酸素などの原子によってできています。既に話しましたように、原子核の中には中性子があるのですから、私たちの体の中にも中性子が存在するということになりましたが、その中性子は原子の中に閉じ込められていて、外に出て自由に飛び回ることはありません。これとは別に、自由に動き回る中性子のことを中性子線と呼んでいます。中性子線は、原子炉の中心部にあり、宇宙からも飛んできます。自由に飛び回る中性子線は紙でも金属でも平気で通過してしまいます。なぜなら、この中性子線は電氣的に中性で電荷を持っていませんから、どこでも通過してしまうのです。ところが、この中性子線は、水があると止まってしまうというおもしろい性質をもっています。中性子の質量は、水素の質量とほぼ同じです。水を化学式で書くと H_2O 、つまり水素と酸素でできているのですが、その水素に中性子線がぶつかる勢いを失って止まってしまいます。原子力発電所の中心部は、冷却などのために水を張ったプールにつけてあるのですが、中性子線などの放射線を止めるという重要な役割も負っています。

ます。

放射線防護の三原則について記した資料⑫をご覧ください。放射線を防ぐとき、次の三点を原則としています。先ほど申し上げたのは、一番下に書いてある「遮蔽」です。つまり、間に物を置けば放射線は止まります。次に時間です。戸外の放射線量が高い場合は、屋内に退避する。どうしても屋外で作業しなくてはならないときは、短時間に済ませるようにします。最後に、放射線が出ている場所(線源)が特定できたら、放射線量を測定するとともにそこから遠ざかることが大事です。放射線源(放射性物質)からの距離の二乗に反比例(逆二乗の法則)して減衰しますから、少し離れるとすぐ放射線量は低くなります。

放射線防護の三原則

- ・距離 ☞ 線源から遠ざかる
- ・時間 ☞ 被曝(ひばく)時間を短く
- ・遮蔽 ☞ 間に物を置く

逆二乗則

資料⑫

放射線と放射能の違い

原子力発電所の事故以降、私たちの生活において放射線に関するさまざまな情報に触れる機会がありますが、放射線の数値の読み方について説明したいと思います。

よく耳にするのが「ベクレル」という言葉です。これは、先ほどお話しした α 線を発見したフランスのベクレルの名前から付けられました。もう一つは「シーベルト」です。これは、放射線が人体に当たった時、どのような影響をおよぼすのかわかるための尺度になる単位ですが、この「シーベルト」は、スウェーデンの科学者で、国際放射線防護委員会（ICRP）の立ち上げにも参画したシーベルトに由来します。

資料⑬をご覧ください。ベクレルで表される数値は、常にメガ（「百万」 $\times 10^6$ ）やギガ（「十億」 $\times 10^9$ ）の九乗）、さらにはテラ（「兆」 $\times 10^{12}$ ）という大きな数値で表されます。

一方、「シーベルト」については小さな数値で表されます。例えば、「ミリシーベルト」の「ミリ」は千分の一、「マイクロシーベルト」の「マイクロ」は百万分の一の単位です。さらに小さいのが「ナノ」です。これは十億分の一です。自然界の放射線は毎時数十ナノ

ベクレル (Bq)

メガベクレル (MBq)	百万	(10^6)
ギガベクレル (GBq)	十億	(10^9)
テラベクレル (TBq)	兆	(10^{12})

シーベルト (Sv)

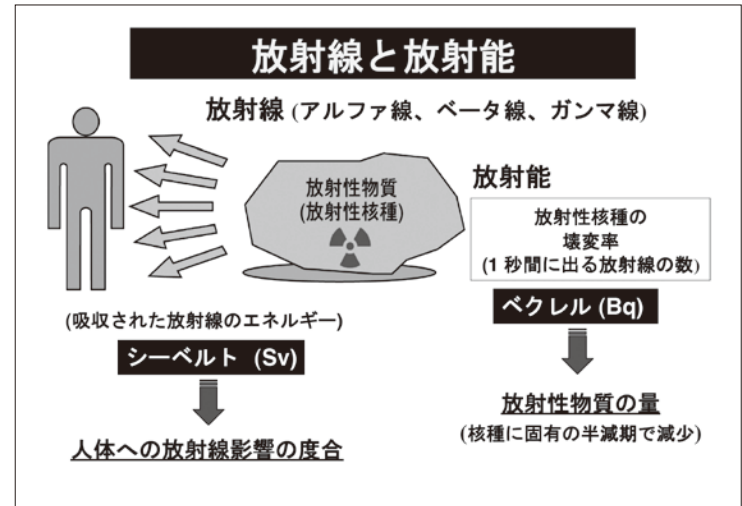
ミリシーベルト (mSv)	千分の1	(10^{-3})
マイクロシーベルト (μ Sv)	百万分の1	(10^{-6})
ナノシーベルト (nSv)	十億分の1	(10^{-9})

資料⑬

シーベルトとされています。ナノテクノロジーの「ナノ」でもあります。

このように、ベクレルはいつも大きな数字で表されますし、シーベルトは小さな数字で表されるのですが、なぜ数値が大きく異なるのでしょうか。実は、これは放射線と放射能の違いを知ることにつながります。本日は、ぜひこの違いを覚えてお帰りいただきたいと思えます。資料⑭（次ページ）をご覧ください。

α 線、 β 線、 γ 線といった放射線は、放射性の原子（核種）である放射性物質から粒子や光の形で出てきます。この放射線が人間の身体に吸収されて初めて作用が起るのですが、この吸収されたエネルギーをシーベルトを用いて表します（一シーベルト \equiv 一ジュール



資料⑭

ル/kg)。シーベルトは、放射線が人の身体にどれだけ影響を与えるかの尺度になる単位です。

これに対して、放射能というのは放射性物質(核種)の量を表す単位です。放射性核種が一秒間に何個変化(壊変)するかということが元々の定義で、一秒間に原子核が一個壊変することを一ベクレルといいます。先ほど話しましたように、セシウム137がバリウム137に変わる(壊変する)時にはβ線を出しますから、一秒間に出るβ線の個数ということもできます。原子一個一個を数えることになり、億とか兆というような巨大な数値になります。ちなみに、食塩一つまみにはどれくらいのナトリウム原子が含まれると思

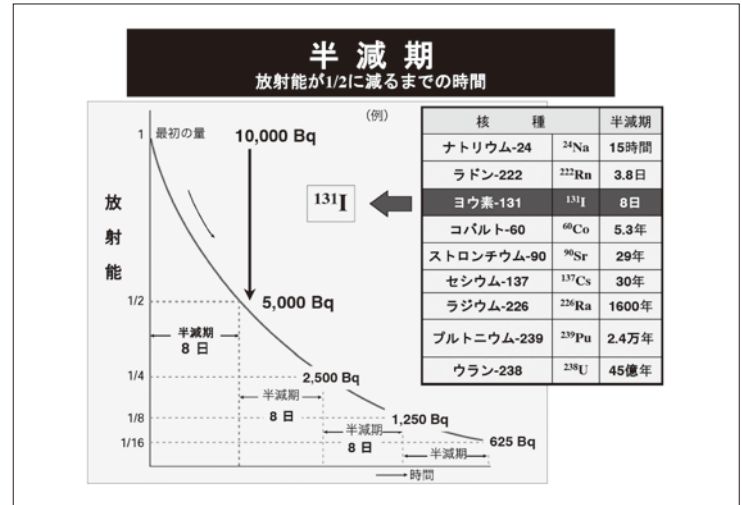
ますか。一兆個の十億倍くらいの原子数です。福島第一原子力発電所の事故で、十六万兆ベクレルの放射性ヨウ素131が放出されたと政府は発表しましたが、この数値から逆算すると、飛散したヨウ素131の総量は三十五グラムになります。

放射能に「放射線を出す能力」との説明が加えられることが少なくありませんが、放射能の「能」は能力の「能」ではありません。本来の意味は「率」(壊変率)のことです。したがって、放射能は放射性物質(核種)の量を表すもので、放射能そのものが漏れたり、人体に何らかの影響を与えることはありません。ただ、マスメディアは放射性物質のことを放射能ということが多く、混乱を招いています。

まとめますと、放射能とは放射性物質の「量」のことで実体はなく、放射能そのものが作用を及ぼすことはありません。一方、放射線とは、目には見えませんが、粒子あるいは光という実体をもって空間を移動するエネルギーです。漏れることもあれば、物質や人体に吸収されると何らかの作用を及ぼします。この違いを是非理解してください。

放射能の半減期

次に、放射能の半減期についてお話しします。資料⑮(次ページ)をご覧ください。半減



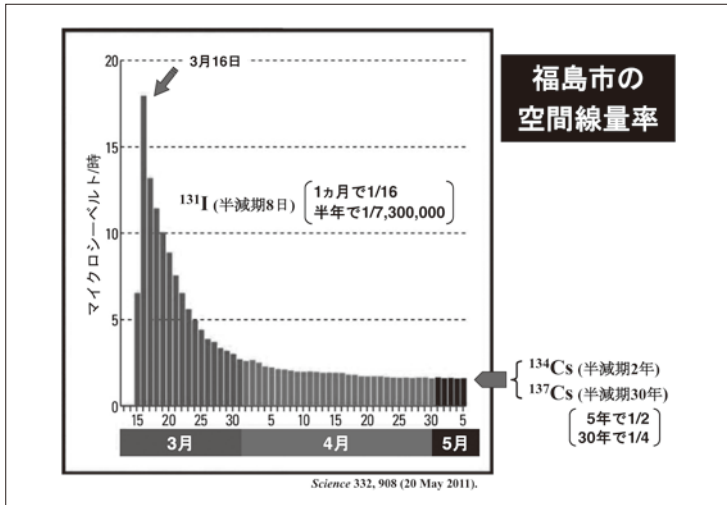
資料⑮

期とは、放射能が二分の一に減るまでの時間を指します。半減期は、核種によって異なります。この表にありますように、ヨウ素131の半減期は八日、セシウム137の半減期は三十年ですが、これを具体的に説明します。例えば、ここに一万個のヨウ素131の原子があったとします。これが、放射線を出して五千個に減少するまでに八日間かかります。そして、そこからさらに八日間経過すると、五千個の半分の二千五百個になります。また八日間経つと、その半分の千二百五十個となり、どんどん半分になっていきます。半減期が短い核種には、十時間というものもありますし、数秒や数分のものもあります。セシウム137の半減期は三十年ですが、セシウム134は二年です。同じセ

シウムであっても、半減期はこんなに違ってきます。言い換えると、半減期が分かれば、放射線を出している核種が何なのか分かれます。一方、ラジウムの半減期は千六百年、プルトニウムは二万年、さらに長いものではウラン238が四十五億年です。

それでは、ある実例を紹介しましょう。資料⑯は、三月十五日以降における福島市の空間線量率です。三月十五日以降、最も線量率が高かったのは三月十六日で、その後はどんどん減ってきました。そして四月に入るとかなり減ってきて、五月になるとその減り方は緩やかになったことが分かります。

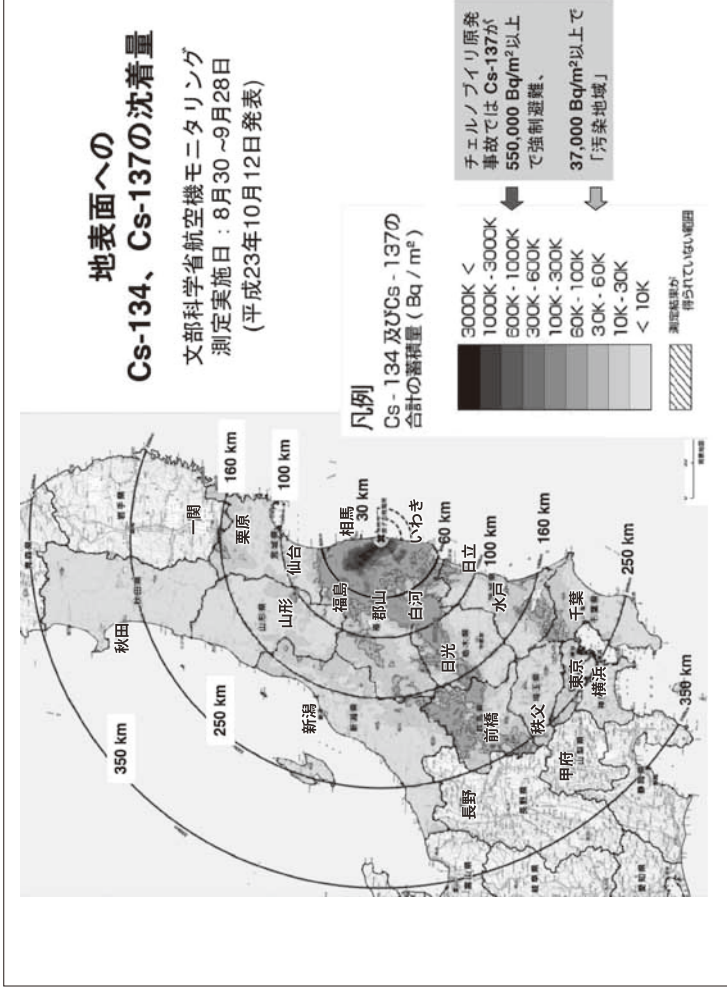
ヨウ素131の半減期は八日間ですので、一月で十六分の一に減少します。事故発生から



資料⑯

地面への Cs-134、Cs-137の沈着量

文部科学省航空機モニタリング
測定実施日：8月30～9月28日
(平成23年10月12日発表)



資料⑰

放射線が含まれているのではないかと指摘です。さらなる検討が必要かもしれません。

実は、この段階で秋田県や新潟県のデータも発表されていて、新潟県内でも山岳部を中心にわずかながらセシウム134と137の地表への沈着が見られます。この報告について、新潟大学理学部の知り合いの教授が疑問を唱えました。地元の新聞が伝えている内容なのですが、新潟県でセシウムからの放射線が検出されたとされる地域は、花こう岩の分布図と重なると言っています。花こう岩は、常に放射線を出しています。文部科学省の測定には自然放射線が含まれているのではないかと指摘です。さらなる検討が必要かもしれません。

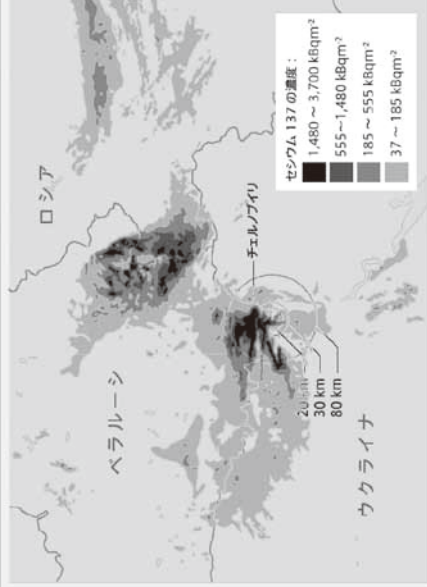
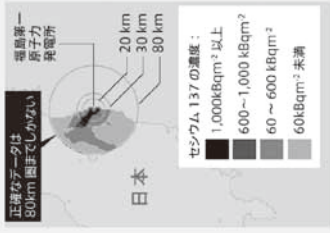
さて、資料⑰は文部科学省が十月十二日に発表したもので、セシウム134と137の地表面への沈着量の合計を表しています。これを見ると、福島第一原子力発電所周辺から北西の方向へと沈着していることが分かります。

八カ月が経過しましたが（講演当時）、この半年で七百三十万分の一に減っている計算になり、現在ではヨウ素131からの放射線は検出されなくなりました。四月以降の緩やかな減少は、半減期が三十年のセシウム137と、半減期が二年のセシウム134に由来する放射線です。この二つの核種はほぼ一対一の割合で飛散しました。この先どうなるかですが、半減期が二年と短いセシウム134は比較的早く減っていきますので、あと五年で線量率は二分の一になり、三十年後には四分の一になります。

フクシマとチェルノブイリ 137Cs放出量と汚染範囲

放射性降下物の比較

福島原発事故に関する新しいデータによれば、セシウム137の濃度がチェルノブイリ事故のときに近づいていることを示している。ただし、放出された範囲ははるかに狭い。



チェルノブイリの事故で放出されたセシウム137の総量 85,000 TBq

福島の事故で放出されたセシウム137の総量 15,000 TBq

Nature 477, 139 (8 September 2011).

資料⑱

これにより、私たちは日常生活においてさまざまなことに気をつけなければならなくなりました。まずは食べ物です。放射性物質に汚染された食品による健康被害を避けるため、

放射線物質が飛び散ったことによりありません。

福島事故に伴うセシウム137を含めた放射性物質全体の放出量をチェルノブイリの事故と比較すると、およそ十分の一の量であったと言われています。そうは言っても、このように放射性物質が飛び散ったことが見てとれます。福島におけるセシウム137の放出量は、一万五千兆ベクレル。一方、チェルノブイリでは八万五千兆ベクレルです。

次に、今回の事故とチェルノブイリ事故とを比較してみます。これは、最近出版された英国のネイチャーという雑誌の日本語版に掲載された資料です(資料⑱)。福島とチェルノブイリの双方の事故におけるセシウム137の放出量を比較したものです。この地図の縮尺は両方ともほぼ同じですが、この地図を見比べると、チェルノブイリではかなり広い範囲にセシウム137が飛び散ったことが見てとれます。福島におけるセシウム137の放出量は、一万五千兆ベクレル。一方、チェルノブイリでは八万五千兆ベクレルです。

チェルノブイリ事故との比較

(その後、十一月十一日に文科省はデータを訂正し、自然放射線の値を差し引くと、新潟県内では福島の事故由来の放射性セシウムの沈着はないと発表)

放射性物質の暫定基準値 (厚生労働省 2011年4月8日)

放射性物質の種類	暫定基準 (ベクレル/kg)	
ヨウ素-131 (¹³¹ I)	飲料水	300
	牛乳・乳製品 (ただし幼児用粉ミルクなどは100)	
	野菜類(根菜、イモ類を除く)	2000
	魚	2000
セシウム-137 (¹³⁷ Cs)	飲料水	200
	牛乳・乳製品	
	野菜類	500
	穀類 肉・卵・魚・その他	

ベクレル(Bq) ⇔ シーベルト(μSv)
実効線量係数 (μSv/Bq)

ヨウ素-131	0.016
セシウム-134	0.019
セシウム-137	0.013

資料⑱

厚生労働省は四月の段階で暫定基準値を公表しました(資料⑱)。現在ではヨウ素131は検査されませんが、事故発生後から四月の初めくらいまでは、子どもに水道水を飲ませて良いのかなど、心配される方が多くみられました。また、セシウム137については、肉類や野菜など一キログラム当たり五百ベクレルと設定されましたが、一般の方々はそう言われても一体どれくらいの放射性物質なのか、どれくらいの影響があるのかすぐは分からないと思います。

被ばく量を計算してみる

そこで、資料⑱を見ながら、実際に被ばく量を計算してみたいと思います。暫定基準値

は、放射能を表す「ベクレル」という単位で示されていますから、この値を放射線量を表す「シーベルト」に変換しなくてはなりません。この時に必要なのが、資料⑱の右側に記されている「実効線量係数」です。次に述べる例題では、セシウム137を対象にしますので、実効線量係数○・○一三を用います。

資料⑳がその例題です。放射性セシウム137が、基準値の上限である一キログラム当たり五百ベクレル含まれる牛肉を、一日に二百グラムずつ一年間食べ続けた場合、どれくらいの累積線量になるか、というものです。まずは一キログラムあたり五百ベクレルの牛肉を二百グラム食べますので、五百(ベクレル)掛ける千分の二百(キログラム)を計算しま

計算例

放射性セシウム-137が1 kg 当り 500 Bq 含まれる牛肉を1日に200g ずつ1年間食べ続けた場合の累積線量は?

$$500 \text{ (Bq)} \times 200 \text{ (g)} / 1,000 \text{ (g)} \times 0.013 \times 365 \text{ (日)} \\ = 474.5 \text{ } \mu\text{Sv} = 0.47 \text{ mSv}$$

資料⑳

生物学的半減期			
物理学的半減期			
ヨウ素-131 (¹³¹ I)	乳児	11日	8日
	5歳児	23日	
	成人	80日	
セシウム-137 (¹³⁷ Cs)	0~1歳	9日	30年
	2~9歳	38日	
	10~30歳	70日	
	31~50歳	90日	

食品と放射能Q&A, 消費者庁 (2011年8月25日)

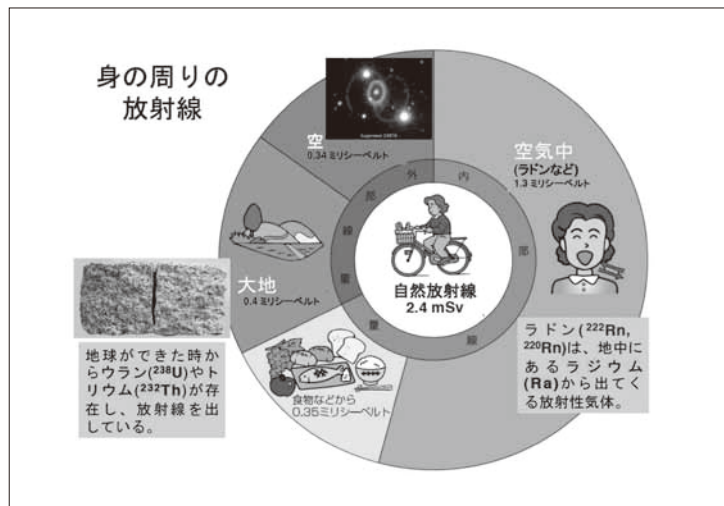
資料②

資料②(次ページ)をご覧ください。先ほどの計算結果のように、五百ベクレルの牛肉を二百グラムずつ毎日食べ続けて、一年間に約〇・五ミリシーベルトでしたが、私たちが地球上で普通に生活しているだけで、世界平均で一年間に二・四ミリシーベルトの放射線を受けます。その内訳ですが、空から飛んでくる宇宙線が〇・三ミリシーベルト、大地から〇・四ミリシーベルトです。大地には、花こう岩のようにウランやトリウム、あるいはラジウムを含む岩石があり、そこから放射線が出ています。その他に、土の中には肥料としても使われるカリウムがあります。カリウムには、放射性カリウム40が〇・〇一%含まれていて、食物を通して私たちの体内に入って

身の周りの放射線

私たちの周りにも放射線は存在します。どれくらいの量の放射線があるのでしょうか。そして先ほどの実効換算係数〇・〇一三を掛けた後、一年間毎日ですから三百六十五(日)を掛けると、四百七十四・五マイクロシーベルトとなります。他の数値と比較しやすいように、この値をミリシーベルトに直します。マイクロの千倍がミリですので、千で割ると一年間で約〇・四七ミリシーベルトの累積線量になるということが分かります。先ほど、セシウム137の半減期は三十年だと説明しましたので、セシウム137が体内に入ると長期間とどまる、と思う方が多いのではないのでしょうか。実はそうではありません。資料②をご覧ください。通常、私たちが半減期というと、それは「物理学的半減期」を指しますが、もう一つ「生物学的半減期」という値があります。セシウム137が身体に入っても、新陳代謝によって尿などと一緒に体外に排出されます。その度合いは年齢によって異なり、大人の場合で二カ月から三カ月程度で半分になります。子どもの場合では、新陳代謝が比較的早く一カ月半くらいで半分になります。さらに幼児では、成長に伴う新陳代謝が活発なことから、九日くらいで半分になります。

えば聞いたことがある方もいらっしゃると思います。農家の方たちは米や野菜をつくるに、カリ肥料や窒素肥料、リン酸肥料を使います。これらの肥料に含まれるカリウムは、私たちの筋肉を動かしたり、神経細胞による情報伝達に無くてはならない栄養素です。カリウムには、カリウム38とカリウム41があり、これらの核種は放射線を出しませんが、カリウム40は放射線（β線とγ線）を出します。私たちの体の中や自然界に存在するカリウムのうち、一万个に一個は放射線を出すカリウム40なのです。このカリウム40の半減期は、十三億年です。地球が誕生した時から、さきほどのウランと同じようにずっと地球上に存在しているのがカリウム40です。

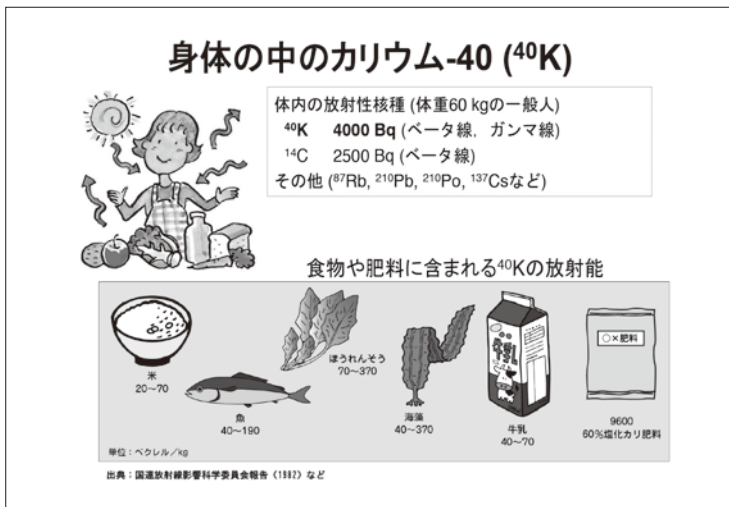


資料⑳

きますから、それによって年間〇・三ミリシーベルトの放射線を受けます。そして空気中にあるラドンからは、年間一・三ミリシーベルトの放射線を受けています。ラドンとは、部屋の壁などに使われているコンクリートにごく微量含まれるウランやラジウムから発生する放射性の気体です。

私たちの体の中にも放射性物質が存在する

原子力発電所の事故の有無にかかわらず、私たちの体の中には放射性物質が常に存在しています。それは、先ほど述べたカリウム40です（資料㉓）。カリウム40と聞いてもピンとこないかもしれませんが、カリ肥料と言



資料㉓

この資料にあるとおり、体重六十 kilograms の人の場合は、体の中にカリウム40が四千ベクレルあります。体重が半分の三十 kilograms の人は、この半分の二千ベクレルの放射性カリウムが体内にあります。

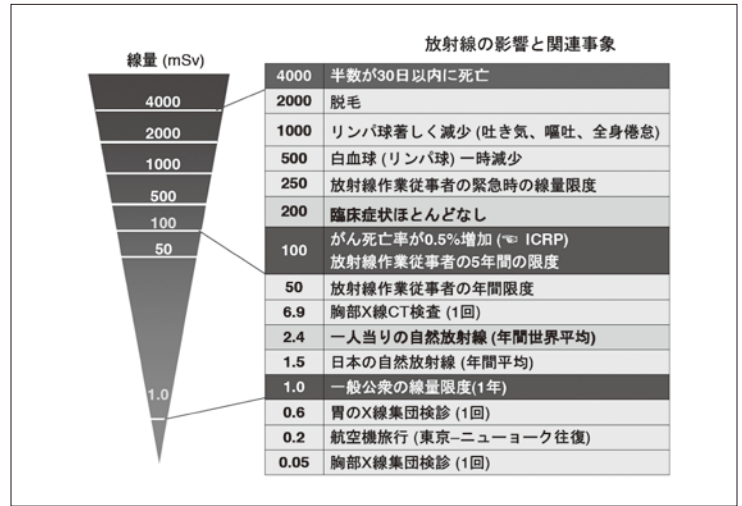
この他に、放射性炭素14も体内に存在します。この炭素14は、土器などの年代測定にも使われます。半減期は五千七百年です。

以上のように、放射性のカリウムや炭素が体内にありますから、体重が六十 kilograms の人なら、総計約六千ベクレルの放射性物質を常に持つていることになりました。一 kilogram 当たり約百ベクレルです。私は違うというような例外はなく誰しもが持つています。しかも、これは昔から変わらぬことであり、このような放射性物質が体内にあるからといって、それが原因で病気になるわけではありません。これがごく自然な状態なのです。ですから、先ほど説明したセシウム137が基準値の上限まで汚染された食べ物を一年間食べ続けたとしても、〇・五ミリシーベルトであるということは、私たちの体内にある放射性物質の量と比較すれば、安心できる範囲内にあることが分かります。

それでは、どれくらいの放射線量を浴びると身体に影響が出るのでしょうか。資料②④(次ページ)をご覧ください。先ほど、私たちが一年間に浴びる放射線量は、世界平均で約二・

四ミリシーベルトだと申しました。この二・四ミリシーベルトは、放射線の身体への影響を考える上で一つの目安になると思います。報道等では、一ミリシーベルトという数値が頻繁に出てきます。一ミリシーベルトなら浴びてもよいが、一ミリシーベルトを超えたら危険だと言います。しかし、実際にはそんなことはありません。実は、広島・長崎の原爆投下以来、さまざまな研究が七十年近く行われているわけですが、二百ミリシーベルトまではほとんどその影響を見出せないというのが科学的な事実です。

今回、福島の事故で復旧作業に当たる方々向けの臨時の措置として、被ばく量の上限が年間二百五十ミリシーベルトまで引き上げられました。作業を通して被ばく線量の上限に到達した作業員は、現場を離れて事務的な仕事につき、それ以上被ばくしないようにします。今回は特別なのですが、年間二百五十ミリシーベルトまでは、ほとんど問題ないことに基づく措置です。しかし、五百ミリシーベルトを超えると、白血球が減るなどの影響が出ることがあります。したがって、放射線作業に従事する人(職業人)には、被ばく線量の測定や定期的な血液検査といった健康診断が義務づけられています。



資料⑭

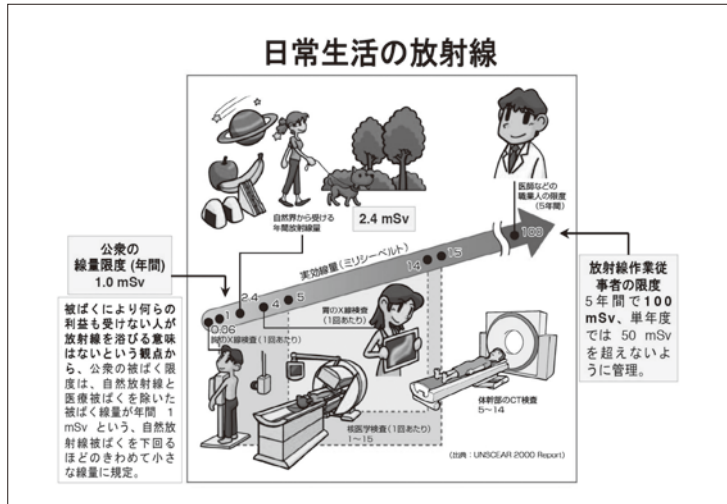
日常生活の放射線

資料⑭の一番上に、四千という数字があります。四千ミリシーベルトの被ばくをしてみると、その半数が三十日以内に死亡することが分かっています。広島や長崎では、原爆投下により直接的に亡くなった人は、瞬時に四千ミリシーベルトを超える被ばくをしたと考えられます。

私たちが被ばくする身近な例として挙げられるのが、胸のレントゲン検査です。この時の線量は一回当たり〇・〇六ミリシーベルトです。歯のレントゲン検査もおよそこれくらいです。飛行機に乗ってニューヨークに旅行すると、宇宙線によって、往復で〇・二ミリ

シーベルトの被ばくをします。航空会社の客室アテンダントやパイロットは、週に何回もフライトしますから、結構被ばくするわけですが、このくらいの被ばくで病気になることはありません。その他、胃のX線検査などでも一回に〇・六ミリシーベルト程度被ばくします。そして、ICRP(国際放射線防護委員会)が一つの基準として勧告しているのは、百ミリシーベルトです。この量の被ばくによって、がんの死亡率が〇・五%増えるの見積もっています。

ここで、これまでの話のおさらいをします。資料⑮をご覧ください。日常生活における被ばく量は、世界平均で年間二・四ミリシーベルトですが、ICRPは公衆の被ばく限度を



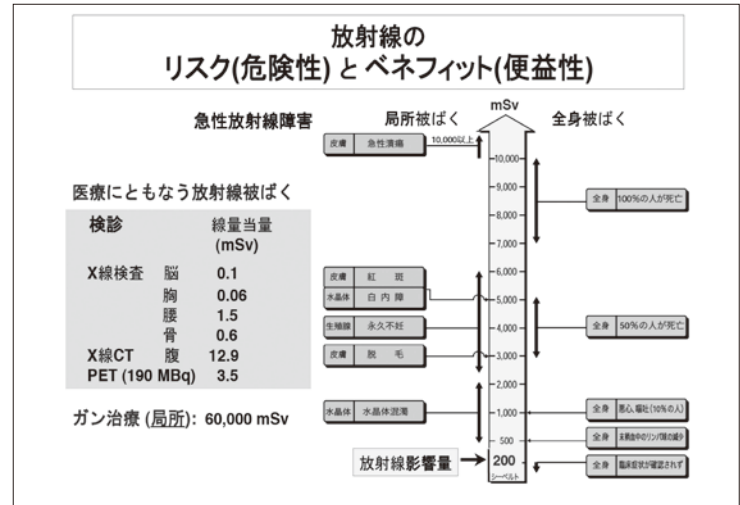
資料⑮

けると死に至りますが、皮膚の一部の被ばくでは脱毛（三ミリシーベルト）や紅斑（五ミリシーベルト）のような症状が現れるものの、死亡することはありません。このように被ばく線量が高くなればリスク（危険性）は増大しますが、リスクを知った上でうまく利用すれば、大きなベネフィット（便益）が得られます。特に、医学利用の便益は大きく、最近では診断や治療に広く用いられ、私たちの健康維持に欠かせないものになっています。

資料⑳に示すように、胸のレントゲン写真撮影では一回に約〇・〇六ミリシーベルトですが、腹部のX線CTでは十三ミリシーベルトくらいになります。PET検査という診断

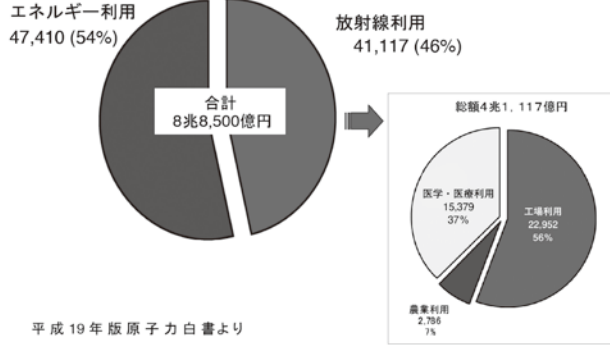
法をご存知でしょうか。Positron Emission Tomography（ポジトロン断層法）の頭文字をとってPETといい、がんの診断に使われます。診断の際には、放射性物質を体内に注射して、そこから出てくるγ線を画像処理することによってがんの早期発見につながります。この診断で使う放射性物質は、半減期が短い（二時間弱）フッ素18という核種ですが、体内に入れる放射能は一億九千万ベクレルで、これによる被ばく線量は約三・五ミリシーベルトになります。がんの早期発見という恩恵にあずかるため、被ばく覚悟で、高額のコストを支払ってでもこの検査を受ける人が最近増えていきます。

がんの治療に放射線を使うという話をよく耳にしたいと思います。この治療では、局所的ですが、線量が六万ミリシーベルト（六十シーベルト）に達することがあります。全身被ばくなら死に至る線量ですが、がん細胞をめぐって焦点を絞って放射線を照射することによって、がん細胞だけを死滅させ、通常の細胞は助けることができます。今では、このような照射技術が確立され、がんの治療に役立っているのです。とはいえ、医療被ばくのリスク低減に注意を払うことも大切で、その上で恩恵にあずかりたいものです。



資料⑳

原子力エネルギー利用と放射線利用の 経済効果



資料⑳

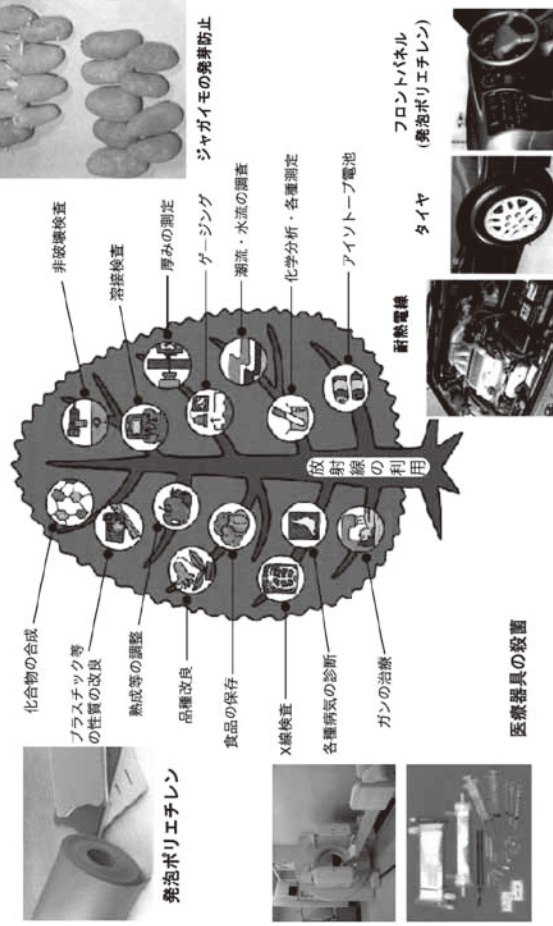
「平成十九年版原子力白書」には、放射線利用による経済効果は四兆円超であると記されています（資料㉑）。放射線は幅広い分野で社会に役立っていることも忘れないで下さい。

本日は、放射線の正体とその作用について、基礎的なことを中心にお話してまいりました

おわりに

放射線と聞くと、皆さんは原子力発電所だけを連想するかもしれません。しかし現実には、放射線は医療分野のみならず、工業や農業分野などにおいても広く利用されています（資料㉒）。

放射線の利用 (医療・工業・農業)



資料㉒

が、少しは分かっていたただけたでしょう。放射線の正体を知って正しく怖がる。その判断力を身につけていただければ幸いです。ご清聴ありがとうございました。

(本稿は、平成二十三年十一月、新潟県湯沢町において先生が講演された内容を要約し、一部加筆したものです)

文責 広報部



講師略歴

工藤 博司(くどう ひろし)

- 現職 東北放射線科学センター理事
東北大学名誉教授
日本化学会会員 日本原子力学会会員 日本放射化学会会員 日本アイソトープ協会会員
- 専門 放射化学(ラジオアイソトープ製造、核融合炉化学、トリチウム化学、ミエオン触媒核融合化学、テラネチウム化学)、無機化学(超原子価結合)
- 学位 理学博士(東北大学、昭和46年12月)
- 略歴 昭和16年10月 青島市(中国)生れ
昭和39年3月 東北大学理学部化学科卒業
昭和42年3月 東北大学大学院理学研究科化学専攻修士課程修了
昭和42年4月 日本原子力研究所研究員
昭和51年9月 科学技術庁原子力留学生として西ドイツ・ユーリッヒ研究にて核融合炉材料物性を研究(昭和52年12月まで)
昭和54年5月 日本原子力研究所副主任研究員
昭和59年4月 同研究所主任研究員
昭和63年4月 同研究所アイソトープ部研究開発課長
平成5年4月 同研究所先端基礎研究センター分子化学研究グループリーダー
平成6年4月 東北大学理学部教授(放射化学講座)
平成6年4月 日本原子力研究所客員研究員(平成7年3月まで)
国際誌 Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 編集委員
平成6年6月 国際誌 Radioclimata Acta 編集理事
平成7年4月 東北大学大学院理学研究科教授(先端理化学講座)
平成8年4月 日本原子力研究所研究嘱託
平成11年4月 核融合科学研究所共同研究員
平成11年10月 日本放射化学会副会長
平成11年10月 学会誌 Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences 編集長
平成14年4月 東北大学評議員
平成14年10月 日本放射化学会会長
平成14年11月 東北大学大学院教育研究センター副センター長
平成16年5月 東北放射線科学センター理事
平成17年3月 東北大学定年退職
平成19年1月 東北大学名誉教授
平成20年2月 国立大学教育研究評価委員会専門委員(平成23年6月まで)
○受賞 平成8年3月 日本化学会学術賞「超リチウム分子の発見と分子構造及び結合状態の解明」