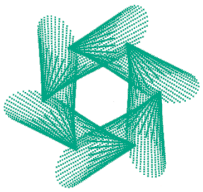


第１章　放射線の正体

目には見えないけれど今やだれもが知っている「放射線」。その放射線が発見されたのは１８９５年、わずか１００年前のことです。

放射線の研究と利用の歴史は、レントゲン博士が実験中に偶然不思議な光線を見つけたことから始まります。Ｘ線の発見という歴史的な大発見に続いて、世界中の学者たちが研究を重ねるうちに、謎に包まれていた放射線の正体が少しずつ解明されていきました。放射線というと電波や紫外線のようなものも含めていうこともありますが、一般的には物質と反応して「電離を起こすもの」を放射線と呼んでいます。この電離を起こす放射線にはアルファ線やベータ線、ガンマ線、Ｘ線、中性子線などがあります。

わたしたち人類は、誕生したときからずっと放射線を受けながら生きてきました。宇宙からはいつも宇宙線といわれる放射線が降りそそいでいます。地球を構成している物質には放射線を出す性質をもったものが数多くあり、大地からも放射線を受けています。さらには食物にも放射線を出す物質が含まれていますし、人間は自分の体内にも放射線を出す物質をもっています。わたしたちはこうした「自然放射線」と常に共存しながら生きているのです。

放射線の発見

◎目に見えない光線「エックス線」の発見

「放射線」という言葉は今ではだれもが聞いたことがありますが、放射線が発見されたのは、たかだか１００年前のことです。ある実験をしていたレントゲン博士が、それまで見たこともなかった現象を体験したのです。

彼の実験というのは、内部の空気を抜いた真空度の高いガラス管を使って、その中にセットした電極で放電させるというものでした。このときガラス管を黒い紙で覆っていたにもかかわらず、たまたま暗室にあった蛍光板が蛍光を発しているのに気がつきました。１８９５年１１月８日のことです。

「何かが黒い紙を通り抜けて出てきているに違いない。そしてそれが蛍光板に当たって光らせているのに違いない」

不思議に思ったレントゲンがさらに調べると、黒い紙を通り抜けてきた何ものかは、写真乾板も感光させることが分かりました。また、蛍光板が光っている状態で蛍光板の上に手をかざすと、手の骨の部分だけは蛍光板が光らない。それで骨の形がよく見えることも分かったのです。レントゲンは、ガラス管から出てきているものを、ともかく「X線」と名づけました。そしてこのことを学会に発表したところ、大きな反響を呼んだのです。今エックス線のことをレントゲン線といったり、胸のレントゲン写真をとるなどといいますが、このレントゲンはまさしくレントゲン博士の名からきているのです。

◎ウランからも放射線を発見

レントゲン博士のX線発見の騒ぎがまだおさまらない翌１８９６年、また新しい発見がありました。フランスのベクレルが、たまたま写真乾板の上に薄い銅の十字架を置き、その上にウラン化合物の結晶を乗せて机の引き出しにしまっておいたときのことです。あとで乾板を現像してみると、十字架の形がはっきりと写っていたのです。ベクレルは、ウラン化合物がエックス線に似た「放射線」を出していたことを発見したのです。ベクレルの乾板が感光したのはこの放射線の作用でした。

◎キュリー夫人が「放射能」と命名

ポーランド生まれのキュリー夫人（マリー・キュリー）は、夫のピエール・キュリーと協力して、１８９８年、ウランを含む鉱物であるピッチブレンドから、ポロニウムとラジウムという放射線を出す物質（放射性元素あるいは放射性物質）を分離することに成功しました。そして、こうした物質が放射線を出す性質のことを、「放射能」と名づけました。キュリー夫人のポロニウムとラジウム発見の

作業は、数トンもの鉱石を砕き、さらに化学処理して放射能をもつ成分を抽出するという、４年がかりの大変なものでした。そして彼女は、新しく分離した物質の一つを、彼女の故郷のポーランドにちなんでポロニウムと名づけたのです。のちにこの功績により、ノーベル賞を授与されました。

元素には安定なものと不安定なものがあります。不安定な元素は、放射線を放出することによってより安定な元素になろうとし、安定な元素になるまで放射線を出し続けます。このように放射線を出す元素を「放射性元素」といい、放射性元素が放射線を出して別の元素に変化することを「放射性元素の壊変」といいます。

放射性元素の話をするときは、必ずといっていいほど半減期という言葉が出てきます。放射線を出す頻度が半分に減少するまでの時間が半減期です。半減期は放射性元素の種類によって異なり、何百万分の一秒というものや何億年というものまであります。

半減期というと難しく聞こえますが、要するに半減期の短いものはそれだけ早く放射能がなくなるというふうに理解してもらえればよいでしょう。

放射性元素の半減期

放射性元素の名称	半減期 億年	年	日	時間	分	秒
トリウム232	141					
ウラン238	44					
炭素14		5,730				
ラジウム226		1,600				
ヨウ素131			8			
ラドン222			3			
ナトリウム24				15		
ガリウム66				9		
ポロニウム218					3	
窒素16						7

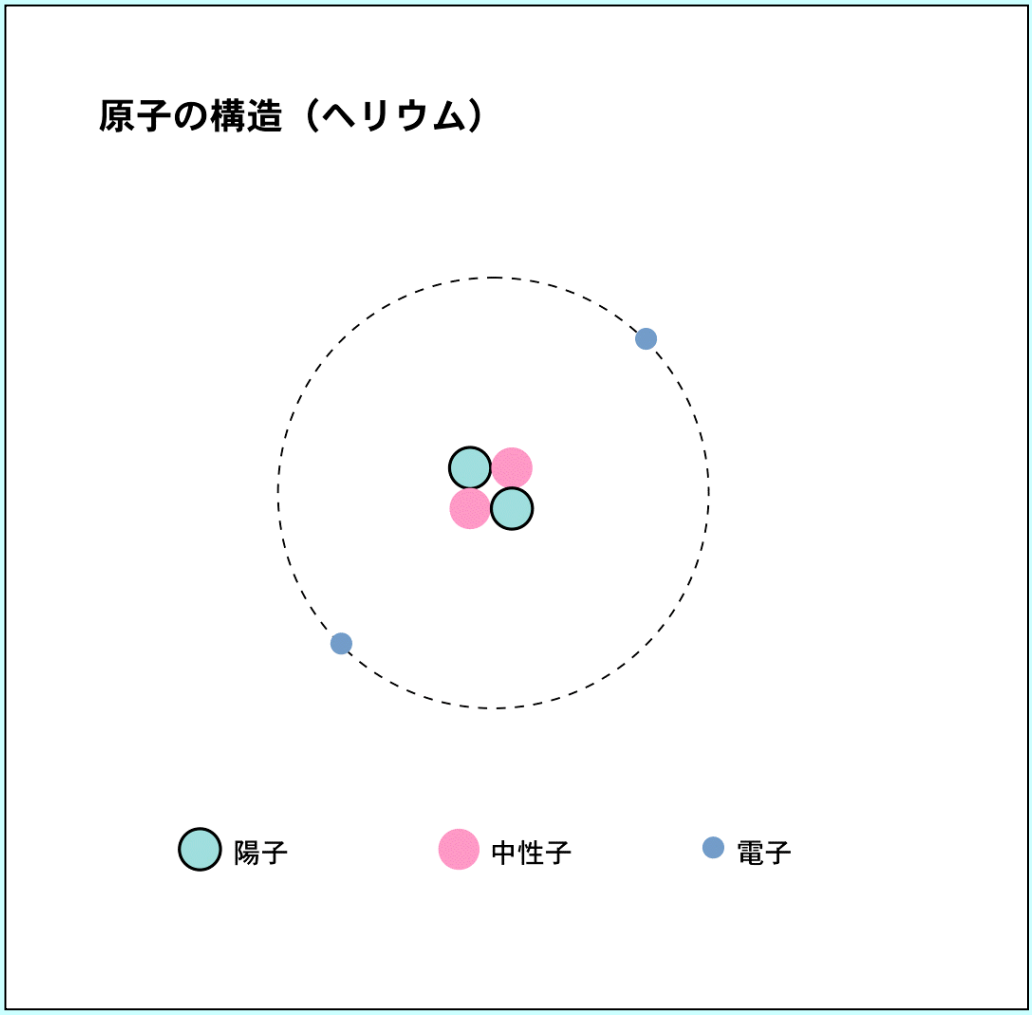
それぞれの放射性元素の名称の後に付いている数字は、陽子の数と中性子の数の合計を示しています。
同じ元素でも、この数の違いによって、放射性のものとそうでないものがあります。
（例）炭素14（放射性）
　　炭素12（放射線を出さない）
小数点以下は切り捨てました。

放射線の物質への作用

放射線は空間や物質の中を伝わっていきます。その伝わり方は軽い物質の中の方がよく通り、金属などの重い物質の中ではあまり遠くまでは通過できません。放射線は物質の中を通過するとき、その物質にもっているエネルギーを与えます。そしてさらに放射線には、空気や水や生物の体などにあたったとき、これらを構成している原子から電子をはじき飛ばす作用があります。原子を構成している電子がはじき出されると、マイナスの電気が減る分、原子全体としてはプラスの電気を帯びることになります。つまりプラスの電気をもつ原子とマイナスの電気をもつ電子に分かれることから、これを「電離」といいます。

原子の構造

原子は原子核とその周りを取り巻くいくつかの電子からなっていて、原子核をさらに詳しくみると、陽子と中性子というものが集まってできています。陽子はプラスの電気をもった粒子であり、中性子は、重さは陽子とほぼ同じですが、電気をもっていません。電子はマイナスの電気を帯びた粒子で非常に小さいものです。そして通常はどの原子をみても、原子核にある陽子の数と同じだけの数の電子が周囲を回っています。プラスとマイナスが同数なので、打消しあって原子としては電気的に中性になっています。



物質を構成しているのはたくさんの原子であり、原子と原子は数個の電子を仲介にして結ばれています。その結び目にある電子が「電離作用」によりはじき飛ばされると、原子と原子の結び目がほどけて２つのグループに分離してしまいます。

水素と酸素の２つの元素からできている水のような単純な物質では、分離が起きても離れた元素同士は普通すぐに再結合してもとに戻ってしまいます。しかし生体細胞のように複雑な構成の物質の中で、しかも大量の放射線によっていくつもの点で分離が同時に起きると、ことが複雑になります。いったん分離したものが再結合した結果、原子の組み合わせが変わり、異なった物質になるというようなことが起こるのです。

ここでは電離作用の説明をしましたが、放射線にはそのほかに前に述べたように蛍光物質を光らせる蛍光作用、写真乾板を感光させる写真作用等があります。

放射線の種類と性質

放射線というと広い意味では電波や紫外線なども含みますが、ふつうは物質と反応して「電離を起こす」ものを放射線といっています。

この電離を起こす放射線には、アルファ線、ベータ線、ガンマ線、Ｘ線、中性子線などいろいろな種類のものがあります。

アルファ線は、放射性物質が放出するアルファ粒子の流れです。アルファ粒子は陽子２個、中性子２個でできた粒子で、ヘリウムの原子核と同じです。陽子が２個あるので、プラスの電気を帯びています。アルファ線はほかの放射線、例えばベータ線に比べると物を突き抜ける力は弱く、薄い紙１枚でストップしてしまいます。そのかわり、この短い距離のあいだにさえぎった物質に全エネルギーをあたえることになりますから、放射線としての作用は大きいことになります。

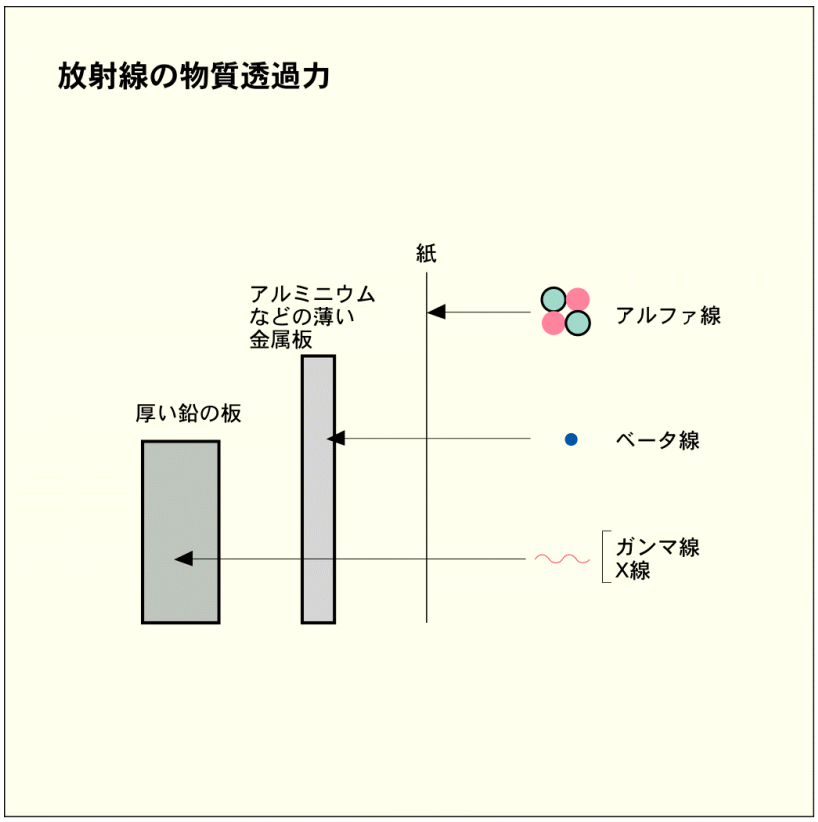
ベータ線はアルファ線と同様に放射性物質から放出される粒子で、電子または陽電子の流れです。アルファ線に比べると物質に及ぼす作用は小さいのですが、透過力は大きい放射線です。空気中で数十センチから数メートル飛びます。

放射線の作用の比較

種類		蛍光作用	写真作用	電磁作用
アルファ線	（アルファ粒子の流れ）	大	大	大
ベータ線	（電子の流れ）	中	中	中
ガンマ線、X 線	（電　磁　波）	小	小	小

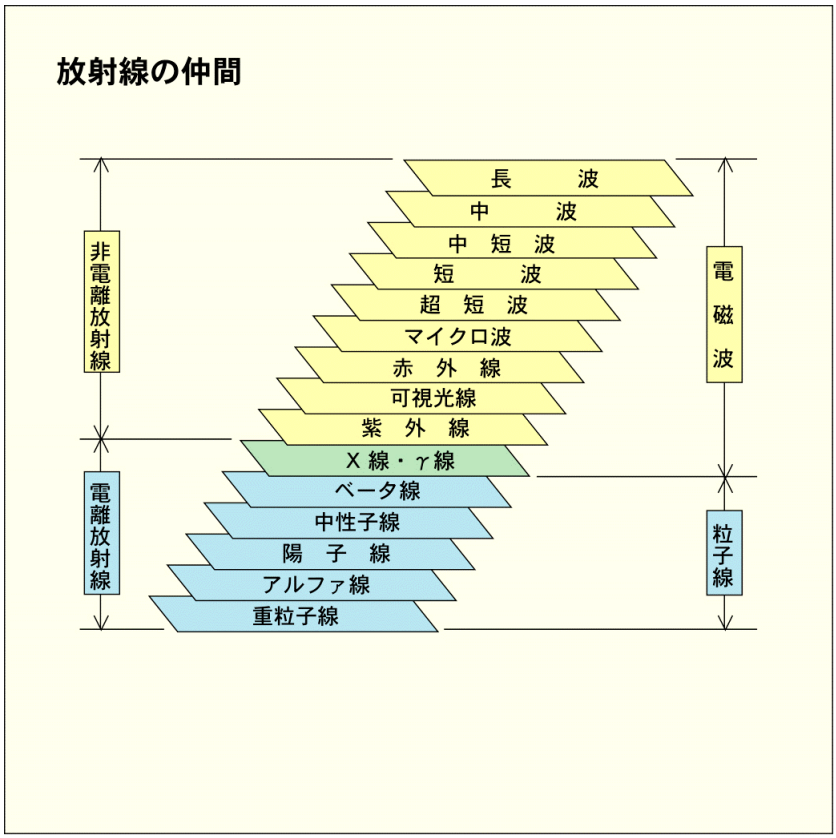
ガンマ線とＸ線は電磁波です。電磁波というと難しく聞こえますが、たとえば光やテレビ放送に使われている電波なども同じ電磁波です。ガンマ線やＸ線は電波と同じように空間を伝わって広がっていくとともに、物質の中を比較的よく通り抜けていきます。

電磁波は波長の長さで分類されています。波長の短いものがガンマ線やＸ線です。その次に紫外線、可視光線、赤外線と続きます。波長が赤外線よりも長い電磁波を、単に電波と呼んでいます。



ガンマ線は、原子核が変化して出てくるものです。これに対しＸ線は、ふつうは高速の電子を真空管の一種であるＸ線管の陽極にあてて発生させるものです。

放射線にはこのほかに中性子線というものもあります。原子核を構成している粒子の一つである中性子が原子核から出てくるもので、原子炉の中でウランなどの原子核が核分裂をすると中性子が出てきます。発電用の原子炉などでは、この中性子が大きな役割を果たしています。



放射線は微量でも検出できる

放射線は物質を電離する力があるので、このことを利用して放射線の存在を知ることができます。放射線は目には見えませんが、物質が電離したことは簡単に電気信号として検出できますから、比較的容易に感度の高い測定ができるのです。ですから、ごく微量の放射線をも測定できます。例えば、１秒間に１個壊変する放射性物質から出る放射線でも測定が可能です。ふつうの化学物質では、このような微量の測定をすることは到底できません。

放射線の人体への影響はミリシーベルトという単位で比較

放射線の話をするときにも、やはりきちんと単位を決めておかないといろいろな比較ができません。「あの人はお酒をたくさん飲む」といっただけではどのくらいの量を飲むのか分かりませんが、「あの人は毎晩日本酒を１．８リットル飲む」といえば、すぐに分かります。このように放射線についても、いろいろな比較ができるようにするためにいくつかの単位が決められています。

このような単位の１つとして、放射線の人体への影響の度合いを考えた「シーベルト」という単位があります。略して Sv と書きます。自然界から受ける放射線などのような低い線量の放射線のときはシーベルトという単位では大きすぎるので、その千分の１の「ミリシーベルト（mSv）」という単位を使います。シーベルトという単位はたいへん便利な単位です。ひとくちに放射線といってもアルファ線とか中性子線とかいろいろな種類があり、同じ量の放射線を受けても放射線の種類によって影響が違ってきます。もっと具体的にいいますと、Ｘ線やベータ線などと比べるとアルファ線や中性子線は同じエネルギーを吸収した場合でも人体への影響は大きく、おおよそ５～２０倍です。シーベルトという単位はこのようなことを考えて作られました。

放射線を受けることを「放射線被ばく」あるいは簡単に「被ばく」といい、被ばくにより人が受けた放射線の量を「被ばく線量」あるいは「線量」といいます。被ばく線量としてシーベルトという単位を使うと、どういう放射線を受けたかをいちいち考えなくても、シーベルトであらわした数字が同じなら影響も同じということになります。

放射線に関する単位

単位名	記号	説明
シーベルト	Sv	重量あたりの吸収エネルギー量に、放射線の種類による生体への影響度合の違いを考慮した係数を乗じて求めた放射線の線量。 係数： X線・ベータ線　1 アルファ線　20 中性子線　5～20
グレイ	Gy	重量あたりの吸収エネルギー量で表した放射線の線量
ベクレル	Bq	1秒間に壊変する原子核の数で表した物質の放射線を出す能力 放射能の単位

お酒に例えると、同じ１００ミリリットルでもビール１００ミリリットルとウイスキー１００ミリリットルでは酔い方がまったく違います。そこで同じ程度にほろ酔いになる量をビールなら何ミリリットル、ウイスキーなら何ミリリットルと決めて、かりにこれを１単位とします。逆のいい方をしますと、同じ１００ミリリットルでもウイスキーはビールの６倍強いという具合に、お酒の種類によって決まった係数を掛けてから比較するのです。こうすると、今日は３分の１単位しか飲んでいないとか今日２単位飲んだという話をすれば、お酒の種類に関係なく酔い方が分かるわけです。

生物は自然放射線と共存している

われわれの住む宇宙は、約１５０億年から２００億年ほど昔に、ビッグバン（大爆発）によって生まれたとされています。その後宇宙は膨張し冷えながら種々の物質を作り出していったのです。このなかで星や銀河、超銀河集団などが誕生しました。

星ができる過程などで起きる核融合反応（軽い元素同士が融合して、より重い元素になる反応）や星が一生を終える際の超新星爆発などを繰り返した結果、宇宙空間には、軽い元素から重い元素までいろいろな元素がガスやちりの形で漂うことになります。そのなかには放射性元素もたくさんありました。このようにしてできた放射性元素は、何千種類もあるといわれています。このようないろいろな元素のガスやちりがもとになって、私たちの太陽系は４６億年前に誕生しました。

したがって地球を構成している元素にも、もともと多くの種類の放射性元素がありました。これらはアルファ線、ベータ線、ガンマ線などを出しながら、次第に別の安定な元素に変わっていきました。このように地球には最初から放射性元素と放射線が存在したのです。地球の年齢は約４６億年ですが、現在でも半減期の長い放射性元素がたくさん残っており、放射線を出し続けています。

またこのほか、地球には宇宙からのさまざまな放射線が常に降りそそいでいます。

海の中で発生した生物はやがて陸に上がり、ついに人間にまで進化しました。放射線は、このような生物誕生以後もずっと存在し続けているのです。

つまり私たち生物は、誕生した当初から宇宙や大地からの放射線を受け続けながら生きてきました。今後もその状況は変わることは

なく、地球上の生物はすべて自然界にある放射線（自然放射線）と共存していくことになります。

自然放射線の種類と量

◎大気圏外からやってくる放射線「宇宙線」

自然界には放射線を出すものがいろいろあって、私たちは知らず知らずのうちに、いつも放射線を受けています。

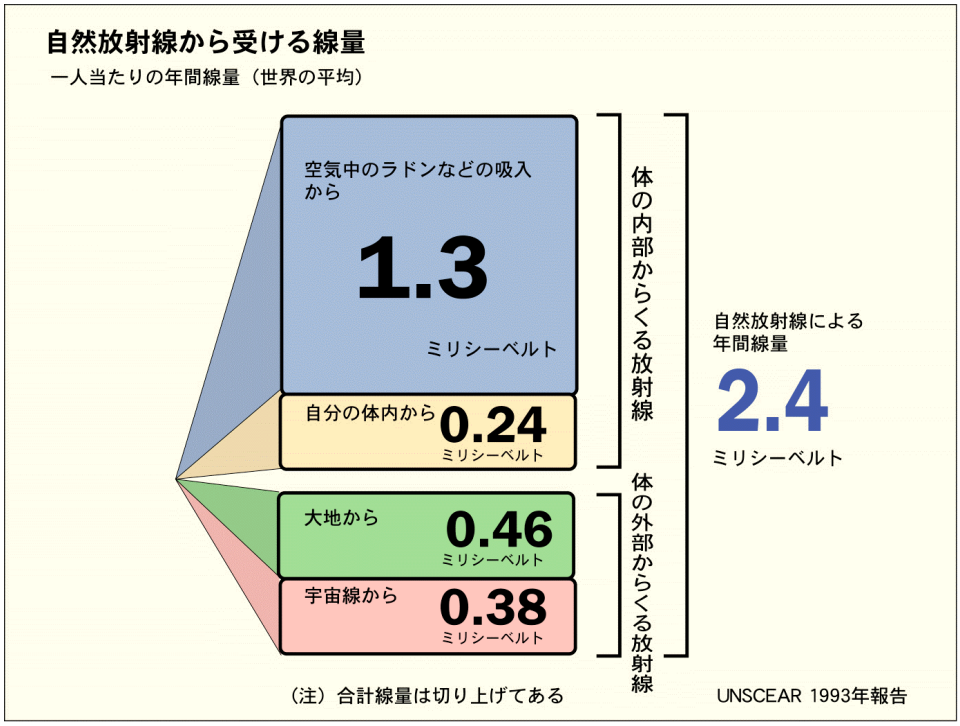
まず、宇宙からは宇宙線といわれる放射線が降りそそいでいます。宇宙線はどこからくるのでしょうか。１つは太陽からやってきます。しかし、太陽とは反対の方向からも宇宙線は降りそそいできます。宇宙のあらゆる方向から宇宙線は降ってくるのです。太陽系の外からくる宇宙線の起源は、超新星などです。

地球の外から地球に降りそそぐ宇宙線を１次宇宙線といっています。この１次宇宙線が大気中の窒素、酸素などの原子と衝突して２次宇宙線を作り出します。私たちの受けている宇宙線の多くはこの２次宇宙線です。

１次宇宙線は高エネルギーの陽子が全体の９０％強を占めており、残りはアルファ線やベータ線、Ｘ線などです。そして１次宇宙線は大気中に存在する原子と相互作用して、中性子線やガンマ線などの２次宇宙線を作ります。

高いところにいくと宇宙線をさえぎる大気の層が薄くなるので、平地にいるよりも余計宇宙線を受けることになります。例えば、富士山頂では平地の５倍に達します。南米アンデス山脈の海抜４，０００メートルというような高いところに住む人や、高空を飛ぶジェット機の乗務員や乗客は、宇宙線による被ばくが多くなります。例えば日本とニューヨークをジェット機で往復すると、平地にいる人よりも０．１ミリシーベルト近く余分に放射線を受けます。

宇宙線により１年間に人が受ける線量は、世界の平均で０．３８ミリシーベルト、日本の平均で０．２９ミリシーベルトです。



◎大地からの放射線

関西に住んでいる人は関東の人よりも多くの自然放射線を受けているということがいわれます。事実その通りで、これは場所によって土壌に含まれている鉱物が少しずつ異なることなどが原因になっています。

例えば大阪では１人１年間に大地から平均０．４６ミリシーベルトの放射線を受けるのに対し、東京では０．３２ミリシーベルトと少なくなっています。関西は、地表が放射性物質の比較的多い花崗岩を多く含んだ地層であり、東京の関東ローム層の方が、出てくる放射線が少ないのです。

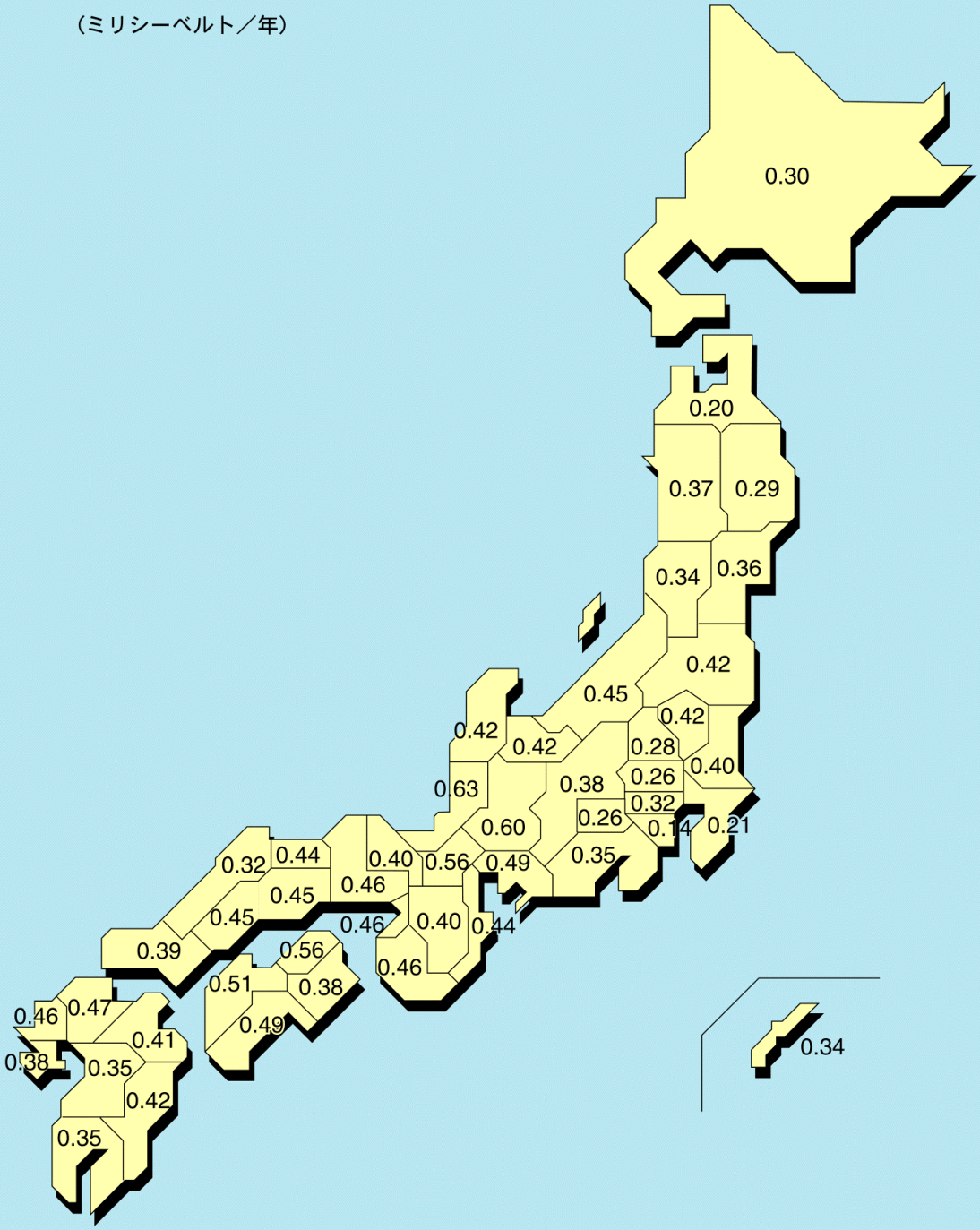
このように大地からくる放射線の地域による違いは、日本国内だけでなく地球上どこにでもみられる現象です。大地からの放射線の量は一般的には年間０．２～０．６ミリシーベルト程度なのですが、ブラジル、インド、中国、イタリア、フランス、イランなどでは、これより１０倍から所によってはそれ以上高い地域もあります。

ブラジルのガラパリという地方の土壌は、モナザイト砂といって放射性物質のトリウムを多く含んでいます。ここでは大地から１年間に１０ミリシーベルト程度の放射線を受けています。インドの南西海岸のケララ州では、やはりモナザイト砂のなかのトリウム濃度

大地からの放射線

大地の放射性物質から受ける一人当たりの年間線量

（ミリシーベルト／年）



原子力安全研究協会「生活環境放射線」

が高いため、年間３８ミリシーベルト程度の放射線を大地から受けています。中国の広東省のある地域では、トリウム、ウラン、ラジウムの濃度が高く、住民は年間３～４ミリシーベルトを受けています。イランのラムサール市にはラジウムを含んだ湧き水の出るところがあり、ここの住民は年間１００ミリシーベルトもの放射線を大地から受けています。

一方、職業によっては放射線を受ける量が少なくなる人もいます。長い期間を海上で過ごす漁業関係者や船員などです。海水に含まれている放射性物質は、大地の土壌や岩石に含まれている放射性物質に比べてその量が格段に少ないからです。

大地からの１年間の線量は、世界の平均で約０．４６ミリシーベルト、日本の平均では約０．３８ミリシーベルトとなっています。

◎体内にも放射性物質

私たちの体の中には食物などを通じて吸収されたいろいろな放射性物質があり、それらからも放射線を受けています。そのような体の中にある放射性物質の主なものは、カリウムや鉛、ポロニウムなどです。

これらの放射性物質による被ばく線量は、計算によって求めることができます。たとえば、体の中にどのくらいカリウムが含まれているか調べると、そのなかに放射性のカリウムがどのくらいの割合で含まれているかは分かっていますので、これによってその線量を計算することができるのです。それによるとカリウムによる被ばく線量は、平均的日本人で１年間に約０．１８ミリシーベルト程度になります。

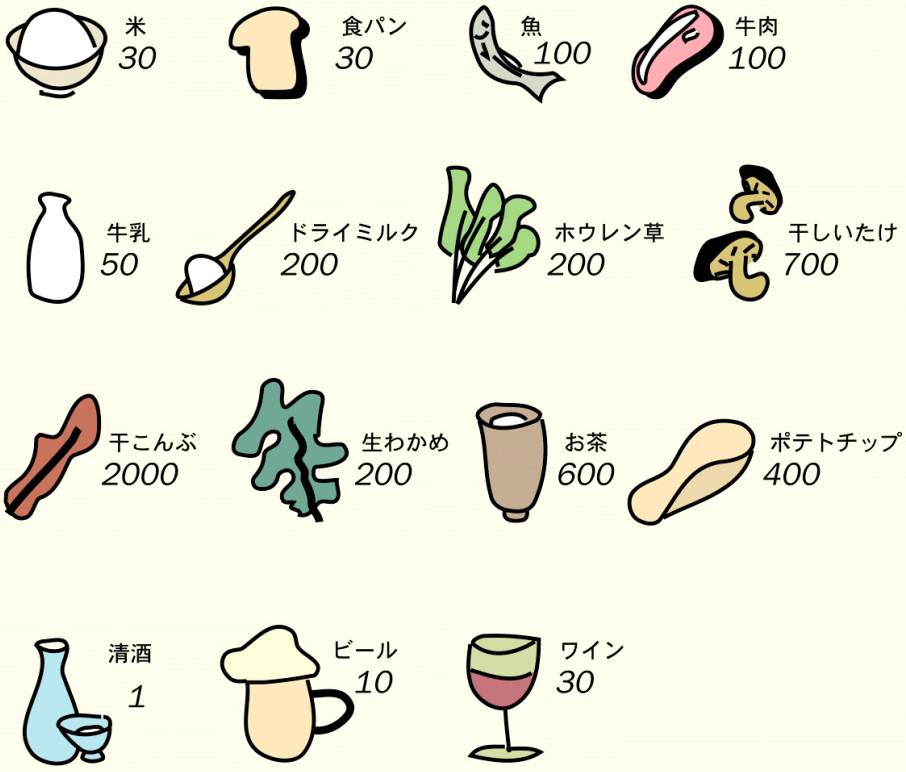
体内のカリウムやその他いろいろな放射性物質から受ける線量の合計は、世界平均で１年間に約０．２４ミリシーベルト、日本の平均では約０．４１ミリシーベルトです。

体内、食物中の自然放射性物質（平均的日本人の場合）

●体内の主な放射性物質から受ける一人当たりの年間線量

カリウム40	0.20ミリシーベルト
炭素14	0.014ミリシーベルト
ルビジウム87	0.003ミリシーベルト
鉛・ポロニウム210	0.16ミリシーベルト

●食物中のカリウム40の放射能量（ベクレル／kg）



科学技術庁「生活環境放射線」ほか

◎空気中の放射性物質「ラドン」

ラドンは、鉱山労働者の肺がんの原因となるということがいわれています。ラドンそのものは他の物質と化合しないので空気中に漂っていますが、時間が経つにつれて別の放射性物質に変化していきます。変化してできた放射性物質の大部分は、空気中の塵などにくっつきます。空気中に浮かんでいるこれらの放射性物質を吸うことにより、気管、気管支や肺の細胞がアルファ線を受けて肺がんになる恐れがあるというわけです。

具体的な事例でみると、ドイツのシュネーベルグ鉱山で１６世紀頃から肺の病気による死亡率が高かったのですが、２０世紀になってラドンによる肺がんであることが判明しました。その後世界各国で調査され、ラドンと肺がんの因果関係が明らかになってきました。しかし最近における調査によると、鉱山では空気中のヒ素などを含む塵埃の影響が大きいことが判明しつつあり、いくつかのケースでラドンによる死亡率は低い方に修正されています。

一方コンクリートの家などで室内の空気にラドンガスが多く含まれていることが話題になっています。ラドンは地中や建材などに含まれているラジウムの原子が変化して出てくるもので、鉱泉水などにも含まれていることがあります。ラドンは色も匂いもないので、家の中の空気にも含まれていますが、それと気づきません。

こうしたラドンやそれが変化してできる放射性物質から、一般家庭でどのくらいの放射線を受けるのか気になるところですが、木造でしかも開放的な家屋構造の日本では低く、平均して１年間に０．４ミリシーベルトと算定されています。コンクリートや石造りで、しかも密閉度の高い北欧では線量は高く、スウェーデンでは平均して日本の約４倍と見積もられています。世界の平均では１年間に１．３ミリシーベルトです。

一般家屋におけるラドンと肺がんの関係についての調査はいろいろあります。例えば米国の４１１の郡についての調査では、ラドン密度の高い地区の人たちの方が肺がんが少ないという結果が出ています。しかしそれとは逆の結果の調査もあり、国連科学委員会（ＵＮＳＣＥＡＲ）では現状では何とも判断できないとしています。

◎自然放射線から受ける線量の合計は

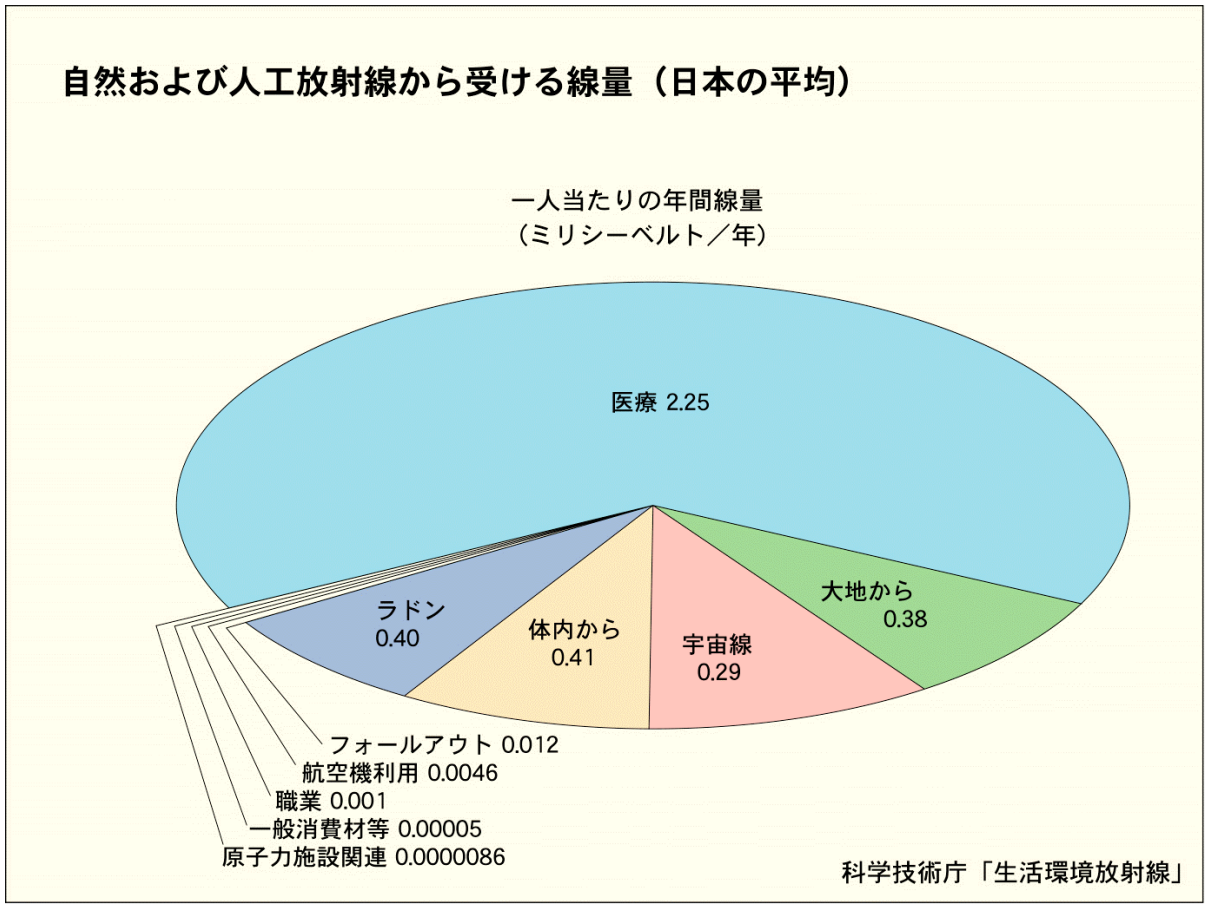
今まで述べてきたような放射線は、すべて自然界に存在するもの

です。もちろん人間だけでなく地球上に生息する生物はすべて、いつも自然界から放射線を受けているのです。なお私たちの身のまわりには、第２次大戦以後のたび重なる核実験に起因する人工的な放射性物質も、ごくわずかながら存在しています。

宇宙線や大地などからくる放射線はいってみれば体の外からやってくるわけで、これを受けることを「外部被ばく」といっています。これに対して空気を吸ったり食べ物を食べたりしたときには、食べ物や空気といっしょに放射性物質を飲み込んだり吸い込んだりします。その結果放射性物質が体内に取りこまれ、それにより放射線を受けることになります。これを「内部被ばく」といっています。

世界の平均では、１人当たり１年間に外部被ばくによって０．８ミリシーベルト、内部被ばくによって１．６ミリシーベルト、合計２．４ミリシーベルトの自然放射線を受けているといわれています。これに対して日本人の平均は、外部被ばくによって約０．６７ミリシーベルト、内部被ばくによって約０．８１ミリシーベルト、合計１．５ミリシーベルトと推定されています。

なお、日本では自然放射線のほかに放射線を利用した医療診断によって、国民１人当たり平均で年間２．２５ミリシーベルトの線量を受けています。（第２章参照）



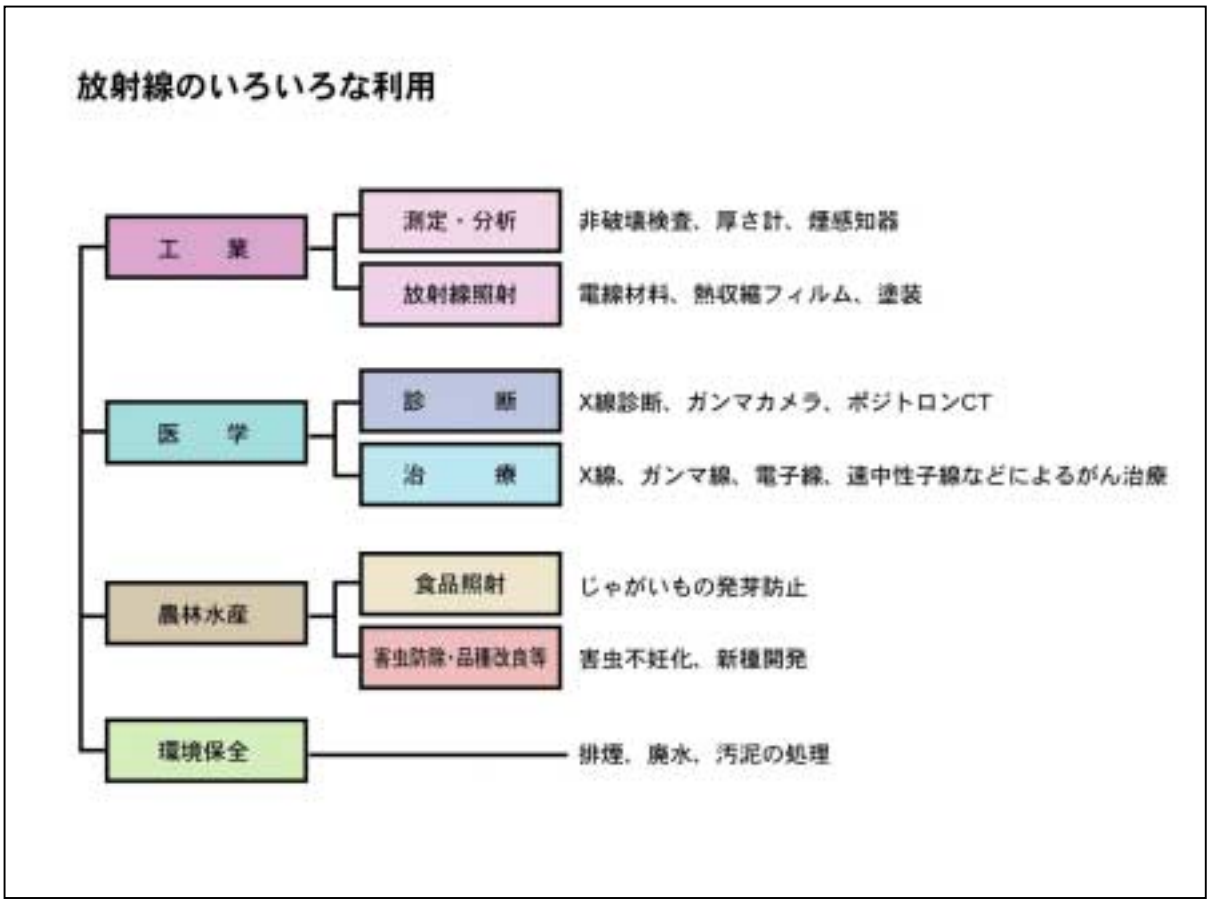
広く利用されている人工放射線

今までは主に自然放射線について述べてきましたが、私たちは放射線を人工的に作り出し、あるいは放射線を出す物質を人工的に作るなどして、それらの放射線を便利に使っています。そのことを少し紹介しましょう。

人工放射線として早くから利用されているのはＸ線で、とくに病気の診断などのために日常的に使われています。

Ｘ線による診断では、胸部、食道、胃、十二指腸、腹部、骨、歯などの撮影が行われますが、単純撮影や造影剤を用いてフィルムに撮影するほかに、最近はＣＴも広く普及しています。Ｘ線管を体の周りで回転させ、体を透過してきたＸ線を反対側の検出装置で刻々受け、その強度をコンピュータで計算することによって、体の断面像を作るのです。

診断には放射性物質もよく使われます。例えばがんの診断で、がんの組織に集まりやすい放射性物質を注射すると、がんのところに集まって放射線を出します。それを機械に自動的に検出させ、シンチグラムという図形を描かせます。これで、がんの広がりなどを知ることができるのです。

放射線は、がんの治療にも大きな役割を果たしています。

人工放射線は、工業や農業などの分野でも広く利用されています。工業利用では、放射性物質を線源として利用する非破壊検査などがあります。金属材料などの被検査体に放射線をあて、透過した放射線によって写真フィルムを感光させて、内部にある傷を検出したりすることをラジオグラフィーといい、Ｘ線やガンマ線が使われます。農業分野では、少量の放射性物質を肥料の中に入れて植物に取り込ませ、肥料の植物への分布を調べたり、植物に放射線をあてて突然変異を起こさせ、品種改良を行ったりしています。じゃがいもに放射線をあてて発芽力をなくし、保存期間を長くするというのもよく知られた利用法です。