

第93回職場保健指導者研修会

テーマ 放射線を知る

福島第一原発の事故で身のまわりの放射線への関心が高まりました。当然、放射線による健康被害を心配する人は多く、そんな国民の不安をあおるようなマスコミ報道も、残念ながら、中には見受けられます。

放射線について正しい知識を身につけることが、今一番必要なことかもしれません。

以下は「放射線と安全なくらしのはなし」と題した、大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター長奥田修一先生の講演要旨です。

演題 「放射線と安全なくらしのはなし」

大阪府立大学地域連携研究機構放射線研究センター長

奥田修一先生

はじめに

「私たちの中から放射線が出ていることを知っていますか?」と、理工系の学生に聞い

てみると、半分以上は知らないと答えます。放射線については被爆

という歴史的な経験と経緯をたどつてきたわが国で将来のリードとなるべき大学生が放射線に関する知識がないというのは、大変問題です。

射線について十分な知識を持たず、しっかりととした対処ができるないと国を誤ることになります。教育に携わるものとして、あらためて人材教育についてしっかりとやつていかねばと、使命の大きさと重さを実感しています。



I 放射線の基礎知識

放射線の正体

今から116年前の1895

年、レントゲンは放電の実験中に偶然、放射線を発見しました。この発見で彼は第1回ノーベル物理学賞を受賞しました。

私たちの身のまわりにはいろんな放射性物質があり、放射線が出ています。自然界のほとんどの物質には微量の放射性同位元素が含まれています。自然由来の放射線だけでなく

人工的に発生する放射線もあります。電子を加速し、電圧をかけた電子をターゲット(標的)に

ぶつけると、電子のエネルギーは光(放射線)に変わります。離れたところの螢光板が光って、見ることができます。放電実験中にレントゲンが見つけた光(放射線)がそれです。光線はエックス線(X線)と名付けられました(図1)。

からだをつくっている
小さな粒子や光



図1 エックス線の発見



1895年、ヴィルヘルム・コンラート・レンツゲンは、放電管を用いた実験中に、偶然、透過力の強い光線を発見し、これをエックス線(X線)と名付けた。この功績により、第1回ノーベル物理学賞を受賞。

エックス線による手の透視写真。エックス線の発見は医学界にも大きな反響を呼び、すぐに診断に応用された。

こういうエネルギーを持つ粒子や光を放射線といいます。放射線自体は決して特殊なものではありません。放射線には宇宙から降り注ぐもの(宇宙線)、大地や食物などから出るものがあり、そしてわたしたちのからだからも出ています。放射線を出す物質は自然界のあらゆる物に含まれています。

■放射線とは

- 狹義には、放射性物質から放出されるアルファ(α)線・ベータ(β)線・ガンマ(γ)線の総称をいう。
- 広義には、エックス線・中性子線・宇宙線などを含めた電磁波および粒子線を指す。

放射線の主な種類は、アルファ線(α 線)、ベータ線(β 線)、ガンマ線(γ 線)、エックス線、中性子線などです。アルファ線、ベータ線、中性子線は粒子線ですが、エックス線とガンマ線は光線(電磁波)です(図2)。

線(α 線)、ベータ線(β 線)、ガンマ線(γ 線)、エックス線、中性子線などです。アルファ線、ベータ線、中性子線は粒子線ですが、エックス線とガンマ線は光線(電磁波)です(図2)。

に電子も53個あります。

原子炉でつくられる不安定な放射性同位元素がヨウ素131です(図3)。ベータ線やガンマ線を放出して別の原子核キセノンに変わり、安定になります。

放射能は時間とともに弱くなる

原子には、陽子と電子の数は同じでも原子核の中の中性子の数が違うものがあります。これらを同位元素といいます。不安定な同位元素の原子核は崩壊して安定なものになります。このとき放射線を出すので、こうした同位元素を放射性同位元素といいます。

放射性同位元素には、自然にある安定なものと不安定なものがあります。たとえば、ヨウ素の同位体は多くありますが、ヨウ素127が主に自然にある安定した同位元素です。中性子の数は74個、原子核には53個の陽子があつて、電気的にり合うよ

放射性物質は放射線を出して原子核が壊れていき、その数が減ります。放出する放射線の強さも次第に減っていきます。

そして半分に減る時間を「半減期」といいます(図4)。半減期は放射性同位元素によってまちまちです。何十億年というものから何秒という短いものもあります。ヨウ素131は8日間、セシウム137は30年です。原子炉ではさまざまに放出される放射性同位元素がつくられ、外部に出た場合には、この種類によっては拡散し、影響を与えます。

自然にある身近な放射性同位元素カリウム40は13億年と非常に長い半減期です。野菜などにも含

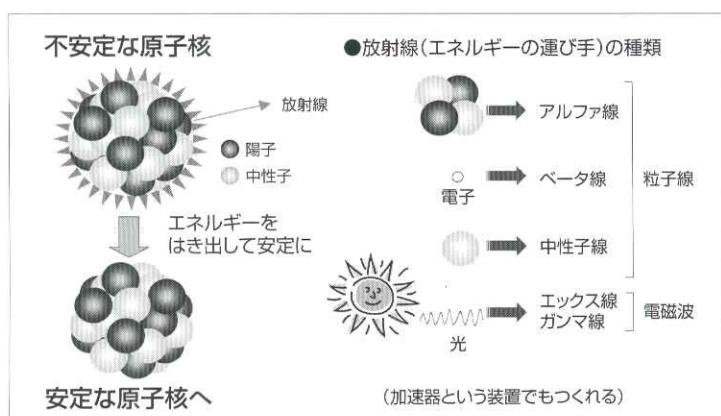


図2 放射線の正体

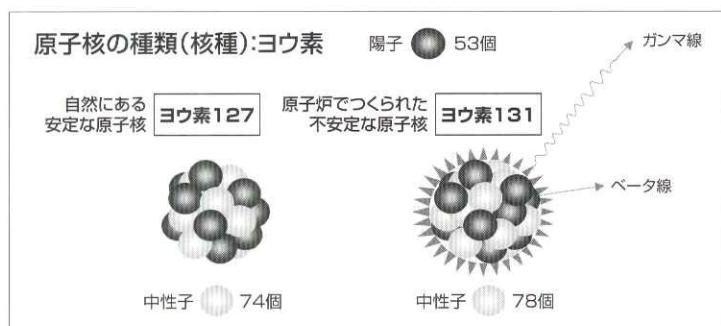


図3 放射線同位元素(ラジオアイソトープ、RI)

まれ、からだの中にもあります。

これも自然にある放射性同位

元素のウラン235は、原子力発電の燃料として利用されます。

半減期は7億年です。地球が誕生して46億年ですから、そのとき

からウラン235はずいぶん壊れて減っていますが、地球誕生から

ずっと放射線を出し続けているわけです。

普通にある炭素12の放射性同位元素が炭素14です。半減期は5730年です。宇宙からの放射線によって大気中でつくられ、

炭酸ガスになって植物の光合成に使われます。これを食べる私たちのからだの中にもあります。

放射線の作用

放射線には、原子よりも小さな粒子と波長の短い光（電磁波）の2種類があります。ガンマ線とエックス線は同じ光の放射線です。同じ光ですが、その出所は違います。ガムマ線は普通、放射性同位元素から出てくる光をいい、エックス線は電子を金属にぶつけたときに出てる光をいいます。

弥呼の死去年代と一致したと話題になりました（図5）。

1個の放射性同位元素の原子核は、その半減期にかかわらず、いつ壊れるかはわかりません。まったく予測はできず、この世界が確率の世界であることを示す現象です。

放射線とよく混同される放射能は「放射性物質が放射線を出す能力（放射パワー）」のことですが、1秒間に放射線を出す原子核の数で表されます。単位はベクレルです。

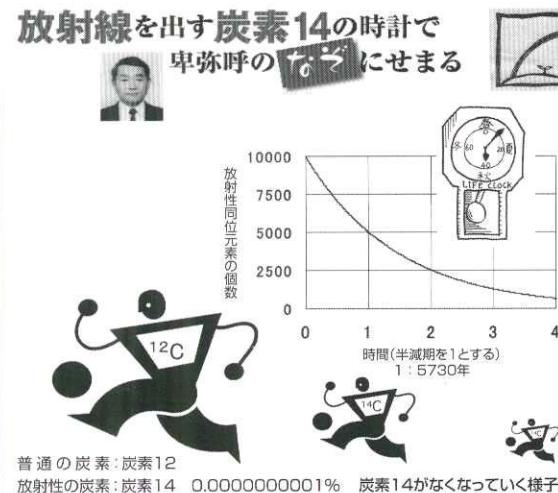


図5-1 放射性炭素14の年代測定法



図4 放射線が弱くなる時間

「奈良県桜井市の箸墓（はしはか）古墳が造られた年代は西暦250年頃。
卑弥呼が亡くなったとされる時期とほぼ一致」

※卑弥呼の時代:1800年前

(2009年8月 新聞報道)

図5-2 放射性炭素14の年代測定結果

ガンマ線やエックス線の光は、厚い物質の中を通過(透過)していきます(図6)。エックス線の透過力を利用したものがレントゲン撮影です。

エネルギーを失つたり

普通の原子になる

放射線はいろいろなかたちで対象にエネルギーを与えます(図7)。ガンマ線は、主に電子と相互作用します。ガンマ線は、物質中を通過(透過)するとき、原子の中の電子とぶつかり、電子を弾き飛ばします。エネルギーを電子に与えることで、みずからエネルギーを失います。こうした衝突を繰り返して消えていきます。あとに放射線を出す物質がでるようなことはありません。

種類やエネルギーで 透過力が異なる

放射線は、その種類やエネルギー

の大小によって透過力が大きく異なります(図8)。アルファ線は紙一枚で止まりますが、ベータ線は紙を通過してしまって、アルミニウムなどの薄い金属板で止まります。ガンマ線やエックス線は鉛や厚い鉄板でようやく止まります。中性子線はほかの放射線と同じがい、水やコンクリートなどでよく止まります。

普通、私たちのまわりの環境では、放射線が当たっても放射線を出す物質はできません。例外として、原子炉の中ではさまざまな放射性物質ができます。原子炉で生まれる放射性物質には、セシウム137やヨウ素131など

核分裂により生成されるもののほか、核分裂以外に中性子を吸収して生まれる放射性物質があります。

地球の温度は、わずかながら徐々に上昇していますが、太陽の光を受けて上がっているわけではなく、地球の中にある放射性物質が放射線を出しているためです。

放射線の作用を評価する単位は、物質に与えるエネルギーの単

用語のイメージ

| | |
|-----------|---------------------|
| ホタルを例にとると | |
| 放射性物質 | ▶ホタル |
| 放射線 | ▶ホタルの光 |
| 放射能 | ▶光を出す能力 |
| ベク렐 | ▶光ったホタルの数 |
| シーベルト | ▶ホタルの光をどれだけまぶしく感じるか |

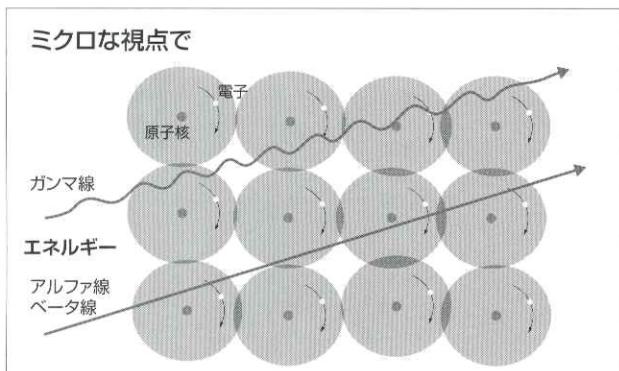


図6 放射線の作用

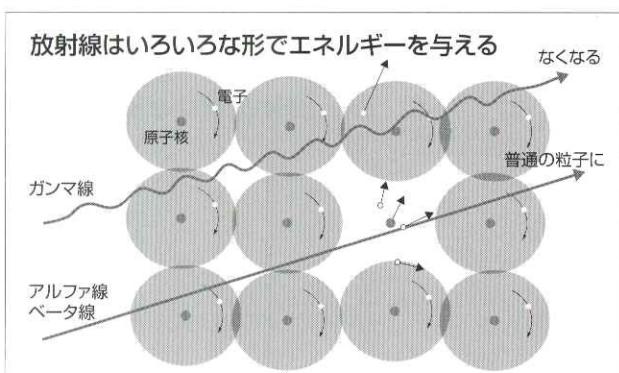


図7 電子や原子核の移動

位として「グレイ」を、人間への影響の目安として「シーベルト」という単位を使います。

放射線は見たり 測定したりできる

放射線は、見たり測定したりすることができます。アルコールの霧を満たした(過飽和状態)の霧箱が利用されます。霧箱に入った放射線は、その電離作用で通過したあとにできる電離したイオン(荷電粒子)を核として、まわりにアルコールガスの雲をつくります。それで放射線が通ります。

(図9-1)

跡を見ることがあります(図9-1)。

放射線測定の代表的な装置がガイガーカウンターです。測定器の中は不活性ガスで満たされ、管の中心に電極があり、高い電圧がかけられています。放射線が入ってガスに作用すると、中で電離作用を起こして、イオンと電子をつくります。それが高い電圧により増幅されて電気信号が得られます。これをピコピコという音一つ一つが個々の放射線に対応しています。このような検出器が飛ぶように売れているようです

放射線の種類やエネルギーで透過力は大きく異なる

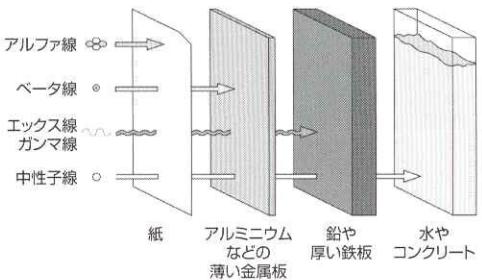


図9-1 放射線を見る

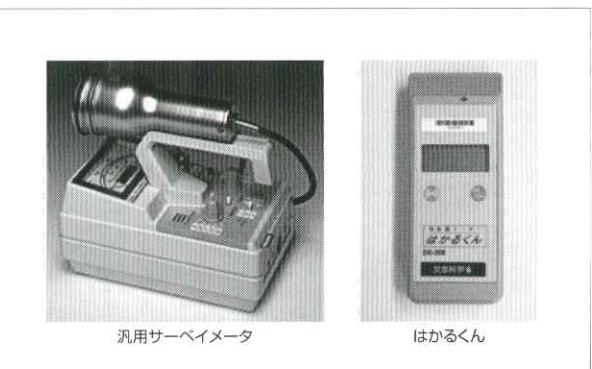


図9-2 放射線を測る

くらしの中の放射線の利用

放射線はさまざまに利用されて、私たちのくらしに欠かせないものになっています。

工業への利用

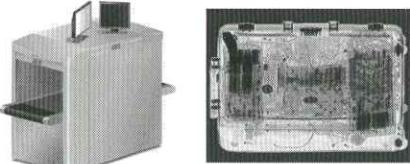
性能向上



放射線照射により、ラジアルタイヤの耐久性や
エンジンルームに使われる配電コードの耐熱性が向上

ゴムやプラスチックなどの高分子材料の構造が、
弾力性や耐熱性の高いものへ変化

非破壊検査



空港での手荷物検査や製品の検査に使われる

物質を透過する性質を利用して、破壊することなく
内部を調べることができる

農業への利用

食品照射



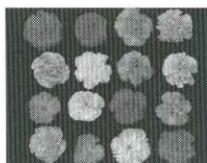
放射線照射した
ジャガイモは発芽しない



発芽したジャガイモは
有毒物質(ソラニン)を含む

芽の細胞分裂を止める発芽防止作用によって
ジャガイモの長期保存が可能になる

品種改良



放射線照射により形や色が異
なる新品種の花ができる



放射線照射により黒斑病に強い
ゴールド二十世紀ナシが誕生

放射線は農作物の遺伝子を改良して
新しい品種をつくることができる

害虫駆除



沖縄県ではゴーヤやマンゴーの害虫・沖縄ウリミバエの根絶に放射線が使われた

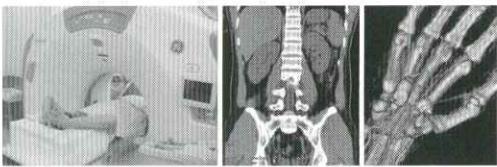


ウリミバエのさなぎに放射線を照射して
生殖能力のないオスを誕生させ、野生のメスと後尾させる。
こうして生まれた卵は孵化しない。
この操作を繰り返して、ついにはウリミバエを根絶

| 放射線の種類 | 応用例 |
|------------|---------------------|
| アルファ線（粒子線） | 煙感知器 |
| ベータ線（粒子線） | ダスト（ちり）モニター・厚さ計・密度計 |
| ガンマ線（電磁波） | 品種改良・食品照射・医療機器滅菌 |
| エックス線（電磁波） | 病気診断・がん治療・非破壊検査 |
| 中性子線（粒子線） | 水分計・非破壊検査 |

医療への利用

診断



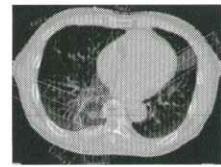
透過したX線の信号をコンピューターで処理することにより、
身体内部の鮮明な透視画像が得られる

▼
身体の透視画像は怪我や病気の診断に
革新的な進展をもたらした

治療



さまざまな方向から照射できる
放射線治療装置



複数の方向から照射することにより、
病巣に放射線を集中させる

▼
細胞を殺す作用の利用で、
がん組織を切らずに治すことができる(放射線治療)

滅菌



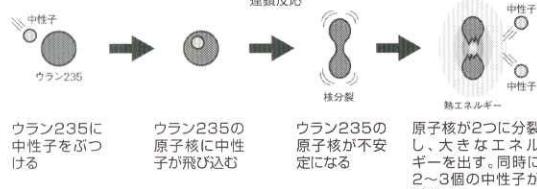
投薬瓶、注射器、チューブなど各種医療用具の滅菌

▼
密封した状態で均一に滅菌でき、有害な残留物はない。
多量の製品を連続して処理でき、効果は半永久的に持続する

エネルギーへの利用

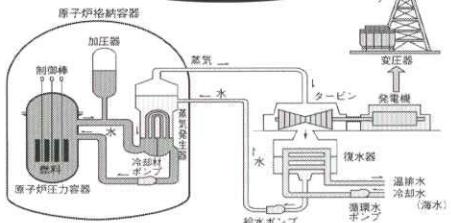
原子力とは何か

連鎖反応



原子力とは、原子を構成する原子核が分裂して異なる原子核に分かれるとときに生まれるエネルギーのこと。核分裂を起こす元素であるウランは、ウラン235とウラン238が混ざっている。このうち、中性子を吸収して核分裂を起こすのはウラン235の原子核。

原子力発電のしくみ



原子力エネルギーを用いて水蒸気を発生させ、蒸気の力でタービンをまわして発電。発電の際に二酸化炭素を出さず、少量の燃料で大きなエネルギーを生み、電力を安定的に供給できる。一方、放射性廃棄物が発生するので安全に取り扱う必要がある。

II 放射線の影響

放射線の作用に関する単位(線量)

人間への影響の目安

- 等価線量：放射線の種類を考慮
- 実効線量：からだの組織も考慮

単位は シーベルト:Sv

<例>1ミリシーベルト :1mSv:0.001Sv
1マイクロシーベルト:1μSv:0.000001Sv

図10 放射線の影響

放射線が人間に及ぼす影響は「シーベルト」で表します。放射線測定器は非常に感度がよく、放射線測定器を使用して、私たちには安全な状態で放射線の管理が可能ですが、起きるはるかに低いレベルに管理基準が設けられています。

人間への影響は「等価線量」と「実効線量」で表します。等価線量は「放射線の種類を考慮」したもの、実効線量は「からだの組織への影響も考慮」したものです(図10)。

放射線の作用に関する単位の一つはグレイです。放射線のエネルギーがどれだけ吸収されたかを表しています。放射線の種類はいろいろあり、それぞれ作用は異なります。生体への影響、細胞への影響、組織への影響は一律ではなく、これらすべてを考慮しなければいけません。

放射線の影響は大きく分類して「確率的影響」と「確定的影響」があります(図11)。放射線の影響は大きく分類し

確率的影響と
確定的影響がある

確定的影響は、一定量以上の放射線を受けると必ず影響が現われる現象をいいます。しきい値以下に抑えることで放射線の影

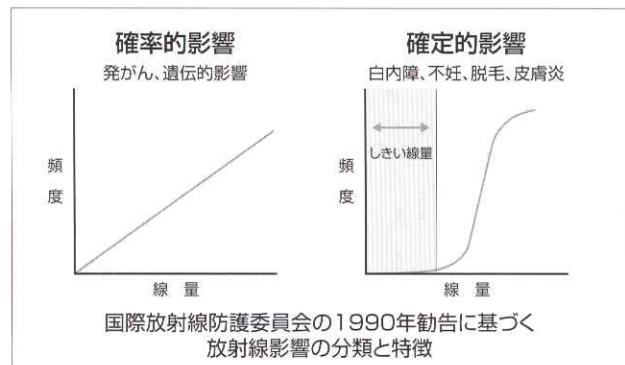


図11 放射線影響の分類

影響を防ぐことができます。

一方、確率的影響では、放射線を受ける量が多くなるほど影響が現れる確率が高くなります。

低い線量でもその影響が無視できません。将来、発がんや遺伝

的な影響を受けることがこれにあたります。低い線量の基準をつくるときに非常に重要になります。安全側に考えて影響があるものと仮定し、基準を決めます。

この場合、遺伝子への影響が原因になります。放射線が遺伝子に作用すると、損傷を与えます。

放射線だけでなく、私たちのからだは環境物質からいろいろなダメージを受けています。そこで人類は生きてきました。生きてこられたのは修復能力のおかげです。しかし、ほんのわずかな修復のエラーが、将来のがんの原因になると考えられています。

人の組織の放射線感受性はそれぞれ異なります。皮膚は感受性が非常に低く、また、細胞分裂の活発な組織ほど放射線に対する感受性が高く、胎児は成人に比べると放射線に弱いとされます。

ます(図12)。

同じ線量でも1年か1時間で大きく違う

放射線を同じ線量で一度に受けるのと、1年にわたってずっと受けるのとでは影響はずいぶん異なります。

確率的影響については、長い間にわたり続いため、トータルの線量が重要になります。比較的低い線量の確率的影響をどう評価するかですが、その基準値は実験によって得られるものではありません。もちろん人間に対してもそういう実験をするとはできません。また、マウスで行った結果を人間と同等に評価することはできません。

ただ過去に経験した原爆被爆の追跡調査やチエルノブイリ原発爆発事故の被害者たちの追跡調査、また世界各地の放射線レベル調査などから、ある程度評価します。

- 人体組織の放射線感受性はそれぞれ異なる
- 一般に、細胞分裂の活発な組織ほど放射線に対する感受性が高い
- 胎児は成人に比べると放射線に弱い

| 感受性 | 組織の例 | 特徴 |
|-----|-------------------------|-----------|
| 高い | リンパ組織、骨髄、生殖腺、腸粘膜、水晶体、毛根 | 細胞分裂頻度は高い |
| 中程度 | 甲状腺、肺、腎臓、肝臓 | 細胞分裂頻度は低い |
| 低い | 神経組織、筋肉組織、脂肪組織 | 細胞分裂しない |

図12 人体の組織と放射線感受性

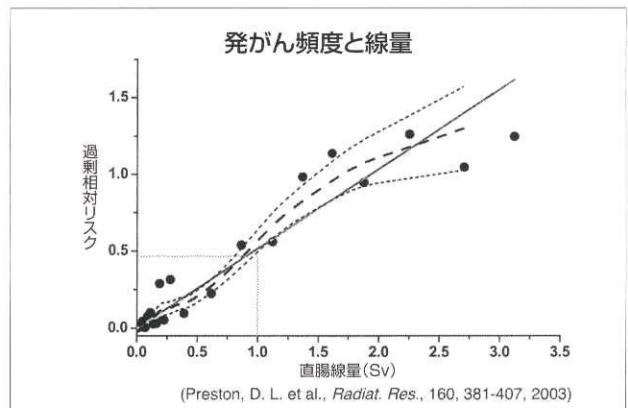


図13 原爆被爆者の疫学調査

100ミリシーベルトという数値は、健康への影響が実際に認められるかどうかの境です。その線量でのリスクは0・0・1と見積もられています。これは100人が100ミリシーベルトの被ばくをすると将来、一人ががんで死亡します。

るという評価です。100ミリシーベルトより低い線量では、人間への影響は認められていません。しかし安全を考え、図11や図13で直線が成り立つものと仮定して、管理の基準が定められます。

III 放射線と安全なくらし

私たちには放射線とともにくらしている

ルトになります。

私たちには環境から、平均1年間に2・4ミリシーベルト（世界平均）の放射線を受けています（図14）。宇宙から0・39ミリシーベルト、大地からは0・48ミリシーベルトなどです。大地は放射性同位元素を含み、放射線が出ています。また、炭素14やカリウム40などを含む食物を食べるこ

とでからだに入ります。それらを合計すると2・4ミリシーベルトになります。

外部被ばくの場合、アルファ線は皮膚の表面で止まってしまい、からだへの影響はほとんどありませんが、ベータ線は透過力が強く、からだに影響が出ます。

内部被ばくについては、たとえ内部被ばくであっても吸い込むと肺の表面に影響があり、無視で

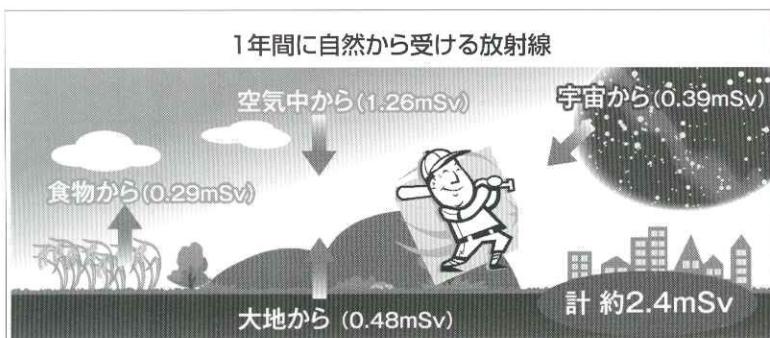


図14 自然放射線(世界平均)

体内、食物中の自然放射性物質

●体内に取り込まれている放射性物質の量
(体重60kgの日本人の場合)

| | |
|---------------|----------|
| カリウム40 | 4000ベクレル |
| 炭素14 | 2500ベクレル |
| ルビジウム87 | 500ベクレル |
| 鉛210・ポロニウム210 | 20ベクレル |

●食物に含まれるカリウム40の放射線量(日本) (単位:ベクレル/kg)

| | | | | | |
|-------|------|--------|-----|---------|-----|
| 干しこんぶ | 2000 | 干しいいたけ | 700 | ポテトチップス | 400 |
| 生わかめ | 200 | ほうれん草 | 200 | 魚 | 100 |
| 牛乳 | 50 | 食パン | 30 | 米 | 30 |
| | | | | 牛肉 | 100 |
| | | | | ビール | 10 |

図15 自然での内部被ばく

きません。

同じ放射線であっても、被ばくのしかたによって評価は違つてしまます。食品の場合、からだに取り込まれて、どれくらいの期間で出て行くかということで、線量をシーベルトで評価します。からだの中のカリウム40は体重にもよりますが、だいたい大人一人で4000ベクレル、つまり毎秒4000個のカリウム40が崩壊して放射線を出しています(図15)。

天然の放射性元素を多く含む地域はそれだけ大地からの放射線の放出が多くなります。世界各地の自然放射線を比較してみると、日本の10倍以上放射線量が多いところがあります。

世界の高自然放射線地域として知られているのは、インドのケララ州やイランのラムサールなどです(図16)。

ケララ州の調査で、がんのリスク評価が行われましたが、有意な差が認められず、地域住民の発がんリスクは高くないという結果でした。

人工放射線についての安全基準

放射線防護の基準がICRP(国際放射線防護委員会)から勧告されています。ICRPは放射線防護の基準について検討する世界を代表する機関です。日本はここで出された基準を何年にもわたって検討して、法律に反映させています(図17)。

放射線防護の基準を決める原則は3つあります。

- ①正当化 justification
- ②最適化 optimization
- ③線量限度 dose limit



図16 世界の自然放射線

国際放射線防護委員会ICRPによる防護の基準

- 放射線の基準を決める3つの原則
 - ①正当化 justification リスクを上回る利益がなければならない
 - ②防護の最適化 optimization できるだけ被ばくを抑える(経済、社会的な要因の考慮)
 - ③線量限度 dose limit 線量限度を超えてはならない(緊急時と医療を除く)

●一般の人(公衆)の線量限度

年間1mSv未満

●一般の医療、放射線を扱う人(職業人)の線量限度

- ・5年平均で 年間20mSv未満
- ・どの1年でも 50mSvを超えない

●放射線治療 不利益より利益のほうが大きい

●緊急時 基準は設けない(参考値はある)

●健康被害を与える線量

- ・100mSv以下では確定的影響はない
- ・100mSv未満では確率的影響は明確に検出されていない
 あつたとしても、がんで死亡する確率が100mSvで0.5%増える
 生活習慣(食事、喫煙)の変動の幅に埋もれる

図17 放射線防護の基準(ICRP)

てはならないというのが原則です。ただし緊急時と医療を除きます。放射線治療は不利益よりも利益が大きい場合、当然、行わなければいけません。

一般の人の線量限度は年間1ミリシーベルトとされ、業務として放射線を扱う人は5年平均で年間20ミリシーベルト未満、どの1年でも50ミリシーベルトを超えてはならないとされています。

放射線による健康への影響については、100ミリシーベルト以下では確定的影響はないとされます。また100ミリシーベルト未満では確率的影响は明確に認められていません。あつたとしてもがんで死亡する確率が100ミリシーベルトで0・5%増えると

いうものです。がんによる死亡のリスクは食事や喫煙など生活習慣で変動し、その範囲に埋もれる程度です。0・5%という数値は直接的には評価されていません。

おわりに

私たちの身のまわりにある放射線は、医療や産業で利用されて恩恵がある一方、安全について社会への影響があります。安全と管理にはそれなりの体制と予算が必要です。そうしたことをしてすべて念頭において、今後の原子力政策を考えただければと思います。

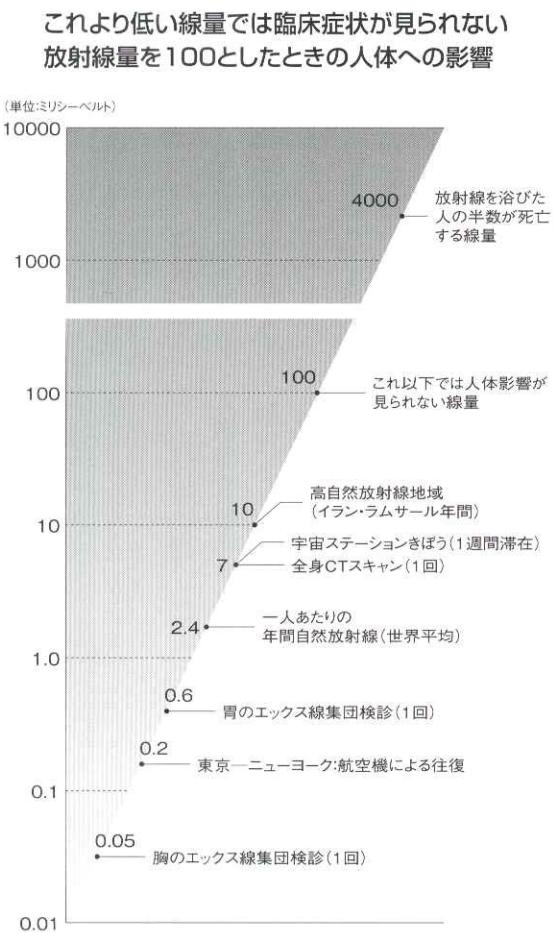


図18 日常の放射線とその影響

<安全基準についてのまとめ>

自然放射線については

▼
放射線とともに普通にくらしている

人工放射線についての安全基準

- 一般の人への影響は自然放射線程度に
●利益を受ける人には不利益より多く