

第2章 放射線の人体への影響

X線が発見された当初は、放射線が人体に障害を及ぼすことは知られていませんでした。しかしそれからまもなく多くの障害が出るようになり、生物への影響の研究も進んできました。

現在では、過去の医療被ばく者、原爆被ばく者、事故被ばく者などの調査により、大量の放射線被ばくの影響はかなり詳細に分かってきました。一方、自然放射線が普通の地域より10倍ぐらい高い地域での調査が進んでいますが、特別な異常は出ていません。広島・長崎の原爆被ばく者の調査でも、低い線量の場合には影響は出ていません。

がんと遺伝的障害については、低線量の放射線によって人に影響が出たという明確な証拠はありませんが、しきい値の有無についてはまだ結論が出ていません。しかし放射線を扱う場合安全を大切に考えて、どんな低い線量でもそれに応じた影響があるものとみなして防護対策を考えることになっています。

なお、放射線をほんの少し受けることは身体にとってよい影響がある、という研究結果もあります。

放射線影響の研究はエックス線の発見で始まった

X線が発見されて間もないころは、大量の放射線が人体に障害を及ぼすということまでは知られていませんでした。ですから研究者たちは無防備でした。このためX線発見の翌年には早くも、X線管の製作に従事していた米国人技術者が皮膚炎にかかりました。治療の目的でX線を使っていた医師たちは、患者に皮膚炎が起き、潰瘍にまで及んでいることに気がつきました。

ウランの放射能を発見したベクレルは、微量のラジウムの入ったガラス管をポケットに入れて持ち歩いたところ、腹部の皮膚に紅斑ができました。これを聞いたキュリー夫人が、実験の意味で同じ試みをしたところ、腕に紅斑ができました。

夜光時計を作っていた米国の女子工員のラジウム中毒事件は有名です。彼女たちは第1次世界大戦から1924年ごろまで、時計の

文字盤にラジウム入りの塗料を塗る仕事をしていたのですが、筆の先をなめなめ塗っていたのでラジウムが大量に体内に入り、骨の周辺にできるがん（骨肉腫）のほかいろいろな障害を起こし、死亡するものも出てきたのです。このような事件が続いたこともあって、放射線の生物への影響の研究が始まることになります。

人体に放射線が当たると

人体に放射線が当たった場合の影響について、人体を構成する要素である細胞と細胞が集まってできている人体とに分けて話を進めましょう。

生物は細胞でできている

すべての生物は、細胞の集まりです。生物を形作っている基本単位が細胞だといってもいいでしょう。生物の増殖と成長の基本単位が細胞なのです。

生物には、たった1つの細胞から成っている単細胞生物もあれば、形や働きの異なる多数の細胞から成っている多細胞生物もあります。多細胞生物では細胞はそれぞれの種類ごとに専門分化した機能をもっていますが、同時に生体全体がうまく働くよう、統制されています。受精卵が分裂して細胞が増えていくに従っていろいろな組織、臓器が作られます。細胞には神経細胞、筋肉細胞、脂肪細胞、脳細胞などいろいろな種類があります。こうしたいくつかの種類の細胞が集まって組織、臓器が作られます。

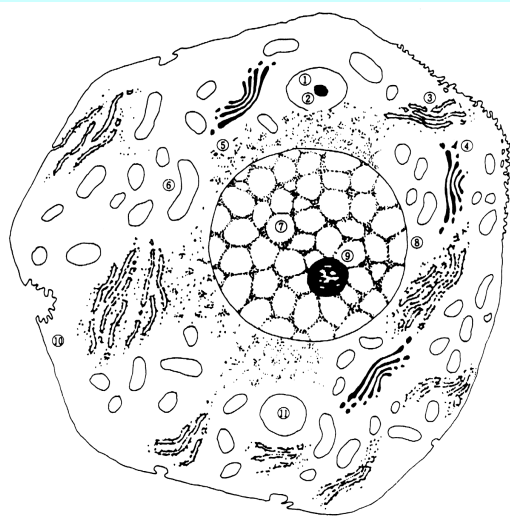
細胞の構造と働き

細胞は、その周りを取り囲む物理的な境界をもっています。動物細胞の場合、細胞膜がそれにあたり、この細胞膜が、細胞の中身を包んでいます。細胞膜は、リン脂質と呼ばれる物質の2重膜でできており、この膜を通して細胞と外界との物質交換や情報交換が行われます。

細胞の中身は細胞質と核です。細胞は70%の水分と残りはタンパク質などから成っていますが、細胞の中身も細胞膜も、その構造や働きは恐ろしく複雑です。

細胞は、体を作っている基本単位です。細胞が分裂して増え、いろいろな機能をもつものに分かれて、体ができあがります。同時に体を維持し動かすためのさまざまなものを作ります。各種の酵素などがこれにあたります。体の1部が欠落すると、それを補うために細胞は分裂を始める場合もあります。

- ①中心体
- ②中心粒
- ③小胞体
- ④ゴルジ装置
- ⑤リボゾーム
- ⑥ミトコンドリア
- ⑦核
- ⑧核膜
- ⑨核小体
- ⑩細胞膜
- ⑪液胞



細胞の構造

自然放射線でも変わることはありません。あくまで受けた放射線の量が問題なのです。

◎細胞への影響

第1章で説明したように、放射線には電離作用があります。放射線が細胞にあたると、細胞の中にあるタンパク質や核酸といった物質に電離作用が働きますが、放射線の量が大きく電離作用も多いと、細胞にいろいろな影響が出てきます。次にその幾つかを例示します。

- ・酵素機能の低下 大量の放射線を受けると、細胞の働きを助けている酵素の機能は電離作用の影響によって低下します。その結果として細胞の機能も低下します。

- ・細胞分裂の遅れ 大量の放射線を受けると、電離作用の影響によって細胞分裂は一時的に遅れますが、やがて回復します。

(ガラス皿で培養しているニワトリの細胞にガンマ線1万ミリシーベルトをかけた場合、細胞分裂の回数は低下し、2時間後に分裂回数がゼロになりましたが、7時間程度で回復しました)

- ・遺伝子損傷・・・電離作用は遺伝子を傷つけ、線量が多いと細胞の死を招きます。

(アメーバの実験では、150万ミリシーベルトの放射線で5%生存、250万ミリシーベルトで100%死亡しました。しかし核を除いた細胞に放射線をあてて、放射線を受けていない核をその細胞に戻してやると、250万ミリシーベルトの被ばくでも100%生存しました。核の中の遺伝子が細胞を支配しており、核が損傷すると細胞は生存できなくなるのです)

以上細胞レベルでみられる主な影響について説明しましたが、外見上特別な異常がなくても、放射線によって遺伝子が増えた結果、細胞が自殺を起こしたり(アポトーシスという)、将来のがんのもととなるようなことがあります。遺伝子とがんについては第三章、第4章で説明します。

アポトーシス

細胞は外傷を受けたり細菌に侵されて死ぬことがあります。いってみれば病死です。この病死とは異なる死に方もあります。アポトーシスと呼ばれる細胞の自殺です。アポトーシスには、

- ・おたまじゃくしの尾の細胞が成長するにつれて自然に死亡し、尾が消滅していくときのように、成長段階でみられるもの

- ・働きの終わった血球細胞を除去して血球数のバランスを取るときのように、生体の恒常性の維持に必要なもの

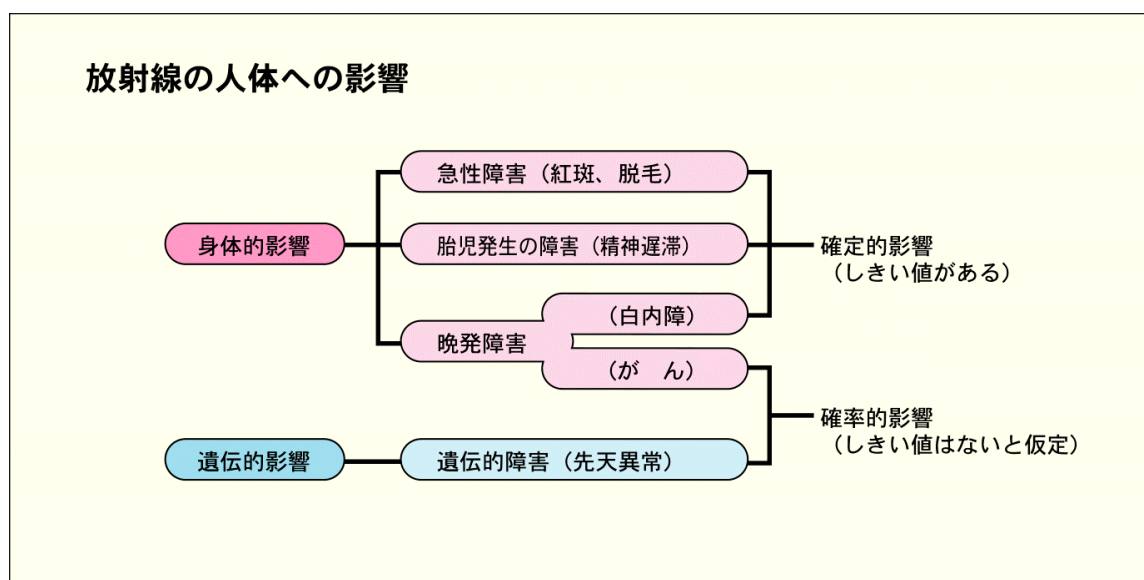
- ・自己のタンパク質を攻撃したり外来の異物を検出できないなど、役に立たない免疫細胞や、傷ついた細胞の除去にはたらくもの

などがあり、生物個体の形成・維持に重要な役割を担っています。最近になって研究が盛んになった分野で、まだよく分かっていないことが多いのですが、がんの進展にも関係があるとみられています。アポトーシスは、薬品や放射線によっても起きることが分かっています。

◎人体への影響

放射線を受けた場合の人体への影響は、大きく2つに分けられます。1つは放射線を受けた人の体に出る「身体的影響」であり、もう1つはその人の子孫にあらわれるかもしれない「遺伝的影響」です。

身体的影響はまた、2つに分けられます。放射線を受けて数週間以内に症状が出る「急性障害」と、数カ月から数年後になって症状が出てくる「晩発障害」です。なお人が生まれる前の、つまり母親の胎内での被ばくによる影響も身体的影響の1つであり、胎児の場合にも急性障害と晩発障害があります。



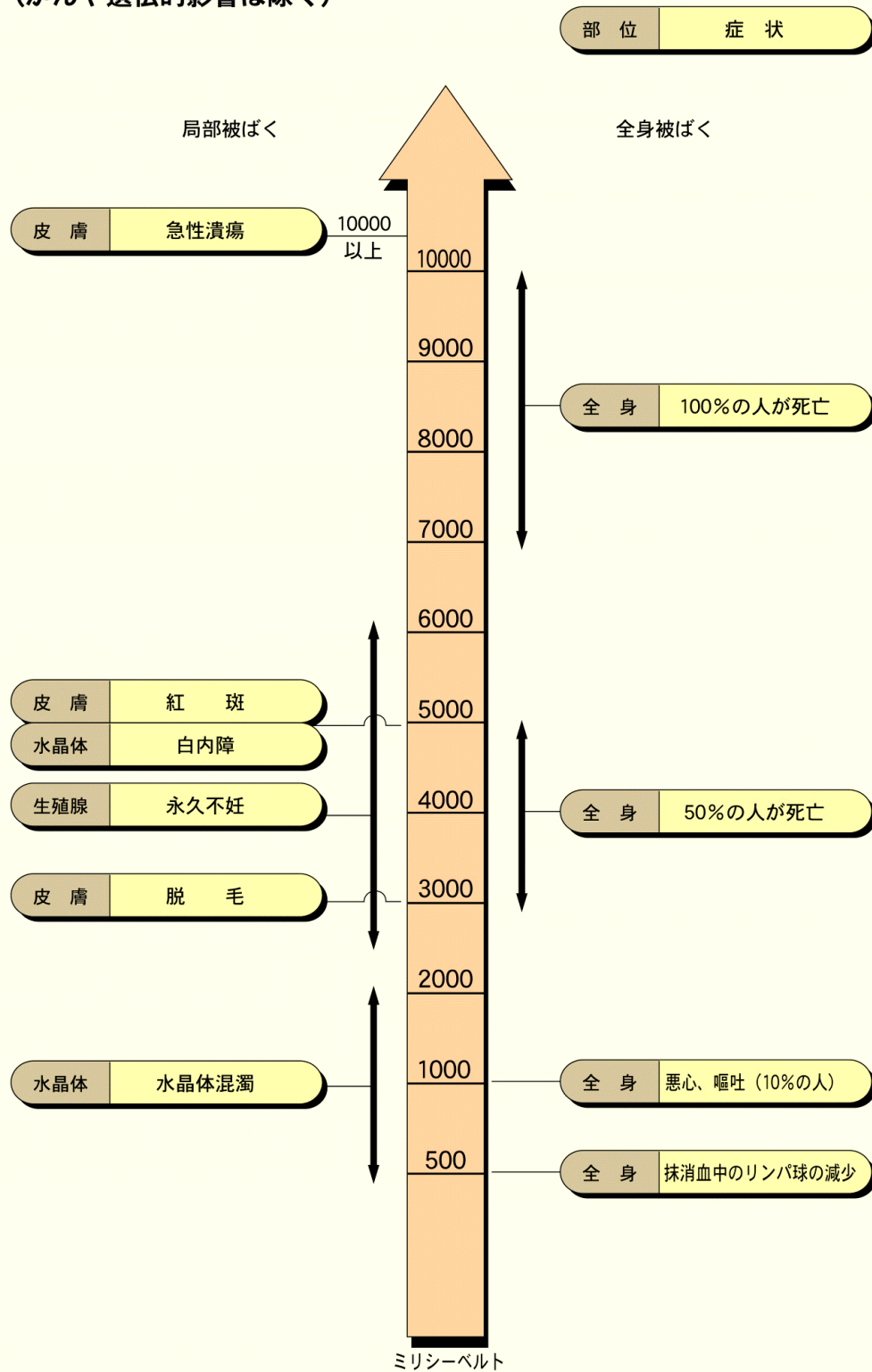
こうした影響は、受けた放射線の種類や量、全身に受けたのか体のごく1部に受けたのかによって、異なります。

急性障害の例では、全身に一度に1、000ミリシーベルト程度の放射線を受けると、吐き気がしたり吐いたりします。また全身がだるい感じがします。一度に4、000ミリシーベルト程度を全身に受けると、受けた人の半数が死んでしまいます。

晩発障害は、放射線を受けてからある程度時間が経過した後に症状が出るものですが、この症状が出るまでの期間を潜伏期といいます。広島・長崎の被ばく者でみると、例えば眼に5、000ミリシーベルト程度受けると、数カ月から数年後に白内障になる人が出てきます。がんも晩発障害の1つで、潜伏期があります。

次に遺伝的影響ですが、精子や卵子の遺伝子が放射線によって変化してそれが子や孫に伝えられると、障害をもつ子ができる可能性

大量の放射線を一度に受けたときの症状
(がんや遺伝的影響は除く)



があります。そのようなことが起きるのは動物実験では確かめられていますが、人間の場合、広島・長崎の被ばく者の調査をはじめそのほかの調査でも、遺伝への影響は認められていません。

がんや遺伝的影響、胎児への影響については、あとの章でそれぞれ詳しく紹介します。

確定的影響と確率的影響

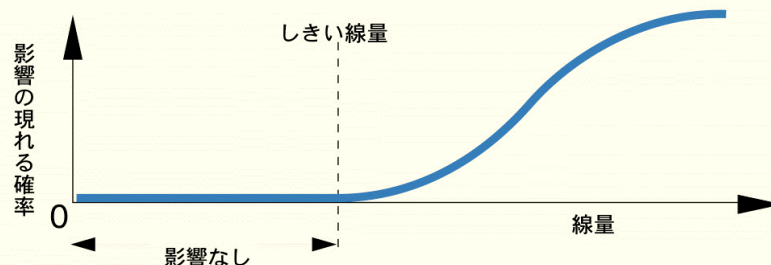
放射線の人体への影響については、「確定的影響」と「確率的影響」という2つの分け方もできます。

まず確定的影響というのは、低線量の放射線では影響のないことがはっきりしているもので、ある線量以上になると影響が出る現象をいいます。これは、たくさんの細胞が放射線によって損傷を受けた場合に起き、毛が抜けたり、妊娠しにくくなったり、白内障になるといった障害があります。確定的影響では、受ける線量が多くなるにしたがって症状が重くなります。

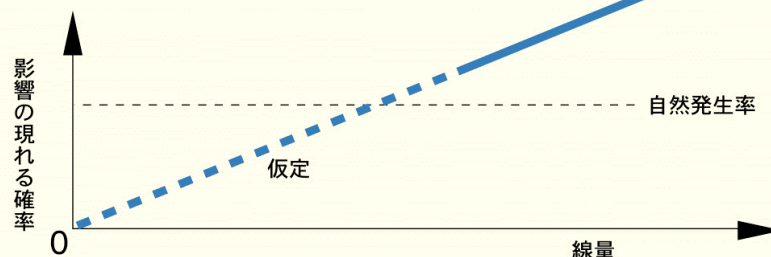
確率的影響というのは、必ず影響が出るというのではなく、受ける線量が多くなるほど影響の出る確率が高まる場合をいっています。放射線影響のうちがんや遺伝的障害がこれに該当するとされています。がんや遺伝的障害の発生メカニズムは、いまだにはっきりとは分かっていませんが、放射線によってたった1個の細胞が変化しても一定の段階を経ればがんなどになる可能性があるというふうに考えられています。この考え方によれば、線量に応じてそれなりの影響があるということで、確率的影響として分類されているわけです。

確定的影響と確率的影響

確定的影響（脱毛・白内障など）



確率的影響（がん・白血病など）



これらの影響は確定的影響とは異なり、線量が多いからといって症状が重くなるという性質のものではありません。ただ線量が増加するのに応じて影響の出る確率が高くなります。

しきい値はあるのか

まず、しきい値とはどういうものなのかを説明します。

例えば、ビーカーに赤リンを入れてとろ火であたためてやるとします。温度が低いうちは変化がありませんが、摂氏260度まで熱するとビーカーの中に火を近づけなくても突然赤リンが燃えだします。この260度というのは赤リンの発火点ですが、このようにある作用が反応を引き起こすか起こさないかの境の値のことを「しきい値」といいます。

確定的影響については前に述べたとおりある線量以上にならないと影響が出ないので、しきい値が存在することになります。

確率的影響のしきい値の有無については諸説あつて今のところはっきりしていませんが、放射線から人を守るための基準、つまり放射線防護の基準を検討している国際放射線防護委員会（ICRP）では、人が受ける放射線の線量はできるだけ少なくしておく方がより安全であるという立場から、現在のところはしきい値がないとして、つまりどんなに低い線量でもそれなりの影響があると仮定して、放射線防護の基準を決めています。なお原爆を受けた人たちの調査などからも、人間では200ミリシーベルト以下というような低い線量では、がんによる死亡者が余計に発生したという明確な結果は出ていません。※また先にも述べたように、遺伝的障害については、原爆被ばくのように高い線量でも影響はみられません。

※ 下線部の記載につきましては、本書発行（最終改訂：2000年11月）以降に以下の新たな知見が得られております。広島や長崎で原子爆弾に起因する放射線を受けた方々の追跡調査の結果からは、100mSvを超える被ばく線量では被ばく量とその影響の発生率の間に比例性があると認められております。一方、100mSv以下の被ばく線量では、がんリスクが見込まれるものの、統計的な不確かさが大きく、疫学的手法によってがん等の確率的影響のリスクを直接明らかにすることはできない、とされています。

詳細は原子力安全委員会のホームページ「低線量放射線の健康影響について」
(<http://www.nsc.go.jp/info/20110526.html>) をご参照ください。

国際放射線防護委員会（ICRP）

放射線の話をするときに、よくICRPのことが出てきます。これは、1928年に「国際エックス線・ラジウム防護委員会」として設立され、その後1950年に現在の名称に変わったもので、放射線利用に伴う人体の安全確保と環境保全のために、世界の専門家が集まって検討を行い、放射線の防護基準についての勧告を出しています。各国はこの勧告を尊重しており、これに準じてそれぞれの国の基準を決めています。

放射線ホルミシス現象

少量の放射線は、体にとってよい影響があるかもしれないということが話題になっています。これが「ホルミシス」です。

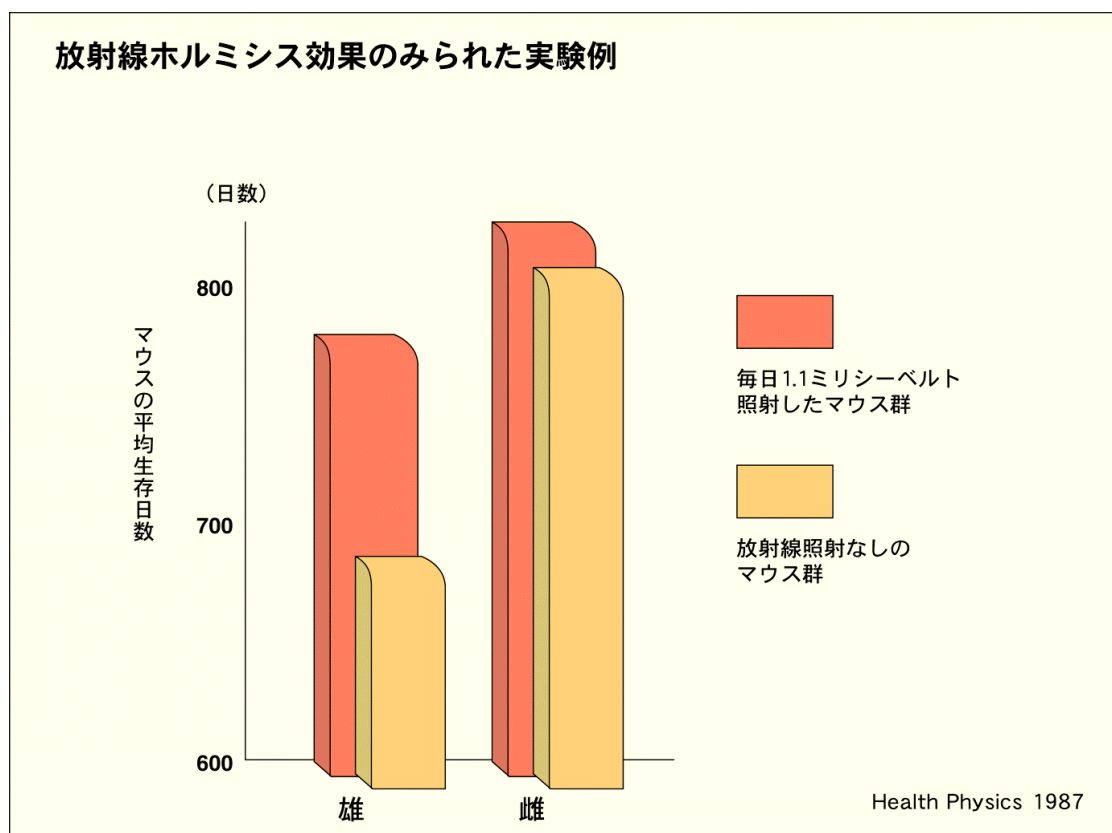
ホルミシスというのはもともとギリシャ語からきた言葉で、刺激するとか促進するという意味をもっています。

ICRPの放射線防護の基準は、放射線の確率的影響にはしきい

値がないという安全側の仮定に基づいて設定されています。しかし、このしきい値がない、つまりどんなに少量の放射線でもそれなりの影響があるという考え方では、細胞が受け身の側にたっているということになります。つまり放射線が何かを仕掛けてきて、細胞がそれを甘んじて受けるということです。これに対して細胞が放射線を受けると、これを積極的に受けてたつこともあるという事実が分かってきました。放射線に対して細胞が「応答」するのです。細胞だけでなく体全体としても応答します。この応答のうち体にとって有益なものを一般には放射線ホルミシスといいます。

ホルミシスという言葉が注目されるようになったきっかけは、米国ミズリー大学のラッキー教授が1980年に出した著書です。これは放射線照射による植物の生長、実験動物の寿命の延長などホルミシスを示す過去のデータを集めてそれらを解析したもので、低線量放射線は有害どころか、生命にとって必須ではないかと主張しています。

同じような例として、鳥取県の三朝温泉の住民は周辺の人たちに比べてがんが少ないという調査結果もあります。三朝温泉は日本第1のラドン温泉です。



放射線ホルミシスの事例は数多く報告されています。例えば自然放射線の100倍ぐらいの放射線を毎日あてながら育てたマウスは、放射線をあてなかったマウスに比べて、オスの場合は約15%（100日間）も寿命が延びたという実験結果があります。

ホルミシスについては、日本でも電力中央研究所が1988年度からマウスを使って実験を続けています。まず低線量のX線を全身にかけた後2カ月間飼育し、7、750ミリシーベルトという大量のX線を照射します。そして、その後に何%が生き残っているかをみたのです。この実験では、初めに50ミリシーベルトから100ミリシーベルトかけた群れが、事前にX線をかけなかった群れに比べ、明らかに生存率が高まることが分かりました。低線量をかけることにより、放射線に対する抵抗性を獲得したわけです。電力中央研究所では、研究をより深く総合的に行うため1993年度からは大学の医学部など14の研究機関と共同で研究を進めています。

電力中央研究所では、放射線ホルミシスがどういうメカニズムによって起きるのかを分析しています。それによると、がん抑制遺伝子（第7章参照）を活性化させたり、ストレスタンパクを生成するといったことが起きているのではないかとしています。ストレスタンパクというのは、生体が自分を取り巻く環境が不利な状況に変化すると、一連のタンパクを合成して対応しますが、このタンパクのことをいうのです。

ところで、マウスなどでの実験結果を人間にまであてはめることができるかどうか、微量の放射線は生命の維持に有益だといった切れるかということになると、まだ分かっていない部分が少なくなく、今後いっそうの研究が待たれるところです。

いろいろな被ばく

◎自然放射線の影響

自然放射線の量は地域などによってずいぶん異なりますが、自然放射線の地域差程度では人間の健康や寿命に差はまったくみられません。

例えば自然放射線のうち大地からくるものだけをみても、地域によって大きな違いがあります。最も線量の高いのは福井県で1年間に0.63ミリシーベルトです。一方、最も低いのは神奈川県で、0.14ミリシーベルトです。なんと、県によって4倍以上の開きがあるのです。

では福井県は、放射線の人体への影響の1つとして考えられてい

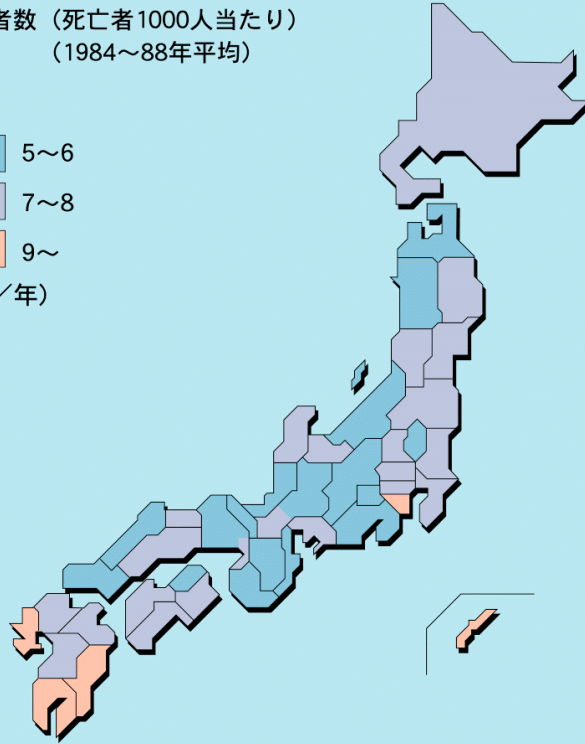
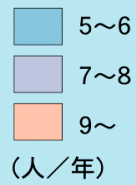
るがんについて、その死亡率が全国一高く、神奈川県がいちばん低いかというと、そうってはいません。がんといってもいろいろな種類がありますが、放射線との関係でよく話題になる白血病の死亡率をみてみましょう。

1990年の厚生省の統計によると、白血病の死亡率が最も高いのは男性では沖縄県、女性では鹿児島県です。最も低いのは男性では岐阜県、女性では島根県です。

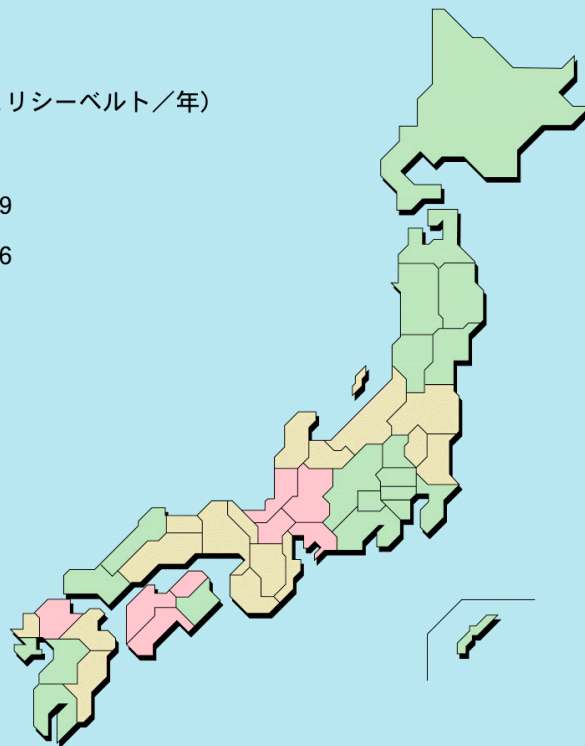
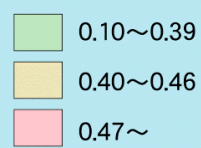
一方がん全体についてみると、人口10万人当たりのがんによる死亡者は島根県と秋田県が250人で最も多く、沖縄県が140人で最も少なくなっています。このように自然放射線程度のレベルでは、線量に多少の違いがあってもそれでがんが増えたり減ったりということはまったくありません。

大地から受ける線量と白血病死亡者数

白血病死亡者数（死亡者1000人当たり）
（1984～88年平均）



大地から受ける線量（ミリシーベルト／年）



◎自然放射線の高い地域の調査

ブラジルや中国、インドのように、自然放射線が日本の何倍も高い地域におけるがん発生率などの調査が世界のいろいろな機関で行われていますが、このような地域でもがんが多いということはありません。

ブラジルのガラパリ地区には1万2,000人が住んでいますが、放射性物質を多く含んだモナザイト砂からくる放射線を受けています。線量は年間平均10ミリシーベルトにもなります。この人々について調査がされていますが、がんがとくに多いなどの特別な異常は認められていません。

中国広東省にもトリウムやウランの濃度が高いために、それらから年間3～4ミリシーベルト被ばくしている地区があります。線量の高い地区と、その比較のために線量の低い地区の合計7万人について日中共同の調査が行われていますが、現在までの調査では、線量の高い地区の人と低い地区の人ではがんの発生率の差は認められていません。

◎医療被ばく

私たちは例えば歯医者へ行って、「レントゲン写真をとらしましょう」といわれたとき、たいていの人はいやとはいいません。これは、歯の治療をするためにはレントゲン写真が必要だということを知っているからです。風邪をこじらせて医者へ行ったときなどは、胸のレントゲン写真をとられます。

こうした診断だけでなく、がんの治療にも放射線は使われます。もっとも放射線治療をしましょうといわれて、絶対にいやだと拒否したためがんが進行して死亡したという話もあります。医者の説明が足りなかったということもあるのかもしれませんが、このようなことはむしろ例外の部類です。

乳がんにかかると、以前はがんだけでなく周囲のリンパ節を含めて広い範囲を切り取る手術が行われていましたが、最近のはがんの部分だけを取る手術が行われるようになりました。この場合、がん細胞が残っている心配があるので再発を防ぐため、いいかえると残っているおそれのあるがん細胞を殺すために大量の放射線をかけます。

日本では医療で一般の人が被ばくする線量は、診断に限ってみると1人当たり年間平均で2.25ミリシーベルトです。世界では平均的にみると0.4～1.0ミリシーベルトですから、日本人は2倍以上を受けていることになります。これは胃のエックス線検査を受

ける人が多いのと、その診断で1回当たり平均12枚と撮影枚数が多いことが関係しています。ちなみに胃のエックス線検査では、1件当たり0.6ミリシーベルト程度の放射線を受けます。

このような診断のための被ばく線量は問題になることはありませんが、治療のために放射線をかける場合は、線量が高いので2次的に問題が発生するおそれがあります。目の病気を治すために必要な処置としてやむを得ない面もありますが、注意が必要です。とくに妊娠中の女性は、胎児への影響を考えて診断であってもできるだけ避けるようにした方が無難です。もちろん体のすべての部分の診断を避ける必要はありません。例えば被ばくが歯や手足に限定される場合には問題ありません。お医者さんとよく相談してください。妊娠初期は、本人が妊娠に気づいていない場合もあります。月経開始日から10日以内ならば受精の可能性はないので、妊娠の可能性のある女性はこの期間に放射線診断を受けるようにすれば問題ないでしょう。