

島根原子力講演会 2011 「知っておきたい“カラダと放射線”のはなし」 講演録（出雲会場）

日 時 平成23年10月9日（土） 15:00～16:30
場 所 ビッグハート出雲 白のホール（島根県出雲市駅南町1丁目5番地）
講 師 伴 信彦 氏（東京医療保健大学教授）

今日は大きく分けて4つの内容をお話しします。まず最初に放射線の量と単位について。新聞を開くと、ベクレルとかシーベルトとか、そういった単位が出てまいります。ごく簡単にそのおさらいをします。次にメインのトピックである放射線の影響の話をしていきます。多少難しいことにも触れますが、現在、科学として何がわかっていて、何がわかっていないのかをお話しします。そして、わからないところについて私たちがどのように対処しているのかをご説明するために、リスクと基準値についてのお話をします。最後に、今、内部被ばくを皆さん気にしていらっしゃるように思いますので、内部被ばくとはどういうものなのか、外部被ばくより危ないのか、そういったお話をごく簡単にするつもりです。限られた時間の中で、これだけのことをわかりやすく正確にお伝えするのは厳しい部分もありますが、どうぞよろしくお願いいたします。

1. 放射線の量と単位

「放射線」という言葉と「放射能」という言葉があります。よく似ていて紛らわしいですね。実際、世間では同じ意味として区別なく使われているような気がいたします。しかし、放射線と放射能は根本的に違います。

放射線というのは、言わば透過力をもったエネルギーの塊です。これは私たちの五感では捉えることができません。放射線の出どころに着目すると、まず放射性の原子から出てくるものがあります。放射性の原子、これは例えば皆さんがご存知のものとして、セシウム137やヨウ素131が挙げられますが、これらの原子からはベータ線、ガンマ線が出ます。別の種類の放射性の原子の中にはアルファ線を出すものもあります。一方、放射性の原子ではなく、放射線発生装置という機械から出る放射線があります。典型的なのは病院で使われるエックス線です。これは放射性の原子から出ているのではなく、エックス線装置という機械に電気を通して発生させます。


それに対して、放射能というのは、放射性の原子が放射線を出す能力のことです。放射性の原子に関する話ですので、病院のエックス線の放射能というのはありません。もう少し正確に言うと、放射性の原子が一定時間内にどれくらい放射線を出すか、それを数値で表したのが放射能です。物理学的には、放射性の原子は放射性壊変という現象で別の原子に変わります。別の原子に変わったときに放射線が出ますが、そういった現象が1秒間に1回起こるときにそ

れを1ベクレル (Bq) と言います。簡単に言えば、ベクレルで表した数字が大きいほど、放射性の原子が集まったもの、これを放射性物質と呼びますけれども、その放射性物質からたくさん放射線が出ているということになります。

放射線と放射能の関係は、なかなかわかりにくいものですね。私たちはよく電球に例えて説明します。昔ながらの白熱球を思い描いていただきたいのですが、電球そのものが放射性物質に相当します。そこから出てくる光が放射線です。では放射能に相当するものは何かというと、電球のワット数です。当然ながら、40ワットの電球よりも60ワットの電球の方が明るいですよ。40ワットよりも60ワットの電球の方が多くの光を出しているからです。

<スライド1>

放射線と放射能の関係(電球に例えると)



電球 → 放射性物質
光 → 放射線
電球のワット数 → 放射能

何ベクレルという数字は、放射性の原子の量を表します。放射線を出す側に着目した量です。それに対して放射線を受ける側、つまり私たち人間の側に着目して、被ばくの大小を表すのが、グレイ (Gy) とシーベルト (Sv) です。

グレイは学術的な被ばく量の単位です。研究分野とか、医療分野とか、正確に放射線の量を表さなければいけないときに使います。先ほど説明したとおり、放射線はエネルギーの塊ですから、我々が放射線を被ばくするということは、放射線のエネルギーの一部をもらうことを意味します。そのもらったエネルギーの量に応じて、何グレイという数字が決まります。このようにして表した被ばく量のことを、吸収線量と言います。

グレイだけで話が済むならば楽なのですが、残念ながらそういうわけにはいきません。なぜならグレイで表した数字、すなわち吸収線量が同じでも、放射線の種類が違っていると影響の大きさが違うことがあるからです。例えばアルファ線を1グレイ被ばくした場合とガンマ線を1グレイ被ばくした場合では、アルファ線1グレイ被ばくした方が私たちにとってのダメージは大きいのです。そうすると仮に何種類かの放射線を一度に受けたとき、何線が何グレイ、何線が何

グレイと、一々明細を書かなくてはなりませんね。そこで考えられたのが、シーベルトで表す被ばく量です。具体的には、グレイで表した被ばく量に放射線加重係数という係数をかけたもの、それがシーベルトの被ばく量になります。放射線加重係数の値は、ベータ線とガンマ線については1です。ということは、ベータ線とガンマ線に関しては、グレイもシーベルトも同じ数字になります。1グレイ被ばくしたなら1シーベルト被ばくしたということです。アルファ線の場合はこの係数が20ですから、アルファ線を1グレイ被ばくすると20シーベルト被ばくしたことになります。被ばく量をシーベルトという単位で表せば、放射線の種類を気にすることなく、一つの物差しで被ばくの大きさを比較できるという点がポイントですね。それでシーベルトがよく使われるのですが、放射線加重係数の数字は、ある意味で雑駁な値です。アルファ線のダメージがぴったり20倍大きいということではなく、大体こんなところかなという程度の概算なのです。ですからシーベルトで表した被ばく量もまた、アバウトな数字になります。被ばく線量の管理を行うときは、精度を多少犠牲にしても簡便であることが重要ですので、シーベルトが使われます。それに対して数値に正確さが求められる実験研究やがんの放射線治療では、シーベルトでなくグレイで正しく表すのです。

新聞報道などでは、シーベルトそのものよりも、ミリシーベルトとかマイクロシーベルトという単位を目になさることが多いかもしれません。私たちは長さを表現するときに1ミリとか言いますが、これは正確には1ミリメートルですね。ミリというのは1000分の1という意味で、1ミリメートルは、1メートルの1000分の1です。同じように、1ミリシーベルトは1シーベルトの1000分の1です。逆に言うと、1シーベルトは1000ミリシーベルトになります。マイクロは100万分の1なので、1マイクロシーベルトは1シーベルトの1000万分の1に相当します。

なぜこのようなことをするかというと、シーベルトで表すと数字が非常に小さくなることが多いからです。測定をしたときに、ここの線量は1時間当たり0.001シーベルトだ、などということになります。0.001と言われると、とっさにゼロが幾つかわかりませんね。それで間違いを少なくするために、0.001シーベルトと言う代わりに1ミリシーベルトと表現します。今後、ミリシーベルトとかマイクロシーベルトという単位を目にしたときは、1ミリシーベルトは1シーベルトの1000分の1なんだな、1マイクロシーベルトというのは、さらにその1000分の1なんだなということを、ちょっと頭の中で計算していただくとよいかと思います。

量と単位の話はこれぐらいにして、次に放射線の影響の話をししましょう。

2. 放射線の影響

(1) 放射線影響に関する4つのポイント

最初に、ヒバクという言葉について確認をしておきたいと思います。ワープロソフトで「ひばく」と打って変換をかけると、たいがい「被爆」が第一候補として出てきます。この被爆の「爆」の字は爆弾の「爆」であり、「原爆の被害を受ける」という意味になります。広島・長

崎の原爆被爆者と言うときには、この「被爆」を使います。それに対し、放射線を体に浴びるという意味での「ひばく」は「被曝」です。漢字の偏（へん）の部分が微妙に違って、「火」ではなく「日」である点にご注意ください。非常に紛らわしいので、最近ではこの「曝」の字を平仮名にして「被ばく」と表記されることが多くなりました。

この「被ばく」という言葉を使って、放射線影響に関する4つのポイントをご説明します。まず「どの部位に被ばくをしたのか」、次に「どれくらいの時間被ばくをしたのか」、それから「被ばく後どれくらいの時間が経ったか」、そして「どれだけの量を被ばくしたか」です。何かの症状を放射線の影響ではないかと考えるときは、必ずこの4つの事柄に照らし合わせて判断する必要があります。

それぞれ、もう少し具体的に説明いたしましょう。まず、「どの部位に被ばくをしたか」。体の一部が放射線を受けた場合、被ばくしていない臓器には、原則として影響は現れません。極端な例として、指先だけに皮膚がただれるほど放射線を浴びたとしても、白血球数が減ることはありません。放射線によって白血球数が減るといのは、骨髄が、それもアクティブに働いている骨髄が大量の被ばくをしたときに起きる影響です。大人の場合、指先にはアクティブに働いている骨髄はないので、白血球数が減ることはないのです。

2番目に、「どれくらいの時間をかけて被ばくしたか」。総線量が同じなら、短時間に被ばくした方が影響は大きくなります。瞬間に1グレイ被ばくした方が、1年間かけて1グレイ被ばくした場合よりも、ダメージは大きいということです。このことを理解するために、普通の大人が幼稚園生と相撲をとる状況を思い浮かべてみてください。園児が一人ずつかかって来ても、大人が倒されることはないでしょう。君は強いなあとか言いながらも、余裕で勝てるでしょう。ところが一度に10人、20人とかかって来られたら、たぶん本当に倒されてしまいますよね。放射線もこれと同じで、一度にどんと来た方が、小出しに分かれて来るよりもダメージは大きくなるのです。

3番目は、「被ばくしてからどれくらいの時間が経ったか」。放射線影響には必ず潜伏期間があります。たとえ致死量の被ばくをしたとしても、すぐに影響が現れるわけではありません。全身に大量の被ばくをすると一時的に気分が悪くなるがありますが、これは非常に早い反応で、通常は被ばく後数時間で現れます。それ以外の影響は、数日から数週間、長いものでは数十年経ってから現れます。

最後に、「どれだけの量を被ばくしたか」。これは放射線に限らないのですが、量が多いか少ないか、その量の概念が非常に重要です。何事も量が多ければ影響が出る可能性は高くなりますが、少なければさして心配する必要はありません。

(2) 放射線影響の基礎

では、放射線をどれくらい被ばくすると、どんな影響が現れるのでしょうか。

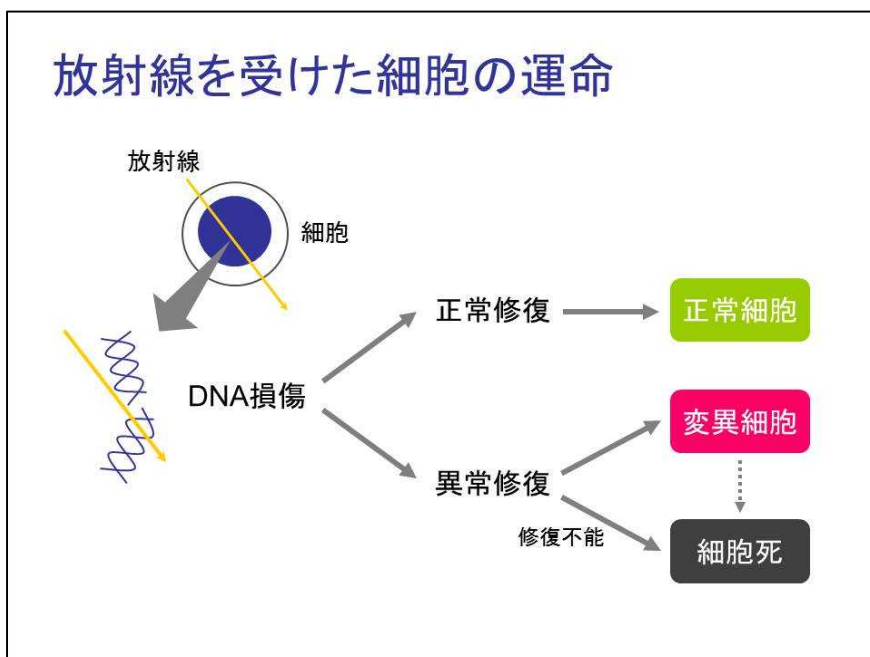
私たちの体は、おびただしい数の細胞で形作られています。その細胞が放射線を浴びるとどうなるか、そこから考えてみたいと思います。先ほど、私たちが放射線を被ばくするというこ

とは放射線からエネルギーを受け取ることであり、と申しあげました。それにもかかわらず放射線を私たちの五感でとらえることができないのは、放射線のエネルギーがわずかでしかないからです。感じることでできないほどわずかなエネルギーなのに、なぜ生命に関わるような影響を引き起こすのでしょうか。それは放射線のエネルギーが体の中で、ごく限定した範囲に集中的に与えられるから。しかも、私たちにとって厄介な形で与えられるからです。

細胞には細胞核があります。細胞核はDNAの塊ですが、これが、言わば放射線のターゲットになります。細胞に放射線が当たるとDNAが切れてしまうのです。放射線によってDNAが傷つくという意味で、DNA損傷といいます。

DNAが傷ついたとき、細胞はそれを修復しようとします。その結果、修復が上手くいく場合と上手くいかない場合があります。修復が上手くいけば元どおりになりますから問題ありません。修復が上手くいかない場合は細胞が変異を起こします。DNAにはアデニン、グアニン、シトシン、チミンという4種類の塩基があります。それがどう並んでいるか、つまり塩基の配列が遺伝子の情報なのですが、修復するときにつなぎ方を間違えて配列が変わってしまうと、変異細胞になってしまいます。大量の放射線を被ばくしたときは、DNAがズタズタに切れてしまって修復が不可能になるかもしれません。その場合は細胞が死んでしまいます。或いはまた、一旦変異細胞になった後、重要な遺伝子に変異が起きたために細胞が正常に機能できなくなって、最終的に死んでしまうかもしれません。結局のところ、放射線によって細胞のDNAが傷ついたとき、それを上手く修復できなければ、細胞は変異するか死んでしまうか、そのどちらかです。それがどういった症状として現れるか、そこが問題になります。

<スライド2>



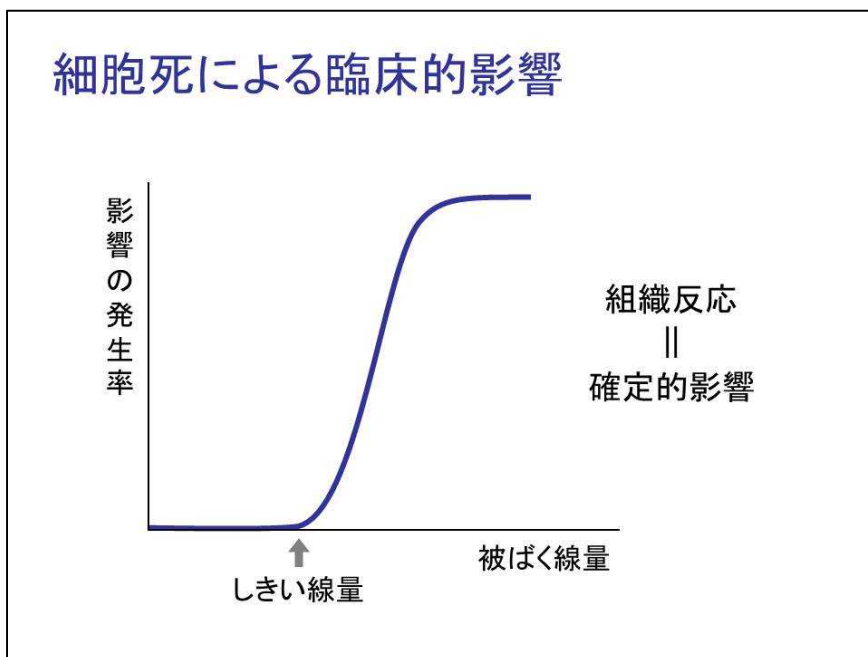
まず、細胞が死ぬというケースから考えてみましょう。体の中の臓器はたくさんの細胞でできています。そこに低線量の放射線が当たって細胞が幾つか死んでしまったとします。その場

合、目に見える形で影響が現れることはありません。なぜなら、大多数の細胞は生き残って、きちんと機能しているからです。しかし高い線量の被ばくをしたときは、一度にたくさんの細胞が死んでしまいます。そうすると生き残っている細胞が少なくなるので、その臓器は本来の機能を果たすことができなくなるでしょう。

その結果、細胞死（死なないまでも、細胞が使い物にならなくなった状態も含みます）が原因で現れる影響について、被ばく線量と影響の発生率をグラフで表すと、ある線量（これを、しきい線量と言います）までは影響が現れず、それ以上になると発生率が急激に上昇することを示すカーブになります。ここで言う影響の発生率というのは、100人の人が同じ量の放射線を受けたときに、そのうち何人に影響が現れるかという意味です。しきい線量を超えると一部の人に影響が現れ、さらに線量が高くなると最終的に全員、100%の人に影響が現れる、ということになります。

では、どういう形で症状が現れるでしょうか。被ばくした臓器が本来果たすべき役割を十分に果たすことができなくなるわけですから、臓器の機能不全ということが起こります。同時に、臓器が小さくなってしまいう萎縮ということが起きます。このような影響を組織反応、または確定的影響といいます。

<スライド3>



組織反応については、しきい線量がいくつなのかが重要です。しきい線量を超えて被ばくしなければ、影響は現れないのですから。

しきい線量が最も低い影響は、男性の一過性の不妊です。精巣、すなわち男性の生殖腺が一度に0.1グレイを超えて被ばくした場合、一時的に精子の数が減って子どもができなくなることがあります。ただ、あくまで一過性ですから、その後回復して、元のように普通に子どもができるようになります。精子が完全に枯渇してしまえば永久に子どもができない状態になり

ますが、6グレイを超える被ばくをしない限り、そういうことは起こりません。なお、しきい線量の数字は正確さが重要なので、通常はグレイであらわします。ここで紹介している値は、エックス線あるいはガンマ線を短時間で被ばくした場合のしきい線量です。

生命の危機につながる可能性のある影響の中で、一番しきい線量が低いのは、骨髄の被ばくによる造血機能の低下です。しきい線量は0.5グレイとされています。症状としては、血液中の白血球の数が減ります。0.5グレイよりもさらに高くなると血小板も減ってきます。1グレイを超えると、最悪の場合、死亡する可能性が出てきます。白血球数が減ると免疫機能が低下するので、通常ならば問題にならないような感染症が致命的になることがあります。血小板が減ると、出血したときに血が止まりにくくなります。全身の骨髄が1グレイを超えて被ばくした場合、こういった症状が原因で死亡することがあります。

主な組織反応の潜伏期間は、大体数日から数週ですが、中にはもっと時間が経ってから出てくるものもあります。代表的なものが白内障で、目の水晶体、すなわちレンズが濁るという影響です。最低数年、場合によっては数十年経ってから現れます。放射線を浴びなくても、人は年をとると例外なく白内障になりますので、高齢になってからの白内障と放射線による白内障を区別することは困難です。それでも白内障のしきい線量は結構低いと言われており、しきい線量の数値は、つい最近0.5グレイにまで下げられました。

<スライド4>

主な組織反応のしきい線量

臓器・組織	影響	しきい線量 (Gy)	潜伏期間
精巣	一過性の不妊	0.1	3-9週
	永久不妊	6	3週
卵巣	永久不妊	3	< 1週
骨髄	造血機能低下	0.5	3-7日
皮膚	主紅斑	< 3-6	1-4週
	放射線火傷	5-10	2-3週
	一過性の脱毛	4	2-3週
眼	白内障	0.5	> 数年

(ICRP Publication 103, 一部改変)

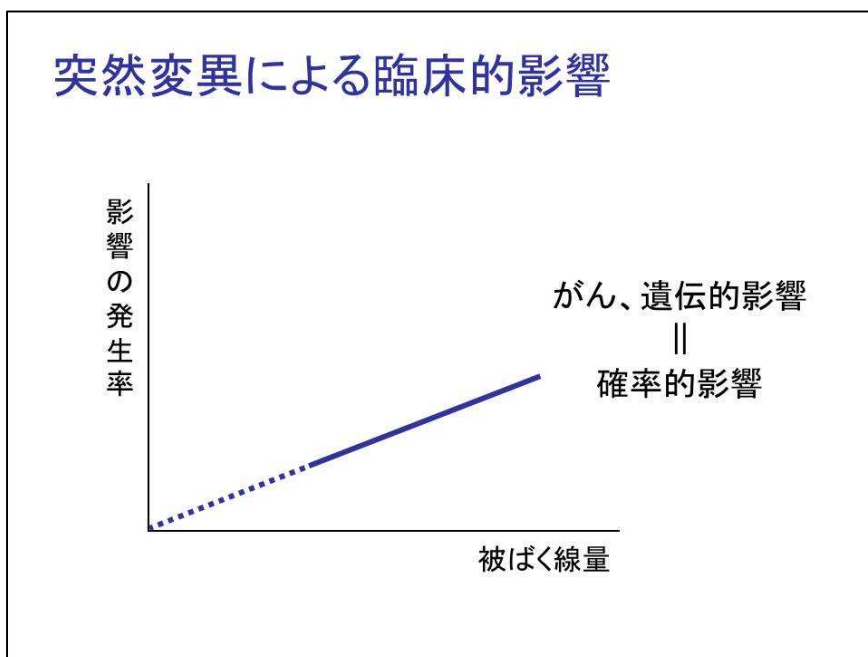
さて、話を戻しますが、先ほど、組織反応（確定的影響）は細胞が死ぬ、或いは使い物にならなくなることが原因だと申し上げました。今度は細胞が変異するケースについて考えてみましょう。実は多くの場合、細胞が変異しても大勢に影響はありません。細胞のDNAのうち、実際に遺伝子として意味のある塩基の並びになっているのは全体の数%でしかなく、それ以外のところの塩基配列が多少変わったとしても大きな問題にはならないからです。また、遺伝子

がおかしくなって細胞の性質が変わったとしても、その細胞もいずれは死んでしまいますから。しかし、非常に重要な遺伝子の、重要な部分の塩基配列が変わった結果、細胞が死ににくくなったり、逆に非常に増えやすくなったりしたらどうでしょうか。そのような変異がたった一つの細胞に生じただけでも、異常増殖してがんに発展するかもしれません。実際にそうなるという確証はありませんが、可能性は否定できません。

精子や卵子、或いはその元になる細胞の場合はどうでしょうか。精子で考えてみましょう。放射線によって、たちの悪い変異が、たった一つの精子に生じたとします。運悪くこの精子が授精してしまったら、生まれてくる子どもに何か遺伝的な障害が現れるかもしれません。あくまで可能性の話にすぎませんが、絶対にないとは言えません。

このように、変異、それも非常にたちの悪い変異が原因で起きる影響が、がんと遺伝的影響です。この二つを合わせて確率的影響と呼びます。繰り返しになりますが、がんと遺伝的影響に関しては、たった一つの細胞がたちの悪い変異を起こしただけでも発生する可能性があります。そのため、被ばく線量が増えれば影響の発生率はそれに応じて増加し、しきい線量はないと仮定されています。本当にしきい線量がないかどうか科学的には確認できていないため、現在のところ「仮定」なのです。

<スライド5 >



さて、ではどれくらいの線量ならば、放射線ががんを引き起こすという証拠があるのでしょうか。それを調べるのが疫学調査です。放射線を被ばくした人たちと、被ばくしてない人たちをたくさん集め、長期間にわたって追跡し、それによって被ばくした人たちにがんが多いかどうかを調べるわけです。数ある疫学調査の中で最も重要で価値があるのが、広島・長崎の原爆被爆者に対するものです。原爆が炸裂したときの放射線を受けた方たち約10万人を、50年以上にわたって追跡調査しています。その結果、ガンマ線で150ミリグレイ以上の被ばくを

すると発がん率が増えることがわかっています。しかし、それより低い線量になると、がんが増えているのかどうか、はっきりしません。

実は原爆被爆者のデータではないのですが、胎児と小児に関して、もっと低い10～20ミリグレイ程度のエックス線被ばくで、がんが微妙に増えるかもしれないことを示唆するデータがあります。「示唆する」というのは何とも煮え切らない言い方ですが、そこには決定的な証拠ではないという意味が込められています。偏りが生じやすい方法で調査を行っているため、原爆被爆者のデータに比べると、動かぬ証拠とまでは言えないのです。もしかしたら、この程度の低い線量でも、がんがちょっぴり増えているかもしれない、そういうデータもあるということなのです。

遺伝的影響に関しては、原爆被爆者の子ども、放射線科のお医者さんの子ども、自然界の放射線のレベルが高いところに住んでいる子ども、そういった人たちの疫学調査が行われていますが、実際に影響が現れたという証拠は得られていません。マウスなどの哺乳類では確認されているため、ヒトで起きないとは言いきれませんが、仮にあったとしても発がんよりはリスクが低いと考えられます。少なくとも、発がんにはしっかりとした証拠があるのに対して、遺伝的影響は確認できておりませんので、やはり放射線の影響は発がんの方に注目すべきだと申し上げてよいでしょう。

ちなみに今回の福島の事故において、住民の方が組織反応のしきい線量を超えて被ばくしたケースはありません。作業員に関しては管理の失敗があり、数百ミリシーベルト浴びた方がいらっしゃいます。ただ、その方たちの線量が高いのはヨウ素131を吸い込んで甲状腺が被ばくしたためであり、個々の臓器について見た場合、しきい線量を超えてはいないはずで、ですから作業員も含めて、多分組織反応は出ないと思います。私たちが注目しなければいけないのは、やはり発がんです。作業員、そして住民にがんが増えることはないのかどうか。そこが今後もポイントになります。

(3) 放射線発がんの実態

現在、科学界の大体のコンセンサスとして、100ミリグレイ（エックス線、ガンマ線、ベータ線については100ミリシーベルトと言ってもよい）より低い被ばく線量で、本当にがんが増えるのかどうかはわかりません。なぜわからないのか、その点を理解するためには放射線発がんの特徴を考えてみる必要があります。

重要な特徴の一つとして、放射線に特有ながんはないということが挙げられます。放射線が原因でできたがんと、放射線以外の原因によるがんを、質的に区別することはできません。例えば、原子力発電所で放射線作業をしていた人が退職後にがんになって、お医者さんに「私のがんは在職中の放射線被ばくによるものではないですか」という質問をしたとします。しかし、どんな名医でもこの質問には答えられません。症状や経過をどんなにつぶさに調べても、放射線によるがんと放射線以外の原因によるがんを区別することはできないからです。放射線でがんが増えるかどうかを確認するには、先ほどから申し上げている疫学調査しかありません。被

ばくした人たちと被ばくしてない人たちを追跡調査して、被ばくした人たちの方が発がん率・がん死亡率が高いかどうか、そういう形でしか確認できないのです。

ところが、10万人もの原爆被爆者を50年以上追跡調査しても、150ミリグレイ以下の低い線量による影響はわからない、というよりも影響が確認できない、というのが現実です。100万人、或いは1,000万人について同じように追跡調査をすれば、もっと低い線量での発がんを証明できるかもしれません。しかしそんな調査は現実に不可能です。したがって、証明のしようがありません。

他の原因によるがんとの区別がつかないもう一つの理由が、長い潜伏期間です。放射線を浴びてすぐがんになるわけではありません。被ばくしてからがんが出るまでに、どんなに早くても数年かかります。チェルノブイリ事故のときは、放射線のヨウ素で汚染された牛乳を子どもたちが飲んで、数年後に甲状腺がんが増えました。これはむしろ早い方で、他の部位のがんの場合、数十年かかることも稀ではありません。子どものときに被ばくしても、中年期以降、いわゆるがん好発年齢になってから発症するケースが多いのです。

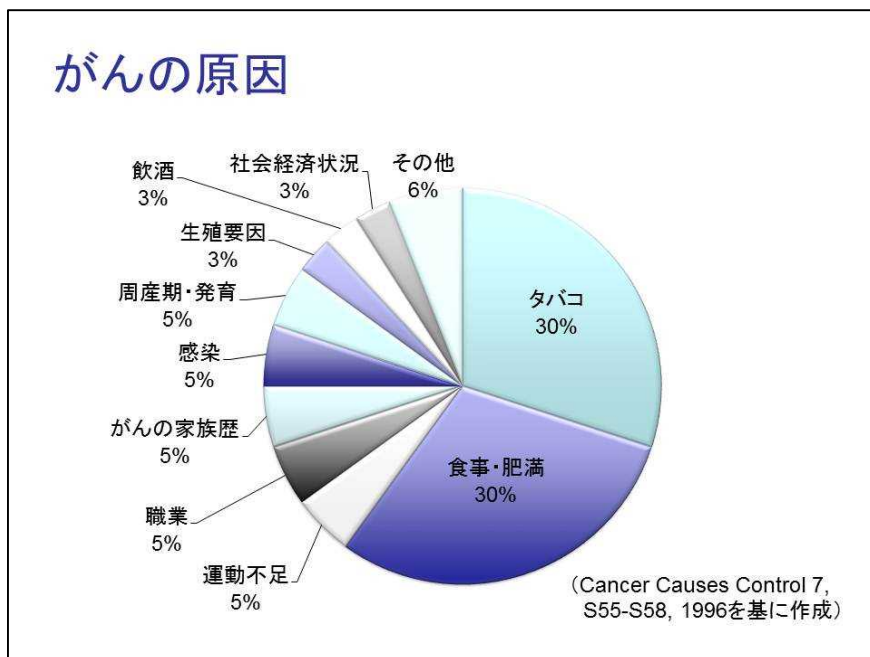
そして、これは意外なこととお感じになるかもしれませんが、放射線は強力な発がん因子ではありません。皆さん、わずかな放射線量で簡単にがんを発症するかのようなイメージをお持ちかもしれませんが、それは誤りです。研究のためにネズミなどの動物に実験的にがんを作りたい場合、放射線を使うのは賢い方法ではありません。潜伏期間が長い上に、発がん率を上げようとして線量を高くすると、動物が死んでしまったりするからです。世の中には、放射線よりもっと効率よくがんを作る化学物質がたくさんあります。そういう意味で、放射線は実は強力な発がん因子ではないのです。

先ほど申し上げたとおり、100ミリシーベルト以下の被ばくで本当にがんになるかどうかは、現在の科学ではわかっていません。わからない以上、可能性が全くないとは言いきれません。が、一方で、可能性があったとしても、がんが目に見えて増えるほどではない、ということもできます。私たちの身の回りにはたくさんの発がん因子があるため、放射線の影響はそれらの影響の陰に隠れて見えなくなってしまうのです。

放射線を被ばくしなくても、私たちはがんになります。それらのがんがどのような原因によるものか、かつてハーバード大学がまとめたことがあります。それによると、がんの原因として一番大きいのは、たばこ、そして高カロリーの食事による肥満です。全体の6割くらいが、この2つによるものとされています。それ以外にも、運動不足や飲酒など、ごくありふれたものががんの原因として挙がっています。私たちは生きている以上、多少の差はあっても発がん因子にさらされているのです。では、生活環境中のありふれた発がん因子と比べたときに、放射線はどれくらい強い発がん作用をもっているのでしょうか。疫学調査によれば、習慣的にたばこを吸う人は、吸わない人に比べて約1.6倍、がんになる可能性が高いとされています。また、お酒をたくさん飲む人、具体的には日本酒換算で1週間に20合以上飲む人は、全く飲まない人に比べて、やはり1.6倍くらいがんになりやすい。放射線をどれくらい浴びたらがんが1.6倍になるかという点、原爆被爆者の疫学調査によれば、1グレイから1.5グレイく

らいです。

<スライド 6>



1 グレイから1.5 グレイという線量は、エックス線、ガンマ線、ベータ線については、1000ミリシーベルトから1500ミリシーベルトです。私たちが問題にしている100ミリシーベルトというのは、その10分の1以下です。喫煙や大量飲酒による発がんリスクの10分の1以下と考えれば、もともと生活環境中に存在する種々の発がん因子の影響と比べて、放射線のリスクは決して大きなものではないことがわかりいただけると思います。誤解しないでいただきたいのですが、喫煙や大量飲酒を正当化するつもりはありませんし、放射線の影響など無視してよいと言っているのでもありません。100ミリシーベルト以下の被ばくでがんが増えるとしても、かなり微妙な増加でしかないので、他の発がん因子の影響の陰に隠れてしまうのが現実だと申し上げているのです。

もう一点、子どもが危ないということがよく言われますので、子どもの発がんリスクについて触れておきます。大人に比べて、子どもの方が放射線感受性が高いのは事実です。その典型例が先ほども紹介した甲状腺がんです。チェルノブイリ事故のとき、放射線のヨウ素で汚染した牛乳を飲んだ子どもに甲状腺がん増えました。大人では増えていません。感受性が高いことに加え、子どもは余命が長いという点が重要です。放射線発がんの潜伏期間は数十年に及ぶことが少なくない、と申し上げました。話を単純にするために、被ばくしてからがんになるまでに30年かかるとしましょう。10歳の子どもが被ばくしたとすれば、30年後には40歳です。今の日本では10歳の子どもが40歳を迎える前に命を落とす可能性はかなり低いので、40歳のときにがんが発生することになります。では60歳の方が被ばくしたらどうでしょうか。30年後には90歳です。90歳まで生きる方もいらっしゃいますが、それ以前に他の原因で亡くなってしまう可能性は決して低くありません。その場合、放射線によるがんは結果的

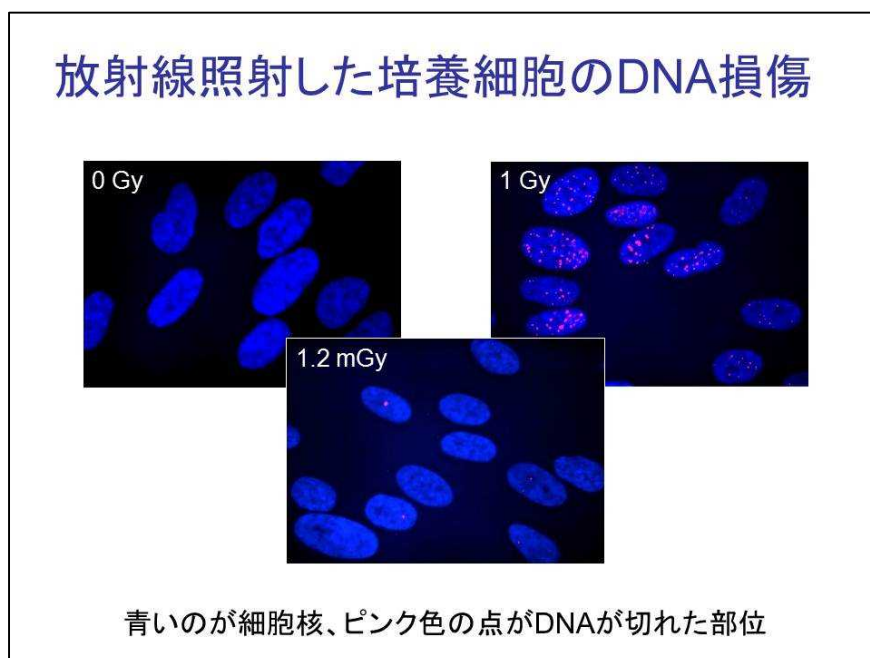
に現れないこととなります。このように、子どもが被ばくした場合、余命が長いために潜伏期間の長いがんでも現れやすい、という特徴があります。感受性の高さと長い余命、この2つが相まって、生涯のうちにがんになる、或いはがんで死亡する確率は、子どもの方が2～3倍程度高い（30～40歳くらいの大人を基準にした場合）とされています。

(4) 放射線発がんのメカニズム

100ミリシーベルト以下の影響がそれほど大きなものではないとしても、なんとか白黒つけたいと思うのが人情です。そこで、疫学とは違うアプローチで研究が行われています。生物学を駆使して放射線発がんのメカニズムを探る、というものです。

鍵を握るのは、先ほどお話しした、やはりDNA損傷です。生物学が進歩したことで、細胞に生じたDNAの傷を見ることができるようになりました。

<スライド7>



ヒトの培養細胞にエックス線を当てて、その技術を使って調べてみると、1グレイ（1000ミリグレイ）当てた細胞ではDNAがたくさん切れていることがわかります。もっと低い線量、具体的には1.2ミリグレイでも、少ないですが確かにDNAが切れています。私たちは1年間に1ミリシーベルト程度、自然界の放射線を外部被ばくとして受けています。エックス線で1.2ミリグレイ（1.2ミリシーベルト）というのは、ほぼこれに匹敵します。つまり、私たちが普段受けているようなレベルの被ばくでも、多少なりともDNAが傷ついているということです。

実際に、DNA損傷の量は線量に比例し、どんなに低い線量でもDNAは切れます。DNAが切れた場合、細胞はそれを修復しようとしませんが、その修復は不完全であることがわかって

います。そのため、低い被ばく線量でも突然変異が起こり得ます。すでにご説明したように、大半の変異は問題ないとしても、まれにたちの悪い変異ができてしまったら、それががんの原因となるかもしれません。確率は非常に低いかもしれないけれども、絶対にないとは言い切れません。だから、やはり発がんにはしきい線量がないと考えるべきだ、こうなるわけですね。

ところが話はそれほど単純ではありません。ヒトの体は多彩な防御機構を持っているからです。たちの悪い変異を抱えた細胞、別の言い方をすると、がんの芽になる可能性のある細胞ができたとしても、細胞ごと排除してしまうという機能があります。例えば、アポトーシスといって、異常をもった細胞が自ら死んでいく現象が知られています。免疫のはたらきによって、異常な細胞を抑え込んでしまうこともあります。低い線量では変異を起こす細胞が少ないため、こういった機構がきちんとはたらいてくれれば、がんにつながることはないかもしれません。一方で、排除機構をすり抜けてしまう変異細胞がそれなりにあるとすれば、やはりどんなに低い線量でも、がんの可能性はゼロではないことになります。

結局、現代の生物学をもってしても、はっきりした答えは出せません。100ミリシーベルト以下の被ばくで本当になんかがんが増えるかどうか、科学ではわからないというのが結論です。ただ、「わからない」と言っても、全く何もわかっていないわけではありません。先ほどもご説明したとおり、100ミリシーベルト以下の被ばくで、仮に放射線によるがんの増加があったとしても、生活の中で接している他の発がん因子の影響に隠れてしまうので、「わからない」ということです。あるかどうかはわからないけれど、あったとしても検出できないほど小さい、これは事実です。逆に言うと、そこまではわかっているのです。その辺りのニュアンスを感じとっていただければと思います。

3. リスクと基準値

(1) 放射線のリスク評価

福島原子力発電所の事故をめぐって、今、私たちが問題にしているのは、100ミリシーベルトよりもさらに低い、数十、或いは数ミリシーベルトの世界です。これくらいの被ばくの影響をどう考えるか、難しいところです。はっきり検出できないからと言って、全く影響がないと切り捨ててしまうのは乱暴です。そこで通常は、スライド5に点線で示したように、どんなに少ない被ばくでも、線量に比例して発がん率が増加するという前提で考えます。これが実際に正しいかどうかはわかりませんが、とりあえずそう仮定して、発がん率がどれくらいになるかを見積もってみようということです。

そのような前提での計算例を紹介しましょう。仮定の置き方によって計算値は変化するので、ここでご紹介するのはあくまで一つの例だとお考えください。1,000人の集団が二つあって、一方はとくに放射線を被ばくしておらず、もう一方は全員が100ミリシーベルトずつ被ばくしたとします。このとき、それぞれの集団の何人が、最終的にがんで死亡するかを計算してみます。

現在、日本人の死因のおよそ30%のがんですが、これは高齢者が相対的に多いためです。

仮に毎年亡くなる人の数と新たに生まれてくる人の数が同数なら、がんで死亡する人の割合は20%くらいになるだろうと言われています。その20%という数字を採用すると、放射線被ばくがなくても1,000人のうち200人はがんで亡くなる計算になります。100ミリシーベルト被ばくした集団については、この200人に放射線による上乗せ分が加わります。放射線によるがんで死亡する確率として、1シーベルト当たり約5%という推定値があります。100ミリシーベルトは0.1シーベルト、5%は0.05ですから、この値を使うと、 $0.1 \times 0.05 \times 1,000 = 5$ となって、上乗せ分は5人となります。つまり、特段の被ばくがなければ1,000人のうち大体200人ががんで死亡するけれども、100ミリシーベルト被ばくすると、それが205人になるということです。

ここで注意していただきたいのですが、がんで死亡する人が必ず5人増えるという意味ではありません。線量に比例して発がん率が増加すると仮定したら、これくらいになるだろうという一つの見積もりです。本当のところはわかりません。もし、発がんにしきい線量があったら、答えはゼロになるかもしれないのですから。

では、なぜこのような計算をするのでしょうか。数字を出すことが目的ではありません。ある被ばくを伴う状況があったとき、私たちはそれにどう対処するか意思決定をしなければならない。意思決定のための一つの参考情報として、計算結果を利用するので。

このようなプロセスをリスク評価と言います。それはつまり不都合な事象の発生が予見できないときに、どのように見積もるかということです。私たちは、ごく普通の日常生活において、いろいろな場面でリスク評価を行って過ごしています。例えば夜、外出するとします。雲行きがあやしいけれども雨が降らないだろうか。傘を持って行くかどうか迷いますね。傘を持って出ても、雨が降らなければ、どこかに忘れてきてしまうかもしれません。荷物になるのも面倒です。でも、傘を持たずに出て、出先で雨が降れば濡れてしまいます。そんなとき、雨が降る可能性を自分なりに見積もりますよね。天気予報を見ると降水確率30%、夜遅くからは50%だ、などと、なんとも悩ましい。雲の状態を見て、帰ってくるまでは何とかもつだろう、万が一降ったとしても、そんなひどい降り方にはならないだろう。そんなふうに自分なりに理由づけをして、持って行くのは止めようとか、いや持って行こうとか、決めますね。これは立派なリスク評価です。実際に雨が降るかどうかはわかりませんが、得られる情報を基に見積もりを行い、傘を持って行くかどうかを決めているのです。

放射線についてのリスク評価も基本的に同じです。放射線発がんにしきい線量がないかどうか、100ミリシーベルト以下でも線量に比例して発がん率が増加するかどうか、本当のところはわかりません。それでも一応そのように仮定したときに、5人余計にがんで死亡するという見積もりになった。問題はそこからです。見積もった結果を大きいと見るか、小さいと見るか。大きいと見るなら、あるいは小さいと見るなら、その根拠は何か。また、結果にはどの程度の不確かさがあるか。そして、その不確かさを考慮した場合に、結論は変わるかどうか。こういったことを考えた上で、どう対処するかを決めるのです。計算値は判断のための一つの目安でしかありません。

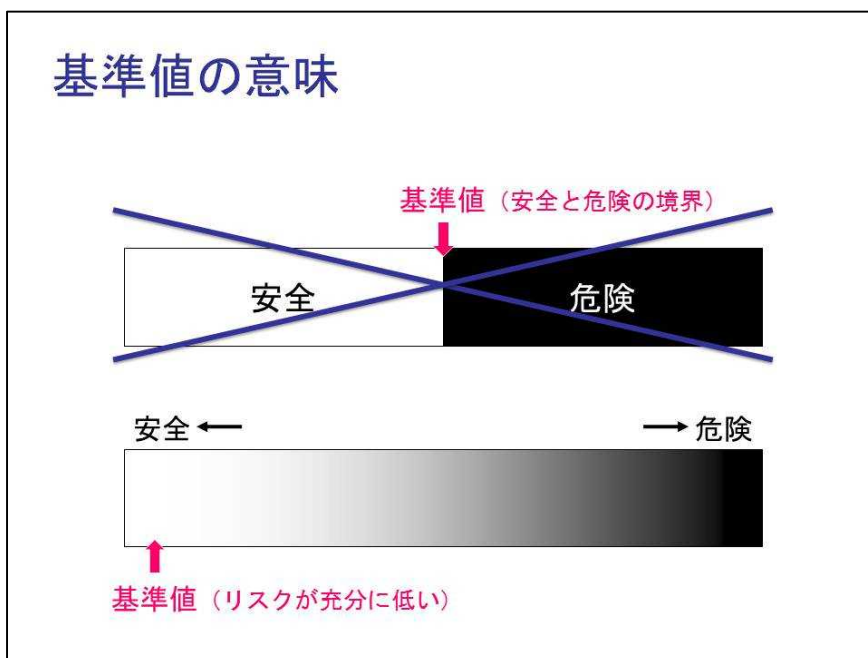
(2) 基準値の意味合い

リスク評価の結果に基づいて具体的な対処方針を決める場合、私たちはよく基準値を使います。基準値を上回ったら、例えば除染をする、農作物の出荷を制限する、そのような形で対処します。ここで、基準値がどのような意味を持つのかを考えてみたいと思います。

多くの方々は基準値を、「安全と危険の境界線」ととらえていらっしゃるのではないのでしょうか。基準値以下ならば安全で、基準値を超えたら危ない。一般の方々はもとより、政府関係者でさえ、多分にこのような捉え方をしているように見受けられます。しかし、これはおかしな解釈です。自動車の制限速度に当てはめると、わかりやすいと思います。ある道路の制限速度が時速50キロメートルだったとします。時速50キロメートル以内で走っていれば安全で、時速51キロメートルだと危険なのでしょうか。そういうことはありませんね。制限速度以下でも事故は起きますし、制限速度を超えたからと言って必ず事故が起きるわけではありません。それでもスピードを出しすぎれば事故を起こしやすくなるので、制限速度という基準が設けられているのです。

安全な状態が白で、危険な状態を黒だとすれば、白から黒へ連続的に変化するのが現実の世界です。実際、私たちは被ばく線量に比例して発がん率が増加する、という前提に立っています。白に近いところに目印（基準値）を置いて、その目印より白い側にあればリスクは十分に低いだろう、というのが本来の基準値の意味合いです。つまり、基準値というのは安全と危険の境界線ではなくて、リスクがある一定レベル以下であることを確実にするためのものです。

<スライド8>



現場では様々な要因が複雑に絡み合います。そこで、迅速な判断と適切な対処を可能にするために基準値が用いられます。例えば食品ごとに放射能濃度の基準値が決められています。基準値いっぱいのものを食べ続けたとしても、内部被ばくによる発がんのリスクが低く抑えられ

るようにするのが目的です。その場合、実際ががんになるかどうかはわからないのですが、どんなに低い線量でも発がんの可能性はゼロではないという前提で、リスク（理論的な放射線発がんの可能性）を見積もります。そして、現場でも比較的簡単に測定できる放射能濃度について一律の数値を設定し、それを上回ったら出荷停止という措置をとるのです。

このように、基準値はリスクが一定レベル以下であることを保証するための仕切り・目安です。リスクが「我慢できる限界」を超えないようにするための制限と言った方がよいかもかもしれません。その際、どれくらいまでなら我慢できるかが問題になりますが、多分「我慢できる限界」は置かれた状況によって異なります。したがって、基準値も状況に応じて変化することになります。

基準値が変わるなんておかしいじゃないか、とお感じになる方もいらっしゃるかもしれませんが、リスクの問題でなくても、私たちは日常生活の中で、置かれた状況によって判断基準を変えて過ごしています。変な例えで恐縮ですが、普段のお昼ごはんに1,000円くらいかけていらっしゃる方でも、給料日前でお財布の状態が危うくなってきたら、なるべく安いコンビニ弁当で我慢しないでしょうか。おにぎり一個と野菜ジュースだけとか。状況によって判断を変えているわけです。基準値が安全と危険の境界線ではなくて、一つの目安でしかないとしたら、状況によって柔軟にそれを変えるという選択があってよいはずですよ。

一方で、基準値を満足していれば、それでよいということにはなりません。どんなに低い線量でも発がんの可能性はゼロではないとしているのですから、たとえ基準値以下であったとしても、さらに低くできる余地があるなら低くする努力をすべきです。でも、そのときに放射線のことだけを考えると、他のリスクへの対応がおろそかになったり、社会資源を浪費したりする危険性もあるかもしれません。

今回の事故によって首都圏の幼稚園や小学校の校庭が汚染し、保護者の方々が大変心配していらっしゃいます。そこで少しでも線量を下げするために、多くの場所で校庭の土をはぎ取る作業が行われています。その思いとご努力には本当に頭が下がります。しかし一方で、校庭の汚染土を取り除くためには相当な経費がかかりますし、マンパワーが必要であるのも事実です。もし仮に線量がそれほど高くないとしたら、そこに投じる資金や労力を他のことへ回すという選択肢もあり得るのではないのでしょうか。通園路・通学路に自動車が進んで園児や学童をはねた、という痛ましいニュースを耳にします。例えばそういった事故を防ぐために、パトロールを強化する、バリアーを作ることに資金・労力をかける、そういった対応の方が、子どもにとってのトータルのリスクを減らすことができるかもしれません。

もちろん最終的にどうするかは、当事者が決めることです。量の多少にかかわらず、事故由来の放射性物質で汚染している校庭で遊ばせることが、親として精神的に耐えられないというもの、行動の大きな理由になり得ると思います。最後は科学ではなく、社会的な判断になります。

4. 内部被ばく

最後に内部被ばくについて、手短にお話ししたいと思います。

内部被ばくというのは、外部被ばくに相対する概念です。外部被ばくは放射線を出すものが体の外にあって、そこから被ばくすることを言います。それに対して内部被ばくは、放射性物質を吸い込んだり飲み込んだりした結果、体の中から被ばくすることです。もし同じ分量の放射性物質が、体の外にある場合と体の中に入ってしまった場合とを比較するならば、体の中に入ってしまった方がよくないです。でも、それは内部被ばくの方が危険だからではありません。放射性物質の量が同じならば、体の中に入った方が線量が高くなるからです。

大事なことは、どの臓器が、どんな種類の放射線から、どれぐらいの期間にわたって、どれぐらいのエネルギーを受け取るかです。放射線を被ばくするということは、放射線からエネルギーを受け取ることであり、受け取るエネルギーの量に応じて線量が決まります。放射線の影響を考える上で線量が重要であることは、すでにお話ししたとおりです。シーベルトで表した線量が同じならば、外部被ばくも内部被ばくも本質的には変わりません。

内部被ばくについても、これまでに色々な疫学調査が行われています。内部被ばくの場合、外部被ばくに比べて線量の評価が難しいという問題がありますが、それでも、シーベルト当たりの発がんリスクが著しく高いという証拠は得られていません。繰り返しますが、内部被ばくだから危険なのではなく、線量次第です。外部被ばくであろうと内部被ばくであろうと、臓器・組織が何シーベルト被ばくしたかが重要なのです。

ただ、内部被ばくというのは言葉の響きがよくありませんね。放射性物質が体の中にあるというのは、確かに気持ち悪い感じがします。ところが、私たちは普段から内部被ばくをしているのです。自然放射線からどれぐらいの被ばくをしているか、国連科学委員会というところが推定しています。それによると、世界平均で1年間に2.4ミリシーベルトで、そのうちの半分以上が、実は内部被ばくによるものです。食べ物からの被ばくは0.29ミリシーベルトと推定されています。これはどこから来ているかというと、主に放射性のカリウムです。カリウムという元素があるのは皆さんご存知だと思います。カリウム原子のうち約1万個に1個はカリウム40といって、放射線を出します。私たちがカリウムを含むものを食べれば、カリウム40も一緒に摂取します。カリウムは野菜や穀類、肉にも入っていますから、私たちの体の中には常にカリウム40が存在しています。どれくらいあるかと言うと、数千ベクレルです。ですから、内部被ばく自体は別に珍しいことではないのです。

<スライド 9 >

自然放射線からの年間被ばく(mSv)

被ばく源	世界平均値	典型的範囲
宇宙から	0.39	0.3-1
大地から	0.48	0.3-1
食物から	0.29	0.2-1
呼吸によるもの	1.26	0.2-10
計	2.4	1-13

(国連科学委員会2008年報告)

それを目に見える形で示したのが、スライド10の写真です。

<スライド 10>

食品中の天然放射性物質



小松菜



ほうれん草

イメージングプレートで撮影した放射線写真

今から10年ほど前に行った実験で、普通にスーパーで売られていた小松菜とほうれん草をイメージングプレートという装置で撮影したものです。イメージングプレートというのは、写真のフィルムと同じように、放射線が当たった部分が黒くなる性質を持っています。そのような特殊な板に葉っぱを挟んで1ヶ月置いておきました。普通の環境に1ヶ月間置いておくと、宇宙や地球から来る放射線で全体が真っ黒になってしまいますので、金沢大学にある特殊な洞

窟の中に置きました。その洞窟には宇宙や地球からの放射線がほとんど入ってきません。その結果、葉っぱの中に入っていたカリウム40から出てくるベータ線が、このような影をつくったわけです。

私たちは普段の食事を通して、年間で0.3ミリシーベルト程度の内部被ばくをしています。ですから内部被ばくがあるかどうかではなく、線量に着目することが大切です。現在、セシウム137による食品の汚染が問題になっていますが、汚染食品を食べたときに、一体どれだけ被ばくをするのか。それはカリウム40による被ばくと比べて大きいのか、小さいのか。今後、皆様にはそういった見方をしていただきたいということを最後に申し上げて、本日の話を終わらせていただきたいと思います。

ご清聴ありがとうございました。