

2. 放射線の影響を考える

酪農学園大学獣医学部 教授 林 正 信

1. 自然放射線と人工放射線

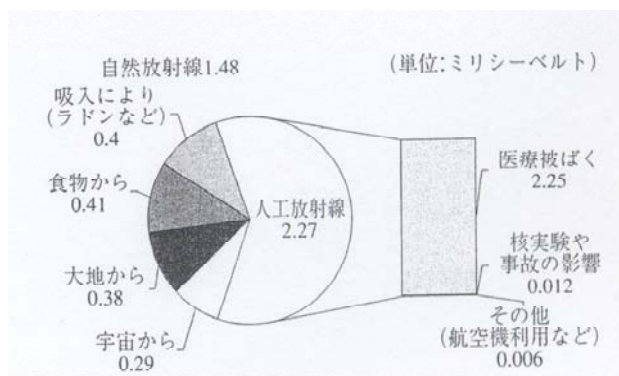


図1 日本の自然放射線による年間平均被ばく線量

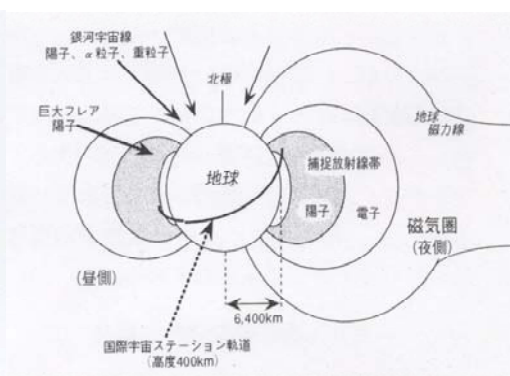


図2 地球周辺の宇宙線環境

1-1. 自然放射線とは

放射線は通常 5 感では感じられないため普段身の回りであっても判りませんが、自然界には放射線が存在します。線量の単位については後ほど説明しますが、日本では平均して年間 1.5 ミリシーベルト (mSv) の自然放射線が人体に当たっています(図1)。その内訳は宇宙線が 0.29 mSv、大地から 0.38 mSv、食物から 0.41 mSv、ラドンガスなどの吸入で 0.4mSv です。

地球周辺の宇宙放射線環境を図2に示しますが、宇宙線は銀河宇宙線、太陽粒子線、捕捉放射線の3種類あり、宇宙ステーションなどではこれらの内、陽子線やα線など粒子放射線が問題となりますが、地上ではほとんどがγ線など電離放射線による被ばくで、一部中性子線が含まれます。高度が高いほど宇宙線の影響は大きくなり、成田一パリ間を往復すると約 0.1mSv の宇宙放射線に被ばくすることになります。

大地や食物からの放射線は何に由来するかといいますと、大きな原因は自然界に存在する放射性のカリウム 40 とラドンガスなどです。放射性のカリウム 40 はカリウム元素の約 0.0118%を占めます。カリウム 40 の半減期は非常に長く、12.8 億年です。したがって、地球が生成した時に存在していたカリウム 40 の 16 分の 1 がまだ残っていることとなります。日本では大地からの自然放射線量は年間平均 0.38mSv ですが、国内でも地域によって 0.026~0.13 μSv 毎時と差があります。世界的に見ると大地からの放射線量が非常に高い地域があり、年間の被ばく線量はイランのラムサールでは

10.2mSv、ブラジルのカラパリでは 5.5mSv、インドのケララでは 3.8mSv、中国の陽江では 3.5mSv と日本の 10~30 倍高い数値の地域があります（図 3）。

地球上には少量のウラン 238 やトリウム 232、アクチニウム 235 等の元素が存在します。ウラン 238 は α 線を出してトリウム 234 に変わりますが、その半減期は 44 億年です。トリウム 232 は α 線を出してラジウムの 228 に、半減期 141 億年で、アクチニウム 235 も α 線を出してトリウム 231 に半減期 7 億年で変わります。この様な元素は最終的には安定な鉛となりますが、この過程でラドンガスを発生します。日本ではラドンガスなどの吸入による内部被ばくは世界平均の 1.4 mSv より低く、0.4 mSv 程度です。また、宇宙線に含まれる中性子は空気中の窒素と反応して放射性の炭素 14 を生成します。空気中の炭素 14 は炭酸ガスとなり、植物の光合成によって炭素 14 を含んだグルコースとなり、植物を介して動物体内に取り込まれます。植物は光合成によって常に一定の炭素 14 を取り込みますが、樹木などが切られて光合成を行わなくなると時間と共に減衰します。炭素 14 の半減期は約 5300 年で年代測定などに利用されます。

1-2. 人工放射線とは

日本では年間平均で 2.3mSv の人工放射線による被ばくを受けており（図 1）、そのほとんどは X 線診断などによる医療被ばくです。胸部の X 線診断では 1 回当たり 0.05mSv、胃の集団検診では 1 回当たり 0.6mSv、X 線 CT では 6.9mSv 程度の線量を被ばくします（図 4）。

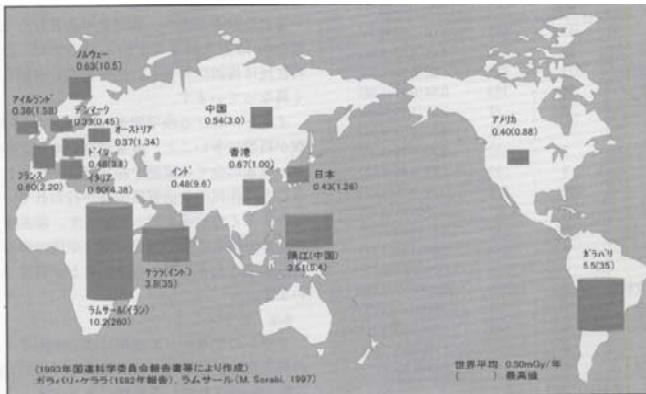


図 3 世界における大地からの放射線量

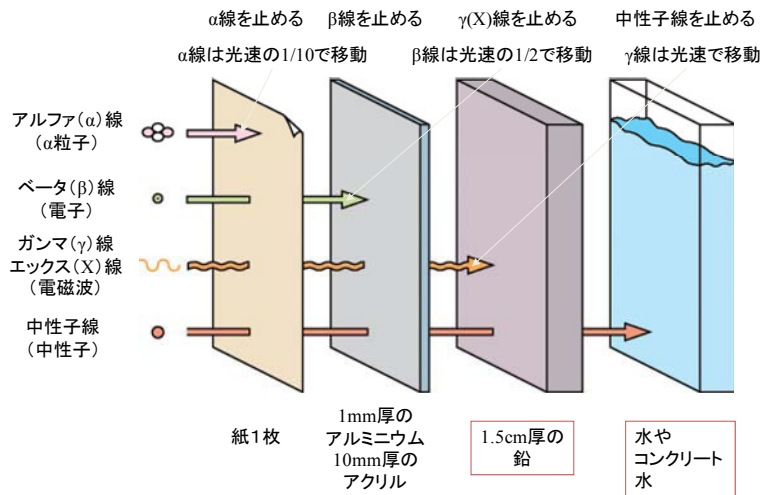


図 4 線量の比較

2. 放射線と放射能

2-1 放射線の種類

放射線には粒子放射線と電磁放射線があります（図 5）。粒子放射線には荷電を持った α 線、 β 線と荷電を持たない中性子線があり、電磁放射線には γ 線と X 線があります。X 線以外は原子核から放出され、 α 線は中性子 2 個と陽子 2 個からなる大きな粒子で、中性子線は中性子 1 個、 β 線は電子または陽電子です。X 線と γ 線は可視光や電波と同じ電磁波ですが、 10^{-8} m 以下と非常に波長の短いものをいいます。また、放射線はその種類によって物を透過する能力が異なります。



(出典:原子力図面集2005年、原子力防災基礎用語集)

図5 放射線の種類と透過力

2-2 放射能とは

放射性核種は放射線を出して別の元素に変わります。例えば、りん 32 はβ線を出してイオウ 32 (非放射性) に変わります。このように放射性核種は放射線を出して別の元素に変わり (この現象を壊変または崩壊といいます)、この放射線を出す性質 (または能力) のことを放射能といいます。少し判りにくいのですが、放射能という言葉はどれくらい放射線を出す物質があるかという量も表します。1 秒間あたりに 1 壊変する放射性物質がある場合の放射能が 1 ベクレル (Bq) です。なお、1 壊変当たり放出される放射線の種類や数は 1 つと限りません。1M (メガ) Bq の場合、1 秒間あたり 100 万本以上の放射線を放出する放射性物質があることになります。人体には平均して 0.35% のカリウムが含まれており、その 0.0118% が放射性のカリウム 40 ですので、体重 60kg の人体には約 6400 Bq のカリウム 40 が存在します。したがって、人体からは毎秒 6400 本以上のγ線が出ています。

放射性核種は放射線を出して別の元素に変わりますので、時間と共に最初にあった放射性核種の量は減少します。元にあった量の半分になる時間が半減期です。半減期は核種毎に決まっており、ヨウ素 131 は 8 日間、セシウム 131 は 30 年間などで、この時間は温度や湿度など外的環境条件に依存せず一定の値です。また、1 半減期で半分に減りますが、次の半減期を経過するとその半分という減少の仕方になります。ヨウ素 131 であれば 8 日で 1/2、16 日で 1/4、24 日で 1/8 となります。

2-3 放射線の単位

放射線の作用はそのエネルギーが物質に吸収されて、物質を電離したり励起したりすることによって起こります。放射線のエネルギーが物質 1kg 当たり 1 ジュール吸収された時、吸収線量は 1 グレイ (Gy) と表わされます。1Gy の放射線が物質に吸収された時、温度としては 1/4,000°C 上昇させるエネルギーに相当します。

放射線には図 5 のように色々な性質のものが含まれるため、同じエネルギー (吸収線量) であっても放射線の種類によって人体に生じる影響の程度は異なります。α線

や中性子線は同じ吸収線量の X 線や γ 線の 5~20 倍大きな影響を人体に与えます。したがって、人体にどの程度の影響が生じるかを評価するためには放射線の種類によって補正をすることが必要です。この補正係数を放射線荷重係数といい、体の特定の組織の吸収線量に放射線荷重係数を乗じた線量を等価線量といい、単位はシーベルト (Sv) となります。シーベルトで表示される線量にはもう 1 つ実効線量があります。実効線量は主として人体における発癌のリスクを評価するために用いられます。発癌のリスクは人体の組織によって異なるので、組織ごとの影響の起り易さ (組織過重係数) を等価線量に乗じて、人体の組織について全てを加算した線量が実効線量です。

3. 環境への影響について

チェルノブイリや福島第 1 原子力発電所のような大事故を除いて、原子力発電所からは大量の放射性物質が外部へ放出されることはありませんが、大気圏内や地表での核実験では大気中に多量の放射性物質が放出され、放射性雲として遠方に運ばれ、雨等と共に降下します (フォールアウトといいます)。気象研究所では長年に渡ってフォールアウトの量を測定していました。図 6 のように核実験が行われていた年代には多量の放射性物質がフォールアウトとして日本に落下していました。また、1986 年のチェルノブイリ原発事故の後も短期間ですが、非常に高い濃度の放射性セシウムや放射性ストロンチウムが降下していたことが判ります。さらに、日本近海でのセシウム降下量も測定されており、核実験の行われた時期に降下量が多いことが判ります (図 7)。放射性ヨウ素については事故直後には多量に放出されますが、半減期が短いため長期の影響は比較的小さいこととなります。なお、図 6 と 7 はつくば気象研究所 HP から引用しました。

降下した放射性物質は水や動植物を汚染し、水や土壌を介して動植物体内に取り込まれます。動植物体内に入った放射性物質は核種に固有の半減期で減少すると共に生物体内からは排泄等によっても減少します。体内での放射性物質の動態はそれぞれの

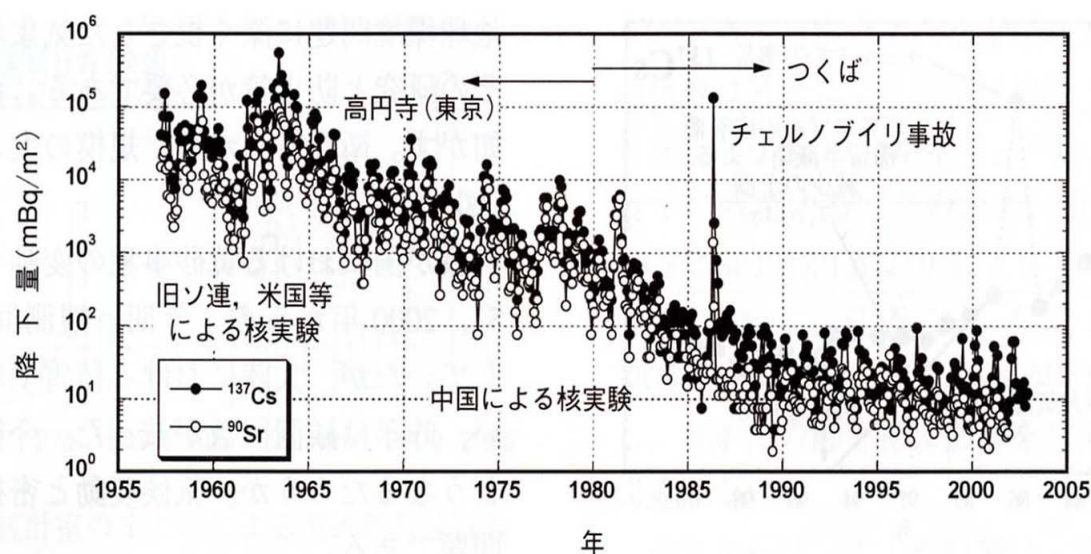


図 6 1 平方メートル当たりの放射性セシウムやストロンチウムの降下量の年代変化

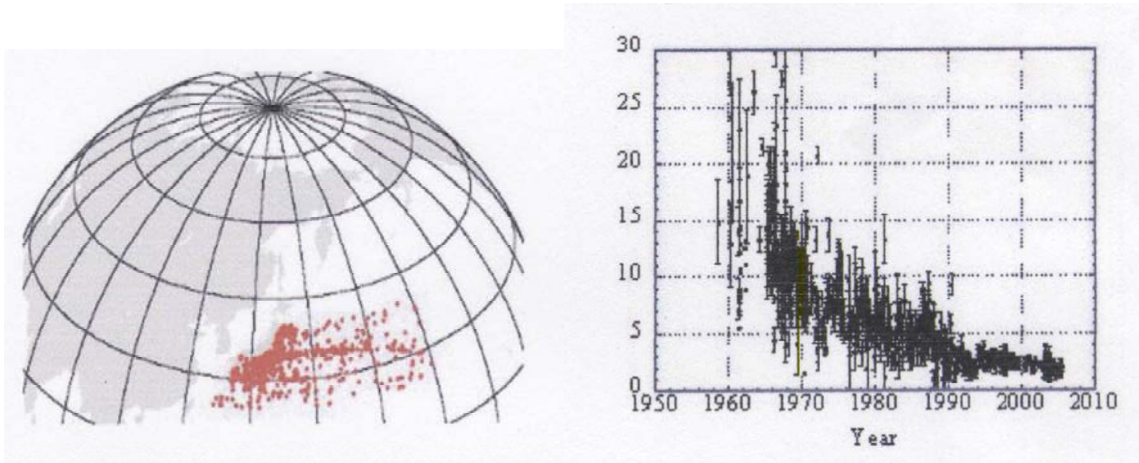


図7 日本近海への放射性セシウム降下量と測定地点（点の場所）

元素によって異なり、生物学的作用によって濃度が半分になる期間（生物学的半減期）はヨウ素 131 では 80 日、セシウム 137 では約 100 日くらいです。放射性物質で汚染された水や食品が人体に摂取されると内部被ばくを起こします。

4. 放射線の人体への影響

放射線の種類による人体影響の違いやどの部分に影響が生じるかは被ばくの様式によって異なります。放射線被ばく様式は外部被ばくと内部被ばくに分けられます。また、体表面汚染からの被ばくも起こります。

外部被ばくでは主としてγ線が問題となり、今回の福島原子力発電所事故の場合では2つのことが考えられます。一つは原子力発電所敷地内での被ばくで、原子炉やそこから漏出した物質によって作業員への外部被ばくが起こります。発電所からは事故当初の水素爆発等で空気中に放射性物質が放出されました。これらは微粒子で空気中

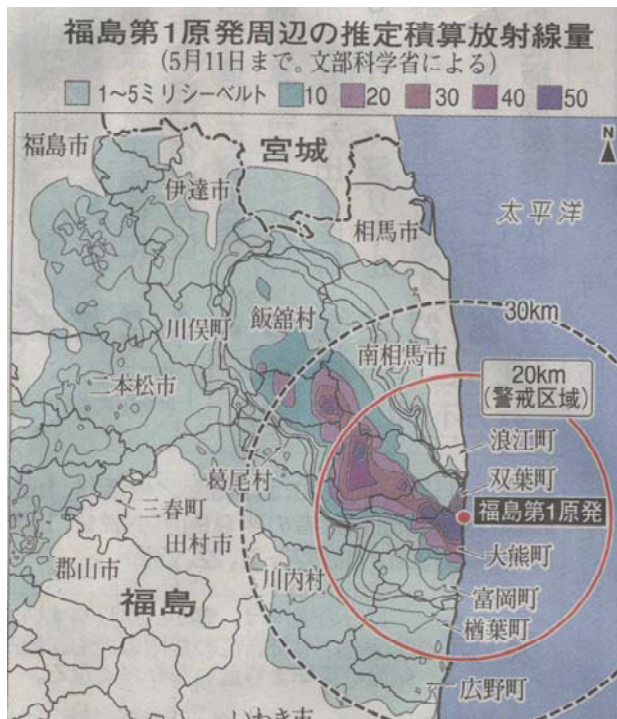


図8 福島第1原発周辺の推定積算線量 (3月11日～5月11日)

に浮遊し（放射性雲）、その後雨等によって地上に落下します。落下する場所は風向きや地形、雨の降るタイミング等により異なり、一般的に斑状になり、離れた地域でも地表面に放射性物質の高い濃度の場所が生じます（図 8、図 10）。原子力発電所の敷地外での外部被ばくは空気中に浮遊している放射性雲中や汚染された地表面の放射性物質からのγ線によって生じます。

内部被ばくは放射性雲中や汚染地表面から再浮遊した放射性物質を吸入したり、地表面に落下した放射性物質で汚染された飲料水や食物を摂取することで体内に取り込まれた放射性物質によって起こり、α線やβ線が問題となります。個々の放射性核種は特定の組織に蓄積しやすい傾向があり（例えば、放射性ヨウ素であれば甲状腺）、蓄積した組織が大きな線量を被ばくします。

外部被曝と内部被曝の中間的なものとして体表面汚染があり、放射性物質が体表面に付着してその部分、特に皮膚が大きな線量を被ばくします。また、傷のある場合には傷口から体内に入り、内部被ばくを引き起こします。

表 1 人体への放射線影響の分類

身体的影響 被ばくした本人に現れる影響	急性影響 被ばく後比較的短期間、長くても数カ月以内に現れる影響	造血障害（血液中の血球数の減少）、皮膚の紅斑、脱毛、嘔吐、下痢など	確定的影響 影響が現れるためには一定以上の線量（しきい線量）がある
	晩発影響 数年～数十年の潜伏期を経て現れる	白内障、胎児影響、再生不良性貧血 発癌、白血病	
遺伝的影響 被ばくした子孫に現れる影響	遺伝子病		

放射線の人体影響は表 1 のように分類されますが、この分類で判りにくいのは確定的影響と確率的影響だと思います。確定的影響は影響が生じるのに一定の線量以上（しきい線量という）があります。例えば、全身が短時間で放射線に被ばくした場合には 250 mSv 以上の線量で血液中の白血球やリンパ球が減少します。この時、血液中の血球減少のしきい線量は 250 mSv となります。一方、確率的影響はしきい線量がないと考えられている影響で少ない線量でも発生率は増加すると仮定して防護を考えることが必要で、発癌が主に対象となります。

チェルノブイリ事故後、図 9 のように小児の甲状腺腫瘍の発生が増加したことが報告されています（甲状腺腫瘍は良性腫瘍で治療後の予後は良いとされています）。広島や長崎での原爆被ばく者の方についての調査から原爆で 100mSv の被ばくを受けた場合に白血病など発癌の生涯リスクは 0.5%増加したと考えられていますが、これより低い線量での発癌への影響は明らかではありません。その理由ですが、100mSv 以下の放射線による発癌頻度の増加は非常に小さく、他の要因（喫煙、食事、地域差、紫外

線など) が大きく影響するため、正確に評価することが不可能なためです。また、短時間で 100mSv を被曝した場合と長期間にわたって被ばくした場合で、影響の程度は異なり、長期間に渡って低い線量率 (単位時間あたりの線量) で被ばくした方が影響はずっと小さくなります。例えば、イランのラムサールでは年間 10mSv を超える自然放射線に被ばくしており、10 年間で 100mSv を超えますが、特に発がん率が高い証拠は示されていません。また、日本で平成 18 年の死亡原因の第 1 位は癌で、死亡原因の 30.4% であり、死亡者数は 329,198 人です。10 万人が 100mSv を被ばくしたと仮定して生涯リスクが 0.5% 増加すると、最大で 500 人の癌死亡者数が増加 (実際は長期に渡って発症するので、年間あたりに換算すると数十人程度の増加) することになりますが、33 万人のうち数十人の増減が放射線の影響であることを証明することは困難です。したがって、低い線量でも発がんなどに影響が生じると考えて、放射線防護は考えられており、できるだけ無駄な被ばくをさけることが原則です。

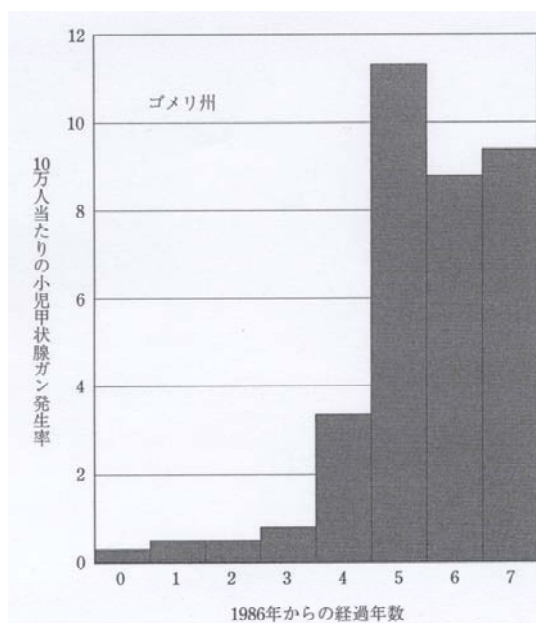


図9 チェルノブイリ事故後の小児甲状腺腫瘍の発生率

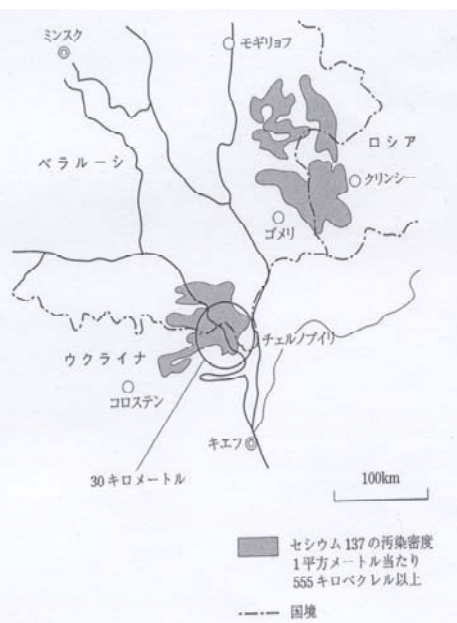


図10 チェルノブイリ事故後の地表の放射性セシウム濃度

放射線の生物への影響は放射線エネルギーが生体に吸収され、分子に電離や励起を生じ、その結果として遺伝子 DNA に損傷が生じることが主たる原因です。DNA に生じた損傷のため、細胞死や細胞に突然変異を生じ組織障害や癌化が引き起こされます。この影響の程度は未分化で細胞増殖が盛んな組織ほど影響を受けやすく、細胞分裂をしていない成人の脳や筋肉はほとんど影響を受けません。一方、胎児や乳幼児は体のほとんどの組織細胞が分裂をしているため成人よりも影響を受けやすいこととなります。しかし、100mSv 以下の線量であれば、胎児や乳幼児にも影響はほとんどないことが報告されています (国際放射線防護委員会 2000) ので、あまり心配しすぎないことも大切です。

細胞には放射線で生じたラジカルなどを消去する物質が存在します。また、遺伝子 DNA の損傷は放射線に関係なく、普段でも多数生成しており、細胞には DNA の損傷を

修復（治す機序）する能力が備わっています。したがって、低い線量の放射線で生成される DNA 損傷の数が少なければ元の正常な状態に戻され、また、生じた異常細胞のほとんどは生体の免疫機能などで排除されます。

5. 水や食品の汚染による内部被ばく

今回の福島原発の事故では放射性物質が外部に放出され、飲料水や食品が汚染されています。表 2 に飲食物の摂取制限に関する暫定規制値を示しますが、放射性物質によって汚染された食品によってどの程度の放射線被ばくが起こるかは以下のような式で計算されます。

$$\text{年間の預託実効線量 (mSv)} = \text{実効線量係数 (mSv/Bq)} \times \text{年間の核種摂取量 (Bq)} \\ \times \text{市場希釈係数} \times \text{調理などによる減少補正}$$

実効線量係数は核種毎に異なっています。また、放射性ヨウ素などは半減期が短い
ため、流通過程でかなりの割合で減少すると考えられます。この暫定規制値の食品を取った場合の年間の実効線量ですが、ヨウ素 131 については飲料水で成人で 2.5mSv、乳幼児で 1mSv です。母乳を介する新生児に対する線量も最大に見積もっても 3.9 mSv 程度で、知らずに基準値程度の食品を摂取しても健康に影響はないと考えられます。しかし、引き続き測定による食品汚染の確認が必要と思われま

表 2 飲食物の摂取制限に関する暫定規制値

核種	食品等	暫定規制値(Bq/kg)
放射性ヨウ素	飲料水、牛乳、乳製品	成人 300、乳幼児 100
	野菜類（根菜、イモ類を除く）	2,000
放射性セシウム	飲料水、牛乳、乳製品	200
	野菜類	500
	穀類	500
	肉、卵、魚、その他	500
ウラン	乳幼児食品	20
	飲料水、牛乳、乳製品	20
	野菜類	100
	穀類	100
	肉、卵、魚、その他	100
プルトニウムおよび超ウラン元素のα核種	乳幼児食品	1
	飲料水、牛乳、乳製品	1
	野菜類	1
	穀類	10
	肉、卵、魚、その他	10

6. 最後に

東日本大震災と津波、その後の福島第1原子力発電所の事故で被災・避難されている皆様に心からお見舞い申し上げたいと思います。

放射線の影響の理解について今回のお話がお役にたてば幸いです。少ない線量(100mSv以下)の放射線の被ばくは健康に影響を与えることはないと考えられますが、無駄な被ばくは出来るだけ避けることが原則です。また、放射線に被ばくしても、他の人には影響しませんし、放射性物質で汚染されたとしても、除染で取り除かれます。風評に惑わされないで、是非冷静な対応をお願いしたいと思います。

一刻も早い事態の終息を心から願っています。