

放射線・放射能・放射性物質とは

● ランタン

(光を出す能力を持つ)



カンデラ (cd)

(光の強さの単位)

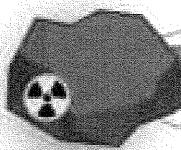
光



ルクス (lx)

(明るさの単位)

● 放射性物質 = 放射線を出す能力 (放射能) を持つ



放射線

ベクレル (Bq)

► 放射能の強さの単位

換算係数

シーベルト (Sv)

► 人が受ける放射
線被ばく線量の
単位

※ シーベルトは放射線影響に開係付けられる。

放射線、放射能、放射性物質について整理してみます。

キャンプなどで使われるランタンは光(明かり)を出す能力が有ります。

その能力を「カンデラ」という単位で表します。その光を、人は受け取り、明るさとして感じます。その時の単位が「ルクス」です。

よく耳にするベクレルとシーベルトという放射線の単位もこの関係に似ています。

例えば、岩石などが放射線を出すとき、この岩石を「放射性物質」と言います。

放射性物質は放射線を出しますが、その能力を「放射能」と言います。

「この岩石は放射能を持っている」とか、「この岩石は放射線を出す」と言った表現になります。

この石の持っている放射線を出す能力を「ベクレル(Bq)」という単位で表します。その受けた放射線でどれ位の影響を受けるかを知る際に必要な放射線被ばく線量の単位として、「シーベルト(Sv)」が使われます。

「Bq」から「Sv」を求める為には特有の換算係数があります。

放射能(ベクレルで表した数値)が大きいほど、放射性物質からたくさんの放射線が出ていることを意味しますが、被ばく量(シーベルトで表した数値)は放射性物質と被ばくする人の位置関係によって変わります。放射線の強さは、放射線を出しているものから近ければ強く、遠ければ弱くなります。明るいランタンであっても、離れた所では暗いのと同じです。

放射線と放射性物質の違い



放射性物質とは放射線を出す物質のことです。例えば、「この水は放射性物質を含んでいる」といいます。放射能という言葉は、放射性物質と同じ意味に使われることもありますが、自然科学分野では放射線を出す能力の意味に使います。

密封された容器に放射性物質を含んだ水が入っていた場合、容器から放射線は出てきますが、放射性物質は出てきません。もしふたのない状態で放射性物質の入った水が置かれていたら、こぼれるなどして放射性物質が広がっていく可能性があります。

原子の構造と周期律

			電荷
電子	陽子		+
中性子	中性子		0
質子			-

陽子の数（原子番号）で化学的性質が決まる

元素の周期性表

原子は原子核とその周りを回る電子から構成されています。原子核はプラスの電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子で構成されています。

原子の化学的性質は陽子の数で決まります。例えば炭素は陽子が6個の元素ですが、中性子が5個のもの、6個のもの、7個のもの、8個の炭素などがあります。これらの原子を区別して呼ぶ場合は、元素名のあとに質量数(陽子と中性子の合計数)を付けて、炭素11、炭素12、炭素13、炭素14と呼びます。炭素の中で、自然界で最も多いのは炭素12です。

炭素14は、窒素14に宇宙線の一つである中性子が当たり、陽子を追い出してできる、自然界に存在する放射性物質です。原子核には陽子が6個、中性子が8個ありますが、両者の数のバランスが悪く、エネルギー的に不安定な状態です。一つの中性子が陽子に変わると、陽子も中性子も7個ずつになって安定します。このとき、余分なエネルギーが電子として放出されます。これが β (ベータ)線の正体です。つまり、炭素14は β 線を出すことで、陽子数が7個の窒素に戻り、エネルギー的に安定になるのです。

原子核の安定・不安定

原子核

陽子と中性子の数のバランスにより、
不安定な原子核がある=放射性の原子核

	炭素11	炭素12	炭素13	炭素14	セシウム 133	セシウム 134	セシウム 137
原子核	陽子数 6	6	6	6	55	55	55
	中性子数 5	6	7	8	78	79	82
性質	放射性 ^{11}C	安定 ^{12}C	安定 ^{13}C	放射性 ^{14}C	放射性 ^{133}Cs	放射性 ^{134}Cs	放射性 ^{137}Cs
記載法	^{11}C	^{12}C	^{13}C	^{14}C	^{133}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs
	C-11	C-12	C-13	C-14	Cs-133	Cs-134	Cs-137

同じ原子番号(陽子数)の原子でも中性子数が異なる核種を「同位体」と言います。同位体には放射性崩壊を起こして放射線を放出する「放射性同位体」と放射線を出さずに原子量も変わらない「安定同位体」があります。

放射性物質が、不安定な状態を解消するため放出する放射線には、 α (アルファ)線、 β (ベータ)線、 γ (ガンマ)線があります。 α 線と β 線の放出後には、原子の種類が変化しますが、 γ 線が放出される時には原子の種類は変わりません。どの放射線を出すかは、放射性物質の種類毎に決まっています。

セシウムは陽子の数が55個の元素ですが、中性子の数は57から96個のものまで見つかっています。そのうち安定なのは中性子の数が78個のセシウム133だけで、残りは全て放射線を出す放射性物質です。原子力発電所の事故が起こると、セシウム134やセシウム137が環境中に放出されることがあります。これらのセシウムは β 線と γ 線を放出します。

放射性物質から放出される放射線

放射線

放射性物質から放出される粒子線あるいは電磁波

粒子線

陽子

中性子

電子



α線(原子核から飛び出る
ヘリウムの原子核)



β線(原子核から飛び出る電子)



中性子線(原子炉、加速器など
から作られる。Cl-252)



陽子線(加速器などから作られる)

電磁波

電子
(β線)

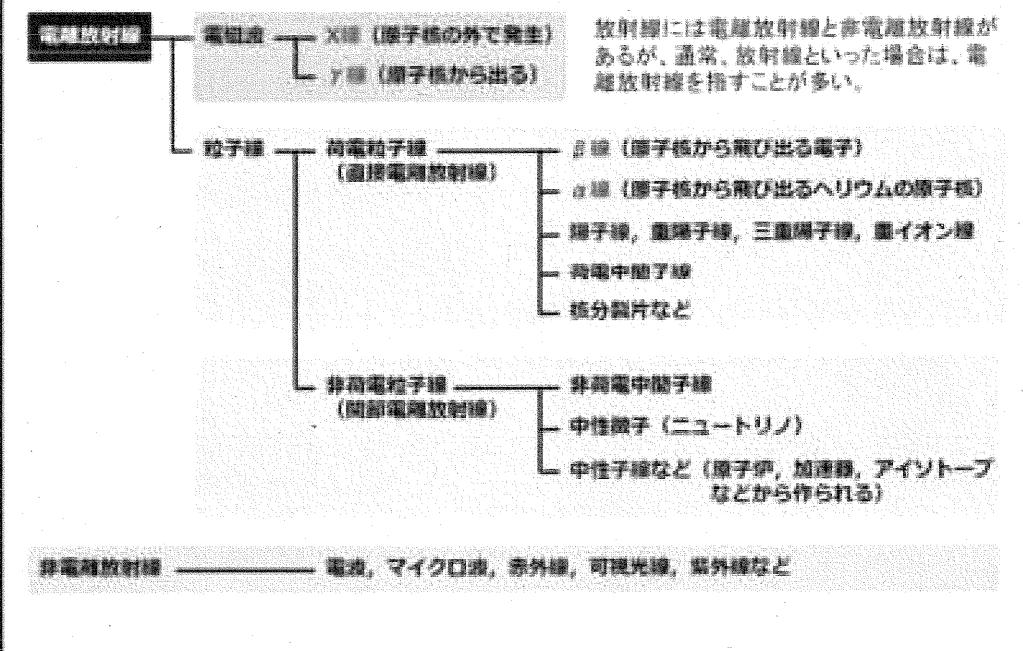
X線(原子核の外で発生)
(電子の軌道間移動からも生成)

γ線(原子核から出る)

粒子線の中間に、 α (アルファ)線、 β (ベータ)線、中性子線等が含まれます。 α 線とは、陽子2個と中性子2個からなるヘリウム原子核が高速で飛び出したもの、 β 線は原子核から飛び出した電子です。そのほかに中性子線や陽子線も粒子線の中間です。

ガンマ線とX線は電磁波の中間です。 γ 線が原子核から放出されるのに対し、X線は電子が軌道を変えるときに生じる電磁波です。

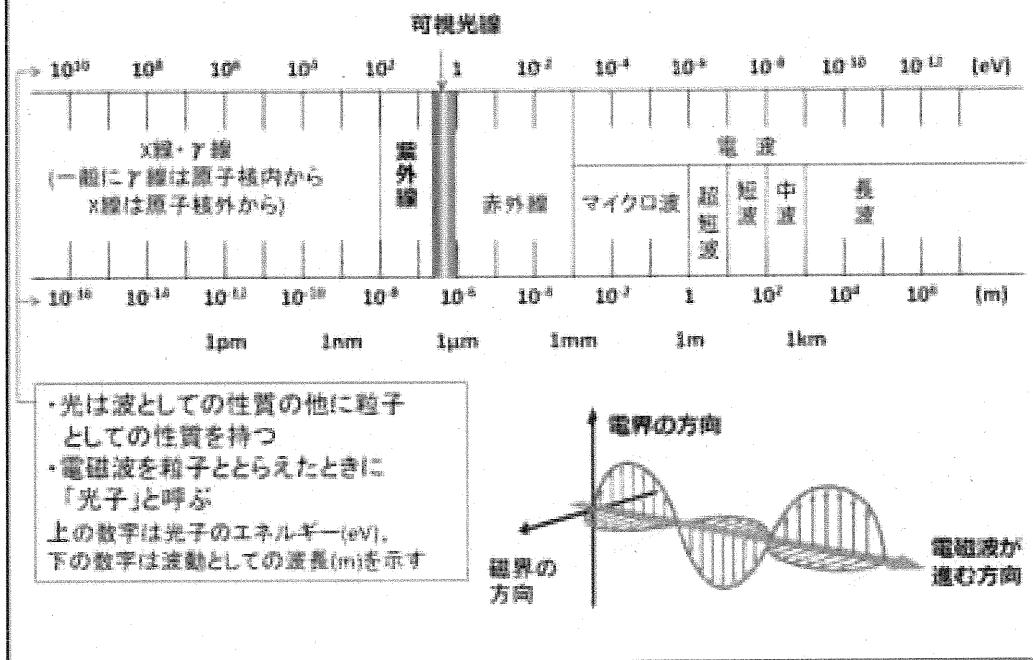
放射線の種類



放射線と一般的にいった場合は、物質を構成する原子を電離（+電荷のイオンと-電荷の電子に分離）する能力を持つ粒子線と電磁波を指します。

粒子線の中間には、 α （アルファ）線、 β （ベータ）線、中性子線等が含まれます。 γ （ガンマ）線、X線は電磁波の一種です。電磁波でも、可視光線、赤外線、電波のように電離作用を持たないものがあり、それらを非電離放射線と呼びます。紫外線は一部に電離作用がありますが、一般的には非電離放射線に分類されます。また γ 線やX線のことを「エネルギーの高い光子」と呼ぶこともあります。

電磁波の仲間

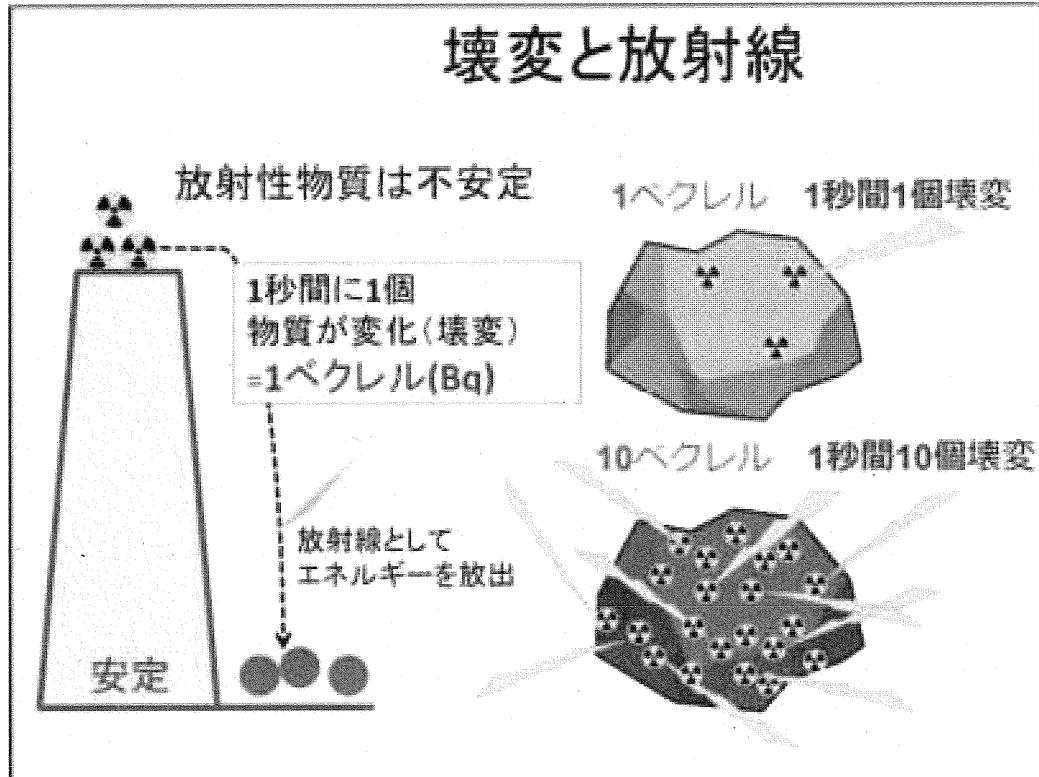


電磁波とは、電界(電場)と磁界(磁場)が相互に作用しながら空間を伝播する波のことです。波長が短くなる(周波数が高くなる)ほど、電磁波のエネルギーは高くなります。また放射線のエネルギーはエレクトロンボルト(eV)で表されます。1eVは 1.6×10^{-19} ジュール(J)です。

X線と γ (ガンマ)線は、発生機構の違いはありますが、どちらもエネルギーの高い電磁波です。

なお、よく電磁波を波型に表すことがあります、電磁波もまっすぐ進みます。決してうねうねと飛ぶものではありません。

壊変と放射線

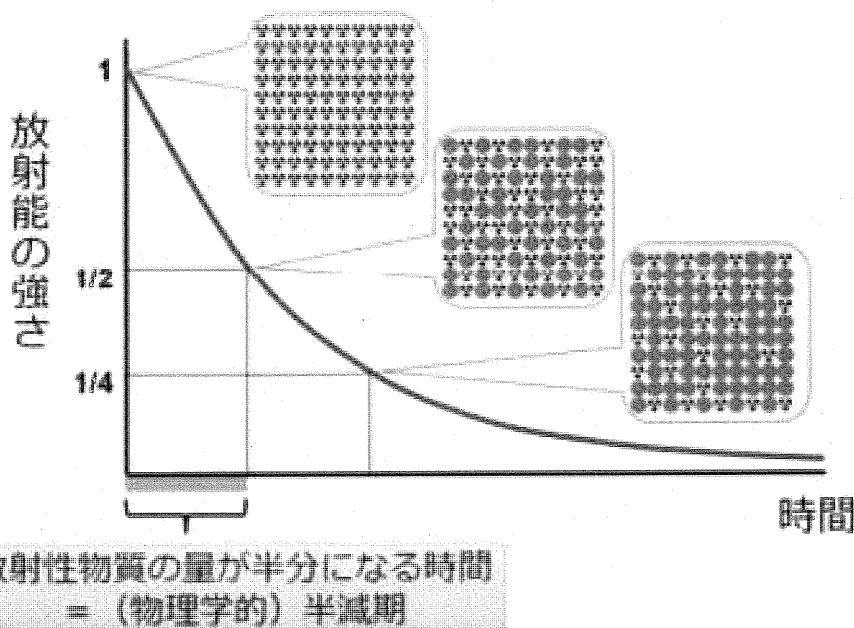


放射線を出す物質は、エネルギー的に不安定な状態にあります。そこで、余分なエネルギーを出して、安定な状態に変わろうとします。この時出されるエネルギーが放射線です。

放射能の強さを定量的に表す時に、ベクレルという単位を使います。1ベクレルは「1秒間に1個原子核が変化する」量です。原子核が変化する際に放射線を出すことが多いので、ベクレルが、放射線を出す能力の単位となっています。例えば岩石の放射能が1ベクレルであった場合、岩石に含まれている放射性物質の原子核は、1秒間に1個変化することを意味します。10ベクレルであれば、1秒間に10個変化することになります。

放射性物質の原子核が変化し、放射線を出してエネルギー的に安定になれば、もう放射線を出さなくなります。

半減期と放射能の減衰



放射能の減り方と半減期の関係をグラフで見てみます。

半減期分の時間が経過すると、放射性物質の量は元の半分になり、結果として放射能も半分になります。さらにもう半減期分の時間が経過すると、さらに放射性物質の量が半分になります。このように、半減期分の時間が経過することに、放射能は $1 \rightarrow 1/2 \rightarrow 1/4 \rightarrow 1/8 \rightarrow 1/16$ と減っていきます。横軸に時間経過、縦軸を放射能の強さにして、放射能の減り方をグラフに表すと、曲線(指数関数)的に減ることが分かります。例えば、ヨウ素131の半減期は8日、セシウム134の半減期は2年、セシウム137の半減期は30年です。

長い半減期の原子核



宇宙の誕生と共に放射性物質が存在し、地球が生まれた時に取り込まれた放射性物質



系列 (別の放射性物質に次々に変化)

- ・ウラン238
- ・トリウム232
- ・ウラン235



半減期:45億年

非系列

- ・カリウム40
- ・ルビジウム87等



半減期:13億年

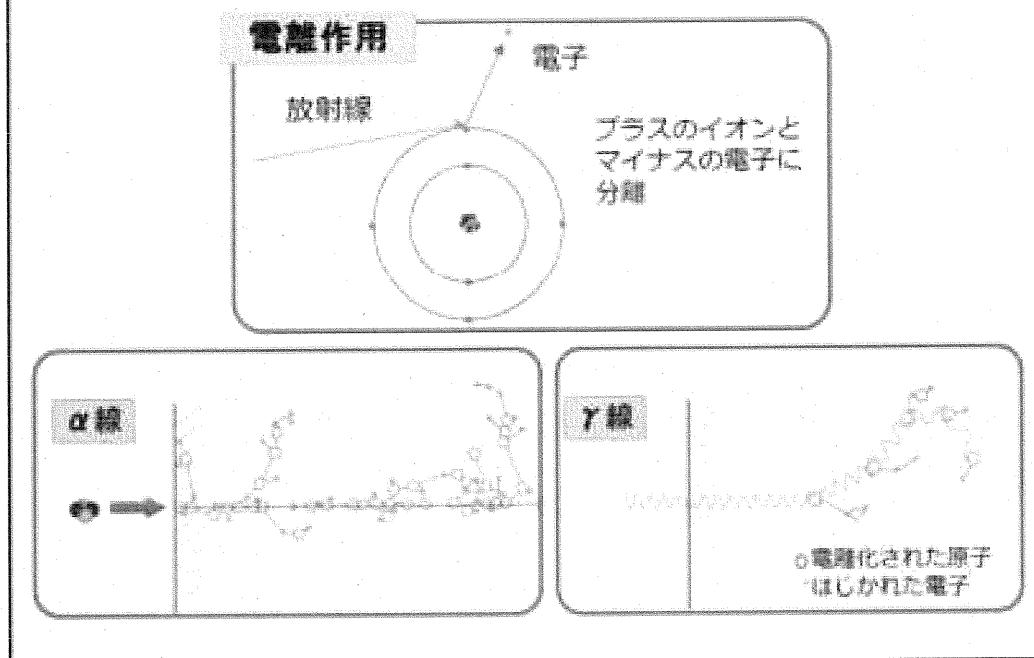
放射線を出す原子核の中には、大変長い半減期を持つものがあります。ウラン238の半減期は大変長く45億年です。地球の年齢は約46億年といわれていますので、地球が生まれた時に存在したウラン238は今ようやく半分になったところです。

放射性物質の中には、1回放射線を出して、安定になるものもありますが、最終的に安定な物質になるまでに、いろいろな放射性物質に変化するタイプのものもあります。

ウラン238は α (アルファ)線を出してトリウム234に変わりますが、これも放射性物質です。トリウム234は β (ベータ)線を出し、やはり放射性物質のプロトアクチニウムに変化します。安定な鉛206になるまでに10数回も異なる原子に変化します。

カリウム40も、半減期が13億年と長く、地球が誕生した時に地球に取り込まれた自然起源の放射性物質です。

放射線の電離作用



放射線が物質中を通過する場合、持っているエネルギーにより、原子が持つ軌道電子をはじき出して、陽電荷を帯びた状態の原子（または陽イオンの分子）と自由な電子とに分離します。これを電離作用といいます。

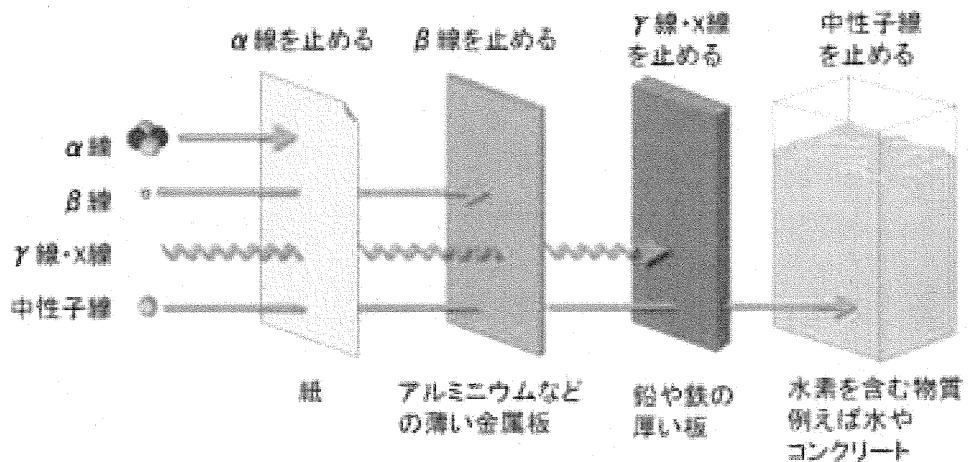
電離放射線の中には、直接物質を電離するものと、間接的に電離するものがあります。

α （アルファ）線、 β （ベータ）線等の電気を持った粒子線は、物質を直接電離します。特に α 線は、 β 線等の数百倍の密度の電離を引き起こします。

γ （ガンマ）線、X線は、物質との相互作用によって発生した二次電子によって、物質を間接的に電離します。

放射線の透過力

放射線は、いろいろな物質でさえぎることができる

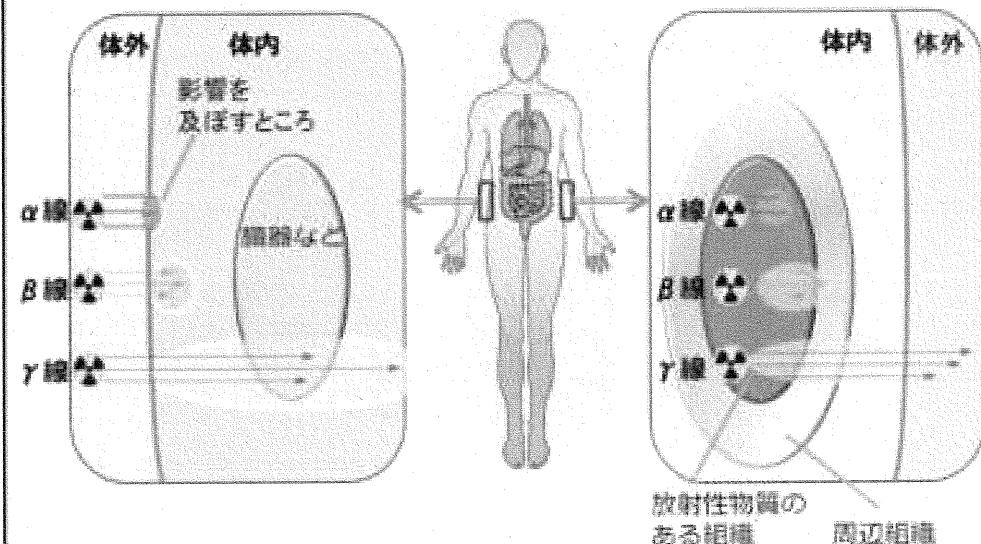


電荷を持つ粒子や電磁波は、電磁力で物質と相互作用し、エネルギーを失った結果、透過力が下がり、最終的には止まります。

α (アルファ)線は電離密度が高いので空気中で数cmしか飛ばず、紙1枚で止めることができます。 β (ベータ)線は、エネルギーによりますが、大体空気中で数m、プラスチック1cm、アルミ板2-3mm程度で止まります。 γ (ガンマ)線・X線は α 線や β 線よりも透過力が高く、これもエネルギーによりますが、空気中を数10mから数100mまで透過することもあります。

X線や γ 線と中性子の遮蔽は質的に異なります。電荷を持たない中性子は、物質を構成する粒子と直接衝突することで運動エネルギーを失い、止まります。中性子の運動エネルギーを奪うためには、陽子(水素の原子核)と衝突させることが最も効果的です。

透過力と人体での影響範囲

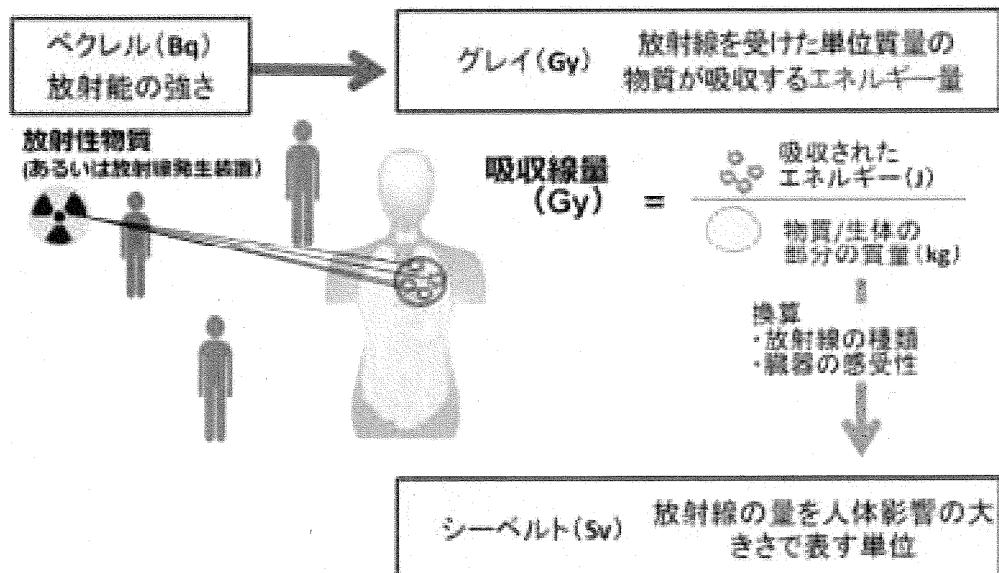


外部からの α (アルファ)線に被ばくした場合、体表の角質層で止まってしまいます(透過距離はおよそ数十 μm です)から、影響が現れることはありません。 β (ベータ)線は皮膚を通過します(透過距離はおよそ数mmです)から、線量が相当高い場合は熱傷(やけど)のような症状を引き起こしますが、体の奥深くまで届くことはありません。 γ (ガンマ)線は体の奥の重要な臓器まで到達します。こうしたことから、外部被ばくで問題になるのは、主に γ 線であり、また γ 線を放出する放射性物質です。

一方、内部被ばくでは、 α 線、 β 線、 γ 線を出す全ての放射性物質が体内の細胞に影響を及ぼす可能性があります。 α 線の影響はその飛程距離から考えても、放射性物質が存在する組織内に限定されますが、生物への影響力が強く、内部被ばくに関しては特に気をつける必要があります。 γ 線の場合は、飛程距離が長いため、人体全体に影響が及ぶ可能性があります。

なお、内部被ばくの場合、放射性物質の放射線の影響に加えて、化学的な金属毒性などが問題になる場合があります。

単位間の関係



放射線に関する単位のうち、ベクレルとグレイは物理的な量で、測定することができます。しかし、シーベルトは放射線防護の目的のための特殊な単位で、本来、測定することはできません。また放射線を受けた対象が人間である場合にしか用いません。

シーベルトは、ベクレルやグレイといった物理的な量に係数をかけて計算します。外部被ばくによる実効線量も、内部被ばくの実効線量も、各臓器・組織が吸収したグレイから2段階の計算をします。

まず一つ目は放射線の種類を考慮するための計算です。人体影響が大きい α (アルファ)線の場合は大きな係数をかけます。こうしてシーベルトに換算された値を等価線量といいます。

二つ目は臓器の感受性の違いを考慮するための計算です。放射線への感受性の高い臓器に放射線が当たった場合は大きな係数をかけ、重み付けをした上で、全身分の線量として実効線量を計算します。

等価線量と実効線量

$$\text{実効線量(シーベルト)} = \Sigma (\text{組織加重係数} \times \text{等価線量})$$

全身に均等にア線が
1ミリシーベルト当たった場合

$$\begin{aligned}\text{実効線量} &= \\ &0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 骨髄} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 結腸} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 肺} \\ &+ 0.12 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 胃} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 皮膚} \\ &+ 1.00 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \\ &= 1\text{ミリシーベルト}\end{aligned}$$

頭部だけに均等にア線が
1ミリシーベルト当たった場合

$$\begin{aligned}\text{実効線量} &= \\ &0.04 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 甲状腺} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 脳} \\ &+ 0.01 \times 1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 唾液腺} \\ &+ 0.12 \times 0.1 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 骨髄 (10\%)} \\ &+ 0.01 \times 0.15 \text{ (ミリシーベルト)} \text{ 皮膚 (15\%)} \\ &= 0.07 \text{ミリシーベルト}\end{aligned}$$

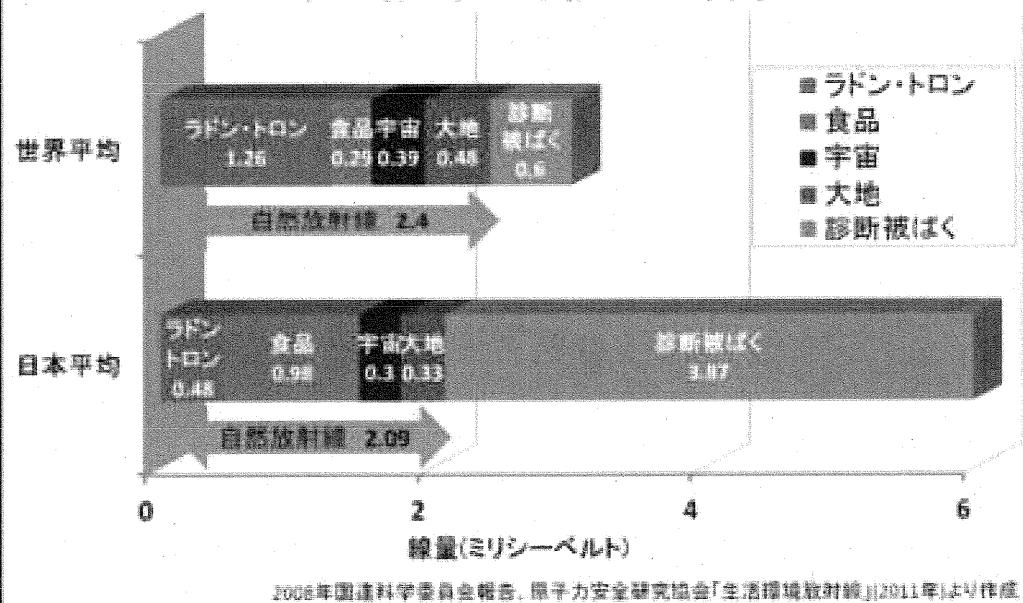
実際に、全身に均等に γ (ガンマ)線が1ミリグレイ当たった場合の実効線量を計算してみます。

γ 線の放射線加重係数は1なので、全身均等に1ミリグレイを浴びたということは、均等に1ミリシーベルトを受けていることを意味します。つまり、等価線量はどの組織・臓器でも1ミリシーベルトです。ここから実効線量を求めるには、組織ごとの等価線量に組織加重係数をかけて足し合わせます。骨髄、結腸、肺、胃、乳房は、放射線により致死がんを誘発するリスクが高い組織ですので、0.12という高い係数が割り振られていますし、皮膚には全身分の皮膚に0.01という係数がわり当てられています。このように全臓器・組織の等価線量に組織加重係数を掛けて足し合わせると、実効線量は1ミリシーベルトになります。

一方、たとえば放射線検査で頭だけ1ミリグレイを受けたような場合では、甲状腺、脳、唾液腺といった放射線を受けた部分や骨髄や皮膚のように部分的に受けている分の等価線量と組織加重係数から、実効線量を求めます。

年間当たりの被ばく線量の比較

日常生活における被ばく(年間)



2011年12月に、原子力安全研究協会は20年ぶりに、日本人の国民線量を発表しました。調査の結果、1年間に受ける日本人の平均被ばく線量は5.97ミリシーベルトであり、そのうち2.09ミリシーベルトが自然放射線からの被ばくであることがわかりました。

自然放射線の内訳を世界平均と比較すると、ラドン・トロンからの被ばくが少なく、食品からの被ばくが多いという特徴があります。今回のとりまとめにより、食品中の鉛210やポロニウム210からの被ばくが0.80ミリシーベルトとかなり多いことが明らかにされました。

放射線検査による被ばく量は個人差が大きいのですが、平均すると日本人の被ばく量は極めて多いことが知られています。特にCT検査が占める割合が大きくなっています。

なお、上記の国民線量評価では、東日本大震災による福島第一原子力発電所事故の影響は考慮されていません。今後は、これまでの平常時の被ばく量に、事故による被ばく量が加算されることになります。

自然からの被ばく線量の内訳

線源	内訳	実効線量 (ミリシーベルト/年)
外部被ばく	宇宙線	0.3
	大地放射線	0.33
内部被ばく (吸入摂取)	ラドン(屋内、屋外)	0.37
	トロン(屋内、屋外)	0.09
内部被ばく (経口摂取)	喫煙(鉛210、ポロニウム210など)	0.01
	その他(ウランなど) 主に鉛210、ポロニウム210	0.006 0.80
	トリチウム	0.0000082
	炭素14	0.0025
	カリウム40	0.18
	合 計	2.09

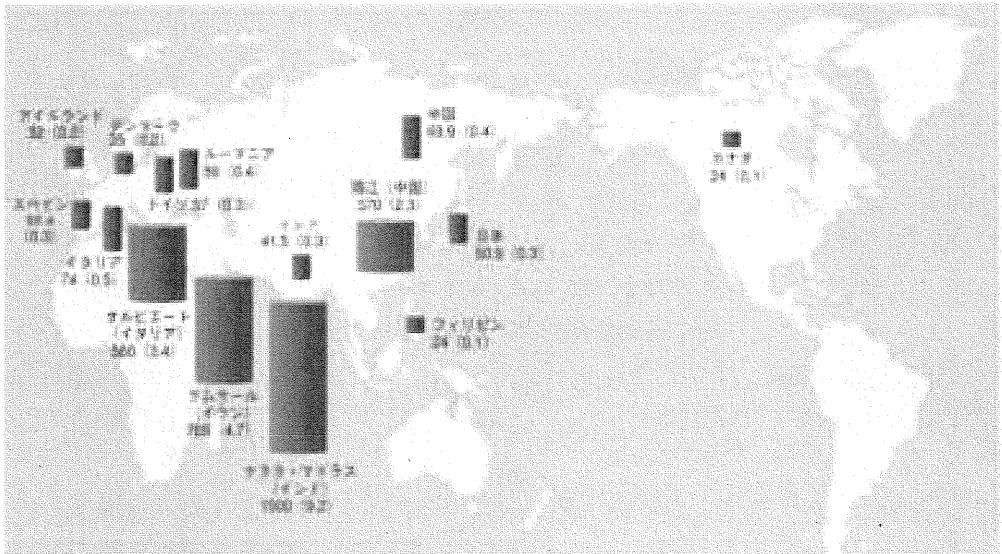
原子力安全研究協会「生活環境放射線」(2011)

日本人が欧米諸国に比べて食品から線量が高い理由は、魚介類を多く摂取する日本人の食生活が関係しています。魚介類にはポロニウム210が多く含まれているため、その分、実効線量が大きくなっています。一方、ラドン・トロンによる被ばくが少ないのは、日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン・トロンが速やかに屋外に拡散するためと考えられています。

大地の放射線(世界)

ナノグレイ/時 (ミリシーベルト/年)

要筋線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



UNSCAR2008年報告書、原子力安全研究協会「生活環境放射線」(2011年)より作成

世界には、中国の陽江(ヤンジャン)、インドのケララ、イランのラムサール、など、日本より2倍から10倍自然放射線が高い地域があります。こうした地域で自然放射線レベルが高い原因は、ラジウムやトリウム、ウランなどが土壤中に多く含まれることによります。

これまで高自然放射線地域として有名であったブラジルのガラバリは都市化によるアスファルト舗装の結果、空間放射線量率が減少したと報告されています。

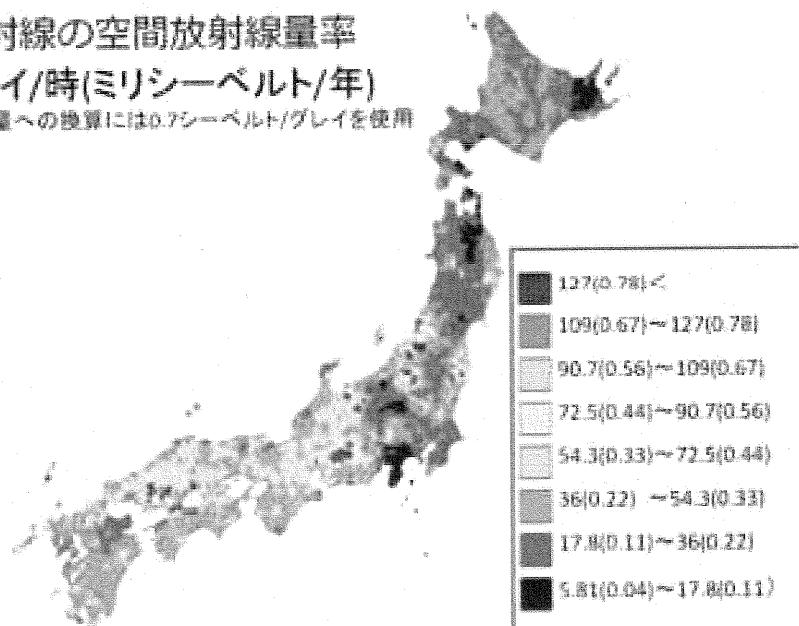
中国やインドにおける疫学調査などから、これまでのところ、がんの死亡率や発生率の顕著な増加は報告されていません。ラムサールでは、がんリスクに関する解析が現在進められています。今後はこうした地域での生涯線量推定やそれに基づくがん過剰線量推定値の推定、非がん死亡率などについても検討される予定です。さらに、各地域のデータの統合による、がんリスクの推定なども計画されています。

大地の放射線(日本)

自然放射線の空間放射線量率

ナノグレイ/時(ミリシーベルト/年)

・実効線量への換算には0.7シーベルト/グレイを使用



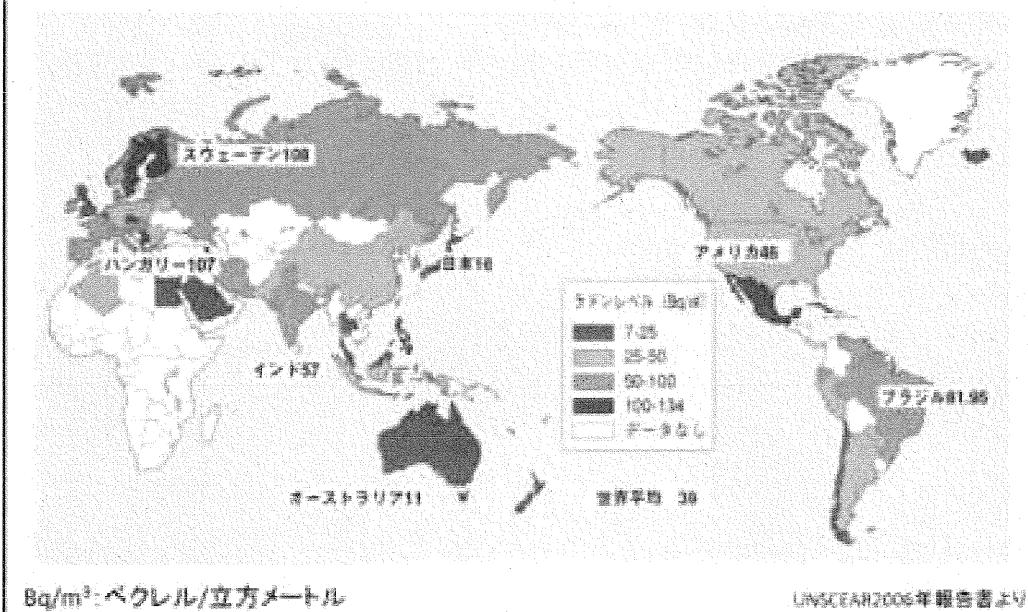
日本地質学会HPより

日本国内でも、大地からの放射線レベルが高いところと低いところがあります。県単位で比較すると、最も高い岐阜と最も低い神奈川では年間0.4ミリシーベルトの差があるといわれています。

関東ローム層が大地からの放射線を遮へいする関東平野では、概して大地からの放射線量は少なくなっています。一方、花崗岩が直接地表に露出しているところが多い西日本では、東日本より1.5倍ほど大地からの放射線の量が高い傾向があります。

屋内ラドン

屋内ラドンからの被ばくの地域差(算術平均Bq/m³)



屋内ラドンからの内部被ばく量にも、大きな地域差が存在しています。

屋内ラドン濃度の世界平均は、1立方メートル当たり39 ベクレルですが、日本では16 ベクレルです。ヨーロッパのような機密性のよい石作りの家で生活する地域では、屋内ラドン濃度が高くなり、結果、被ばく線量が高くなる傾向にあります。

食品からの放射線

体内の放射性物質



体重60kgの場合

カリウム40	※1	4,000Bq
炭素14	※2	2,500Bq
ルビジウム87	※1	500Bq
鉛・ボロニウム	※3	20Bq

※1 地球起源の核種

※2 宇宙線起源のN-14由来の核種

※3 地球起源ウラン系列の核種

食品中の放射性物質(カリウム40)の濃度



米 30 牛乳 50 牛肉 100 魚 100 ドライミルク 200 ほうれん草 200
ポテトチップス 400 お茶 600 干ししいたけ 700 干し昆布 2,000(Bq/kg)

Bq ベクレル Bq/kg ベクレル/キログラム
(公財)原子力安全研究協会「生活環境放射能子一例に関する研究」(1991年)より作成

カリウムは生物に必要な元素なので、ほとんどの食品に含まれています。またカリウムの0.01%は放射性カリウムであるため、やはりほとんどの食品には放射性カリウムが含まれています。放射性カリウムはβ(ベータ)線とγ(ガンマ)線を放出しますので、食品を摂取することで内部被ばくをすることになります。体の中のカリウム濃度は一定になるように保たれているので、食品のカリウムからの被ばく量は体格によって決まっており、食生活による影響は受けません。

乾物は、製品の状態で分析された値であり、乾燥による濃度上昇の効果も含まれます。例えば、乾燥により重量が1/10になれば、濃度は10倍になります。

診断で受ける放射線量

	診断部位	実効線量 (mSv)
一般X線	頭 部 (直接撮影)	0.1 ^{*1}
	胸 部 (直接撮影)	0.4 ^{*1}
	胃 部 (バリウム)	3.3 ^{*1}
X線CT	頭 部	2.4 ^{*2}
	胸 部	9.1 ^{*2}
	上腹部	12.9 ^{*2}
集団検診	下腹部	10.5 ^{*2}
	胃 部 (透視)	0.6 ^{*1}
	胃 部 (撮影)	0.07 ^{*3}
	胸 部 (撮影)	0.06 ^{*4}

*1: 丸山隆司、猪井一男、西沢かな枝、野田重、櫻元芳一: X線診断による施設・組織線量、実効線量

および集団実効線量 RADIOSOURCES, Vol. 45, No. 12, 23-34, 1996

*2: 西沢かな枝、松本道紀、猪井一男、丸山隆司: CT検査件数及びCT機器による集団実効線量の推定

日本医学放射線学会雑誌 64, 67-74, 2004

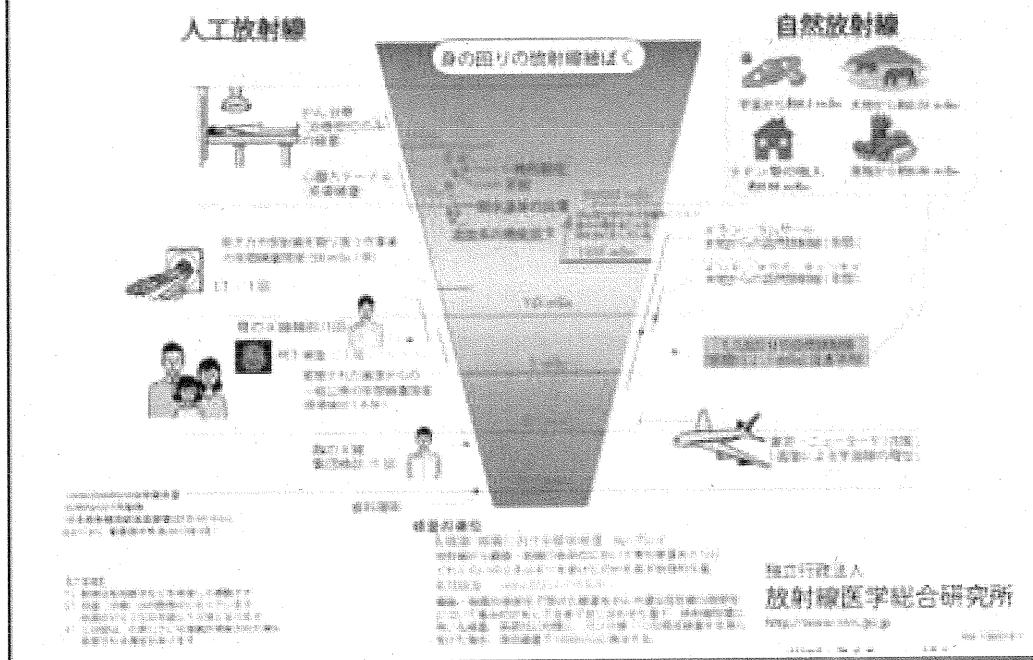
*3: 国民線量推定のための基礎調査(JCNS)平成12年3月 放射線影響協会

*4: 丸山隆司: Radiat. Prot. Dosimetry, 43, 213-216, 1992

改訂: 2013年1月

検査1回分で受ける放射線量(代表的な値)を示します。

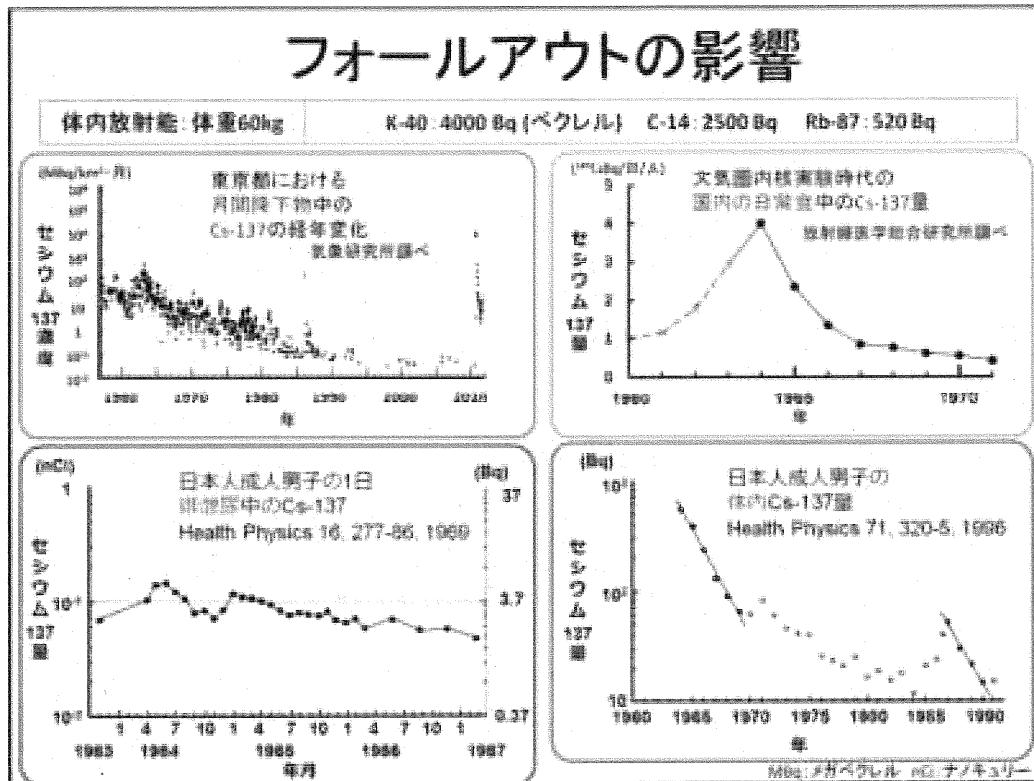
被ばく線量の比較(早見図)



日常生活で受ける放射線の量を比較すると、放射線治療のような特殊のケースを除き、一回の行為当たりの線量や年間当たりの線量が、ミリシーベルト単位のものがほとんどです。

一方、人への健康影響が確認されているのは、100 ミリシーベルト以上の被ばくであると考えられています。

フォールアウトの影響

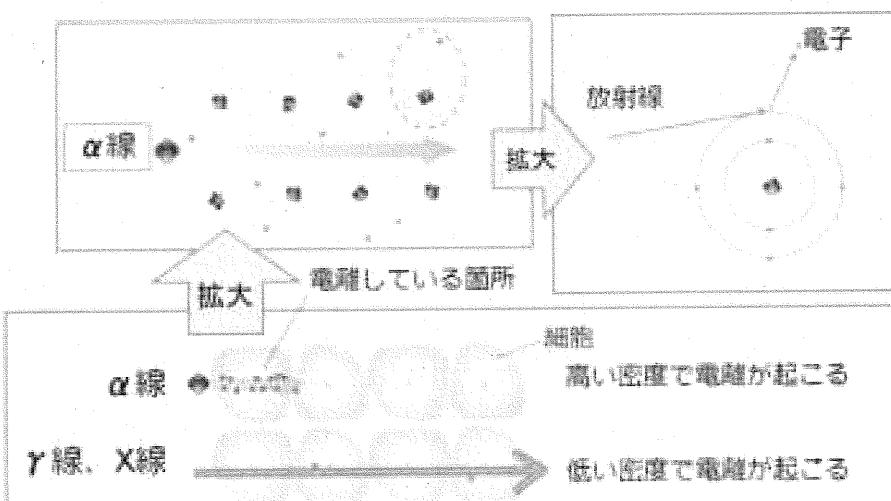


大気圏核実験が行われていた時代には大量の人工放射性核種が環境中に放出された。これらの人工放射性核種は気流に運ばれて全世界を取り巻き、大気圏から地球表面に向けて徐々に降下してきました。このような放射性降下物をグローバルフォールアウトと呼びます。フォールアウト量は大気圏核実験が禁止される直前の1963年が最も高く、それ以降減少傾向を示しました。

食品へのセシウム移行や消費などの時間的ずれがあるため、日常食中の放射性セシウム量のピークは1964年で、その後、1967年までに急速に低下し、それ以降は比較的緩慢に減少しました。

日常食のセシウム量と運動して、尿中や体内のセシウム137の量も1964年がピークでした。また Chernobyl 原子力事故では、日本人の体内からもセシウムが検出されました。

放射線による電離作用



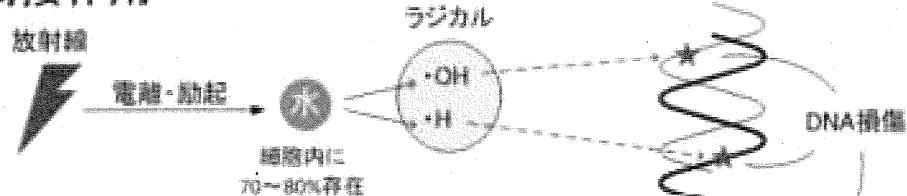
放射線はその通り道の近くにエネルギーを与えていきます。与えられたエネルギーにより、通り道の物質の電子が弾き飛ばされます。これが電離作用です。

放射線の種類によってエネルギーを与える密度が異なりますが、β(ベータ)線やγ(ガンマ)線に比べ、α(アルファ)線は密度が高くなります。このような電離作用の密度の違いにより、同じ吸収線量であっても放射線の生物学的効果が異なります。

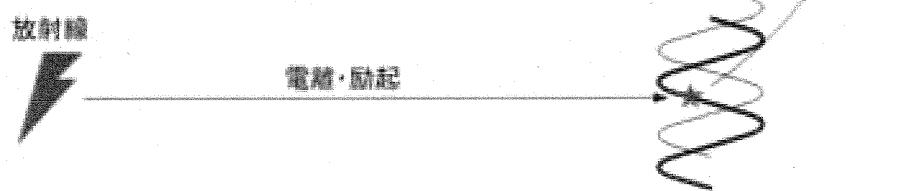
放射線が直接生体分子に損傷を与える過程を直接作用と言います。細胞は約2/3が水で構成されているので、放射線によって水のイオン化も起こります。このイオン化によって生じた反応性の高いラジカルにより、生体分子に損傷を与える過程を間接作用といいます。

DNA損傷の生成

間接作用



直接作用

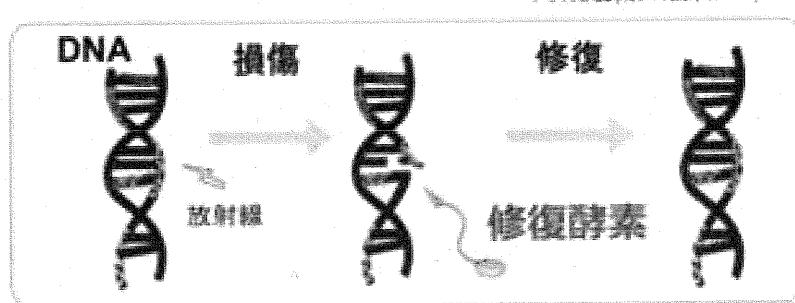
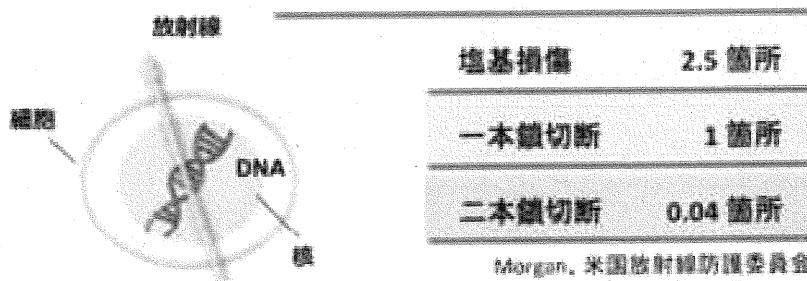


放射線が当たって細胞に影響が出るとき、最も影響を受けやすいのはDNA(遺伝物質)です。放射線がDNAに直接損傷をもたらすことを直接作用といいます。一方、放射線は細胞内の水分子なども電離または励起して、一連の化学反応を経てラジカルを発生させます。ラジカルは化学的に反応性が高く、すぐに消えてしまいますが、小さために細胞の中にある程度動き回ることができます。動いた先にDNAがあれば、これと反応してDNAの切断(損傷)などを引き起こします。このように放射線が水分子などを介してDNAに損傷をもたらすことを間接作用といいます。細胞の70~80%が水ですので、間接作用のほうが多くなります。細胞内ではエックス線やガンマ線で生成されるDNA損傷のうち約70%が間接作用によると考えられていますが、アルファ線のように密に電離や励起を引き起こす放射線では、直接作用の割合が高くなります。

DNAでは電離等により一本鎖切断、二本鎖切断、塩基損傷などの傷ができますが、細胞にはこれらの傷を直す仕組みが備わっています。

DNAの損傷と修復

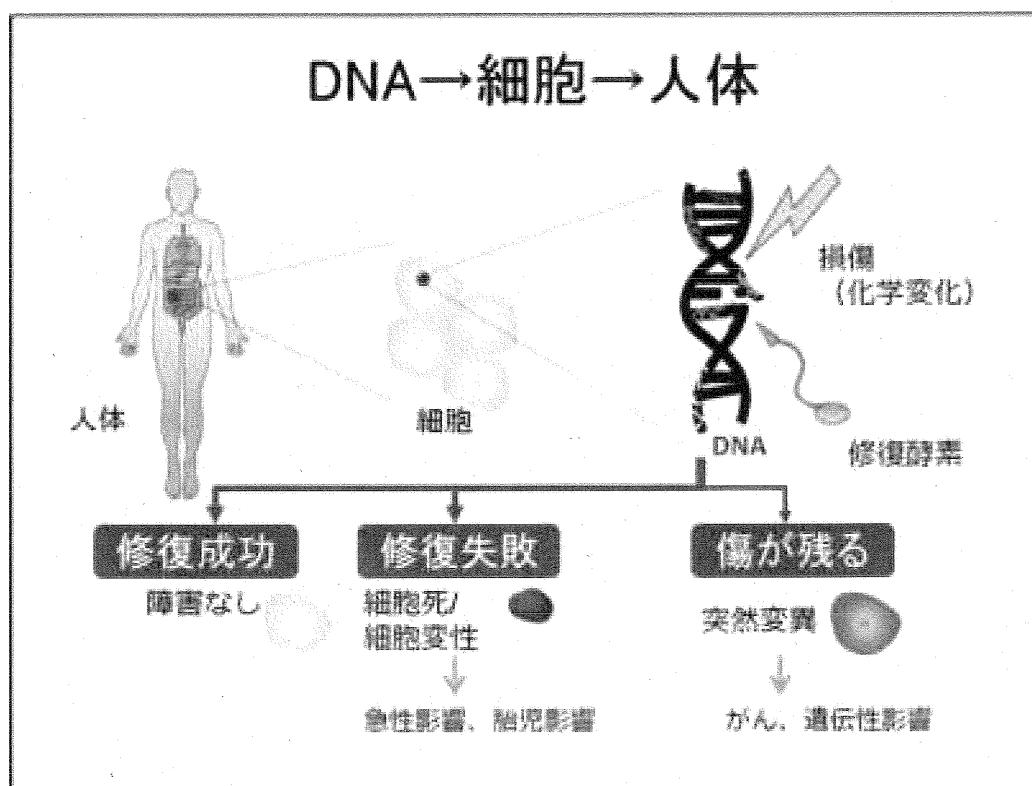
X線 1ミリグレイ当たりの損傷(1細胞当たり)



細胞は生命の設計図ともいえるDNAを持っています。DNAは糖・リン酸そして4種類の塩基を持った2本の鎖からできています。塩基の並び方に遺伝情報が組みこまれているので、並び方を保つために塩基は互いの鎖のいがたになるように組み合わされています。このDNAに放射線が当たると、当たった量に応じてDNAの一部が壊れることがあります。

X線1ミリグレイ当たり、1細胞で平均1か所の一本鎖切断が起こると言われています。これは1ミリシーベルトに相当します。また二本鎖切断の頻度はこれより少なく0.04ですから、100細胞が均一に1ミリグレイ浴びたら、4細胞に二本鎖切断が起こることになります。

DNAを傷つける原因は、放射線以外にも、食物の中の発がん物質、タバコ、環境中の化学物質、活性酸素などがあり、一日1細胞当たり、1万から100万か所の頻度でDNAは損傷を受けているといわれています。細胞には、DNA損傷を修復する機能があり、DNAが損傷を受けると、修復酵素が駆けつけて、こうした傷を修復します。



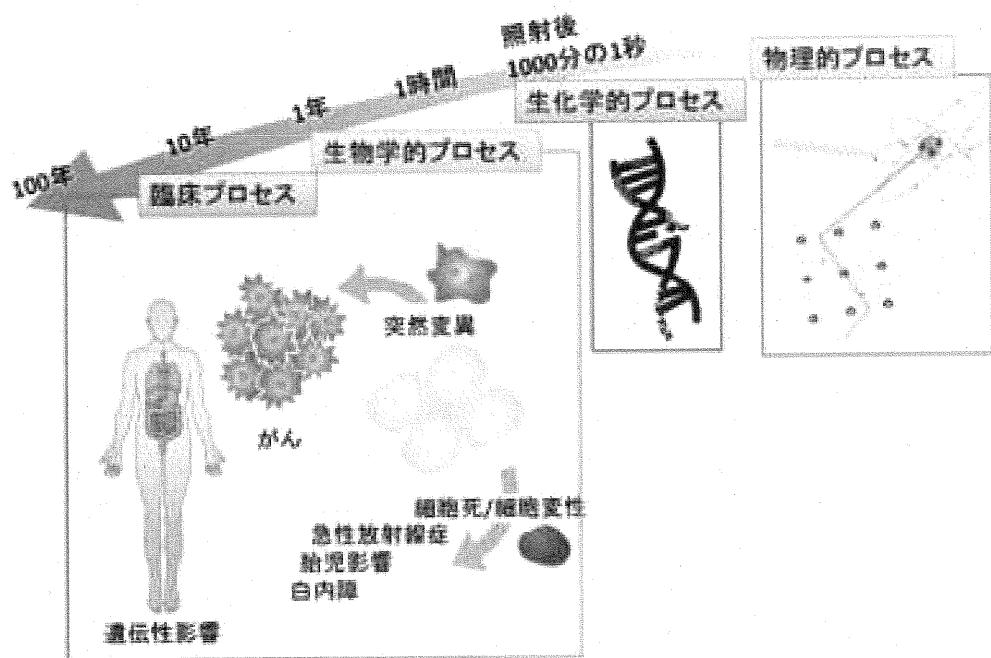
放射線の当たる箇所を細かく見てみると、放射線は細胞に当たり、細胞の中にある遺伝子の本体であるDNAに傷を付けることがあります。この付いた傷は、体の中に備わっているシステムで修復されます。

少しの傷なら修復が成功し、元に戻ります。傷が多いければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。少しの細胞が死んでも、他の細胞が代わりをすれば、その臓器や組織の機能障害は生じません。

また修復が完全ではないけれど、細胞が生き長らえた場合、この細胞が遺伝子の突然変異を起こし、ここからがん細胞が生じる可能性があります。

細胞レベルで起こる細胞死や突然変異、これが個体レベルで見ると、急性影響や胎児影響、あるいはがんや遺伝性影響の原因になります。しかし細胞死が起これば必ず急性影響がおこるというものではありませんし、突然変異が起これば必ずがんが起こるものでもありません。

被ばく後の時間経過と影響

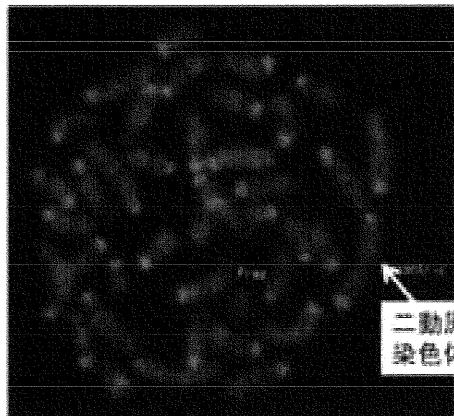


放射線を浴びた後、1000 分の1秒という短い時間にDNA 切断や塩基損傷は起こります。1秒後には修復が始まり、修復に失敗した場合には、1時間～1日の間に細胞死や突然変異が起こります。

しかし、こうした細胞レベルでの反応が生じてから、個体レベルで臨床症状が出るまでにはしばらく時間がかかります。この時間のことを潜伏期といいます。

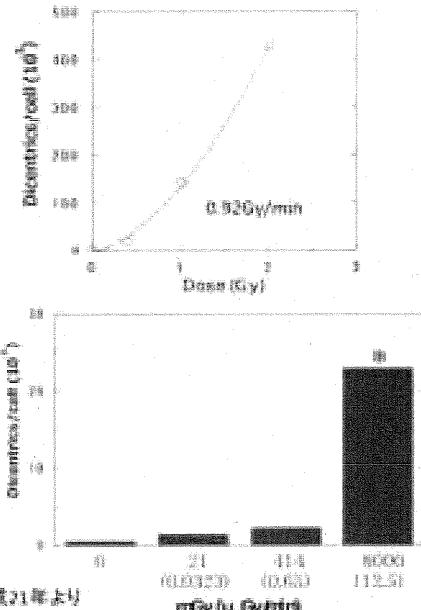
被ばく後、数週間以内に症状が生じるものを急性(早期)影響、比較的長くかかる影響を晩発影響と呼びます。特にがんが発症するには数年から数十年の時間を要します。

染色体異常生成の線量率効果



低線量率放射線の長期照射マウスに認められた
二動原体染色体(Dicentric)と断片(Fragment)

吉田・早田「原子力基盤新クロスオーバー研究報告書」平成21年より



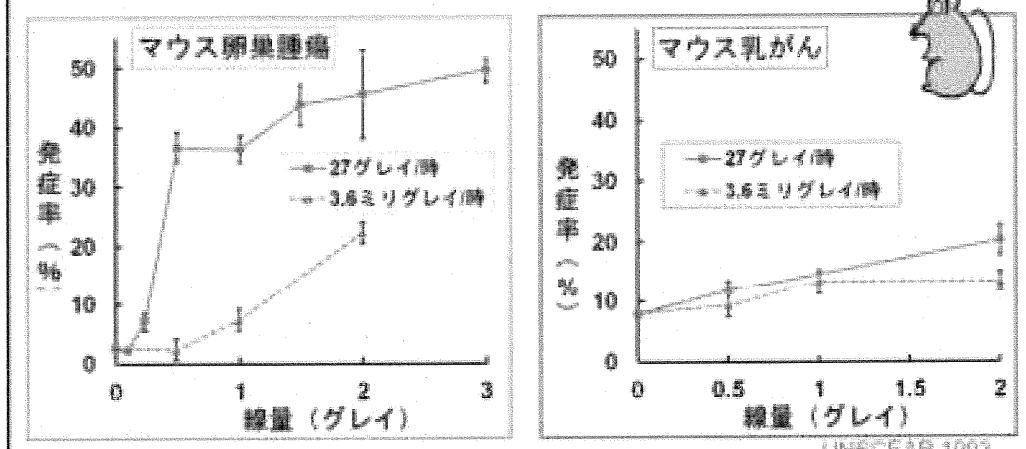
染色体には動原体(分裂の時に紡錘糸が着いて染色体を引っ張る場所)が1箇所ずつ有ります。放射線を当てると、この動原体を二つ持つ染色体(二動原体染色体、dicentric)の数が線量に応じて増えることが知られています。けれども長期間に渡って低線量率の放射線を当てた場合には、二動原体染色体の有意な増加は観察されません。

脾臓細胞の例では、マウスの全身に線量率の高い放射線を照射した場合、2グレイで1000細胞あたり約400個(右上の図)の細胞に二動原体染色体が観察されました。1年3ヶ月に渡って約20ミリグレイおよび約400ミリグレイを照射した場合には、二動原体染色体の有意な増加は観察されません(右下の図)。ただし、同じ期間で照射して8000ミリグレイになると、二動原体染色体の数は増加します(有意差有り)。

二動原体染色体があると、細胞は正常に分裂できず死んでしまいます。

注)およそ100～200ミリシーベルトを超える被ばくをした可能性がある場合は、二動原体染色体の数を調べることにより被ばく線量を推定することができます。

低線量率被ばくの発がんへの影響



UNSCEAR 1993

$$\frac{\text{低線量・低線量率のリスク}}{\text{高線量・高線量率のリスク}} = \frac{\text{線量・線量率効果係数}}{\text{線量・線量率効果係数}}$$

機関	線量・線量率効果係数
国連科学委員会 1993	3より小さい(1~10)
米国科学アカデミー 2005	1.5
国際放射線防護委員会 1990, 2007	2

原爆被爆者のデータは、大きな線量を一度に受けた被ばくによる影響を調べたものです。しかし職業被ばくや、事故による環境汚染からの被ばくは、慢性的に低線量率での被ばくです。

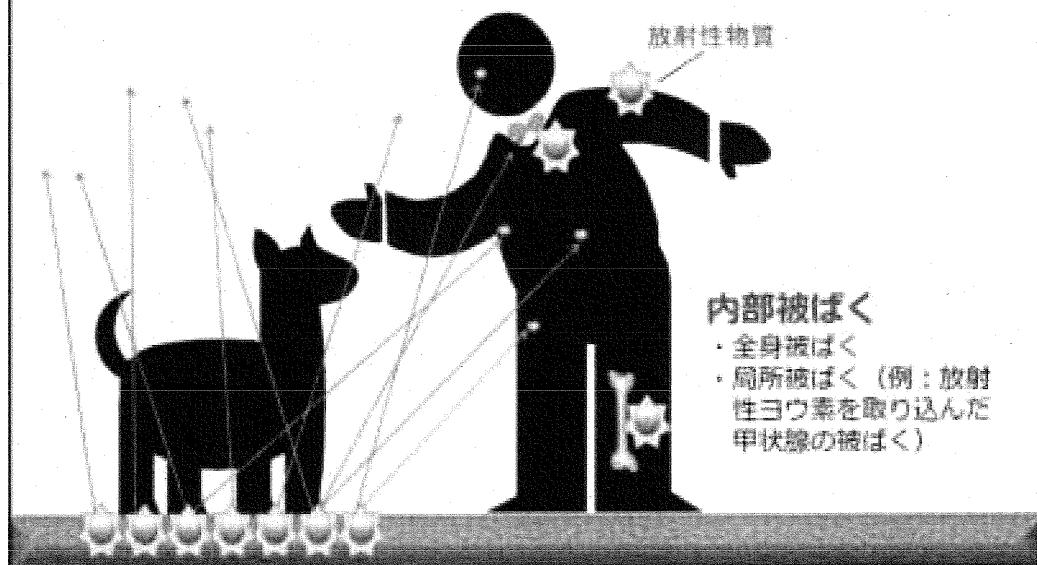
そこで、マウスを用いて、一度に大きな線量を受けた場合と、じわじわと少しづつ受けた場合とでは、放射線による発がん率にどのくらい違いがあるのかを調べる実験が行われました。その結果、がんの種類によって、結果に違いはあるものの、概してじわじわと被ばくする方が影響の出方が小さいことが分かってきました。

線量効果係数と線量率効果係数は、それぞれ高線量のリスクから低線量のリスクを外挿する際、あるいは急性被ばくのリスクから慢性被ばくや反復被ばくのリスクを推定する際に用いられる補正值です。この補正值をいくつにして放射線防護を考えればいいのかについては、研究者によっていろんな意見がありますが、国際放射線防護委員会の勧告では、少しづつの被ばくの場合、一度に被ばくした場合に比べ、同じ線量を受けた場合でも、影響の出方は半分になるとしています(補正值として2を使う)。

さまざまな被ばく形態

外部被ばく

- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：レントゲン写真や部分的な体表汚染による被ばく）



内部被ばく

- ・全身被ばく
- ・局所被ばく（例：放射性ヨウ素を取り込んだ甲状腺の被ばく）

人体が放射線を受けたことにより、身体に影響を及ぼすかどうかは、どこに、どれだけ受けたかによって異なります。

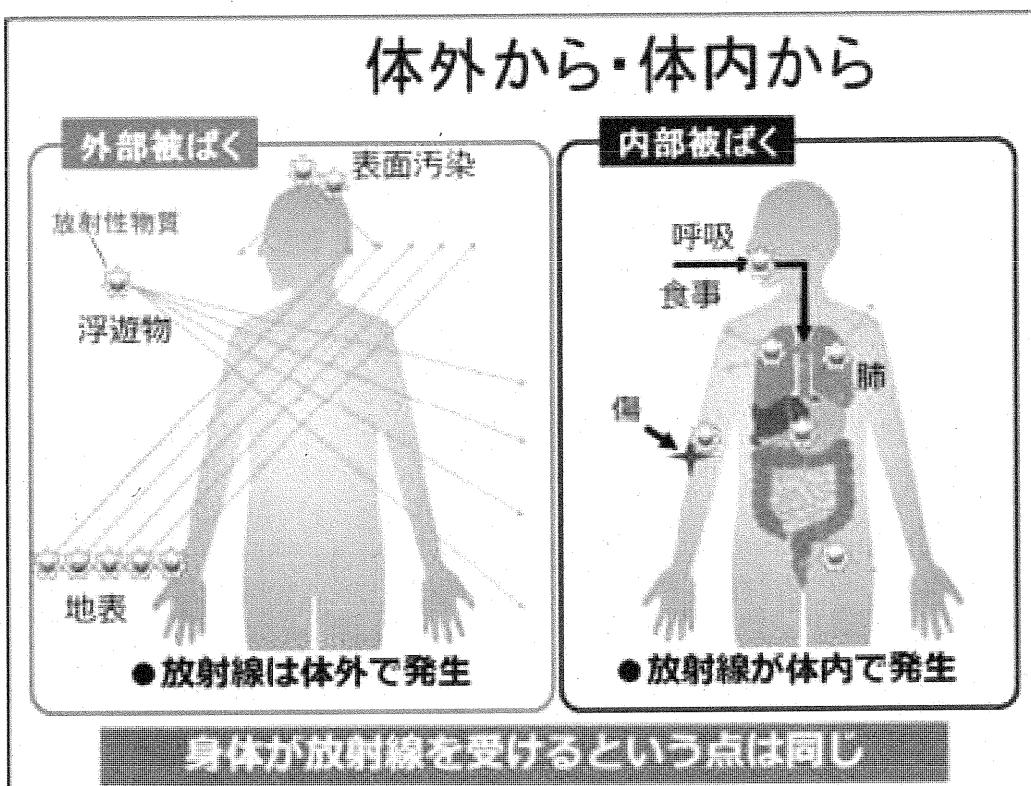
全身に放射線を受けることを全身被ばく、部分的に受ける場合を局所被ばくと呼びます。

全身被ばくでは全ての臓器・組織で放射線の影響が現れる可能性がありますが、局所被ばくでは、原則として被ばくした臓器・組織のみに影響が現れます。被ばくした部位に免疫系や内分泌系の器官が含まれる場合には、離れた臓器・組織に間接的に影響が現れることがあり得ますが、基本的には被ばくした臓器・組織の影響が問題となります。

また、臓器によって放射線の感受性が異なります。そこで局所被ばくの場合、被ばくした箇所に放射線感受性の高い臓器が含まれているかどうかで、影響の生じ方が大きく異なります。

内部被ばくの場合、放射性物質の蓄積しやすい臓器や組織では被ばく線量が高くなります。この蓄積しやすい臓器・組織の放射線感受性が高い場合、放射線による影響が出る可能性が高くなります。チェルノブイリ事故の後、ベラルーシやロシアでは、子どもの甲状腺がんの発症が増加しましたが、この原因は、放射性ヨウ素が甲状腺に蓄積しやすいこと、子どもの甲状腺が大人より放射線感受性が高いことの両方によります。

体外から・体内から



地表にある放射性物質や空気中に浮遊する放射性物質、あるいは衣服や体表面についた放射性物質などから放射線を受けるのが外部被ばくです。

一方、内部被ばくは、①呼吸により空気中の放射性物質を体内に吸い込んだ場合、②食事により飲食物中の放射性物質を体内に取り込んだ場合、③傷口から放射性物質を体内に取り込んだ場合に起ります。いったん放射性物質が体内に入ると、排泄物と一緒に体外に排泄されるか、時間の経過とともに放射能が弱まるまで、人体は放射線を受けることになります。

外部被ばくと内部被ばくの違いは、放射線を発するものが体外にあるか、体内にあるかの違いであり、体が放射線を受けるという点では同じです。

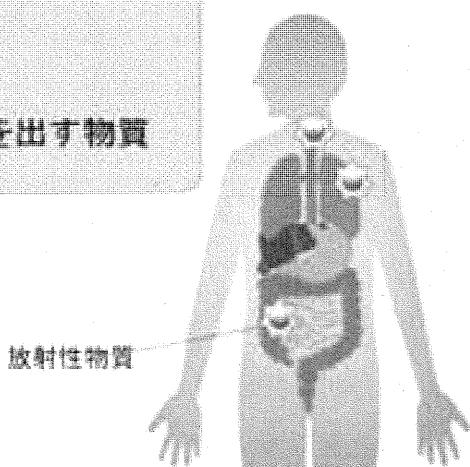
内部被ばくと放射性物質

内部被ばくで特に問題となる放射性物質

(1)取り込まれやすく、排泄されにくい

(2)特定の組織に蓄積しやすい

(3)α線を出す物質 > β線やγ線を出す物質



内部被ばくで特に問題になるのは、半減期が長く、 α (アルファ)線を出す放射性物質です。体内での挙動でいうと、取りこまれやすく排泄されにくい物質や、特定の組織に蓄積しやすい物質も、内部被ばくの線量が高くなります。

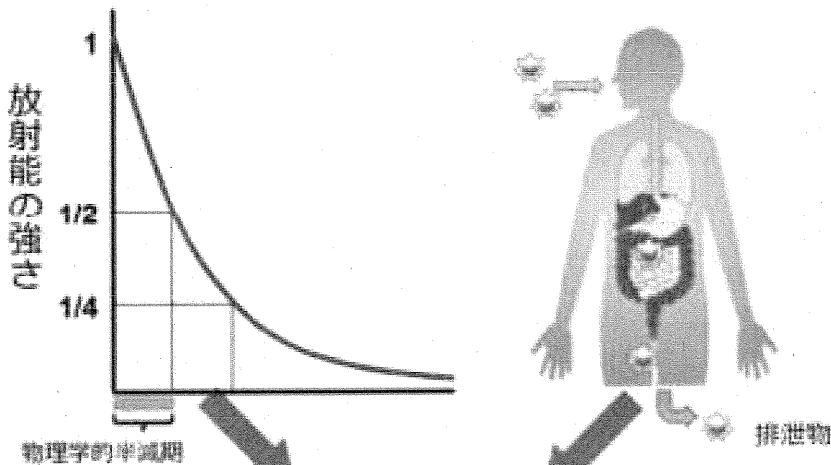
例えばプルトニウムは、消化管では吸収されにくいので食べ物を介しての体内取り込みはさほどではありませんが、呼吸とともに肺から取り込まれます。その後、骨や肝臓に沈着します。プルトニウムはこうした器官内で α 線を出すため、肺がん・白血病・骨腫瘍・肝がんを引き起こす可能性があります。

一方、放射性セシウムは、カリウムと似た性質のため、体内に取り込まれやすいのですが、同時に排泄されやすい性質も持っています。特定の組織には蓄積せず、脂肪細胞を除く全ての細胞に取り込まれます。大人の場合、取りこまれた放射性セシウムの量が半分になるのに約100日かかるといわれています。

体内放射性物質の減少

物理学的半減期

生物学的半減期



実効半減期

放射性物質は崩壊して量が少なくなっています。放射性物質の量が半分になる時間を物理学的半減期と言います。この半減期は各放射性物質に特有のものです。時間が経過しない限り、放射性物質の量は減りません。

一方、体内に入った放射性物質は便や尿、あるいは汗などによって体外に排泄されていきます。その結果、体内に取り込まれた放射性物質は減っていきます^{*}。これを生物学的半減期といいます。

この両方のメカニズムが働いた結果、体内の放射性物質の量が半分になる時間を実効半減期と呼んでいます。

取り込みが持続的な場合には、取り込む量と出していく量のバランスの問題になり、計算が複雑になります。いずれにしても内部被ばくの場合には、実効半減期を考えなければなりません。

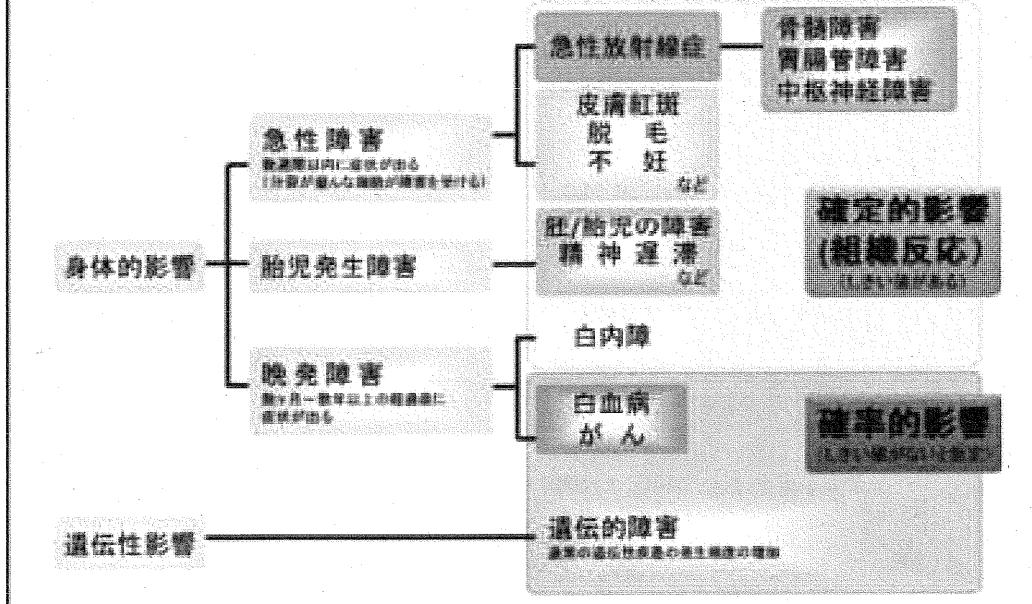
実効半減期は次のように計算できます。

$$1/\text{実効半減期} = 1/\text{物理学的半減期} + 1/\text{生物学的半減期}$$

*注)ただし、生物学的半減期は単純な減衰曲線にはならないことがあります。放射性物質の種類によっては、臓器によって代謝率が異なる場合があるからです。

影響の種類

▶ 放射線を受けた後にどのような障害が生じるか、生じないか、受けた放射線の量、受けた場所（全身、局所）、時間的経過（被ばくの様式）を考慮する



確率的影響による障害と確定的影響による障害を整理してみます。

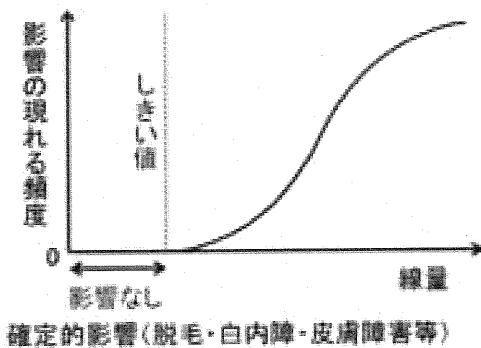
確定的影響は一定以上の線量を被ばくしない限り発生することはありません。そのうちの多くは、被ばく後数週間以内に現れる急性障害に分類されます。

確率的影響は、低い線量でも発生の可能性がゼロではないと考えられている影響で、がんや白血病、遺伝的障害が該当します。

確率的影響と確定的影響

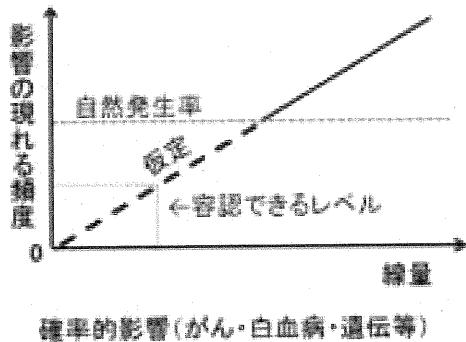
確定的影響

放射線を受けた人のうち最も放射線に対して感受性が高い1%の人が発症する線量を「しきい値」としている。
(ICRP2007年勧告)



確率的影響

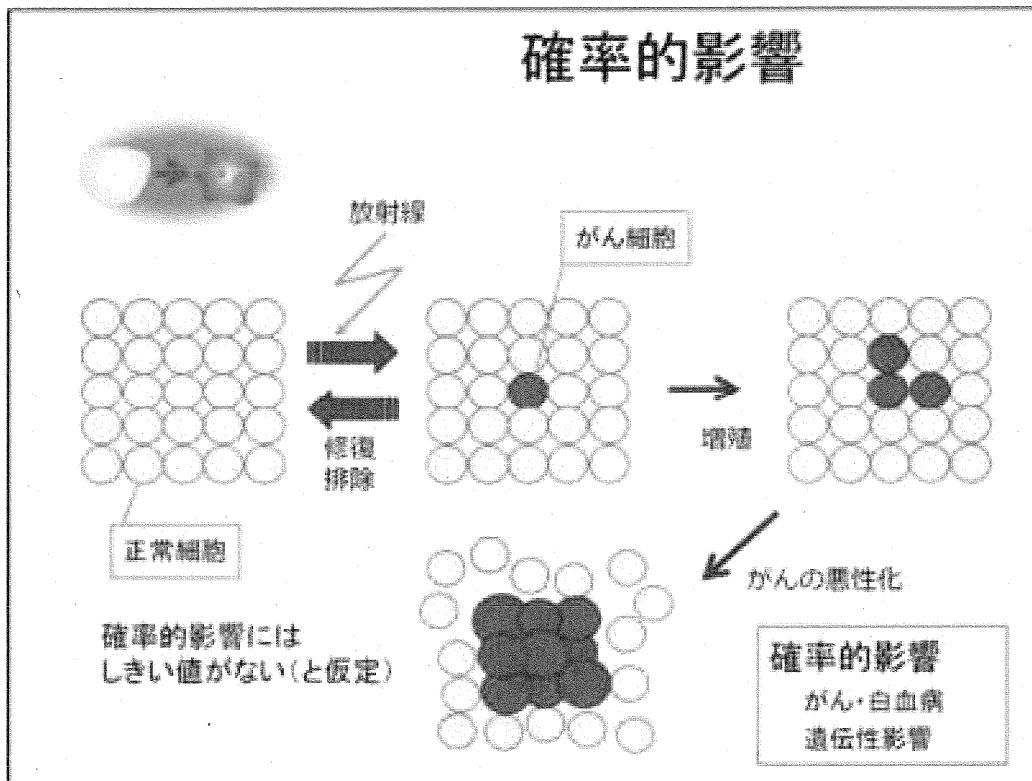
一定の線量以下では、喫煙や飲酒と言った他の危険因子が大きすぎて見えないが、ICRPなどではそれ以下の線量でも影響はあると仮定して、放射線防護の基準を定めることとしている。



確定的影響の特徴は、これ以下なら影響が生じない、これ以上なら影響が生じるというしきい値が存在することです。一方、確率的影響にはしきい値の存在は確認されていません。

実際には、100mSv以下の放射線被ばくによる確率的影響を疫学的に検出することは極めて難しいのですが、ICRPは、100mSv以下でも線量に依存して影響があると仮定して、放射線防護の基準を定めています。

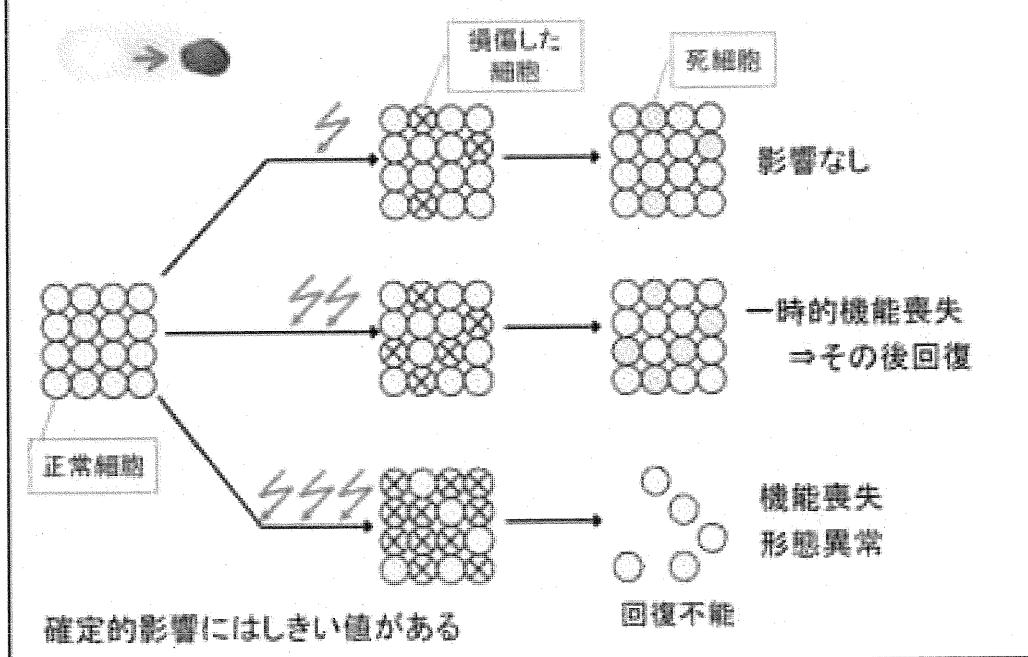
確率的影響



細胞の遺伝子変異(突然変異)で起こる影響は、一つの細胞に突然変異が起こってもそのリスクが増加すると考えられています。

突然変異を起こした細胞が全てがん細胞になるわけではなく、修復したり、排除されたりします。それでもある確率で、変異細胞が増殖し、さらに複数の遺伝子に突然変異が起きると、がん細胞が生じます。がん細胞が増殖すると、臨床的ながんになります。細胞のがん化は、複数の遺伝子に変異が起り、修復されずに蓄積された結果として生じるため、発がん影響を評価する際には、受けた線量を全て足し合わせた量を問題にします。

確定的影響



放射線が少し当たって、多少細胞が死んでも、残りの細胞だけで十分組織や臓器が機能すれば、症状としては現れません。

放射線の量が増え、死亡する細胞が増加すると、その臓器や組織の機能が一時的に衰え、臨床症状が出ることがあります。しかし、その後、正常の細胞が増殖すれば、症状は回復します。

さらに大量の放射線を浴び、組織や臓器の細胞のダメージが大きい場合には、永久に機能喪失や形態異常が起こる可能性があります。

このように、細胞死によって起こる確定的影響には、これ以上放射線を浴びると症状が生じる、これ以下では症状が生じないという線量が存在します。この線量のことを「しきい値」と呼びます。

放射線影響の分類

影響の出現	潜伏期間	例	線量反応関係
身体的影响	数週間以内 =急性影響 (早期影響)	急性放射線症 急性皮膚障害	細胞死/細胞変性 で起こる 確定的影響
	数ヶ月以降 =晚発影響	胎児の発生・発達異常(奇形) 水晶体の混濁 がん・白血病	突然変異で起こる 確率的影響
遺伝性影響		遺伝性疾患	→ 

主な症状としては、被ばく後数時間以内に認められる嘔吐、数日から数週間にかけて生じる下痢、血液細胞数の減少、出血、脱毛、男性の一過性不妊症などである。

放射線の人体影響は、大きく分けて、放射線を受けた本人に出る影響と子どもや孫など子孫に出る影響とがあります。

また、被ばくしてから症状が出るまでの時間による分類もあります。被ばく後比較的早く症状ができる「急性影響(早期影響)」と、数ヶ月以降に現れる「晚発影響」に分けることができます。

もう一つの分類方法は、放射線の影響が生じるメカニズムの違いによる分類です。「確定的影響」は、臓器や組織を構成する細胞が多数死亡したり、変性したりすることで起こる症状です。

たとえば、比較的多量の放射線を浴びると、数週間以内に皮膚障害を起こしたり、造血能低下により血球の数が減ったりすることがあります(急性放射線症)。また妊娠中に大量の放射線を浴びると胎児に影響が出たり、目に当たると後に白内障になることがあります。一方、がんや遺伝性影響といった障害は、細胞の遺伝子が変異することで起こる影響です。例え一つの細胞に変異が起つただけでも将来、がんや遺伝性影響が現れる確率が増加するとの考えに基づき「確率的影響」と呼ばれています。

各種障害のしきい値

ガンマ線急性吸収線量のしきい値

障害	臓器／組織	潜伏期	しきい値(グレイ)*
一時的不妊	精巣	3～9週	約0.1
永久不妊	精巣	3週	約6
	卵巣	1週以内	約3
造血能低下	骨髄	3～7日	約0.5
皮膚発赤	皮膚(広い範囲)	1～4週	3～6以下
皮膚熱傷	皮膚(広い範囲)	2～3週	5～10
一時的脱毛	皮膚	2～3週	約4
白内障(視力低下)	眼	数年	約1.5(0.5**)

*臨床的な異常が明らかな症状のしきい線量 [1%の人々に影響を生じる線量]

**国際放射線防護委員会報告書118(2012)では、しきい値が下げられた。

国際放射線防護委員会2007年勧告

放射線の感受性は臓器によって異なりますが、最も感受性の高いのは精巣です。一度に0.1グレイ(100ミリグレイ)以上のγ(ガンマ)線などの放射線を受けると、精子数が一時的に減少する一時的不妊を引き起こすことがあります。これは、精巣が活発に増殖している臓器だからです。

また骨髄が0.5グレイ(500ミリグレイ)以上の被ばくをすると、造血能が低下し、血液細胞の数が減少します。

確定的影响の中には、白内障のように発症するまでに数年かかるものもあります。なお白内障のしきい値は1.5グレイとされていますが、最近の報告ではそれ以下かもしれないとも考えられています。

臓器・器官の放射線感受性

分裂が盛ん 感受性が高い

造血系：骨髓、リンパ組織（脾臓、胸腺、リンパ節）

生殖器系：精巢、卵巣

消化器系：粘膜、小腸絨毛

表皮、眼：毛囊、汗腺、皮膚、水晶体

その他：肺、腎臓、肝臓、甲状腺

支持系：血管、筋肉、骨

伝導系：神経

分裂しない 感受性が低い

細胞分裂が盛んで、分化の程度の低い細胞ほど、放射線感受性が高い傾向にあります。例えば、骨髄にある造血幹細胞はさかんに分裂しながら、血中の各種血液細胞に分化する細胞です。幹細胞から分裂（増殖）が進んだ未成熟（未分化）な造血細胞の放射線感受性は極めて高く、分化した細胞よりも少量の放射線で細胞死が起こります。その結果、血液細胞の供給が止まり、血中の各種の細胞の数が減少します。また消化管の上皮も常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高くなります。

一方、分裂をしない神経組織や筋組織は放射線に強いことが知られています。

確定的影響と妊娠時期特異性



重要な器官が形成される時期
＝薬の使用も気をつける時期
＝放射線にも弱い時期

着床前期
受胎0-2週
・流産

器官形成期
受胎2-8週
・器官形成異常
(奇形)

胎児前期
受胎8-15週
・精神発達
遅滞



胎児後期
受胎15週
～出産

しきい値は0.1グレイ以上

一般的に妊娠2期目と呼ばれている時期は、妊娠直後の受胎0週(前半)に相当します。

確定的影響の中でもしきい値の低いものに、胎児影響があります。妊婦が被ばくした場合、子宮内を放射線が通過したり、放射性物質が子宮内に移行したりすれば、胎児も被ばくする可能性があります。

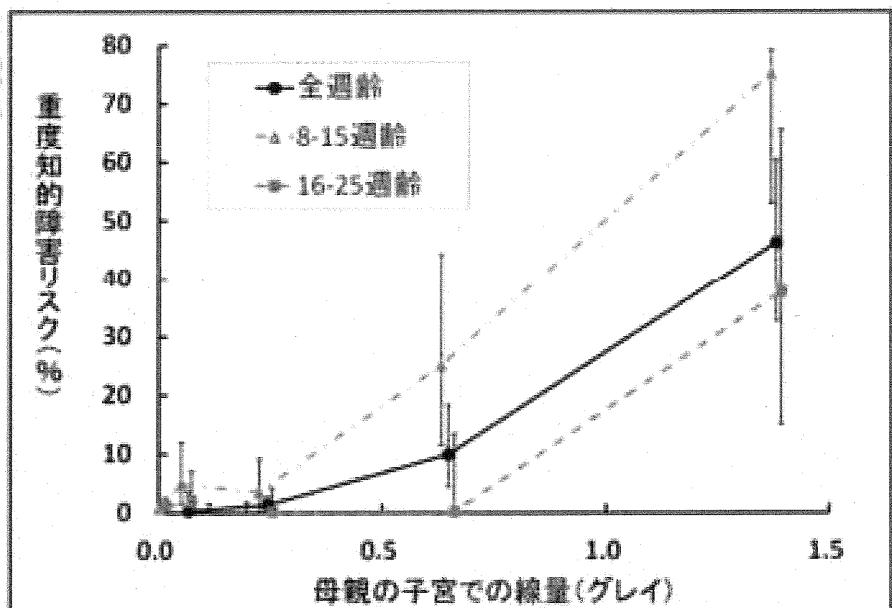
胚／胎児期は放射線感受性が高く、また影響の出方に時期特異性があることが分かっています。妊娠のごく初期に0.1 グレイ以上の放射線を受けると、流産が起こることがあります。この時期を過ぎての被ばくの場合、流産の可能性は低くなりますが、赤ちゃんの体がどんどんできている時期に放射線を受けると、その形成されている部分に、器官形成異常が起こることがあります。大脳が活発に発育しているときに放射線を受ければ、精神発達遅滞の危険性があります。

放射線への感受性が高い時期は、妊婦さんが、薬をやたらと飲まないようにしましようと、指導されている時期と一致します。定期に入れるまでのこの時期は、薬同様、放射線の影響も受けやすい時期になります。

こうした胚／胎児影響は0.1 グレイ以上の被ばくで起こることから、国際放射線防護委員会は、2007 年の勧告の中で「胚／胎児への0.1 グレイ未満の吸収線量は妊娠中絶の理由と考えるべきではない」という考え方を示しています。これはγ(ガンマ)線やX線を一度に100 ミリシーベルト受けた場合に相当します。また母体の被ばく線量と必ずしも同じではありません。

また被ばく線量に応じて、がんや遺伝性影響といった確率的影響のリスクも高まります。

精神発達遅滞



放射影響研究会より作成 <http://www.nsr.or.jp/>

胎児影響の時期特異性については、原爆による胎内被ばくした集団の健康調査により明らかになりました。

これは、原爆投下時の胎齢と精神発達への影響との関係を調べたグラフです。

原爆被ばく時の胎齢が8～15週齢の場合、放射線感受性が高く、子宮内の線量が0.1グレイから0.2グレイの間にしきい値があるよう見えます。これ以上の線量域では、線量の増加に応じて重度知的障害の発生率が上がっているのが分かります。

しかし16週から25週だった子供たちは、不幸にして0.5グレイ程浴びてしまった場合でも重度な知的障害は見られず、1グレイを超えるような被ばくをすると、かなりの頻度で障害が発生することが分かりました。

つまり、同じ量の被ばくをしても、8～15週齢で被ばくした場合と、16～25週齢の被ばくでは、障害の発生率が異なっていました。

急性放射線症とは？

全身被ばく(1グレイ以上)後、数時間～数週間後に起こる臨床症状の総称
→多くの組織や臓器障害をおこす。

特に細胞増殖の盛んな組織(造血器、消化管粘膜、皮膚、生殖腺の幹細胞など)が影響を受けやすく、これらの臓器の障害による症状が主体。

急性放射線症とは、全身に多量(1グレイ以上)の放射線を被ばく後、数時間から数週間で現れる症状の総称です。これは放射線によって細胞が死ぬために起こります。多くの組織や臓器に障害が起きますが、障害が出やすいのは細胞増殖が盛んに起こっている組織や臓器です。造血器や消化管などは障害が出やすいとされています。骨髄のような放射線に対して感受性が高い組織では比較的低い線量で障害が出始めますが、線量が増えると消化管にも障害が出ます。さらに線量が増えると血管や神経などにも障害が出てきます。

急性放射線症のLD_{50/60}

- 原爆被爆者 外傷・熱傷の早期死亡を除いた集団で、2.7-3.1グレイ
- 4Gy以上の被ばく線量が確認されているチェルノブイリ事故、放射線事故症例35例中、6グレイ以下の症例では4/9生存、6.1グレイ以上では3/26生存。

* LD_{50/60}:被ばくした集団の50%が60日以内に死亡する線量

被ばくした集団の50%が60日以内に死亡する線量をLD_{50/60}で表します。
原爆被ばく者やチェルノブイリ事故の調査から、人間のLD_{50/60}は4~5グレイ程度だと
言われています。

急性放射線症候群における前駆症状

症 状	およそ被ばく線量				
	1-2 Gy	2-4 Gy	4-6 Gy	6-8 Gy	> 8 Gy
嘔 吐 (時期) (%)	2時間以降 10 - 50	1 - 2時間以内 70 - 90	1時間以内 100	30分以内 100	10分以内 100
下 痛 (時期) (%)	— —	— —	中等度 3 - 8時間 < 10	重 度 1 - 3時間 > 10	重 度 1時間以内 100
頭 痛 (時期) (%)	非常に軽い — —	軽 い — —	中等度 4 - 24時間 50	重 度 3 - 4時間 80	重 度 1 - 2時間 80 - 90
意 識 (%)	影響なし —	影響なし —	影響なし —	影響あり —	意識喪失あり 100 (50 Gy以上)
体 温 (時期) (%)	正 常 —	微 热 1 - 3時間 10 - 80	発 热 1 - 2時間 80 - 100	高 热 < 1時間 100	高 鮎 1時間 100

IAEA Safety Reports Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries 1998 より改変

急性放射線症候群の前駆症状についてまとめたものです。例えば、2～4グレイを全身に被ばくしたときには、70～90%の人に1～2時間以内に嘔吐の症状が認められます。4～6グレイの被ばくでは3～8時間後に下痛の症状も出できます。このような前駆症状は、被ばく線量が1グレイ(1,000ミリグレイ)を超えると出でます。

全身被ばくと局所被ばく

全
身

下痢

頭痛、発熱

恶心、嘔吐

末梢血中のリンパ球減少

200 1,000 5,000 10,000 (ミリグレイ)

局
所

一時的精子数減少 永久不妊（男女共）

水晶体混濁 白内障

（皮膚）一時的紅斑 紅斑

（皮膚）一時的脱毛 滅毛

原子力安全委員会 原爆被曝検討委員会報告 平成12年、他より改変

一度に100ミリグレイ程度以上の放射線を受けた場合、細胞死を原因とする人体影響が生じることがあります。こうした症状は、放射線の感受性の高い臓器ほど、少しの線量で症状が生じます。

分裂が盛んな臓器である精巣は、放射線感受性が高く、一時的な精子数の減少は100-150ミリグレイで現れ、一過性の不妊になることがあります。骨髄も感受性が高く、1000ミリグレイ以下の被ばくでも血中のリンパ球が減少することがあります。しかし、こうした症状は自然に治癒します。

一方、2000ミリグレイ以上の放射線を一度に受けた場合、治療を要する臨床症状が起きることがあります。

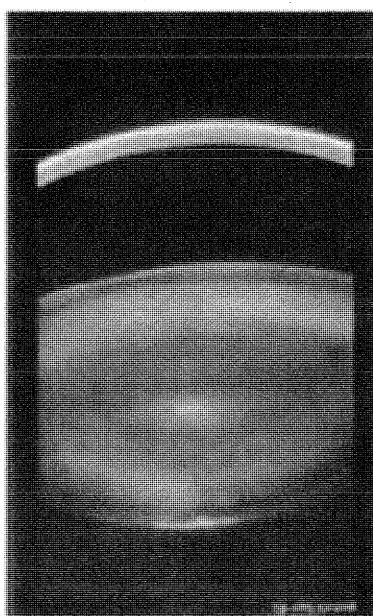
局所被ばくの場合は、当然被ばくした部分の臓器に障害が現れます。

放射線熱傷と熱傷

	熱傷	放射線熱傷
症状	すぐに痛み 激しい炎症反応 患部の細胞死 組織の破壊	始めは痛みがない 被ばくの線量に応じて症状の発現時期は異なる
障害の機序	高温による障害 蛋白凝固、細胞代謝障害、局所循環障害	放射線によるDNA損傷(細胞の種類により感受性は異なる)
エネルギー(第2度熱傷)	大(4Cal/cm^2)	小(0.0126Cal/cm^2):30グレイ

放射線熱傷の症状は、熱傷、いわゆる熱によるやけどに似ています。熱傷ではすぐに激しい炎症反応が起こり、痛みがあるのが特徴ですが、放射線熱傷の場合は初めは痛みがありません。熱傷の原因は蛋白凝固、細胞代謝障害、循環障害と言われていますが、放射線熱傷はDNA損傷によって起こる皮膚細胞死が原因です。また、症状を起こすエネルギーを比較した場合、第2度の熱傷症状、つまり水疱形成を起こすには、1平方センチメーター当たり4キロカロリーぐらいの熱量が必要だと言われています。同じような2度熱傷、水疱を放射線で形成するには20～30グレイが必要になり、30グレイとしてカロリーで計算してみると13カロリーぐらいに相当します。このことから、同じ症状を起こすのに、熱に比べて放射線は非常に少ないエネルギーで起こすことが分かります。

放射線による白内障



- 一回被ばく: 0.5 (~2) Gy
以上で水晶体の混濁(潜伏期間は6ヶ月以上)
- 水晶体の等価線量限度
 - 等価線量 150mSv/年(職業人)
 - 等価線量 15mSv/年(一般人)
- ICRPは最近職業人20 mSv/年(5年平均)を提案(ICRP: Statement on tissue reactions, 2011-Apr)

白内障(目の水晶体の障害)は放射線被ばくによっても発症します。1回被ばくの場合、0.5グレイを超えたぐらいから水晶体の混濁が起こりますが、症状が出てくるのは6ヶ月以上過ぎてからです。従来、白内障の症状が出てくるのは2グレイぐらいと考えられていましたが、最近のICRPの報告書では、0.5グレイぐらいから起こるのではないかとの指摘がありました。1回被ばくでの確定的影響のしきい値は0.5グレイぐらいと言われていますので、低い線量で影響が現れる敏感な組織ということになります。

現在、ICRPは職業人の目に対する線量限度を150ミリシーベルト(等価線量)としています。しかし、水晶体の放射線感受性は意外に高く、慢性被ばくでは100ミリシーベルトでも混濁が現れるとの報告から、ICRPはこれを年間20ミリシーベルトに下げる 것을提案しています。

放射線疫学のいくつかの基礎知識

● 放射線疫学:

ヒトにおける放射線被ばくに起因した疾患頻度の研究

方法 生態学的研究、コホート研究、症例・対照研究

● 疾患頻度の指標:

絶対頻度

(主に死亡率と罹患率、死亡数/観察人年と発生数/観察人年)

相対頻度(“自然誘発”疾患頻度を基準)

リスク: 一般に条件付死亡又は発生の確率をある時点の極限で表現

過剰リスク: 過剰絶対リスク(被ばく群絶対リスクー“自然誘発”リスク)

過剰相対リスク(相対リスクー1)。

単位線量当たりが一般的

生涯リスク: 特定の疾患に関して生涯にわたって計算したリスク

放射線疫学は、ヒトにおける放射線被ばくに起因した疾患の頻度を調べる研究です。大別すると生態学的研究、コホート研究、症例・対照研究の3つになります。生態学的研究は記述疫学で、例えば地域単位で疾患が増えている、増えていないという、個人単位ではなくて、ある地域単位について記述するという、分かりやすい形での研究になります。

疾患の頻度の表す指標には、絶対頻度と相対頻度があります。死亡率(死亡数を観察人年で割った値)や罹患率(発生数を観察人年で割った値)が絶対頻度です。放射線を被ばくしていない場合の発生頻度(自然誘発発生頻度)を基準にして相対的に表すのが相対頻度です。

次に、放射線疫学でのリスクとは、1年当たりにどのくらいのがんの発生率があるか、あるいは死亡するかということです。例えば40歳まで生きていって、次の1年間のうちにがんで死亡する、あるいはがんに罹患するということを調査します。

過剰絶対リスクは、被ばく群の絶対リスクから自然誘発群リスクを差し引いたものです。

過剰相対リスクは、相対リスクから1を引いた値になります。

生涯リスクは、特定の疾患に対して生涯にわたって計算したリスクという形で表しています。

相対リスクと寄与リスク

要因	罹患		計
	あり	なし	
曝露群	A	B	A+B
非曝露群	C	D	C+D

要因ばく露によってその個人が何倍罹患しやすくなるか

$$\text{相対リスク} = \frac{\text{要因曝露群の罹患リスク}}{\text{要因非曝露群の罹患リスク}} = \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}}$$

要因ばく露によってその集団の罹患率がどれだけふえるのか

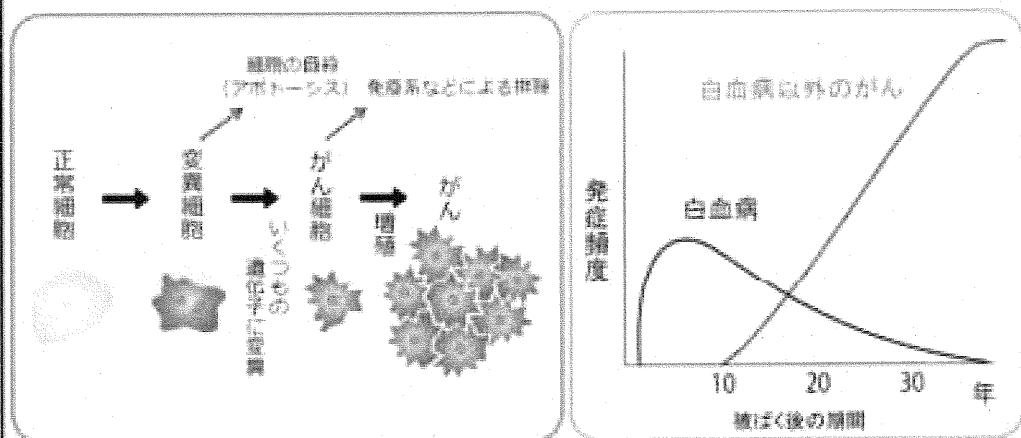
$$\begin{aligned}\text{寄与リスク} &= \text{要因曝露群の罹患リスク} - \text{要因非曝露群の罹患リスク} \\ &= \frac{A}{A+B} - \frac{C}{C+D}\end{aligned}$$

相対リスクとは、ある原因により、それを受けた個人のリスクが何倍高まるか、ということを表したリスクです。疫学で普通にリスクと言った際には、「相対リスク」のことを指していることが多いのですが、これ以外にも、寄与リスクと言う考え方があります。寄与リスクとは、ある原因により、集団の罹患率や死亡率がどのくらい増えるかということを表しています。

例えば、ある集団がなにかしらのリスク源に曝されている、ある集団は曝されていないとします。曝されていない集団では、ある疾患の患者が、100万人に2人出るのに対し、曝されている集団では100万人中3人患者が出るとします。

相対リスクと言うのは、どれだけ疾患になりやすくなるかという観点のリスクですので、患者が2人が3人になった、つまり、リスクは1.5倍になったと評価します。一方寄与リスクでは、集団内でどれだけ患者が増えた分を考えますので、100万人中の1人、つまりは10⁻⁶リスクが増加したと考えます。これを寄与危険とよびます。また、患者3人のうちの1人分は、リスク源によるものとして1/3を寄与割合と呼びます。

発がんのしくみ

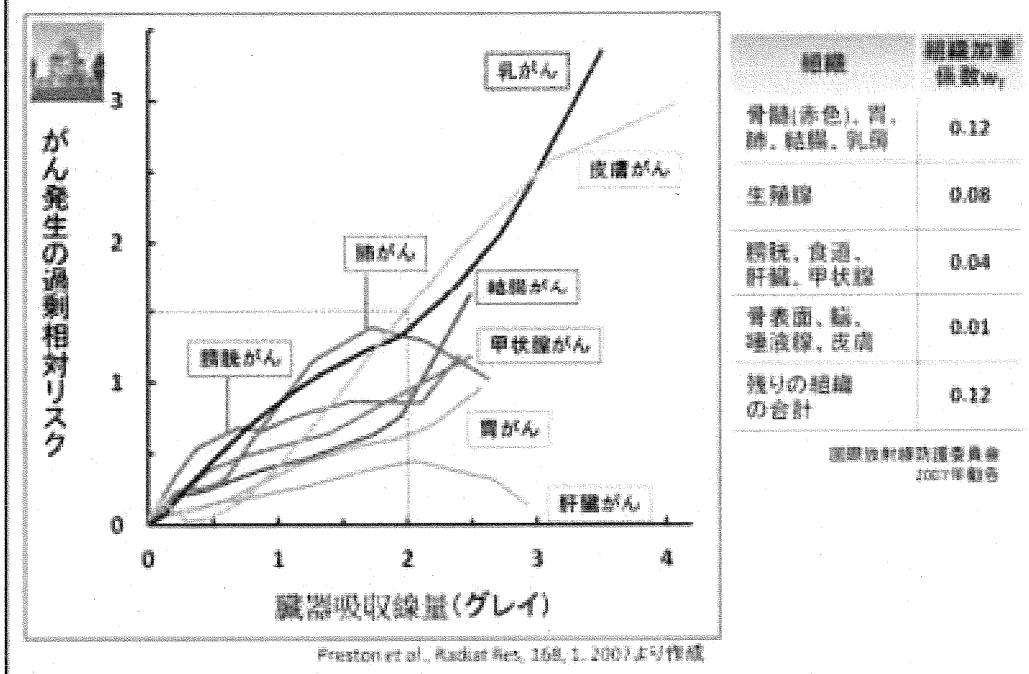


- ・放射線はがんを起こすさまざまなきっかけの一つ
- ・変異細胞ががんになるまでには、いろいろなプロセスが必要
→数年～数十年かかる

DNAを傷つけるのは、放射線ばかりではなく、さまざまありふれた化学物質や紫外線などにもその作用があります。しかし、細胞には傷ついたDNAを修理する仕組みがあり、たいていの傷はすぐに元通りに修繕され、また修理に失敗した場合でも、その細胞を排除する機能が体には備わっています。

ごく稀に、修理し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、生じては消えといったことを繰り返します。中にたまたま生き残ったものに遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることもありますが、それには長い時間がかかります。

放射線感受性の高い臓器

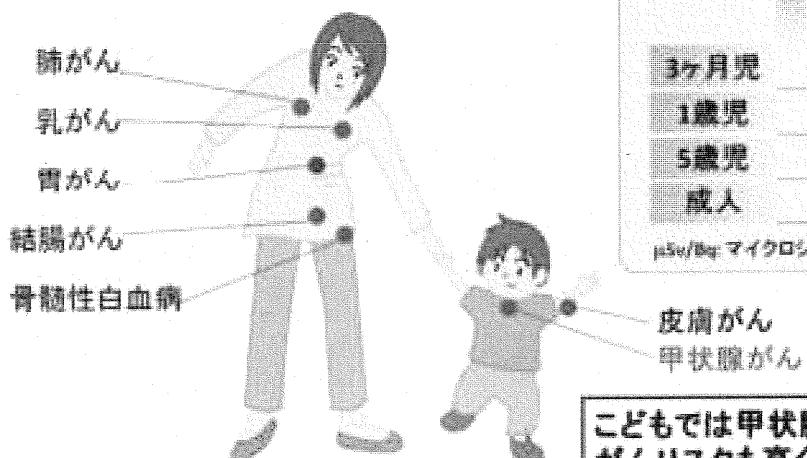


これは、原爆被爆者を対象に、どれだけの線量をどこに受けるとがんのリスクが増加したかを調べたものです。横軸は、原爆投下時の高線量率一回照射による臓器吸収線量です。縦軸は、相対リスクといって、放射線を受けなかった集団に比べ、どのくらいがん発生のリスクが増加したか調べています。例えば、臓器吸収線量が2グレイの群では、皮膚がんの過剰相対リスクが1.5となっていますので、この被ばく群では、放射線を受けなかった集団の1.5倍のリスクが加算されていることを意味しています(つまり、2グレイ被ばく群では皮膚がんの発生リスクは、放射線を受けていない群の2.5倍となります)。

こうした疫学研究の結果から、乳腺、皮膚、結腸などは、放射線によってがんが出やすい臓器・組織であることが分かりました。国際放射線防護委員会の2007年勧告では、臓器の感受性やがんの致死性などを考慮し、組織加重係数を決めています。

年齢による感受性の差

こどもは小さなおとなではない



※代謝や体格の違いから、こどもは実効線量係数が高くなっている。

大人の場合、骨髓、結腸、乳腺、肺、胃という臓器は、放射線によってがんが出やすい臓器ですが、子どもの場合は、甲状腺や皮膚も放射線によるがんリスクが高いことが分かってきました。

特に子どもの甲状腺は放射線に対する感受性が高いうえに、摂取放射能量(ベクレル)当たりの実効線量が大人よりもはるかに大きいので、緊急時に関しては、1歳児の甲状腺の被ばく線量が、防護策を考える基準に取り入れられています。また、摂取放射能量(ベクレル)当たりの実効線量係数は、成人よりもはるかに大きい数値が採用されています。

被ばく時年齢と発がんリスクの関係

原爆被爆者の被爆時年齢別相対リスク

年齢	男性(ミリシーベルト)			女性(ミリシーベルト)		
	5～500	500～1000	1000～4000	5～500	500～1000	1000～4000
0-9歳	0.96	1.10	3.80	1.12	2.87	4.46
10-19歳	1.14	1.48	2.07	1.01	1.61	2.91
20-29歳	0.91	1.57	1.37	1.15	1.32	2.30
30-39歳	1.00	1.14	1.31	1.14	1.21	1.84
40-49歳	0.99	1.21	1.20	1.05	1.35	1.56
50歳以上	1.08	1.17	1.33	1.18	1.68	2.03

Hiroshima et al., Radiat Res, 168, 1, 2007

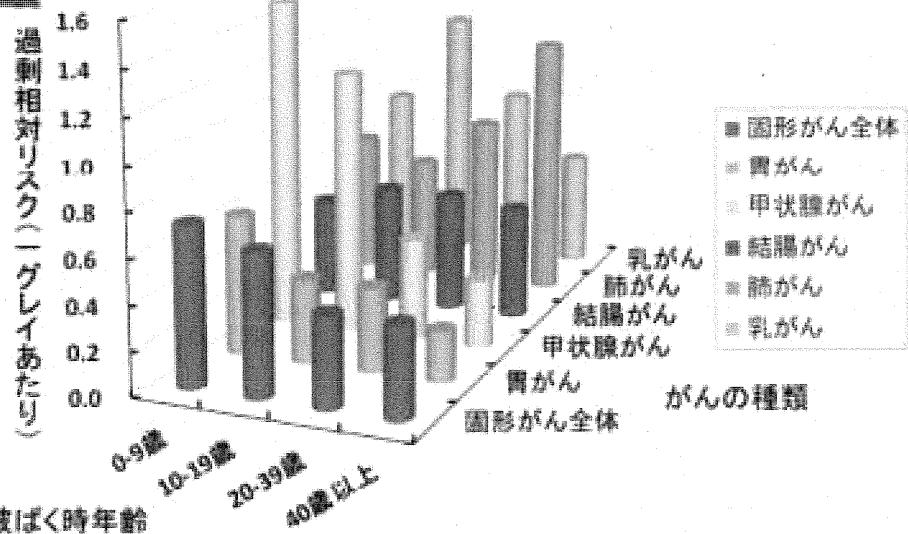
これは、原爆被爆者がのがん罹患相対リスクを、男女別、被ばく時年齢別で表したもので、相対リスクとは、放射線を受けていない人を1とした時、放射線を受けた人ががんリスクが何倍になるかを表しています。

0-9歳の男性群では、5～500ミリシーベルト被ばくのがんリスクは、非照射群の0.96倍と非照射群と差がありません。500～1,000ミリシーベルトを受けた集団で1.1倍、1,000～4,000ミリシーベルトでは3.8倍と、線量に比例して相対リスクも増えます。女性でも同じ傾向が見られます。一方、50歳以上の集団でも、5～500ミリシーベルトの群では相対リスクが1に近く、線量が増えるにつれてがんリスクも増えていますが、その増え方が、0-9歳ほど顕著ではありません。年齢による差は1,000～4,000ミリシーベルトの被ばく群で顕著で、0-9歳の相対リスクは3.80(男性)あるいは4.46(女性)であり、20歳以上の群の相対リスクの2～3倍になっています。

このように高線量域では、子どもが大人より放射線感受性が高いことが明らかですが、低線量域については、リスクの変化があったとしても小さすぎて疫学的手法では検出できないため、これまでのところの科学的知見は十分ありません。そこで、放射線防護の観点からは、どの線量域でも、子どもは大人より3倍程度感受性が高いとみなすべきであると考えられています。

被ばく時年齢とがんの種類

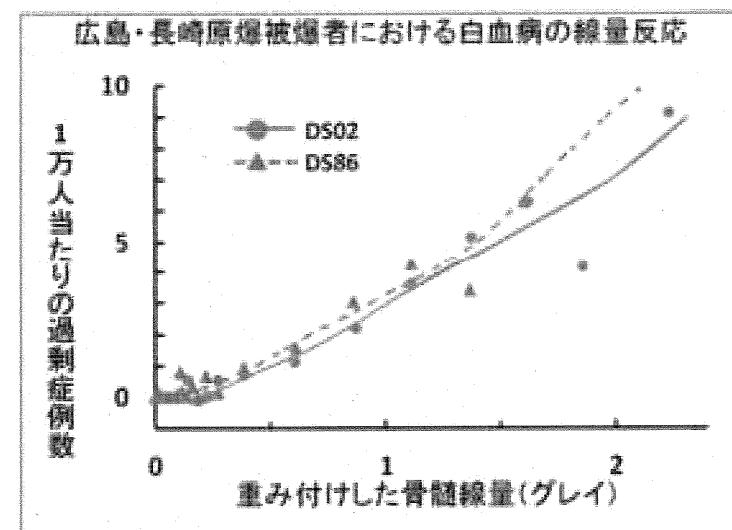
被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク



Preston et al., Radiat Res. 168, 1, 2007より作成

原爆被爆者のデータを用いて、被ばくした時の年齢別、がんの部位別に、がんの過剰相対リスク(1Gyあたり)を比較すると、①被ばく時の年齢が若いほどリスクが高いもの(甲状腺がん)、逆に40歳以上でリスクが高いもの(肺がん)、思春期のリスクが高いもの(乳がん)、年齢依存が顕著でないもの(大腸がん)と、がんの種類によって放射線への感受性が高い時期が異なります。

白血病と線量反応相関

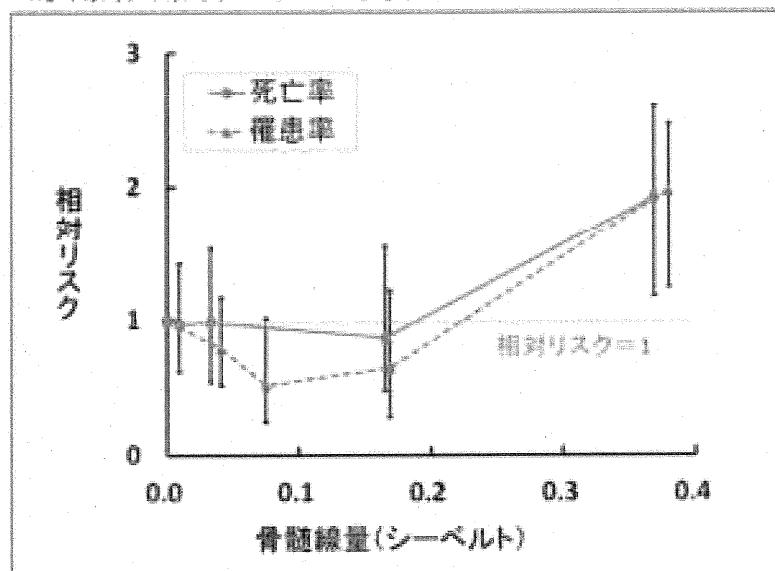


DS02とかはるによる白血病のノンパラメトリックな線量反応(1950-2000年)
Prestwich et al., Radiat Res., 162, 377, 2004より作成

他のがんとは対照的に、白血病の線量反応関係は二次関数的であり、低線量では単純な線形線量反応で予測されるよりもリスクは低くなっています。しかし0.2-0.5 グレイの低い線量範囲においても白血病リスクの上昇が認められています。

白血病の発症リスク

原爆被爆者における発がんのリスク(白血病)

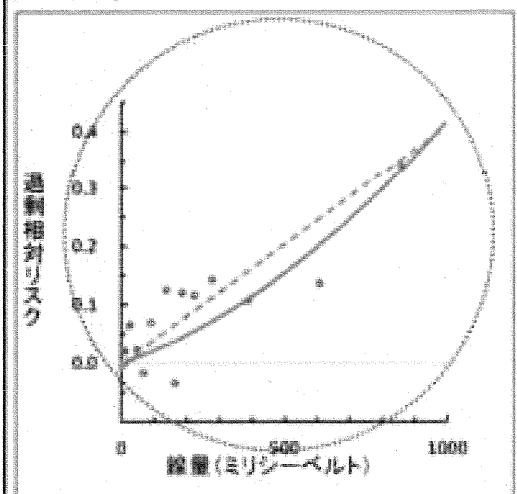


UNSCEAR 2006年報告書より作成

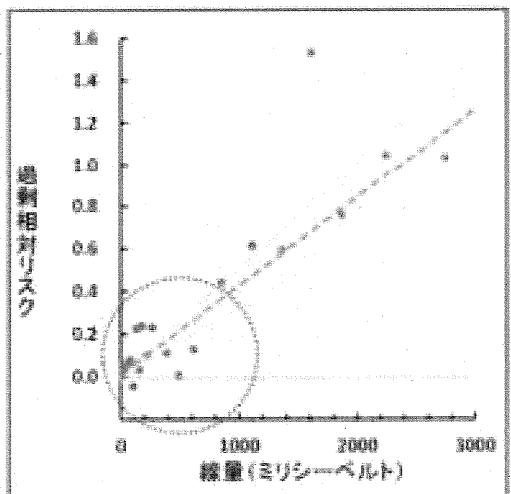
0.2 グレイ以下の線量域では、白血病リスクの増加は顕著ではありませんが、0.4グレイ近くの群では顕著な増加が認められます。

固体がんによる死亡と線量との関係

固体がんによる死亡(原爆被爆者データ)



Preston et al., Radiat Res. 162, 377, 2004より作成



Ozasa et al., Radiat Res. 177, 129, 2012より作成

原爆被爆者の健康影響調査の結果から、放射線を受けた量が増えると、発がんのリスクが高まることが知られています。固体がんによる死亡リスクと線量の関係には、約100ミリシーベルト以上で直線性が見られるものの、100ミリシーベルト以下のリスクについては研究者によって意見が分かれています。

100ミリシーベルト以下でも線量とがんリスクは比例関係にあるのか、それとも実質的なしきい値が存在するのかは、今後の研究によって明らかにする必要があります。

原爆被爆者における甲状腺がんの発症



甲状腺線量	平均線量 (mSv)	対象 (人)	患者 (人)	オッズ比
<5mSv	—	755	33	1
5-100mSv	32	936	36	0.85 (0.52-1.39)
100-500mSv	241	445	22	1.12 (0.64-1.95)
500mSv<	1237	236	15	1.44 (0.75-2.67)

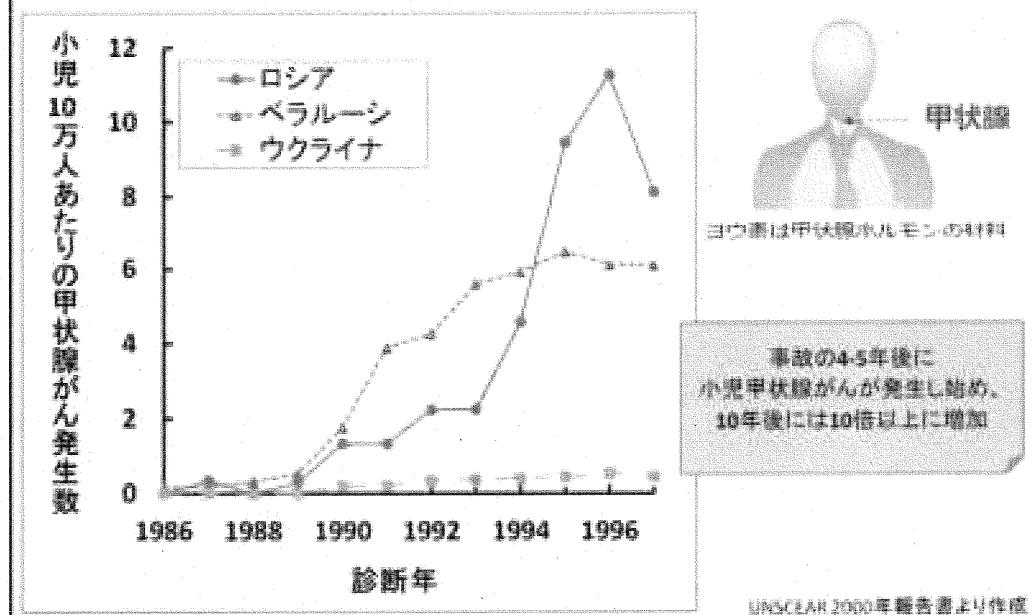
MS: まりこーべらと

Harashita et al., Cancer, 116, 1646, 2010

原爆被爆者における甲状腺がんの発症についてオッズ比を見てみると、等価線量で100mSvまではオッズ比が低いことがわかります。.

小児甲状腺がんの発症時期

小児甲状腺がん(チェルノブイリ事故)

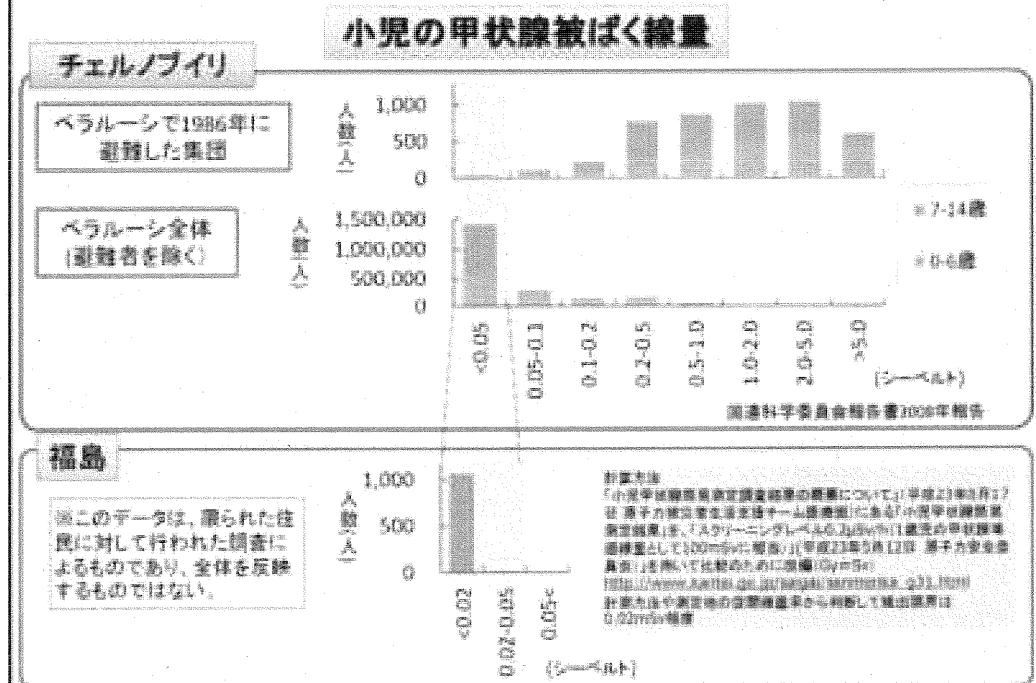


チェルノブイリ事故では、爆発によって放射性物質が大量に飛び広がりました。その中で健康被害をもたらしたのは、主には放射性ヨウ素であったといわれています。

地上に降り注いだ放射性ヨウ素を吸入したり、食物連鎖によって汚染した野菜や牛乳、肉を食べた子どもたちの中で、小児甲状腺がんが発症しました。特に、ミルクに含まれていたヨウ素131による内部被ばくに由来するところが大きかったといわれています。

ベラルーシやロシアでは、事故後4-5年ごろから小児甲状腺がんが発生し始め、10年後に10倍以上に増加しました。チェルノブイリ事故における小児甲状腺がんの5年、および10年生存率は、それぞれ99.5%、98.8%でした（引用：D Williams, Oncogene (2009) 27, 59-518）。

甲状腺線量の比較

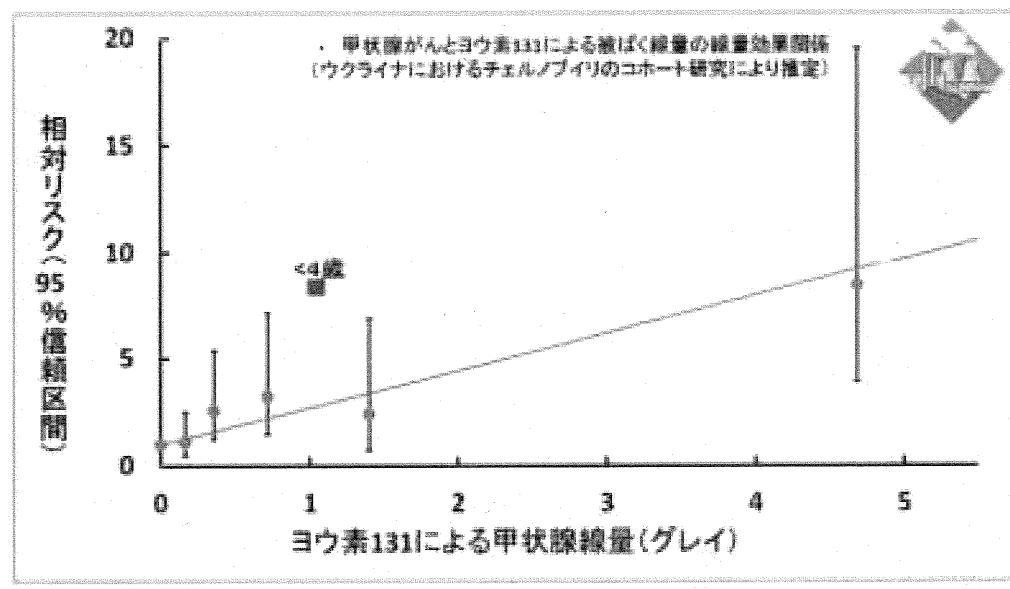


福島原発事故により子どもたちの甲状腺が放射性ヨウ素によりどのくらいの被ばくをしたのか、正確に評価することは大変難しいのですが、事故後約2週間の時点で行われた小児甲状腺線量のスクリーニング調査の結果を用いると、おおよそのことはわかります。

このスクリーニング調査は、事故後2週間の時点で、甲状腺線量が高いと予想された川俣、いわき、飯館の子どもたちに対し、サーベイメータを用いて行われたものです。1000人以上の15歳以下の子どもたちを検査した結果、原子力安全委員会がスクリーニングレベルを超える子どもはいないこと、検査を受けた子ども全員が50mSv以下であることがわかりました。

国連科学委員会によるチェルノブイリ事故での甲状腺被ばく線量に関する解析では、50mSv以下の線量域は最も小さい線量域として扱われています。ベラルーシで1986年に避難した集団はもとより、ベラルーシ全体の線量分布と比べても、福島原発事故による甲状腺の被ばく線量が低かったことがわかります。

甲状腺がんと線量との関係



Brenner et al., Environ Health Perspect 119, 933, 2011より作成

チェルノブイリ事故の子どもたちの内部被ばく線量と甲状腺がんのリスクに関しては、こう言った研究結果が出ています。つまり甲状腺が1Gyの放射線を受けると、甲状腺がんになる可能性が2倍になるというものです。この2倍と言う数値は18歳までの子供たちの平均であり、幼児までの場合は、これよりも高くなると、この研究では紹介しています。

しかしこの数値が日本人にそのまま使えるかというと、少し慎重に考える必要があります。なぜなら、ヨウ素が足りない地域では甲状腺がんリスクが増加する傾向にあるからです。

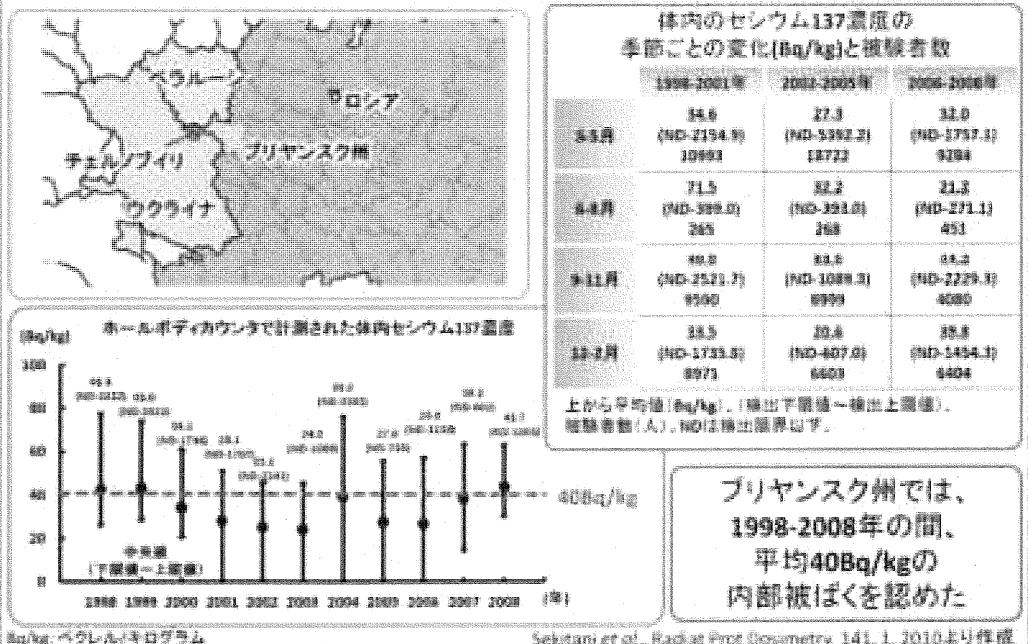
甲状腺がんとヨウ素摂取

		1Gyでの相対リスク (95%信頼区間)	
		土壌中ヨウ素濃度が高い地域	土壌中ヨウ素濃度が低い地域
安定ヨウ素剤	投与なし	3.5 (1.8-7.0)	10.8 (5.6-20.8)
	投与あり	1.1 (0.3-3.6)	3.3 (1.0-10.6)

Cardis et al., IARC, 87, 724, 2005

ヨウ素が足りない地域では、1Gyあたりの甲状腺がんの相対リスクが約3倍に増加します。そこで、内陸のチェルノブイリ周辺のリスク係数を、日本人にそのままはあてはめることはできない可能性があります。

チェルノブイリ原発事故によるセシウムの内部被ばく



1986年におこったチェルノブイリ原発事故では、福島原発事故よりもはるかに大量の放射性物質が放出されました。事故当初ソ連はこの事故を公表せず、施設周辺住民の避難措置などがとられませんでした。また、事故が起こった4月下旬には、旧ソ連の南部地域ではすでに放牧がおこなわれていたため、ミルクの汚染等が起こりました。

1998年から2008年の間、ホールボディカウンタを用いて、ブリヤンスク州の住民の¹³⁷Csの体内放射能を測定した結果、期間中の体内¹³⁷Csの中央値は20-50Bq/kgを推移しつつ、2003年まで低下していたが、2004年から上昇傾向がみられています。¹³⁷Csによる被ばくは長期にわたって続くことがわかります。

チェルノブイリ事故 避難集団の被ばく

国	人数 (千人)	平均実効線量(mSv)		平均甲状腺 線量(mGy)
		外部	内部 (甲状腺以外)	
ベラルーシ	25	30	6	1100
ロシア連邦	0.19	25	10	440
ウクライナ	90	20	10	330
合計	115	22	9	490

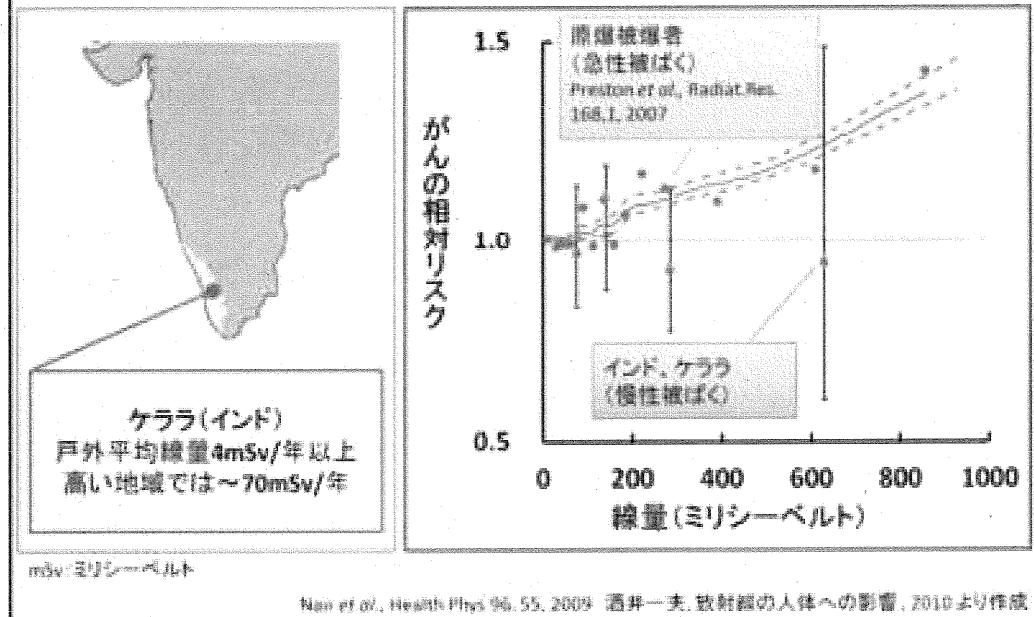
国連科学委員会2008年報告より

チェルノブイリ事故に際して避難した人々の甲状腺線量は高く、平均約500mGyと推定されています。事故直後から2-3週間にわたって、131Iで汚染した牛乳を飲んだことが主な原因です。

避難しなかった旧ソ連の居住者の平均甲状腺線量(約20mGy)、汚染地域に住んでいる人々の線量(約100mGy)、その他歐州諸国の居住者の線量(約1 mGy)よりもはるかに高いという結果でした。

甲状腺被ばく以外の内部被ばくと外部被ばくからの実効線量は、平均で約30mSvでした。平均甲状腺線量同様、平均実効線量はウクライナやロシア連邦よりもベラルーシにおいて高いことがわかっています。

低線量率長期被ばくの影響 インド高自然放射線地域住民の発がん



低線量率被ばくと高線量率被ばくで、影響の出方は違います。

これは原爆被爆のデータとインドケララのような高自然放射線地域住民のリスクを比較したものですが、ケララでは積算線量が数百ミリシーベルトになってもがんの相対リスクの増加がみられません。しかし、信頼限界の幅もこんなに大きいので、現時点でのリスクの換算には使えないのですが、慢性被ばくの場合、急性被ばくよりもリスクが小さくなることは言えそうです。

被爆二世における染色体異常



原爆被爆者の子供における安定染色体異常

異常の起源	染色体異常を持った子どもの数 (割合)	
	対照群(7,976人)	被ばく群(8,322人) 平均線量は0.6グレイ
両親のどちらかに由来	15 (0.19%)	10 (0.12%)
新たに生じた例	1 (0.01%)	1 (0.01%)
不明(両親の検査ができなかった)	9 (0.11%)	7 (0.08%)
合計	25 (0.31%)	18 (0.22%)

放射能影響調査センターHP <http://www.rerf.ac.jp/>

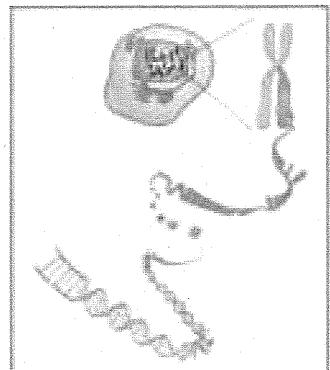
原爆被爆者二世の健康影響調査では、重い出生時障害、遺伝子の突然変異や染色体異常、がん発生率やがんやその他の疾患による死亡率等について調べられていますが、どれも対照群との差は認められませんでした。

安定型染色体異常は細胞分裂で消失する事なく、子孫に伝わるタイプの染色体異常です。両親の少なくともどちらかが爆心地から2,000 m 以内で被ばくした子供8,322人の中には安定型染色体異常を持つ子が18人いました。対照群の子供7,976人からは25人に安定型染色体異常が認めされました。しかしその後の両親および兄弟姉妹の検査により、突然変異の大半は新しく生じたものではなく、どちらかの親が異常を持っていて、それが子に遺伝したものであることが明らかとなりました。こうしたことから、被ばくにより、親の生殖細胞に安定型染色体異常が生じ、二世に伝わるといった影響は、原爆被爆者では認められないことが分かりました。

ヒトでのリスク

■生殖腺(生殖細胞)が放射線を受けると

- ◎遺伝子突然変異
DNAの遺伝情報の変化(点突然変異)
- ◎染色体異常
染色体の構造異常



■遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)

= 約 0.2%/グレイ (1グレイあたり1000人中2人)
(国際放射線防護委員会2007年勧告)

上記の値は、以下のデータを用いて閲覧的に推定されている。

- ・ヒト集団での各遺伝的疾患の自然発生頻度
- ・遺伝子の平均自然突然変異率(セト)、平均放射線誘発突然変異率(マウス)
- ・マウスの放射線誘発突然変異からヒト誘発遺伝性疾患の潜在的リスクを換算する換算係数

■生殖腺の組織加重係数(国際放射線防護委員会勧告)

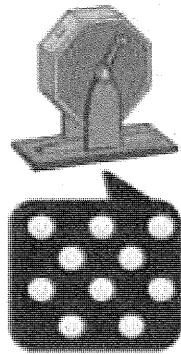
0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

動物実験では親に高線量の放射線を照射すると、子孫に出生時障害や染色体異常などが起こることがあります。しかし人間では、両親の放射線被ばくが子孫の遺伝病を増加させるという直接の証拠はありません。そのため、国際放射線防護委員会では、1グレイ当たりの遺伝性影響のリスクは0.2%と見積もっています。これはがんの死亡リスクの20分の1にも満たない値です。

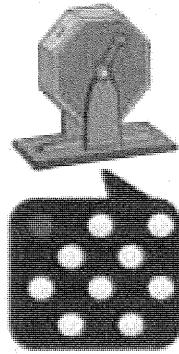
原爆被爆者の二世については、死亡追跡調査、臨床健康診断調査や様々な分子レベルの調査が行われています。こうした調査結果が明らかになるにつれ、従来心配されるほど遺伝性影響のリスクは高くないことがわかつてきましたので、生殖腺の組織加重係数の値も、最近の勧告ではより小さい値に変更されています。

確率的影響のリスク

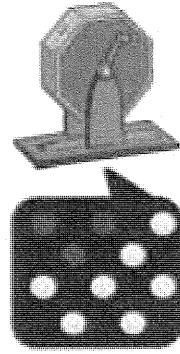
被ばく無し*



少し被ばく



たくさん被ばく

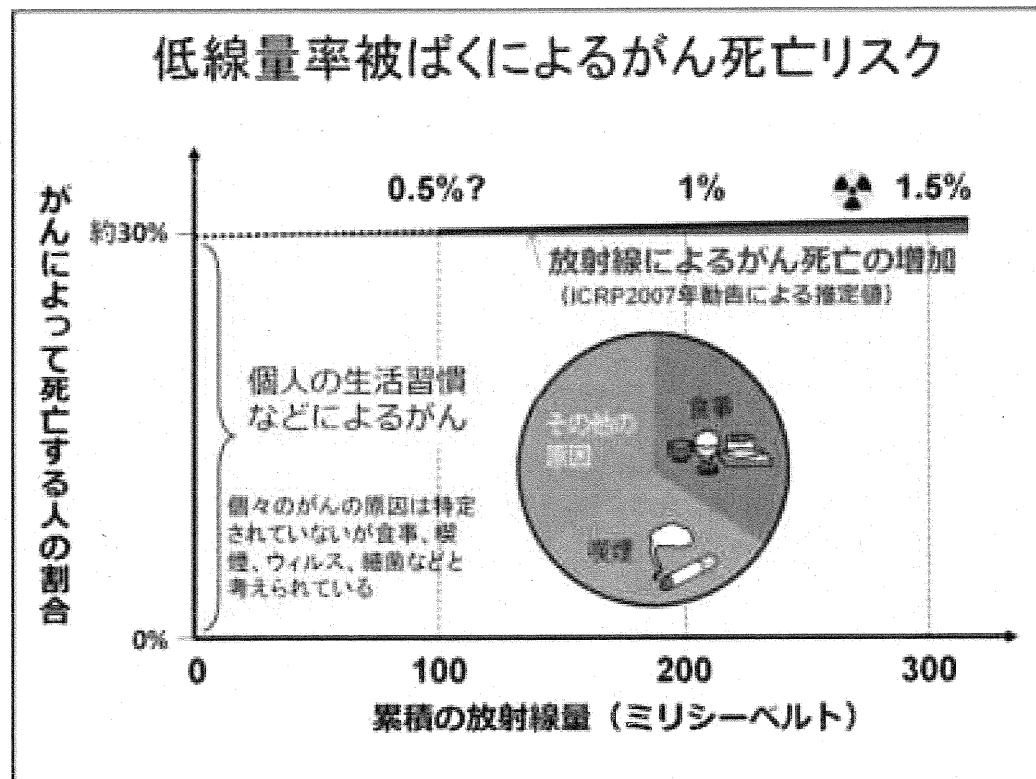


*実際にには、放射線被
ばくのない集団でも、
がんになる人はゼロ
ではありません。

同じように放射線を浴びても
がんになる人とならない人がいる

がんや遺伝性影響といった確率的影響では、同じように放射線を受けた集団の中でも、疾患になる人とならない人がでてきます。しかも誰がなるかという予想はできません。また、たくさん被ばくしたからといって、症状が重くなるわけでもありません。

そのため、がんや遺伝性影響の危険性は、何人中何人が病気になるかという確率で表現されます。



国際放射線防護委員会では、大人も子供も含めた集団では、100 ミリシーベルト当たり0.5%がん死亡の確率が増加するとして、防護を考えることとしています。これは原爆被爆者のデータをもとに、低線量率被ばくによるリスクを推定した値です。

現在、日本人の死因の1位はがんで、大体30%の方ががんで亡くなっています。つまり1000人の集団がいれば、このうちの300人はがんで亡くなっています。これに放射線によるがんでの死亡確率を試しに計算して加算すると、全員が100 ミリシーベルトを受けた1000人の集団では、生涯で305人ががんで死亡すると推定できます。

しかし実際には、1000人中300人と言うベースラインも年や地域によって変動しますし、今のところ病理診断のような方法でがんの原因が放射線だったかどうかを確認することができません。そのため、この100 ミリシーベルト以下の増加分、つまり最大で1000人中5人と言う増加分について実際に検出することは大変難しいと考えられています。

*平成22年度の年齢調整死亡率を県別で比較すると、人口10万対で248.8人(長野県女性)から662.4人(青森県男性)とばらつきますが、そのうちがんが死因である割合を調べると、これも29.0%(沖縄男性)から36.1%(京都女性)とばらつきがみられます。

がんのリスク(放射線と生活習慣)

放射線の線量 (ミリシーベルト)	生活習慣因子	がんの 相対リスク*
1000 - 2000		1.8
	喫煙者	1.6
	大量飲酒(毎日3合以上)	1.6
500 - 1000		1.4
	大量飲酒(毎日2合以上)	1.4
	肥満(BMI≥30)	1.22
	やせ(BMI<19)	1.29
200 - 500		1.19
	運動不足	1.15 - 1.19
	高塩分食品	1.11 - 1.15
100 - 200		1.08
	野菜不足	1.06
	運動喫煙(非喫煙女性)	1.02 - 1.03
100 以下		検出不可能

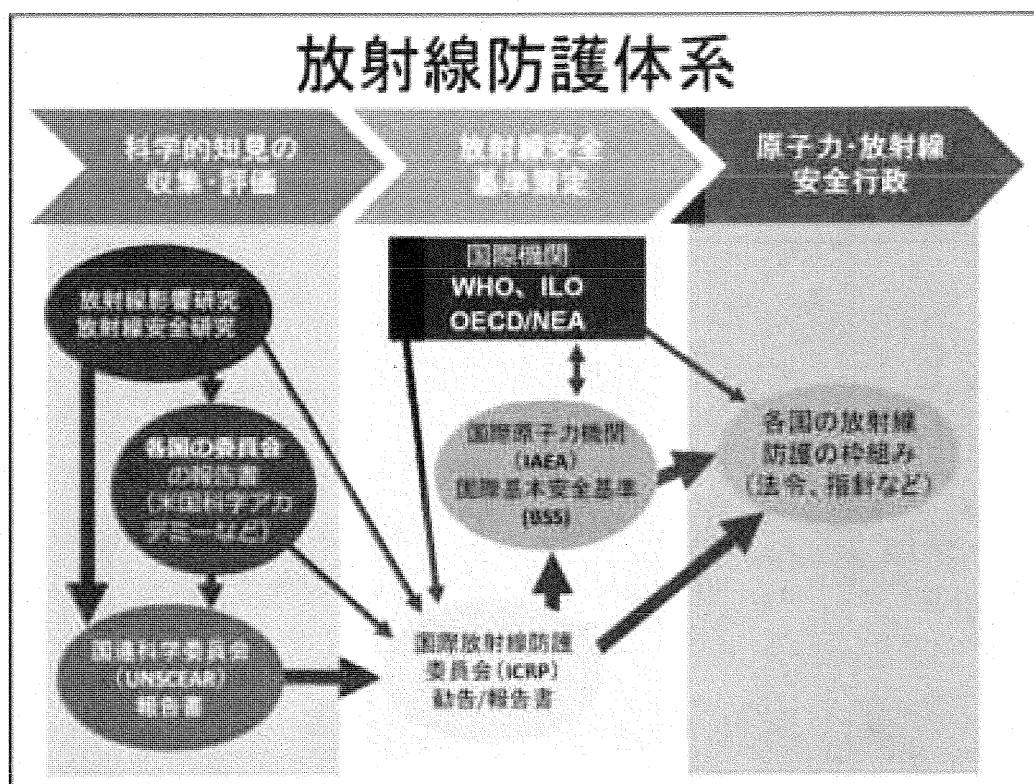
*放射線の発がんリスクは、喫煙・普段の習慣による総合的な被ばくを分析したデータ(国際がん研究会)であり、普段にわたる被ばくの影響を粗略したものではない。

国立がん研究センター

これは国立がん研究センターが発表した放射線の危険度を他の危険因子と比べた表です。

喫煙や大酒の習慣は放射線を1,000 - 2,000mSv被ばくするのと同程度、肥満、やせ、運動不足、高塩分食品などは、200 - 500mSvの放射線被ばくと同程度の発がんリスクがあると推定されています。

一方、100mSv以下に至っては、発がんリスクを検出するのが極めて難しい状況です。



毎年、世界の研究者から、放射線の線源や影響に関する研究が多数発表されます。そこで、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR; アンスケア)は、幅広い研究結果を包括的に評価し、国際的な科学コンセンサスを政治的に中立の立場からまとめ、定期的に報告書の形で見解を発表しています。

国際放射線防護委員会(ICRP)では、国連科学委員会等の報告を参考にしながら、放射線防護の枠組みに関する勧告を行います。ICRPの勧告や、国際原子力機関(IAEA)が策定した国際的な合意形成による基本安全基準を参考に、我が国における放射線防護基準が定められています。

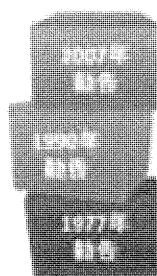
国際放射線防護委員会

国際放射線防護委員会(ICRP)

放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告することを目的とする。主委員会と5つの専門委員会(放射線影響、線量概念、医療被ばくに対する防護、勧告の適用、環境の放射線防護)で構成されている。

	1977年 勧告	1990年 勧告	2007年 勧告
線量限度 (職業人)	50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年	100mSv/5年 かつ 50mSv/年
線量限度 (公衆)	5mSv/年	1mSv/年	1mSv/年

mSv・ミリシーベルト



1928年、医療従事者を放射線の障害から防ぐために国際X線ラジウム防護委員会が設立されました。1950年には、国際放射線防護委員会(ICRP)に改組され、放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告する機関という重要な役割を担っています。近年では1977年、1990年、2007年に勧告を行っています。ICRPが勧告を発表すると、多くの国では放射線防護関係の法令の見直しを行います。

ICRPの勧告の骨格は、原爆被爆者の疫学調査をはじめとする広範な科学的知見を基に、1990年以降、確定的影响と確率的リスクの総合的な推定値は基本的には変わらないとして、2007年勧告では、これまでの防護体系がほぼ踏襲されています。

線量限度の適用

管理された放射線源に適用

○作業者（実効線量）

1年間 50 ミリシーベルト かつ

5年間 100 ミリシーベルト

○一般公衆（実効線量）

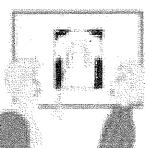
1年間 1 ミリシーベルト



（例外）患者の医療の被ばくには適用しない

・個々のケースで正当化

・防護の最適化が重要



放射線防護の原則の三つ目は、線量限度の適用です。国際放射線防護委員会の2007年勧告では、放射線作業(緊急時の作業を除く)を行う職業人の実効線量の限度は5年間で100ミリシーベルト、特定の1年間に50ミリシーベルトと定められています。

一般公衆の場合、実効線量限度が年間1ミリシーベルトです。

線量限度は、管理の対象となるあらゆる放射線源からの被ばくの合計が、その値を超えないように管理するための基準値です。線量限度を超えるければそれでよいのではなく、防護の最適化によってさらに被ばくを下げる努力が求められます。ですから、そこまでは被ばくしてよいという値ではなく、安全と危険の境界を示す線量でもありません。

また、患者の医療被ばくには線量限度を適用しません。これは、医療被ばくに線量限度を適用してしまうと、必要な検査や治療を受けられないケースが生じ、患者の便益を損なうおそれがあるからです。

勧告の目的

勧告の目的(IGCRP 2007年勧告)

1)人の健康を防護する

- ・放射線による被ばくを管理し、制御することにより、確定的影響を防止し、確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させる

2)環境を防護する

- ・有害な放射線影響の発生の防止、または頻度の低減

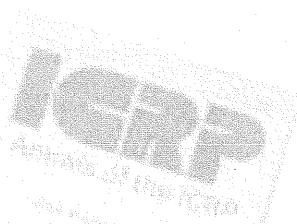
国際放射線防護委員会の勧告の目的は、「放射線被ばくに関連して望ましい人間の努力および行動を不当に制限せずに、放射線被ばくによる有害な影響から人間と環境を守るための適正な水準の防護に寄与すること」とされています。

この目的達成には、「放射線被ばくとその健康影響に関する科学的知見は必要な前提条件ではあるが、防護の社会的・経済的側面にも考慮しなければならず、この点は、危険の管理に関する他の分野と異なるものではない」と、2007年勧告には記載されています。

勧告の主目的は、ヒトの健康の防護にありますが、2007年勧告では、新たに環境を防護するという目的が追加されました。

防護の三原則

- ・正当化
- ・防護の最適化
- ・線量限度の適用



正当化とは



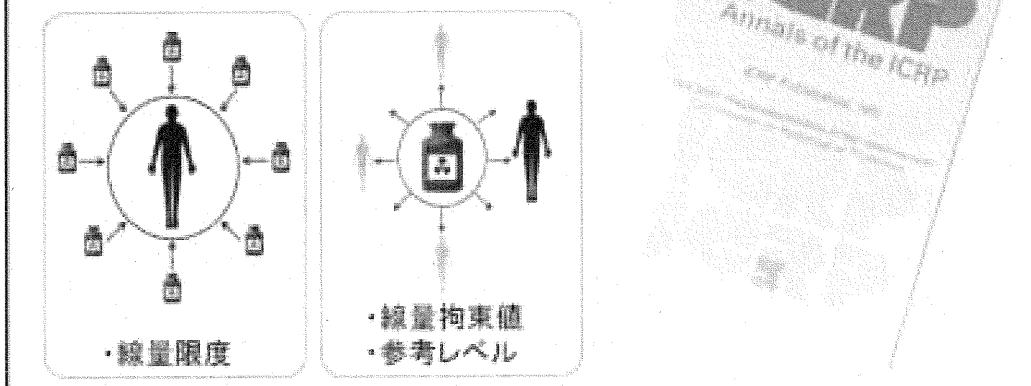
がんや遺伝性影響では、影響の現れ方が確率的です。また現在の放射線防護においては、低線量域でも直線しきい値なし(LNT)モデルを適用しますので、安全と危険を明確に区分することはできません。そこで、どんなに小さくとも有限のリスクがあるものとして、「リスクを容認できる」ことを基準に、防護のレベルが考えられています。これが放射線防護の原則として「正当化」「防護の最適化」「線量限度の適用」が重要であると考えられている基盤となります。

防護の原則の一つ目は正当化です。放射線を使う行為は、もたらされる便益(ペネフィット、メリット)が放射線のリスクを上回る場合のみ認められるという大原則です。

防護の最適化

防護の最適化とは個人の被ばく線量や人数を、経済的及び社会的要因を考慮に入れたうえ、合理的に達成できるかぎり低く保つことである。

この原則をALARA (As Low As Reasonably Achievable)
アララの原則という



放射線防護の原則の二つ目は防護の最適化です。放射線を伴う行為のメリットが放射線のリスクを上回る場合は、合理的に達成可能な限り被ばく量を減らして、放射線を利用します。この原則は、英語の頭文字から「ALARA(アララ)の原則」と呼ばれています。防護の最適化とは、社会・経済的なバランスも考慮しつつ、できるだけ被ばくを少なくするよう努力するということで、必ずしも被ばくを最小化することではありません。

防護の最適化を進めるために、利用されるのが、線量拘束値や参考レベルです。線量拘束値や参考レベルは特定の線源からの個人に対する線量を制限するために用いられます。一方、線量限度は、規制された線源からの被ばく量の総和を制限するためのものです。

生物学的側面

放射線の健康影響には、確定的影响と確率的影响がある

- ・約100ミリグレイまでの吸収線量域では、どの組織も臨床的に意味のある機能障害を示すとは判断されない
- ・約100ミリシーベルトを下回る線量域では、確率的影响の発生率は臓器や組織の等価線量の増加に比例して増加すると仮定する
(直線しきい値なしモデル=LNTモデルの採用)
- ・固形がんに対する線量・線量率効果係数は「2」
- ・低線量において、直線的反応を仮定すると、がんと遺伝性影響による致死リスクは1シーベルト当たり約5%

国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告の目的のひとつは、確定的影响の発生防止にあります。そこで、しきい値の最小値である100ミリグレイ(≈100ミリシーベルト)近くまで年間線量が増加した場合は、ほとんどいかなる事情においても防護対策を導入すべきと考えられています。

年間およそ100ミリシーベルトを下回る場合は、確率的影响の発生の増加は低い確率であり、バックグラウンド線量を超えた放射線量の増加に比例すると仮定する「直線しきい値なし(LNT)モデル」が、低線量・低線量率での放射線防護の管理に実用的で、予防原則の観点からもふさわしいと判断しています。

ICRPが科学的根拠としている原爆被爆者のデータは、一回の被ばくです。しかし管理すべき被ばくのほとんどは、長期間の少しづつの被ばくです。そのため、低線量・低線量率による影響軽減分の補正を行っています。動物実験から様々な数値が報告されていますが、防護のためには係数として2を使うと定めています。つまり一回被ばくに比べ、少しづつの被ばくでは、同じ総線量を受けた場合の影響の出方が半分になるということです。

こうした補正を行った結果、がんと遺伝性影響による致死リスクの増加は、低線量や低線量率の場合1シーベルト当たり約5%になります。

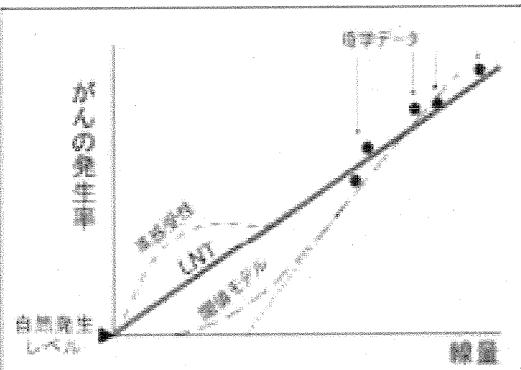
LNTモデルをめぐる論争

○支持:

米国科学アカデミー(2006)
放射線被ばくには「これ以下なら
安全」と言える量はない

○批判的:

フランス医学・科学アカデミー(2005)
一定の線量より低い放射線被ばく
では、がん、白血病などは実際に
は生じず、LNTモデルは現実に合
わない過大評価



⇒ICRPは、放射線防護の目的上、
単純かつ合理的な仮定としてLNTモデルを採用

科学的な議論としては、100 ミリシーベルト以下の確率的影響のリスク評価に直線しきい値なし(LNT)モデルが妥当であるかどうかの決着はついてはいません。例えば、米国の科学アカデミーでは、2006年にLNTモデルは科学的にも妥当との見解を発表しました。100 ミリシーベルト以下でもがんリスク上昇がみられる疫学的証拠があるとしています。

一方、フランスの医学アカデミーと科学アカデミーは共同で、一定の線量より低い被ばくでは、がん、白血病などは實際には生じず、LNTモデルは現実に合わない過大評価、という見解を発表しました(2005年)。ここでは、インドや中国の高自然放射線地域の住民のデータに発がんリスクの増加が見えないこと、低線量放射線に特異的な防御的生物反応が次々と見つかったことが根拠となっています。

ICRPの勧告では、LNTモデルと線量・線量率効果係数の2を用いることで、放射線防護の実用的目的、すなわち、低線量被ばくのリスクの管理に対し慎重な根拠を提供するとしています。

事故時、復旧時の規準

国際放射線防護委員会2007年勧告		東電福島原発事故での対応
職業被ばく	救命活動 (情報を知らされた志願者)	他の者への利益が救命者のリスクを上回る場合は線量制限なし
	他の緊急救助活動	~500 mSv
公衆被ばく	緊急被ばく状況	20~100 mSv/年の範囲で決める
	復旧時 (現存被ばく状況)	1~20mSv/年の範囲で決める
※参考:ヨーロッパルク		厚生労働省電離放射線障害防止規則の特例 従来の100 mSvから250 mSvに引き上げ ・平成23年11月1日以降、原則100 mSvに戻すことが決められた。
		例 計画避難地域での避難の規準: 20 mSv/年
		例 土壤の除染のための規準: 1 mSv/年

国際放射線防護委員会の2007年勧告の国内法令取り入れの審議中に、東京電力福島第一原子力発電所事故が起こりました。事故によって被ばく状況が変わり、2007年勧告を参考に、日本の法令にはない参考レベルの考え方を利用するといった対応がとられました。また既に放射線審議会での議論を終えていた緊急時の職業被ばくの線量限度については、100ミリシーベルトから250ミリシーベルトに特例として変更し対応しましたが、原子炉が安定的な冷温停止状態を達成するための工程であるステップ2が完了したことを踏まえて、この特例も廃止されました。

公衆の被ばくの線量限度

国際放射線防護委員会2007年勧告		東電福島原発事故での対応
計画被ばく状況 (平常時)	1 mSv/年	mSv:ミリシーベルト

国際放射線防護委員会(ICRP)は一般住民の平常時の線量限度は、1年当たり1ミリシーベルトと勧告しています。1ミリシーベルトは、放射線影響という観点からは非常に低い線量であり、これを超えたからすぐに危険であるとか、健康影響が出るとか、そういう線量ではありません。

参考レベルを用いた被ばくの低減

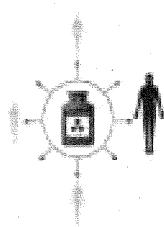
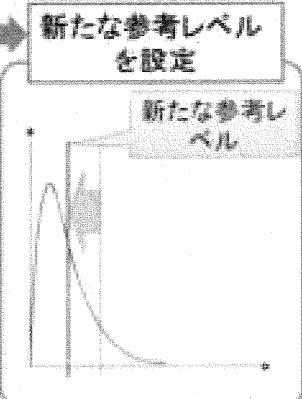
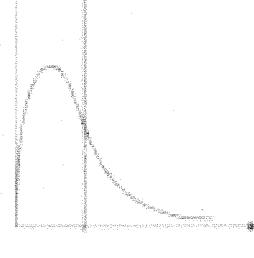
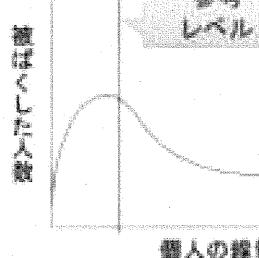
参考レベルを用いた防護の最適化

最初の状態

参考
レベル
の設定

線量低減が
進んだ状態

新たな参考
レベル
を設定



東京電力福島第一原子力発電所事故による被ばくを合理的に低減する方策を進めるために、新たな概念である参考レベルが用いられています。参考レベルは線量限度とは異なるものです。

一人ひとりが受ける線量がばらついている状況において、不当に高い被ばくを受ける人がいないようにするのが参考レベルの目的です。全体の防護方策を考える際に、参考レベルを超えて被ばくするおそれのある人がいる場合には、それらの人々に重点的に対策を講じます。その結果、集団内の線量分布が改善し、参考レベルよりも高い線量を受ける人がほとんどいない状況が達成されたら、必要に応じてさらに低い参考レベルを設定して線量低減を進めます。このように、状況に合わせて適切なレベルを設定することで、被ばく低減を効率的に進めることができます。

緊急被ばく状況、現存被ばく状況

被害の範囲の把握が困難

緊急被ばく状況

- 参考レベル: 20~100mSv/年の範囲
Reference level in the 20-100 mSv/year range
- 合理的に達成可能な限り低く(ALARA)
被ばくを低減・維持するための防護方
策を講じる緊急性がある状態
Protection actions to reduce and maintain
exposure ALARA are driven by urgency
- 放射線状況の分析・把握
Characterization of the radiological situation
- 放射線モニタリングの整備、
健康調査、食品管理
Setting up radiation monitoring, health
surveillance and foodstuffs management

現存被ばく状況

- 参考レベル: 1~20mSv/年のうちの低線
量域。長期目標は1mSv/年。
Reference level in the lower part of
the 1-20 mSv/year range with the long term goal
of 1 mSv/year
- 生活環境の改善のために、合理的に
達成可能な限り低く(ALARA)被ばくを低
減・維持するための防護方策を講じる
必要がある状態
Protection actions to reduce and maintain
exposure ALARA are driven by the improvement
of living conditions
- 自助努力による放射線防護や放射線
防護の文化の形成
Development of self-help protection and
radiation protection culture

Locharit, J (2012) 第27回原発シンポジウム資料より

原子力災害の場合、発生直後の放射線状況がわからない「緊急被ばく状況」下では、100mSv以上の被ばくは回避することが優先されます。放射線状況が把握され、線量が大きく動かないことが確認された地域は現存被ばく状況と見なされ、より低い参考レベルが設定され、線量低減が図られます。

福島原子力発電所事故では、自然災害による被害と重なり、避難や除染、救援活動が思うように進まず、被災者に心身ともに大きなストレスを与えました。また緊急被ばく状況下での初期被ばく量の推定が難しいことも、多くの人が放射線影響に強い不安を感じている原因となっています。

福島原発事故対応と地域社会(1)

ステークホルダの対話からの結論(ICRPの見解)

- 参加者の間では、住民が事故の影響に関しての情報を理解し、評価するため、そして放射線に曝ぼくを減らすために周知された措置を行うためには、放射線防護の文化の醸成が重要であることが認識された。
Participants recognized the importance of developing radiation protection culture to allow inhabitants to understand and evaluate the information on the consequences of the accident and to take informed actions for reducing radiological exposure.
- 住民がどこでいつどのように放射線に曝ぼくするかを知ることができるように、放射線状況についてのより詳しい評価が必要であることが認識された。
They recognized the need for a more detailed characterization of the radiological situation to allow people to know where, when and how they are exposed.
- 若い世代の県外避難と農業放棄の加速がもたらす将来の人口動態についての強い危機意識が、参加者により強調された。
They underlined their concern about the future demographic pattern due to an acceleration in the younger generations leaving the prefecture and abandoning farming activities.
- 参加者は、汚染地域の人々、とりわけ結婚適齢期の人々が結婚し、子供を持つことに対する差別の問題について強く語った。
They discussed with great emotion the issue of discrimination of people in the affected areas, especially for those of pre-marital age to marry and have children.
- 伝統的でありかつ一般的に行われている山菜の採集は、福島のコミュニティーの骨を維持する上での文化的に重要な位置づけられた。
The preservation of the traditional and popular activity of gathering wild vegetables (yamazuke) was described as culturally important in maintaining the essence of the Fukushima community.

Lochard, I (2013) 第27回原発シンポジウム資料より

被災者の心理的支援には、現実的な問題の解決を助けたり、対処に役立つ情報を提供することが有効であることが知られています。

原子力災害の場合は、問題となる放射線影響を理解したり、防護方策を考える上で、専門的な知識を必要とします。

チエルノブリ事故でも、そして福島でも、専門家と地域住民との対話が行われていますが、専門家からのサポートにより、被災者自身が放射線の問題を解決できるようになると、心理的ストレスの低減にも大きな効果があります。

福島原発事故対応と地域社会(2)

ステークホルダの対話からの提案(ICRPの見解)

- 地域コミュニティと住民により提案された生活環境改善のためのプロジェクトを支援する仕組みを確立する。
Develop a mechanism to support projects proposed by local communities and residents to improve living conditions.
- 復興のための活動を決定するにあたってコミュニティの優先度が考慮されるよう支援し、地域事情に関する彼らの認識に根差して、現在と将来の利益をサポートする。
Support community expectations that decisions on recovery actions reflect their priorities, be based on their knowledge of the local context, and support their current and future interests.
- 人々が自ら判断することができるよう個人の内部被ばくと外部被ばくを測定すること、さらにその情報と機器を供与することの努力を継続する。
Continue efforts to monitor individual internal and external exposures, and to provide information and tools in order to help people to make their own judgments.
- 食品問題に関するすべての関係者(生産者、流通関係者、消費者)の間で対話を恒久的に継続するためのフォーラムを創る。
Create a forum for a permanent dialogue between all concerned parties (producers, distributors and consumers) on the issue of foodstuff.
- 子供たちの間で放射線防護の文化を形成することに、父母、祖父母そして教師の関わりを促す。
Promote the involvement of parents, grand-parents and teachers to develop radiation protection culture among children.
- 国内外のステークホルダとの協力関係と対話を強化する。
Strengthen dialogue and cooperation with stakeholders elsewhere in Japan and abroad.

Lochard, I. (2013) 第27回原安協シンポジウム資料より

87

放射線防護の専門家と福島原発の被災者との対話の成果として、ICRPから具体的な提案が行われています。その中には、地域社会の優先の反映、被ばく線量に関する情報と機器の提供、食品に関する継続的フォーラムの創生、放射線防護の文化形成などが含まれています。

平成24年4月からの新しい基準値

- 暫定規制値に適合している食品は、健康への影響はないと一般的に評価され、安全は確保されていたが、より一層、食品の安全と安心を確保する観点から、暫定規制値で許容していた年間線量5ミリシーベルトから年間1ミリシーベルトに基づく基準値に引き下げた。

○放射性セシウムの暫定規制値※1 ○放射性セシウムの新基準値※2

食品群	規制値
飲料水	200
牛乳・乳製品	200
野菜類	
韓類	500
肉・卵・魚・その他の	

※1 放射性ストロンチウムを含めて規制値を設定

食品群	基準値
飲料水	10
牛乳	50
一般食品	100
乳児用食品	50

※2 放射性ストロンチウム、ブルトニウム等を含めて基準値を設定



24年4月からの新しい基準値が決められました。これまでの暫定規制値に適合している食品についても、健康への影響はないと一般的に評価され、安全は確保されていましたが、より一層食品の安全、安心を確保する観点から見直しを行いました。暫定規制値の設定の考え方、根拠となっているのが、暫定規制値の上限いっぱいまで汚染された食物を食べ続けたとする場合に、1年間にそこから受けれる線量が5ミリシーベルトであったものを、新しい基準値を設定するに当たって、この上限を年間食べ続けても1ミリシーベルトを超えないという考え方になっています。

暫定規制値では5項目に分類されていた食品が新しい基準値では4項目に再分類されました。最も摂取量の大きい飲料水については10ベクレル/キログラムといいう、暫定基準値より20分の1という厳しい値が設定されました。また乳幼児による摂取の多い牛乳は、50ベクレル/キログラムに設定されました。乳児用食品という区分が新たに設定され、牛乳と同じ50ベクレル/キログラムとされました。それ以外の一般食品すべてについては100ベクレル/キログラムとなっています。

【参考】食品区分について

● 基本的な考え方

特別な配慮が必要と考えられる「飲料水」、「乳児用食品」、「牛乳」は区分を設け、それ以外の食品を「一般食品」とし、全体で区別とする。

食品区分	設定理由	含まれる食品の範囲
飲料水	1)すべての人が摂取し代替がきかず、摂取量が大きい。 2)WHOが飲料水中の放射性物質の指標値（10ベクレル/kg）を掲示 3)水道水中の放射性物質は個別な管理が可能	直接飲用する水、調理に使用する水及び水との代替関係が強い飲用茶
乳児用食品	1)食品安全委員会が、「小児の期間については、感受性が成人より高い可能性」を指摘	1)健康保険法（平成14年法律第103号）第25条第1項の規定に基づく特別用途表示食品のうち「乳児用」に該するものの表示許可を受けたもの 2)乳児の飲食に供することを目的として販売するもの
牛乳	1)子どもの摂取量が特に多い 2)食品安全委員会が、「小児の期間については、感受性が成人より高い可能性」を指摘	1)乳及び乳製品の成分規格等に関する省令（昭和26年厚生省令第52号）の乳、牛乳、低脂肪乳、加工乳など、及び乳飲料
一般食品	以下の理由により、「一般食品」として一括して区分 1)個人の食習慣の違い「摂取する食品の幅り」の影響 を最小限にすることが可能 2)国境にとって、分かりやすい規制 3)コーデックス委員会などの国際的な考え方と整合	上記以外の食品

4

食品はこの4つの区分に分けられています。飲料水については、たくさんの量をすべての人が摂取をするということで、1つの独立した区分にしています。大体1人、1日2リットルぐらいの水を飲みます。WHOが飲料水中の放射性物質の指標値を10ベクレルと示しており、これに倣うという考え方です。それからもう1つ大きなポイントとして、水の中のセシウムは泥に吸着しますので、浄水する過程で泥を落とすとセシウムも取れるということで、この10という厳しい基準を設定しても十分にそれが管理できるということで、飲料水は一番厳しい10ベクレルという数字を設定しました。実際にも、これを上回るというようなことは出ていないという状況です。直接飲む水に近いもの、お茶についても、同じ基準になっています。

乳児用食品と牛乳については、もともと子どもの摂取量が多いこと、食品安全委員会の評価の中で、子どもの期間については感受性が成人より高い可能性があるという指摘があったといったことを踏まえて、より一層の配慮ということで、一般食品よりも低い基準値にするというカテゴリーを設けています。

それ以外が一般食品として、すべてひとくくりに区分されています。ウクライナではもっときめ細かく区分しており、そのほうが良いという意見もありますが、設定の考え方としては、ひとくくりにしたほうが安全なのではないかということで、ひとくくりにしています。その理由は、個人の食習慣の違いの影響を最小限にできるということで、肉と魚でもしも違う基準を設けるとすると、基準がより高いほうのものをたくさん食べると被ばく量が多くなってしまうというようなことがありますけれども、一般食品として全部ひとくくりになってしまいますので、どんな食品を食べても基準値が満たされていれば、そしてトータルの食べる量が同じであれば、どんな方にとっても安全な基準になるということで、そういう考え方でひとくくりにしています。また、国民にとってそのほうが分かり

やすく、かつ、国際的な考え方とも整合が取れています。

【参考】「乳児用食品」「牛乳」の区分について

● 基本的な考え方

「乳児用食品」：「牛乳」：「牛乳」を販売する機能性の高いもの

「乳児用食品」の区分に含める食品

- 健康増進法第26条第1項の規定に基づく特別用途表示食品のうち「乳児用」に適する旨の表示許可を受けたもの

- 乳児用調製粉乳



- 乳児用飲食に供することを目的として販売するもの
→ 消費者が表示内容等により乳児向け（1歳未満）の商品であると認識する可能性が高いものを対象とする。

- 乳幼児用粉乳

・ フィローラップミルク等
・ ホームミルク等



- 乳幼児用食品

・ 牛乳等



- ベビーフード

・ 牛乳等を材料とするもの



- 乳幼児向け飲料

・ 乳幼児に適する旨の表示
・ 本の機能を活用



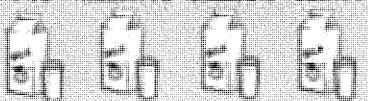
- その他

・ 国家検定マーク、栄養基準等



「牛乳」の区分に含める食品

牛乳、低脂肪乳、加工乳等 乳飲料



- 「牛乳」の区分に含めない食品

→ 「一般食品」として扱う

乳酸菌飲料 完熟乳 チーズ



乳児用食品と牛乳については、もともと子どもの摂取量が多いことであるとか、それから食品安全委員会の評価の中で、子どもの期間については感受性が成人より高い可能性があるという指摘があったといったことを踏まえて、より一層の配慮ということで、一般食品よりも低い基準値にするというカテゴリーを設けています。

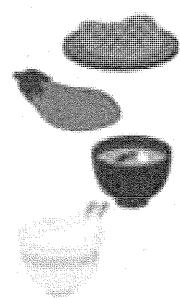
ここでは乳児用食品と牛乳がどういう範囲のものなのかということを示しています。

食品からの被ばく線量(計算例)

(例) 成人がセシウム137を100 Bq/kg含む食品を0.5 kg摂取

$$100 \text{ Bq/kg} \times 0.5 \text{ kg} \times 0.013 = 0.65 \mu\text{Sv}$$
$$= 0.00065 \text{ mSv}$$

実効線量係数($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$)



	ヨウ素131	セシウム137
3ヶ月児	0.18	0.021
1歳児	0.18	0.012
5歳児	0.10	0.0096
成人	0.022	0.013

Bq: ベクレル
mSv: マイクロシーベルト
mSv: ミリシーベルト

ICRP Database of Dose Coefficients CD-ROM, 1998

例えば大人がセシウム137を含んだ飲食物を摂取した場合の線量を計算してみます。
1kg当たり500ベクレルのセシウム137を含んだ食品を0.5kg食べたとします。実際に口に入ったセシウム137の量は、250ベクレルになります。この量に実効線量係数を乗じることで、預託実効線量を求めることができます。

実効線量係数は、放射性物質の種類ごと、経路ごと(吸入摂取か経口摂取か)、年齢ごとによって、細かく定められています。

基準値の計算の考え方

3. 年齢区分ごとに限度値を計算

介入線量レベル
1mSv/年

暫定規制値より
年齢区分を
更に細かく指定

飲料水の線量(約0.1mSv)を引く

一般食品に
割り当てる
線量を決める
(約0.9mSv)

年齢区分別の摂取量と
換算係数(実効線量係数)
を考慮し限度値を算出

セシウム以外の放射性物質も考慮

年齢区分	摂取量	限度値(ベクレル/kg)
1歳未満	男女平均	460
1歳～6歳	男	310
	女	320
7歳～12歳	男	190
	女	210
13歳～19歳	男	120
	女	150
19歳以上	男	130
	女	160
妊婦	女	160
	男	120
	最小値	120

基準値
100ベクレル/kg

すべての年齢区分における限度値のうち、最も厳しい(小さい)値から基準値を設定

- どの年齢の方も考慮された基準値となる。
- 乳幼児にとっては、限度値と比べて大きな余裕がある。

4. 牛乳・乳児用食品の基準値について

子どもへの配慮の観点で設ける食品区分であるため、万が一、これらの食品のすべてが基準値レベルとしても影響のない値を基準値とする。



→ 一般食品の100ベクレル/kgの半分である50ベクレル/kgを基準値とする。

基準値に対するもう一つの考え方があります。年齢を考慮した区分毎に被ばく線量の限度を割り出すという考え方です。お手に取せてください。次のスライドにそういう一般食品に割り当たされる許容線量は飲料水の割り当て分を引いた約0.9ミリシーベルトで年齢、性別ごとにこの限度値を求めるということをしました。

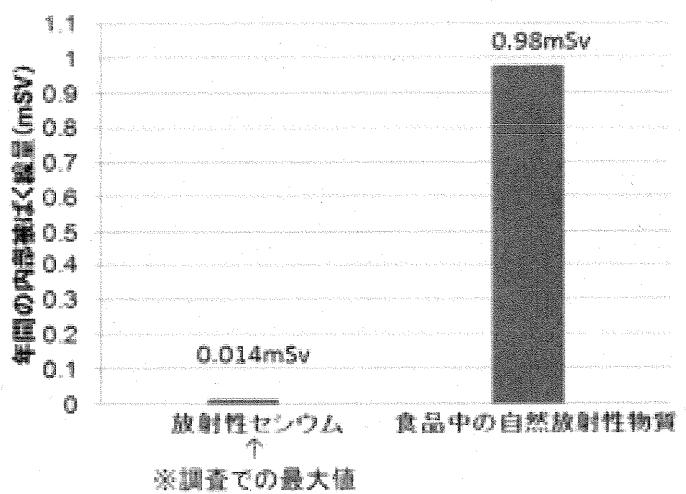
年齢区分別に、年間の摂取量と各年齢区分に相当する実効線量係数を元に求められた値が限度値(Bq/kg)として表されています。その結果、年齢が13歳～19歳までの男性が最も摂取量が多いため、限度値は最も厳しい「120Bq/kg」という値になりました。それ以外の年齢の方についても同基準値の設定において、この限度値が十分に確保でき、この年齢層の人でも十分に安全が確保されたために、更に厳しく「100Bq/kg」に設定されました。

に、すなわち安全なほうに切り下げる、基準値100というのを設定をしました。

よく尋ねられるのは、赤ちゃんのほうが感受性が高いのではないかということをおかれますけれども、感受性だけではなくて、摂取量とか代謝とかいろいろなものが影響するので、実際にはICRPの換算係数を用いると、1歳未満の方のほうが限度値というものは余裕があるんですと。基準値と比べて、基準値というのは限度値と比べて余裕があるんですということをお話をさせていただいています。仮に100の換算係数上りもさらに数倍、1歳未満の方の感受性が高いということが仮に分かったとしても、基準値100ということであれば、今の1ミリシーベルトの基準値の設定の考え方で安全性が確保される、そういうことになります。

それから牛乳と乳児用食品の基準値でなければども、これはどうして50になったかということですが、子どもへの配慮ということで、万が一これらの食品のすべてが基準値レベルであったとして、すなわちすべてが国産で、すべてが汚染されていたというふうに観察をしたとしても、影響がない値を基準値というふうにしていて、従って100ベクレルの半分の50ベクレルという、こういう基準値になつたということです。

日常食に含まれる放射性物質による被ばく線量



「福島県における日常食の放射線モニタリング調査」より
<http://www.pref.fukushima.jp/j/nitijyousoku0924.pdf>

「内閣官房原子力災害専門家グループからのコメント」より

福島第一原発事故に由来する放射性物質による被ばくは、もともと食品に含まれている自然の放射性物質による被ばく線量に比べて非常に低いという調査報告があります。

この調査は福島県内7地域(県北、県中、県南、会津、南会津、相双、いわき)で行われました。この調査では、調査対象者が外食や間食も含めて1日に飲食したもの(母乳などは対象外)と同じものを用意し、良く混ぜてからゲルマニウム半導体検出器で測定しています。(1日の食事量が少ない場合(1日で2リットル未満)は、数日分をまとめて測定し、1日当たりの食事量[kg/人・日]に換算。)この日常食を1年間食べ続けたとして、放射性セシウム摂取量から預託実効線量を計算しています。なお、食品中の自然放射性物質における値は「新版・生活環境放射線(国民線量の算定)」(原子力安全研究協会、2011年12月)より引用したものです。

食品の規制値の比較

食品中の放射性セシウム濃度の規制値

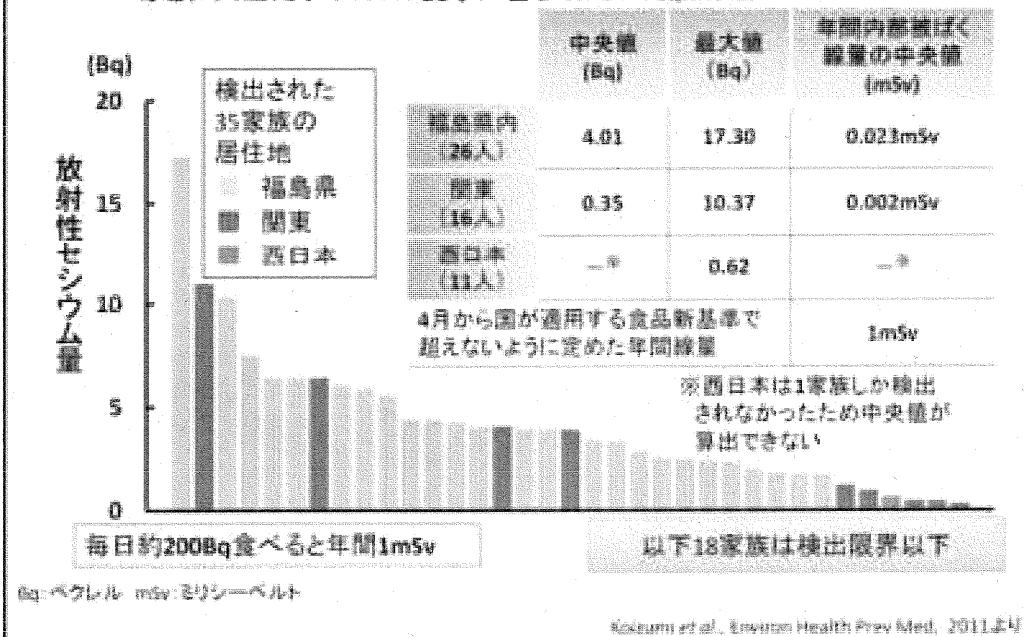
	日本 基準値 (2012.4~)	コーデックス 委員会	EU(域内の 流通品)	アメリカ	韓国
飲料水	10	1000	1000	10	370
牛乳	50	1000	1000	1200	370
一般食品	100	1000	1250	1200	370
乳児用食品	50	1000	400	1200	370

単位はベクレル/キログラム。

平成24年3月までの「暫定規制値」に適合している食品においても、健康への影響という面では安全は十分に確保されていました。しかし、より一層食品の安全、安心を確保する観点から見直しされて、平成24年4月1日より新たに「基準値」が設定されました。暫定規制値では5項目に分類されていた食品が新しい基準値では4項目に再分類されました。最も摂取頻度の高い「飲料水」については10 Bq/kgと従前の20分の1という非常に厳しい数値が設定されました。また、乳幼児による摂取量が多い「牛乳」については50 Bq/kgに下げられ、同時に、乳児の安全生産の面から「乳児用食品」という新たな項目が設定され、牛乳と同じレベルの50 Bq/kgとされました。それ以外の「一般食品」すべてについては100 Bq/kgという値が設定されました。一般食品として全部を一括りにした背景には、個々人の食習慣の違いから来る追加被ばく線量の差を最小限にするという考え方がありました。どんな食品を食べても、それらが基準値内であれば安全は確保できるという値として設定されました。

流通食品の摂取による被ばく線量

家族1人当たりの1日の食事に含まれていた放射性セシウムの量



現在流通している食品を日常的に摂取した場合に、内部被ばく線量はどれ位になるかを調査した結果が示されました。

福島県、関東圏、西日本圏の3地域の一般の家庭で用意される食事について、それに含まれる放射性セシウムの量が調べられました。

その結果、福島県内の家庭で出される1日分の食事には「約4Bqのセシウム(中央値)」が含まれている事がわかりました。そうした食事を1年間食べ続けた場合でも、セシウムの被ばく線量は年間で「0.023mSv」程度で、年間の許容線量(1mSv)の「43分の1」に収まるとのことです。含有量が多い場合(最大値の17.3Bq)でも「0.099mSv」で許容線量の「10分の1」位です。

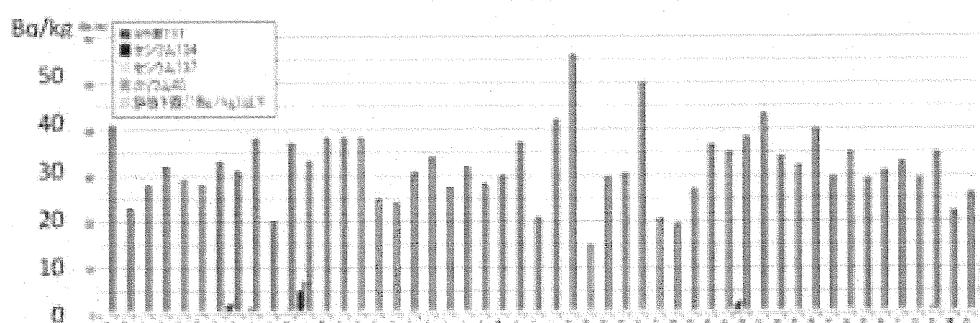
関東圏の家族の食生活では「年間でも0.002mSv」程度で、年間許容線量の500分の1程度です。

食品を介した内部被ばく

測定方法：陰嚮方式

毎食家族人數より1人分余計に食事を作り、それを2日分(6食+おやつや飲料)保存して検査センターに送り、検査センターでミキサーで均一に混ぜ、そのうち1キログラムを検査資料として測定する。

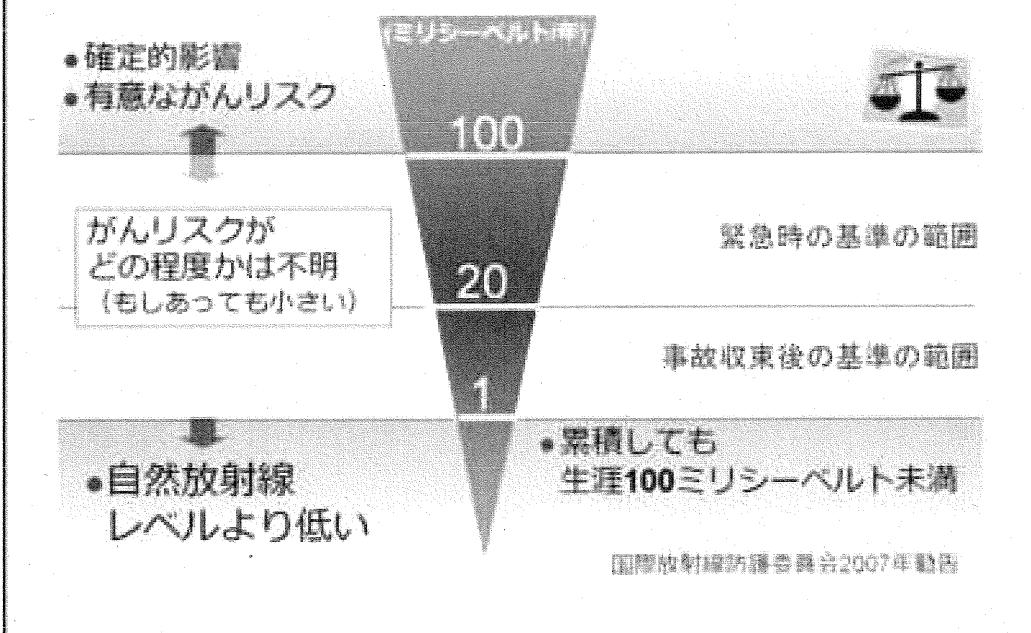
陰嚮方式放射能量調査結果 (2012年4月12日 更新)



http://www.fukushima.coop/kagezen_news/kagezen/index.html から図を抜粋

コープふくしまで、一般家庭の食事の中の放射能を調べた報告です。緑の棒は、自然界に存在するカリウム40の放射能量を示します。3カ所にある低い黄色と茶色の棒がセシウムの放射能量を示しています。事故後に行われた出荷制限などにより、放射性セシウムの量は自然に存在する放射性物質よりも低く抑えられていることがわかります。

被ばく線量と健康リスクとの関係



100 ミリシーベルト以上の被ばくでは、確定的影響が生じたり、がんリスクの明確な上昇が起こります。そこで、緊急時においては、まずは重大な身体的障害を防ぐため、100 ミリシーベルト以上の被ばくをしないようにします。事故収束後は、将来起こるかもしれないがんのリスクの増加ができるだけ低く抑えるため、年間1～20 ミリシーベルトの間に参考レベルを定め、それ以上の被ばくをしないようにします。

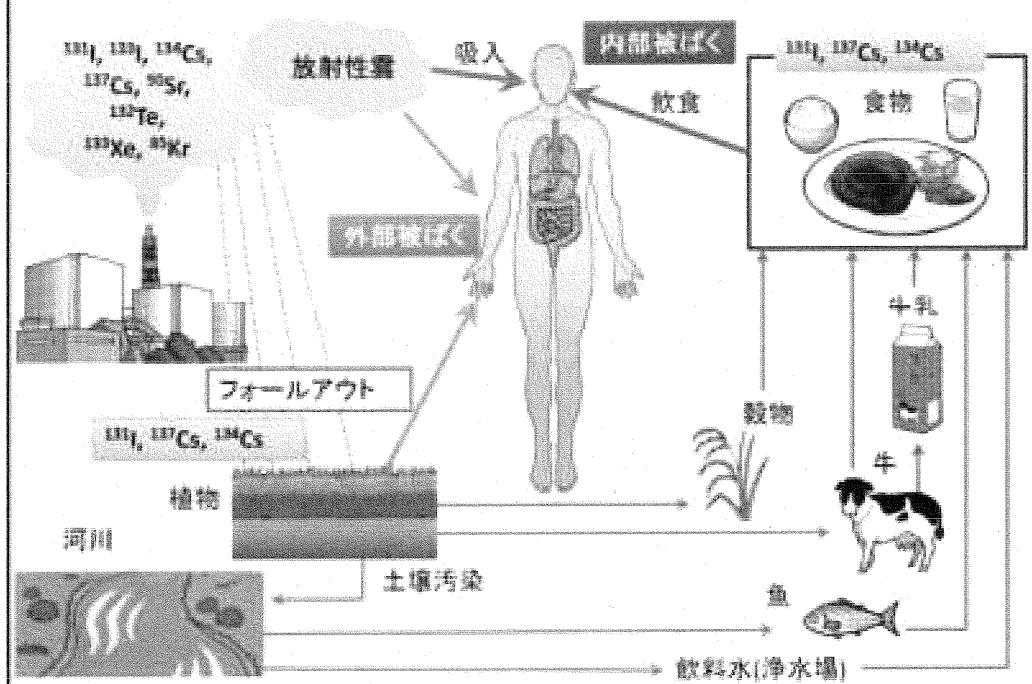
平常時の基準値としては年間1 ミリシーベルトが用いられます。そのため被ばく量が年間1 ミリシーベルトを超えると危険とか、ここまで被ばくをしてもいいと誤解されている方がいます。これはどちらも誤解で、線量限度は 安全と危険の境界線ではありません。しかし、だからといって1 ミリシーベルトまで浴びてもいいわけではなく、合理的に達成可能な限り低く、被ばくを抑えることが原則です。

被ばく線量推定

- ・ 被ばく形態
 - 外部被ばく・内部被ばく
- ・ 被ばくレベル
 - 高線量被ばく・低線量被ばく
- ・ 推定方法
 - 線量計による実測・シミュレーション計算
- ・ 線量指標
 - 物理量・防護量・実用量
- ・ 不確かさ評価
 - 計算モデル・測定誤差・パラメータなど

線量評価推定については、被ばくの形態やレベル、あるいは推定の方法など、それそれにいろいろなパターンがあります。例えば被ばく形態には、外部被ばくと内部被ばくがあり、それぞれ評価の仕方が違います。被ばくレベルについても、例えばJCOの事故のような高線量の被ばくの場合と、今回の原発事故のような低線量の被ばくの場合では、評価法が異なります。また、測定器を使った実測値を使用するのか、あるいはシミュレーションで行うのかでも評価の仕方が変わりますし、どのような線量指標を評価するかでも、解釈が異なってきます。さらに、当然不確かさ(誤差)が伴いますので、それらをきちんと認識しておく必要があります。

放射能汚染の拡散



原子力施設で緊急事態が発生し、気体状の放射性物質が漏れると、放射性雲(ブルーム)と呼ばれる状態で大気中を流れていきます。

放射性雲には放射性希ガスや、放射性ヨウ素およびセシウム137やプルトニウムのような粒子状物質が含まれることがあります。

放射性希ガスは、地面に沈着せず、呼吸により体内に取り込まれても体内に留まることはありません。

しかし、放射性雲が上空を通過中に、この中の放射性物質から出される放射線を人は受けます。

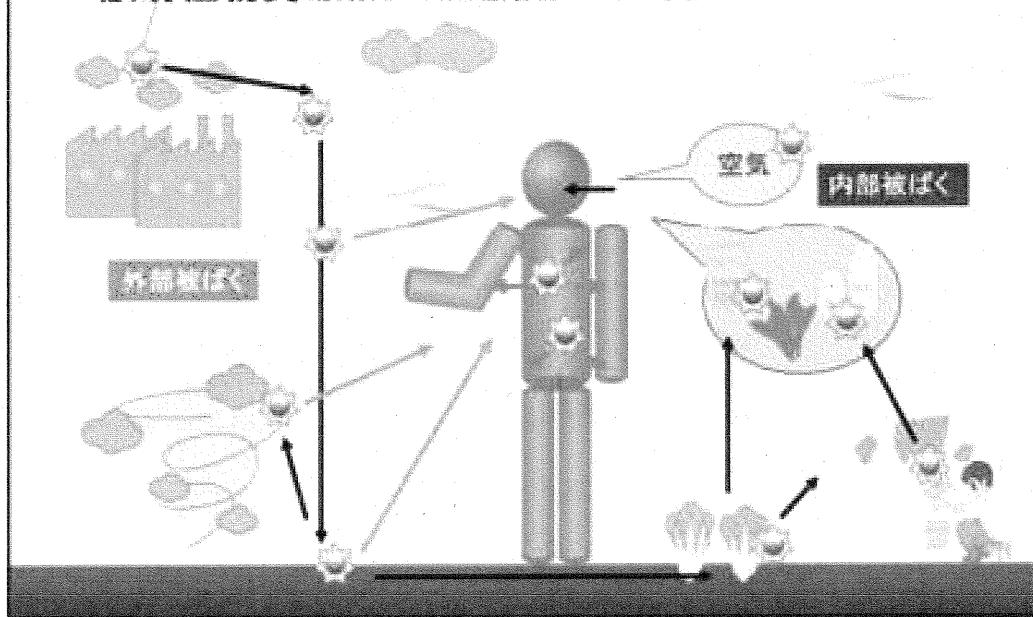
これを「外部被ばく」といいます。放射性ヨウ素や放射線セシウムは、放射性雲が通過する間に地表面などに沈着します。このため、通過後も沈着した放射性物質からの外部被ばくがあります。

また、放射性雲の通過中の放射性物質を直接吸入すること及び放射性物質の沈着により汚染した飲料水や食物を摂取することによっても放射性物質を体内に取り込むことになります。

体内に取り込んだ放射性物質から放射線を受けることを「内部被ばく」といいます。

原子炉事故による影響

放射性物質（放射性ヨウ素、放射性セシウムなど）



原子力発電所が事故を起こすと大量の放射性物質が原子炉から漏れ出ます。放射性ヨウ素や放射性セシウムなどがその代表です。

この放射性物質が、大気中をふわふわと拡散していきますが、その間に少しずつ地表に落ちてきます。特に雨が降ると、雨と一緒に放射性物質が地面に落ちます。放射性物質が体の表面にも付くこともあります。このように、空気、土壤、そして体表にある放射性物質から放射線を受けることがあります。これが外部被ばくです。

一方、空気中や土壤の放射性物質が、水や食べ物に入って、それを口にしたり、空気中の放射性物質を呼吸と一緒に体の中に取り込んだりし、体の中から放射線を受けることがあります。これが内部被ばくです。

外部被ばくや内部被ばくという言葉はどちらも「放射線を受けている」ことをさし、影響のあるなしを意味するものではありません。また自然界からの放射線、事故由来の放射線、医療放射線といった区別なく用いられる言葉です。

被ばくの種類

外部被ばく

本人のみが被ばく

線源

(放射線を出すもの
放射性物質など)



全身被ばく

局所被ばく

内部被ばく

本人および周囲の人々が
被ばくする可能性がある

放射性物質

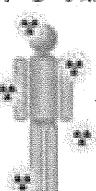


吸入
飲食

傷口

体表面汚染

本人および周囲の人々が
汚染・被ばくする可能性がある



放射性物質から放射線を受ける事を放射線被ばくと言います。一方、放射能汚染とは、放射性物質の存在によって望まれない物(人も含めて)や場所が汚染されることです。

つまり、放射能汚染は意図しない放射能の存在を示すものです。

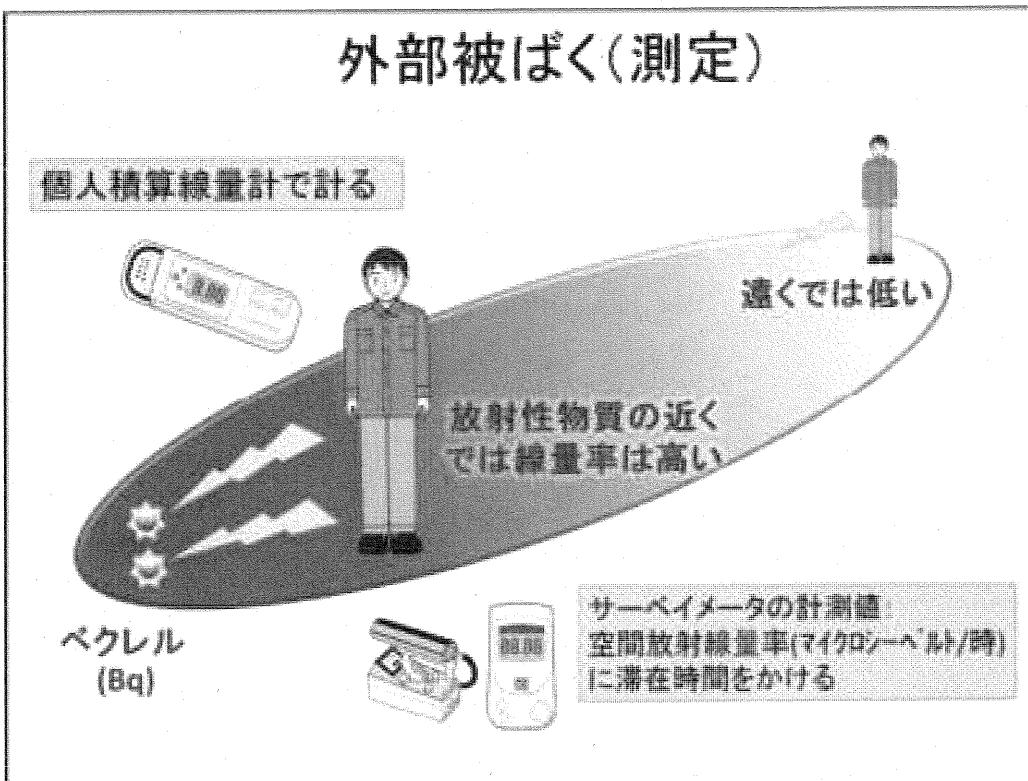
体の外にある放射性物質から、放射線を受けることを外部被ばくと呼びます。

放射性物質が体の表面についた場合を体表面汚染と呼びます。

空気中に飛散した放射性物質を空気とともに吸い込んだり、汚染された飲食物を取り込んだりすると、体の中から放射線を受けることになります。また傷口からも放射性物質が体の中に入ることがあります。この状況を内部被ばくと呼びます。

体表面汚染は外部被ばくの原因であり、鼻・口・傷口から侵入すれば体内汚染となり内部被ばくの原因にもなります。よって、汚染した本人も被ばくをしますが、周囲の人々が二次的に汚染し、被ばくする原因になります。放射線の種類によって、空気中や体の中での通りやすさが異なるため、外部被ばくと内部被ばくでは、問題になる放射線の種類(α 線;アルファ線、 β 線;ベータ線、 γ 線;ガンマ線)や放射性物質(核種)が異なります。

外部被ばく(測定)



外部被ばくによる線量を計測するには2つの方法があります。

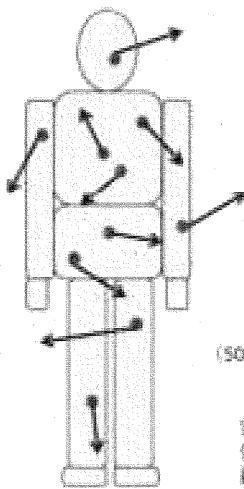
一つ目は計測器で作業する場の空間放射線量率を計測する方法です。空間放射線量率は、その場に人が居たらどのくらい γ (ガンマ)線による被ばくを受けるかを測った値です。体の外からの α (アルファ)線や β (ベータ)線は体内までには届きませんので、外部被ばくの線量測定としては γ 線を測定します。最近の計測機器は、1時間当たりのマイクロシーベルトで表示されるものが多いので、この測定値にその場にいた時間をかけて、被ばく量を計算します。ただし、シンチレーションサーベイメータのように適切な性能を持ち、校正されている機器を用いるようにします。

もう一つの方法は、個人線量計を装着して計測する方法です。個人線量計では、長時間に受ける放射線の積算量を計測します。

内部被ばく

体内に存在する放射性物質から放出される放射線による被ばく

放射性物質摂取後、成人で50年間、子どもは70歳までに受けけると予測される線量を意味している(預託線量)。



被ばく期間
(50年間あるいは70歳まで)



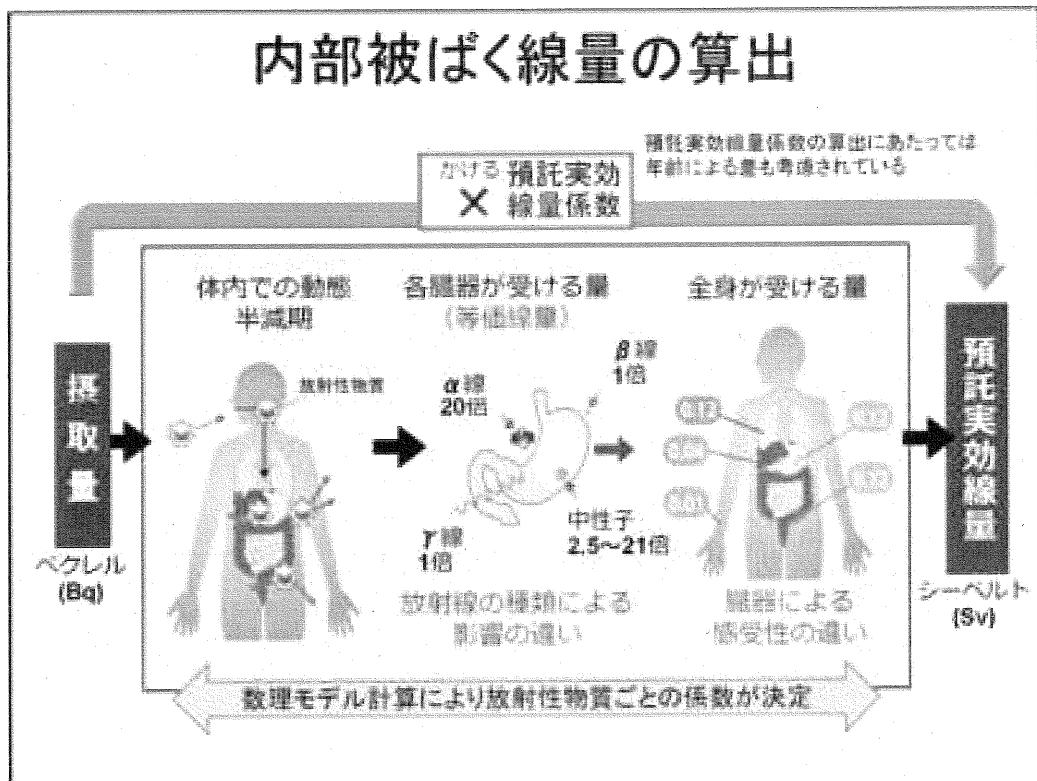
放射性物質を摂取後、一生の間に受けけるであろう線量の積算値



経口、あるいは吸入などで、放射性物質を体の中に取り込むと内部被ばくになります。体内の放射性物質には、尿や汗や便で早く排泄されるものもあれば、体内に長く留まるものもあります。体内に留まる時間は放射性物質の種類や化学形などにより異なります。放射性物質が排泄されるまで継続的に被ばくすることになるので、ある瞬間の線量ではなく、体内に留まる間の線量を積分します。この積分値を、預託実効線量として評価します。また、あるとき1回摂取し、また1年後に摂取した場合には、その都度、預託実効線量を算出します。成人の預託線量は50年間、子どもの預託線量は70歳までに受けけると予測される線量です。放射線源が体内にある間は、被ばくし続けるところが、外部被ばくとは大きく違います。

放射性ヨウ素のように、特定の組織、臓器に集積する場合には、そこでの預託等価線量(この場合は甲状腺)で評価します。

内部被ばく線量の算出



内部被ばくの実効線量を求める方法も、基本は外部被ばくの場合と同じです。ただ臓器や組織の吸収線量の求め方が異なります。

放射性物質が体のどの部分に蓄積するのかは放射性物質ごとによって異なります。また呼吸により呼吸器経由で放射性物質が体内に入った場合と、飲食物と一緒に消化管経由で体内に入った場合では、同じ放射性物質であっても体の中での挙動が違います。さらに大人か、子どもか、赤ちゃんかによっても、放射性物質がどれだけ体の中に留まっているかが違います。

こうした条件の違いごとに、数理モデル計算を行い、どのくらいの放射性物質を摂取したら、各臓器や組織がどれだけの吸収線量を受けるかを求めます。その先は外部被ばくの線量計算同様、放射線の種類や臓器による感受性の違いを考慮して、実効線量を求めます。

実際には、摂取量(ベクレル)に預託実効線量係数を乗じることで、被ばく線量を求めることができます。預託実効線量係数は、放射性核種の種類や年齢ごとに細かく定められています。

実効線量への換算係数

預託実効線量係数($\mu\text{Sv}/\text{Bq}$) (経口摂取の場合)

	ヨウ素 131	セシウム 134	セシウム 137	ストロンチウム 90	ブルトニウム 239
3ヶ月児	0.18	0.026	0.021	0.23	4.2
1歳児	0.10	0.016	0.012	0.073	0.42
5歳児	0.1	0.013	0.0096	0.047	0.33
10歳児	0.052	0.014	0.01	0.06	0.27
15歳児	0.034	0.019	0.013	0.08	0.24
成人	0.022	0.019	0.013	0.028	0.15

$\mu\text{Sv}/\text{Bq}$: マイクロシーベルト/ベクレル

ICRP Database of Decay Coefficients CD-ROM, 1998

内部被ばくの線量評価では、核種・化学形ごとに摂取量を推定し、それに線量係数をかけて線量を計算します。線量係数とは、1Bqを摂取したときの預託等価線量または預託実効線量のことです。ICRPによって、核種、化学形、摂取経路(経口あるいは吸入)、年齢ごとに具体的な値が与えられています。

預託の期間、すなわち線量の積算期間は、成人で50年、子どもでは摂取した年齢から70歳までとなっています。

3つの線量概念

	単位	意味
物理量	放射能 ベクレル Bq	1秒間に壊変する原子核の数
	吸収線量 グレイ Gy	物質1kg当り1ジュール(J)のエネルギー吸収があった時の線量(J/kg)
防護量	等価線量	吸収線量 × 各放射線加重係数
	実効線量 シーベルト Sv	(各組織の等価線量 × 各組織加重係数)の合計
実用量		1cm線量当量(周辺線量当量)等、線量測定のために定義された量

基本は物理量。生物学的影響を考慮して、防護量が定義されている。しかし、防護量は評価困難なため、外部被ばくの管理には実用量が用いられる。内部被ばくは、想定と計算により防護量として評価する。

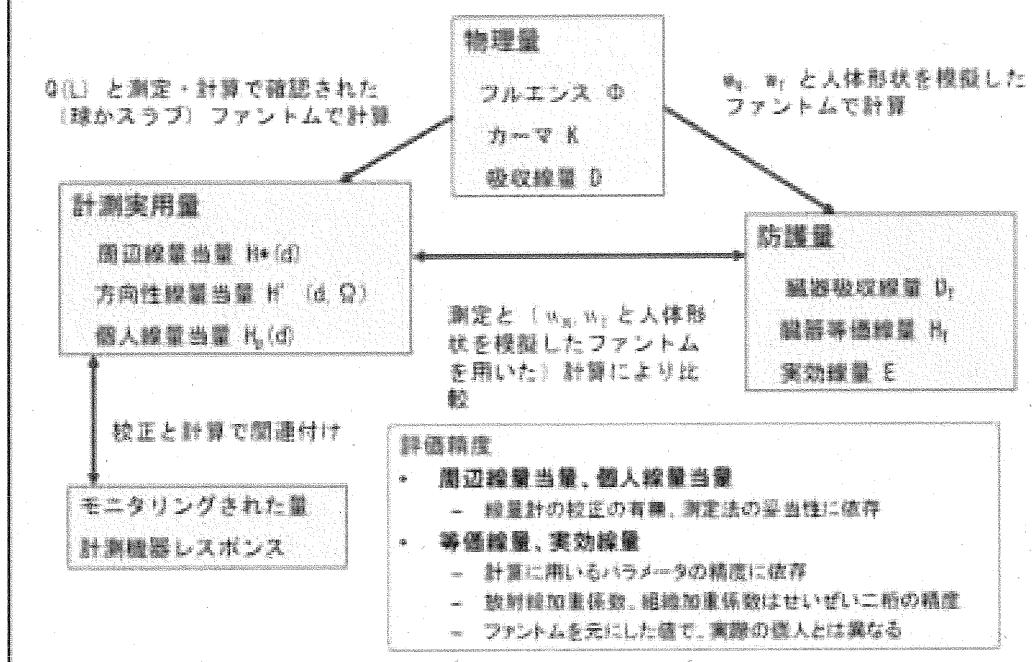
放射線に関する単位は、放射線を出す側の単位と受ける側の単位に大別することができます。放射能の強さの単位であるベクレル(Bq)は放射線を出す側の単位です。一方、放射線を受ける側の単位には、グレイ(Gy)とシーベルト(Sv)があります。このうち、ベクレルとグレイは物理量で測定できます。

放射線が物体を通り抜ける際に、その物体に放射線のエネルギーが吸収されます。吸収されたエネルギーを線量としてあらわしたものが吸収線量で、単位にはグレイが使われます。吸収線量が同じでも放射線の種類やエネルギーによって人体への影響の大きさが変わります。そのため、放射線の種類ごとに影響の大きさに応じた重み付けをし、臓器や組織が受ける影響の単位に変換します。これを等価線量といい、単位にはシーベルトが使われます。吸収線量を等価線量に換算する係数を放射線加重係数といいます。

放射線の健康影響を個人単位で考える場合、複数の箇所に受けた放射線の影響を足したり、過去に受けた放射線による影響を足したりして考える必要があります。このために考えられたのが実効線量です。実効線量の単位にもシーベルトが使われます。実効線量は、組織が受けた影響を全身分に換算していますが、臓器ごとに受けた等価線量の単純平均ではなく、臓器ごとにその放射線への感受性に応じた重み付けをしています。各臓器の全身の影響に対する寄与を重み付けする係数を組織加重係数といいます。等価線量と実効線量は放射線の防護のために考えられたもので、実測はできません。防護量を計算するのは大変なので、普段は防護量の代わりに実用量を使います。

サーベイメータの読み値に使われているシーベルトが、この実用量です。

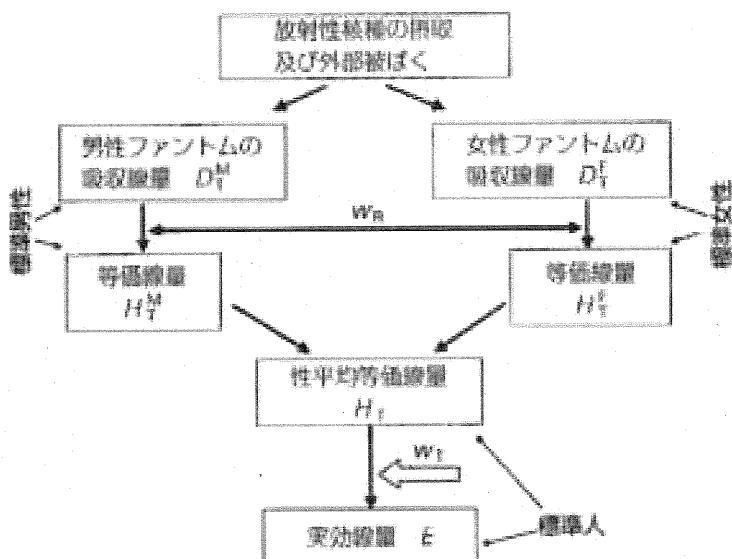
放射線防護諸量の関係



基本となる物理量と放射線防護を考えるときに使われる防護量、サーベイメータなどで計る実用量の、3つの線量の関係を示したものです。物理量から防護量を評価するためには、放射線加重係数(W_R 、放射線の影響の大きさを重み付けする係数)と組織加重係数(W_T 、個々の臓器への影響の大きさを重み付けする係数)、さらに入間の格好をしたファントムを用いた計算が必要になります。一方、計測実用量である周辺線量当量や個人線量当量は、測定器で測定することができ、直接測定できない防護量の替わりに用いられます。ただし、測定器は正しく校正されていることが大前提です。測定した実用量は、計算した防護量と合っているかどうか比較されます。しかし、比較の際にいろいろな仮定を取り入れますので、評価の精度はある程度ばらつきますし、不確かさが存在することに注意が必要です。それでも一般的に防護量より実用量のほうが大きくなるので、安全側の観点から、実用量で代用します。

周辺線量当量や個人線量当量は、線量計の校正の有無や測定法が適切か否かによって評価精度が大きく異なります。等価線量や実効線量の精度は、計算に用いるパラメータの精度に依存します。また、放射線加重係数、組織加重係数は、あくまでファントムを基にした値であり、実際の個人とは異なります。

実効線量の定義(ICRP Publ. 103)

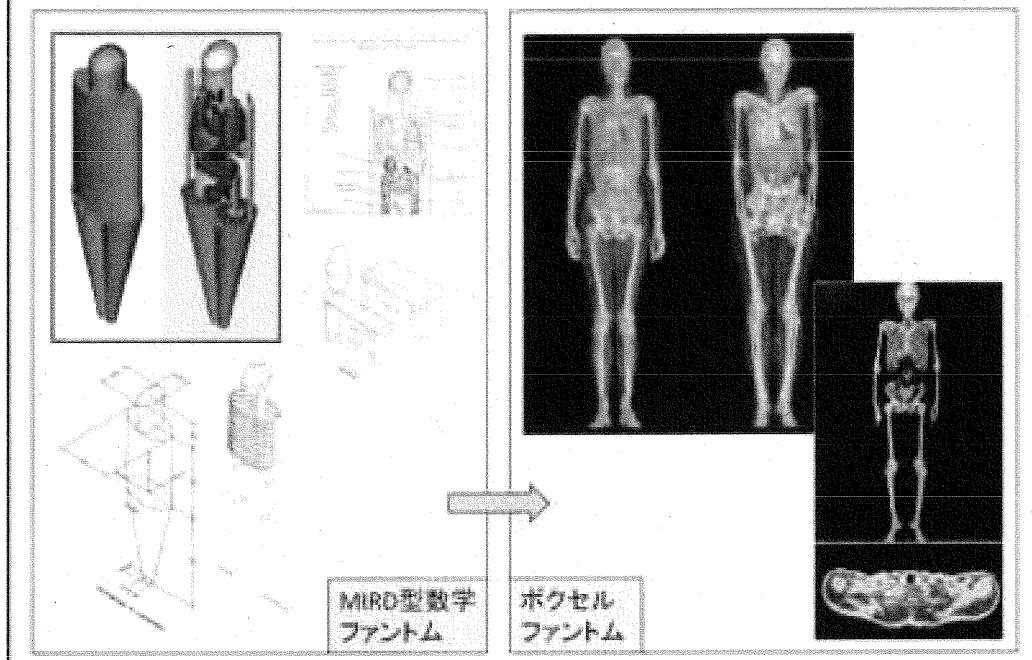


国際放射線防護委員会(ICRP)では2007年に出版された新勧告(Publication 103)で、実効線量を定義しています。男性ファントムの吸収線量および女性ファントムの吸収線量にそれぞれ放射線加重係数(W_R)を掛け、それぞれの等価線量を出します。これから性を平均化した等価線量を出します(単位はシーベルト、Sv)。

甲状腺や生殖腺、胃や腸などの臓器によって放射線による影響の受けやすさが違います。そこで個々の臓器ごとに等価線量と組織加重係数(W_T)をかけ、足し合わせて全身分としたものが実効線量(単位はシーベルト、Sv)です。そのため、実効線量は全身の平均的な影響を考慮した放射線量を表すことになります。

ここでの男性ファントム、女性ファントムは、標準男性、標準女性なので、最終的には標準人ということになります。定義上はこの標準ファントムでの実効線量であり、個人に対する実効線量ではありません。

ファントム



数値計算で使用するファントムにはMIRD型ファントムとボクセルファントムがあります。MIRD型ファントムは米国の核医学学会が内部被ばく線量の評価のために開発したもので、単純な円柱や梢円体などで人の臓器形状を模擬したものです。しかしながら、最近は核磁気共鳴画像検査(MRI)やコンピューター断層撮影(CT)によって、1人の全身画像が簡単に撮れるようになってきました。その画像を基に組織の電子密度を表す値を用いて、人体を非常に小さな直方体あるいは立方体の集まりとして精密に再構築することができるようになってきました。それがボクセルファントムと言われるもので、ボリュームのあるピクセル(画素)を略してボクセルといいます。

数値ファントムの詳細はICRPの出版物(Publication 110, 2009)に記載されており、データは附属のCDで入手できます。CDには、ボクセルファントムの各データとして、臓器の元素構成、密度、骨の質量比や海面質領域、組織内の血液の質量比等が入っています。ただし、使われている値は大人の標準値です。

さまざまな係数

$$\bullet \text{等価線量 (Sv)} = w_R \times \text{吸収線量 (Gy)}$$

放射線の種類	放射線加重係数 w_R
γ 線、X線、 β 線	1
陽子線	2
α 線、重イオン	20
中性子線	2.5~21

$$\bullet \text{実効線量 (Sv)} = \sum (w_t \times \text{等価線量})$$

組織	組織加重係数 w_t
骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房	0.12
生殖腺	0.08
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	0.04
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	0.01
残りの組織の合計	0.12

ド・シーベルト 60:グレイ

国際放射線防護委員会2007年勧告

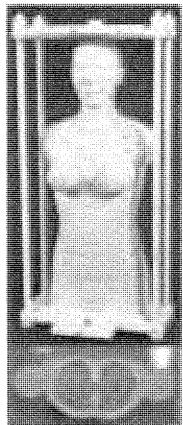
国際放射線防護委員会が2007年に発表した勧告では、新たな放射線加重係数と組織加重係数が提示されています。その中で、 α (アルファ)線は、同じ吸収線量の γ (ガンマ)線や β (ベータ)線に比べ、人体に及ぼす影響は20倍に及ぶとしています。また中性子線の放射線加重係数も高く、エネルギーによって γ 線や β 線の2.5~21倍もの人体影響を見込んでいます。

原爆被爆者の健康影響調査の結果、放射線により発がん影響が大きく出る臓器や組織が明らかになっています。こうした組織には、組織加重係数として大きな数値が割り当てられています。

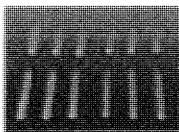
また原爆被爆者の二世、三世についても健康影響が調査されていますが、遺伝性影響は観察されていません。そのため、1990年に発表された生殖腺の組織加重係数(0.2)に比べ、2007年勧告では値が引き下げられています(0.08)。このように実効線量を算出するのに使われる係数は、新たな知見が得られれば見直しが行われます。

外部被ばく: 実効線量測定

測定: 実効線量(防護量)



ファントム



線量計素子(ガラス)

高度人体模擬ファントムに、ガラス線量計やTLDなどの小型の線量計素子を挿入し、放射線を照射して直接測定する方法がとられる

所有施設が認定されるため、一般的には実用量の測定値で防護量として管理されている。

外部被ばくの場合に臓器の被ばく線量を正確に測定するには、人体形状を正確に模擬した物理ファントムを用いる必要があります。ファントムは軟組織、肺、骨の3つの組成と形状を正確に模擬したものです。各臓器に開けられた穴に、ガラス線量計やTLDなどの線量計素子を入れて、各臓器の線量を直接測定することができます。

外部被ばく測定用の機器

型		目的
GM型サーベイメータ (ガイガーカウンター)		汚染の検出 線量率(参考程度)
電離箱型 サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率
シンチレーション式 サーベイメータ		ガンマ線 空間線量率
個人線量計		個人線量 積算線量

どのような目的で放射線や放射性物質の量を測定するかによって、用いる測定機器を選ぶ必要があります。

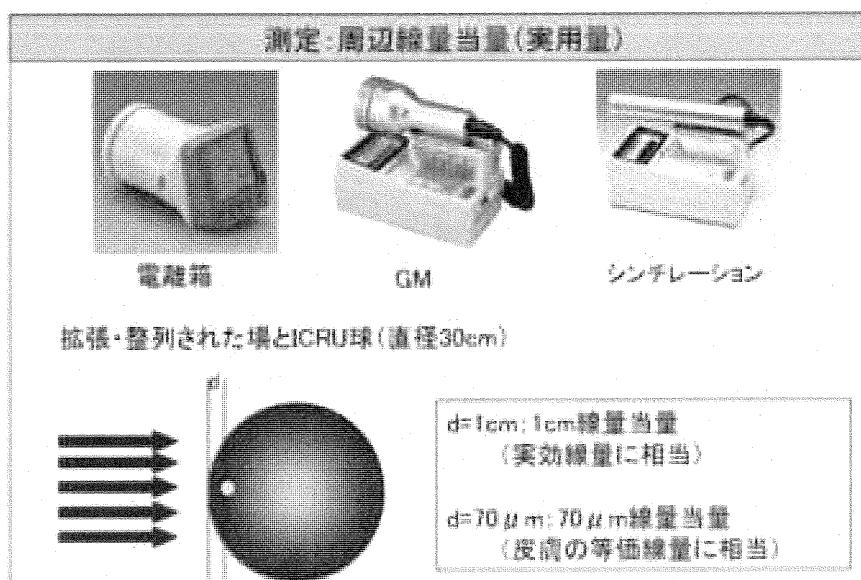
サーベイメータには、汚染検査用と、空間放射線量率測定用があります。GM型のサーベイメーターは、 γ (ガンマ)線と β (ベータ)線が検出できるので、汚染のスクリーニングに適しています。安価で求めやすく、汚染されている場の特定や除染の効果を確認するのに有用です。しかし空間放射線量率は、実際よりも高めの値が出ることが多いことに気をつけます。

電離箱は空間放射線量率をもっと正確に測定できますが、あまり低い線量率の測定はできません。そこで一般環境の空間放射線量率の測定にはシンチレーション式が最も適しています。

シンチレーションサーベイメータを用いて、放射能の強さ(ベクレル)を計測することは可能ですが、測定する場の放射線レベルや測り方によって測定値が変わります。また測定値からベクレルへの換算をするためには、事前に放射性物質を用いた校正実験が必要ですので、実施にあたっては専門家の協力が必要です。

個人線量計を用いると、被ばくの積算線量を知ることができます。電子式の直読式のものであれば、一定期間ごと、あるいは作業ごとに、被ばくの程度を自分で確認することができます。

外部被ばく: 環境モニタリング



サーベイメータを用いて測定する量は、周辺線量当量です。電離箱式サーベイメータは、円筒の中は空気で中心に電極があります。放射線の電離作用により空気の分子から生じた電子を電極に集め、その電流を線量として測定するものです。GMサーベイメータは、中で生じた電離を信号として1個ずつ増幅して信号数を数えることにより、GM管の中で反応した放射線の数を測ります。NaIシンチレーションサーベイメータは中のヨウ化ナトリウムの結晶中に発生した蛍光信号を増幅して取り出し、放射線の数と大きさを測るものです。

周辺線量当量は、ICRU球と言われる直径30センチメートル、密度が1立方センチメートル当たり1グラムの仮想的な球を用いて測定した値として定義されています。この球を人体の代わりと見なします。ICRUというのは、国際放射線単位測定委員会の略です。

現実には、放射線は様々な方向に飛び交っていますが、それらがすべて一つの方向から来るものとして、直徑軸上の表面から深さ1センチメートルの点における線量を1センチメートル線量当量、70マイクロメートルの点における線量を70マイクロメートル線量当量とします。シーベルト表示をしているサーベイメータで表示しているのは、この1センチメートル線量当量です。70マイクロメートル線量当量は皮膚の線量当量になります。

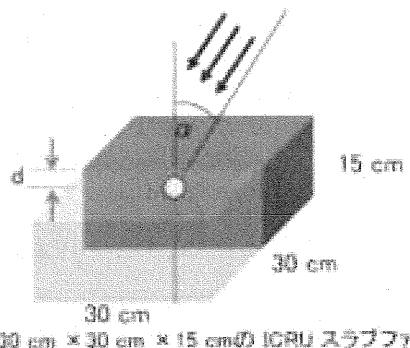
外部被ばく:個人モニタリング

測定:個人線量当量(実用量)

ガラス線量計

光刺激発光(OSL)線量計

(クイクセルバッジなど)



$d=1\text{cm}$: 1cm線量当量
(実効線量に相当)

$d=70\mu\text{m}$: 70μm線量当量
(皮膚の等価線量に相当)

30 cm × 30 cm × 15 cm の ICRU スラブファントム

個人被ばくのモニタリングには、ガラス線量計、あるいは光刺激発光(OSL)線量計(クイクセルバッジ、旧ルクセルバッジなど)が一般的によく用いられます。個人の線量は、縦横30センチメートル、厚さ15センチメートルの直方体のICRUスラブファントムで評価します。このファントムに放射線が入ってきた場合、表面から深さ1センチメートルの点が1センチメートル線量当量、70マイクロメートルの点が70マイクロメートル線量当量となります。ガラスバッジあるいはクイクセルバッジの線量測定結果で、1センチメートル線量当量が実効線量、70マイクロメートル線量当量の値が、皮膚の等価線量として評価されます。実用量は、防護量を過小評価しないように、多めに評価するように定義されています。法律上の規制値は実効線量ですが、被ばくを実用量で測定することで、より安全側で管理できることになります。

放射線検出器の扱い

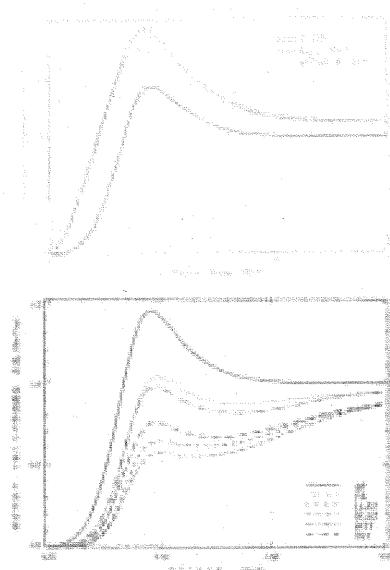
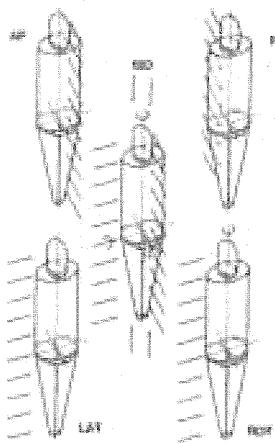
- ・検出器は種類によって、それぞれ適する線量率・エネルギー範囲・放射線の種類があるため、利用目的に応じて選択する必要がある
- ・測定方法も、決められた方法を用いないと解釈が困難な結果しか得られない
- ・校正されていない検出器は、読み値の精度が低いとみなすべきである
- ・きちんと管理・校正されている検出器でも、認められている誤差の範囲がある

放射線検出器には、種類によりそれぞれ適した線量率、エネルギー範囲、放射線の種類等がありますので、利用目的に応じて選択する必要があります。例えば感度の悪い検出器では、空間線量率レベルの低い場所では正しく測定できません。放射線の種類によっても用いる検出器が異なり、中性子線用、アルファ線用、ガンマ線用などの検出器があります。

また放射線検出器は、きちんと校正されている必要があります。放射線の検出器は、放射線と物質の相互作用によって得られた電気信号を増幅させることなどによりメーターに表示させています。検出部に入った放射線の量と、電気信号の強さの関係がわからなければ、線量を知ることができません。この関係づけが正しく行われていることを確認するのが校正と呼ばれる作業で、空間線量率が分かっている場所で、検出器の表示が正しいかどうかを調べます。ただし、きちんと校正されていても、測定誤差があります。放射性物質は確率的に崩壊しますので、ある瞬間はたくさん放射線が出たり、ある瞬間は出なかったりします。実際に検出器の針を見ると左右に振れていますので、その中である値を決めるとなると、当然この振れ幅ぐらいの不確かさが出てきます。

このように、放射線の特徴、検出器の特性などを理解したうえで使用することが必要になります。

外部被ばく：シミュレーション計算

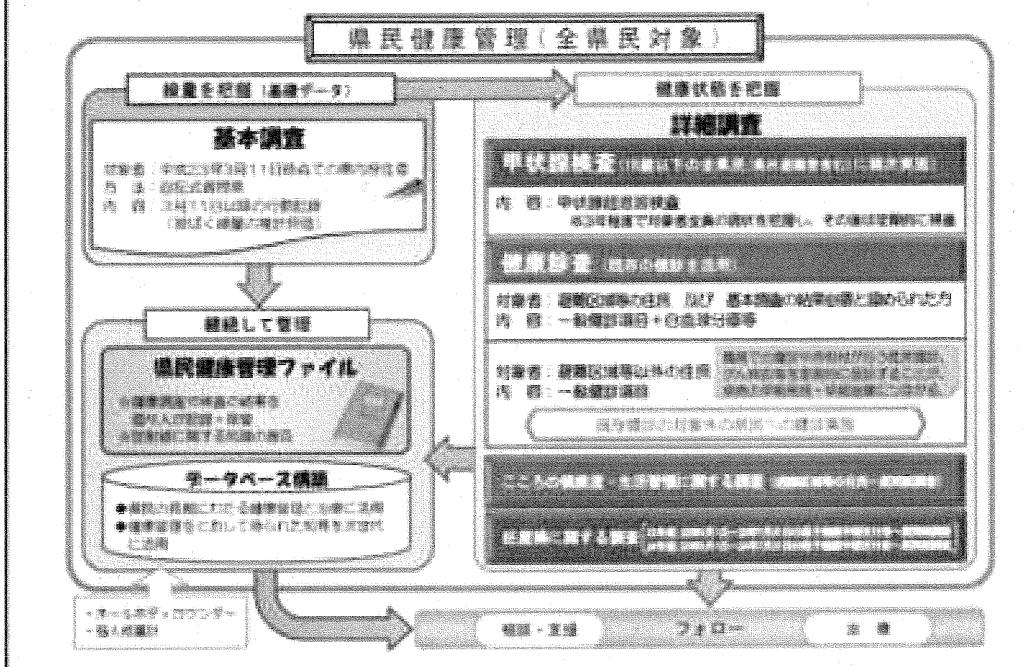


(ICRP Publ. 74から引用)

シミュレーション計算で外部被ばくによる実効線量を求める場合、ファントムにどの方向から放射線が当たっているのかで結果が違います。実効線量が最も高くなるのは、前から放射線を浴びている場合です。例えば生殖腺ですが、体の前のほうにあります。乳房や甲状腺も同じです。後ろから放射線を浴びた場合は、背中の筋肉などで減衰しますが、前からの場合は遮蔽体になる筋肉があまりなく、感受性の高い臓器は身体の前面に位置するものが多いので、前から放射線が当たる場合に実効線量が最も高くなります。

また、吸収線量が同じでも放射線のエネルギーによって実効線量は変わってきます。

県民健康管理調査(全容)



「県民健康管理調査」の事業の内容は大きく分けて、基本調査と詳細調査があります。基本調査では、原発事故後4か月間の県民の外部被ばく線量を推計評価し、県民の健康を見守るための基礎となるデータを把握します。

現状の健康状態を把握する詳細調査として、18歳以下の全県民を対象とした甲状腺検査を行います。

健康診査では、生活環境等が変わったために、生活習慣病など、その予防あるいは早期発見・早期治療につながる診査を行います。
こころの健康度・生活習慣に係る調査は、東日本大震災と原発事故により県民が抱えている不安や心の傷に対する支援を行うための調査です。

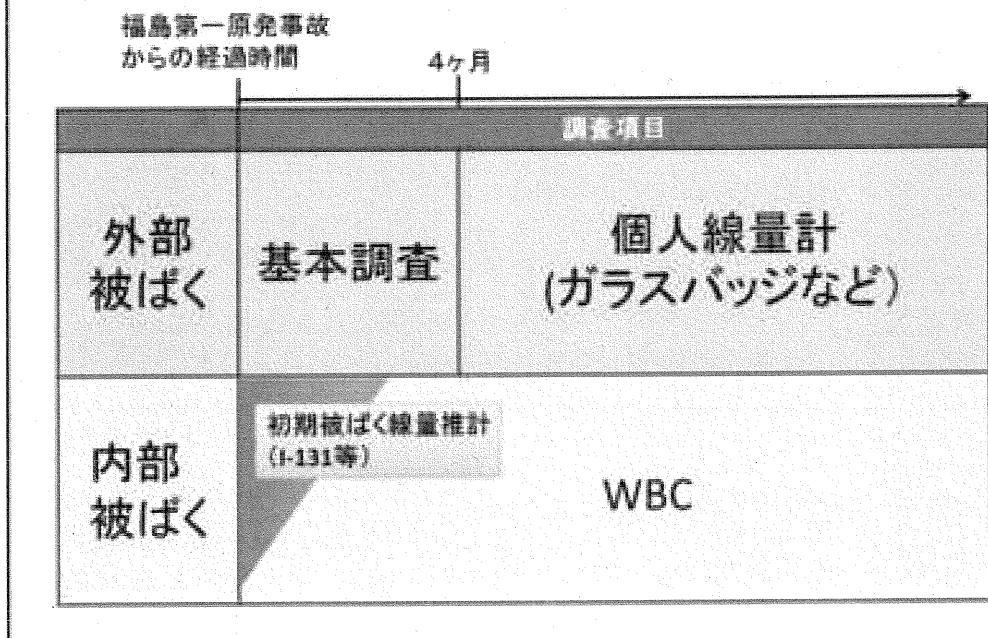
妊産婦に関する調査も、妊産婦が、震災や原発事故によって定期検診を受けられなくなったり、出産や産後の育児に關して放射性をはじめ様々な心配に対する支援会

検査等の取扱い、場所の選定などは場所別で、1つに標準化しない、場所別で人が

該等の記録は、県民に配布される県民健康ファイルに機知とともに、県民個々人が長期

持つ形になっています。また全データを使って一元的なデータベースを構築し、長期にわたる健康管理、あるいは健康管理を通して得られた知見の活用に役立てられます。

被ばく線量推計の全体像



環境中の放射線や放射性物質による福島県における県民被ばく調査は4つのブロックに分かれています。

外部被ばくの調査では、事故発生から4ヶ月の間は、個人線量のデータがほとんどないため、基本調査で外部被ばく線量を推計します。それ以降についてはガラスバッジなどの個人線量計による測定を実施しています。

内部被ばくについては、初期の被ばく線量、特にヨウ素131などによる甲状腺の被ばく線量の推計と、ホールボディカウンタによる測定を行います。

福島県民健康管理調査 基本調査とは

- 健康を守り続けるための「基礎」となる調査です

[目的] 各個人が受けた放射線による外部被ばく線量を推計するため、行動記録を記入していただき、推計結果は各人に知らせてし、外部被ばく線量をもってもらうとともに、長期にわたって更換していく詳細調査や各自の健康状態における留意点に対する質問

〔出庫期間〕 平成23年3月11日～7月1日 4ヶ月間
〔在庫量〕

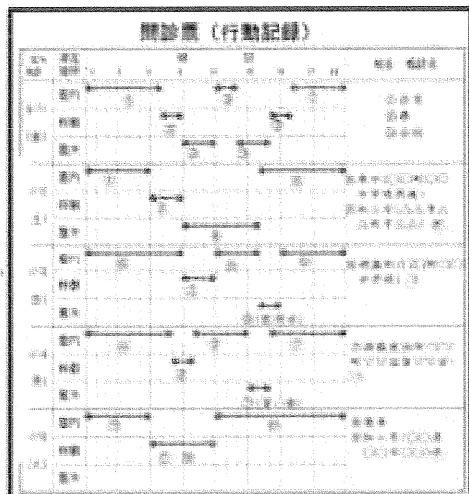
- 県内居住者：平成23年3月11日～7月1日に県内に住民登録があった方
 - 県外居住者：
(1) 平成23年3月11日～7月1日に県内に居住していたが、住民登録が県外にある方
(2) 平成23年3月11日～7月1日に県内に通勤通学していた県外居住者
(3) 平成23年3月11日～3月25日に県内に一時滞在した県外居住者
(県外居住者に関しては、本人の申し出により郵便投票をお受けしております。)

卷之三



基を調査する際は行動軌跡を想定し、該財團医学研究会（厚生省）の「内部統括評議会システム」により、個人ごとの行動規律と問題を検討する。

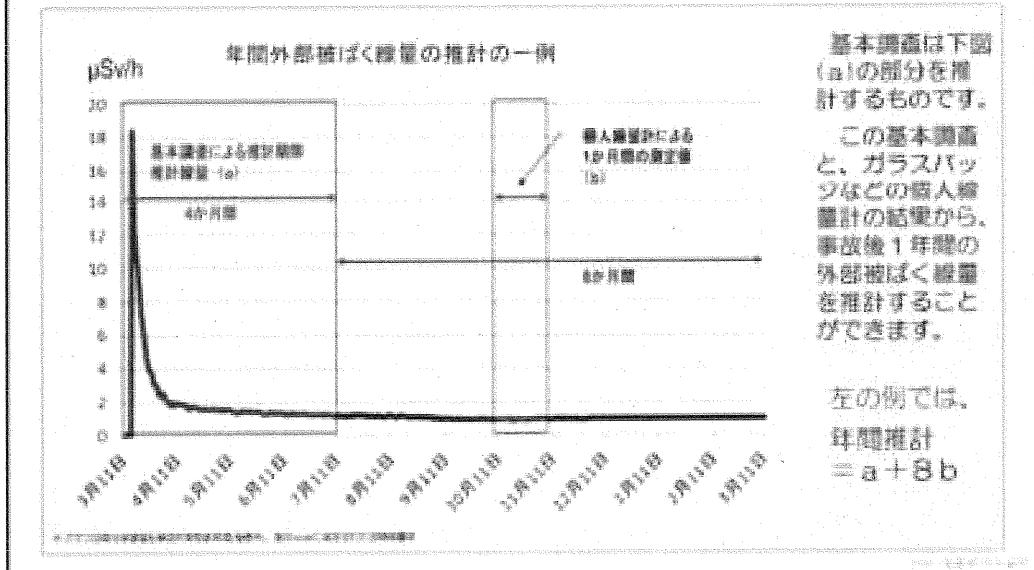
出典：原子力被災者等との懇親についてのヒアリングレポートにかかる言語者懇親会（第4回）



基本調査は、平成23年3月12日から7月11日の4ヶ月間の行動記録に基づいて、外部被ばく線量を推計するというものです。対象者は県内に住民登録があった方、県外の居住者であっても、例えば住民登録がなくても、この期間内に県内に居住していた方、あるいは通勤、通学していた方、あるいは一時滞在された方も含まれます。問診票に記載された行動記録をもとにして、放射線医学総合研究所が開発した外部被ばく線量評価システムによって、被ばく線量を推計します。

基本調査 [基本調査とは]

「いつ」「どこに」「どのくらいいたか」などの行動記録をもとに、震災後、最も空間確率率が高かった時期（7月11日までの4か月間）の外部被ばく線量を推計するもの



基本調査とは、福島県民の原発事故直後の行動記録をもとに最も空間線量率が高かった4ヶ月間の外部被ばく線量を推計する調査です。

空間線量率は、初期に起きた放射性物質の放出以降は、新たに放出がないとすると、事故初期では高くて、徐々に下がっていくと考えられます。

事故直後の4カ月間、特に初めの1カ月間の福島県民の行動を詳細に調べて、事故後4カ月間の県民の外部被ばく線量を推計します。それ以降については減少幅が小さいということで、10月11日からの1カ月間の被ばく線量を個人線量計で測り、それを8倍して8カ月分とします。

最初の4カ月間分と8カ月間分を足しますと、年間の外部被ばく線量が推計できることになります。

行動パターン調査と線量率マップ

行動パターン調査

福島県健康被ばく調査の問診票により行動パターンを調査

調査対象期間

2011年3月12日～7月11日の4ヶ月間

調査項目

- 滞在（場所、時間、建物の通り）
- 移動（場所、時間）



線量率マップ

SPEEDIと文科省データから一日平均の実効線量率マップを作成

3月12日～14日 SPEEDIの評価結果
(実効線量率)

3月15日以降 文科省公表の
モニタリングデータ
(周辺線量当量率)



周辺線量当量率は0.6を乗じて
実効線量率に換算

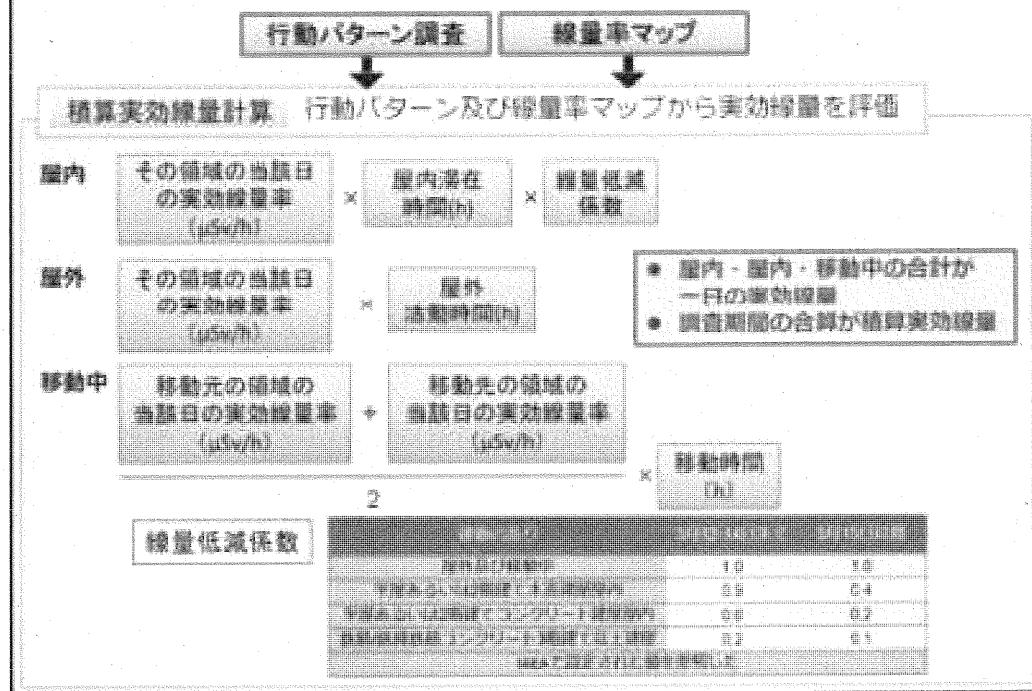
2km×2kmのメッシュに区分け
離散データをソフトで内挿しマップ化
・自然放射線の値を含まない

積算実効線量計算 行動パターン及び線量率マップから実効線量を評価

基本調査で、平成23年3月12日から7月11日の4か月間の外部被ばく線量については評価が行われています。この調査ではまず、住民の方にこの調査期間、どこにどれだけ、どんな建物の中にいたか、という質問に答えていただきます。その行動と線量率マップを組み合わせて、線量評価をするものです。

線量率マップは文部科学省のモニタリングデータが用いられていますが、このデータが利用できない3月12日から15日だけは、別のデータソースが使われています。3月12日から14日までの3日間は、SPEEDIにより計算された結果を適用し、3月15日については、3月15日のデータと同じとしています。

評価システムで用いる計算アルゴリズム



調査期間に、どこにどれだけ、どんな建物の中にいたか、あるいは移動はいつどこからどこまで何時間かかって行ったか、という行動パターンと線量率マップから実効線量を評価します。

このスライドでは、その計算式を示します。

事故後の追加被ばく線量(計算例)

平常時の値を差し引く部分を省略

線量率(事故による上昇分)
 $0.24 - 0.04$ (仮) = 0.2

低減係数 0.4

滞在時間

屋外 8時間
屋内 16時間

実測値(例)

平常時(仮)

放射性物質

事故由来

$$0.2 \times 8\text{時間(屋外の分)} + 0.2 \times 0.4 \times 16\text{時間(屋内の分)} \times 365\text{日} = 1050\text{マイクロシーベルト} = 1.05\text{ミリシーベルト}$$

バックグラウンドの設定で変わること
半減期を考慮していない

サーベイメータで計測される空間放射線量率には、自然界からの γ (ガンマ)線も含まれています。もし原子力発電所の事故による放射線量のみを算出する場合は、今実測される空間放射線量率から、事故前の計測値(バックグラウンド値)を引き、事故による上昇分を求めます。事故前の値は、HP「日本の環境放射能と放射線」(<http://www.kankyo-hoshano.go.jp/>)で調べることができます。

こうして屋外と屋内の空間放射線量率が分かれれば、それぞれに、屋外で過ごす時間や屋内で過ごす時間を乗じて、一日分の被ばく線量や1年分の被ばく線量を求めることができます。

外部被ばく線量の推計結果の概要

- 県民健康管理調査「基本調査」では、平成23年3月11日から7月11日までの県民の「行動記録」を基に、(独)放射線医学総合研究所が開発した評価システムを用いて4か月間における外部被ばく積算実効線量を推計。
- 累計361,752名（先行調査地域 15,844名 その他の地域345,908名）の外部被ばく実効線量の推計が得られている。
- 福島県全体でこれまでに回答いただいた分（放射線業務従事経験者を除く）の推計値では、約99.8%が5mSv未満となり、特に、会津・南会津・いわき地域では90%以上が1mSv未満という結果であった。一方、最高値は25mSvと推計された。

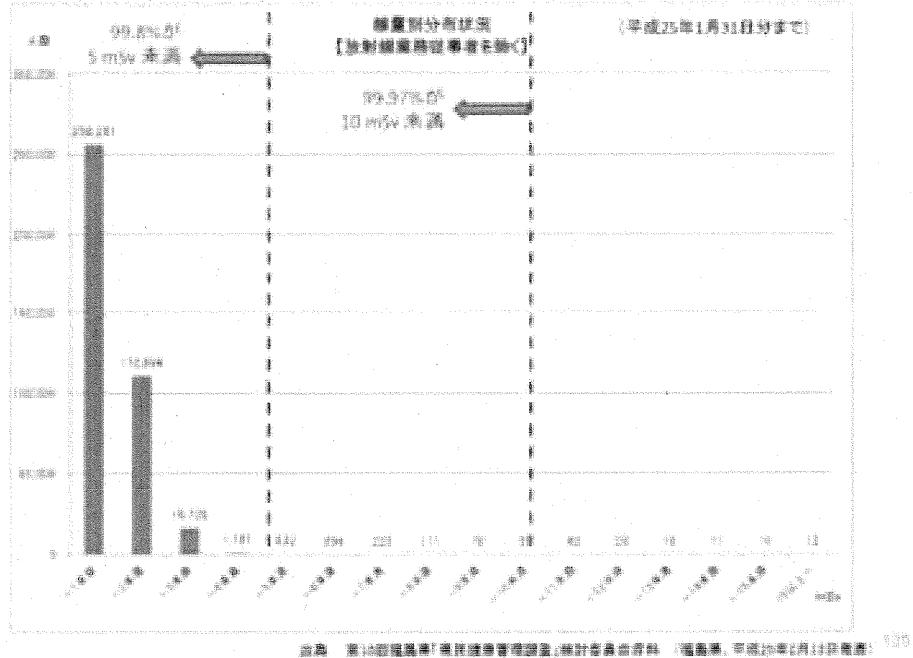
県民健康管理調査結果報告書第10回資料

これまでに累計361,752名（先行調査地域 15,844名 その他の地域345,908名）の外部被ばく実効線量の推計が得られています。

福島県全体でこれまでに回答いただいた分（放射線業務従事経験者を除く）の推計値では、約99.8%が5mSv未満となり、特に、会津・南会津・いわき地域では90%以上が1mSv未満という結果でした。

外部被ばく線量の推計(線量分布)

【全県調査(先行調査+多県民調査)】



これは基本調査により明らかになった外部被ばく線量推計結果です。

平成25年1月31日現在で累計394,369人の推計を行われていますが、そのうち放射線業務従事経験者を除く386,572人の推計結果によると、99.8%が5mSv未満、99.97%以上が10mSv未満であったという結果が得られています。

さらに最大の方の被ばく線量は25.1mSvでした。

結果の解釈で注意すべき事項—外部被ばく線量推計—

モニタリング測定

- ・ 測定機器の精度
　校正・検出器の特性
- ・ 場所
　隠された處における測定

シミュレーション計算

- ・ モデル
　現実の再現性・精度には限界がある
- ・ 一般化されている
　個々の全ての状況に対応できるわけではない

不確かさを生じる要因(福島県民外部被ばく線量推計)

- ・ 行動調査データ
 - 記憶、記載
- ・ 線量マップ
 - メッシュの大きさ、線量率
- ・ 線量指標
 - 周辺線量当量、実効線量、(個人線量当量)
- ・ 遮蔽係数
 - 屋内滞在

*個々のパラメータの精度だけでなく、総合的にどのくらいの精度であるか評価することが必要

外部被ばく線量を推計する上で注意すべき点がいくつかあります。

モニタリング測定に関しては測定機器の特性、およびその精度を知っておく必要があります。また、非常に狭い範囲でのモニタリングデータが地域の線量を代表するということです。したがって、もし狭い範囲でも線量分布が大きく変化している場合には評価が不正確になります。

周辺線量当量から実効線量を計算するシミュレーション計算も精度に限界があります。すなわち、シミュレーションは必ず単純なモデルで計算されていて、個人ごとの体格差などは考慮されていないのです。

推計した線量の数字にも当然ながら不確かさがあります。行動調査のデータというのは、記憶に頼って県民の方が記載するということで、覚え間違いや勘違いもあるでしょう。また線量マップは2キロメートルメッシュで記載されていますから、2キロメートルの分解能しかありません。

放射線の人体への影響を表す「実効線量」は、直接測定できないため、実際に測定して線量マップに用いられている「周辺線量当量(空間線量)」から計算します。今回は健康影響をより正確に推測するために、より現実に近い被ばく線量(実効線量)を計算することが必要です。しかし、周辺線量当量は放射線防護の観点から、多めに表示するように設定されています。このため、周辺線量当量(空間線量)から実効線量を計算する際にいろいろな仮定条件をおいて計算することとなり、その際に若干の不確かさが生じます。線量には周辺線量当量、実効線量がありますが、線量マップには周辺線量当量が用いられています。周辺線量当量は多めに表示するように設定されていますので、今回は健康影響をより正確に推測するためにこれを実効線量に計算し直しています。そのとき、いろ

いろいろ仮定条件をおいて計算するため、計算結果に若干の不確かさが生じます。

今回は木造か鉄筋かとかいうような粗い条件で遮蔽の係数を決めていきます。しかし、実際は同じ鉄筋コンクリートでも高層建築と低層とでは壁の厚さが違う可能性があります。

したがって、この推計線量はあくまで目安ということになります。

福島県民のガラスバッジ測定結果

福島市ガラスバッジ測定結果 福島市では、子どもと妊婦中のかたへ個人線量計(ガラスバッジ)を配布し、

1 対象者数・配布者数・回収率

対象者数	回収者数	回収率
約3,000	約3,000	100%

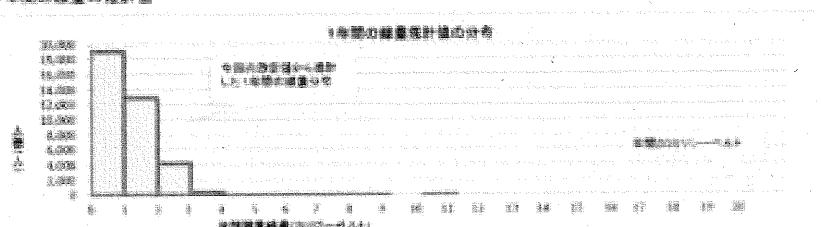
※1箇月間測定時、被ばくは受付日より前月までの被ばく
※2被ばく測定時、被ばくは受付日より前月までの被ばく
※3本件測定時、被ばくは受付日より前月までの被ばく

2. 3か月間の測定結果数・割合

測定結果	測定数	割合
内側	1,310	43.7%
外側	1,310	43.7%
車両	1,310	43.7%
外側+車両	1,310	43.7%
内側+車両	1,310	43.7%
内側+外側	1,310	43.7%

3か月間測定結果が3.00ミリシーベルト未満
3.00ミリシーベルト以上
4.00ミリシーベルト未満
4.00ミリシーベルト以上
5.00ミリシーベルト未満
5.00ミリシーベルト以上

3. 1年間の線量推定図



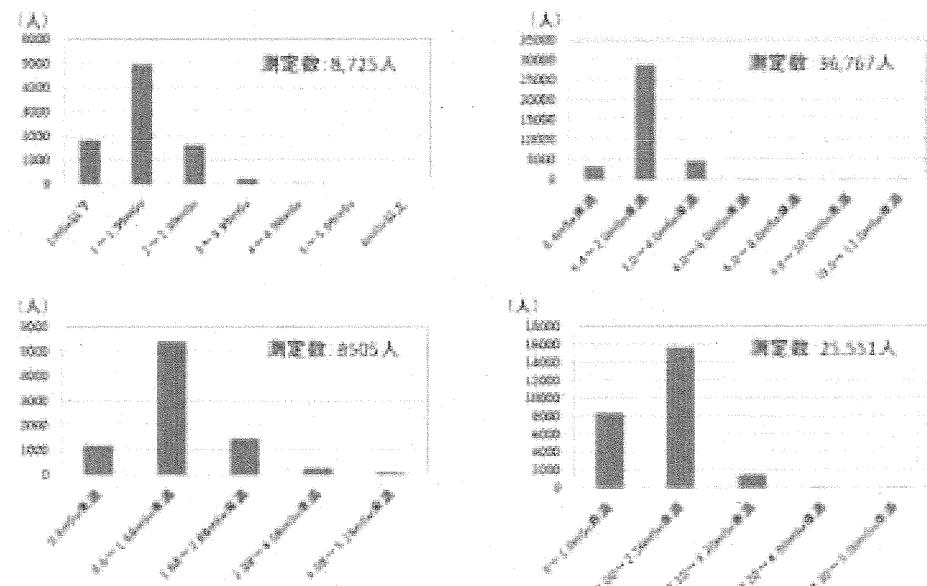
4. 福島市被ばく管理検討委員会の見解

平成24年1月4日(木)に開催された福島市被ばく管理検討委員会において審議が行われ、「年間の被ばくからは、原則、被ばく線量によるがんや被ばくなどによる影響はない」と判断されました。」との見解をいただきました。

[福島市ウェブより引用: <http://www.city.fukushima.lg.jp/gakuryou/mitsumonai/attachment/7576.pdf>]

福島市におけるガラスバッヂによる個人線量推定の例で、3か月間の測定結果から年間積算線量を評価しています。福島市によると多くは3か月間で0.5ミリシーベルト未満とされています。

個人線量計による外部被ばく線量測定値

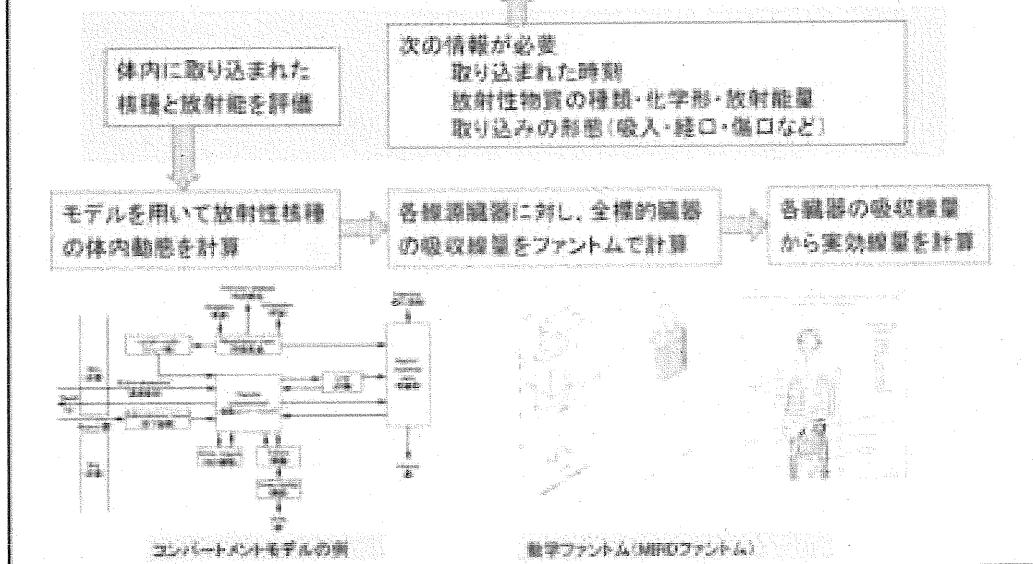


(注)福島県中通りの4市町村が被世人に配布したガラスパックの計測値に、(1カ月×測定期間)をかけることによって年間累積線量に換算したもの。

このグラフは、中通りの地域の4市町村の個人線量計による外部被ばくの測定結果です。事故後4カ月以降に測定したもので、市町村によって1カ月、2カ月、3カ月間のデータを12カ月間分に換算した値を年間積算線量としています。グラフから最頻値(一番頻度が高い値)が、1ミリシーベルトから2ミリシーベルト未満に収まっているということがわかります。ただし、それより線量の高い人もいて、最大で10ミリぐらいの方もいます。

内部被ばく：線量評価の流れ

体外計測(モニタ、ホールボディカウンタなど)、バイオアッセイ(尿・便中の放射能測定)、空気中濃度からの計算のいずれかで推定



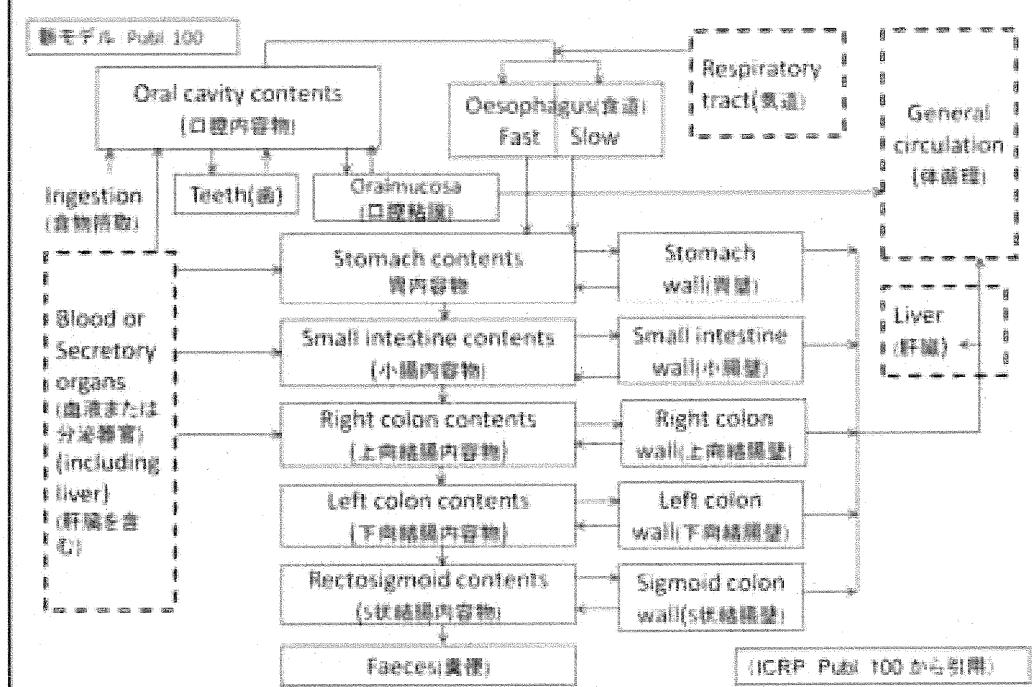
内部被ばくの線量はモデルを用いて評価をしていますが、非常に複雑です。例えば、全く同じ薬でも、飲み薬や塗り薬、あるいは座薬などという摂取方法の違いで、体の中に入ってからの体内動態が異なります。放射性物質の場合も同じで、物質として同じでも、どこから体に入るかによって体内動態が大きく異なってきます。したがって、まず体内に取り込まれた放射性物質の種類(核種)と量の情報、つぎに取り込まれた時刻や化学形、そして取り込みの経路の情報を必要になります。これらの情報を基に今度はモデルを用いて計算をします。

まず、体の中に入った後の放射性物質の動きを、コンパートメントモデルと呼ばれるモデルを使って計算します。傷口から入った場合、まず血液に入り、仮想的な通過コンパートメントを通って体の中を動いて行きます。口から入った場合には、胃腸管の中を移動します。吸入された場合は呼吸気道から血液等に入れます。いずれの経路でも、最終的に尿や便、あるいは呼気として体の外に排泄されます。コンパートメントモデルは放射性物質ごとに作ります。このコンパートメント間、例えば腸管から血液への移行量を求めるためにはすべてについて移行速度と移行割合を決定しておく必要があります。移行速度と移行割合はさまざまな文献値に基づいています。

次に、このモデルを使って腎臓や膀胱などの臓器、ヨウ素なら甲状腺、にどのくらいの放射能がたまっているかを計算し、さらにMIRD型ファントムを使ってその臓器から放射線が1回出た場合に、いろいろな臓器にどのくらいのエネルギーが吸収されるかを計算します。各臓器の吸収線量から実効線量を計算します。

体内的放射性物質量の評価にはモニタやホールボディカウンタによる体外計測法、尿や便に含まれる放射能の量を測定するバイオアッセイ法、あるいは空気中の放射性物質の濃度から換算する方法が用いられます。

コンパートメントモデル：胃腸管



経口摂取の場合の放射性物質の胃腸管内での挙動を臓器の部位ごとに分けて計算するためのコンパートメントモデルです。口から胃を通り、小腸や大腸などで吸収されたり、あるいはそのまま便として排出されますが、放射性物質がどこにどれぐらいの時間かかって動いていくのかを、正しく評価するためのモデルです。実際は個人による違いもありますし、体調によっても違いがあります。例えば水をたくさん飲んだ日は尿もたくさん出ます。したがって、あくまでもこれは1つのモデルです。

コンパートメントモデル：呼吸気道

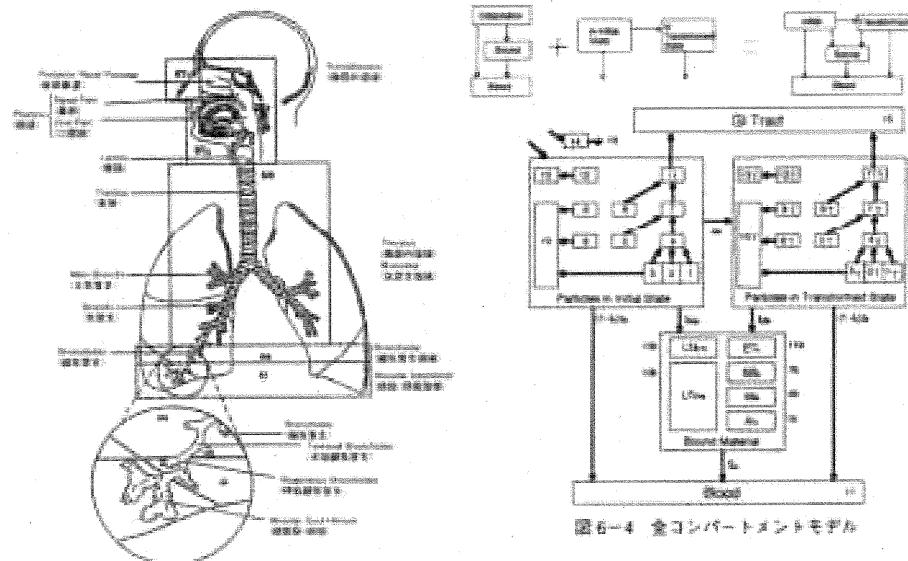
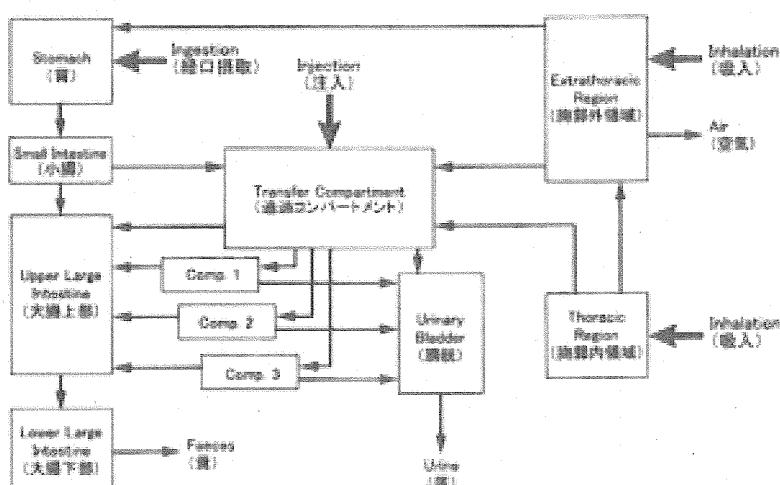


図6-4 全コンパートメントモデル

吸入摂取では放射性物質は呼吸によって鼻から気道を通って肺に行きます。体内へ入った放射性物質は肺だけでなく途中の気管や気管支にも沈着します。また、一部は気道から再び上方に運ばれて、胃のほうに行くものもあります。したがって、呼吸器だけでなく消化管、血液も含めたコンパートメントモデルで考える必要があります。

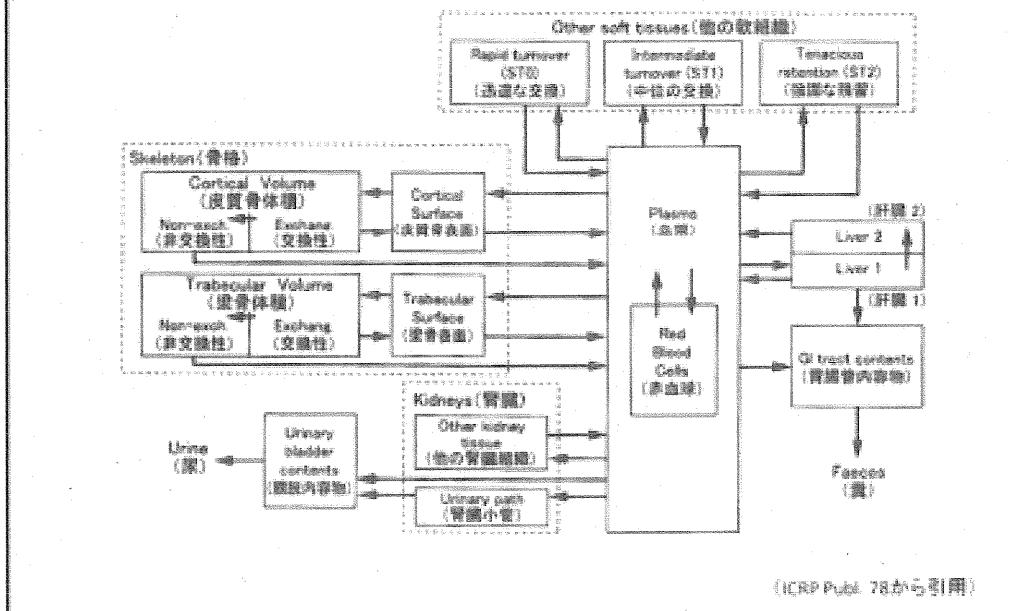
水素、コバルト、ルテニウム、セシウム、カリホルニウムの一般化されたコンパートメントモデル



(ICRP Publ. 78から引用)

元素ごとに体内での挙動が違いますが、これは水素、コバルト、ルテニウム、セシウム、カリホルニウムの体内での動きについてのコンパートメントモデルです。胃に入ってくるものも、食べ物と一緒に入ってくる場合と、吸入で肺に入ってから気管を上がり、胃に入していくものもあるなど、すべてを合わせて考える必要があります。それぞれのコンパートメントについて動きを評価し、最終的にどの程度の時間で放射性物質が体内を動いて行くのかを計算します。

ストロンチウム、ラジウム、ウランに対する コンパートメントモデル



ストロンチウム、ラジウムやウランの場合は、セシウムとは挙動が大きく異なります。吸入した場合、肺の中に長い間留まっている成分と、血中にに入って早く出していく成分と、さらに骨に取れこまれてなかなか出でいかない成分などを計算する必要があります。

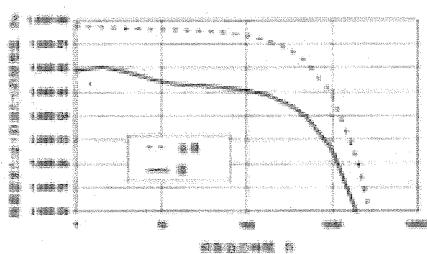
内部被ばく:セシウム

体内動態データ

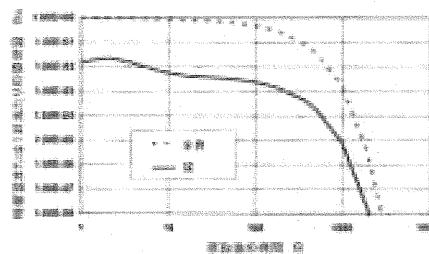
コンバートメント	取り込み割合(%)	生物学的半減期(日)
全胃A	49	3
全腸管	99	110
通過コンバートメント	2	0.23

経量係数

種種	吸入摂取		経口摂取	
	半減期	タイプ	半減期	タイプ
Cs-134	2.08y	F	1.8	1.0E-09
Cs-137	35.6y	F	1.8	0.7E-09



Cs-137 吸入摂取、タイプF: 急性摂取後の予測値



Cs-137 経口摂取、タイプF: 急性摂取後の予測値

(ICRP公報 78から引用)

セシウムの場合、体の外へ早く出ていく成分の割合を1としますとしばらく体内に留まっている成分はその9倍ほどになります。早く出ていく成分は2日ぐらいで半減しますが、大部分は100日ぐらいかかるて半分になることが分かっています。

実際の評価方法

内部被ばくの実効線量測定は不可能
体内に摂取された放射性物質の量を評価する

摂取量の評価方法

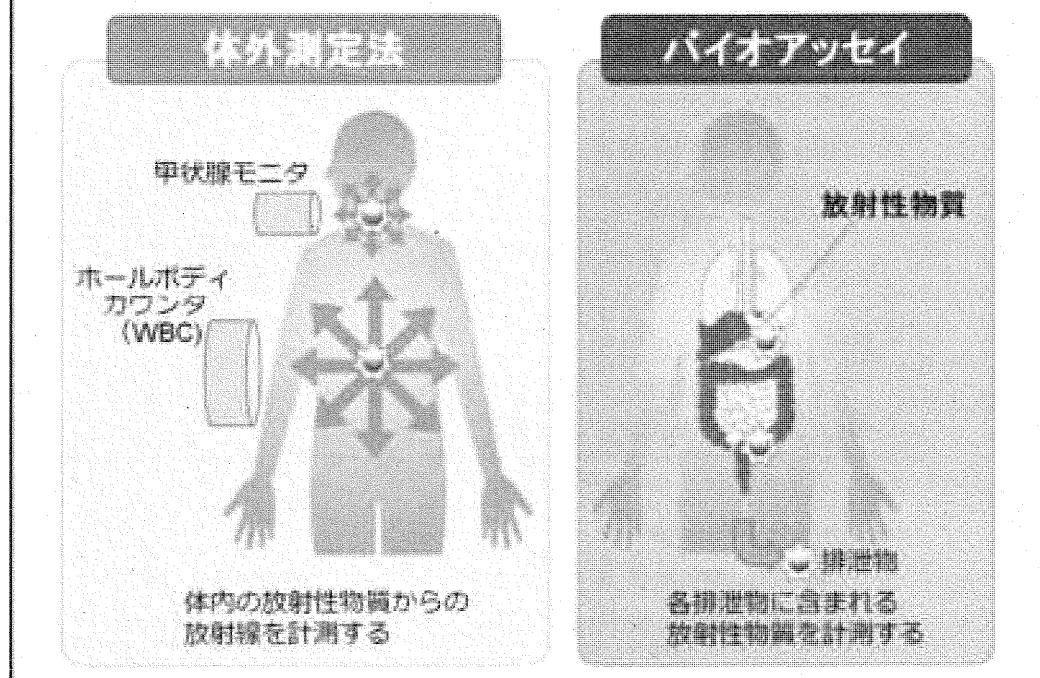
- ①体外計測法
- ②バイオアッセイ法
- ③空気中放射性物質濃度等からの計算法

実効線量換算係数
人体を模擬した数学ファントムのシミュレーション計算により求める

内部被ばく線量は
体内に摂取された放射性物質の量を評価して、
実効線量換算係数を乗じることで求める

内部被ばく線量の計算はICRPではコンバートメントモデルを用いるなど、非常に複雑で、実際に各自がすべて測定して計算するのは不可能に近いと考えられます。そこで実際には、放射性物質の量から実効線量を計算するための換算係数を用いて計算するのがほとんどです。体内に摂取された放射性物質の量は、体外計測などによって評価し、実効線量換算係数を評価する作業はICRPなどの専門家が行います。

摂取量の推定のための放射能測定法



体内の放射性物質の量を求めるにはいくつかの方法があります。体の外に出てくるガンマ線を測って評価するのが、体外計測法です。代表的なのはホールボディカウンタによる測定です。被験者に負担が少ないという利点があり、痛くもかゆくもありませんが体の外に出てくる放射線を発生する放射性物質しか評価できないという欠点があります。

放射性物質の中にはアルファ線しか出さない、もしくはベータ線しか出さないものがあります。例えばストロンチウムはベータ線しか出さないため体外計測法で測ることはできません。しかし、体の中には入っていれば、便や尿と一緒に体の外へ出ていきます。採取した便や尿を精製してベータ線を測定すれば、ガンマ線を出さなくても計測ができます。これをバイオアッセイ法といいます。ただし、非常に時間がかかるなど、実際は色々と問題があります。例えば尿を取る前にビールをたくさん飲んでいれば尿は薄くなるなど、尿を採取する条件が違ってしまうということが起こります。それを防ぐために、24時間分、あるいは1週間分の尿を集めて測定することが必要なのですが、一般的家庭では難しいことがあります。また、尿中のアルファ線やベータ線を測るために複雑な手順が必要で、測定に時間がかかります。

体内放射能の評価法の比較

体外計測法	バイオアッセイ
人体を直接測定	間接測定
被検者を拘束する	試料(尿、便など)を提供
主に α 線を放出する物質が対象	様々な放射性物質が測定可
装置内での計測時間は短い	化学分析に時間がかかる
精度が高い	誤差が大きい

体外計測法では、測定時間が長いほど正確な値が得られます。しかし計測器は、人体からの放射線と同時に、環境からの放射線も計測するので、空間放射線量率が高い場所で測定する際には、環境からの放射線の遮へいを十分に考慮する必要があります。また γ (ガンマ)線を出さない放射性物質については測ることはできません。

バイオアッセイでは、ガンマ線を出さない放射性物質も測定することができますが、1回の試料採取では正確な数値を得ることができず、数日間分の試料(尿・便など)をためる必要があります。放射性物質の排出量が、個人によって、また体調や飲食量などでも変動することを考えると、体外計測法よりも誤差は大きくなります。

どちらのケースも、検出された放射性物質をいつ取り込んだか判断が難しい場合は、割り出された被ばく量の誤差が大きくなります。

ガンマ線放出核種では、尿の測定結果とホールボディカウンタの測定結果の間には、理論的には相関関係があるはずです。けれども体内の放射性セシウム摂取量が少ない場合などには、尿検査の方が前日の食事の影響を受け易いため、誤差が大きく、相関関係がはっきりしなくなります。

空気中放射性物質濃度からの計算

定置式ダストモニタの濃度は実際の呼吸域濃度と異なる
滞在時間、作業内容に起因する誤差を含む

$$I = C \cdot b \cdot t \cdot X / P$$

I: 摂取量

C: 空気中放射性物質濃度 (Bq/cm³)

b: 単位時間当たり呼吸量

(呼吸率、成人の活動時の場合 $1.2 \times 10^6 \text{ cm}^3/\text{h}$)

t: 作業時間 (h)

X: 呼吸域の放射性物質濃度と定置式ダストモニタに
より得られた濃度との比。不明の場合は10

P: 防護マスクの防護係数

実効線量: 種類・化学形に応じた線量係数を摂取量に乗じる(科学技術庁告示別表)

$$E_r = e \times I$$

E_r: 内部被ばくによる実効線量 (mSv)

e: 実効線量係数 (mSv/Bq)

吸入摂取、経口摂取別の値

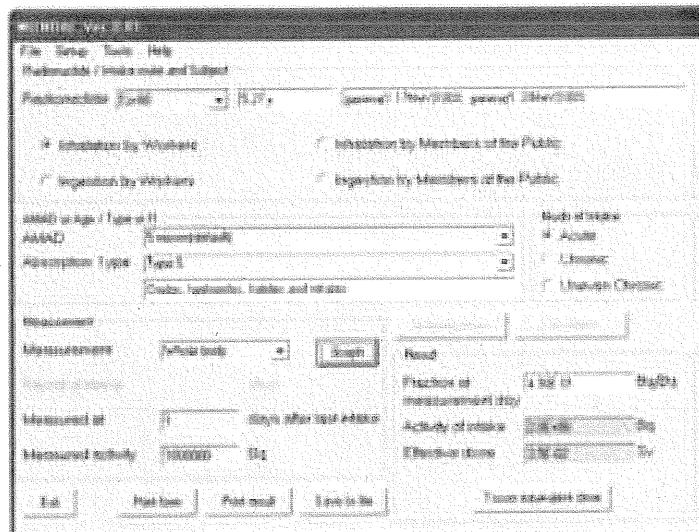
i: 放射性同位元素の吸入又は経口摂取量

福島第1原発事故の初期の、3月12日から14日ぐらいまでは放射性ブルームが飛んでいましたが、例えばその濃度、あるいは測定値があれば、呼吸率が分かっていますので(注)、体の中に入った放射性物質の量が評価できます。それを使って内部被ばくを評価する方法もあります。

注)呼吸率 (ICRP 71)

	活動時(cm ³ /h)	日平均(cm ³ /d)
小児	0.31×10^6	5.16×10^6
成人	0.12×10^6	22.2×10^6

内部被ばく計算ソフト:MONDAL

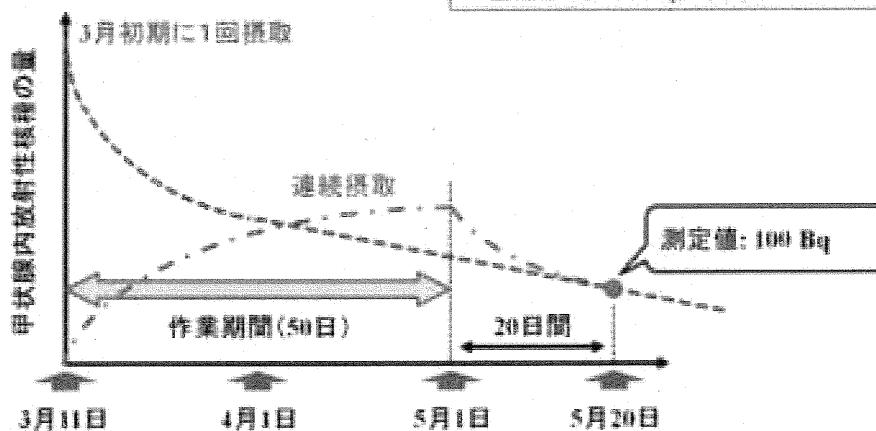


放医研で開発された内部被ばく線量評価ソフトウェア

体内の放射性物質の量がわかった場合、そこから実効線量を計算するソフトが開発されています。例えば放医研ではMONDALという線量計算ソフトを開発して活用しています。

内部被ばく線量推定における不確かさ

- 例：(1) 蒸気の吸入摂取
● 急性摂取(250 kBq, E(50); 5 mSv)
● 慢性摂取(1 kBq, E(50); 0.2 mSv)



内部被ばくの線量推定で難しい点は、摂取した時期と測定の時期が離れている場合が多いことです。例えば、3月11日の事故後、5月20日に甲状腺の測定を行った結果、ヨウ素131が100ベクレル検出されたとします。このとき、事故直後に1回だけ吸入して、あとは摂取しなかったとすれば、甲状腺内の放射性ヨウ素の量は赤の線のような経過をたどります。しかし、例えば作業員が事故後から50日間作業している間に慢性的に摂取して、そして後は摂取しなかった場合には、青の線になります。測定時には同じ100ベクレルとしても、両者で被ばく量は20倍以上違ってきます。つまり、慢性摂取と1回の急性摂取のように、摂取形態によって被ばく量は違う可能性がありますので、どのようなシナリオを設定するかが重要です。

福島原発事故における内部被ばく推定線量

原子力発電所作業者の内部被ばく

- I-131が全線量に対し最大の寄与: およそ70%
- 最大の内部被ばく線量: 590mSv(東電の報告より)

公衆の内部被ばく

- 小児1,080名(0-15歳)の甲状腺スクリーニングサーベイ
甲状腺等価線量 < 2 μ Sv/h (1歳児等価線量で100mSv)
- 福島住民の全身計測
預託実効線量: 多くが < 1mSv (72,531/72,557:H23.6.27-H24.8.1)
(福島県「ホールボディカウンタによる内部被ばく検査の実施結果について」より)

福島第1原発事故での内部被ばく線量の推定は下記のようにされています。
原子力発電所作業者の場合は、ヨウ素131による被ばくが主で70%を占めています。

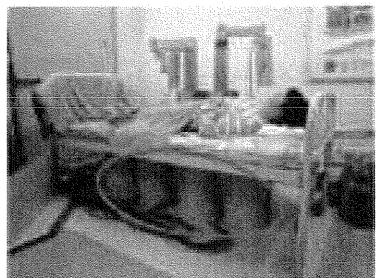
一方、公衆の内部被ばくについては、事故後に0歳から15歳の小児1,080名の甲状腺スクリーニングが実施されました。その時の測定値は1時間当たり2マイクロシーベルト未満、すなわち甲状腺の等価線量としては、1歳児の等価線量で100ミリシーベルト未満であったと報告されています。また、福島県内でホールボディカウンタによる全身計測が実施され、その結果預託実効線量は1ミリシーベルト未満が大部分であったという報告があります。

内部被ばくの線量評価では、いつ放射性物質を摂取したかで結果が大きく変わります。当初は「事故直後に1回の摂取」というシナリオで計算していました。ところが小児は代謝が速いので、事故から月日がたってから測定して少量の事故由来放射性物質が検出された場合、このシナリオでは事故直後に大量の摂取をしたことになり、過大評価になってしまいます。これでは実態(食物から慢性的に少量ずつ摂取している)に合わないということで、放医研と原子力研究開発機構は「長期間にわたって慢性的に摂取する」とのシナリオに変更して被ばく線量を公表しています。

内部被ばく測定用の機器



全身立位型
ホールボディ
カウンタ



全身臥位型
ホールボディ
カウンタ

○検出器



全身いす型
ホールボディ
カウンタ



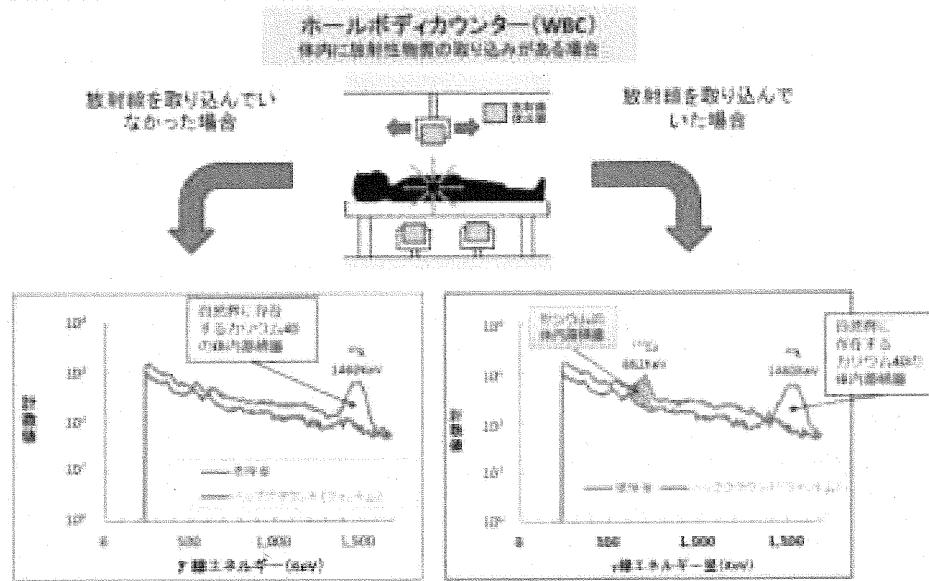
甲状腺モニタ

体内の放射能を直接測定するためには、全身から出てくる γ (ガンマ)線を測定するホールボディカウンタという機器を使います。ホールボディカウンタには、立って測る、寝て測る、座って測るタイプがあります。

放射性セシウムは、体のいたるところに分布しますので、体内量の計測にはホールボディカウンタが使われます。一方、放射性ヨウ素による内部被ばくが疑われる場合には、甲状腺モニタが用いられます。これは、ヨウ素は甲状腺に蓄積するため、首の甲状腺のある部分に放射線検出器をあてて、そこから出てくる γ 線を測るもので

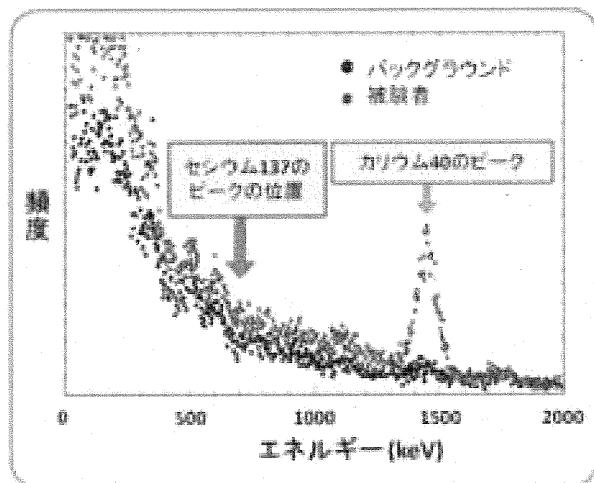
ホールボディカウンタによる内部被ばく検査

ホールボディカウンター(wbc)：体内の放射性物質からの放射線を計測する装置。セシウム134、セシウム137などのガンマ線を出す核種を測定することができる。



ホールボディカウンターは、体の中から出てくるγ線を計測する装置です。放射性核種によってガンマ線のエネルギーが異なるため、検査結果からは、体内にどういった核種がどの程度あるか調べることができます。

内部被ばく量の体外計測のデータ



体内から出てくる放射線を測定 ⇒ 体内の放射能を物質別に求める

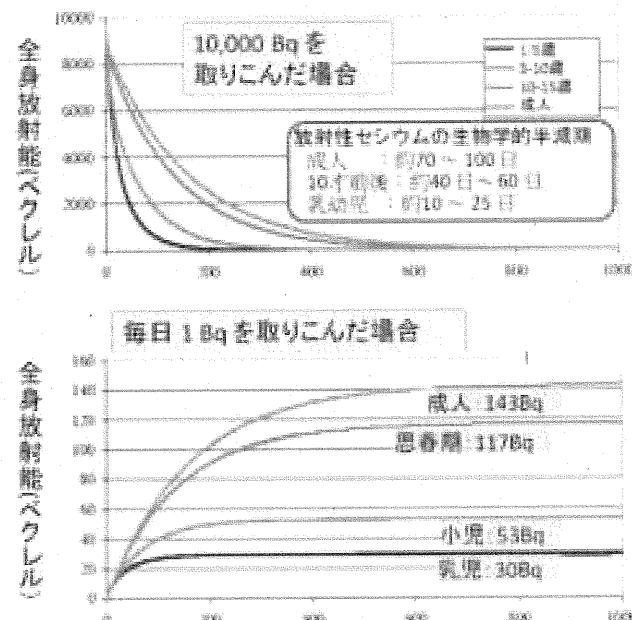
体内にあるカリウムの量は体重1kgあたり2g程度、
そのうち約0.01%が放射性のカリウム40

ホールボディカウンタで体内から出てくる放射線を測定すると、核種ごとに放射能を定量評価することができます。

グラフの黒い点は誰もベッドに乗らず空の状態(バックグラウンド)で測定した場合です。人が寝て測定すると、赤い点のように放射線のピークが見えます。 γ (ガンマ)線は放射性物質ごとに固有のエネルギーを持っているので、ピークの位置から、これが体内の放射性カリウムからの γ 線であることが分かります。

カリウムは生物に必須な元素ですが、全体のカリウムのうちの約0.01%が放射性のカリウムです。放射性カリウムは主に細胞の水分の中に含まれていて、筋肉中にはありますが、水分をほとんど持たない脂肪細胞には含まれていません。ですから筋肉の多い人ほど、たくさん放射線を出していることになります。

体内放射能と線量評価



若年のほうが代謝がはやい

↓

初期被ばく量推定は

- ・大人でも1年程度が限界

- ・子どもも半年程度まで

若年のほうが滞留量が少ない

↓

経口追加被ばくの推定は

- ・子どもでは有限値が出にくい

- ・微量な摂取を検出するためには

- ・成人の検査を行う方が合理的

高崎、日本放射能安全管理学会シンポジウム(平成24年6月29日)発表資料より改変

ホールボディカウンタでは、測定日当日の体内放射能量を測ることができます。しかし他の測定機器同様、機械の性能や測定時間によって検出限界が決まっています。放射性セシウムの生物学的半減期は成人で70-100日ですので、初期被ばく量の推定は事故後1年程度が限界です。

その後のホールボディカウンタ測定は、主に食品からの慢性被ばくを推定する目的で行います。

子どもは代謝が早く、初期被ばくの推定は半年程度、慢性的内部被ばくの測定にも滞留量が少ないので、微量な摂取の場合は、検出限界になることがあります。

体内放射能の測定結果から預託実効線量の予測するには、急性か慢性か、吸入か経口か、いつ摂取したのか等、適切な仮説・モデルが必要です。

測定結果の解釈で注意すべき事項

——ホールボディカウンタ——

・校正

- カウンタがきちんと校正されていることが必須
- 標準サイズ以外の校正ファントムはほとんどなく、子供や標準を大きく超える人の測定は不確かさが大きい

・バックグラウンド

- 事故初期のようにバックグラウンドレベルが高いときちんとした測定ができない
- 放射性核種が付着した衣服を着たままではきちんと測定ができない

ホールボディカウンターでの測定では、校正が適切に行われていること、バックグラウンドがどれくらいあるかが重要です。バックグラウンドとはその場所自体の計数値で、装置内に人がいない状態で測定したもので、原発の事故が起こった後、屋外の放射性物質量が多くなったために屋内でもバックグラウンドが非常に高くなりました。その中で測定しても、正確な測定ができません。遮蔽体で覆って装置内部のバックグランドを低くする必要があります。また、放射性物質が服に付着していると、その分も測定してしまい、体内の放射性物質を正確に測定できません。

ホールボディカウンタによる内部被ばく検査の実施結果

(1) 被ばく自治体

福島市、伊達市、川俣町、郡山市、須賀川市、田村市、鏡石町、天栄村、白河市、西郷村、柏崎市、南相馬市、広野町、福葉町、富岡町、川内村、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、新地町、飯舘村、いわき市、二本松市、本宮市、国見町、大山村、春日町、猪川町、三春町、堅崎村、中島村、気仙町、箕輪村、平田村、古殿町、会津若松市、西会津市、猪苗代町

(2) 被ばく測定機関

福島県、(独)放射線医学総合研究所、(独)日本原子力研究開発機構、南相馬市立総合病院、新潟県、青森県

(3) 預託実効線量(預託実効線量) (平成23年6月分まで 平成24年11月6日発表)

	平成23年6月27日～ 平成24年1月31日	平成24年2月1日～ 同年9月30日	合計
1mSv未満	15,384名	65,709名	81,093名
1mSv	13名	1名	14名
2mSv	10名	0名	10名
3mSv	2名	0名	2名
合 計	15,409名	65,710名	81,119名

※預託実効線量：平成24年1月までは3月12日の1回摂取と仮定、2月以降は平成23年3月12日から1年間毎日均等な量を継続して日常的に経口摂取したと假定して、体内から受けれると思われる内部被ばく線量について、成人で50年間、子どもで70歳までの総量を合計したもの。

環境モニタリングの結果等から、他の地域に比べ外部及び内部被ばく量が高い可能性がある地域(川俣町山木屋地区、飯館村、浪江町)や避難区域等の住民に対して、平成23年6月27日からホールボディカウンター(WBC)による内部被ばく検査を行っています。対象地区は順次拡大され、平成24年4月30日までに38,469名を実施しました。セシウム134及び137による預託実効線量で99.9%が1mSv未満、最大でも3.5mSv未満であり、全員が健康に影響が及ぶ数値ではなかったことが明らかになりました。

これまでのホールボディカウンタの公表結果のまとめ

- ・初期、慢性期とも放射性セシウムによる内部被ばくは、預託実効線量で1mSvを超える方はほとんどいない
- ・検出限界以下が経時的に増加
- ・子どもはほとんどは検出限界以下
- ・有限値が出る原因はほぼ食品由来と考えられる。それもごく低いレベル(0.1mSv以下)



平成23年3月に降下した放射性物質をなんらかの形で吸収

- 細根吸収：軽流・玄米、キノコ、果樹・柑橘類、山菜類
- 裏面付着：土埃・汚染が間接付着した野菜等

二次的(食物連鎖的)汚染

- 淡水魚(養殖を除く)、底生魚(流通なし)
- 汚染作物・飼料を食した動物：イノシシ、クマ等

乾燥濃縮

- 乾燥食品：干し椎茸、あんぽ柿、干し芋、干し梅、お茶、切干し大根、漢方薬(煎じた植物等)

第3回食の安全・安心対応意見交換会(平成24年3月3日)審査資料

これまでのホールボディカウンタの公表結果を見てみると、経時的に検出限界以下が増えています。有限値が出る場合は、放射性セシウムの含有量の高い食品を摂取したことによることが多く、中でもキノコを食べたケースが最も多く報告されています。

結果の解釈で注意すべき事項 一内部被ばく線量推計一

モニタリング測定

- 測定機器の精度
校正用ファントムの大きさは限られている
検出器の特性により測定精度が異なる
- 個人差
体型、体内動態などが個人により大きく異なる

シミュレーション計算

- 体内動態モデル
コンパートメントモデルはシンプル
複雑なモデルは変数を決定することが困難
- 吸収割合
MIRDファントム、実際の形状と異なる
Voxelファントム、特定の体型・体格に固定

不確かさを生じる要因(福島県民内部被ばく線量推計)

- ヨウ素は初期の被ばくに寄与するがデータが少ない
- 吸入の空気量は個人によって異なる
- 場所毎の空気中濃度のデータが少ない
- 食品や飲料水などにより放射性核種濃度が異なる:データが十分でない
- 食品や飲料水などの摂取量と種類は個人によって異なる:推定自体困難
- 食習慣により臓器内部の蓄積傾向は異なる:データが十分でない
- 摂取パターンが不明:仮定により線量が異なる

内部被ばくの線量推計で注意すべきこととして、放射性物質の体内量を測定する精度、および放射性物質の体内挙動を左右する代謝などの個人差があります。

放射性物質の体内での動きをシミュレーションする動態モデルは非常にシンプルに作られていて、個人差は考慮されていません。実際には全く同じ体型、体格の人でも、体の中の生理が異なると内部被ばくも違ってきます。例えば腎機能が弱い場合には、尿中排泄も少なくなります。アスリートや相撲力士などスポーツをする人で体格の大きな人も、計算上は一般人と同じ値を用います。

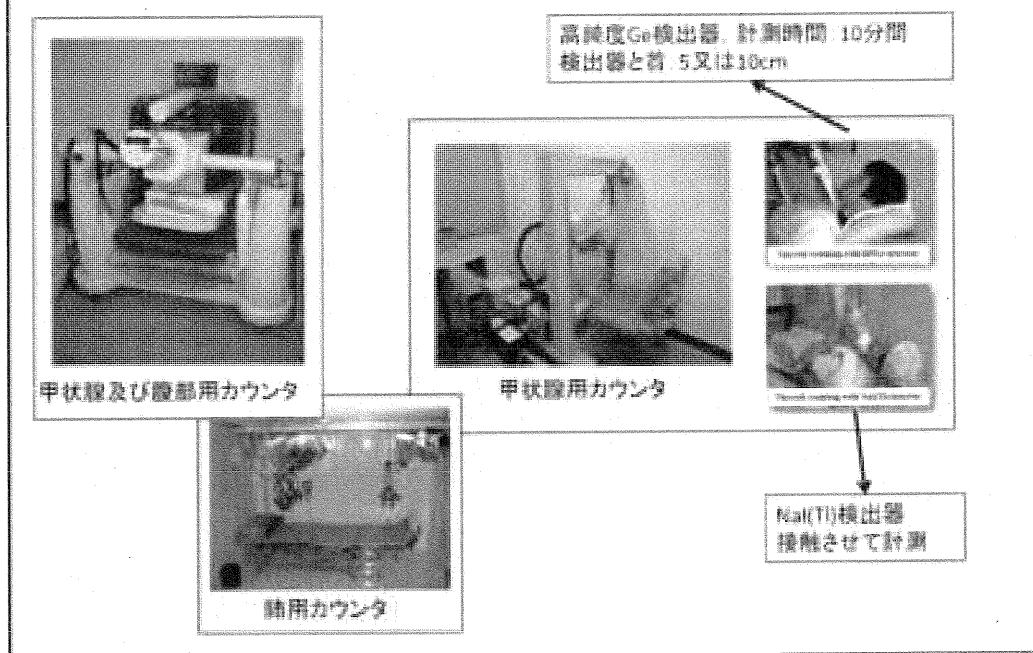
放射性ヨウ素は、初期の被ばく量に大きく寄与しますが、測定データはあまり多くありません。そのため初期の被ばく線量を評価するのは大変難しいことですが、現在、空気中の放射性ヨウ素濃度をもとに計算する吸入による被ばく線量や、食品からの摂取などによる線量推定が進められています。ただし、食品中の放射性ヨウ素量や毎日の摂取量などのデータがあまりなく、評価を困難にしています。

甲状腺検査の方法

- 検査目的: 被ばく評価
 - 甲状腺モニタ等の測定器で直接測定
- 検査目的: 甲状腺の状態
 - *被ばく評価はできない
 - 触診
 - 超音波検査
 - 穿刺吸引細胞診
 - 核医学検査
 - X線検査、X線CT検査
 - その他

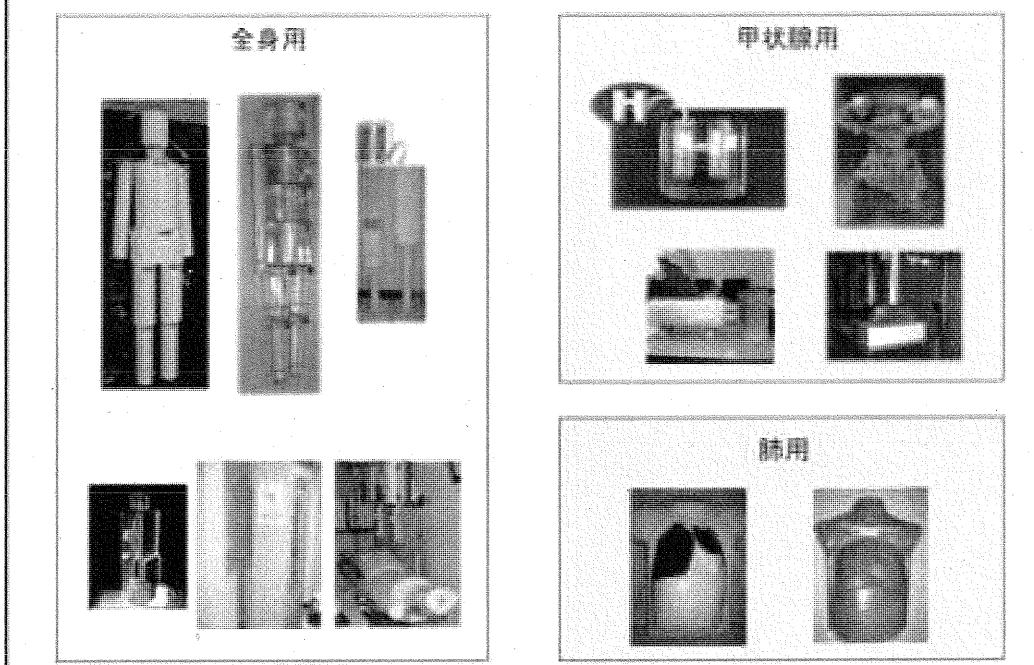
放射性ヨウ素による被ばくが多いと見られる地域について、23年3月に小児の甲状腺の被ばく線量調査が行われています。しかしながら福島県全体の小児の甲状腺の被ばく線量は測定されていません。そこで、甲状腺に変化が現れないことを医学的なチェックでフォローアップするために、甲状腺検査が行われています。甲状腺検査には、触診、超音波、直接細胞を取って調べる、核医学やX線CT等、いろいろな検査があります。福島県で行われている検査では、身体的負担が少ない超音波検査が用いられています。

甲状腺・腹部・肺用カウンタ



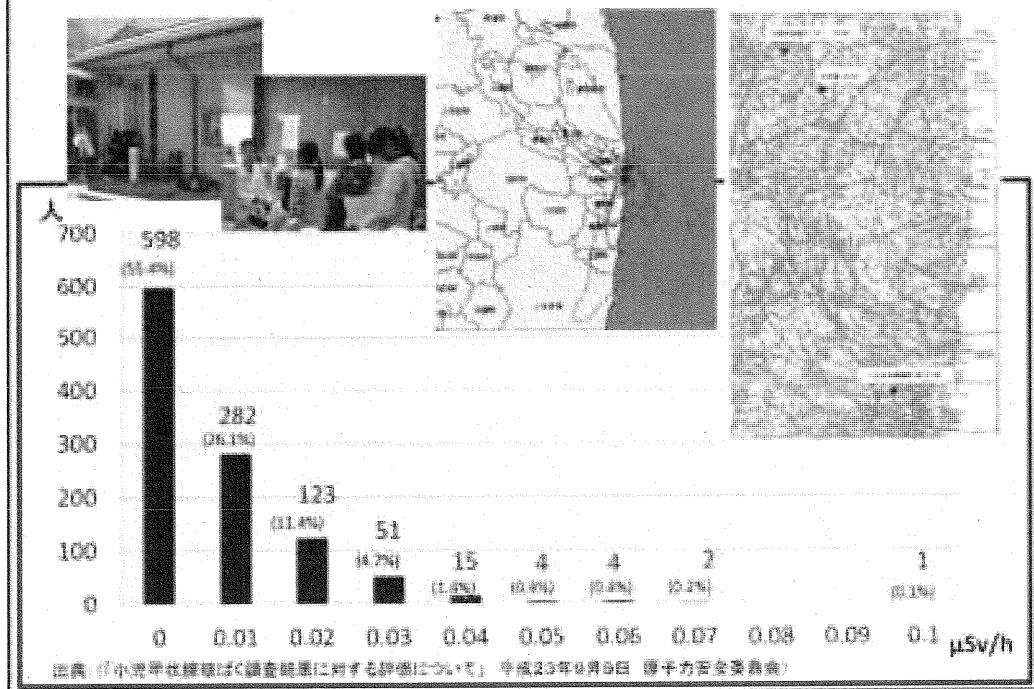
甲状腺モニタや腹部の肺のモニタは、このようにそれぞれの検査に特化した形状になっています。

校正用ファントム



正確に測定するためには、あらかじめホールボディカウンタをファントムを使って校正しておく必要があります。ファントムには目的に応じて全身用・甲状腺用・肺用ファントムなどがあります。ファントムの内部には、種類と量とが分かっている放射性物質が入っています。校正とは、このファントムを計測をして、どれくらいの計数値があるかを調べて、換算係数を求めておくことです。それに基づいて、実際に人を計測したときの数値にこの換算係数を掛けて、どのくらいの放射性物質の量が入っているかを計算します。

小児甲状腺スクリーニング調査



平成23年3月23日のSPEEDIの試算を踏まえ、小児への健康影響を把握するため、原子力安全委員会緊急助言組織からの依頼(3月23日付)に基づき、現地原子力災害対策本部では小児甲状腺スクリーニング調査を実施しました。調査した1,149人のうち、適切に測定された1,080人の結果が示されています。測定場所の環境放射線量が簡易測定を行うには適当でなかった(環境放射線量よりも高かった)ため、適切に測定結果が出せなかった66人と、年齢不詳の3人の結果は除かれました。調査を受けた全員が、原子力安全委員会が、スクリーニングレベルとしている「毎時0.2マイクロシーベルト」を下回っていました。

甲状腺の被ばくについて、これまでに行われた限られた調査では、甲状腺がんの増加が認められる可能性を示唆する結果はありません。より正確な被ばくを推計するため、平成24年度事業において、国の委託事業で初期ヨウ素による被ばくの推計が行われています。

測定・検査結果の解釈で注意すべき事項 一甲状腺測定・検査一

・ 甲状腺測定

- 線量指標

- ・ 同じ“mSv”であるが、実効線量と等価線量は異なる。甲状腺の線量は等価線量である

- 半減期

- ・ I-131は半減期が8日と短く、時間が経つにつれて測定が困難に

- 計算モデル

- ・ 食習慣(日常的なヨウ素摂取量)により事故後のヨウ素摂取量が異なる

・ 甲状腺検査

- 自然発生率

- ・ 小児がんは自然発生率が低いが、母数が多くなると自然発生の事例も観察される可能性がある

- ・ 食習慣(日常的なヨウ素摂取量)により事故後のヨウ素摂取量が異なる

甲状腺の測定と検査には、いくつかの注意点があります。

線量評価の注意点として、線量指標が等価線量なのか実効線量なのかが重要です。甲状腺の場合には等価線量が線量指標として用いられます。単位はミリシーベルトです。このミリシーベルトという単位は、等価線量でも全身の実効線量でも使いますので、どちらであるのかに注意が必要です。甲状腺のように全身の内のごく一部しか被ばくしていない場合、等価線量を実効線量に換算すると、数値が數十分の一に下がります。また、半減期の短いヨウ素131などは、攝取から時間が経つと評価が難しくなります。

甲状腺検査結果を見る場合にも注意が必要です。がんにはもともと放射線以外の原因で発症する一定の自然発生率があります。また食習慣も影響があります。例えば、日本人は普段からヨウ素をよく取っています。したがって常日頃から十分な量のヨウ素が甲状腺にありますので、外国と比べると、放射性ヨウ素を体内に取り込んでも、あまり甲状腺に蓄積されない傾向があると言われています。

甲状腺検査とは

●子どもたちの健康を長期的に見守ります

福島県甲状腺検査

【調査目的】

チェルノブイリ原発事故では事故後4～5年後小児甲状腺がんの発生が報告されたことから、子どもたちの甲状腺への放射線の影響が心配されています。そのため、現時点での甲状腺の状況を把握するとともに、生涯にわたる健康を見守り、本人や保護者の皆様に安心していただくため、平成23年10月より甲状腺検査を実施している。

【実施計画等】

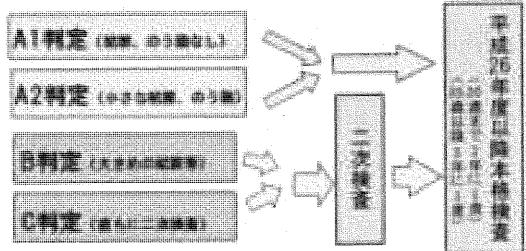
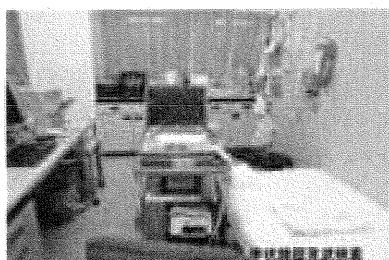
(1) 対象者：平成23年3月11日（震災時）に1歳から18歳までの全県民約56万人（県外避難者も含む）
・平成25年度までに一遍目を終了（先行調査／ベースラインの調査）。

・二遍目として、20歳までは2年に1回、20歳以降は5年に1回の頻度で実施（本格調査）。

(2) 検査方法：

<一次検査> 甲状腺の超音波検査を実施

<二次検査> 一定以上の大きさの結節ややう胞等が認められた場合(B判定)や甲状腺の大きさや結節の形状から早めの検査が必要な場合(C判定)は、詳細な超音波検査、穿刺、穿刺検査、必要に応じて細胞診等を実施。



これは甲状腺検査の概要です。

チェルノブイリ原発事故では事故後4～5年後、小児甲状腺がんの発生が報告されました。そこで福島原発事故の影響でも、子どもたちの甲状腺への放射線の影響が心配されています。

そのため、現時点での甲状腺の状況を把握するとともに、生涯にわたる健康を見守るために、継続して甲状腺検査を実施します。

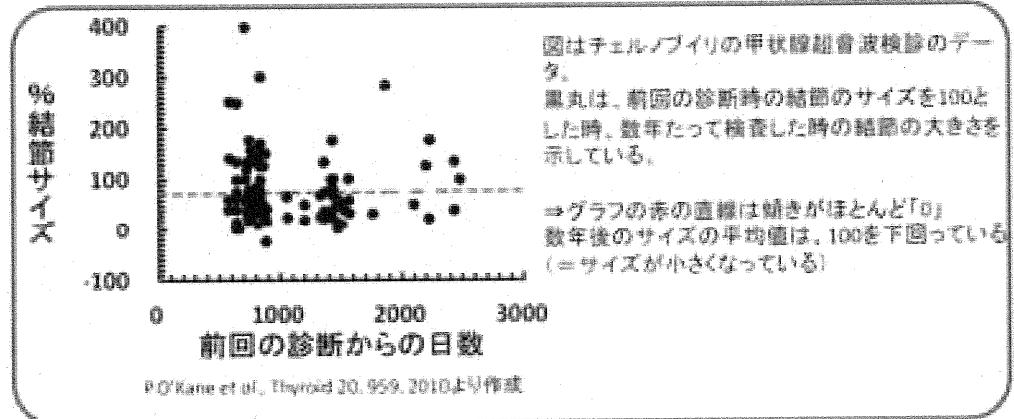
40%がA2判定？

- これまでに5mm以下の小さい結節やのう胞をスクリーニングしたデータがないので、検査途中の現時点では科学的な意義は不明ですが、おそらく誰にでもあるような変化を認めている可能性が高いと考えられます。

検査を受けた子どもの約40%がA2判定となっています。これは1-2mmの大変小さい結節や囊胞まで調べているからです。

甲状腺結節のその後

甲状腺結節のサイズの変化と超音波検診の間隔



- ・甲状腺に結節が認められることは珍しくない
- ・しかし、数年後に再度調べてみると、大きさが変わらなかつたり、小さくなっているものが少なくない。

甲状腺に結節が認められることは珍しくありません。しかし、数年後に再度調べてみると、たいてい大きさが変わらなかつたり、かえって小さくなっているものも少なくあります。図はチェルノブイリの甲状腺超音波検診のデータです。黒丸は、前回の診断時の結節のサイズを100とした時、数年たって検査した時の結節の大きさがどうなっているかを示しています。このグラフの赤の直線は傾きがほとんど「0」であり、数年後のサイズの平均値ですが、100を下回っています。

小児甲状腺がんのまとめ

- ・小児甲状腺がんの予後は良好です。
- ・進行は遅く5年間隔の検査で早期発見できます。
- ・放射線により、小児甲状腺がんが発症するまでには4-5年かかるといわれています。
- ・検査では、早期の小児甲状腺がんが見つかることがあります。
- ・手術には早期治療のメリットがありますが、合併症のリスクやホルモン剤を飲み続けるといったリスクも0ではありません。
- ・検査では、微小の囊胞や結節も記録します。
- ・のう胞と結節のほとんどは良性です。

小児甲状腺がんに関する特徴が示されています。

日本人における甲状腺がんのリスク

- 被ばくとは関係なく、日本人が一生の間に甲状腺がんになる確率は
 - 女性で0.78%、男性で0.28%(Kawa et al., (2009) Jpn J Clin Oncol 39(3))
- 甲状腺への線量が1000mSvの場合、甲状腺がんになる確率の増分は
 - 女性で0.58～1.39%、男性 0.18～0.34%(UNSCEAR2006年報告書附録表A)
- 1000mSvの甲状腺被ばくを受けた日本人が一生の間に甲状腺がんになる確率は(放射線以外の要因による発症の確率を加算)
 - 女性 $0.78 + (0.58 \sim 1.39) = 1.36 \sim 2.17\%$
 - 男性 $0.28 + (0.18 \sim 0.34) = 0.46 \sim 0.62\%$
- 低線量の甲状腺被ばくにおいては、他の要因による発がんの影響で隠れてしまうため、リスクの増加を科学的に証明することは難しいとされています。

日本人が一生の間に甲状腺がんになる確率は女性で0.78%、男性で0.28%です。もし、甲状腺が1,000mSvの被ばくをした場合、甲状腺がんになる確率が、女性で女性で0.58～1.39%、男性で0.18～0.34%とされています。最終的には、放射線以外の要因による発症の確率を加算し、女性では1.4-2.2%、男性では0.5-0.6 %ぐらいに増加します。しかし、甲状腺への被ばく線量が小さい場合は、他の要因による発がんの影響で隠れてしまうため、リスクの増加を科学的に証明することは難しいとされています。

健康診査の目的

- 生活習慣病予防や様々な疾病の早期発見・早期治療につなげていきます

県民健康診査日本

【調査目的】

今回の東日本大震災とそれに続く福島第一原子力発電所事故により、国の警戒区域等に指定された区域に居住していた住民を中心に生活スタイルが今までとは全く異なるものとなったり、その食生活や運動習慣などの生活習慣にも大きな変化があったり、さらには、受診すべき健康診査も受けることができなくなるなど、自分の健康に不安を抱えている状況にあります。県民の健康管理を図るために健康状態を把握し、生活習慣病の予防や疾病的早期発見、早期治療につなげていく必要があることから、避難区域等の住民の方々に健康診査を実施している。

原子力被災者等との健康についてのコミュニケーションにかかる有識者研修会(第4回)発表資料

健康診査の目的は「県民の健康管理を図るために健康状態を把握し、生活習慣病の予防や疾病的早期発見、早期治療につなげる」ことです。移動によって健診を受けることができなかった21万人の避難区域等住民たちを対象に行われます。

健康診査の対象と項目

● 生活習慣病予防や様々な疾病の早期発見・早期治療につなげていきます

県民健康管理制度

【実施計画等】

(1) 対象者： 平成23年3月11日（震災時）に避成区域、計画的避難区域、緊急時避難準備区域に指定された市町村及び特定避難動員地点の属する区域（以下「避難区域等」という。）に住民登録があつた住民並びに基本調査の結果必要と認められた方

(2) 健康診査の項目：

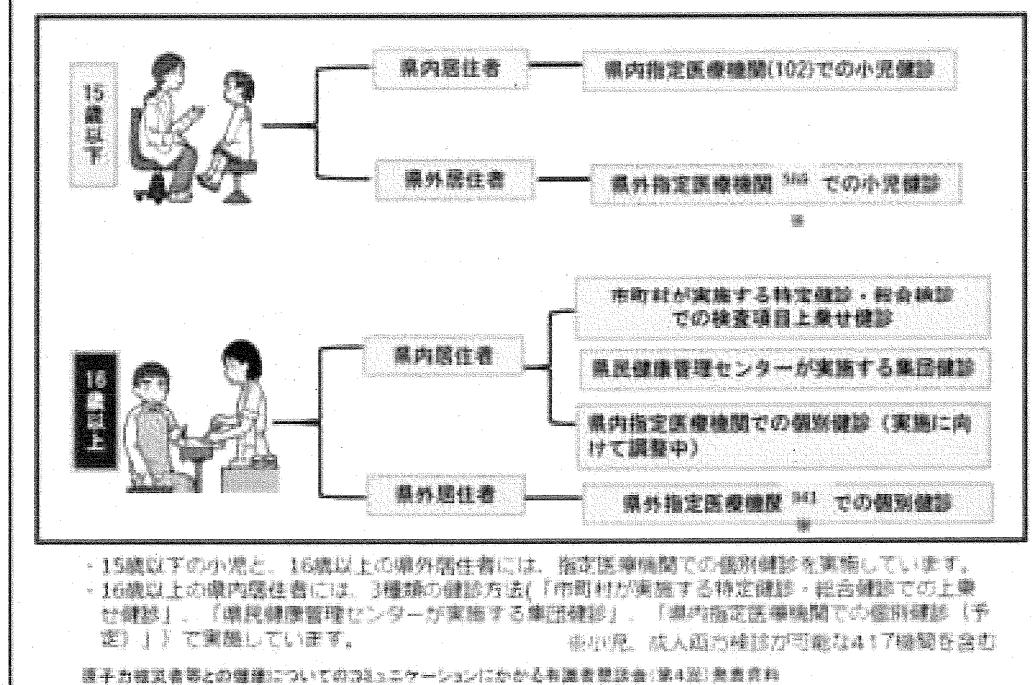
年齢区分	検査項目
○歳～6歳 (新生児乳幼児)	身長、体重。 血算（赤血球数、ヘマトクリット、ヘモグロビン、白細胞数、白血球分類）
7歳～14歳 (小学校1年生～中学校3年生)	身長、体重、皮脂。 血算（赤血球数、ヘマトクリット、ヘモグロビン、白細胞数、白血球分類） 肝臓による検査項目 血液生化学（AST、ALT、r-GTP、TG、HDL-C、LDL-C、HbA1c、空腹時血糖、空腹ウレアチニン、rGPT、尿酸）
15歳以上	身長、体重、皮脂（脂肪）、血圧。 血算（赤血球数、ヘマトクリット、ヘモグロビン、白細胞数、白血球分類） 肝臓による検査項目 血液生化学（AST、ALT、r-GTP、TG、HDL-C、LDL-C、HbA1c、空腹時血糖、空腹ウレアチニン、rGPT、尿酸） 甲状腺機能、過敏、呼吸機能評価で目指すしない追加項目

健康診査は、「県民の健康管理を図るために健康状態を把握し、生活習慣病の予防や疾病の早期発見、早期治療につなげる」ため、21万人の避難区域等住民たちを対象に行われます。

もともとは健診がない15歳以下の県民の方々に対しても、しっかりとした健康管理をする目的で実施されています。

年齢に応じた様々な検査項目が設定されています。

健康診査の実施体制



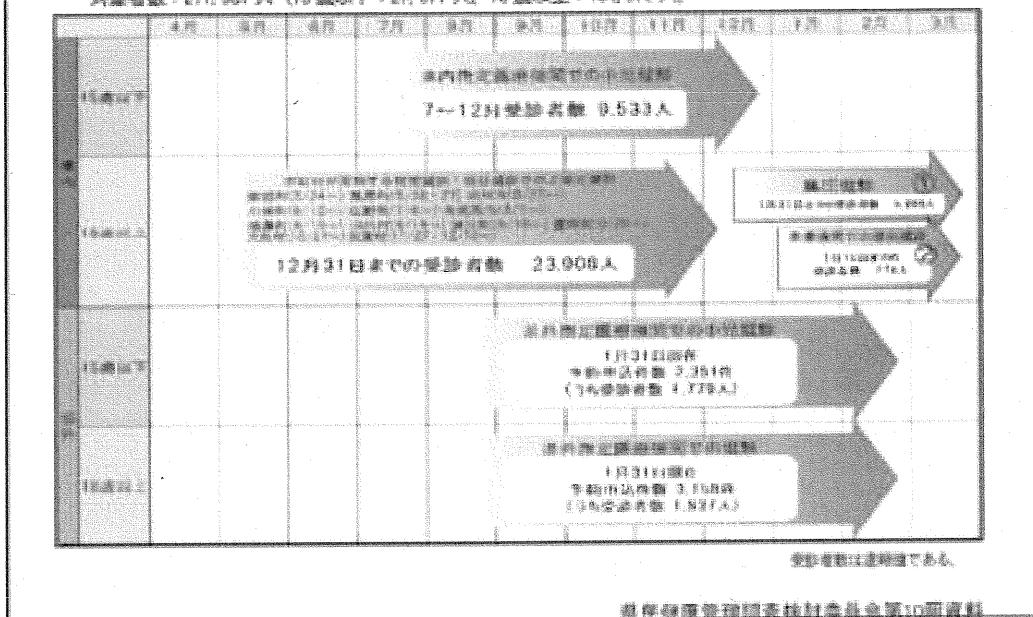
実施体制は年齢別、居住状況(県の内外)に応じた体制が整えられています。

15歳以下の方々では、県内および県外の指定医療機関の小児健診を受けることとしています。これは小児の採血など、小児科でないと扱いが難しい面があるからです。16歳以上の方々については、県内居住者は、特定健診・総合健診の上乗せ健診、管理センターが実施する集団健診、県内指定医療機関の個別健診で実施しています。県外居住者については、県外指定医療機関の個別健診で対応しています。

健康診査の実施状況(平成24年度)

2. 平成24年度 の実施状況

対象者数：211,967人（15歳以下：27,077人、16歳以上：184,910人）



平成23年度の健康診査の実施状況が示されました。約21万人の対象者の内、受診者は35%でした。

また、平成24年度の健康診査でも、およそ21万人が実施の対象者になっています。

健康診査の結果

「健康診断」の歴史を梗概説せば、本邦では、横濱市衛局に據計すると、医師と看護師代用看護婦は、海軍ともに高齢者期に既に存在し、社奉職に確立した。高齢者診察と疾患調査等は、費用が多いため、此監視部事務より委託がみられる。更に、諸省課、諸省課真章、釋迦陀羅葉は、は年齢に備蓄し、その問題は興味者で最も興味があった。例を、1910年東洋医学研究會講演「健康診断」である。赤坂正輔博士は監修して、左方から高齢者は精神活動の機能が弱らかになつた。しかし、この過程によって得ての健康診断であり、社奉しきる開闢一ヶ所監査による過去の精神障害背景を含むしもいた。豊洲やまきの連絡所は環境汚染が健康に及ぼす影響を評議するところ達で意見交換を行つた。

難されよびそれに伴う運動障害の治療にひきずる影響を検査するため、参考として、右記についての運動機能の平成 19~22 年度は生徒運動課内外講習会と夏山活動の平成 21 年度運動課内外講習会と題名「小児健康運動講習」の結果を、成人についても運動課内外講習会と平成 19~20 年度に行われた運動課内外講習会と題名「高齢者健康運動の結果と概要」が平成 13 年度高齢者健康運動講習会と題名「障害者運動」の結果を比較した。その結果、平成 19~22 年度は比較的で平成 21 年度を以て、中高年の一帯にあつては肥満、高血圧、糖尿病で運動障害が高齢化傾向を示し、成人においては肥満、糖尿病、運動障害、運動器障害が問題が高齢化傾向を示した。その結果より、高齢者においては、栄養状態、運動器障害、運動機能障害が問題が高齢化傾向を示した。その結果より、高齢者においては、栄養状態と性格変遷に肥満、糖尿病、運動器障害、運動機能障害などの問題が増加した。運動機能を改善すると、多種なくされた運動機能低下による運動機能の改善、運動機能の变化、精神的エストressや運動障害に伴う生活機能障害の改善などこれが可能である。しかし、高齢者の特徴は、技術力一時的では運動機能一時的改善と一時的改善と行動回復による運動機能の改善ではあるが、運動機能の改善や運動機能障害を伴う生活機能障害の改善などこれが可能である。また、平成 22 年度は運動が起步して運動の準備であり、本音などが多く運動したと高齢者に対する心、お絶縁感覚が存在するため、運動を運動ではなく社会性ではなくない運動であることを考慮する必要がある。

以上は前回の説明としては、筆者より直前に実施した「健康診断」の結果を基準とし、手帳を経由して診断を実施することにより、生み出された医療行為を経験した結果に付いて、手帳を用いて、診断結果・検査結果等を記載していく。

肥満／糖代謝異常／脂質代謝異常／肝機能異常の割合は、震災後の平成23年度では高い数値となっています。避難生活による運動不足、食事摂取量増加、酒量増加、精神的ストレス、睡眠障害といったものが原因の可能性があります。今後、経年的な調査の実施を通して様々な疾病に対応する事が重要です。

妊産婦に関する調査(平成23年度調査結果の概要)

1. 回答状況

平成23年度「妊産婦に関する調査」においては調査対象者を、①平成22年8月1日～平成23年7月31日までに県内で母子健康手帳を交付された方、②その期間内に県外で母子健康手帳を交付され、震災後県内で妊婦健診や分娩をされた方とした。

平成24年1月中旬に調査票15,954件を送付し、平成24年8月31日までに9,266件(58.1%)の回答が得られた。

2. 支援状況

回答のあった9,266件のうち、重複や非該当38件を除く9,228件について、回答内容から支援が必要と思われる方1,393人(うつ項目該当者1,219人、自由記載欄に支援要望のあった方180人)に対し、助産師、保健師等による電話支援を行った。また、メールによる支援体制を整え、13件のメール相談を受けつけた。

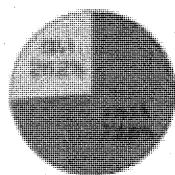
第3回福島県「県民健康診断調査」検討委員会

県内各市町村において、母子健康手帳を交付された方や県内に転入、または、滞在して3月11日以降に県内で妊婦健診を受診や分娩した方を対象(約1.6万人)とし、平成24年1月18日より調査票を配布しました。その結果、平成8月31日までに58%の回答が得られました。9,000件を超える回答の中で、およそ15%の妊産婦の方々が何らかの支援が必要と判断されています。

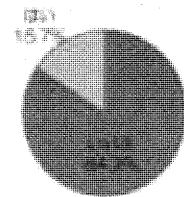
妊産婦に関する調査（平成23年度調査結果抜粋①）

● 平成23年度「妊産婦に関する調査」集計結果（一部の抜粋） (平成24年1月20日～4月13日までに回答した対象者)

ここ最近1ヶ月間、気分が沈んだり、憂うつな気持ちになったりすることがよくありますか？



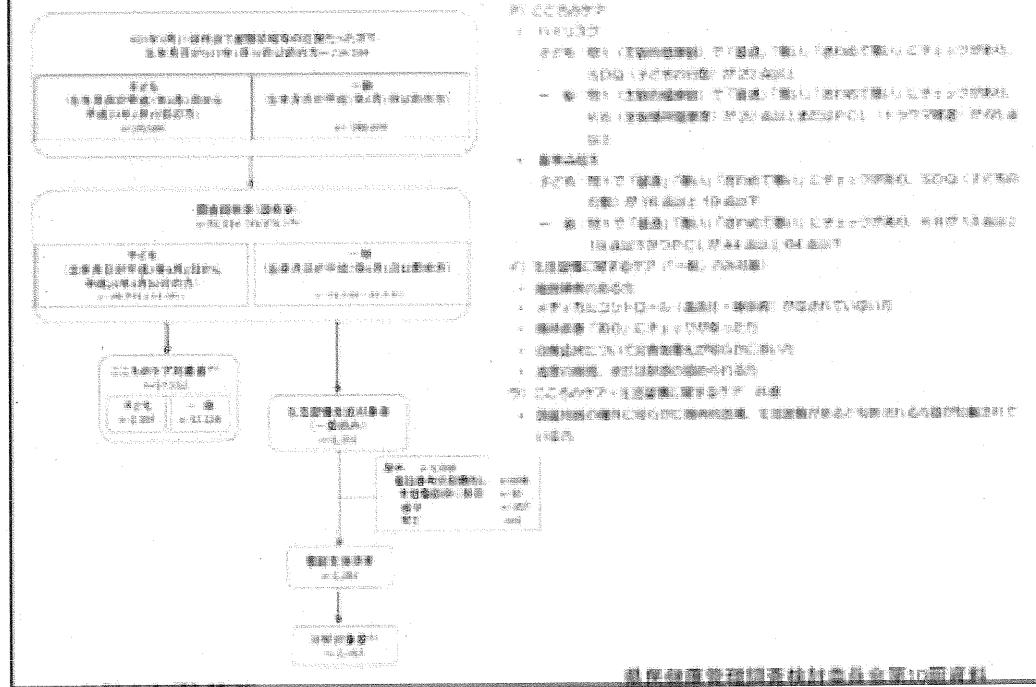
ここ最近1ヶ月間、両親に興味がない・心から楽しめない感じがよくありましたか？



第7回福島県「県民健診管理調査」検討委員会

妊産婦に関する調査において、回答者の26%が、気分が沈んだり憂鬱になったりしたことがよくあると答えています。

こころの健康度・生活習慣に関する調査（平成23年度結果）



本調査における回答率については、子ども(保護者からの回答)で63%、一般で40%と、保護者の不安の大きさを反映した結果となっています。
これまでの調査結果から、およそ5%の人達が「心のケア」に基づく支援を必要としていることがわかりました。

こころの健康度・生活習慣に関する調査

(平成23年度結果)

表4 子ども電話支援結果内訳

年齢	年齢別		性別別	
	男	女	男	女
年齢別内訳				
経過観察1	684 (50.2%)	522 (49.8%)	324 (52.6%)	264 (47.4%)
経過観察2	414 (30.4%)	57 (29.6%)	224 (37.8%)	72 (32.2%)
経過観察3	71 (5.1%)	6 (5.2%)	39 (4.3%)	0 (0.0%)
支援者なし	13 (0.9%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
届け出	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
児童家庭相談センター専門行	23 (1.7%)	1 (0.1%)	12 (2.1%)	1 (0.2%)
児童医療機関等の連携	26 (1.9%)	1 (0.1%)	13 (2.3%)	0 (0.0%)
他部門との連携	26 (1.9%)	1 (0.1%)	13 (2.3%)	0 (0.0%)
文書交換	103 (7.5%)	36 (3.4%)	50 (8.4%)	16 (3.1%)
調査中の場合は?				

(子どもの状況について)

- ・ まだ珍しく、生活虐待や家庭暴力等で心配される状況が見受けられ、改善が必要な状況
- ・ 既往歴、身体的暴力歴等 10年未満の虐待から保護 1回目-4回目 (即ち既往歴)
- ・ まだ珍しく、生活虐待や家庭暴力等で心配される状況が見受けられ、改善が必要な状況

厚生労働省統計局統計資料集第10回資料

子どもたちへの電話支援の結果、経過観察1と判断された要支援者は684名(50.2%)であり、経過観察2と判断された要支援者は、414名(30.4%)でした。

こころの健康度・生活習慣に関する調査

(平成23年度結果)

表6 一般電話支援結果内訳

	【令和2年4月】		【令和2年6月】		【令和2年7月】	
	高齢者	基準点超え	高齢者	基準点超え	高齢者	基準点超え
支援項目別						
「介護援助」	1,280 (42.1%)	807 (68.7%)	1,250 (42.0%)	820 (70.0%)	416 (39.7%)	175 (41.9%)
「障害福祉」	943 (33.8%)	180 (15.3%)	882 (30.9%)	154 (13.6%)	280 (26.7%)	56 (13.1%)
「就労相談」	87 (3.1%)	29 (2.4%)	80 (2.8%)	27 (2.3%)	27 (2.6%)	9 (2.1%)
「介護を受なし」	58 (2.0%)	8 (0.7%)	58 (2.0%)	8 (0.7%)	6 (0.6%)	0 (0.0%)
「虐待」	1 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
「県内空港利用実績」	637 (22.5%)	51 (4.0%)	556 (19.3%)	9 (0.8%)	9 (8.0%)	0 (0.0%)
「県外空港利用実績」	38 (1.3%)	0 (0.0%)	35 (1.2%)	0 (0.0%)	13 (1.1%)	0 (0.0%)
「面接窓口」	28 (1.0%)	10 (0.8%)	19 (0.6%)	5 (0.6%)	13 (1.1%)	3 (0.6%)
「支給支拂額」	1,250 (42.1%)	120 (11.1%)	1,250 (42.0%)	100 (8.3%)	204 (22.6%)	51 (11.5%)
支給額別割合						
支給額内訳は、既定						

(結果の特徴について)

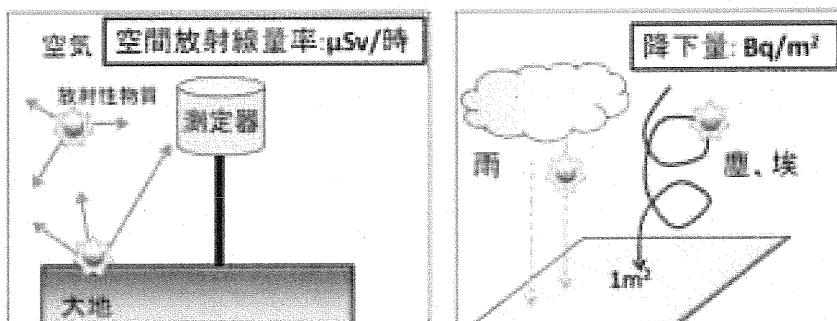
- ・ 経過観察1：医療機関に通院がっている、もしくは相談相手が専門にいることが確認でき、問題に対して、自分で選択に迷われていると判断できるもの。
- ・ 経過観察2：医療機関に通院がっていない、相談相手が専門にいない、もしくは医療機関や専門機関からの紹介カードへの記述欄が無い等、問題に対して自分で選択に迷われていると判断できないもの。
- ・ 経過観察3：会員登録ではないが、回数が少なく、状況の複雑が予想なかつたもの。
- ・ 支援問題なし：会員の名前はないと、相手から相談に取扱われぬもの。
- ・ 電話内の回答：甲子園投票券、他の部門から回答する人が選ばれて有効されたもの。

県民健康支援委員会資料

一般成人たちへの電話支援の結果、経過観察1と判断された要支援者は、はいりすぐでは1,760名(42.1%)、基準点超えでは807名(68.7%)でした。また、経過観察2と判断された要支援者は、ハイリスクでは943名(22.5%)、基準点超えでは180名(15.3%)でした。

環境放射能の計測

- ・ 空間放射線量率は空間のガンマ線を測定。
1時間当たりのマイクロシーベルト($\mu\text{Sv}/\text{時}$)で表示。
- ・ 降下量は、一定期間の間に単位面積あたりに沈着した(あるいは降下した)放射性物質の量。
例えばベクレル／平方メートル(Bq/m^2)



空間放射線量というのは、空間中の γ (ガンマ)線量を測定したもので、1時間当たりのマイクロシーベルトで表示されています。空気中にただよっている放射性物質からの γ 線も検出していますし、大地に落ちた放射性物質からの γ 線も検出しています。また計測しているのは事故由来の放射線だけではありません。大地に含まれている自然由来の放射性物質からの γ 線や宇宙からの γ 線も含まれた値です。

空間線量率は、人がその場所に1時間立っていた場合に、 γ 線をどれくらい被ばくするかを表しています。通常、測定器は地上1mぐらいの高さにおかれることが多いのですが、これは大人の場合この高さに重要な臓器があるからです。

降下物中の放射能量は、単位面積当たりに落ちてきた放射性物質の量で表します。放射性物質の種類ごとに、1日当たりあるいは1カ月当たりといった期間ごとの数値で示されることが一般的です。

環境放射線モニタリング

環境放射線 モニタリング

平常時モニタリング

環境における原子力施設に起因する放射性物質又は放射線による線量が線量限度を十分に下回っていることを確認する。
(空間放射線の測定、環境試料の測定、総合評価)

緊急時モニタリング

原子力施設において緊急事態が発生した場合、避難、飲食物摂取制限等の放射線防護対策に必要な情報を収集、影響評価を行う。
(各フェーズにおいて、緊急時モニタリング計画に基づきモニタリングを実施)

環境放射線のモニタリングは、平常時モニタリングと緊急時モニタリングの2つに分けることができます。

平常時モニタリングでは、平常時の放射線レベルがどれくらいかを丁寧に測り、その結果を評価して、それが線量の限度を大きく下回っていることを確認することが重要な目的です。例えば、都道府県で行っている水準調査と言われるもののがそれに当たります。具体的には、モニタリングポストで放射線を測定し、また環境試料として土壌や雨水等を測ります。

一方、緊急時モニタリングは、今回の東電福島第一原発事故に対応して行われている緊急時のモニタリングがそれに当たります。緊急時モニタリングは、事態の状況に応じて対応が異なります。事故が発生した当時の状況と、ある程度時間がたって落ち着いた状態では異なったモニタリングを行います。特に初期において重要なことは、避難や飲食物の摂取制限をどうするかなどの防護措置を考えるために必要なデータを集めることです。

原子力緊急事態が発生した場合に向けて、緊急時環境放射線モニタリング指針は作られていますが、通常は平常時モニタリングが行われます。

環境放射線モニタリング

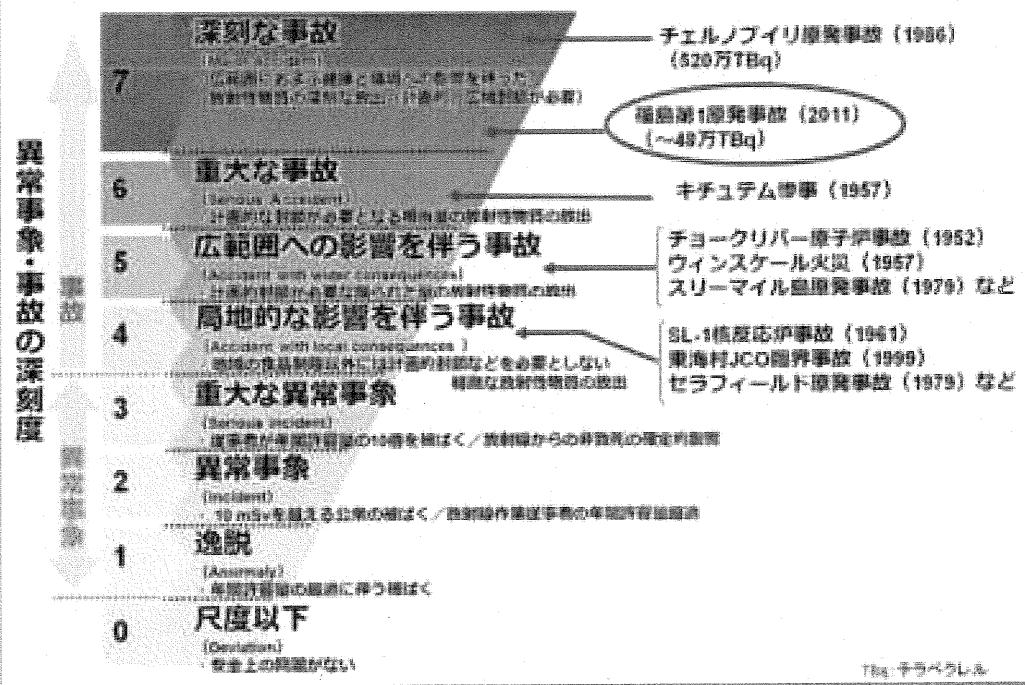
◆原子力施設周辺の放射線モニタリング



平常時の環境放射線モニタリングの概念図です。平常時モニタリングは地方公共団体が原子力事業者と共に実施することが求められています。モニタリングポストは空間線量率を連続的にモニタできる野外測定設備で、各都道府県の県庁所在地などに1台ずつ置かれています。福島第一原発の事故以降、設置台数も増えています。更に、空気中の放射性物質の濃度測定の機能を備えた施設がモニタリングステーションです。モニタリングカーを用いた移動サーベイも環境放射線モニタリングに有効です。こういった測定は主に県が中心となって実施しています。

環境試料採取は例えば、陸域であれば植物の葉や牛乳、土壌等、海域では海産物等を採取して放射能測定をしています。このような平常時のモニタリングで得られたデータは、異常時のモニタリング結果との比較対象になるという意味で、非常に重要です。

国際原子力事象評価



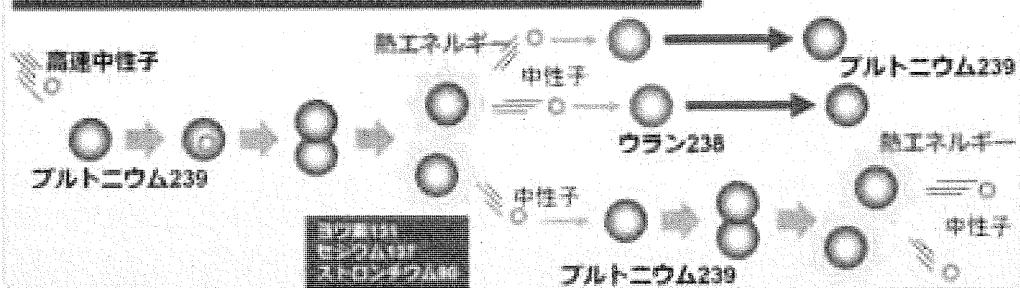
原子力の異常事象や事故は、その深刻度に応じて7つのカテゴリーに分類されます。福島原発事故はその放射性物質の放出量から最も深刻な事故であることを示すレベル7と判断されています。

原子炉内の生成物

軽水炉の核分裂とプルトニウムの生成



高速増殖炉の核分裂とプルトニウムの生成（増殖）



福島原発の軽水炉では、U-235に中性子を当てて、核分裂を起こさせていました。その時に、I-131, Cs-137, Sr-90などが出来てきます。

正常に原子炉が働けば、こうした生成物は原子炉から外へは飛び出しません。

しかし、原子炉に穴などが開いたりすれば、当然、漏れ出すことになります。

また、U-238に中性子が当たると、Pu-239が出来ます。これも当然、漏れ出る事になります。

下の図は、Pu239を使った高速増殖炉での核分裂反応の模式図です。

上の原子炉から出来たPu-239を使って、新たなエネルギー源にしようとするシステムです。

原発事故由来の放射性物質

	I-131 ヨウ素	Cs-134 セシウム	Cs-137 セシウム	Sr-90 ストロンチウム	Pu-239 プルトニウム
出す放射線の種類	β , γ	β , γ	β , γ	β	α , γ
物理学的半減期	8日	2.1年	30年	29年	24,000年
実効半減期	8日	64日	70日	15年	197年
蓄積する器官・組織	甲状腺	全身	全身	骨	骨、肝

実効半減期：体内に取り込まれた放射性物質の量が、生物学的摂取作用(生物学的半減期)および 放射性物質の物理的構造(物理的半減期)の両者によって減少し半分になるまでの時間。緊急被ばく医療テキスト(医療科学社)の値を引用した。

東京電力福島第一原発事故により、環境中に放出された放射性物質で、健康や環境影響上主に問題となるものは、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137、ストロンチウム90の4種類です。その他にもさまざまな物質が放出されました。いずれもこの4種に比べると半減期が短いか、放射能量が少ない事が分かっています。

ヨウ素131は、半減期が8日と短いのですが、体内に入ると10～30%は甲状腺に蓄積されます。そうなると甲状腺は、しばらくの間、 β (ベータ)線と γ (ガンマ)線の被ばくを受けることになります。

原子力発電所の事故による汚染の場合、問題になる放射性セシウムには2種類あります。セシウム137の半減期は30年と長く、環境汚染が長く続きます。セシウムは化学的性質がカリウムとよく似ているため、体に入った場合は、カリウム同様ほぼ全身に分布します。

ストロンチウムは半減期が長く、化学的性質がカルシウムに似ているため、体に入ると骨に蓄積します。 γ 線を出さないため、セシウムほど簡単にどこにどれだけあるかを調べることはできませんが、原子力発電所事故による汚染の場合、セシウムのあるところには、セシウムよりも量は少ないながら、ストロンチウムも存在すると考えられています。事故由来のプルトニウムも検出されていますが、量的には過去に海外で行われた大気圏内核実験による降下量と同程度です。

放出された放射性物質の推定

福島原発事故に伴う放射性物質の放出量の推定値

(単位: PBq = 1000兆Bq = 10^{15} Bq)

推定機関 (推定時期)	希ガス	I-131	Cs-134	Cs-137
原子力安全委員会 日本原子力開発機構 (H23. 8)	-	130	-	11
原子力安全・保安院 (H24. 2)	-	160	18	15
東京電力 (H24. 5)	約500	約500	約10	約10
IRSN(フランス・放射線 防護原子力安全研究所) (H23. 3)	2000	200	30	
【参考】チェルノブイリ原 子力発電所事故 (OECD/NEA 1995)	6500	1800	54	85

東電福島第一原発事故に伴い、原子炉から放出された主な放射性物質の推定値を示します。炉心の中の状態が分からぬいため、空間線量率や空気中の放射性物質の濃度等の環境モニタリングで得られたデータから推定された結果です。いくつかの専門機関や事業者が独立に推定していますが、数値にはばらつきがあります。しかし、オーダーとしては大体同じレベルと言えます。

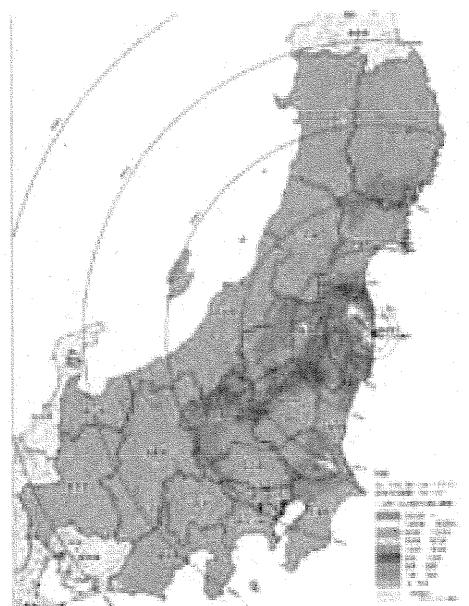
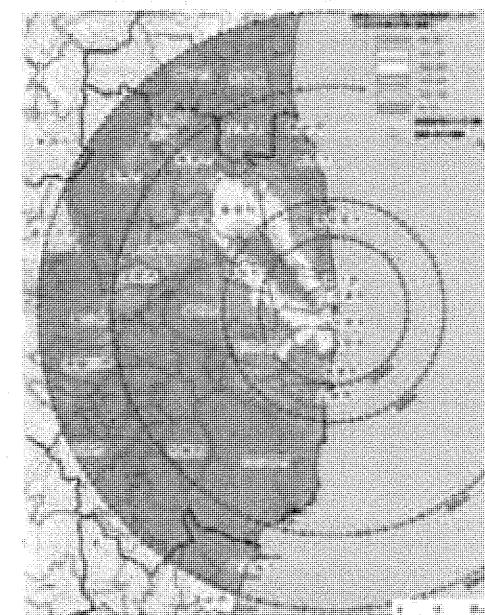
参考としてチェルノブイリの放出量も示されています。両者の比較から、セシウム137はチェルノブイリの場合の約6分の1、ヨウ素は約10分の1程度であることが分かります。単位はペタ(10^{15})ベクレルです。

通常、初期に放出される物質としては、希ガスと揮発性のヨウ素131が挙げられます。特に、ヨウ素131のモニタリングは重要で、この核種が、いつ、どれくらい放出されたかということが、甲状腺被ばく線量を推定する上で必要になります。また、今回の福島事故における、最終的な被ばく線量評価をするに当たってはセシウム134と137の放出量の把握が重要です。セシウム134と137の放出量はそれぞれの検出量からほぼ1対1の比率と推定されています。

放射性物質の影響

文部科学省及び米国DOEによる航空機モニタリング
空間線量率（H23.4.29換算）

Cs-134,Cs-137の沈着量（H23.10.13換算）



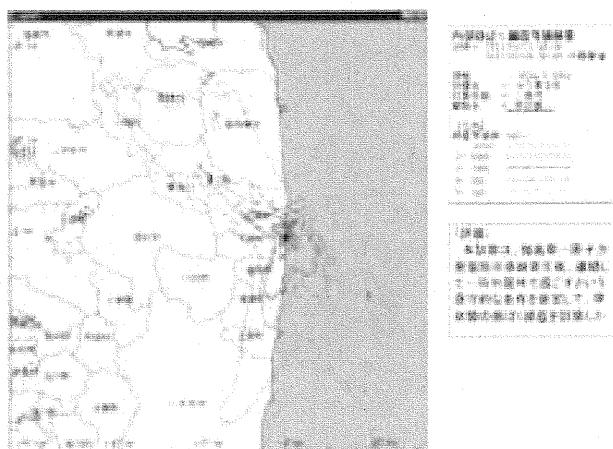
<http://radioactivity.ricet.go.jp/ja/01f3331.html>

これは初期に文部科学省とDOE(アメリカ合衆国エネルギー省)が行った航空機モニタリングによる80キロ国内の空間線量率の測定結果です。多くの放射性物質が北西側に流されました。これは、3月15日に放出された放射性物質によると思われます。線量の分布は、放射性物質が放出されたタイミングとそのときの風向き、雨、降雪等の要因により決まります。

中部から東日本のほぼ全域を示す右の図では、80キロ圏は点線の円で示されています。その周辺の200キロ、300キロ、400キロメートルを示す範囲で見ても、セシウムの沈着量はかなり広い範囲に広がっている事が分かります。一方、長野県等で高い線量の分布が見られなかったのは、拡散したブルームが高い山によってくい止められた為と考えられます。

SPEEDIによる放出量予測

【SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測, System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information)ネットワークシステム】：原子力施設から大量の放射性物質が放出されたり、あるいは、そのおそれがあるといふ緊急時に、周辺環境における放射性物質の大気中濃度や被ばく線量などを、放出源、気象条件及び地形データをもとに迅速に予測するシステム。



原子力安全委員会が平成23年3月23日に公開したSPEEDIによる試算結果
http://www.mse.go.jp/archive/msc/info/noj23_top_siryo.pdf

SPEEDIは緊急時に放射能の影響を予測するシステムです。

SPEEDIシステムには、地形データ等が内蔵されていて、そのときの気象状況や放出源などの条件を入れると、放射性物質がどう拡散するか、それに伴う被ばく線量はどれだけになるかなどを推定することができます。

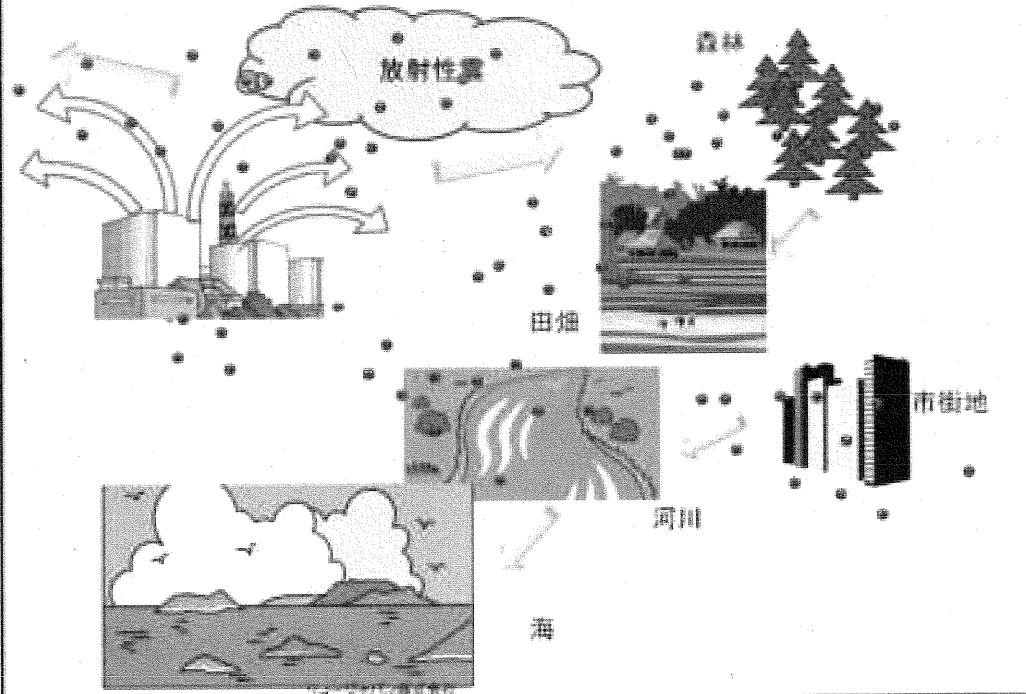
今回の事故では、3月11日の通報が出た段階で、SPEEDI自身は起動していましたが、放出量と放出時間が不明でした。このため、実際にどれだけの被ばくが起こり得るかという推計値は得られませんでした。そのため今回の推計には、単位ベクレル当たり(すなわち単位放出量当たり)の被ばく線量が使われています。つまり、放出源から毎時1ベクレル放出される時の被ばく線量がどのくらいかを、1時間単位で計算します。ですから実際にどのくらいの放射性物質が放出されたかが分からないと、被ばく線量を推定することは出来ません。

訓練でSPEEDIシステムを使うときは、放出量が既知で風向きは一定という、図形として比較的描きやすい状況を想定しています。今回の事故時には、放出した量が分からないうえに、風向きが目まぐるしく変化していたという状況でした。

今後のSPEEDIの活用については現在、原子力規制庁で検討中です。けれども実用に際しては、モニタリングカーや可搬型のモニタリングポストなどを使って、実測値を得る事が肝要で、シミュレーションだけでは限界があることも分かつて来ました。

今後この様な評価を踏まえてSPEEDIを使っていく必要があります。

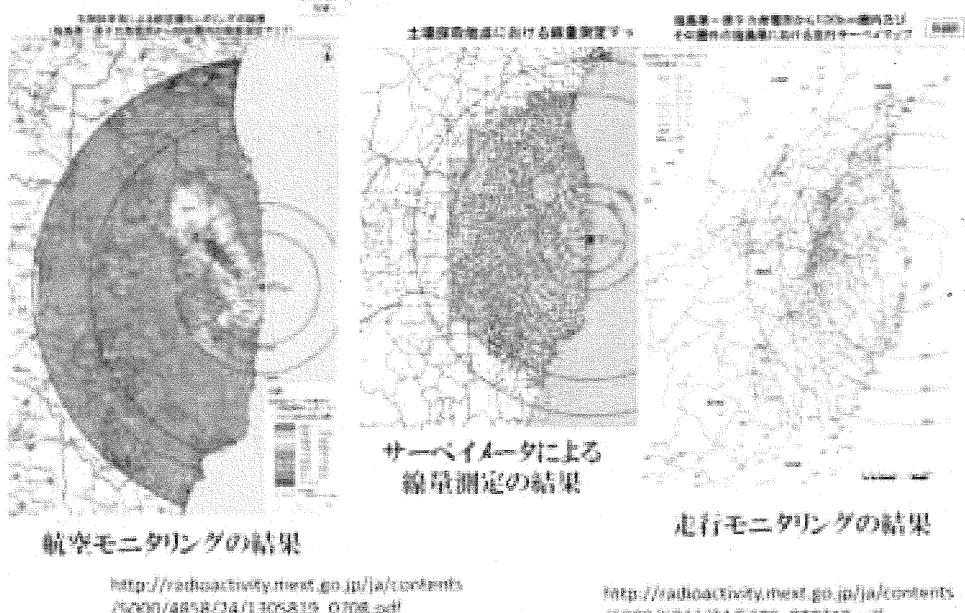
放射性物質はどのように動いているのか？



今回の事故による汚染は、3月の段階で放出された放射性物質による汚染が主因と考えられています。放射性ブルームによって短期間に広域が汚染され、放射性物質が草木、建造物、地表などに付着しました。例えばブルームが森林を通過したとき、樹木がフィルターの役割を果たし、放射性物質が木の葉などの表面に付着してしまいました。これらの放射性物質が今後どう移動していくかを考える必要があります。これらの放射性物質は山からわれわれの生活圏におりてきて、雨で河川等に流れ、最終的には海に行くというのが主な移動の経路です。ただし、セシウム自体は土壌に結合して動かなくなる特徴があり、環境中の移行を考える上で重要なポイントです。

環境放射線モニタリング

空間線量率モニタリング結果の整理（線量率マッピング）

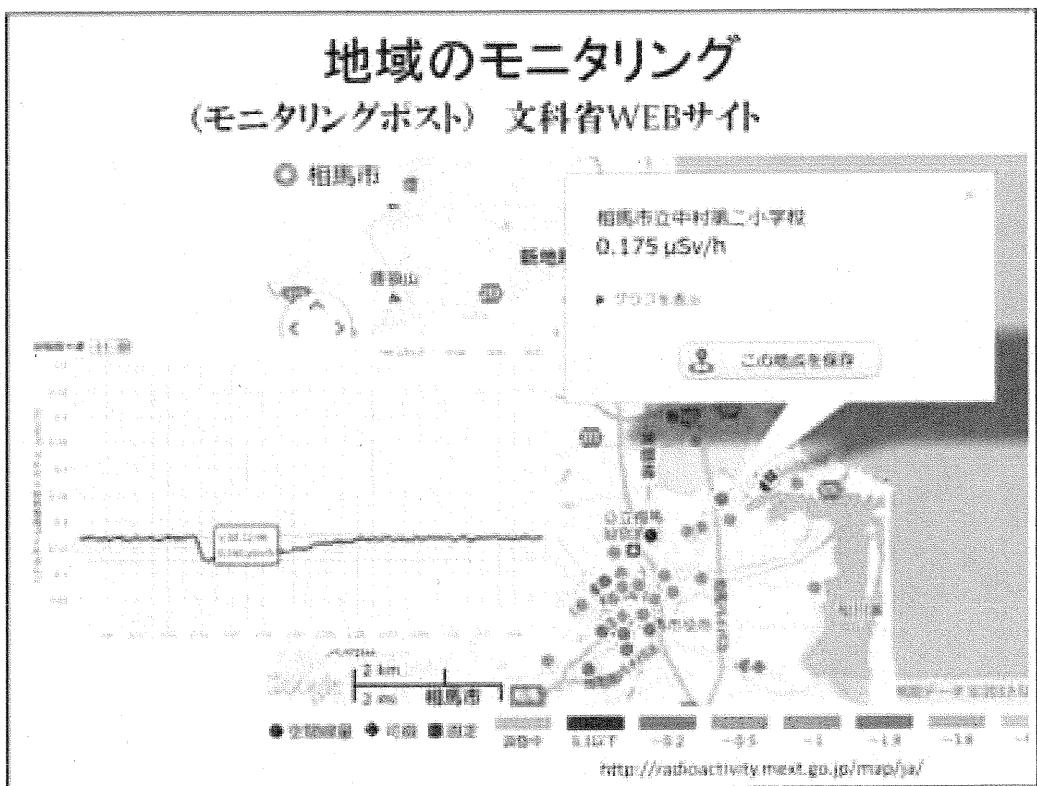


ここに示す3つの図は、いずれも空間線量率のモニタリングデータです。

左の図は第3次航空機モニタリングによる地表面から1メートルの高さの空間線量率を示しています。福島第一原発から80キロメートル圏内で、ヘリコプターで150メートルから300メートルぐらいいの高度を2キロメートルから3キロメートル間隔で飛行し、直径300メートルぐらいいの区域の線量を測定して地上1メートルの値に換算しています。地図にはこの他に地表面に蓄積した放射性物質（セシウム134、セシウム137）の蓄積状況も示しています。H24年12月4日の時点で、第6次の航空機モニタリングが実施されています。既に公表されている第5次までの結果と比較すると、全体として減少傾向にあることが分かります。

中央の図は土壤採取地点における地表面1メートルの高さでの空間線量率を示しています。6,000～7,000箇所（文科省発表では1次調査2,200箇所+2次調査1016箇所）の地点で、土壤サンプリングをする際に測定したデータです。左図の航空機モニタリングのデータと良く似た結果が得られています。この方法は局所的な測定が可能であることから、より正確な空間線量率を測定することができます。

右の図は福島県の協力により自動車による走行モニタリングで測定された空間線量率を示しています。このモニタリングでは車内に放射線測定器を搭載し、走行しつつ道路周辺の空間線量率を連続的に測定するため、詳細、且つ、迅速に広域のマッピングが可能です。なお、本調査では、京都大学が独自に開発したシステム「KURAMA」が使用されました。測定においては、GPSの情報も同時に取得するため、実際の通過地点での放射線量を得る事が出来ます。このシステムによって東日本、東京近辺も含めて3m間隔の細かいデータが取れています。

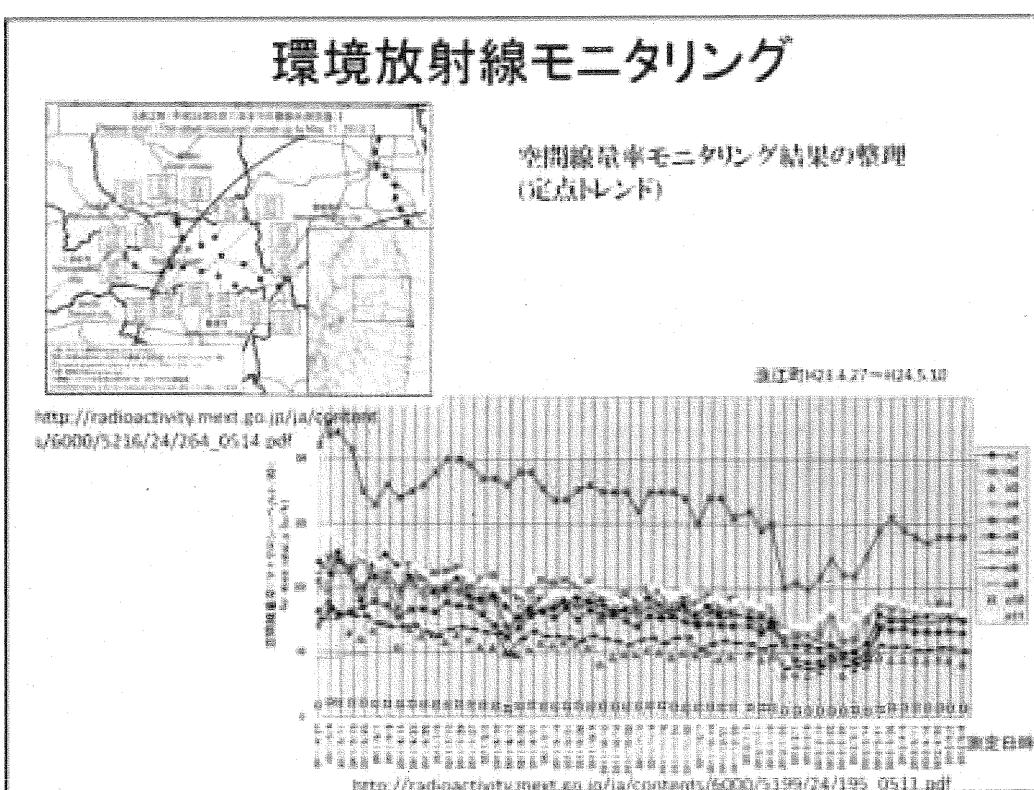


文部科学省のウェブサイトでモニタリングポストのデータをリアルタイム(10分ごとに更新)で確認することが出来ます。地図上にモニタリングポストの配置を示し、それぞれの地点での測定値の経時的変化を表示する機能も付いています。過去の時系列のデータについても、エクセル形式で表示されます。福島県内外で可搬型モニタリングポストが約2,700か所に設置されています。

ここには、相馬市の中村第二小学校の線量率を例として表示しています。小学校なので、空間線量率は地表から高さ50センチの位置で測定されています。

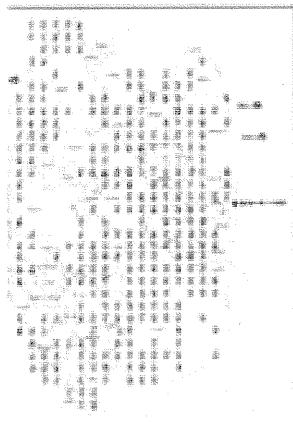
なお、各学校や児童福祉施設で児童を代表するということで先生の個人線量が測定されていましたが、昨年3月で停止されました。これは学校関係の線量の低減が進み、また、上に述べたように可搬型モニタリングポストによる測定データがリアルタイムでインターネット上に公表されるなど、必要な情報提供の体制が整備されたためです。

環境放射線モニタリング

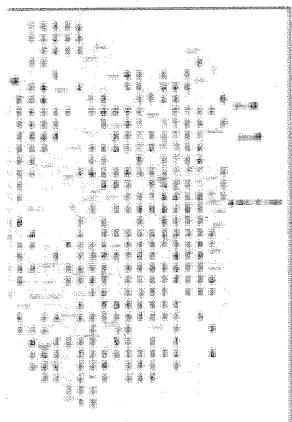


浪江町の定点観測地点とそこで測定された空間線量率の経時的変化を示しています。このグラフから、過去にどのような値が計測され、その値がどのように変化したかが分かれます。図から分かる通り、全体としては減少傾向にあると言えます。平成24年1月から3月にかけて、空間線量率の値が全体に下がっています。これは冬期の積雪の影響によるものと考えられます。積雪によって地表沈着分からの放射線が遮蔽されたために、線量率の値が低くなつたと考えられます。

森林汚染のモニタリング結果



落葉中の放射性セシウム濃度



土中の放射性セシウム濃度

落葉中に放射性セシウムは滞留し、土壤中の濃度より高い。常緑樹(マツなど)では、放射性セシウムは樹上滞留が支配的

<http://www.maff.go.jp/j/press/hozen/120301.html>

この図は、農林水産省林野庁が公表している福島県の森林における土壤等に含まれる放射性セシウムの濃度の測定結果の例です。

これは福島県内の森林で採取した落葉層(落葉や落枝からなる堆積有機物層)及び土壤(表層5cmまで)の放射性セシウム(Cs-134, Cs-137)の濃度の測定結果を、濃度別に色分けして地図上に表示した分布地図です。この測定結果から、ほぼ全ての地点で放射性セシウムの濃度は土壤より落葉層の方が高いことがわかりました。これは、落葉中のセシウムは土壤にほとんど移行しないことを示しています。アカマツなどの常緑針葉樹の葉は、通常3~4年程度かけて地表面に落葉することから、森林の除染を進めるにあたっては、継続的な落葉層の除去を行っていくことが効果的と考えられます。

食品中の放射性物質に関する検査体制

◆検査計画

国が都道府県に対象品目、検査頻度等を示し、放射性セシウムが高い検出される可能性のある品目等を重点的に検査

検査計画を原子力災害対策本部において策定

●対象自治体（17都県）

過去の出荷指示の実績を踏まえ、2グループに分類

●対象品目

- ・放射性セシウムの検出レベルの高い食品
- ・飼養管理の影響を大きく受ける食品
- ・水産物
- ・出荷制限の解除後の品目
- ・市場流通品 等

●対象区域・検査頻度

＝検出レベル・品目の生産・出荷等の実態に応じて実施

➡ 各都道府県に対し、検査計画の策定、検査の実施を通知
(対象以外の自治体における検査の実施を含む)

17

このスライドでは、食品中の放射性物質に関する検査の体制について示しています。まず国は都道府県に対して、食品の放射性物質に関する検査についてガイドラインを示します。それに基づいて都道府県では検査が実施されています。対象となる自治体には17の都県が含まれています。

出荷制限の指示の実績を踏まえて、複数の品目が出荷制限となった自治体と单一品目のみであった自治体の2つのグループに分類されました。

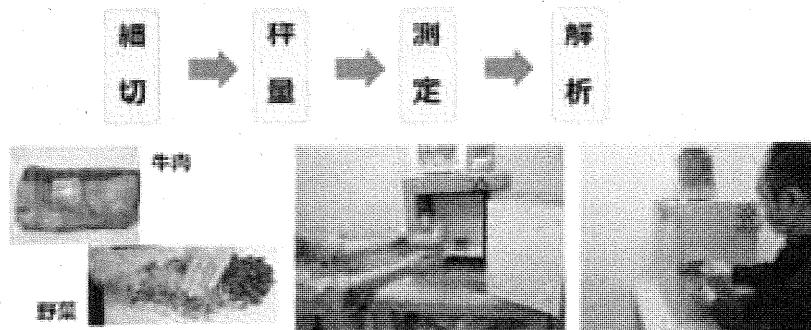
対象の品目としては、①放射性セシウムの検出のレベルの高い食品、②飼養(餌)の管理によってその影響を大きく受ける食品、③水産物、④出荷制限の解除後の品目、⑤市場流通品等が上げられています。それ以外にも主要な食品、消費が多い食品などについては、今までの実績にかかわらず検査をすることが求められています。

検査の手順

精密な検査と効率的なスクリーニング検査を組み合わせて実施

- ① ゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析法
- ② NaIシンチレーションスペクトロメータ等を用いた放射性セシウムスクリーニング法（最終改正：平成24年3月）
— 平成23年7月、短時間で多数の検査を実施するため導入

<測定の流れ>

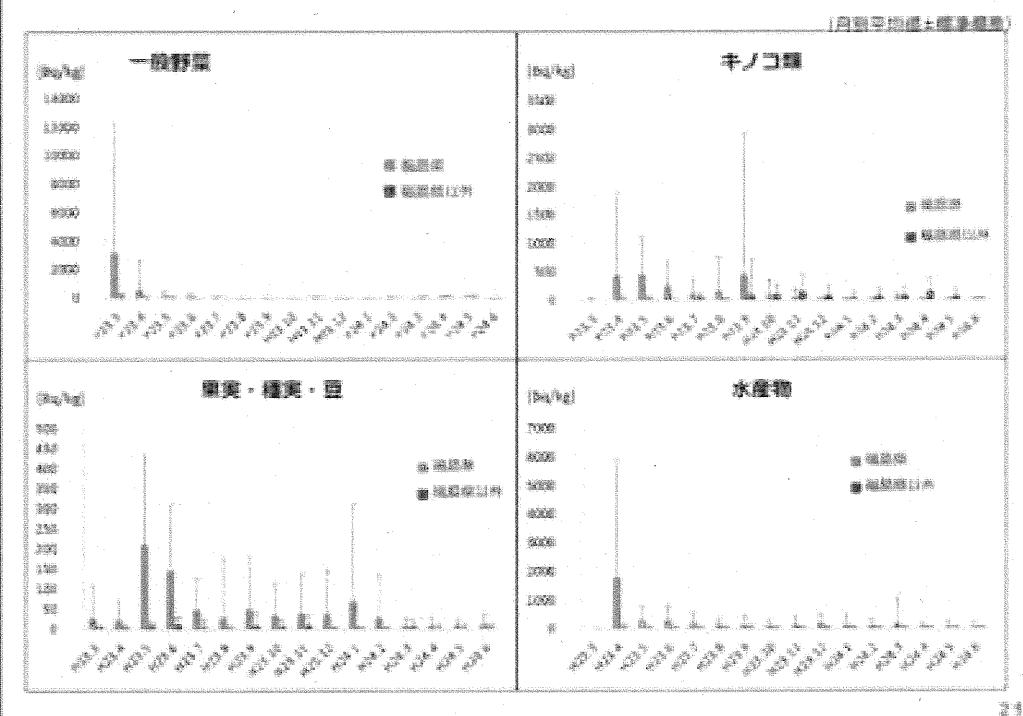


食品中の放射性物質に関する検査手順が示されています。
食品については(1)精密な検査と(2)効率的なスクリーニング検査の2種類の方法があります。精密な検査としては、ゲルマニウム半導体検出器を用いた核種分析法を基本にしています。食品を細かく切ったあと、重量(容量)を正確に測って、それを所定の容器に入れます。資料の詰まった容器を測定器に納めます。測定器は厚い鉛で覆われた箱のような構造をしています。その中で30分～2時間測定します。食品から出てくる微量の放射線を検出して、その量を測っていますから、それだけの時間を置かないと検査ができないというのが実状です。最後に、測定結果を解析します。

福島で米の全袋検査を実施しています。これは米の袋が基本的にどの袋も大体同じ形をしていて、同じ量が入っていますから、そうした一定の条件の下で、それに合った測定機器をすれば、検査の時間を短くすることができます。一方、こうしたシステムを海産物にも適用してほしいとの要望があります。今後、そうした機器もより良いものが開発されてくる事が期待されます。

効率的なスクリーニング検査にはNaIシンチレーションスペクトロメータが主に使われます。精度はゲルマニウム半導体検出器よりも劣りますが、その分、検査時間の短縮(数分の一)が可能です。例えば、基準値の100ベクレルを超えている可能性があるかどうかなどの簡易スクリーニングの測定に向いています。価格もゲルマニウム半導体検出器とは比べ物にならないほど安価です。もし疑わしいとなつた食品が出れば、再度ゲルマニウム半導体検出器で検査をするとことになります。

【参考】モニタリング検査における放射性セシウムの推移（1）



食品中の放射性セシウム濃度の推移が事故直後から平成24年6月まで、1ヶ月毎に報告されました。たったかということですけども、野菜については当初非常に高福島県産の「一般野菜」では、事故直後の平成23年3月と4月には放射性セシウム濃度が平均値で500(Bq/kg)を超過していました今じかに翌月の平成23年5月には検出を100 Bq/kgにまで下がりました。その後は月平均値で現在の基準値である100 Bq/kgを超過していないことが分かります。福島県以外の产地の「一般野菜」では、事故直後には平均値でおよそ100 Bq/kgを示しましたが、それ以降は基準値である100 Bq/kgを超過していません。福島県産の物でも、基準値(100 Bq/kg)に対する非常に低い濃度で推移しています。しかし、平成24年4月と5月には再び放射性セシウム濃度が僅かではありますか、上昇しましたが、その後は基準値を大きく下回る値が続いています。ここで……を100にした、ほかと大体「果実・種実・豆」においては、事故後から6月に幾分高めの放射性セシウム濃度が検出されていますが、平均値で暫定規制値の半分以下の濃度でした。その後は100 Bq/kgを超える月はありませんということで出てくるものが多いんで福島県産の「キノコ類」に関しては事故後からおよそ半年の平成23年9月ごろまで、暫定規制値を超える例も多くありました。10月以降は栽培用の原木の使用を控えるなどによって、非常に低い値を維持しながら安定に推移しています。キノコ類に関しては福島県以外の生産品においても、野菜などに比べて若干、高めの数値が検出されています。もちろん基準値(100 Bq/kg)を超えているわけではなく、安全性に全く問題はありませんににくいものですから、今後問題に福島県産の「水産物」では、事故直後は多くの水産物で暫定規制値を大きく上回る放射性セシウム濃度が検出されました。現在もヒラメ、カレイ類、マダラ

等の海底近くに棲息する一部の魚類については、依然として基準値を超えるものがありますが、徐々にその割合が少なくなっています。また、サケなどの回遊魚のほか、貝類、イカ・タコ類、エビ・カニ類や海藻類などは、平成24年度以降、全て基準値以下となっています。

21

基準値を超えた場合の対応

原子力災害対策特別措置法に基づく出荷制限

- 原子力災害対策特別措置法（原災法）に基づく指示

- 地域的な広がりが確認された場合に「出荷制限」

- 蓄しく高濃度の値が検出された場合は「摂取制限」

■出荷制限・摂取制限の品目・区域の設定条件

- 地域的な広がりが確認された場合に、地域・品目を指定して設定。
- 地域は、都道府県域を原則。ただし、自治体による管理が可能であれば、管理状況等を考慮し、市町村・地域ごとに細分して区域を設定。

■出荷制限・摂取制限の品目・区域の解除

- 当該自治体からの申請による。
- 解除対象の区域は、無荷実態等を踏まえ複数区域に分割が可能。
- 直近1ヶ月以内の検査結果が、1市町村当たり、3か所以上、すべて基準値以下など

基準値を
超えた場合

地域的な広がり
が確認された

蓄しく高い値
が確認された

など

食品衛生法に
基づく検査

当該ロットは
法違反
として処理

原災法に基づき
出荷制限

原災法に基づき
摂取制限

*東京電力福島第一原発の周辺の地域で出荷制限が指示された品目については、事務で輸送・販売された場合にも、比較的多くの放射性物質が含まれている可能性がありますので、頻繁に食べることは避けてください。

2年

このスライドでは、基準値を超える食品が検出された場合、「原子力災害対策特別措置法に基づく出荷制限」の考え方方が示されています。

一方で、流通していない食べ物をそのまま食べてしまう例も多く聞かれます。特に自生のキノコや山菜、野生動物の肉などには比較的多くの放射性物質が含まれている可能性があります。頻繁に食べるとか、沢山食べるということは避けてください。

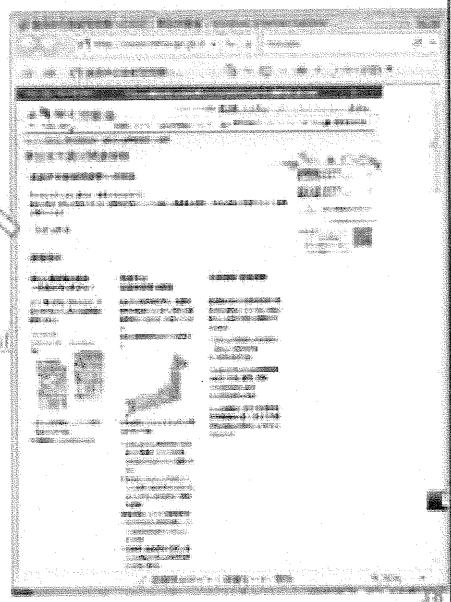
ホームページでの情報提供

● 厚生労働省ホームページ「食品中の放射性物質への対応」

<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisaku/seisaku/shokuhin.html>

→厚生労働省トップページから
「食品中の放射性物質への対応」

または、 **食品 放射能 検索**



● 首相官邸ホームページ

<http://www.kantei.go.jp/saigai/index.html>

→東日本大震災への対応
～首相官邸災害対策ページ～

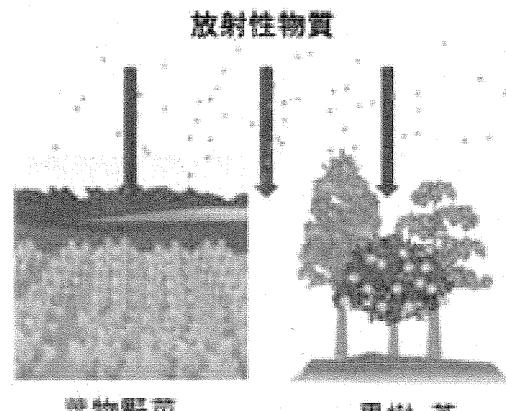
食品中の放射性物質に関する対策等は厚生労働省のHPや首相官邸のHP等から検索、閲覧することが可能になっています。

こういった対策を含めまして、ホームページ上でも情報提供をさせていただいております。また、ポスターやリーフレット等も作成をしております。都道府県にもお配りをいたしておりますけれども、こういったものも参考にしていただきながら、また皆さま方に、いろいろな方々にお伝えしていただくことをしていただけると非常にありがとうございます。というふうに考えております。

農産物の汚染経路

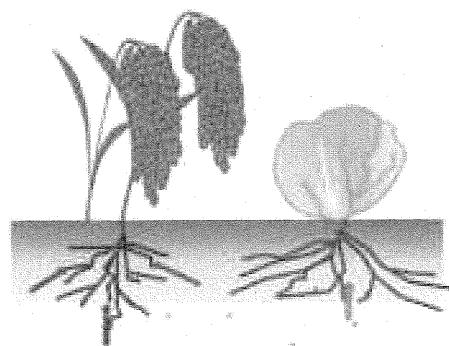
農林水産省
MAFF

降下した放射性物質の直接汚染



葉物野菜
事故直後

農地に降下した放射性物質の根からの吸収

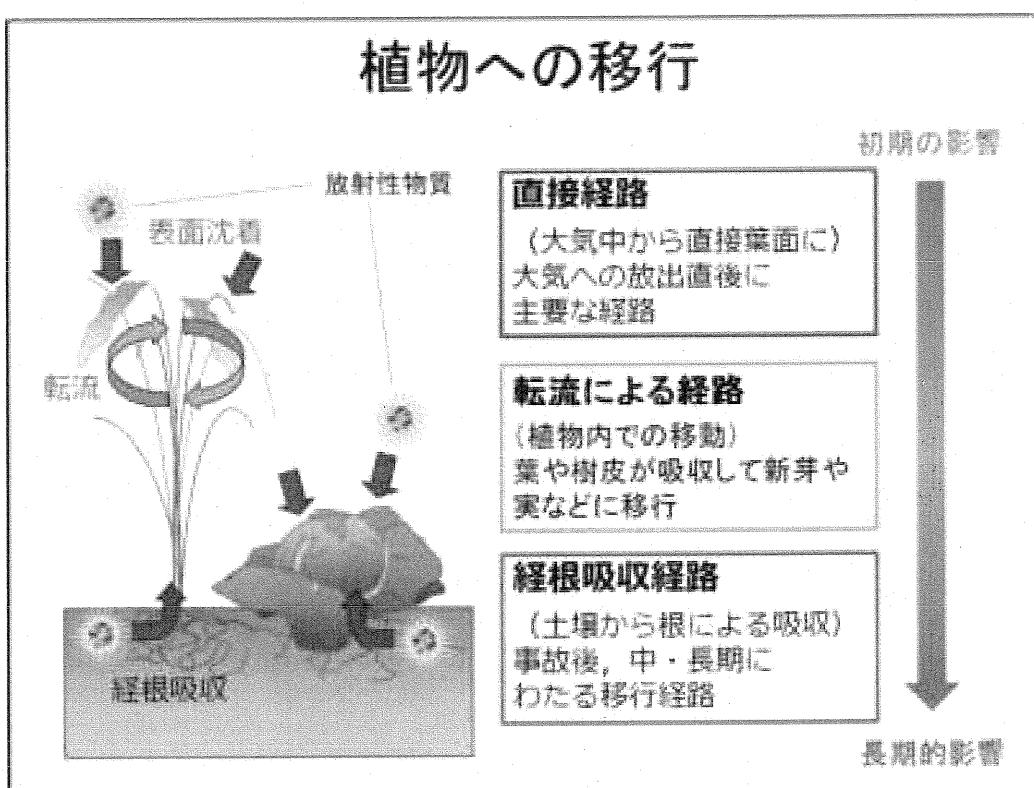


放射性物質
事故後の作付け等

26

農産物の汚染経路には大きく3つの経路が考えられます。まず、①降下した放射性物質が直接降りかかる経路です。原発事故直後には葉もの野菜(特に、葉が上に開くような野菜)が多く汚染をされました。しかし、原発からの放射性物質の放出も平成23年末には事故当初のおよそ1300万分の1となり、放射性物質が飛散している状況ではなくなりました。事故当初の葉ものが収穫を終われば、次の収穫時期には直接降りかかるという影響はありません。次に考えられる経路は②木に付着した放射性物質が徐々に木の幹に入り、枝に移って、最終的には果実にまで移行する経路です。実際、果物とか茶葉でこうしたことが起きていたことが分かっています。もう一つの経路は、③農地に降下した放射性物質が、根から吸収される経路です。これは事故後に作付けされた場合でも、土壌が汚染されている限り、おこりえる汚染です。

植物への移行



セシウム137は、原子力発電所事故による放出量が多く、また半減期が30年と長いため、環境への影響が長期化します。

環境中の放射性物質が作物の可食部(食べているところ)に移行する経路は、大きく3つに分けられます。

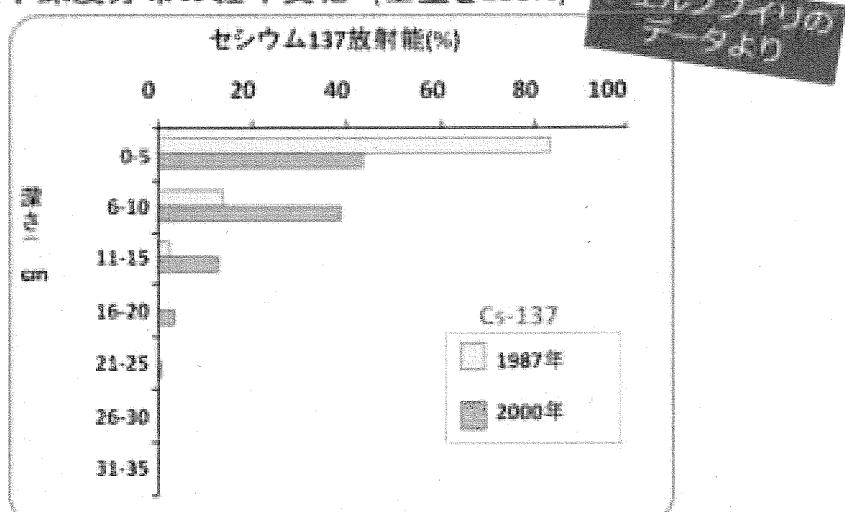
一つ目は大気中から直接葉の表面などにつくものです。原子力発電所事故の直後に、野菜から計測された放射性物質は、大気中に放出された放射性物質が直接葉の表面に付いたものでした。

二つ目は、土壤に含まれている放射性物質を根が吸収する経路です。大気中に放射性物質が浮遊していない時期には、土壤中の放射性物質を根から野菜が吸収する方が多くなります。

三つ目は、転流を介した経路です。転流とは、植物体内で、吸収した栄養素や光合成でできた栄養やその代謝産物を、ある組織から他の組織へ運搬することをいいます。放射性物質が葉や樹皮に付着すると、葉や樹皮が放射性物質を吸収し、植物内で新芽や実の部分に移行することがあります。茶葉やタケノコ、ピワや梅等で比較的高濃度の放射性物質が見つかったのは、こうした移行経路によるものであると考えられています。

土壤中の分布

土壤中深度分布の経年変化（全量を100%）



Chernobyl の
 データより

Cs-137は土壤に固定されて表層に長期間とどまる。一農作物には吸収されにくく。

IAEA 国際 Chernobyl フォーラム報告書（2005年）より作成

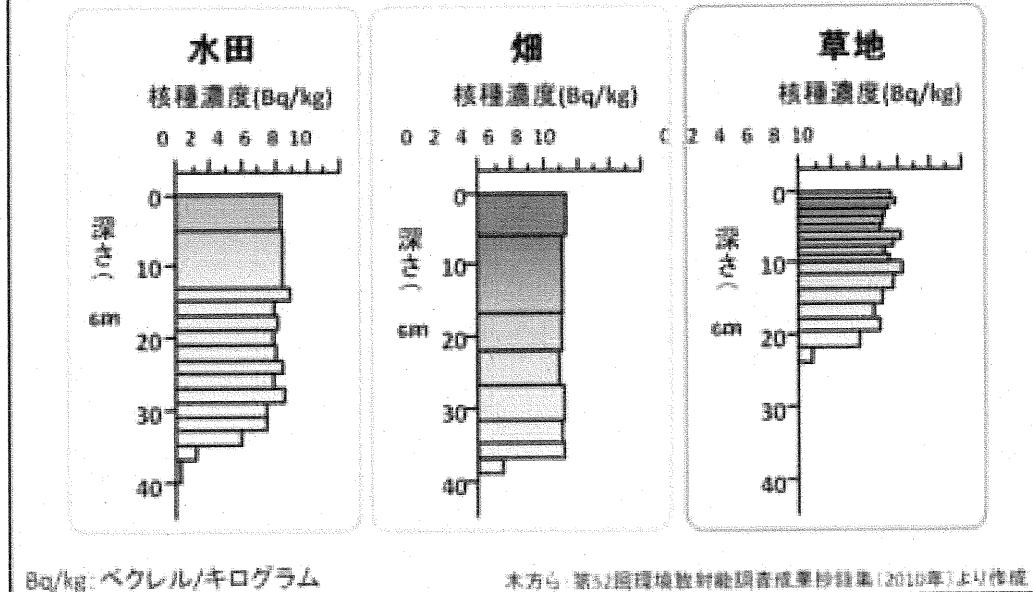
セシウムは土壤の粘土質に強く吸着する性質を持っていますので、水に溶けて植物に吸収されにくく、また水に溶けて地下に運ばれることも少なくなります。そのため、地表面に降った放射性セシウムは、長い間表層に留まります。

1986年に起きた Chernobyl 事故の影響調査では、事故後14年経過しても、事故により降ったセシウム137の量の約80%が、表面から10cm内の所に留まっていることが分かりました。

セシウムが表層にあることで、地表面よりも深くに根を生やしている植物では、物理的に根とセシウムが離れて離れてすることになります。

核実験フォールアウトの影響(日本)

2009年10月に北海道で採取した土壤のセシウム137濃度の深度分布



1950年代後半から1960年代前半をピークに多くの核実験が実施されて、これに起因する放射性降下物が地球全域に降り注ぎました。2011年3月11日以前の日本で検出されている放射性のセシウムやストロンチウム90はこのフォールアウト由来であると考えられます。

2009年に北海道で行われた土壤調査の結果、水田や畑のように耕された土壌では、表面から40cm深くまでセシウム137が検出されました。耕されていない草地では、表面から10cm内にセシウムが留まっています。

セシウムがどれだけ土壌に強く吸着するかは、土壌の性質にもよりますが、日本の土壌でも、セシウムが表層に留まりやすいことが分かります。

暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因の解析(中間報告(1))

- ① 土壌中の放射性セシウム濃度が高い。
- ② 通常の水田ではカリ肥料が不足することはないにも関わらず、当該水田ではカリ肥料の施用量が少なかったため土壌中のカリウム濃度が低く、放射性セシウムが根から吸収されやすかったと考えられる。

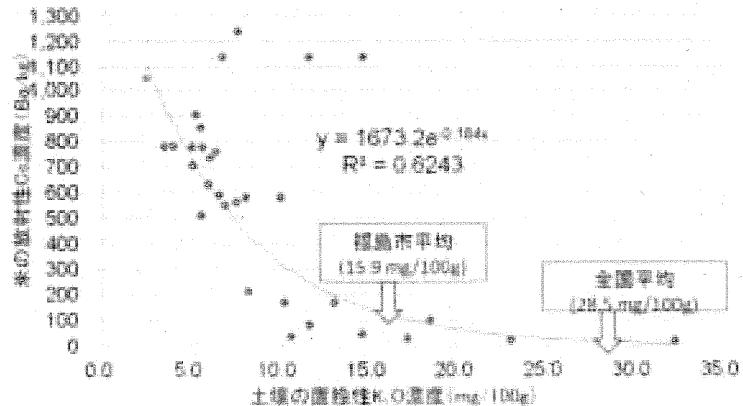


図 土壌の放射性カリウム濃度と玄米の放射性セシウム濃度との関係 29

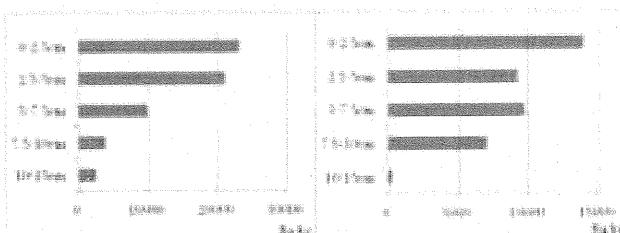
暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因について解析されました。

その結果、土壌中の放射性セシウム濃度が高い事が重要な要因の一つと考えられます。また、通常の水田では施肥によってカリウムが不足することはないのですが、当該水田では、セシウム量に対してカリウム肥料の施用量が十分ではなかったため、土壌中のカリウム濃度比が低くなり、放射性セシウムが根から吸収されやすかったという可能性も考えられます。

暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む
米が生産された要因の解析(中間報告(2))

農林水産省
MAFF

- ③ 山間部の狭隘な水田は、耕うんが浅く、常時湛水状態のため、根張りが浅く、根が主に分布している土壌表層に高濃度の放射性セシウムが残り、放射性セシウムを吸収しやすい状態にあった。



土壤の層別セシウム濃度



福株を抜いたところ

30

暫定規制値を超過した放射性セシウムを含む米が生産された要因について解析されました。

山間部の狭隘な水田では、耕耘時の掘り返しが浅く、常時湛水状態のため、根張りが浅くなる傾向がありました。その結果、根が主に分布している土壌表層には高濃度の放射性セシウムが残っていて、放射性セシウムをより吸収しやすい状態にあったことが判明しました。

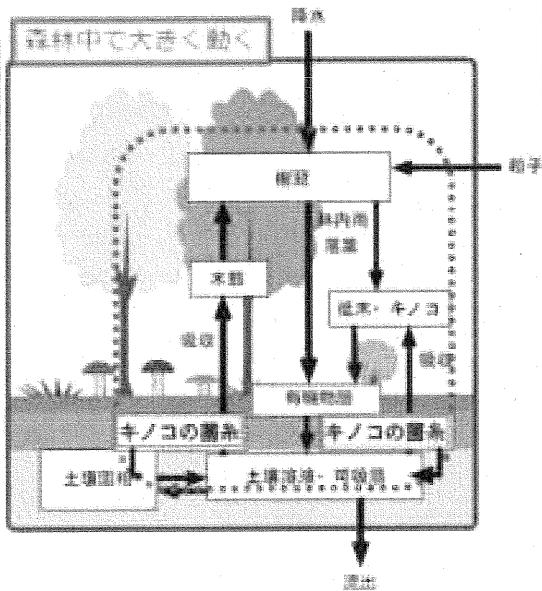
森林中の分布

分布は時間（年）とともに変化する。

- 大気からの沈着直後
 - ・樹冠の葉・枝（一部表面吸収＆転流）
 - ・土壤有機物層（腐葉土層等）の表面付近

- その後
 - ・樹冠から土壤有機物層へ
 - ・有機物層からその下の土壤へ
 - ・植物の根吸収

- 最終的には
 - ・大部分が土壤有機物層を含めた土壤表層部に蓄積



森林中の放射性物質の分布は年単位の時間経過によって大きく変化すると考えられます。

大気中に含まれていた放射性セシウムは葉や枝に付着します。葉や枝はやがて枯れて腐葉土のような有機物を含んだ土壤になります。放射性物質の一部は葉や樹皮から吸収され、植物内で新芽や実の部分に移行することがあります。これもいずれ土になります。

有機物の多い土壤では、セシウムを吸着する粘土質に乏しいので、セシウムが植物に吸収されやすい状態にあります。例えば、キノコに比較的高濃度のセシウムが取り込まれるのは、キノコ自体の性質にもありますが、キノコの菌糸が生育する環境は有機物が多く、粘土成分が少ないと関係しています。またキノコは森林生態系の分解者として物質循環に大きく関わっています。

有機物層にあるセシウムはその下の土壤に徐々に移行し、表層よりも少し深いところに根を張る植物もセシウムを吸収するようになります。

このように、放射性セシウムは植物と土壤との間を循環する過程で土壤の粘土質に固着され、最終的には土壤表層部に蓄積します。

農林水産省
MAFF

きのこ等の特用林産物に関する取組

きのこ原木・菌床用培地の安全基準の設定

- 食品の基準値(100 Bq/kg)を超えない
きのこが生産されるよう、きのこ原木・菌
床用培地の「当面の指標値」を設定

	基準値 (Bq/kg)	指標値 (Bq/kg)
きのこ原木	150	50
菌床用培地	150	200

生産現場における取組

1. 安全なきのこ原木の確保 (安全な原木の購入支援、需給マッチング)
2. 汚染低減の支援 (原木除染、簡易ハウス導入、汚染低減技術の普及)
3. 検査の強化
都道府県にきのこ原木等の状況の点検や原木きのこ等の特用林産物の出荷前検査を要請
4. 野生きのこ・山菜の採取に関する情報提供
ホームページ、パンフレットによる情報発信、巡回指導



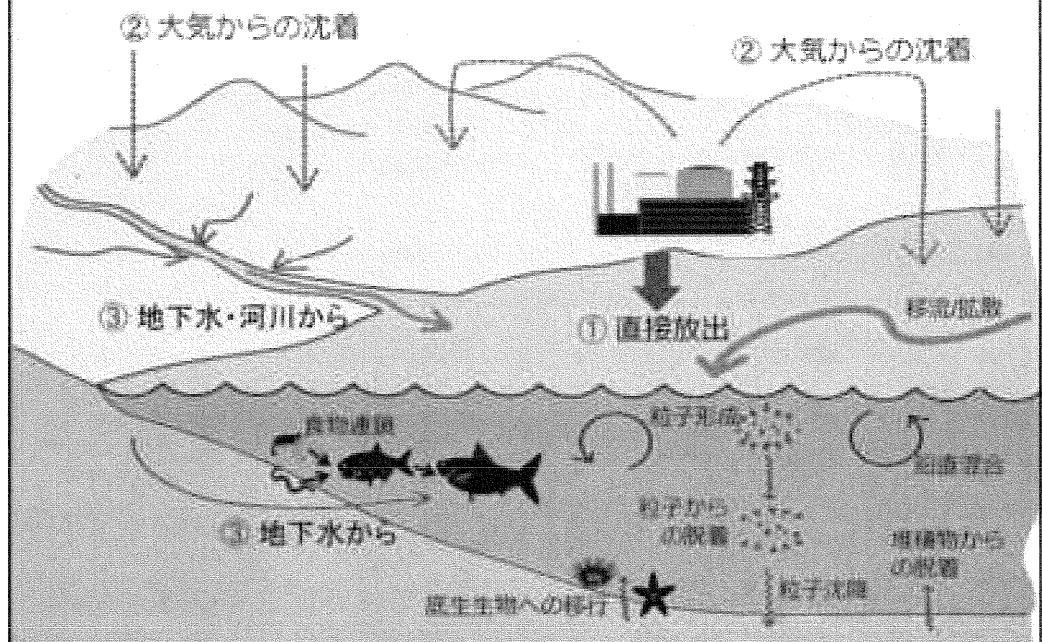
34

きのこ等の特用林産物に関する取組の中で、食品の基準値(100 Bq/kg)を超えないきのこが生産されるよう、きのこ原木・菌床用培地の「当面の指標値」が設定されました。

安全のための指標値として、きのこ原木は150 Bq/kgから50 Bq/kgに、菌床用培地では150 Bq/kgから200 Bq/kgに変更されました。

また、生産現場では、①安全なきのこ原木の確保(安全な原木の購入支援、需給マッチング)が努めています。②汚染低減の支援(原木除染、簡易ハウス導入、汚染低減技術の普及)が進められています。③検査の強化が図られています。都道府県に、きのこ原木等の状況の点検や原木きのこ等の特用林産物の出荷前検査を要請しています。④野生きのこ・山菜の採取に関する情報提供に努め、ホームページ、パンフレットによって情報の発信、巡回指導を行っています。

海洋中の分布



東京電力福島第一原子力発電所事故により放出された放射性物質の海洋中の分布は、時間経過によって大きく変化すると考えられます。放射性物質が海洋に運ばれる経路には、①発電所からの海洋への直接の流入、②風に乗って運ばれた放射性物質の海洋への降下、③陸に降下した放射性物質の河川や地下水を介した海への運搬の3つのルートが考えられます。

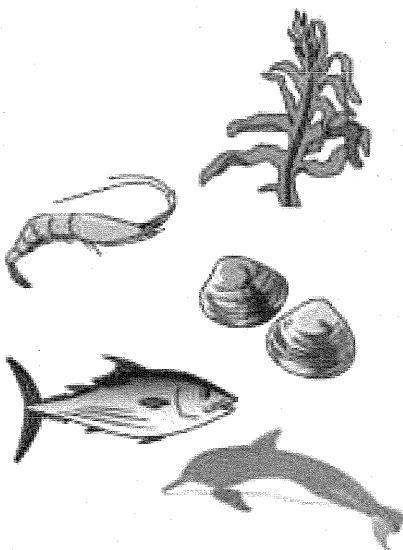
海水中的放射性物質の濃度は、事故直後急激に上昇しましたが、1-2ヶ月のうちに海流に乗って流されたり、拡散したりすることで、海水中の濃度は下がりました。しかし、放射性物質の一部は海底の泥にたまり、また底生生物や魚に移行しました。こうした生物の放射性物質濃度は大変ばらつきが大きく、今後の予測は難しい状況です。

海産生物の濃縮係数

濃縮係数 = (海産生物中の濃度) / (海水中の濃度)

生物の種類	濃縮係数 (セシウム)	
イカ・タコ	9	
植物プランクトン	20	
動物プランクトン	40	
藻類	50	
エビ・カニ	50	
貝類	60	
魚	100	
イルカ	300	
トド	400	

IATA Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment, 2004



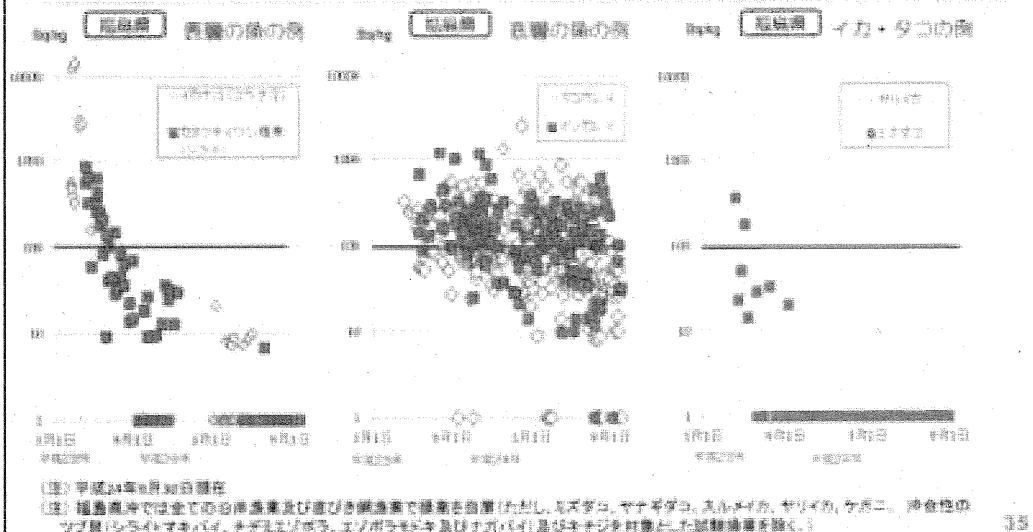
濃縮係数とは、海産生物中の濃度と海水中の濃度の比率を表したもので、放射性物質が海産生物への蓄積の度合いを示しています。

セシウムの濃縮係数を比べると、プランクトンより魚、魚よりは魚を捕食する大型哺乳類の方が高いことがわかります。

生物濃縮という用語には、いろいろな定義があり、研究者間でも「ある」「ない」などの科学的論争が続いているが、水俣病の原因になった有機水銀や社会問題となった環境ホルモンのような極端な生物濃縮はないことは明らかです。

水産物と放射性セシウム(海面)

- シラスなどの表層の魚では、時間の経過とともに基準値を下回る状況。カレイやヒラメ等の底層を中心として、現在でも基準値を上回る値を示す魚種が存在。また、イカ・タコ、エビ・力ニ、海藻類でも基準値を下回る状況。
- 生息域の環境や食性等が品目毎の傾向に關係。



水産物における放射性セシウム濃度の時間的推移について報告されました。シラスなど、表層の魚の例では、時間の経過とともに基準値を下回る傾向がありました。しかし、カレイやヒラメといった底層の魚の例では、現在でも基準値を上回る値を示す魚種が存在します。また、イカやタコ、エビや力ニ、海藻類でも基準値を下回る状況が続いているです。

このように、生息域の環境や食性等が品目毎の傾向に關係していることが考えられます。

海に降り注いだり、流れ込んだりした放射性物質が海底に沈殿して、底に近いところで魚の餌になるようなものに取り込まれ、さらに、そうした餌を魚が食べるという連鎖が考えられています。その結果、海の底層に住むカレイやヒラメなどが放射性物質を含みやすい仕組みになっているようです。

畜産物に関する取組(飼養管理)

飼料の暫定許容値の改訂

- 食品の新基準値(食肉100 Bq/kg、牛乳50 Bq/kg)を超えない食肉や牛乳が生産されるよう、飼料の暫定許容値を改訂

試料	新暫定許容値(Bq/kg)	現暫定許容値(Bq/kg)
牛	300*	100
豚	300	80
鶏	300	160
養殖魚	100	40

*例外として、一定の条件を満たす場合は3,000 Bq/kg。

家畜の飼養管理等の指導

1. 飼料の新暫定許容値以下の粗飼料(牧草等)への速やかな切替え
2. 新暫定許容値以下の牧草生産が困難な牧草地の反転耕等による除染対策の推進
3. 代替飼料確保や牧草地の除染対策の支援

農林水産省の畜産物に関する取組が示されましたが、その中で、飼養管理について以下のような取り組みが示されました。

食品の新基準値(食肉100 Bq/kg、牛乳50 Bq/kg)を超えない食肉や牛乳が生産されるよう、飼料の暫定許容値を改訂しました。具体的には、牛の試料が300 Bq/kgから100 Bq/kgに、豚の試料が300 Bq/kgから80 Bq/kgに、鶏の試料が300 Bq/kgから160 Bq/kgに、そして、養殖魚が100 Bq/kgから40 Bq/kgに引き下げられました。

また、家畜の飼養管理等においては以下の事を基本に指導に当たります。
まず、①飼料の新暫定許容値以下の粗飼料(牧草等)への速やかな切替えを進めます。次に、②新暫定許容値以下の牧草生産が困難な牧草地では、反転耕等によって除染対策の推進を行います。そして、③代替飼料確保や牧草地の除染対策の支援を行います。

こうした指導を通して、食品の新基準値を超えない食肉や牛乳が生産され、消費者に提供できるようにします。

畜産物に関する取組(調査)

■ 放射性物質調査の強化

① 牛肉の全頭・全戸調査

これまで出荷制限対象4県(岩手、宮城、福島、栃木)に限定し、出荷の条件として全頭・全戸調査を実施
→ 茨城、群馬、千葉でも、モニタリング調査として全戸調査を実施

② 乳の調査頻度

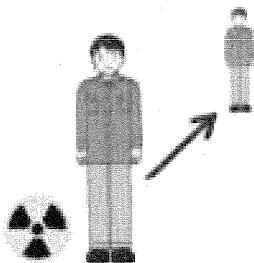
これまで2週間に1度調査を実施
→ 7県(岩手、宮城、福島、茨城、栃木、群馬、千葉)では、1週間に1度に強化

33

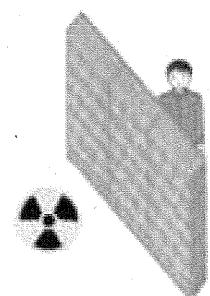
畜産物に関して、放射性物質の調査をさらに強化していくことがしめされました。放射性物質調査の強化では、①牛肉に関しては、これまで出荷制限対象の4県(岩手、宮城、福島、栃木)に限定して、出荷の条件として全頭・全戸で調査を実施します。また、茨城、群馬、千葉でも、モニタリング調査として全戸で調査を実施します。次に、②乳の調査頻度を対象の県では、これまでの2週間に1度の調査の実施から1週間に1度の調査実施に強化します。対象は岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、千葉県の7県です。

外部被ばくの低減三原則

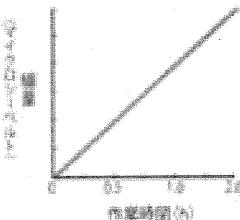
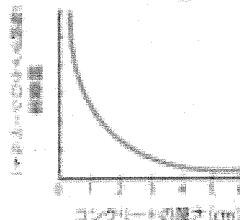
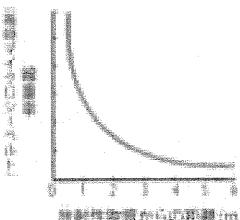
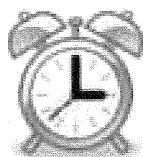
①離れる(距離)



②間に重い物を置く
(遮へい)



③近くにいる
時間を短く
(時間)



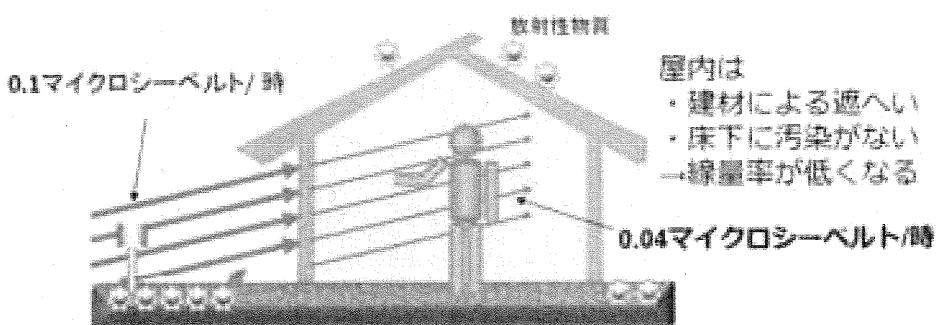
外部被ばくの線量を少なくするためには、3つの方法があります。

一つ目は離れるという方法です。放射性物質で汚染した土を取り除いて、生活の場から離す、というのがこれに当たります。

二つ目は遮蔽です。屋内にいるというのも一つですし、放射性物質で汚染した土と、その下の汚染していない土を入れ替えるというのも、汚染していない土を遮蔽材として用いている方法です。

三つ目は、空間放射線量率が高いところにいる時間を短くするというものです。

遮へいと低減係数



場所	低減係数
木造家屋(1~2階建て)	0.4
ブロックあるいはレンガ家屋(1~2階建て)	0.2
各階450~900m ² の建物(3~4階建て)の1~2階	0.05
各階900m ² 以上の建物(多層)の上層	0.01

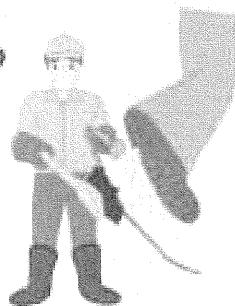
原子力安全委員会「原子力施設等の防災対策について」

空間放射線量率を測定する適切なサーベイメータがない場合は、国や地方自治体等が発表している空間放射線量率を元に計算することができます。屋外で受ける放射線量は、近くで計測された実測値を使います。屋内での線量率を求める場合は、建築物による遮蔽や床下に汚染が無いことを考慮し、近くの屋外線量率の値に低減係数を掛けて、屋内の空間放射線量率を推定します。

低減係数は建築の種類によって違います。例えば、木造家屋は外からの放射線の約6割をカットします。ブロックやレンガの家屋、鉄筋コンクリート家屋では、より遮蔽効果が高まり、放射線量は低くなります。また放射性物質が主に土壤表面上にある場合は、高層階になるに従い、土壤からの距離が離れるので、放射線量も少くなります。

内部被ばく—原子力災害直後の対応—

- 原則は口、鼻、傷口から入らないように
- 基準値以下の微量の放射性物質を過剰に心配して、
食物の栄養バランスを崩さないように
- 放射性物質の放出の情報に気をつける
- 土が身体、靴、服に付けばすぐに洗う



内部被ばくについては、呼吸を介した吸入と食品の摂取からの両方を考える必要があります。例えば、子どもたちが空間放射線量が高いところで屋外活動をする場合を想定して線量計算すると、内部被ばくによる線量は2-3%程度であり、被ばくのほとんどは外部からの放射線によるものでした。そこで吸入による被ばくに関してはあまり神経質になることはないのですが、日頃の衛生管理(入浴・散髪・手洗い、掃除、洗濯など)をしっかりと行うと一定の効果はあります。

一方食べ物は、野生の食材のように、安全性が確認できないものには注意が必要です。特に、シダ類とキノコ類はセシウムを濃縮する性質があります。

内部被ばくに関しては、空間線量率のように自分で調べることが難しいので、省庁が発表している数値等を参考にします。食品中の放射性物質濃度は、厚生労働省や水産庁から公表されています。

食品からの被ばく—原子力災害直後の対応—

調理の過程で放射性物質の低減が可能



野菜／果実／きのこ：洗浄、ゆでる（煮汁は捨てる）

例) 野菜／果実を洗浄: 0~40% 除去

野菜／果実をゆでる: 10~60% 除去



肉／魚：塩漬き等で肉汁を落とす

例) 肉をゆでる(ゆで汁に移行): 30~80% 除去

肉を焼く(肉汁に移行): 20~50% 除去

●野生のものは大量に食べない

●いろいろな品目、いろいろな産地のものを食べる



福島県原子力機関 185473

工夫次第では食品中の放射性物質は減らすことができますが、100 パーセント取り除くことはまずできません。

事故の直後は、野菜から検出された放射性物質は表面に付いているだけでしたが、しばらくすると、土壤に落ちた放射性物質が根から吸収され野菜に入るようになります。根から吸収されて野菜の中に入ったセシウムは、洗っても最大で40%、あく抜きをしても60%までしか除去できませんが、土をきれいに洗い落とすという意味では効果があります。

肉や魚も、煮たり焼いたりすると放射性物質の量を半分ぐらいまでには減らすことができます。

また、いろいろな品目、産地のものを食べるなど、リスクを分散させることも大事です。

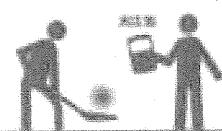
除染とは？

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、大気中に放出された放射性物質が、雨などにより地上に降下し、皆さまの周りの土や草木や建物に付着しています。除染により、それらの汚染された土や草木などを取り除くことができます。さらに、取り除いた土や草木を外部への影響がないように運びいすることで、皆さまの受けける放射線量を減らすことができます。

放射線量を低減するための方法は？

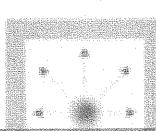
取り除く

例) 表土の削り取り／被覆の除去／落ち葉の除去／洗浄 等



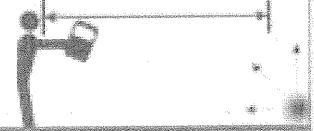
遮る

例) 土やコンクリートで覆む／表土と下層の土の入れ替え 等



遠ざける

例) 立入り禁止 等



環境中に放出された放射性物質による追加被ばく線量を可能な限り少なくするために取られる対策を行う事を「除染」と言います。その方法には、「取り除く」、「遮(さえぎ)る」、「遠ざける」の3つがあります。これらの方法を組み合わせて効率的な追加被ばく線量の低減化が図られます。

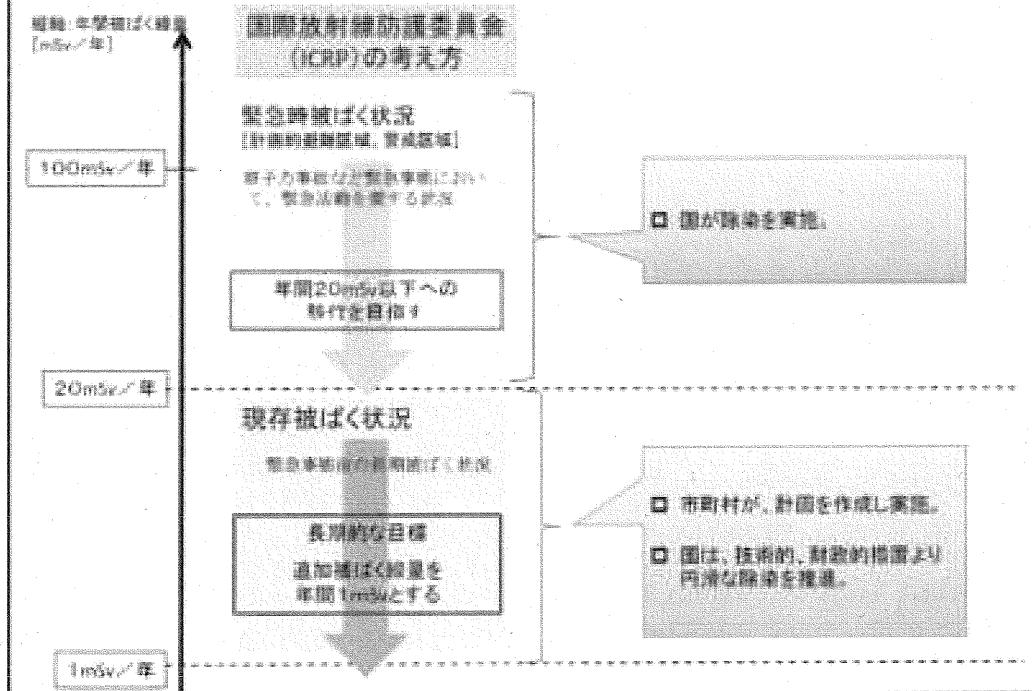
1つ目の方法は、放射性物質が付着した表土の削り取り、枝葉や落ち葉の除去、建物表面の洗浄といったもので、放射性物質を生活圏から取り除くという方法です。

2つ目の方法は、放射性物質を土やコンクリートなどで覆うことです。こうすることで放射線を遮ることができ、結果として空間線量や被ばく線量を下げることができます。遮蔽による線量低減を行う際には、放射性物質の物理的な減衰のための時間を考慮に入れながら、きちんとした仮置場や管理された処分場で放射性物質を管理するということが重要になります。

3つ目の方法は、放射線の強さが放射性物質から離れるほど弱くなる（距離の2乗に反比例します）ことを利用します。放射性物質を人から遠ざければ、人への被ばく線量を下げる所以ができるので、立ち入り禁止という措置を取ることが考えられます。

現在はこのような方法を組み合わせて、除染の取組が進められています。

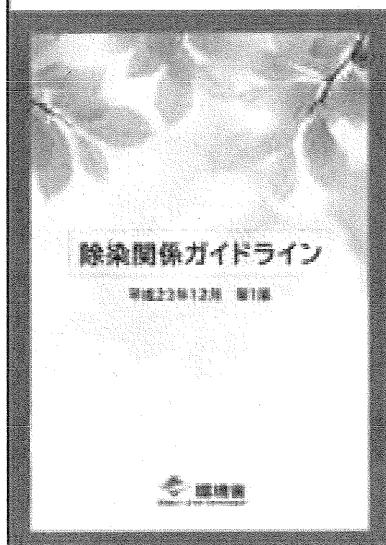
除染実施に関する基本的考え方



国の除染計画は国際放射線防護委員会(ICRP)の提唱する、緊急被ばく状況と現存被ばく状況の考え方方に沿っています。すなわち原子力事故の直後の緊急活動を要する状況(これを緊急時被ばく状況と呼んでいます)については年間被ばくが20ミリシーベルトから100ミリシーベルトの範囲内に収まるように、国が適切な措置を講します。つぎに、緊急時を過ぎた後に長期的に被ばくするような状況(現存被ばく状況と呼ばれます)にある地域については、長期的な目標ということで、追加被ばく線量を年間1ミリシーベルトを下回ることを目指して市町村が計画を作って除染などをしていくということです。

除染関係ガイドライン等の策定

- ・除染等を進めるに際しての技術的なガイドライン
- ・環境省令を補うものとして作成
- ・除染事業発注等で参照



内容

1. 汚染状況重点調査地域内における環境の汚染状況の調査測定方法のガイドライン
2. 除染等の措置に係るガイドライン
3. 餘去土壌の収集・運搬に係るガイドライン
4. 餘去土壌の保管に係るガイドライン

- ・詳細は、除染特別地域の除染については「除染等工事共通仕様書」、汚染状況重点調査地域の除染については「補助金交付要綱」で規定

環境省では特措法の施行に合わせて、除染関係のガイドラインを公表しています。ガイドラインでは、対象物とそれに応じた技術を解説しています。

除染の方法

地域の実情に合わせて、除染を進めます。

具体的な除染方法は、場所ごとに異なります。

放射性物質の状況により、簡便的な除染の方法は異なります。まずは空間線量率を測定し、それぞれのケースについて最適な方法が選択されます。除染作業の前後で放射線量を測り、効果を確認します。

測定

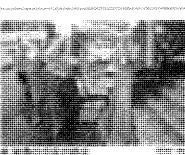
除染方法の選択

作業実施

効果の確認

図は下に示している除染の方法は、筆者による一例です。

放射線量が比較的低い地域の除染方法の例



放射線量が比較的高い地域の除染方法の例（上）排水溝の除染と砂撒き



ここでは除染の具体的な方法を説明します。

放射線量が比較的低い地域でも、軒下、雨樋、道路の側溝などには、放射性物質を含んだ堆積物(落葉や土砂)がたまり、その周辺の空間線量が高くなることがあります。このようなところでは、落葉や土砂の除去、洗浄(洗い流す)などの清掃を行います。植え込み、下草、落ち葉に、放射性物質が付着していることもあります。このようなところは、草木の刈り取り、枝打ち、落ち葉の清掃などをを行い、除去します。また広場や公園といった子どもの生活空間では、滑り台やブランコ等の遊具の下の地面、砂場(水が流れ込むような場所にあるもの)にも、一部、放射線量が高いところがあります。このようなところでは、表土等を除去します。

放射線量が比較的高い地域では、低い地域での除染の方法に加えて、別の除染作業が必要になることがあります。たとえば、放射性物質は地表から数センチメートルにほとんどが存在しているので、表土を薄く(たとえば、5センチメートル)削り取り、取り除くか、下層の土と入れ替えること(天地返し)で、ほとんどの放射性物質の影響を抑えることができます。建物や道路では、屋根、壁、舗装面などにも放射性物質が付着しています。このような場合、洗浄が行われます。ただし、表面の素材の性質によっては、材料に強く放射性物質が吸着されていることがあり、除染の効果は限られたものとなるかもしれません。また農地では、人への被ばくの影響だけでなく、農作物への影響も考慮して、適切な方法を選択することが必要になります。たとえば、事故以降に耕された農地では、放射性物質は表土より少し深いところにありますが、このような土をすべて除去してしまうと、農業に適さなくなるので、根が届かない深さの土と表土とを入れ替えるなどさまざまな方法が、現在考えられています。

農産物に関する取組

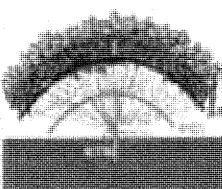
農産物の被ばく削減の取組

果樹の粗皮削り等



果樹については、樹体に付着した放射性物質の影響が大きいと見られており、樹体表面の粗皮削り、高圧水による樹体洗浄等、樹体表面の放射性物質を除去。

茶の剪定



茶については、葉や樹体に付着した放射性セシウムの影響が大きいと考えられるため、剪定・整枝により、葉に移行する放射性物質を低減。

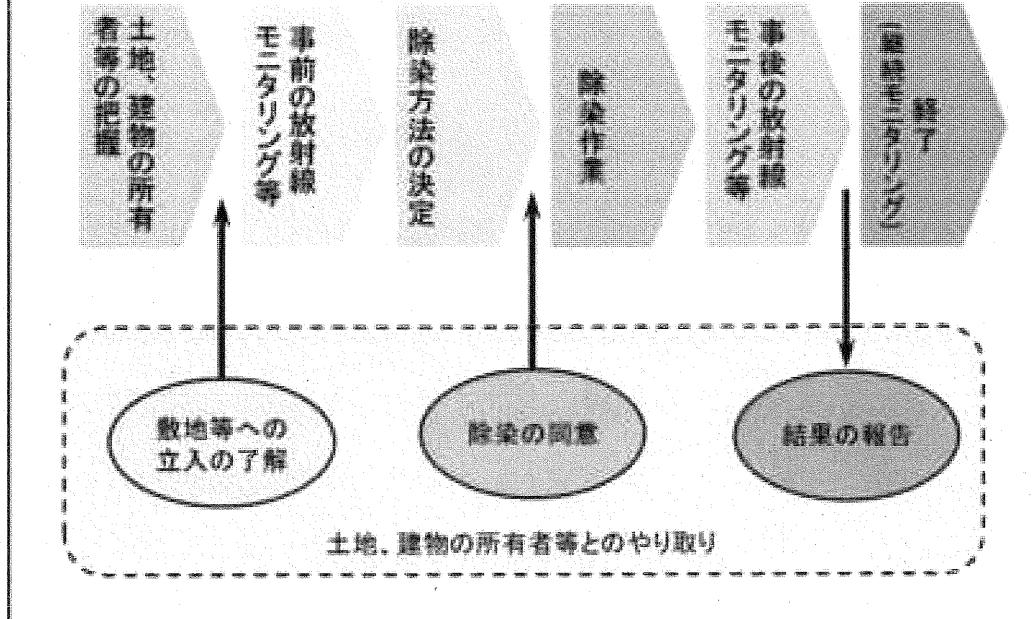
収穫後の被ばく削減の取組

- よりきめ細かく汚染の状況を把握するため、調査対象市町村、調査検体数、調査頻度等を明示
- 23年度に100 Bq/kg を超過したことがある品目については、原則として、調査対象17都県において生産・出荷のある全市町村で調査。
- 調査対象17都県のうち、複数品目で出荷制限の実績がある7県において、特に縦密な調査を実施。

資料

果樹の場合は木の皮を粗削りして、さらに高圧水で樹体を洗浄をして、放射性物質を樹木表面から取り除きます。お茶は深刈りや中切りなどの剪定をします。これにより、木はいったん小さくなります。その後に新しく出てくる茶葉は、放射性物質が含まれていません。さらに、確認のために収穫後の放射性物質の調査も実施しています。

除染工程の一連の流れ



東京電力福島第一原子力発電所の事故により、大気中に放出された放射性物質が、雨などにより地上に降下し、広範囲の地域に渡って建造物、土壌さらには森林を初めてとする様々な草木に付着しています。そこで、除染によりそれらの放射性物質を取り除き、追加被ばく線量の低減化を図ります。

除染を行う際には、建物、道路、農地等を含むコミュニティ全体をまとめて行う必要があります。状況に応じて、役場、道路などの拠点となる場所などから段階的に除染します。

個人の土地などに立ち入って現地調査や除染を行うため、所有者等の同意が必要です。そのために、まず説明会を開き、現地調査に関する了解が必要になります。その後、必要に応じて所有者等の立ち会いのもと、建物の損壊などの状況の調査を行い、除染方法について確認と同意を得た後に除染を行います。

この図では実際の除染行程の流れが示されています。除染といつてもさまざまな作業があり、まず①土地、建物の所有者等を把握します。それぞれの除染を実施する土地あるいは建物について、どういった方が従前住んでいたかと、あるいは専有者がいたかなどについての調査をいたします。その上で、②敷地内に立入るための了解を得る必要があります。そして、③事前に放射線レベルのモニタリングをします。④それぞれの建物ごとに適した除染方法を決定した後、⑤住民の方から除染の同意を得なければなりません。こうした段階を経て⑥実際の除染作業が実施されます。除染の後に、⑦線量の状況を測り、⑧その結果を報告します。これで一応終了になります。しかし、再汚染の危惧もありますから、⑨除染等の措置の前後においてモニタリングを行うことで、その場所の除染の効果、あるいは除染をした後の線量の変化がないかなどを必要に応じて把握して行くことになっています。

除染特別地域と除染実施区域

平成24年1月1日に全面施行した放射性物質汚染対処特措法及び同法に基づく基本方針にのっとり、除染に取り組みます。人の健康の保護の観点から必要な地域について優先的に除染を実施します。除染に伴い発生した土壌等は、安全に収集・運搬、仮置き、処分することとなります。

除染特別地域

- 国が直接除染を行う地域。警戒区域又は計画的避難区域であったことのある福島県内の11市町村(※)を指定。
- 各市町村の意向を踏まえつつ、それぞれの特別地域内除染実施計画を策定し、それに沿って取り組む。

東相馬郡、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村及び飯館村の全境。田村市、南相馬市、川内町で警戒区域又は計画的避難区域であったことのある地域。

除染実施区域

- 市町村が中心となって除染を行う地域。毎時0.23マイクロシーベルト以上の地域を含む8県(※)101市町村が汚染状況重点調査地域として指定。
- 各市町村が調査測定を行い、その結果などを踏まえて除染実施計画を策定し、それに沿って除染を推進。
- 国は、財政的措置や技術的措置を講ずる。

東京手島、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県

除染特別地域と除染実施区域については、平成24年1月1日に全面施行した「放射性物質汚染対処特措法」及び「同法に基づく基本方針」にのっとり、除染が行われています。人の健康の保護の観点から必要な地域について優先的に除染を実施します。除染に伴い発生した土壌等は、安全に収集・運搬、仮置き、処分することとなります。

除染特別地域は、国が直接除染を行う地域です。警戒区域又は計画的避難区域であったことのある福島県内の11市町村が指定されています。こうした地域での除染は、各市町村の意向を踏まえつつ、それぞれの特別地域内除染実施計画を策定し、計画に沿って除染が行われます。

除染実施区域は市町村が中心となって除染を行う地域です。毎時0.23マイクロシーベルト以上の地域を含む8県101市町村が汚染状況重点調査地域として指定されています。こうした地域での除染は、各市町村が調査測定を行い、その結果などを踏まえて除染実施計画を策定し、計画に沿って除染が進められます。なお国は、財政的措置や技術的措置を講ずることになっています。

除染特別地域の除染の進め方

当面2年間(平成24・25年度)の方針

特別地域内除染実施計画等にのっとり、放射線量に応じて適切に除染を実施。

- 50mSv/年超の地域
除染モデル実証事業を実施し、その結果等を踏まえて対応の方向性を検討する。
- 20～50mSv/年の地域
平成25年度内を目指し、住居等や農用地における空間線量が20mSv/年以下となることを目指す。
- 20mSv/年以下の地域についても除染を実施

平成26年度以降の方針

2年間の除染の結果について点検・評価

国が現在除線を実施している除染特別地域では、特別地域内除染実施計画等に乗っ取り、平成24年度と25年度にはそれぞれの地域の線量に応じた取組を進めていく方針になっています。

まず、年間の追加被ばく線量が50ミリシーベルト以上の地域では、除染モデル実証事業を実施し、その結果等を踏まえて対応の方向性を検討します。

20から50ミリシーベルトの地域では、平成25年度内を目指し、住居等や農用地における空間線量が20mSv/年以下となることを目指します。

また、20ミリシーベルト/年以下の地域でも、除染を実施します。

こうした2年間の取組が終わった後については、平成24度と25年度の除染の結果について点検・評価し、対応方策を検討して、計画の見直しを含め適切な措置を講ずることになっています。

除染特別地域における除染



除染特別地域とは

除染特別地域とは、国が除染の計画を策定し除染事業を進める地域として、放射性物質汚染対処特別措置法に基づき指定されている地域です。基本的には、事故後1年間の積算種量が20ミリシーベルトを超えるおそれがあるとされた「計画的避難区域」と、福島第一原子力発電所から半径20km圏内の「警戒区域」を指します。住民の方が避難されているなどの事情があるため、福島県の他の区域で除染が必要な地域とは、除染の進め方などが異なります。

「他の地域」では市町村が計画を策定し除染が進められます。

除染特別地域：福島県楢葉町、富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、及び飯舘村。並びに田村市、南相馬市、川俣町、川内村で警戒区域又は計画的避難区域であったことのある地域

原子力災害対策法等の中で、服や体に付着した放射性物質を取り除くという意味での「除染」に関する規定はありました。しかし、環境中に大規模な放射性物質が拡散することを想定した法体系は今まで整っていませんでした。

今回の福島第1原発事故を受けて、平成23年8月に国会で立法措置がなされ、「放射性物質汚染対処特措法」という特別措置法が成立しました。この法律ができて、初めて環境中の除染ということが明文化されました。

こうした法令では、国、地方自治体、関連原子力事業者の責任についても明記されています。

「放射性物質汚染対処特措法に基づく除染等の措置」では、原子力事業所内の土壌等の除染等の措置及びこれに伴い生じた除去土壌等の処理については、関係原子力事業者(東京電力)が実施することと規定されています。

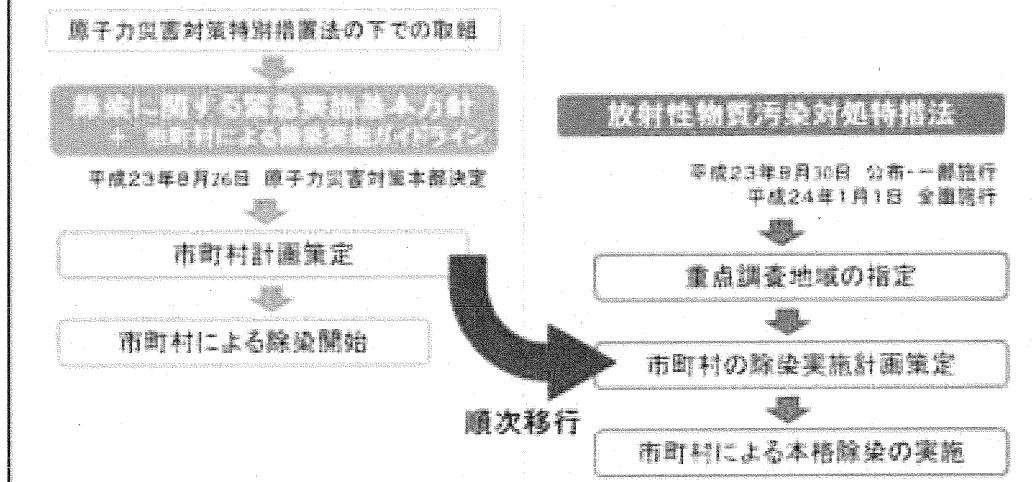
また、環境大臣が除染特別地域として指定した11町村については、国が責任を持って除染を実施することになっています。この除染特別地域には、警戒区域又は計画的避難区域であった福島県内の11市町村が指定されています。

また地方公共団体では、国の施策への協力を通じて適切な役割を果たして行くことが求められます。

除染実施区域の除染の進め方

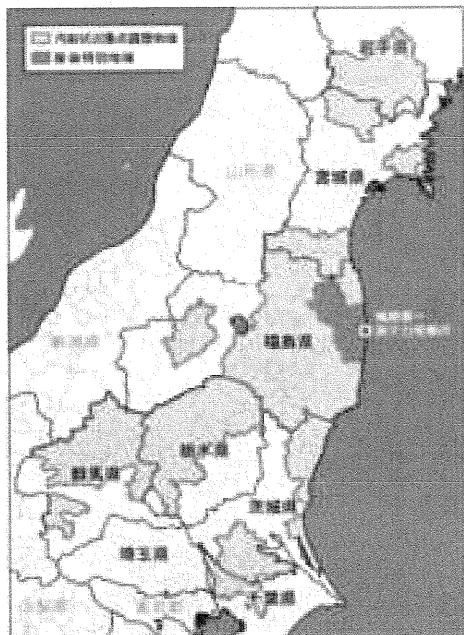
- 市町村において除染実施計画を策定し、除染を実施する除染実施区域については、平成25年1月29日時点で93市町村が計画協議済みであり、また、平成23年8月に政府が示した「除染に関する緊急実施基本方針」に基づく除染計画を策定済みの市も1市あり。あわせて94市町村で除染が進みつつあります。

- 各市町村と十分な連携を図った上で、国として、必要な措置をしっかりと講じています。



国よりも早い段階から市町村の方で除染が進められてきた地域もあります。当初、原子力災害対策特別措置法の下での取組として、平成23年8月26日に原子力災害対策本部が、除染に関する緊急実施基本方針と市町村による除染実施ガイドラインを決定しました。そして、緊急に除染を実施すべきということで、計画を策定して、除染が行われてきたところです。その後「放射性物質汚染対処特措法」が公布されたことを受けて、市町村による本格的な除染の実施が行われています。このように、各市町村と十分な連携を図った上で、国として、必要な措置をしっかりと講じて行くことになっています。

除染実施区域における除染



除染実施区域

市町村が中心となって除染を実施するのは、追加被ばく線量が年間1～20ミリシーベルトの地域です。具体的には、まず追加被ばく線量が年間1ミリシーベルト以上（地域の平均的な放射線量が1時間あたり0.23マイクロシーベルト以上）の地域を含む市町村を、汚染状況について重点的な調査測定が必要な「汚染状況重点調査地域」として市町村単位で指定します（※）。指定を受けた市町村は、必要に応じて重点的な調査測定を実施して実際に除染を行っていく区域（除染実施区域）を定めた上で、当該区域についての除染の計画（除染実施計画）を策定し、この計画に則って除染を進めることとなります。

※全国で8県101市町村を指定（岩手県、宮城県、福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県）

除染のもう一つの枠組みに、「汚染状況重点調査地域」という地域があります。これは、汚染状況について重点的な調査測定が必要な地域という意味です。追加被ばく線量が年間1ミリシーベルト以上、実際には1時間あたり0.23マイクロシーベルト以上の地域を含む市町村が「汚染状況重点調査地域」として市町村単位で指定されています。追加被ばく線量が年間1～20ミリシーベルトの地域では、市町村が中心となって除染の実施を進めて行きますので、汚染状況重点調査地域として指定を受けた市町村は、必要に応じて重点的な調査測定を実施して、実際に除染を行っていく区域（除染実施区域）を定めた上で、当該区域についての除染の計画（除染実施計画）を策定します。この計画に則って除染を進めることとなります。

(参考)長期目標と除染の意義

- 除染の方針は、20～50mSv/年の地域では、20mSv/年以下となることを目指す。20mSv/年以下の地域では、長期的に、追加被ばく線量が1mSv/年以下となることを目指す、というもの。
- 両者の関係は以下のとおり。

・現在20mSv/年エリアの長期的な線量推移

現在の線量の6割程度は、半減期が約2年と短いセシウム134によるものであり、これを考慮すれば、20mSv/年のエリアは物理的減衰のみによっても、2年後には13mSv/年、5年後には9mSv/年、10年後には6mSv/年まで低減する。加えて、除染を行い20mSv/年の発射台を低くすることで、2年後には8mSv/年以下の水準まで低減することが期待できる。その意味で、このエリアでの除染作業を急ぐことは有効である。

・当初段階で除染を実施することの有効性

除染モデル実証事業により、20mSv/年以上の区域では、多くの箇所で約4割以上の線量低減効果がみられた。物理的減衰等も鑑みると、50mSv/年未満の区域では、2年後に概ね20mSv/年未満とすることが可能であり、その区域では、まずは、除染を実施することが重要。

・除染の限界

ただし、モデル実証事業では、50mSv/年以上の区域での除染においては、一定の線量低減効果は見られたものの、2年後で見たときに全体として20mSv/年未満とすることはできない、という結果を得た。線量が高い地域については、引き続き、新技術の開発を行うこととした。

・長期1mSv/年の意味

線量低減の度合いは当初よりも緩やかになりながらも、物理的減衰等により線量は低減していく。1mSv/年を下回る水準に到達するには、長期を要するが、国として、その間、推移を注視し続け、健康管理を含めて必要な対策を機動的に講じていく。

除染の方針としては、1年当たり20～50ミリシーベルトの地域では、20ミリシーベルト以下となることを目指し、20ミリシーベルト以下の地域では、長期的に、追加被ばく線量が1ミリシーベルト以下となることを目指します。

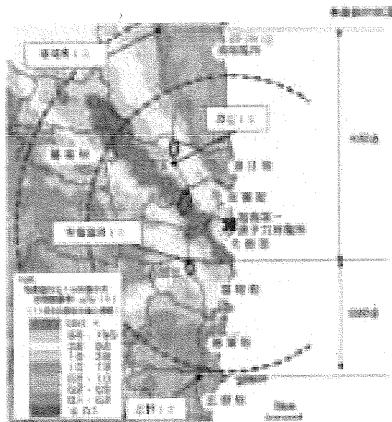
常磐自動道の除染について

■ モデル実証事業の概要(H24年3月～7月)

目的：本格的な除染工事の実施に立ち入り、効率的、効果的かつ安全性の高い除染作業の方策を確立する

実績

場所 (実施 期間)	被覆状況	除染作業の 実績状況	道路 構造	実績中波の空間線量率 ($\mu\text{Sv}/\text{hr} \cdot \text{m}^2$)
初期段階 (H24年3月～4月)	0.5~1.5 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ (年間30m ² /ha相当)	実績 除染	橋土	45.1 → 1.5 μSv
	1.5~2.5 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ (年間50m ² /ha相当)		堤土	11.6 → 1.5 μSv
	2.5~3.5 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ (年間100m ² /ha相当)		橋架	30.8 → 1.5 μSv
	3.5~4.5 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ (年間200m ² /ha相当)		橋土	2.0 → 1.5 μSv



■ 除染方針

(1) 毎時1.5～9.5 μSv (年間30～50m²/ha相当)の箇所
おおむね毎時1.5 μSv 以下とすることを目指す。

(2) 每時9.5 μSv 超(年間50m²/ha相当)の箇所
できる限りの除染を実施し、最も被覆が高い箇所においても、おおむね毎時1.5 μSv 以下とすることを目指す。

なお、毎時1.5 μSv 以下の箇所は、生活圏に近接する常磐道の敷地内について除染対象範囲に含めることとし、特例地域内除染実施計画に沿って、今後、計画的に進める(被覆場が確保されることを前提とする)。

■ 今後のスケジュール

被覆場が確保されることを前提に、年内に除染に着手し、平成25年6月末までに除染工事を完了する予定。

国が進めている除染作業の一例として常磐自動車道での除染を示します。3月11日の原発事故の発生の折には、常磐自動車道は、開通を目前に控えて工事中でした。しかし、道路の一部が高濃度に汚染されている地域を通っているため工事が止まってしまいました。今後の復旧・復興を加速化するためには、常磐道の除染を進めて供用を開始する必要があることから、モデル事業という形で除染作業を行いました。その結果、最も高線量の地域についても、8割程度空間線量率を下げることが可能だということが分かりました。24年内に本格的な除染活動に着手して、平成25年6月末までに除染工事を完了し、その後国土交通省と連携しながら工事を再開して、できるだけ早期開通を目指しています。

中間貯蔵施設に係る最近の動き

平成23年10月 環境省が中間貯蔵施設等の基本的考え方(ロードマップ)を策定・公表し、県内市町村長に説明

主な内容

- ・中間貯蔵施設の確保及び維持管理は国が行う
- ・仮置場の本格搬入開始から3年以内(平成27年1月)を目指して施設の供用を開始する(政府による最終処分の努力を行う)
- ・福島県内の土壤・廃棄物のみを貯蔵対象とする
- ・中間貯蔵期間(30年以内)で、福島県外で最終処分を完了する

平成23年12月 双葉郡内での施設設置について、福島県及び双葉郡8町村に検討を要請

平成24年3月 福島県及び双葉郡8町村に対し、3つの町(双葉町、大熊町、楢葉町)に分散設置する考え方を説明

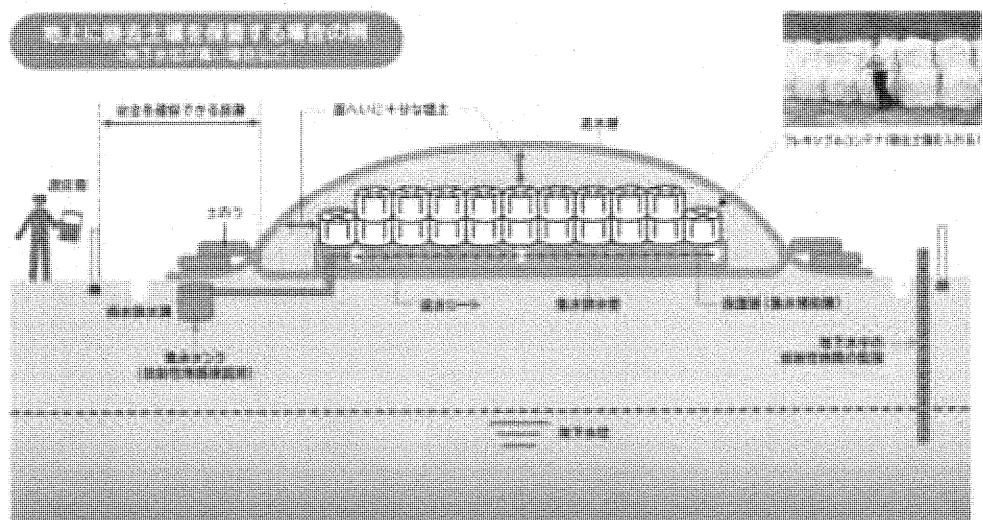
平成24年8月 福島県及び双葉郡8町村に対し、中間貯蔵施設に関する調査について説明

除染では、取り除いた放射性物質をどこに貯めておくかが重要です。福島県内の除染などで生じた除去土壤や廃棄物は、膨大な量になります。国は中間貯蔵施設を設置して、これらの廃棄物質を最終処分までの間管理します。国は、特措法に基づくロードマップの中で中間貯蔵施設の設置、維持管理は国が責任を持って行うという考え方を示しています。仮置場の本格搬入開始から3年程度で供用開始できるようにし、30年以内に、県外で最終処分を完了するというものです。

現在、候補地の選定を進めており、平成24年3月に福島県双葉郡8町村に対して、3つの町で分散設置するという考え方を説明しました。さらに8月に中間貯蔵施設の最適な設置場所と必要な安全対策に関する調査を行いたいということを説明しました。

仮置場の例(地上に除去土壤を保管する場合)

除染に伴って生じた除去土壌は、一定期間、「仮置場」や「現場保管」で安全に保管されます。



除染で取り除いた土壌などは、一時的な保管場所(仮置場又は現場保管)で3年程度保管します。一時的な保管場所(仮置場又は現場保管)については、市町村の協力を得ながら決定します。

除染によって取り除いた土壤等は、一時的な保管場所で安全性を確認しながら管理します。具体的には、除去土壤は水を通さない層(遮水シート等)の上に容器(フレキシブルコンテナ等)に入れて置きます。覆土をするとともに、遮水シート等で覆います。これにより、除去土壤自体の飛散・流出を防ぎ、さらに雨水等の流入と地下水等の汚染を防ぎます。

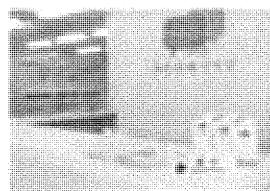
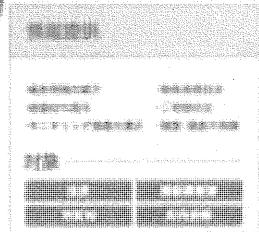
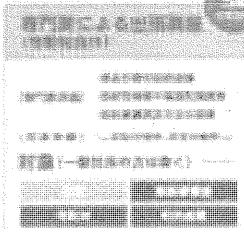
覆土や土のうで囲むなどの方法で仮置場の敷地境界での空間線量率が、周辺と同水準になる程度まで遮へいを行います。

公衆から遠ざける(距離を確保する)という観点から立ち入り禁止、作業者の被ばくを抑えるという観点から作業時間の短縮などについても考慮します。

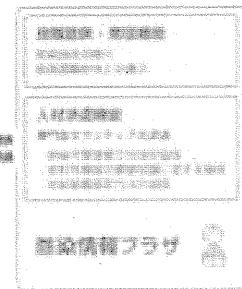
除染情報プラザの設置

専門家の派遣や除染情報の発信、除染の助言を行う拠点として、福島市に除染情報プラザを設置。

専門家による仕事講座と情報提供



〈専門家派遣の仕組み〉



除染方法やその効果などの情報発信を強化するため、福島における情報発信の拠点として除染情報プラザを設置しています。例えばコミュニティーや自治体向けの専門家による出張講座も行っており、また除染作業の進捗状況等に関する情報も確認できるスペースもあります。