

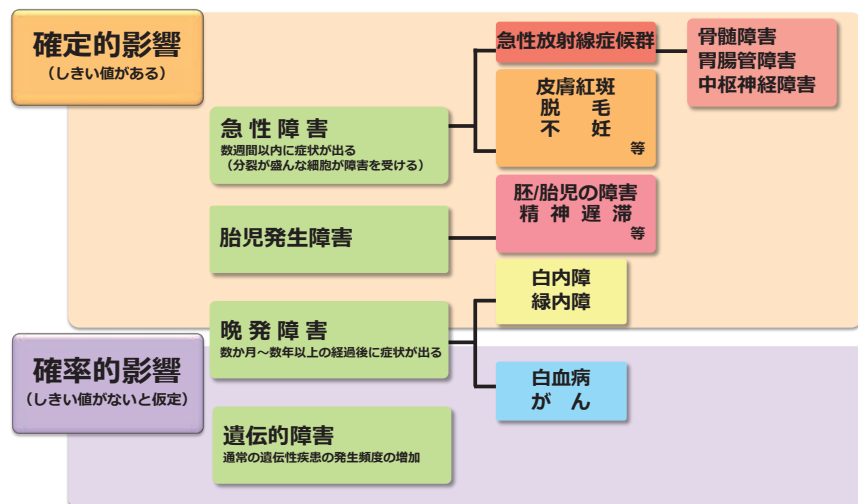
第 3 章

放射線による健康影響

人体への影響

影響の種類

▶ 放射線を受けた後にどのような健康影響が生じるか、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



放射線による人体への健康影響を考える際には、確率的な影響と確定的な影響の二つに分けて考える方法があります。上の図は、確率的影響と確定的影響を整理したものです。

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す。一般的に安全側に立ち、しきい値がないと仮定して管理が行われています。

ただし、ヒトでは、実験動物の結果と同じような頻度で、放射線による遺伝性疾患が出現することは確認されていません。

(関連ページ：上巻 P75、「放射線影響の分類」、上巻 P76、「確定的影響と確率的影響」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

人体への影響 被ばくの形態と影響

高線量被ばく

(大量の放射線を受けた)

低線量被ばく

(少量の放射線を受けた)

急性被ばく

(大量の放射線を短時間に受けた)

慢性被ばく

(少量の放射線を長期間にわたって受けた)

皮膚障害
吐き気
脱毛？

急性障害は
大量の放射線を
短時間に受けると
起こります



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、外部被ばくか内部被ばくか、全身被ばくか局所被ばくか、局所被ばくであるならば、どこに受けたのか、そしてどのくらいの量の放射線をどのくらいの期間で受けたかによって決まります。

放射線の身体的影響の種類や程度については、こうした情報が多ければ多いほど、正確に判断することができます。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

人体への影響

放射線影響の分類

		潜伏期間	例	放射線影響の機序
影響の出現	身体的影響	数週間以内 = 急性影響 (早期影響)	急性放射線症候群※1 急性皮膚障害	細胞死/細胞変性で起こる 確定的影響※2 
		数か月以降 = 晩発影響	胎児の発生・発達異常(奇形)	突然変異で起こる 確率的影響 
			水晶体の混濁	
			がん・白血病	
	遺伝性影響		遺伝性疾患	

※1：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等。

※2：一定量以上の被ばくがないと発生しない。

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供や孫等子孫に出る影響があります。

また、被ばくしてから症状が出るまでの時間によって分類されることもあります。すなわち、被ばく後、比較的早く症状が出る「急性影響（早期影響）」と、数か月後以降に現れる「晩発影響」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。例えば、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（急性放射線症候群）。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、眼に当たると、しばらくしてから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。放射線は DNA を傷つけ、その結果、突然変異が起こることがあります（上巻 P80、「放射線による DNA の損傷」）。個々の突然変異が病気につながる可能性は低いものの、理論的にはがんや遺伝性影響の原因となる可能性が全くないとはいえません。そこで、がんや遺伝性影響については、しきい線量はないと仮定して、管理が行われています。

（関連ページ：上巻 P76、「確定的影響と確率的影響」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

人体への影響

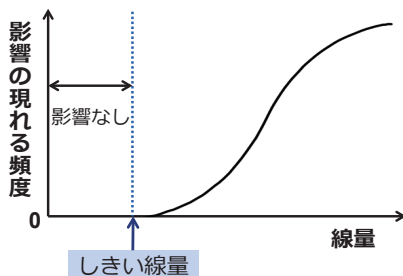
確定的影響と確率的影響

確定的影響

(脱毛・白内障・皮膚障害等)

同じ線量を多数の人が被ばくしたとき、全体の1%の人に症状が現れる線量を「しきい線量」としている。

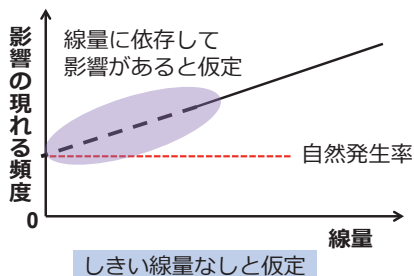
(国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告)



確率的影響

(がん・白血病・遺伝性影響等)

一定の線量以下では、喫煙や飲酒といった他の発がん影響が大きすぎて見えないが、ICRP等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線量が存在するということです。しきい線量を超えると、一度にたくさんの細胞死や変性が起こり、影響の発生率は急激に増加します。

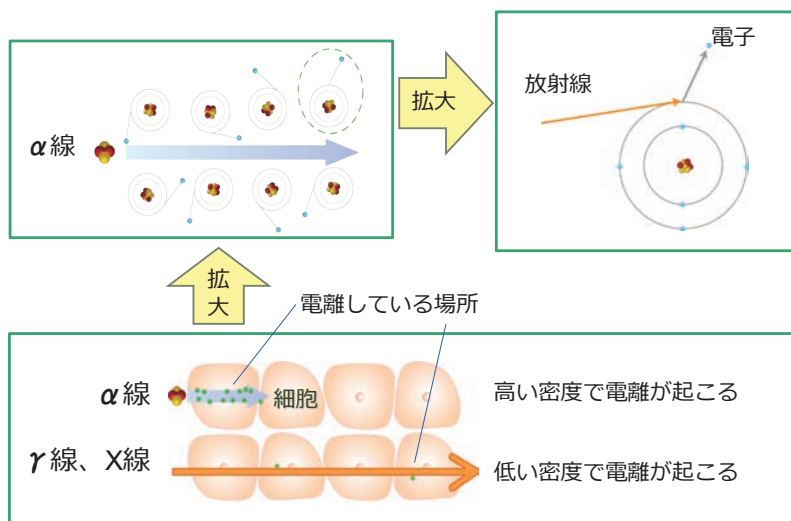
一方、放射線防護において、確率的影響にはしきい線量はないと仮定されています。この仮定に基づく理論上どんなに低い線量でも影響が発生する確率はゼロではないことになります。100～200ミリシーベルト以下の低線量域については、放射線被ばくによる確率的影響を疫学的に検出することは極めて難しく、国際放射線防護委員会 (ICRP) は、低線量域でも線量に依存して影響 (直線的な線量反応) があると仮定して、放射線防護の基準を定めています。

低レベル放射線によるがんのリスクを評価する場合には、主に広島・長崎の原爆被爆者集団の疫学調査の結果を用いています。放射線被ばく線量とがん発生の関係はおおよそ150ミリシーベルト以上では、ほぼ直線的に線量と共にリスクが上昇することが分かっています。しかし、150ミリシーベルトより低い線量では、直線的にリスクが上昇するかどうかは明らかではありません。また原爆のように短い時間に高い線量を受ける場合に対して、低い線量を長時間にわたって受ける場合 (低線量率の被ばく) のほうが、被ばくした総線量が同じでも影響のリスクは低くなるような傾向が、実験動物や培養細胞の実験研究で明らかになっています。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日

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。

物質にエネルギーを与える密度は、放射線の種類によって異なりますが、 β （ベータ）線や γ （ガンマ）線に比べ、 α （アルファ）線はごく狭い範囲に集中的にエネルギーを与えます。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細胞が受ける損傷の大きさが異なります。

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いいます。細胞は約3分の2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ラジカルと呼ばれる化学反応を起こしやすい成分により、生体分子に損傷を与える過程を間接作用といいます（上巻 P79、「DNA → 細胞 → 人体」）。

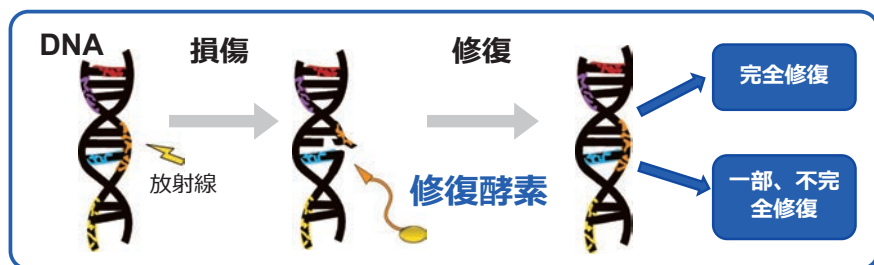
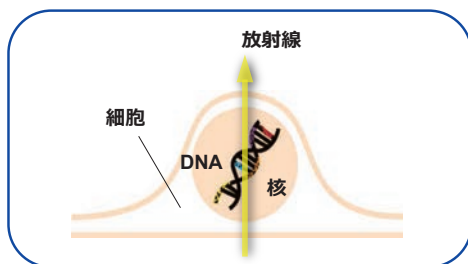
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

DNAの損傷と修復

3.2

人体影響の発生機構

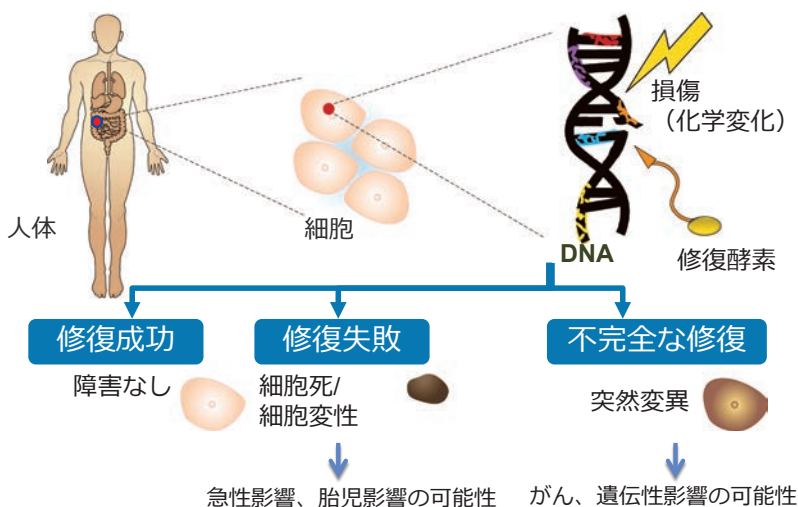


細胞は生命の設計図ともいえる DNA を持っています。DNA は糖・リン酸そして 4 種類の塩基を持った 2 本の鎖からできています。塩基の並び方に遺伝情報が組み込まれているので、並び方を保つために塩基は互いの鎖のいがたになるように組み合わせられています。この DNA に放射線が当たると、当たった量に応じて DNA の一部が壊れる事があります（上巻 P80、「放射線による DNA の損傷」）。

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、たばこ、環境中の化学物質、活性酸素等があり、一日 1 細胞当たり、1 万から 100 万箇所の頻度で 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。修復には、完全に修復される場合と一部が不完全に修復される場合があります（上巻 P79、「DNA → 細胞 → 人体」）。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日



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 に傷をつけることがあります。このついた傷は、体の中に備わっているシステムで修復されます。

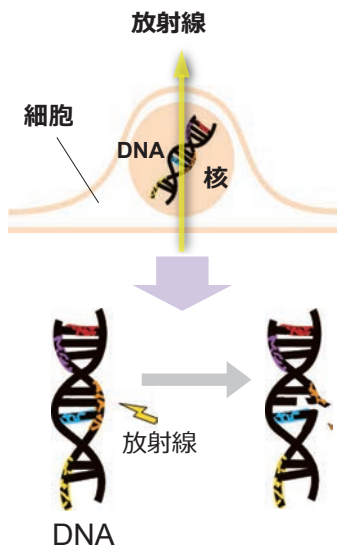
少しの傷であれば修復が成功し、元に戻ります。傷が多ければ修復できずに細胞自体が死んでしまいます。少しの細胞が死んでも、他の細胞が代わりをすれば、その臓器や組織の機能障害は生じません。多くの細胞が死んだり変性した場合、脱毛・白内障・皮膚障害といった急性障害や胎児発生障害等の確定的影響が生じる可能性があります（上巻 P81、「被ばく後の時間経過と影響」、上巻 P82、「確定的影響」）。

また、遺伝子の修復が完全ではない細胞が生き長らえた場合には、突然変異を起こし、がんや遺伝性の障害等の確率的影响が生じる可能性があります。

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、喫煙、環境中の化学物質、活性酸素等があり、1日1細胞当たり、1万から100万箇所の頻度でDNAは損傷を受けているといわれています。低線量放射線による損傷は、代謝に伴うDNA損傷に比べて圧倒的に少ないのですが、放射線は局所にエネルギーを与えるために、複数のDNA損傷が複合した複雑な損傷を作ります。また、放射線による影響も、その約85%は放射線により生じる活性酸素等の影響であり、約15%が放射線による直接の損傷によるものです。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日



**X線 1 ミリグレイ当たりの損傷
(1細胞当たり)**

塩基損傷 2.5 箇所

1 本鎖切断 1 箇所

2 本鎖切断 0.04 箇所

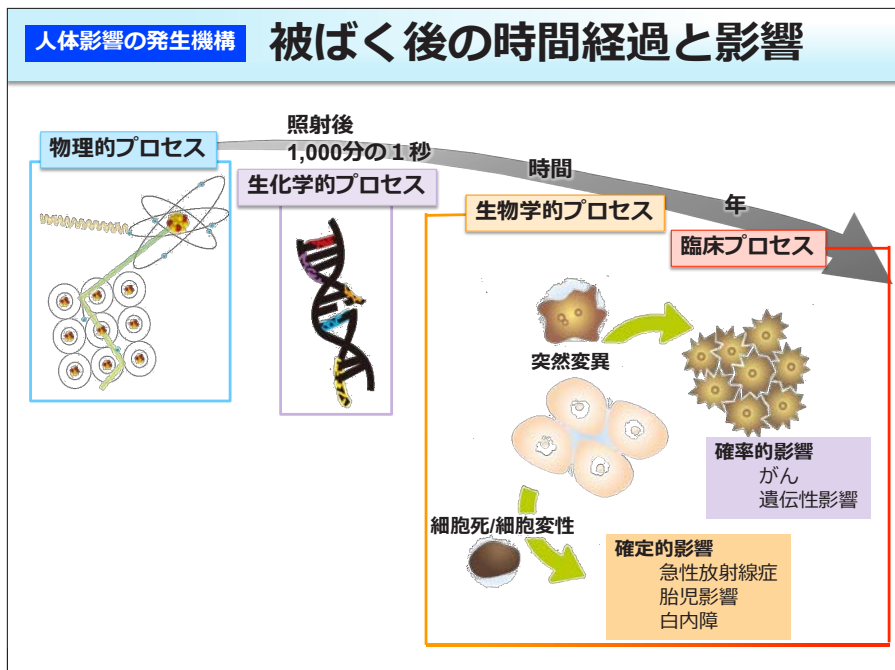
Morgan, 米国放射線防護委員会 (NCRP)
年次総会(第44回、2009)

DNA に放射線が当たると、当たった量に応じて DNA の一部が壊れる事があります。

X (エックス) 線 1 ミリグレイ当たり、1 細胞で平均 1 箇所の 1 本鎖切断が起こるといわれています。これは 1 ミリシーベルトに相当します。また 2 本鎖切断の頻度はこれより少なく 0.04 箇所のため、100 細胞が均一に 1 ミリグレイ浴びたら、4 細胞に 2 本鎖切断が起こることになります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日



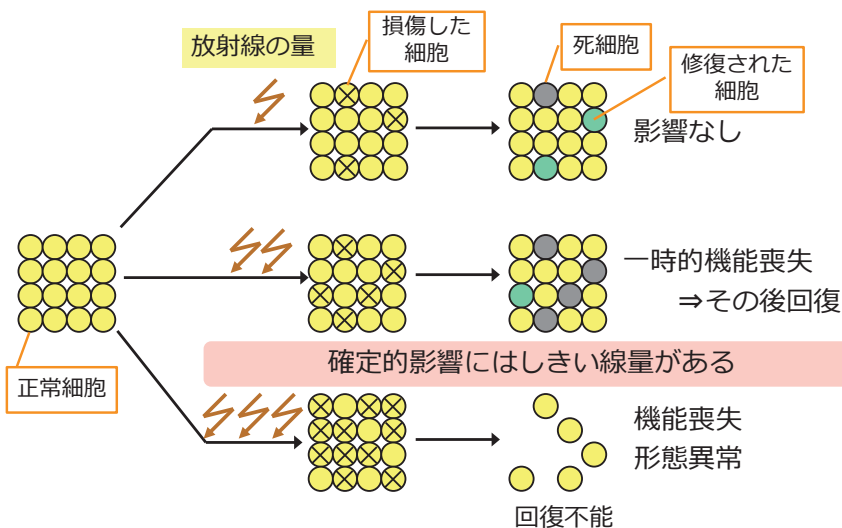
放射線を浴びた後、1,000 分の 1 秒という短い時間に DNA 切断や塩基損傷は起こります。1 秒後には修復が始まり、修復に失敗した場合には、1 時間～1 日の間に細胞死や突然変異が起こります。こうした細胞レベルでの反応が生じてから、個体レベルで臨床症状が出るまでにはしばらく時間が掛かります。この時間のことを潜伏期といいます。

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、比較的長く掛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。（関連ページ：上巻 P92、「発がんの仕組み」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

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に組織や臓器が機能すれば、臨床症状は現れません。

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。

更に大量の放射線を浴び、組織や臓器の細胞の損傷が大きい場合には、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現れ、これ未満では症状が現れないという線量が存在します。この線量のことを「しきい線量」と呼びます（上巻 P87、「様々な影響のしきい値」）。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

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：精巣、卵巣

消化器系：粘膜、小腸絨毛

表皮、眼：毛嚢、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

伝達系：神経

分裂しない

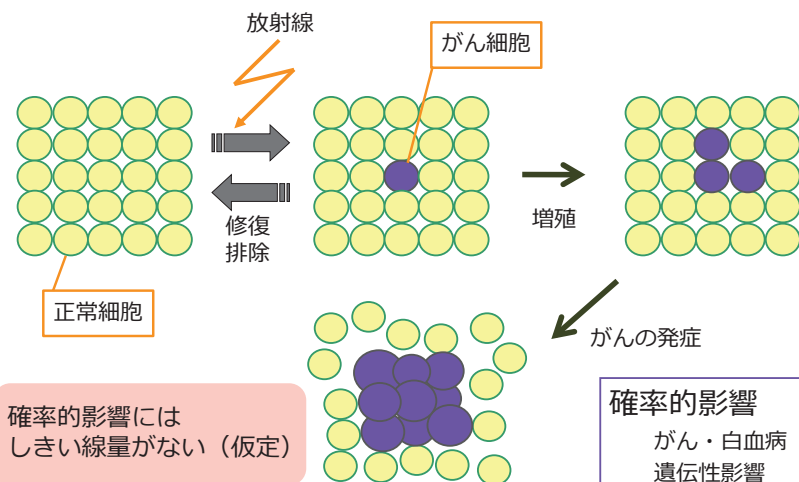
感受性が低い

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、骨髓にある造血幹細胞は盛んに分裂しながら、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、成体では細胞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。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日



細胞の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たとし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は、ほとんどが修復されたり排除されたりしますが、一部の変異細胞が生き残り、その子孫細胞に複数の遺伝子突然変異や遺伝子発現レベルの変化が追加的に起こると、がん細胞が生じる可能性が高まります。がん細胞が増殖すると、臨床的な(身体的症状から、医師が診断する)がんとして発症します。細胞のがん化は、複数の遺伝子に変異が起こり、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、受けた線量を全て考慮する必要があります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

全身被ばくと局所被ばく



出典：原子力安全委員会健康管理検討委員会報告（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、1,000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、2,000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こることがあります。

局所被ばくの場合には、被ばくした部分の臓器に障害が現れます。
 (関連ページ：上巻 P78、「DNA の損傷と修復」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

急性放射線症候群

被ばく時

急性放射線症候群の病期

時間経過

前駆期 ～48時間	潜伏期 0～3週間	発症期	回復期 (あるいは死亡)
嘔気・嘔吐 (1 Gy以上) 頭痛 (4 Gy以上) 下痢 (6 Gy以上) 発熱 (6 Gy以上) 意識障害 (8 Gy以上)	無症状	造血器障害 (感染・出血) 消化管障害 皮膚障害 神経・血管障害	

※全身に1 グレイ (1000ミリグレイ) 以上の放射線を一度に受けた場合に見られる急性放射線症候群

Gy : グレイ

出典 : (公財) 原子力安全研究協会 緊急被ばく医療研修テキスト「放射線の基礎知識」

全身に1 グレイ (1,000 ミリグレイ) 以上の放射線を一度に受けた場合、様々な臓器・組織に障害が生じ、複雑な臨床経過をたどります。この一連の臓器障害を、急性放射線症候群と呼びます。この時間経過をみると、典型的には、前駆期、潜伏期、発症期の経過をたどり、その後、回復するか死亡します。

被ばく後 48 時間以内に見られる前駆症状により、おおよその被ばく量を推定することができます。1 グレイ以上の被ばくで、食欲不振、悪心、嘔吐といった症状が見られることがあります。4 グレイ以上の被ばくをした場合、頭痛等を訴えることがあります。6 グレイ以上被ばくした場合、下痢や発熱といった症状が現れることがあります。

その後、潜伏期を経て、発症期に入ると、線量増加と共に造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で現れます。これらの障害は、放射線感受性の高い臓器や組織を中心に現れます。概して線量が多いほど潜伏期は短くなります。

皮膚は大人の体で $1.3 \sim 1.8\text{m}^2$ とかなり大きな面積を持つ組織です。また、表皮は、基底層で生まれた基底細胞が徐々に分化を遂げながら表面に押し上げられていき、角質層となり最後は垢となって体表面から離れます。

基底層から表層への移行時間は大体 20 日～40 日強といわれています。*放射線の影響を受けた角質層から基底層までの細胞は表面に現れるのに2週間から1か月強程度の時間が掛かります。このため、放射線の強さにより被ばく直後に初期皮膚紅斑が出ることもありますが、一般に皮膚障害は、被ばく後2～3週間経ってから現れます (上巻 P26、「外部被ばくと皮膚」)。

* : UNSCEAR 1988, 「放射線の線源、影響及びリスク」放射線医学研究所監訳、(株) 実業広報社、平成 2 年 3 月

本資料への収録日 : 平成 25 年 3 月 31 日

改訂日 : 平成 28 年 3 月 31 日

γ （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	骨髓	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	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）

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告、国際放射線防護委員会報告書118（2012年）

放射線の感受性は臓器によって異なりますが、最も感受性が高い臓器は精巣です。一度に0.1 グレイ（100 ミリグレイ）以上の γ （ガンマ）線等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、精巣にある精子を作り出す細胞が損傷を受けたために起こります。

また骨髓が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。

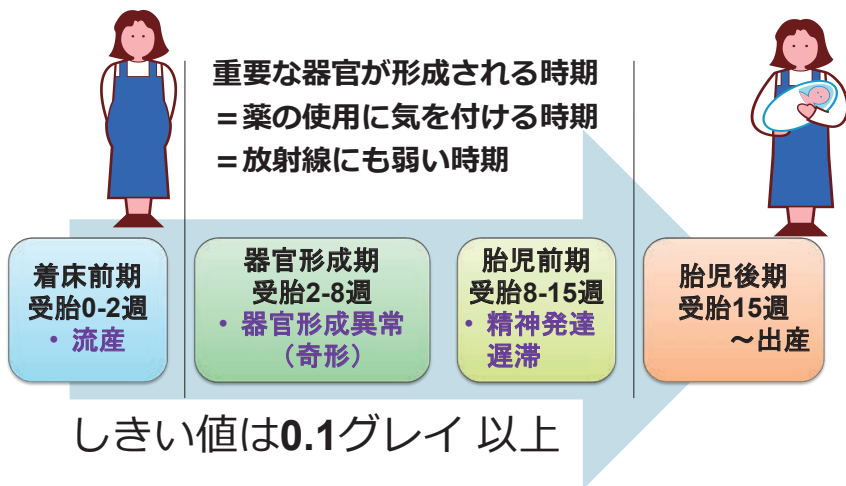
確定的影響の中には、白内障のように発症するまでに数年掛かるものもあります。

なお、白内障のしきい値は1.5 グレイとされてきましたが、最近国際放射線防護委員会（ICRP）はそれより低い0.5 グレイ程度に見直し、眼の水晶体に対する職業被ばくの新しい等価線量限度を設けました。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

確定的影響と時期特異性



※一般的に妊娠2週目と呼ばれている時期は、妊娠直後の受胎0週(齡)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。

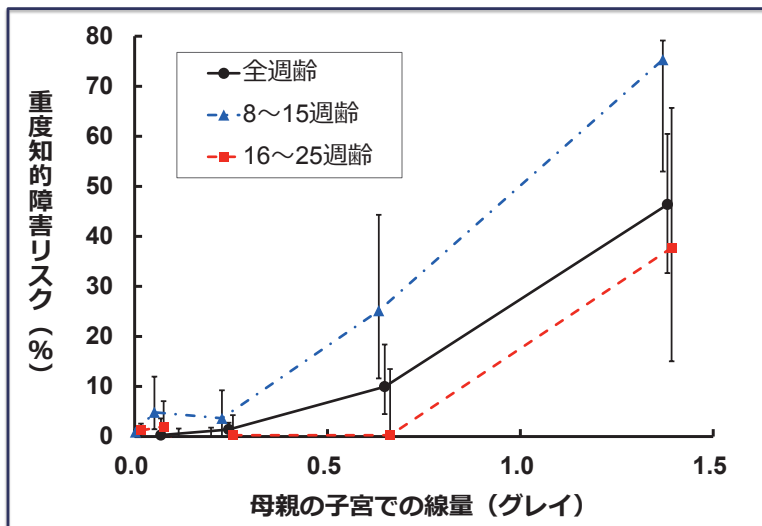
胎児期は放射線感受性が高く、また影響の出方に時期特異性があることが分かっています。妊娠のごく初期（着床前期）に被ばくすると、流産が起こることがあります。

この時期を過ぎてからの被ばくでは、流産の可能性は低くなりますが、赤ちゃんの体が形成される時期（器官形成期）に被ばくすると、器官形成異常（奇形）が起こることがあります。脳が活発に发育している時期（胎児前期）に被ばくすると、精神発達遅滞の危険性があります（上巻 P89、「精神発達遅滞」）。

放射線への感受性が高い時期は、妊婦が薬をむやみに服用しないようにと指導されている時期と一致します。安定期に入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。こうした胎児への影響は0.1グレイ以上の被ばくで起こります。このことから、国際放射線防護委員会（ICRP）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（エックス）線を一度に100ミリシーベルト受けた場合に相当します。なお、胎児の被ばく線量は母体の被ばく線量と必ずしも同じではありません。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。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



出典：放射線影響研究所ウェブサイト「胎内被爆者の身体的・精神的発育と成長」
(<http://www.rerf.or.jp/radefx/uteroexp/physment.html>) より作成

胎児影響の時期特異性については、原爆により胎内被ばくした集団の健康調査で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、子宮内での線量が0.1グレイから0.2グレイの間にしきい値があるように見えます。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ことが分かります。

しかし16～25週齢だった子供たちは、0.5グレイ程被ばくし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では、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す。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



原爆被爆者の子供における安定型染色体異常

異常の起源	染色体異常を持った子供の数 (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%)

出典：放射線影響研究所ウェブサイト「被爆者の子供における染色体異常（1967－1985年の調査）」
(<http://www.ref.or.jp/radefx/genetics/chromeab.html>)

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、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。どれも対照群との差は認められていません。

安定型染色体異常は細胞分裂で消失することがなく、子孫に伝わる形の染色体異常です。両親の少なくともどちらかが爆心地から 2,000m 以内で被ばく（推定線量が 0.01 グレイ以上）した子供（被ばく群）8,322 人の調査では、安定型染色体異常を持つ子供は 18 人でした。一方、両親とも爆心地から 2,500m 以遠で被ばく（推定線量 0.005 グレイ未満）したか、両親とも原爆時に市内にいなかった子供（対照群）7,976 人では、25 人に安定型染色体異常が認められました。

しかしその後の両親及び兄弟姉妹の検査により、染色体異常の大半は新しく生じたものではなく、どちらかの親がもともと異常を持っていて、それが子供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、親の被ばくにより、生殖細胞に新た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。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

■放射線による生殖腺（生殖細胞）への影響

◎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

※ヒトでは子孫の遺伝病の増加は証明されていません

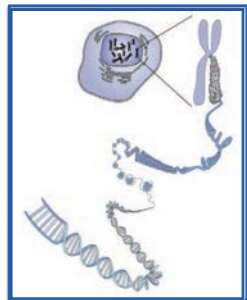
■遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)

= 約0.2%/グレイ（1グレイ当たり1,000人中2人）

（国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告）

この値は、以下のデータを用いて間接的に推定されている

- ・ヒト集団での各遺伝性疾患の自然発生頻度
- ・遺伝子の平均自然突然変異率（ヒト）、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外挿する補正係数



■生殖腺の組織加重係数（国際放射線防護委員会(ICRP)勧告）

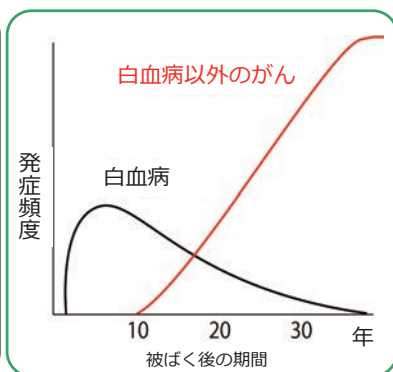
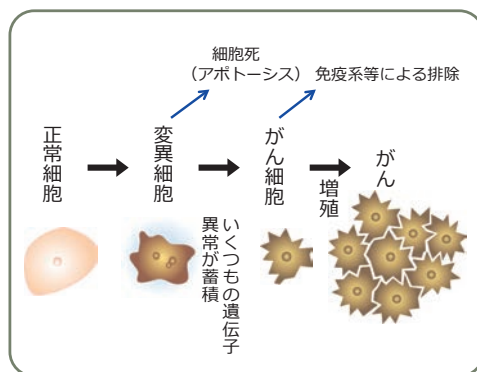
0.25(1977年)→0.20(1990年)→0.08(2007年)

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等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証拠は見つかっていません。国際放射線防護委員会（ICRP）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。

原爆被爆者の二世では、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、従来心配されていたほどには遺伝性影響のリスクは高くないことが分かってきたため、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。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



- ・放射線はがんを起こす様々なきっかけの一つ
- ・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～数十年掛かる

放射線ばかりではなく、様々な化学物質や紫外線等にも DNA を傷つける作用があります。しかし、細胞には傷ついた DNA を修復する仕組みがあり、大抵の傷はすぐに元どおりに修復され、また修復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（上巻 P78、「DNA の損傷と修復」）。

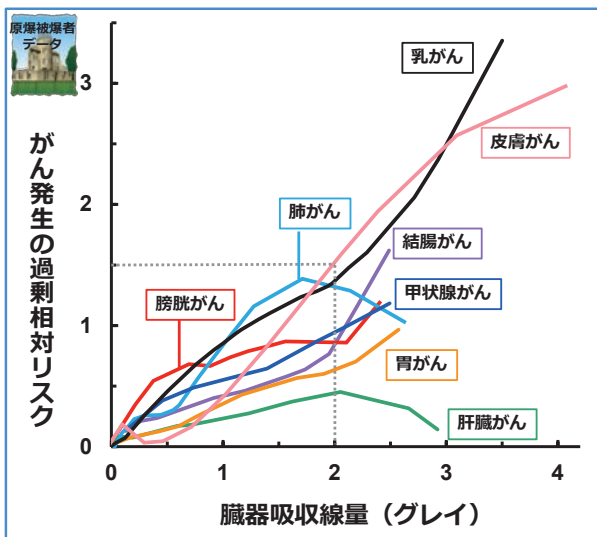
ごく稀に、修復し損なった細胞が、変異細胞として体の中に生き残ることがあります。こうしたがんの芽は生じては消え、消えては生じといったことを繰り返します。

その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間が掛かります。原爆の被爆では、被爆後 2 年頃から白血病が増加し始めましたが、その後発生頻度は低くなっています。一方、固形がんは、約 10 年の潜伏期間を経て増加し始めました。

（関連ページ：上巻 P81、「被ばく後の時間経過と影響」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日



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

組織	組織加重係数 w_T ※
骨髄(赤色)、胃、肺、結腸、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

出典：国際放射線防護委員会 (ICRP) 2007年勧告

※放射線による影響のリスクが大きい臓器・組織ほど大きい値になる。

この図は、原爆被爆者を対象に、どれだけの線量をどこに受けたとがんのリスクが増加するかを調べたものです。横軸は、原爆投下時の高線量率一回被ばくによる臓器吸収線量です。縦軸は、過剰相対リスクといって、被ばくしていない集団と比べて、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを調べたものです。例えば、臓器吸収線量が2グレイの場合は、皮膚がんの過剰相対リスクが1.5となっており、放射線を受けなかった集団と比べて1.5倍のリスクが過剰に発症していることを意味しています（つまり、2グレイ被ばくした集団では皮膚がんの発症リスクは、放射線を受けていない集団（1倍）の2.5倍（1 + 1.5）となります）。

こうした疫学研究の結果から、乳腺、皮膚、結腸等は、放射線によってがんが出やすい組織・臓器であることが分かりました。国際放射線防護委員会 (ICRP) の2007年勧告では、臓器の感受性やがんの致死性等も考慮し、組織加重係数を定めています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

子供は小さな大人ではない

	ヨウ素131の 預託実効線量係数※1 ($\mu\text{Sv/Bq}$)	ヨウ素131を100Bq 摂取したときの 預託実効線量(μSv)	ヨウ素131を100Bq 摂取したときの 甲状腺等価線量※2(μSv)
3か月児	0.48	48	1,200
1歳児	0.18	18	450
5歳児	0.10	10	250
大人	0.022	2.2	55

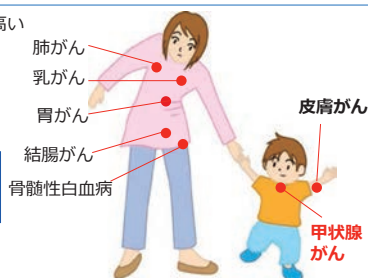
※1：代謝や体格の違いから、子供は預託実効線量係数が高い

※2：甲状腺の組織加重係数は0.04から算出

出典：国際放射線防護委員会（ICRP）、ICRP Publication 119、
Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60、
2012

**子供では大人と比較して、甲状腺
や皮膚のがんリスクが高くなる**

$\mu\text{Sv/Bq}$ ：マイクロシーベルト/ベクレル



大人の場合、骨髄、結腸、乳腺、肺、胃という臓器は、放射線被ばくによってがんが発症しやすい臓器ですが、子供の場合は、甲状腺や皮膚も放射線被ばくによるがんリスクが高いことが分かってきました。

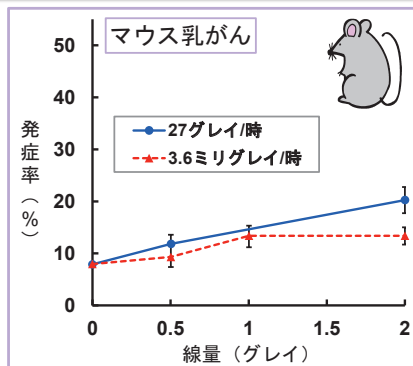
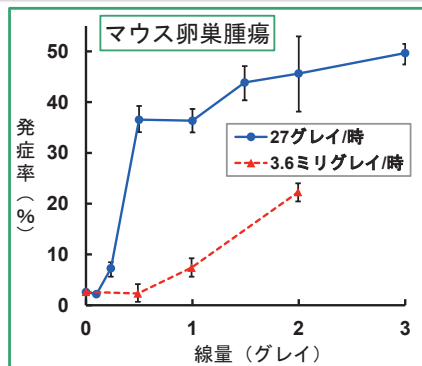
特に子供の甲状腺は放射線に対する感受性が高い上に、摂取放射エネルギー（ベクレル）当たりの預託実効線量が大人よりもはるかに大きいので、1歳児の甲状腺の被ばく線量が、緊急時の防護策を考える基準に取り入れられています。また、摂取放射エネルギー（ベクレル）当たりの預託実効線量係数は、大人よりもはるかに大きい数値が採用されています。

（関連ページ：上巻 P99、「被ばく時年齢と発がんリスクの関係」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

低線量率被ばくが発がんへの影響



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）1993

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

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

原爆被爆者での調査では、大きな線量を一度に被ばくした場合の影響を調べています。しかし職業被ばくや、事故による環境汚染からの被ばくの多くは、慢性的な低線量率での被ばくになります。

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、じわじわと少しずつ受けた場合とでは、放射線による発がんのリスクにどのくらいの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ほうが影響が小さいことが分かってきました。

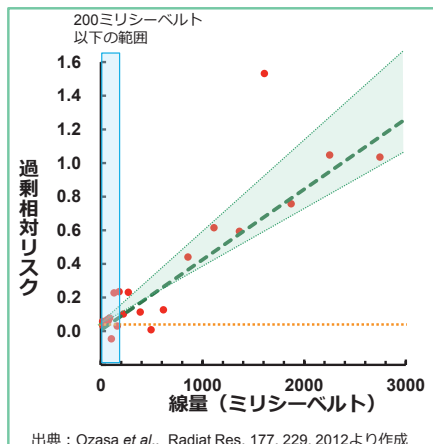
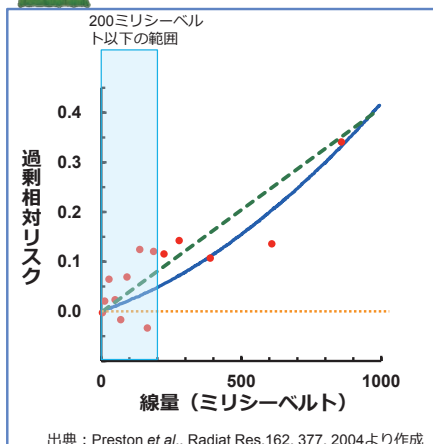
線量・線量率効果係数は、それぞれ高線量のリスク（被ばく線量と発生率）から、実際のデータがない低線量におけるリスクを予想する際、あるいは急性被ばくのリスクから慢性被ばくや反復被ばくのリスクを推定する際に用いられる補正值です。この値をいくつにして放射線防護を考えれば良いのかについては、研究者によって様々な意見がありますが、国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告では、補正值として2が使われており、少しずつ被ばくした場合は、一度に被ばくした場合に比べ、同じ線量を受けた場合でも、影響は半分になるとしています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日
 改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



原爆被爆者
データ

固形がんによる死亡（原爆被爆者での結果）



過剰相対リスク：放射線を受けなかった集団に比べ、放射線を受けた集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを調べたもの

原爆被爆者の健康影響調査の結果から、被ばくした量が増えると、発がんのリスクが高まることが知られています。最新の原爆被爆者の疫学調査でも、固形がんによる死亡リスクと線量の関係には、がん罹患で150ミリシーベルト以上で、またがん死亡で200ミリシーベルト以上で直線性が見られるものの、150～200ミリシーベルト以下の関係については研究者によっても意見が分かれています。

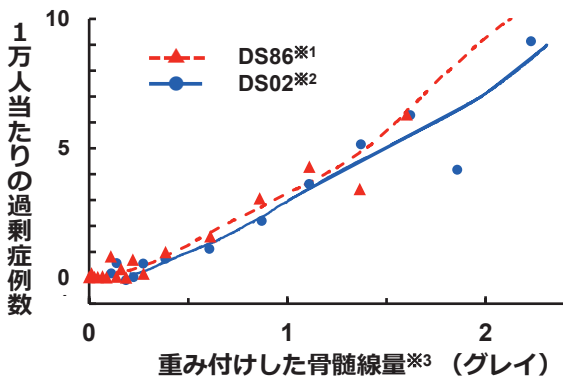
150ミリシーベルト以下でも線量とがんリスクは比例関係にあるのか、それとも実質的なしきい値が存在するのか、あるいは別の相関があるのかは、今後の研究によって明らかになることが期待されます（上巻 P140、「LNTモデルをめぐる論争」）。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日



広島・長崎原爆被爆者における白血病の線量反応



出典：DS02とDS86による白血病のノンパラメトリックな線量反応（1950～2000年）
Preston *et al.*, Radiat Res, 162, 377, 2004より作成

※1：（公財）放射線影響研究所が1986年に確立した、原爆被爆者の被ばく線量推定方式

※2：DS86に代わり、2002年新しく確立した線量推定方式

※3：白血病の場合、重み付けした骨髄線量（中性子線量を10倍したものとγ（ガンマ）線量の和）を使用

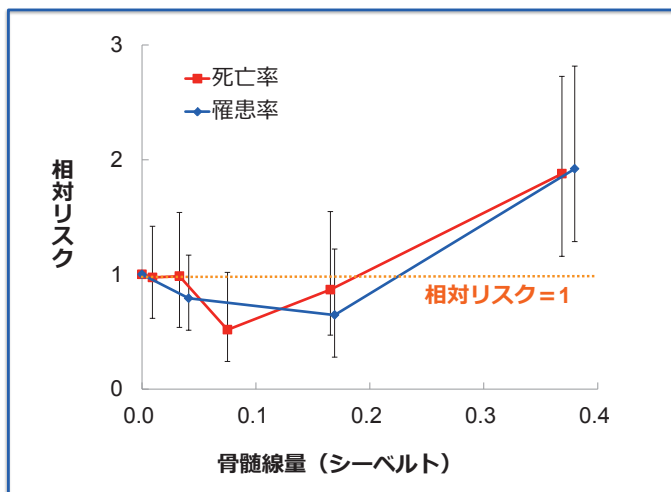
原爆被爆者における調査の結果から、白血病の線量反応関係は二次関数的であり、低線量では、単純な線形線量反応で予測されるよりもリスクは低くなると考えられています。0.2～0.5 グレイの低い線量の範囲でも白血病リスクの上昇が認められています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



原爆被爆者における白血病のリスク



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）2006年報告書より作成

国連科学委員会（UNSCEAR）の報告によれば、原爆被爆者における白血病の相対リスク（被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のリスクが何倍になるかを表したものは、0.2シーベルト以下の線量域では、白血病のリスクの増加は顕著ではありませんが、0.4シーベルト近くの群では顕著な増加が認められています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



原爆被爆者の被ばく時年齢別相対リスク

		男性(ミリシーベルト)			女性(ミリシーベルト)		
		5～ 500	500～ 1,000	1,000～ 4,000	5～ 500	500～ 1,000	1,000～ 4,000
年齢	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

出典：Preston et al., Radiat Res, 168,1, 2007

この図は、原爆被爆者のがん発症の相対リスクを、男女別、被ばく時年齢別で表したものです。相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す指標です。

0～9歳の男性では、5～500ミリシーベルト被ばくした場合のがんリスクは、被ばくしていない集団の0.96倍と被ばくしていない集団と差がありませんが、500～1,000ミリシーベルトの被ばくでは1.1倍、1,000～4,000ミリシーベルトでは3.8倍と、線量が増加すると相対リスクも増加します。女性でも同じ傾向が見られます。一方、50歳以上では、5～500ミリシーベルトでは相対リスクが1に近く、線量が増えるにつれてがんリスクが増えますが、その増え方は、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、子供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に検出できないため、現在のところ、科学的知見は十分ではありません。そこで、放射線防護の観点からは、どの線量域でも、子供は大人より3倍程度感受性が高いとみなして管理すべきであると考えられています。

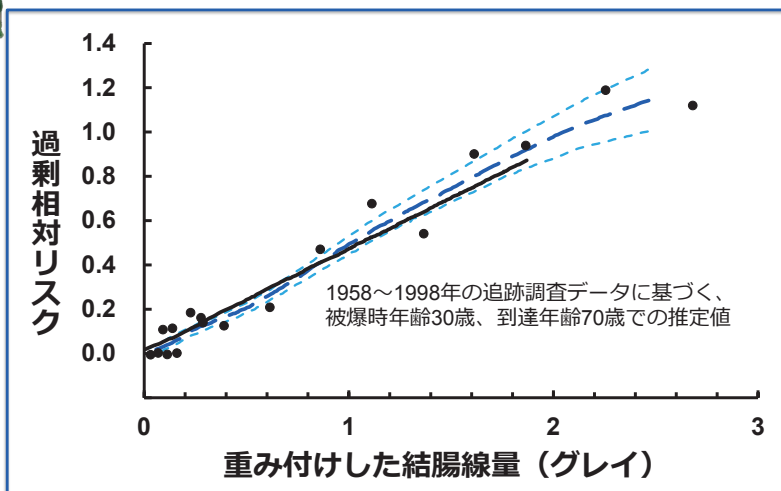
（関連ページ：上巻 P94、「年齢による感受性の差」）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



広島・長崎原爆被爆者における固形がんの線量反応



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

この図は原爆被爆者における固形がん発症の過剰相対リスク（被ばくしていない集団に比べ、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを示す値）を示した結果です。1958～1998年の追跡調査データに基づき、太い実線は、被爆時年齢30歳の人が70歳に達した場合として推定したときの男女平均過剰相対リスクで、直線の線量反応を示しています。なお青の太い破線は、被ばくした線量区分別のリスクの代表値から推定した値であり、水色の細い破線はこの推定値の上下1標準誤差を示しています。

本資料への収録日：平成25年3月31日
改訂日：平成27年3月31日



広島・長崎の原爆生存者の調査結果

100ミリシーベルト (mSv) での急性被ばくによる推定

被ばく時 年齢	性	被ばくがない時の 発がんリスク (A) (%)	被ばくによる 過剰な生涯リスク※ (B) (%)	被ばくがある時 の発がんリスク (A+B) (%)
10歳	男	30	2.1	32.1
	女	20	2.2	22.2
30歳	男	25	0.9	25.9
	女	19	1.1	20.1
50歳	男	20	0.3	20.3
	女	16	0.4	16.4

※被ばくした集団と被ばくしていない集団における生涯の間のがんで死亡する確率の差
10歳の男性が、被ばくしないときにはその後の生涯で**30%**の発がんの可能性があるが、
100mSv被ばくすると、被ばくにより**2.1%**増加し、**32.1%**になると推定される。

出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 160, 381, 2003

被ばくによる過剰相対リスク（被ばくしていない集団に比べ、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを表す値）の大きさは、被ばく年齢によって異なります。

例えば 10 歳の男の子が、被ばくしないときにはその後の生涯で 30%の発がんの可能性がありますが、100 ミリシーベルト被ばくした場合は発がんリスクが 2.1%増加し、32.1%になると推定されています。

一方、50 歳の男性では、その後の生涯での発がんの可能性は 20%ですが、100 ミリシーベルト被ばくした場合の発がんリスクは 0.3%増加し、20.3%になると推定されています。

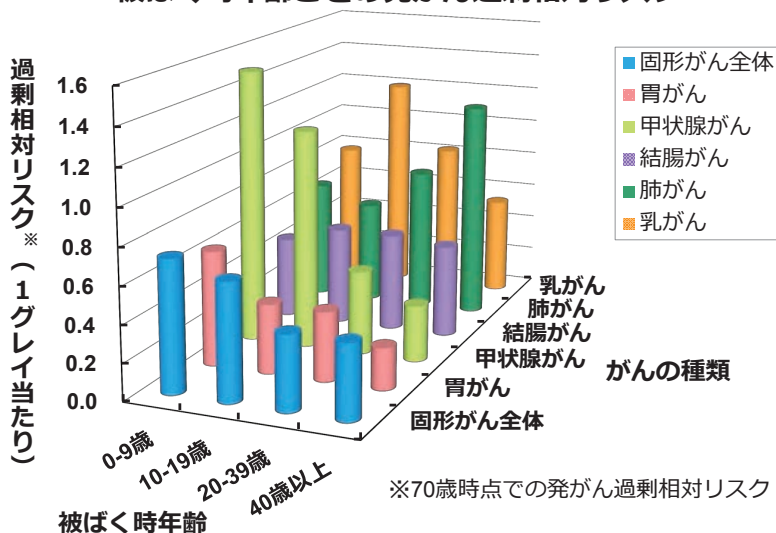
（関連ページ：上巻 P102、「被ばく時年齢とがんの種類」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク



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

これは、原爆被爆者の調査結果を用いて、被ばくしたときの年齢別、がんの種類別に、1グレイ当たりのがんの過剰相対リスク（被ばくしていない集団に比べ、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを表す値）を比較した図です。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）、40歳以上でリスクが高いもの（肺がん）、思春期でリスクが高いもの（乳がん）、年齢依存の顕著な差がないもの（結腸がん）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ることが示唆されます。

なお、図で示した過剰相対リスクは、70歳になったときにそれぞれの臓器の被ばくによる発がんのリスクがどのようになるかを示したものです。

（関連ページ：上巻 P101、「被ばく年齢ごとの生涯リスク」、上巻 P103、「被ばく時年齢別発がんリスク」）

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

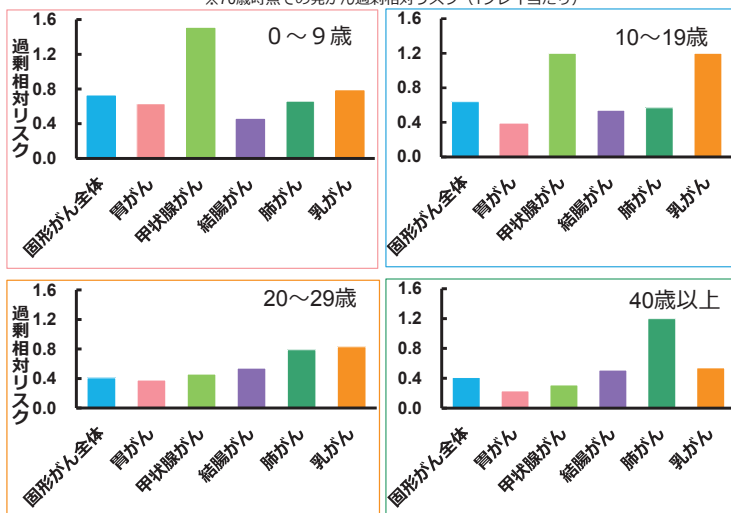
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



原爆被爆者データ

被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク

※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイ当たり）



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

この図は、70 歳になったときに、被ばくによるそれぞれの臓器の発がんの過剰相対リスク（被ばくしていない集団に比べ、被ばくした集団ではどのくらいがん発症のリスクが増加したかを表す値）がどのようになるかを示したものです。

被ばく時年齢によって、リスクが高いがんの種類に違いがあることが分かります。（関連ページ：上巻 P102、「被ばく時年齢とがんの種類」）

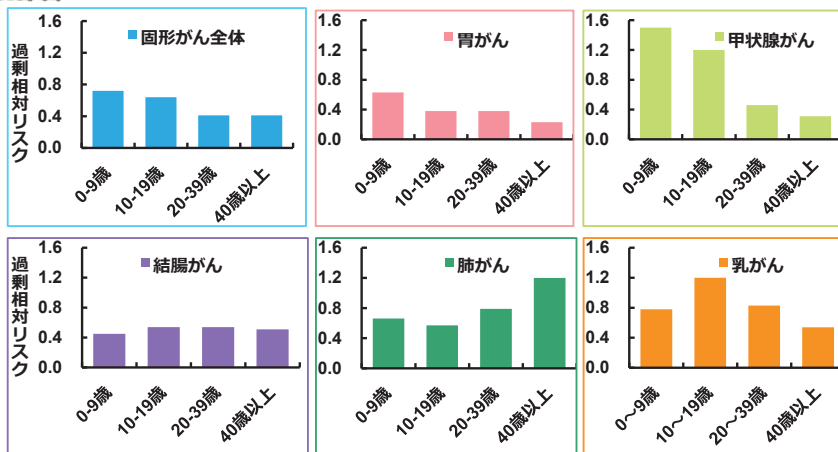
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日



がんの種類ごとの年齢による発がん過剰相対リスク

※70歳時点での発がん過剰相対リスク（1グレイ当たり）



出典：Preston *et al.*, Radiat Res, 1987, 87, 791より作成

グラフは原爆被爆者の調査結果において、がんの種類ごとの年齢による発がん過剰相対リスク（被ばくしていない集団に比べ、被ばくした集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを表す値）を示したものです。例えば固形がん全体の0～9歳の過剰相対リスクは0.7程度ですので、1グレイを浴びた集団では、放射線に被ばくしていない集団よりも0.7過剰相対リスクが増加することを意味しています。つまり、放射線に被ばくしていない集団のリスクが1なら、1グレイ被ばくした0～9歳の集団のリスクは1.7倍になることを意味しています。20歳以上では固形がん全体の過剰相対リスクは0.4程度ですので、1グレイ浴びたときにはリスクが放射線に被ばくしていない集団の1.4倍になります。

リスクは、被ばく年齢やがんの種類によって異なることが分かります。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

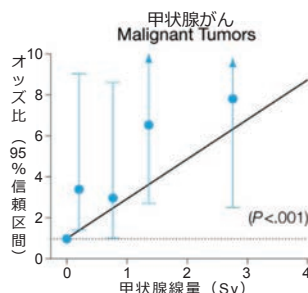


原爆被爆者
データ

mSv：ミリシーベルト

甲状腺線量	平均線量 (mSv)	対象 (人)	患者 (人)	オッズ比※ (95%信頼区間)
<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)

出典：Hayashi et al., Cancer, 116, 1646, 2010



出典：（公財）放射線影響研究所, JAMA 2006;295(9):1011-1022

※オッズ比：ある事象の起こりやすさを2つの集団で比較したときの、統計学的な尺度。オッズ比が1より大きいとき、対象とする事象が起こりやすいことを示します。それぞれの集団である事象が起こる確率をp（第1集団）、q（第2集団）としたとき、オッズ比は次の式で与えられます。

$$p \text{ のオッズ } \div q \text{ のオッズ } = p / (1-p) \div q / (1-q)$$

95%信頼区間が1を含んでいなければ、統計学的に有意であるといえます。

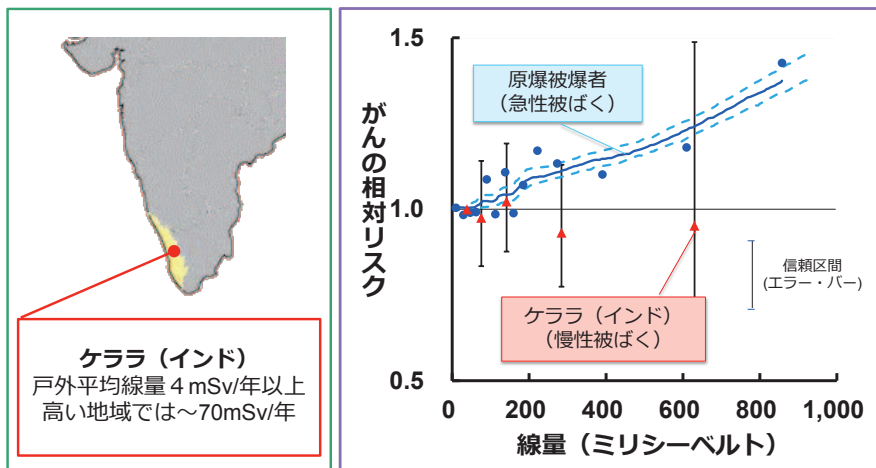
原爆被爆者における甲状腺がんの発症についてオッズ比（ある事象の起こりやすさを2つの集団で比較したときの統計学的な尺度）を見てみると、線量が高くなるほど、甲状腺がんのリスクが高くなることが示されています。甲状腺微小がんに限った調査では*、有意な差は見られませんでした。等価線量で100ミリシーベルトまではオッズ比が低く、100ミリシーベルトを超えるとオッズ比は高くなるということも示されています（オッズ比が1より大きいとき、対象とする事象が起こりやすいことを示します）。

*出典：“Radiation Dose-Response Relationships for Thyroid Nodules and Autoimmune Thyroid Diseases in Hiroshima and Nagasaki Atomic Bomb Survivors 55-58 Years After Radiation Exposure”（JAMA. 2006;295(9):1011-1022. doi:10.1001/jama.295.9.1011）

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日

インド高自然放射線地域住民の発がん



mSv：ミリシーベルト

出典：Nair *et al.*, Health Phys 96, 55, 2009; Preston *et al.*, Radiat. Res. 168, 1, 2007より作成

低線量率被ばくと高線量率被ばくでは、影響の出方は違うと考えられています。

これは原爆被爆者のデータと、ケララ（インド）のような高自然放射線地域住民のリスクを比較したのですが、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（被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表した値）の増加が見られていません。また、信頼区間（グラフ上のエラー・バー）の幅も非常に大きいことから更なる検討が必要ですが、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が示唆されます。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

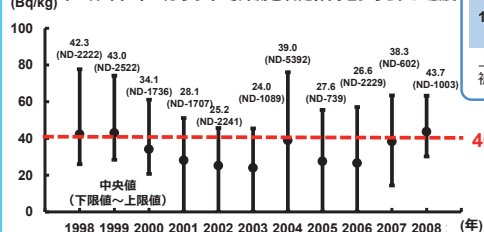
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

チェルノブイリ原発事故による セシウム137の内部被ばく



(Bq/kg) ホールボディ・カウンタで計測された体内セシウム137濃度



体内のセシウム137濃度の
季節ごとの変化 (Bq/kg) と被験者数

	1998～2001年	2002～2005年	2006～2008年
3～5月	34.6 (ND-2154.9) 10,993	27.3 (ND-5392.2) 18,722	32.0 (ND-1757.1) 9,284
6～8月	71.5 (ND-399.0) 265	32.2 (ND-393.0) 268	21.2 (ND-271.1) 451
9～11月	40.9 (ND-2521.7) 9,590	33.5 (ND-1089.3) 8,999	44.2 (ND-2229.3) 4,080
12～2月	33.5 (ND-1735.8) 8,971	20.6 (ND-607.0) 6,603	39.8 (ND-1454.3) 6,404

上から平均値 (Bq/kg)、(検出下限値～検出上限値)、
被験者数 (人)。NDは検出限界以下。

ブリヤンスク州では、
1998～2008年の間、
年間平均40Bq/kgの
内部被ばくを認めた

Bq/kg : ベクレル/キログラム

出典 : Sekitani et al., Radiat Prot Dosimetry, 141, 1, 2010より作成

1986年に起こったチェルノブイリ原発事故では、東京電力福島第一原子力発電所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、ソビエト連邦はこの事故を公表せず、施設周辺住民の避難措置等が採られませんでした。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既に放牧が行われていたため、牛乳の汚染等が起きました。

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セシウム137の体内放射能を測定した結果、期間中の体内セシウム137の中央値は20～50ベクレル/kgで推移しつつ、2003年まで低下していましたが、2004年から上昇傾向が見られています。チェルノブイリ原発事故では、セシウム137による被ばくは長期にわたって続いていることが分かります。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成28年3月31日

3.6

がん・白血病

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

チェルノブイリ原発事故 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	1,100
ロシア	0.19	25	10	440
ウクライナ	90	20	10	330
合計	115	22	9	490

mSv : ミリシーベルト mGy : ミリグレイ

出典 : 国連科学委員会 (UNSCEAR) 2008年報告より

チェルノブイリ原発事故に際して避難を余儀なくされた人々の甲状腺被ばく線量は高く、平均で約 500 ミリグレイと推定されています。これは、事故直後から 2～3 週間にわたって、ヨウ素 131 で汚染した牛乳を飲んだこと等が主な原因です。

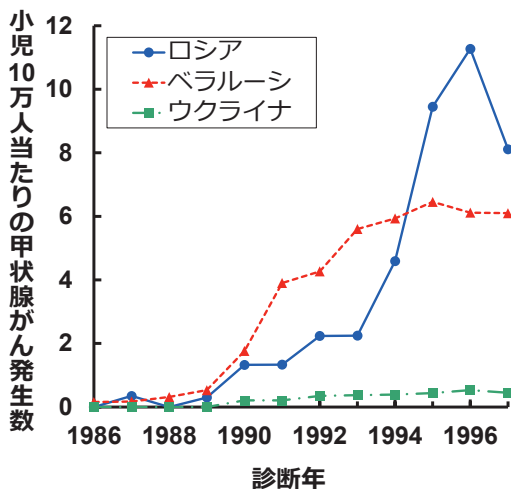
避難地域以外の旧ソビエト連邦に居住していた人々の平均甲状腺線量は約 20 ミリグレイ、汚染地域に住んでいる人々の線量は約 100 ミリグレイとなっており、そのほか欧州諸国に暮らす人々の線量（約 1 ミリグレイ）よりもはるかに高い結果になりました。

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 30 ミリシーベルトでした。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よりもベラルーシにおいて高いことが分かっています。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

小児甲状腺がん（チェルノブイリ原発事故）



甲状腺

ヨウ素は甲状腺ホルモンの材料

事故の4～5年後に
小児甲状腺がんが発生し始め、
10年後には10倍以上に増加

出典：国連科学委員会（UNSCEAR）
2000年報告書より作成

チェルノブイリ原発事故では、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、肉を食べた子供たちの中で、小児甲状腺がんが発症しました。特に、牛乳に含まれていたヨウ素131による内部被ばくによる発症とされることが大きかったといわれています。

ベラルーシやウクライナでは、事故後4～5年ごろから小児甲状腺がんが発生し始め、15才未満の甲状腺がん罹患率については、1986～1990年の5年間に比べ、1991～1994年の罹患率は5～10倍に増加しました。

ただし、ベラルーシとウクライナは全国の小児10万人当たりの甲状腺がんの発生数であるのに対し、ロシアは汚染が高い特定の地域のみでの小児10万人当たりの甲状腺がんの発生数となっています（UNSCEAR2000年報告書附属書）。

本資料への収録日：平成25年3月31日

最終改訂日：平成28年3月31日

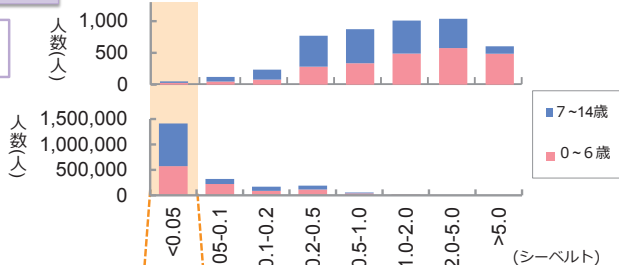
原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

甲状腺線量の比較

チェルノブイリ原発事故

ベラルーシで1986年
に避難した集団

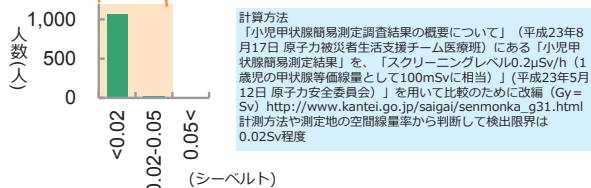
ベラルーシ全体
(避難者を除く)



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）報告書2008年報告

東京電力福島第一 原子力発電所事故

※このデータは、限られた
住民に対して行われた調査
によるものであり、全体を
反映するものではない。



計算方法
「小児甲状腺簡易測定調査結果の概要について」（平成23年8月17日 原子力被災者生活支援チーム医療班）にある「小児甲状腺簡易測定結果」を、「スクリーニングレベル0.2μSv/h（1歳児の甲状腺等価線量として100mSvに相当）」（平成23年5月12日 原子力安全委員会）を用いて比較のために改編（Gy = Sv）
http://www.kantei.go.jp/saiga/senmonka_g31.html
計測方法や測定地の空間線量率から判断して検出限界は0.02Sv程度

東京電力福島第一原子力発電所事故により、子供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、およそそのことが推定できます。

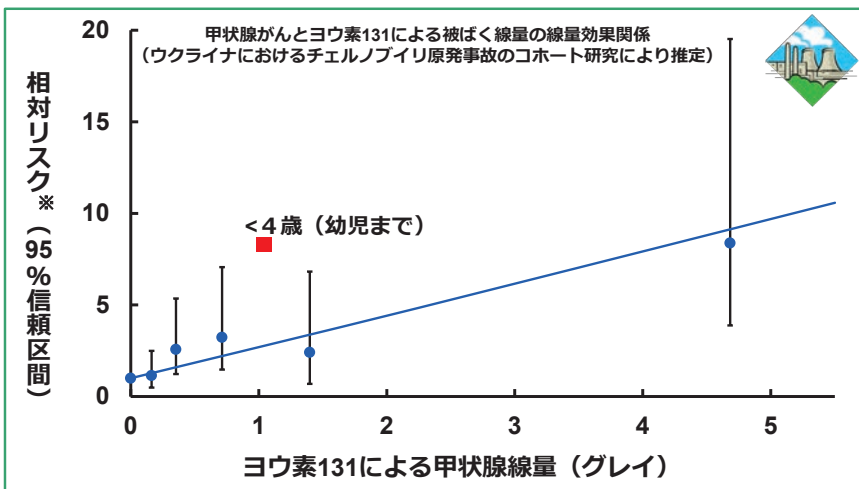
この事故後2週間の時点でのスクリーニング調査は、甲状腺線量が高いと予想された川俣、いわき、飯館の15歳以下の1,080人の子供たちに対し、サーベイメータを用いて行われたものです。

その結果、原子力安全委員会（当時）が設定したスクリーニングレベルを超える子供はいないこと、検査を受けた子供全員が50ミリシーベルト以下であることが分かりました。

国連科学委員会（UNSCEAR）によるチェルノブイリ原発事故での甲状腺被ばく線量に関する解析では、50ミリシーベルト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。小児甲状腺がんの発生の増加が見られたベラルーシでの小児甲状腺被ばく線量は、特に避難した集団で0.2～5.0あるいは5.0シーベルト以上といった値が示されており、福島県で調査された甲状腺被ばく線量より二桁も大きい値となっています。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日



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

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

チェルノブイリ原発事故の子供たちの内部被ばく線量と甲状腺がんのリスクの関係に関しては、図のような研究結果が示されています。

それは、甲状腺が1グレイ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。この研究では、この2倍という数値は18歳までの子供たちの平均であり、幼児(<4歳)の場合には、これよりも高くなるとされています。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

安定ヨウ素剤	1 グレイ (Gy) 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
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)

出典：Cardis *et al.*, JNCI, 97, 724, 2005

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

この表のように、ヨウ素が足りない地域では、1 グレイ当たりの甲状腺がんの相対リスクが約3倍に増加するという報告もあります。チェルノブイリ周辺地域は内陸に位置しており、周辺に海がないため、土壌中のヨウ素濃度が低い地域です。また、ヨウ素を多く含む海藻や海の魚を食べる習慣がなく、日本とは食生活が異なります。

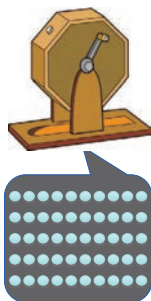
日本は、全体的にチェルノブイリ周辺地域より土壌中のヨウ素濃度が高い上、ヨウ素の摂取量が海外諸国に比較して多いということもあり、このような海外でのデータがそのまま当てはまるわけではありません。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

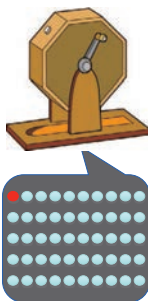
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

リスク 確率的影響のリスク

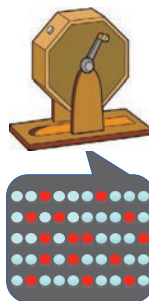
被ばくなし※



少し被ばく



たくさん被ばく



※実際には、放射線被ばくのない日本人集団でも、生涯約50%の人ががんになります。

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に関しては、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出てきます。しかも誰がなるかという予想はできません。また、一般に、多く被ばくしたからといって、症状が重くなるわけではなく、発症確率が上がるだけです。

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。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

リスク 相対リスクと寄与リスク

要因	罹 患		計
	あ り	な し	
ばく露群	A	B	A+B
非ばく露群	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

$$\text{相対リスク} = \frac{\text{要因ばく露群の罹患リスク}}{\text{要因非ばく露群の罹患リスク}} = \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}}$$

要因ばく露によってその集団の罹患率がどれだけ増えるのか

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

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いった際には、「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、寄与リスクとい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。

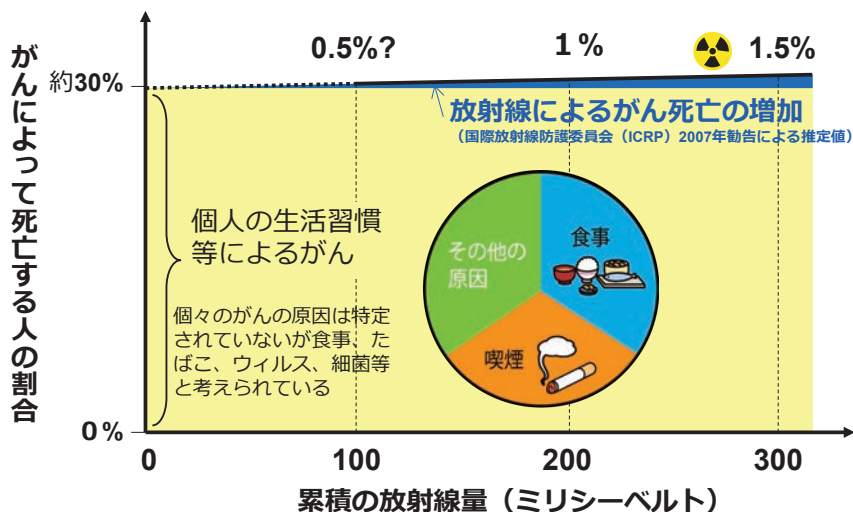
例えば、ある集団が何かしらのリスク源に曝されている、ある集団は曝されていないとします。曝されていない集団では、ある疾患の患者が、100万人に2人出るのに対し、曝されている集団では100万人中3人患者が出るとします。

相対リスクというのは、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。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3分の1を寄与割合と呼びます。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

低線量率被ばくによるがん死亡リスク



国際放射線防護委員会 (ICRP) 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基に、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 1,000 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み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 1,000 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。

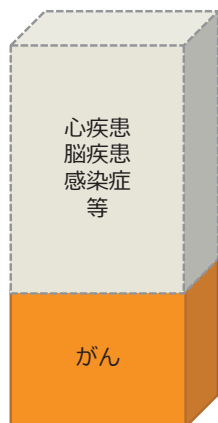
しかし実際には、1,000 人中 300 人という値も年や地域によって変動しますし^{*}、今のところ病理診断のような方法でがんの原因が放射線だったかどうかを確認する方法は確立されていません。そのため、この 100 ミリシーベルト以下の増加分、つまり最大で 1,000 人中 5 人という増加分について実際に検出することは大変難しいと考えられています。

※：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 万対で女性では、248.8 人 (長野県) から 304.3 人 (青森県)、男性では 477.3 人 (長野県) から 662.4 人 (青森県) 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、これも男性では 29.0% (沖縄県) から 35.8% (奈良県)、女性では 29.9% (山梨県) から 36.1% (京都府) とばらつきが見られます。

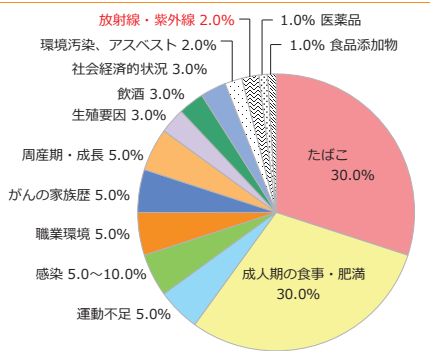
本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 28 年 3 月 31 日

リスク 発がんに関連する因子



ヒトのがんの原因と関連のある因子



出典：Cancer Causes Control 7: 55-58 (1996) より作成

私たちは様々ながんの原因に囲まれて暮らしています。図の円グラフはアメリカのデータですが、食物やたばこが、がん発生に密接に関わっているという知見が得られています。これに放射線によるリスクが上乗せされるので、生物学的な面からだけいえば、放射線を受けないに越したことはないということになります。

そこで、X（エックス）線検査を断る、飛行機に乗りないようにするといった生活をすることも可能ですが、その代わり、疾患の早期発見ができなかったり、生活が不便になったりします。その割には、がんになる危険性が劇的に減るということもあります。なぜなら、放射線以外にもがんになる原因が身の回りにいろいろあるからです。

(関連ページ：上巻 P117、「がんのリスク（放射線と生活習慣）」)

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日

改訂日：平成 27 年 3 月 31 日

リスク 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)	がんの 相対リスク※	生活習慣因子
1,000 ～ 2,000	1.8 1.6 1.6	喫煙者 大量飲酒（毎日3合以上）
500 ～ 1,000	1.4 1.4	大量飲酒（毎日2合以上）
200 ～ 500	1.22 1.29 1.19 1.15 ～ 1.19 1.11 ～ 1.15	肥満（BMI $\geq$ 30） やせ（BMI<19） 運動不足 高塩分食品
100 ～ 200	1.08 1.06 1.02 ～ 1.03	野菜不足 受動喫煙（非喫煙女性）
100 未満	検出困難	

出典：国立がん研究センターウェブサイト

※放射線の発がんリスクは広島・長崎の原爆による瞬間的な被ばくを分析したデータ（固形がんのみ）であり、長期にわたる被ばくの影響を観察したものではありません。

※相対リスクとは、被ばくしていない人を1としたとき、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表す値です。

この図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。

たばこや大量飲酒の習慣は放射線を1,000～2,000ミリシーベルト被ばくするのと同程度、肥満、やせ、運動不足、高塩分食品等は、200～500ミリシーベルト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、100ミリシーベルト以下では、発がんリスクを検出することが極めて難しいと考えられています。

本資料への収録日：平成25年3月31日

改訂日：平成27年3月31日

- ・ 将来の不確実性
- ・ 住居及び職場の安全の不確実性
- ・ 社会の偏見
- ・ 執拗な報道
- ・ 避難先の習慣の違い

放射線災害特有



- ・ 災害予告ができない
- ・ 被害の範囲の把握が困難
- ・ 将来出現するかもしれない放射線影響

出典：原子力規制委員会（旧原子力安全委員会）被ばく医療分科会 心のケア及び健康不安対策検討会
第3回会合資料3-2号「チェルノブイリ事故時の心のケアについて」より作成
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/senmon/shidai/kokoro/kokoro003/kokoro-si003.htm>

一般的に、被災者のストレスの要因というのは、将来の不確実性、住居及び職場の安全の不確実性、社会の偏見、執拗な報道、避難先の習慣の違い等があると考えられています。これに加えて、放射線災害の場合は、災害予告ができない、被害の範囲の把握が困難、将来出現するかもしれない放射線影響、というストレス要因が加わります（上巻 P119、「放射線事故と健康不安」）。

特に将来出現するかもしれない放射線影響というのは、いつかがんになるかもしれないという不安を長い間抱えるので、大きなストレスになります。

本資料への収録日：平成 25 年 3 月 31 日
改訂日：平成 27 年 3 月 31 日