

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(2000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。

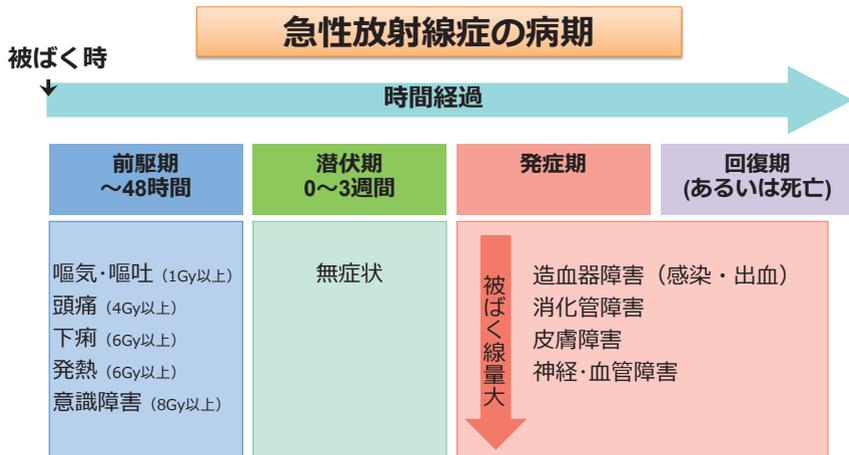
分裂が盛んな臓器である精巣は、放射線感受性が高く、一時的な精子数の減少は100～150ミリグレイで現れ、一過性の不妊になることがあります。骨髄も感受性が高く、1,000ミリグレイ以下の被ばくでも血中のリンパ球が減少することがあります。しかし、こうした症状は自然に治癒します。

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きることがあります。

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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



※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に見られる急性放射線症

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、さまざまな臓器・組織に障害が生じ、複雑な臨床経過を辿ります。この一連の臓器障害を、急性放射線症と呼びます。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、嘔吐と言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、頭痛など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、線量増加とともに造血器障害、消化管障害、神経血管障害の順で障害が現れます。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 ～ 1.8m² とかなり大きな面積を持つ組織です。被ばく直後に初期皮膚紅斑がで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。

本資料への収録日 : 2013 年 3 月 31 日

改訂日 : 2015 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	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)

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。

確定的影響の中には、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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

確定的影響と時期特異性



重要な器官が形成される時期
 = 薬の使用に気をつける時期
 = 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。

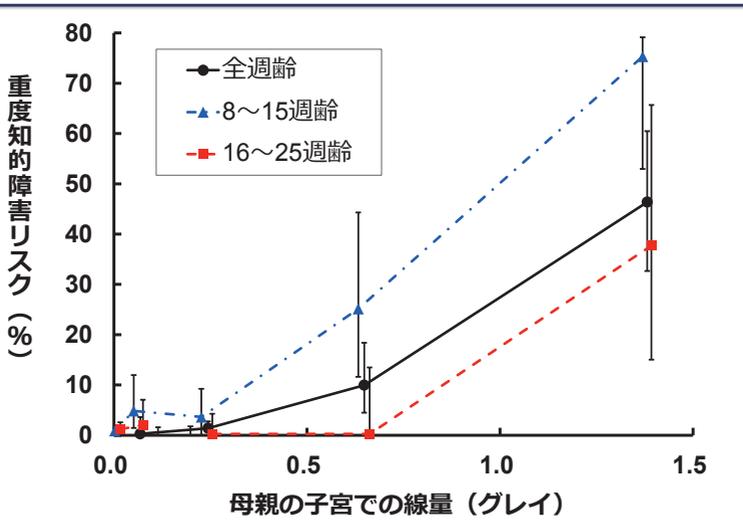
確定的影響の中でもしきい値の低いものに、胎児影響があります。妊婦が被ばくした場合、子宮内を放射線が通過したり、放射性物質が子宮内に移行したりすれば、胎児も被ばくする可能性があります。

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わかっています。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。大脳が活発に発育している時期(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。

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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



出典：放射線影響研究所ホームページより作成 <http://www.refr.or.jp/>

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わかります。

しかし16～25週齢だった子どもたちは、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わかりました。

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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

遺伝性影響 被爆二世における染色体異常



原爆被爆者の子ども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%)

出典：放射線影響研究所ホームページ <http://www.rerf.or.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、がんやその他の疾患による死亡率など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）した子ども（被ばく群）8,322人の調査では、安定型染色体異常を持つ子どもは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ども（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およ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、それが子ども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わかりました。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

遺伝性影響 ヒトでの遺伝性影響のリスク

■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）

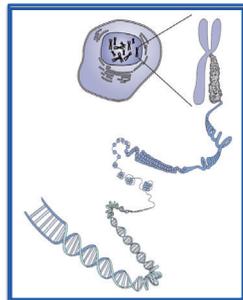
◎ 染色体異常
染色体の構造異常
※ヒトでは子孫の遺伝病の増加は証明されていません

■ 遺伝性影響のリスク(子と孫の世代まで)
= 約0.2%/グレイ(1グレイあたり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)



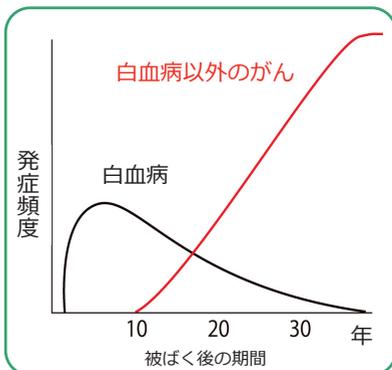
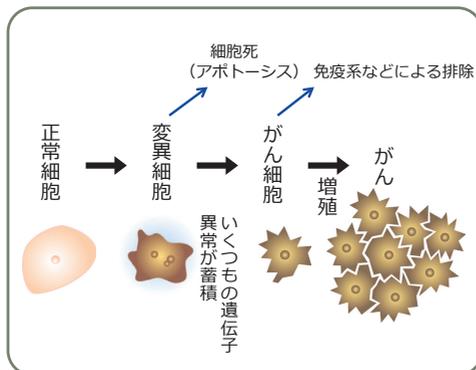
動物実験では親に高線量の放射線を照射すると、子孫に出生時障害や染色体異常などが起こることがあります。しかし人間では、両親の放射線被ばくが子孫の遺伝病を増加させるという直接の証拠はありません。国際放射線防護委員会(ICRP)では、1グレイ当たりの遺伝性影響のリスクは0.2%と見積もっています。これはがんの死亡リスクの20分の1にも満たない値です。

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さまざま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わかってきたため、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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

がん・白血病 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

放射線ばかりではなく、さまざまな化学物質や紫外線などにも 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、たいていの傷はすぐに元通りに修復され、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。

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。

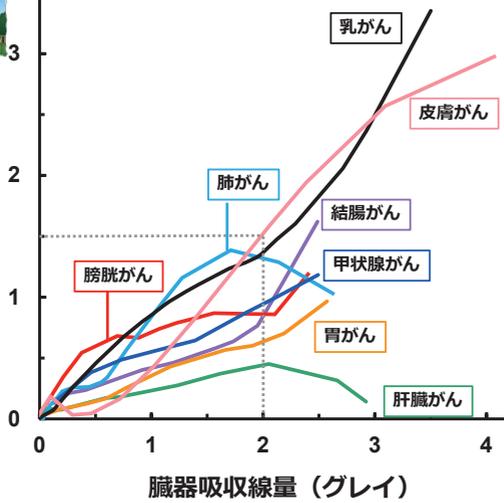
その中でたまたま生き残った細胞に遺伝子の変異が蓄積し、がん細胞となることがありますが、それには長い時間がかかります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



がん発生
の過剰
相対リ
スク



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る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グレイの場合には、皮膚がんの過剰相対リスクが1.5となっていますので、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、結腸などは、放射線によってがんが出やすい組織・臓器であることがわかりました。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なども考慮し、組織加重係数を決めています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015年3月31日

子ども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

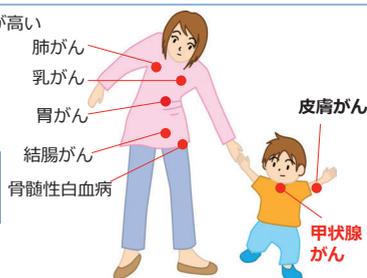
※1：代謝や体格の違いから、子どもは預託実効線量係数が高い

※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

子ども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



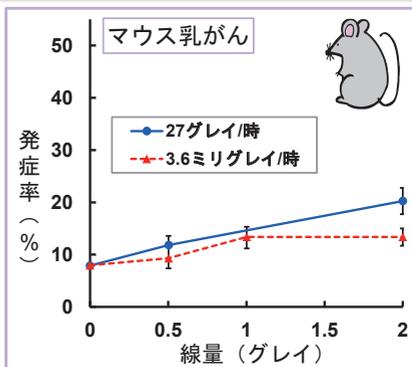
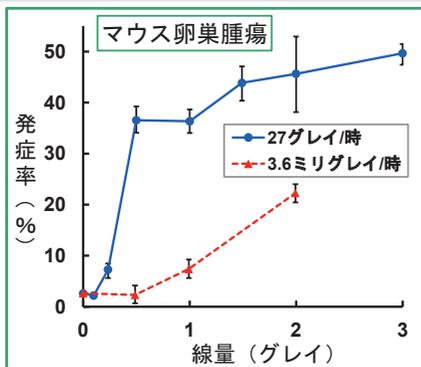
大人の場合、骨髄、結腸、乳腺、肺、胃という臓器は、放射線被ばくによってがんが発症しやすい臓器ですが、子どもの場合は、甲状腺や皮膚も放射線被ばくによるがんリスクが高いことがわかってきました。

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、摂取放射線量（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、摂取放射線量（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。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

低線量率被ばくの発がんへの影響



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
 =
 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(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

原爆被爆者のデータは、大きな線量を一度に被ばくした場合の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、慢性的な低線量率での被ばくです。

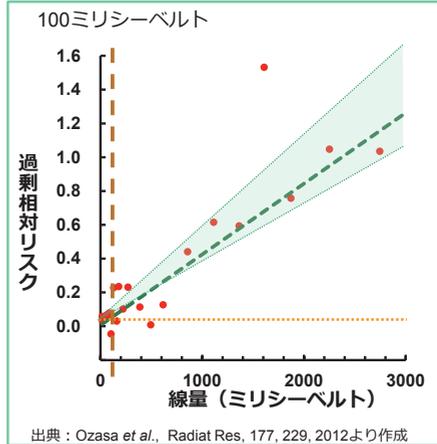
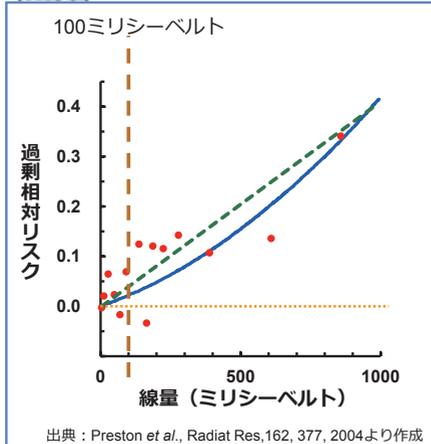
そこで、マウスを用いて、一度に大きな線量を受けた場合と、じわじわと少しずつ受けた場合とでは、放射線による発がん率にどのくらい違いがあるのかを調べる実験が行われました。その結果、がんの種類によって、結果に違いはあるものの、概してじわじわと被ばくする方が影響が小さいことがわかってきました。

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いいのかについては、研究者によってさまざま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：2013年3月31日
 改訂日：2015年3月31日



固形がんによる死亡（原爆被爆者データ）



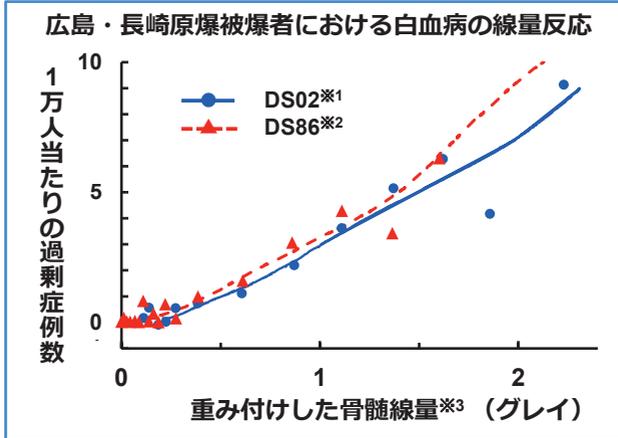
過剰相対リスク：放射線を受けなかった集団に比べ、放射線を受けた集団ではどのくらいがん発生のリスクが増加したかを調べたもの

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。固形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される必要があります。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



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

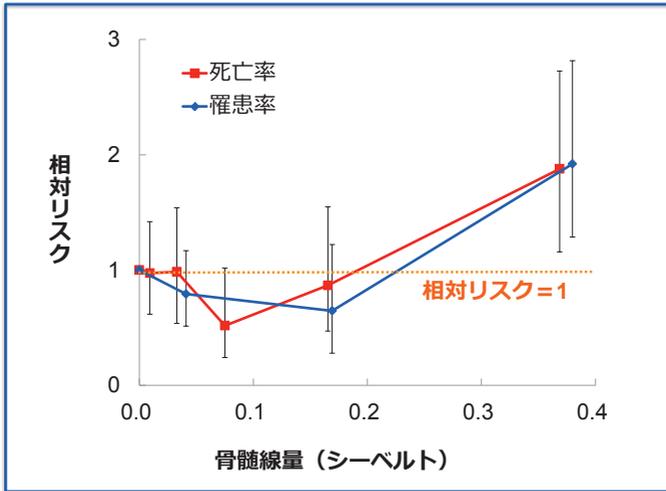
原爆被爆者における白血病の過剰症例数の結果から、白血病の線量反応関係は二次関数的であり、低線量では、単純な線形線量反応で予測されるよりもリスクは低くなっています。しかし、0.2～0.5 グレイの低い線量の範囲でも白血病リスクの上昇が認められています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



原爆被爆者における発がんのリスク（白血病）



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とした時、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：2013年3月31日
改訂日：2014年3月31日
：2015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とした時、被ばくした人の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えます。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。

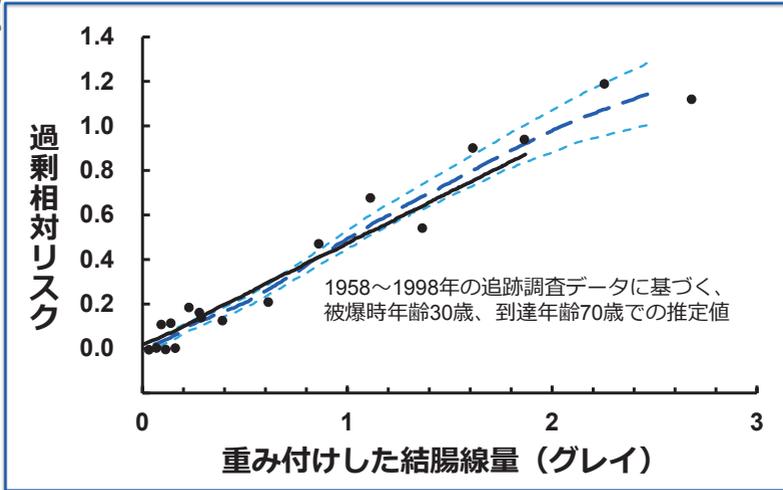
このように高線量域では、子どもが大人より放射線感受性が高いことが明らかですが、低線量域については、リスクの変化があったとしても小さすぎて疫学的に検出できないため、現在のところ、科学的知見はじゅうぶんではありません。そこで、放射線防護の観点からは、どの線量域でも、子どもは大人より3倍程度感受性が高いとみなすべきであると考えられています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015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1標準誤差上下を示しています。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015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にか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は発がんリスクは0.3%増加し、20.3%になると推定されています。

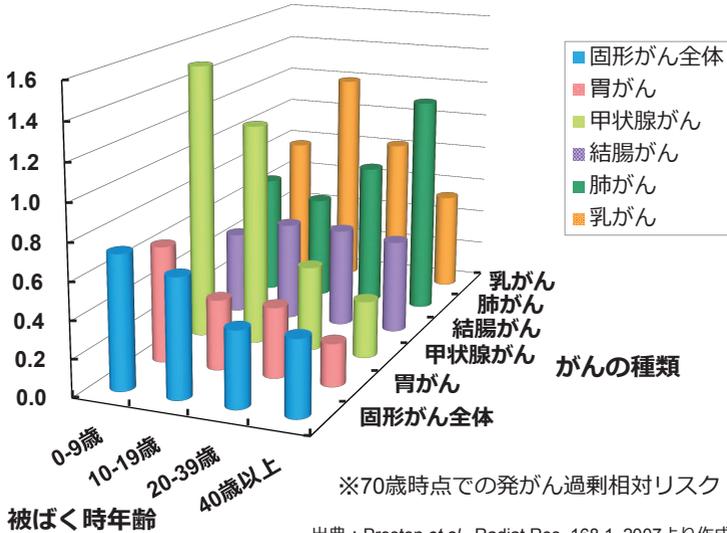
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



被ばく時年齢ごとの発がん過剰相対リスク

過剰相対リスク※
(1グレイあたり)



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

これは、原爆被爆者のデータを用いて、被ばくした時の年齢別、がんの種類別に、1グレイあ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歳になった時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。

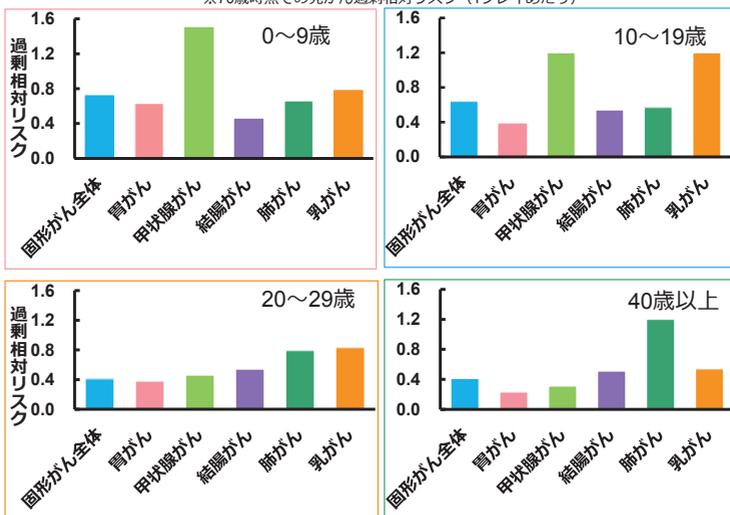
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日



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グレイあたり）



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

この図は、70歳になった時に、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わかります。

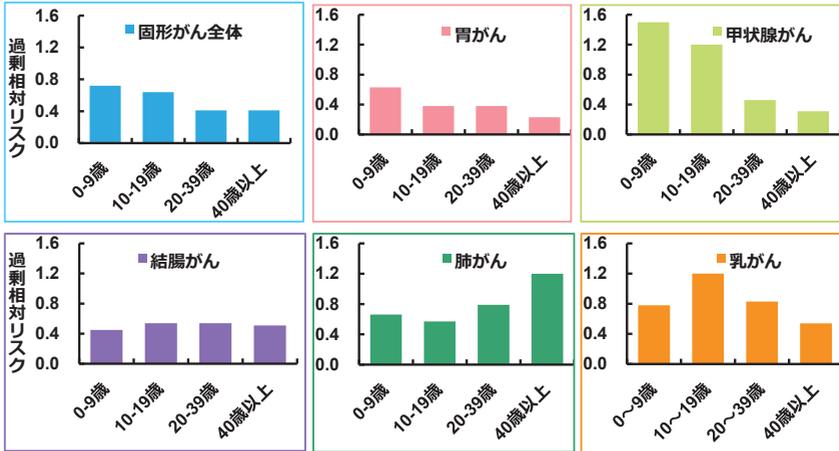
本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015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グレイあたり）



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

グラフは原爆被爆者のデータから、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。

リスク係数の値は、被ばく年齢やがんの種類によって変わってきます。

本資料への収録日：2013年3月31日

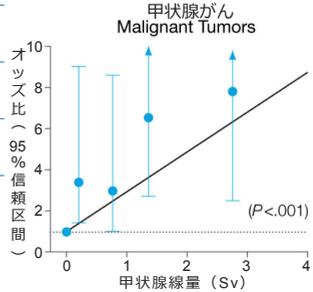
改訂日：2015年3月31日



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。

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

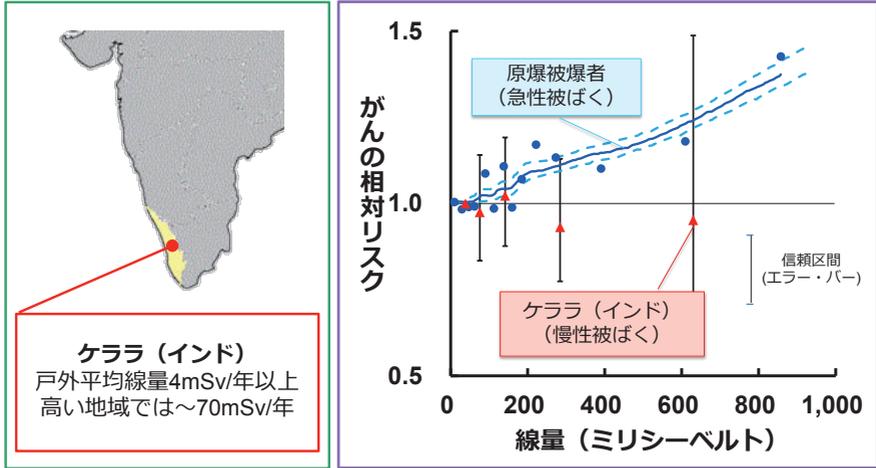
95%信頼区間が1を含んでいなければ、統計学的に有意であるといえます。

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も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、有意ではありませんが、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より大きい時、対象とする事象が起こりやすいことを示します)。

本資料への収録日 : 2013年3月31日

改訂日 : 2015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とした時、被ばくした人のがんリスクが何倍になるかを表した値）の増加がみられません。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示唆されます。

本資料への収録日：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

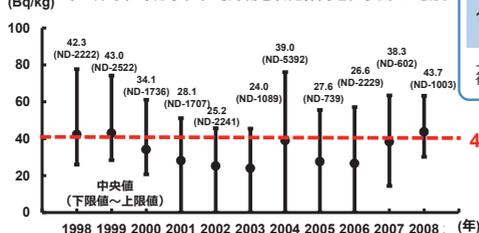
チェルノブイリ原発事故によるセシウム137の内部被ばく



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

(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



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、
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年におこったチェルノブイリ原発事故では、福島第一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行われていたため、牛乳の汚染などが起こりました。

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年から上昇傾向がみられています。セシウム137による被ばくは長期にわたって続くことがわかります。

本資料への収録日 : 2013年3月31日

改訂日 : 2015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 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などが主な原因です。

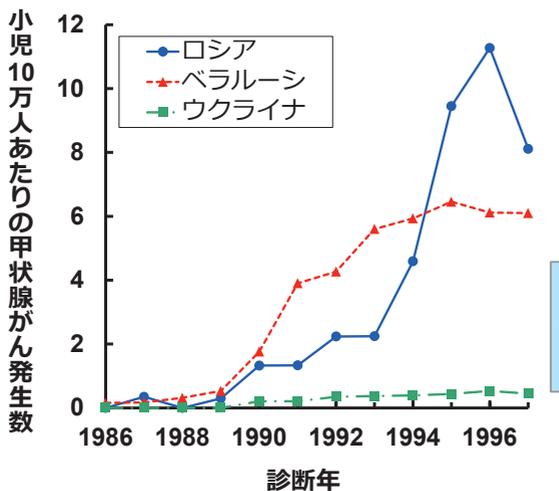
避難地域以外の旧ソビエト連邦に居住していた人々の平均甲状腺線量は約 20 ミリグレイ、汚染地域に住んでいる人々の線量は約 100 ミリグレイとなっており、その他欧州諸国に暮らす人々の線量 (約 1 ミリグレイ) よりもはるかに高い結果になりました。

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わかっています。

本資料への収録日 : 2013 年 3 月 31 日

改訂日 : 2015 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、肉を食べた子どもたちの中で、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（引用：D Williams, Oncogene (2009) 27, S9-S18）。

本資料への収録日：2013 年 3 月 31 日

改訂日：2015 年 3 月 31 日

原発事故由来の
内部被ばくによる発がん

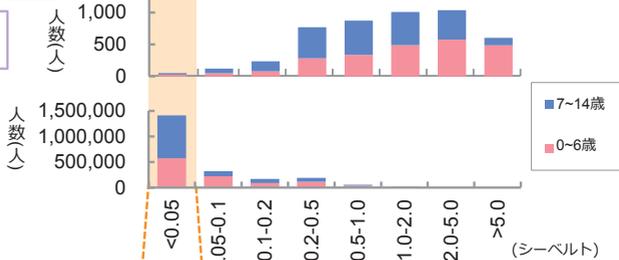
甲状腺線量の比較

小児の甲状腺被ばく線量

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

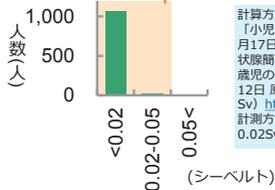
ベラルーシ全体
(避難者を除く)



出典：国連科学委員会（UNSCEAR）報告書2008年報告

福島第一原発事故

※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 計測方法及測定地の空間線量率から判断して検出限界は0.02Sv程度

福島第一原発事故により、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、おおよこ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。

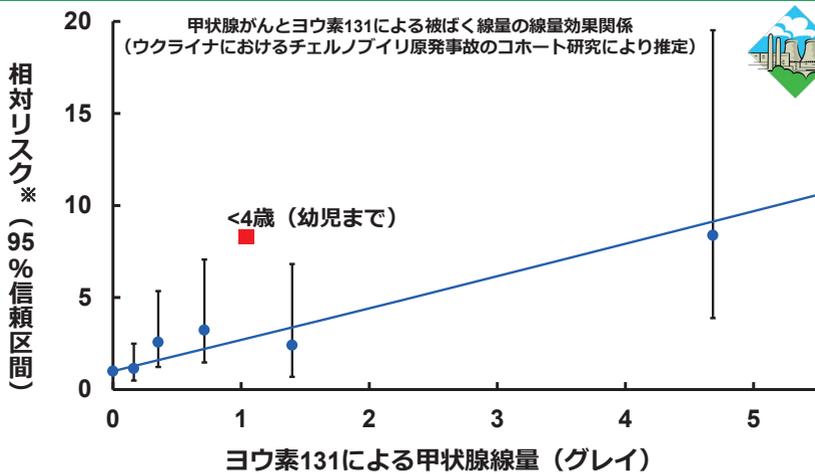
その結果、原子力安全委員会（当時）が設定したスクリーニングレベルを超える子どもはいないこと、検査を受けた子ども全員が50ミリシーベルト以下であることがわかりました。

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み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の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：2013年3月31日

改訂日：2014年3月31日

：2015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とした時、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どもたちの内部被ばく線量と甲状腺がんのリスクの関係については、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歳までの子どもたちの平均であり、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：2013年3月31日

改訂日：2015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とした時、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グレイあ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：2013年3月31日

改訂日：2015年3月31日