

第8章 放射線影響のまとめ

これまでにご紹介した放射線の影響についてまとめてみましょう。

放射線の正体

第1章と第2章では放射線とはどういうものかについてご紹介しました。

放射線の発見は、1895年にドイツの物理学者であったレントゲン博士が実験中に偶然発見したエックス線が最初です。その実験は、真空のガラス管の中にセットした電極で放電させるものでした。翌年、フランスの科学者であったベクレル博士がウラン化合物からエックス線に似た「放射線」が出ていることを発見しました。1898年にポーランド生まれのマリー・キュリー博士が夫のピエール・キュリー博士と協力してウランを含む鉱物から放射線を出す物質を分離することに成功し、放射線を出す性質のことを「放射能」と名付けました。

「放射能」の特徴として「半減期」があります。放射能を持つ元素を「放射性元素」といいます。放射性元素は不安定な原子核を有する原子の集まりで、放射性元素の1個1個の不安定な原子は余分なエネルギーをその原子核から放出してより安定な状態や別の元素になろうとします。放射性元素は、この余分なエネルギーを放射線として放出します（放射性壊変）。元の放射性元素の不安定な原子核を有する原子の数が半分になるまでの期間を「半減期」といいます。半減期が短い放射性元素は短期間にたくさんの不安定な原子（核）1個1個から放射線を出してより安定な原子（核）になり、最後は放射線を出さない原子になります。放射能は時間とともに減っていきます（減衰）が、その半減期は放射線を出す原子の種類によって異なり、何百万分の一秒というものや何億年というものまであります。放射性元素が1秒間に1回のペースで放射性壊変を起こすとき、その放射性物質の放射能は1ベクレル（Bq）であると言います。

放射線には紙1枚で止まるアルファ線（ α 線）、アルミや金属の薄い板で止まるベータ線（ β 線）、鉛の厚い板で止まるガンマ線（ γ 線）・エックス線（X線）、コンクリートや水タンクで止まる中性子線があります。

放射線は物質の中を通過するとき、持っているエネルギーをその物質に与えます。このエネルギーは物質を構成している原子から電子をはじき出します。これを「電離」といいます。原子が電離すると原子同士の結合が切れます。

この電離が生物の細胞で大量の放射線（高線量放射線）によって引き起こされると様々な障害が現れます。

人が放射線を受けることを「放射線被ばく」といいます。また、放射線の人体への影響には脱毛、下痢、貧血などの身体症状が認められる「確定的影響（組織

反応)」とがんや遺伝的影響などの「確率的影響」があります。放射線量を表す単位には、グレイ (Gy) とシーベルト (Sv) があります。グレイ (Gy) は放射線が空気や細胞などの物質を通過するとき物質が吸収するエネルギー (吸収線量) の量を表す単位として使われ、人体への放射線影響については「確定的影響 (組織反応)」の単位として使われます。この吸収線量 (Gy) は測定器を使って測ることができます。一方、シーベルト (Sv) は、組織・臓器によって異なる放射線に対する発がんの感受性を考慮して、吸収線量を補正して求めた量で、直接測定できる量ではありません。放射線防護のための放射線発がんリスクの指標となる目安に使われる量 (防護量) で、組織・臓器に対しては「等価線量」、全身に対しては「実効線量」として使われます。

いろいろな放射線からの被ばく

私たちは、日常的に放射線をいろいろなところから受けています。自然界には、大気圏外からやってくる宇宙線、大地からの放射線、体内にある自然放射性物質からの放射線、空気中の自然放射性物質 (ラドン) からの放射線があります。日本に住んでいる私たちは年間 2.1 ミリシーベルト (ミリシーベルトはシーベルトの 1,000 分の 1) の放射線を自然界から受けています。

一方で人工放射線源からの被ばくで多いのが医療放射線です。胃の X 線検査や CT スキャンなどの検査で放射線を受けます。日本の場合、診断のための放射線検査で受ける放射線の量は 1 人当たり年間平均 3.87 ミリシーベルトです。

放射線の人体への影響

自然放射線や人工放射線を受けることによって人体にどのような影響があるのでしょうか。第 3 章、第 6 章、第 7 章でご紹介した内容をまとめてみましょう。

まず、自然放射線と人工放射線の人体への影響は違うのでしょうか。

「第 1 章 放射線の正体」と「第 2 章 さまざまな被ばく」でまとめましたように、放射線は通過した物質にエネルギーを与えて物質の原子から電子をはじき出して原子同士の結合が切れます。これが細胞の中で大量に起きて修復機能が完全に働かないと、確定的影響 (組織反応) や確率的影響 (がん) などの放射線の影響が現れてくるわけです。このしくみは自然放射線でも人工放射線でも同じです。したがって、放射線の種類 (α 線、 β 線、 γ 線、X 線、中性子線) が同じであれば、人体への影響に違いはありません。

それでは、放射線によって細胞の中の原子同士の結合が切れると細胞はどうなるのでしょうか。

傷ついた DNA は修復される

私たち生物は、地球上に誕生して以来、絶えず自然界の放射線を受け続けています。しかし、放射線を受け続けながらも生物は進化しながら発展しています。もし、放射線によって細胞が死滅し続けたならば、地球上の生物は絶滅していたはずですが、それが、現在も地球上で多様な生物が生き続けられるのは、私たち生物は放射線や化学物質などによる細胞の傷を直す（修復する）働きを持っているからです^{参考1,2}。

生物の体は細胞の集まりでできています。細胞の核の中に生命の設計図といわれる DNA（デオキシリボ核酸）があります。DNA は糖でできた 2 本のヒモ状の鎖が、アデニン（A）、チミン（T）、グアニン（G）、シトシン（C）という 4 種類の化学分子（塩基）の結合によって梯子状につながれて、らせん状態になっています。これを「DNA の 2 重らせん」といいます。DNA には、生体組織を形作るタンパク質を構成するアミノ酸の種類を決める情報（遺伝子）と遺伝子の働きをコントロールする情報が 4 種類の塩基（A、T、G、C）の並び順によって書き込まれています^{参考3}。

放射線はこの「DNA の二重らせん」を直接、切断したり、細胞中にある水分（H₂O）を分解して活性酸素（過酸化水素やより反応性が高い酸素化合物）を作ったりして DNA を傷つけます。活性酸素は放射線が原因で作られるものだけではなく、体の代謝活動に伴って日常的に作られています。DNA の傷ついた部分は直ちに修復されて元の正常な DNA に戻ります。しかし、傷ついた DNA が多くて修復が間に合わない場合は、その細胞自体を死滅させて、傷ついた DNA を取り除いて正常な状態が保たれます^{参考1}。

このような修復のしくみにより、私たちの体は薬物などの化学物質や放射線などによる日常的なダメージから守られています。

大量の放射線（高線量放射線）によって細胞の中の原子同士の結合が大量に切れると、細胞はどうなるのでしょうか。また、少量の放射線（低線量放射線）ではどうでしょうか。

高い線量の放射線による影響

人が放射線を受ける放射線被ばくには、大量の放射線を受ける高線量被ばくと少ない放射線を受ける低線量被ばくがあります。それでは高線量被ばくと低線量被ばくでは人体への影響はどのように違うのでしょうか。

高線量被ばくは、原爆被爆や原子力施設の事故などのほか、がんの放射線治療でも受けることがあります。

高線量の放射線を人体が受けると、放射線に晒されたところの細胞のほとんどすべてが放射線を受けて DNA が傷つきます。本来、傷ついた DNA は修復されますが、大量の放射線を受けると細胞自体が死滅してしまいます。大量の細胞が死滅するとそれらの細胞が働いていた組織や臓器のはたらきが停止したり、変化したりして、放射線を受けた体の部位や放射線の量によって白内障や不妊などの身体的な影響が現れます。放射線の量によっては死に至ることがあります。

また、受けた放射線によって DNA の配列が変わるなどの突然変異が生じて、将来、がんになる可能性があります。

低い線量の放射線による影響

一方、低線量の放射線を人体が受けると、放射線に晒されたところの細胞には、放射線を受けたものと受けないものが混在します。放射線を受けない細胞はほぼ正常です。放射線を受けた細胞の DNA は傷つきますが、数が少なければ修復されたり、一部の細胞が死滅したりして身体的な影響は現れません。しかし、受けた放射線によって DNA の配列が変わるなどの突然変異が生じて、将来、がんになる可能性は残ります。

低い線量の放射線を受けることでがんになる可能性はゼロとはいえませんが、国際的に高い評価を受けている日本の原爆被爆者の調査は、がんに罹る確率が明らかに高くなるのは受けた線量が約 100 ミリグレイ以上で、100 ミリグレイより低い線量では、がんに罹る確率が低く、統計的に見分けることができないと報告しています^{参考4,5}。

日本の場合、自然放射線を年間に約 2.1 ミリグレイ受けていますので、単純に計算して、この 100 ミリグレイは約 50 年間分の自然放射線をほぼ一度に受けた場合に相当します。

人を対象とした放射線影響は疫学的方法により調査・研究が行われます。疫学的方法というのは、人の集団を対象にがんによる死亡やがんの発症（罹患）など、健康に関する事象の起こる割合や年齢、性、地域別などの分布およびそれらに影響を与える要因を、統計学による解析を使って明らかにする調査・研究方法です^{参考6}。

放射線影響の疫学調査では、原爆被爆者や原子力施設で働く作業員などの集団を決めて、その集団に入っている人たちを対象にその後の放射線の被ばく線量や生存の確認、死因、がん罹患などについて長期に亘って調査が続けられます。調査期間中に得られたデータを統計学的に解析し、放射線の被ばく線量とがんによる死亡やがん罹患との関係及びそれらに影響を与える喫煙などの要因を明

らかにしようとしします。放射線の疫学調査は、世界中で行われています。主な疫学調査を表8-1に示します。

表8-1. 放射線の健康影響に関する代表的な疫学調査

調査対象国、疫学調査名	調査概要
原爆被爆者の疫学調査	
日本 広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査	広島・長崎の原爆被爆者の約12万人を対象に寿命調査として1950年から生死、死因、がん罹患などについて追跡調査が行われている。また、母胎内で被爆した人々や被ばくした親から生まれた子どもを対象とした調査が行われている ^{参考7} 。
原子力施設作業者を対象とした疫学調査	
米国、英国、仏国 INWORKS	米国、英国、仏国の原子力施設で働く作業員約31万人を対象に1944年以降の生死と死因について調査が行われている。2015年に公表された分析結果では作業員の累積平均外部被ばく線量は約21ミリグレイ。これまでに白血病、がんおよびがん以外の疾病と放射線との関係について発表されている ^{参考8} 。
英国 NRRW	英国の軍事関連施設や原子力発電所で働く作業員約17万人を対象に1976年に開始された調査 ^{参考8, 9} で、放射線量とがん罹患・死亡との関係を調べている ^{参考10} 。
ロシア マヤック	旧ソ連の核兵器製造施設、原子炉、化学工場、再処理施設などが集まった「マヤック」において1948年以降に雇用された従業員約2.5万人を対象に放射線被ばく線量とがんやがん以外の疾病のリスクとの関係が調べられている ^{参考11} 。作業員は外部被ばくに加え、プルトニウムを体に取り込んだ場合の内部被ばくをかなり受けていた。2008年に導入された線量推定方式によると、平均外部被ばく線量は354ミリグレイ、肝臓の平均内部被ばく線量は266ミリグレイ ^{参考12} 。
日本 J-EPISODE	日本国内の原子力施設で働く作業員約20万人を対象に1990年から放射線被ばく線量、生死、死因の追跡調査を行い、放射線量とがん死亡との関係などを調べてきた。2020年からはがん罹患情報を追加して生活習慣情報が得られている約8万人について疫学調査が行われている ^{参考13} 。
高自然放射線地域での疫学調査	
中国 広東省陽江（ヤンジャン）の疫学調査	土壌中のウランやトリウムなどの自然放射性物質からの放射線量が高い地域で生活している住民を対象に1972年にがん死亡、染色体異常、遺伝的影響などの調査が開始された。その後、調査対象が約12万人に拡大され、1979年からのがんおよびがん以外の疾病の死亡が追跡調査され、放射線量との関係が調べられている。2012年の報告によると、高自然放射線地域住民の外部被ばくの平均累積線量は84.8ミリグレイ ^{参考14} 。
インド ケララの疫学調査	土壌中のウランやトリウムなどの自然放射性物質からの放射線量が高い海岸地域で生活している住民約36万人を対象に1990年から放射線とがん罹患、およびがん以外の疾患の死亡との関係が調べられている ^{参考15} 。大地ガンマ線からの外部被ばくの平均累積線量は161ミリグレイ。

放射線被ばくによる次世代（子や孫）への影響

生殖腺の被ばくにより、配偶子（卵子、精子）細胞で突然変異を起こした遺伝子や異常な染色体（DNAの集まり）が子や孫に伝えられることによって、遺伝による病気や体の先天異常が起こります。

遺伝による病気（遺伝病）には遺伝子の突然変異によるもの、染色体の異常によるもの、そして遺伝子と外部からの作用による外因性のものがからみあった多因子性疾患があります。外因性のものには先天性風疹症候群などの胎内感染、サリドマイドやアルコールなどの薬物・化学物質の摂取、放射線による胎内被ばくなどがあります^{参考16}。

人が放射線を受けると遺伝子（DNA）にどのような影響が出るのでしょうか。

DNAは、放射線や化学物質などの環境中のさまざまな要因や体の代謝でできる活性酸素などで絶えず傷つけられています。このDNAの傷が遺伝子の突然変異を引き起こす原因となっています。突然変異はDNAの複製エラーでも起こります。人を含むすべての生物には、このDNAの傷や複製エラーを修復する様々な機能が備わっています^{参考17}。

放射線はDNAの二重らせんの二本鎖を切断することもあります。ヒトの細胞にはこの切断された二本鎖を修復する主な機能が2つあります。1つは正常に複製されたDNAを利用して切断された部分のDNA合成を行う方法で、もう1つは切断された先端部分を直接つなぎ合わせる方法です^{参考2}。

親の世代が受けた放射線が原因で、その人の子どもに遺伝的障害が起きるのかについて、広島・長崎の原爆被爆者の子どもを対象に行われた大規模な調査があります。原爆被爆者から生まれた子どもについて、流産、死産、先天異常、がん、染色体異常、小児死亡、血清タンパクの異常などの有無、あるとすればどのくらいの率で起きるかを調べたのです。その結果、調べられた限りでは原爆被爆者の子どもに放射線の影響と思われるものはみられませんでした。

放射線被ばくによる出産と胎児への影響

胎児期には多くの遺伝子が適切な時期に正しく働くことで体が形成されていきますが、この過程で何らかのひずみが生じると、先天異常やがんが発生する可能性が出てきます。

新生児における先天異常の頻度は約6%といわれています^{参考18}。このひずみを与えるものとして、染色体や遺伝子の異常による遺伝的異常、外部からの作用による外因性のものがあります。外因性のものは、先天性風疹症候群などの胎内感染、サリドマイドやアルコールなどの薬物・化学物質の摂取、放射線による胎内

被ばくなどです^{参考16}。先天異常の誘発についてICRPの2007年勧告(刊行物103)では動物研究のデータに基づくとおよそ100ミリグレイというしきい線量があると判断され、実質的には先天異常のリスクは無視できるだろうと述べています^{参考19}。

広島・長崎の原爆により母親の胎内で被爆した子どもの調査では、最も感受性が高い胎児期(受胎後8~15週齢)における放射線被ばく後の重度精神遅滞の例が認められていますが、これについてICRPの2007年勧告では原爆被爆者調査のデータから最低300ミリグレイにしきい線量があり、低線量での重度精神遅滞のリスクはないことが明確に支持されると述べています^{参考19,20}。

それでは、胎児期に放射線を受けると、生まれた子どもが将来がんになる恐れがあるのでしょうか。1970年代後半に行われたマウスを使った実験では、妊娠後期に約1,700ミリグレイの放射線を受けると生まれた仔が肺がんなどにかかる危険が高まることが認められました^{参考21}。では人の場合はどうでしょうか。広島・長崎の原爆により母親の胎内で被爆した子どもの調査では、白血病を含む悪性腫瘍(がん)の小児期におけるリスクは検出されていませんが、成人してからのリスクは検出されています。しかしながら、子宮内で被爆した後の生涯がんリスクは、小児期の早い時期に被爆した後のリスクと同等で、子供から大人までの全人口でのがんにかかるリスクと比べ、慎重を期して大きめに見積もっても最大で3倍程度と推測されています^{参考19,20}。ICRP刊行物84の「妊娠と医療放射線」では、「胎児の被ばくがおよそ100ミリグレイ以下の線量の場合、放射線被ばくが妊娠を中止する理由にはならない。」としています^{参考22}。

影響のしきい値と被ばくへの対策

高い線量の放射線を受ける場合は、ある線量(しきい値)以上の放射線を受けると皮膚炎、脱毛、下痢、貧血、出血、白内障や不妊などの身体的な影響(確定的影響)が現れます。例えば、白内障のしきい値は0.5グレイ、永久不妊のしきい値は3~6グレイと言われていきます^{参考23,24}。

しかし、低い線量の放射線を受ける場合は、直ちに身体的な影響は現れず、将来(十数年後以降)がんになるリスクがあります。これを確率的影響といいます。低い線量でのがんになる可能性については、日本の原爆被爆者の調査によれば、がんになる確率(リスク)が明らかに高くなるのは100ミリグレイ以上の放射線を受けたときですが、100ミリグレイより低い線量では、がんになる確率(リスク)が低く、統計的に見分けることができないということです^{参考4,5}。

ここまでの、放射線の影響として科学的な調査や研究で分かっていることです。

それでは、科学的な調査で明らかになっていない 100 ミリグレイ以下の線量の放射線影響をどう考えたらいいのでしょうか。

◎国際放射線防護委員会の考え方

この低い放射線を受けた時の影響について、国際的な放射線防護の基準を検討している国際放射線防護委員会（ICRP）は、「低い線量の影響にはしきい値はなく、受けた放射線の線量に比例する（しきい値なし直線モデル：LNT）」という仮定を前提に放射線防護の基準を出しています。

最新の基準についてまとめた 2007 年勧告の中で、ICRP は、LNT モデルについて、次のような説明をしています。

「ICRP では、低い線量の放射線に関連するがんリスクについてそれより低い線量では放射線関連のがんリスクが無いしきい線量が存在するかもしれない可能性は無視されてきた。ICRP が仮定している『しきい値なし直線モデル：LNT モデル』は、生物学的な真実としては世界的に受け入れられているものではないが、ごく低い線量の被ばくにどの程度のリスクがあるのかが分からないため、被ばくによる不必要なリスクを避けることを目的とした公共政策のための慎重な判断である」^{参考 25}

つまり、100 ミリグレイ以下の放射線の影響については人を対象とした科学的な調査（原爆被爆者調査など）からは明らかになっていないため、ICRP は、放射線などによって傷ついた DNA の修復機能や細胞死（アポトーシス）などの生物学的ながん抑制効果の機構が働くことは実験的に明らかであるものの、低線量でも放射線の影響があると仮定して、放射線防護基準を出しているということです。

◎100 ミリグレイ以下の放射線リスクは推定値

100 ミリシーベルト以下の低線量放射線のリスクは、「しきい値なし直線モデル：LNT」を前提に推定されたものであるので、科学的な調査・研究から明らかにされている 100 ミリグレイ以上の低線量放射線のリスクと混同しないように注意する必要があります。放射線による人への健康影響に関する研究について、表 8-2 にまとめました。また、放射線の被ばくや影響を調べる国際機関を表 8-3 にまとめました。

表 8-2. 放射線による人への健康影響に関する研究

細胞、動物を対象とした研究		人を対象とした研究
<p>放射線動物実験</p> <p>マウスなどの実験動物に直接放射線を照射して、放射線の影響を調べる研究。</p> <p>従来は照射した放射線の線量などに対する生存率、染色体異常や突然変異の発生率などが研究項目だったが、分子生物学の発展に伴って、遺伝子改変マウスが作成できるようになり、放射線によって傷ついた細胞がマウス体内で変化していくしくみを解明する研究ができるようになった。</p> <p>動物実験の結果は、直接、人に適用することはできないので、疫学データを解釈するための基礎資料として使われる。</p>	<p>放射線遺伝学研究 (分子生物学、分子遺伝学)</p> <p>放射線による遺伝的影響を調べる研究。</p> <p>照射した放射線の線量などに対する生存率、染色体異常や突然変異の発生率などが研究項目だったが、分子生物学の発展に伴って、DNA が研究の対象となり、放射線によってできる DNA の傷の修復や突然変異の発生メカニズムの研究が行われるようになった。</p>	<p>放射線疫学研究</p> <p>人の集団を対象に放射線の健康影響を調べる研究。</p> <p>放射線を受けた人の集団を定めて、放射線被ばく線量、生死、死因、がん罹患等について観察したデータに基づき、がんによる死亡やがん罹患などについて放射線量との関係を統計的な手法を用いて解析する。</p> <p>主な疫学調査を表 8-1 に示す。</p>

表 8-3. 放射線の被ばくや影響を調べる国際機関

国際機関名	活動内容
<p>国際放射線防護委員会 ICRP ; International Commission on Radiological Protection</p>	<p>ICRP は、イギリスに登録されている非営利組織です。放射線防護を科学的に発展させるために、放射線に関する各国の上級科学者が個人の資格で参加・活動して、あらゆる分野の放射線防護についての勧告（基本原則）やガイダンスを公表しています。</p> <p>ICRP の勧告は、ほとんどの国の法律、国際原子力機関（IAEA ; International Atomic Energy Agency）の「放射線防護のための国際基本安全基準（BSS ; Basic Safety Standards）」や国際労働機関（ILO ; International Labour Organization）の「放射線からの保護に関する条約」にも参照されています^{参考 26}。</p> <p>ICRP は、1928 年に「国際 X 線・ラジウム防護委員会」（IXRPC ; International X-ray and Radium Protection Committee）として設立されました。その後、1950 年に ICRP と改称されて、医療分野以外での放射線利用も考慮することになりました^{参考 27}。コラム④参照。</p>
<p>原子放射線の影響に関する国連科学委員会 UNSCEAR ; United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation</p>	<p>UNSCEAR は 1955 年に設立され、国連加盟国からの上級科学者により放射線への被ばくの実態やその影響について総合的な評価を行っています。UNSCEAR は発足時から医療被ばくが人工放射線被ばくの主流であると認識して医療被ばくの状況について国際的な調査や評価を計画的に行ってきています。また、公衆や職業被ばくについても同様な調査や評価が行われています。</p> <p>調査や評価結果は UNSCEAR 報告書として、随時、公表されます。</p> <p>UNSCEAR の調査や評価は、国際原子力機関（IAEA）、国際労働機関（ILO）、世界保健機関（WHO ; World Health Organization）、国際放射線防護委員会（ICRP）などの国際機関の活動に役立っています^{参考 28}。</p>

表 8-3. 続き

国際機関名	活動内容
<p>米国放射線防護審議会 NCRP ; National Council on Radiation Protection and Measurements</p>	<p>NCRP は、ICRP の前身である IXRPC の諮問委員会として 1929 年に設立されて活動をはじめました。その後、活動を拡大し、1964 年に組織を再編して、現在の米国放射線防護審議会 (NCRP) が設立されました。NCRP は民間組織として放射線防護や放射線測定に関するデータの収集、解析、解明を行い、公衆に役立つ情報や勧告を発信しています^{参考 29}。</p>
<p>米国科学アカデミー研究審議会「電離放射線の生物影響に関する委員会」 BEIR ; Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, National Academy of Science (NAS) – National Research Council (NRC)</p>	<p>BEIR は、米国の環境保護庁 (Environmental Protection Agency : EPA)^{参考 32} が依頼した検討課題 (放射線被ばくのリスク評価と被ばく低減に関する連邦指針の立案) に対する米国科学アカデミー – 研究審議会 (NAS-NRC) の専門委員会です。検討報告は専門委員会名「電離放射線の生物影響に関する委員会 (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation : BEIR)」の頭文字から BEIR レポートと呼ばれ、これまで 8 報告あります^{参考 30,31}。</p>
<p>国際がん研究機関 IARC ; International Agency for Research on Cancer</p>	<p>IARC は世界保健機関 (WHO ; World Health Organization) の専門機関で、各国の研究機関と協力して発がんのメカニズムやがん予防のための研究を行っています^{参考 33}。 低線量放射線の影響研究については、「環境と放射線」部門で次のような項目の調査・研究が行われています。 公衆の放射線関連がん、発がんの生物学的メカニズム、医療検査による放射線被ばくや原子力施設で働く作業員の職業被ばく、チェルノブイリ事故や旧ソ連の原爆実験の汚染による公衆被ばく など^{参考 34}</p>
<p>公益財団法人 放射線影響研究所 日米共同研究機関 RERF ; Radiation Effects Research Foundation</p>	<p>放影研は広島・長崎の原爆被爆者に対する放射線の影響を調査しています。放影研は 1975 年 4 月に設立され、前身の原爆障害調査委員会 (ABCC ; Atomic Bomb Casualty Commission) が 1947 年に米国学士院 (NAS) により設立されて以来、被爆者、胎内被爆者、被爆者の子からなる調査対象集団の追跡調査を行って、いろいろな疾病に対する原爆放射線のリスクを評価しています^{参考 35, 36}。</p>

参考資料（第8章）

- 参考 1. 第2回放射線によるDNA損傷と細胞応答（Isotope News 2013年11月号 No.715）
- 参考 2. ヒト細胞におけるDNA二本鎖切断の修復（Isotope News 2014年5月号 No.721）
- 参考 3. 「がん」はなぜできるのか（ブルーバックス 国立がん研究センター編 P.66, P.75）
- 参考 4. Studies of Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 13: Solid Cancer and Noncancer Disease Mortality: 1950-1997; Radiation Research 178, AV146-av172 (2012)
- 参考 5. 国際放射線防護委員会、「国際放射線防護委員会の2007年勧告」、ICRP Publication 103
- 参考 6. はじめて学ぶやさしい疫学－疫学への招待－ 日本疫学会 監修 p.1
- 参考 7. 京府医大誌 120(12), 903～911, 2011 広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査 (<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-12/ozasa12.pdf>)
- 参考 8. 各国の放射線疫学コホート研究における手法の相違点 Jpn. J. Health Phys., 52 (4),265～274 (2017)
(https://www.jstage.jst.go.jp/article/jhps/52/4/52_265/pdf/-char/ja)
- 参考 9. Mortality and cancer incidence following occupational radiation exposure: third analysis of the National Registry for Radiation Workers British Journal of Cancer volume 100, pages206–212(2009) Table 1 (<https://www.nature.com/articles/6604825>)
- 参考 10. Cancer mortality and incidence following external occupational radiation exposure: an update of the 3rd analysis of the UK national registry for radiation workers Br J Cancer. 2018 Aug 28; 119(5): 631–637. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6162263/>)
- 参考 11. Radiation Effects on Mortality from Solid Cancers Other than Lung, Liver, and Bone Cancer in the Mayak Worker Cohort: 1948–2008. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4342229/>)
- 参考 12. Radiation Effects on Mortality from Solid Cancers Other than Lung, Liver, and Bone Cancer in the Mayak Worker Cohort: 1948–2008 Table 1. (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4342229/>)
- 参考 13. 低線量放射線による人体への影響に関する疫学的調査（第VI期調査

- 平成 27 年度～令和 1 年度)、(<http://www.rea.or.jp/ire/pdf/report6.pdf>)
- 参考 14. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2017 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes (Annex B), Table 18. Summarized characteristics of the Yangjiang cohort study. (http://www.unscear.org/docs/publications/2017/UNSCEAR_2017_Annex-B.pdf)
- 参考 15. SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION, UNSCEAR 2017 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes (Annex B), Table 16. Summarized characteristics of the Karunagappally cancer incidence study. (http://www.unscear.org/docs/publications/2017/UNSCEAR_2017_Annex-B.pdf)
- 参考 16. 医学大辞典第 19 版 先天異常、南山堂
- 参考 17. 生物学辞典第 4 版 DNA 修復、岩波書店
- 参考 18. UNSCEAR Report 2001 Table 9 (新生児 1 万人当たり 600 人)、医学大辞典第 19 版 先天異常 (新生児における先天異常の頻度は 5～6%とされる)
- 参考 19. 国際放射線防護委員会、「国際放射線防護委員会の 2007 年勧告」、ICRP Publication 103 (3.4 章、A.3.2 章)
- 参考 20. 原爆放射線の人体影響 第 2 版 放射線被曝者医療国際協力推進協議会編 (文光堂) p.292-298, p.310
- 参考 21. Sasaki S, Kasuga T, Sato F, Kawashima N, . Late effects of fetal mice x-irradiated at middle or late intrauterine stage. Gan. 1978 Apr;69(2):167-177
- 参考 22. ICRP Publication 84 「妊娠と医療放射線」
- 参考 23. 国際放射線防護委員会、「国際放射線防護委員会の 2007 年勧告」、ICRP Publication 103 (表 A.3.4)
- 参考 24. 国際放射線防護委員会、「組織反応に関する ICRP 声明 正常な組織・臓器における放射線の早期影響と晩発影響 –放射線防護の視点から見た組織反応のしきい線量–」、ICRP Publication 118
- 参考 25. 国際放射線防護委員会、「国際放射線防護委員会の 2007 年勧告」、ICRP Publication 103 (A178 項)
- 参考 26. ICRP Governance (<http://www.icrp.org/page.asp?id=3>)
- 参考 27. ICRP History (<http://www.icrp.org/page.asp?id=9>)
- 参考 28. UNSCEAR Historical milestones (http://www.unscear.org/unscear/en/about_us/history.html)
- 参考 29. NCRP Mission (<https://ncrponline.org/about/mission/#top>)

- 参考 30. BEIR Mission (<http://www.nasonline.org/about-nas/history/archives/collections/cbear-1954-1964.html>)
- 参考 31. BEIR History
(https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_13-01-03-19.html)
- 参考 32. EPA, Radiation Protection (<https://www.epa.gov/radiation>)
- 参考 33. IARC's Mission (<https://www.iarc.fr/about-iarc-mission/>)
- 参考 34. Section of Environment and Radiation, IARC
(<https://www.iarc.fr/research-sections-env/>)
- 参考 35. 放影研 HP 「放影研について-設立の目的と沿革」
(<https://www.rerf.or.jp/about/establish/>)
- 参考 36. 京府医大誌 120(12), 903~911, 2011 広島・長崎における原爆被爆者の疫学調査
(<http://www.f.kpu-m.ac.jp/k/jkpum/pdf/120/120-12/ozasa12.pdf>)