

子どもと私たちの生活における 放射線被ばくの健康リスクを考える

放射線医学総合研究所 低線量生体影響研究プロジェクト

島田 義也・西村 まゆみ・柿沼 志津子
今岡 達彦・大町 康

はじめに

私たちの生活環境は、健康をおびやかす種々の因子があふれています。タバコはもちろんのこと、食品中にもわずかながら農薬、水銀やカドミウムなどの人工化学物質や重金属が含まれています。最近では、感染症である BSE や鳥インフルエンザなどプリオンやウイルスも話題になっているのはご存知のとおりです。

がんに関するものでいいますと、タバコと食生活が2大原因です(図1)。タバコには1000種以上の化学物質が含まれ、そのなかのニトロソアミンやベンツピレンは強力な肺がんの原因物質です。食品のなかにも、肉のこげ成分のヘテロサイクリックアミン、フライドポテトに含ま

れるアクリルアミド、魚肉中のアミン類と野菜や食品添加物の亜硝酸ナトリウムの摂取により生成されるニトロソアミン、ピーナッツやピスタチオのカビ成分であるアフラトキシン、飲料水中のヒ素など多種多様な発がん物質が存在し、それらは乳がんや大腸がん、肝がんの原因となっています。

また、肝炎ウイルス、パピローマウイルス、エイズウイルスなどウイルスもヒトの発がんの原因となっています。自動車のガソリンから発生するベンゼンも白血病の原因です。

このような多くの物質のヒトへの発がん性は、WHOの研究機関である国際がん研究センター(IARC)で評価され、データベースとしてまとめられています。2004年までに、900種類の物質について調べられ、ヒトへの発がん性があると判断された物質(グループ1)が95種類、おそらくある物質(グループ2A)が66種類、ある可能性がある物質(グループ2B)が241種類報告されています。

放射線の人体影響 確定的影響と確率的影響

放射線は、ヒトに発がん性のある因子としてグループ1に分類されています。わが国は、唯一の被爆国であり、われわれ日本人は放射線に対してアレルギーがあります。高い線量の放射線は、ヒトの健康に対し悪い影響があることを

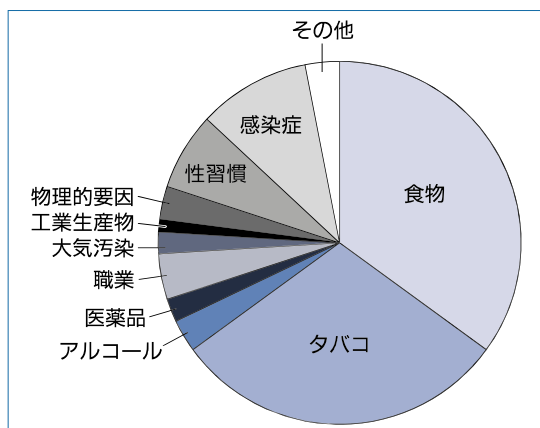


図1 ヒトがんに関与する諸因子の寄与

表 1 放射線障害のしきい値線量

障 害	障害の出る時間	しきい値線量 (mGy)
造血機能の低下 生殖機能の低下 一時不妊(男性) 永久不妊(男性) 永久不妊(女性)	3～7 日 3～9 週 3 週 1 週	500 150 350～600 250～600
皮膚 脱毛 紅斑 白内障	3 週 1～4 週 数年	300～700 300～600 300
胎児 胎児死亡(着床前期) 奇形(2～8 週) 精神遅滞(8～15 週)		100 100 120

知っています。一方で放射線は、医療においてレントゲン写真や CT などの診断、がんの放射線治療など、病気の診断や治療に役立っていることもよく知られています。余談ですが、実は意外にも、工業、環境保全、農学分野での利用も多く、タイヤ、プラスチック、フィルム、LSI などの半導体、バイオ分野の滅菌などの製造にも放射線が広く利用されています。身近では、空港における荷物検査や、ジャガイモは発芽をとめるために照射され、貯蔵期間を確保して年中供給できるように市場調整されています。ですから、身の回りでは放射線は広く利用されているので、放射線のリスクについて正しく理解することが大切です。

医療被ばくについては、医療の発達に伴い日本人の年間線量が外国に比べ多く、医療被ばくによる発がんリスクが日本人は高いのではないか、という論文が 2004 年の Lancet 誌に掲載され、マスコミで話題になりました。放射線の被ばくによる人体の影響は、発がんにとどまりません。詳しくは、『助産雑誌』2004 年 11 月号に特集されていますので省略しますが、高線量被ばくしますと、その線量に応じて、比較的早い時期(数日から数か月)に造血系や胃腸などの消化器系が障害を受け、その結果、貧血、出血、げりなどの症状が出ます。

そのほかに脱毛や皮膚の紅斑などの皮膚障害や、1～3 年以上たって白内障などが発症することもあります。精巣や卵巣が被ばくすると、一時的もしくは高線量ですと永久不妊になることもあります。これらの放射線障害は、それ以下の線量の被ばくでは、症状が出ない「閾値」があることがわかっています(表 1)。診断などで被爆する線量は、この値よりずっと小さいので、このような障害が出てくることは、まずないと言ってよいと思います。

障害が出やすい臓器の特徴は、組織をつくる大本の細胞である「幹細胞」の分裂によって、日々新しい細胞が供給されている臓器であるという点です。この幹細胞は一般に分化した細胞に比べ放射線感受性が高く、被ばくによって死ぬと新しい細胞が供給されなくなるため、たとえば、血液ですと赤血球や血小板が作られなくなって貧血や出血、消化管では、腸上皮が薄くなって下痢などの症状が出るのです。

1906 年、フランスのベルゴニエとトリボンドーは、細胞分裂頻度が高いこと、将来の分裂回数が大きいこと、未分化であることが、組織の放射線感受性と相関していることを報告しています。「幹細胞」は、まさしくこれらの性格を持っています。ちなみに「がん細胞」もこのような性格を持つので、まわりの正常細胞に比べ放

放射線感受性が高く、感受性の差を利用して、放射線治療のプロトコルができています。

近年、再生医療の研究が盛んになっていますが、この分野が着目しているのはまさしく「幹細胞」であり、白血病や再生不良性貧血の治療のための骨髄移植、やけどの治療のための人工皮膚など、それぞれの臓器における幹細胞の単離とその増殖・分化の制御に関する研究が盛んに行なわれています。骨髄移植は、骨髄を1ℓほど採取するので、ドナーにもかなりの負担をしますが、もし、造血幹細胞を増やす技術が確立できれば、臍帯血や末梢血を利用することができるので、飛躍的に治療が進むと期待されます。

1986年のチェルノブイリ原発事故や1999年の東海村でのJCOの事故の際も、高線量被ばくした作業員の方に骨髄移植や皮膚移植が行なわれました。消化管の幹細胞については、日本人に大腸がんが増えてきていることに鑑み、外科摘出や放射線治療後の再生や回復促進が期待されていますが、研究は、まだ始まったばかりです。臓器移植の成功率を高めるためにも、「幹細胞」の研究は非常に大切です。

放射線の発がんリスク

さて、発がんについて話を戻します。放射線被ばくによる発がんリスクは、原爆被爆者の調査をもとに評価されています。調査の結果、白血病とそれ以外のがん(固形がんと呼ぶ)では、発生パターンが異なること、リスクの大きさは臓器や被ばくの年齢によって異なることがわかりました(図2)。

原爆被爆者のがんの発生パターンをみると、被爆後2~3年経って白血病がでできます。その後6~7年をピークとし、それ以降減少し、被爆30年以降に発症リスクは非常に小さくなります。白血病以外のがんは10年くらい経ってから発生し、被爆後の年数とともに増加して

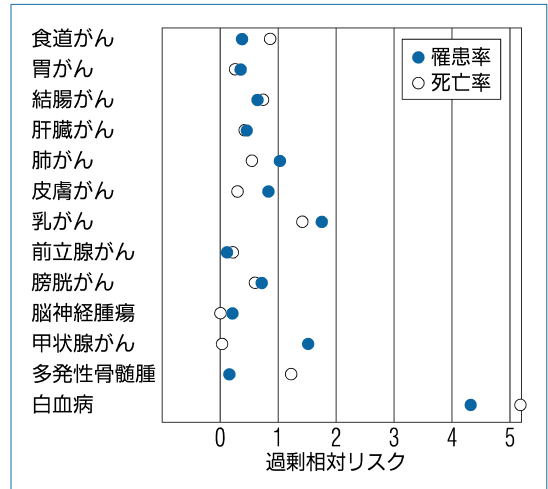


図2 組織別過剰相対リスク

いきます。被ばくの線量との関係は、白血病は直線2次モデルがフィットし、高線量になるほどリスクが大きくなっていきます。固形がんは、直線モデルがフィットします。

放射線被ばくによる発がんリスクの高い臓器は骨髄で、被ばくしていないヒトの死亡率を1とした場合の相対リスクで見ると白血病が1番となります。原爆被爆者では、過剰相対リスクは1Gyあたり5.2です。固形がんでは、乳がん、甲状腺がん、肺がん、卵巣がん、膀胱がんが高いことが知られています。固形がんの過剰相対リスクは0.4です。一般に被ばく時の年齢が高いとリスクはさらに小さくなり、反対に若いと高くなります。

放射線による発がんが話題になっているものに、ラドンによる肺がんがあります。ラドンは、大地のラジウムなどのウラン系列の元素が崩壊して大気中に出てくる放射性物質で、自然放射線の約半分を占めます。スウェーデンなどの北欧で濃度が高く、規制の対象になっています。米国では、ラドンは肺がん死亡の10%に寄与しているとしています。また、チェルノブイリ事故においては、小児性甲状腺がんが問題になりました。甲状腺はヨウ素を原料として甲状腺ホルモンを作る場所であり、甲状腺に放射

性ヨウ素が蓄積し、甲状腺の細胞が放射線被ばくしたことが原因です。

放射線のリスクを数字で考える

さて、放射線にかかわらず発がんのリスクを議論するときに大切なのは、「どれくらいの放射線」を被ばくしたかを知ることです。放射線に被ばくしたら、全員がんになるといった短絡的な考えはしないでください。少なく被ばくすればリスクは小さく、多く被ばくすればリスクは大きくなりますので、「被爆線量によってリスクの大きさが決まる」ということをいつも考えてリスクに向き合うことが大切です。

地球上でヒトはだいたい2 mSv 程度、宇宙や大地、ラドンなど自然から放射線を被ばくしています。自然の放射線は場所によって大きく異なり、たとえば、大地からの放射線は、岐阜県(年間0.6 mSv)と神奈川県(0.14 mSv)では約2倍異なります。自然放射線に加えて、医療被ばくが日本人の場合、2.3 mSv あります。

たとえば、歯科のX線口腔撮影は、骨髄が0.01 mGy、甲状腺が0.03 mGy 程度被ばくします。パノラマ撮影だと0.2 mGyで、乳がん検診時のマンモグラフィーは2 mGy 程度で少し高くなります。近年普及してきたX線CTは、調べる部位によっては、20~100 mGy になる時もあります。原発労働者らの放射線施設の作業員は、平均20 mSv を年間の線量限度として防護管理が行なわれています。

日本人は4人に1人が、固形がんが原因で死亡します。その原因は放射線以外の因子であることは前節で述べました。ですから、被ばくしたヒトががんになったからといって、その原因をすべて放射線のせいにすることはできません。もちろん、線量が高くなるほど放射線の原因寄与率は高くなりますが、低線量の場合は、たばこや食事など放射線以外の発がん原因を考慮した解析が必要です。

たとえば、自然の放射線の100倍の200 mSv の放射線を1回全身被ばくしたときのリスクを考えます。固形がんのリスクは、1 Gy で0.4 リスクが増加しますから、20 mSv* だと0.08倍上がります。つまり4人に1人であったのが、4人に1.08人が、がんで死亡するリスクに変わることになります。リスクが高いと考えられている白血病でも、実際の実験被爆者の線量効果関係をみると、200 mSv まで非被ばく群のヒトと比べてリスクは高くなっていないので、実際、100~200 mSv 程度の被ばくのリスクがあるのかどうかは不明のままです。あったとしても、わずかだと考えられます。アメリカ政府は、疫学調査ではヒトでの発がんリスクが認められていない100~200 mSv 程度の低線量の放射線が、細胞にどのような影響を与えるのかに關してのプロジェクトを、年間20億円投資して進めています。

放射線のリスクを直感的に理解する方法の1つは、他の発がんリスクと比較することです。さきほどラドンは肺がんの原因であることを述べました。米国では、148 Bq/m³ を屋内ラドンの対策レベルとしています。一般家屋のラドン濃度は、40 Bq/m³ 程度です。さて、このラドンとたばこを比べてみましょう。タバコを1日1~9本消費すると肺がんのリスクが4.6倍高くなります。原爆生存者の調査では、肺がんの相対リスクが4.6になるような放射線の線量は3.4 Sv(3400 mSv!)になります。そして、屋内のラドン濃度でいうと、4500 Bq/m³(規制

* Sv と Gy

ともに放射線の線量を表す単位。1 Kg の物体に1 J(ジュール)のエネルギーが吸収されたときに1 Gy と定義する。放射線の生体影響は、同じ吸収線量であっても、放射線の種類によって異なる。たとえば、ラドンの出す α 線は、セシウムを出す γ 線に比べ影響が大きい。そこで、種類にかかわらず同じ影響を表す線量としてSv(等価線量)が定義された。 γ 線の場合1 Gy は1 Sv、 α 線の場合は1 Gy は20 Sv と換算する。

値の30倍!)に対応します。ラドンの規制値の30倍というとても高いように感じますが、タバコ1~9本という数字は、それほど問題になるとは思わないのではないのでしょうか。人間のリスクについての感じ方のギャップを、なるべく埋めていく努力が必要だと思います。

リスクトレードオフ

ここで、リスクトレードオフについて考えてみたいと思います。リスクトレードオフとは、特定のリスクを減らそうとしてよく考えてした努力が、別のリスクを増やしてしまうことをいいます。たとえば、女性が更年期障害の治療にホルモン補充療法を行なうことがあります。女性ホルモンは、子宮内膜がんや乳がんのリスクを増加させますが、骨粗鬆症のリスクを下げるというメリットもあるというトレードオフです。

さて、マンモグラフィーについて考えてみます。40歳以上の乳がん検診をする女性に、マンモグラフィー検診の導入が進められています。マンモグラフィーのリスクは、もちろん放射線被ばくによる乳がんの発生です。乳腺は放射線による発がんリスクが高い臓器です(図2)。対抗リスクは、がんの早期発見、早期治療による乳がん死亡リスクの低減です。乳がんは年間約3万5000人が罹り、1万人が死亡していますので、マンモグラフィーのリスクトレードオフは大きな関心です。

まず、1回のマンモグラフィーによる2 mGyの放射線のリスクを考えます。2 mSvによる乳がん死亡確率は 5×10^{-6} 程度で、自然発生の乳がんによる死亡確率(1.8×10^{-2})に比べて、無視できるほど小さいので心配はいらないと考えられます。しかし、被ばくによる乳がんリスクは若いほど高いので、いつ検査するかが次に問題となります。米国の調査では50歳以上の検診で死亡率減少効果が23%、40歳以上で16%となっています。日本人は、米国に比べて乳

がん罹患率のピークが20歳若い40歳代であるので、若いときからの検診を考える必要があるようです。ただ、40代は乳腺密度が高いことから読影の精度が要求されます。10年前の日本での研究では、リスクベネフィット分析が行なわれ、30代の検診でベネフィットが上回り、検診年齢とともに大きくなるという報告がされています。

世界的な胎児・子ども研究の流れ

さて、近年、子どもの化学物質に対する健康リスクについての話題が多くなってきています。この理由は、小児がんが徐々に増えていること、アトピーや喘息、シック症候群、きれる子どもが多くなっていることから、子どもたちの周りになにか異変が起こっていると感じるからです。こうした背景のなか、1997年、8か国環境大臣サミット(G8)において、「子どもの環境保護に関する8か国環境リーダーの宣言書」が提出され、各国で子どもの問題に積極的に取り組むことが同意されました。

2002年の会合においても「小児の健康保護」が唱われています。現在、環境省や厚生省を中心に化学物質の小児への影響を把握するために、子どもの行動様式、代謝、免疫系の特異性に関する調査研究が進められています。子どもは小さな大人ではなく、子どもの行動様式、生理状態などを考慮した新たなリスク評価体系が必要とされています。G8で問題となったのは、ダイオキシン、鉛、微生物汚染、大気汚染、タバコ、内分泌かく乱物質です。

2005年の子どもシンポジウムで、スウェーデン政府の取り組みのなかにラドンの子どもへの影響がありましたが、実際は、放射線による子どもの発がんリスクについての体系的な研究はわずかです。医療現場においても、X線CTを子どもに適応する場合、その被曝線量は大人より多くなりますし、子どもの放射線リスクに

関する研究は重要だと考えられます。

胎児・子ども被ばくの影響研究

胎児が母親の体内で被ばくすると、奇形や小児がんになりやすいと恐れられてきました。現代において胎児や子どもの医療における被ばく線量は、次第に大きくなっています。母親の健康診断のためのPET診断、妊婦のがん治療、子どものX線CTなど、胎児・子どもが被ばくする機会が増えるとともに、そのリスクを正しく評価することが求められています。現在は、原爆被爆者や医療被ばくのデータをもとに、胎児や子どものリスク評価が行なわれています。ヒトのデータが少ないので、動物実験やメカニズム研究の結果も重要です。子どものリスクトレードオフのための科学的な情報が必要です。

胎児期の被ばくの影響は、着床前期(胎生8日)、器官形成期(胎生8日～8週)そして胎児期(8週以降)で異なります。着床前期の被ばくは、致死効果が最も高い時期で産児数が少なくなります。しかし、生まれてきた子どもは正常に発達成長します。マウスやラットの実験では比較的低線量(150 mSv以下)の線量で、受精卵が死ぬことがわかっています。

余談になりますが、自覚する流産は1/5程度あり、自覚されない流産も実は1/3くらいあって、ヒトの場合、放射線の被ばくがなくても受精卵の2/3近くが子宮内で死亡しています。器官形成期は体の主な臓器が形成される時期で、この時期の被ばくは先天性奇形や発育遅延を誘発します。サリドマイドや風疹ウィルス感染によって、障害の発生リスクが高いのもこの時期です。

また、新生児のなかには外表奇形が1%ほど観察されます。受精後5週後に人工中絶されたヒトの胎児を調べると、10%も奇形が見つかるそうです。自然流産した胎児には染色体異常が

40%も観察されています。正常な子どもが生まれるよう染色体異常や奇形を持つ胎児を、自然流産によって淘汰しているのかもしれませんが。

8週以降の胎児期の被ばくでは、奇形が起こることは少なくなります。この時期の被ばくで問題になるのは、脳への影響です。妊娠8～15週の被ばくによって重度奇形や小頭症、精神遅滞が発症することがあります。知能指数の低下は1 Svあたり30 IQ単位と推定されています。ただ、精神遅滞があらわれるには閾値があって、その閾値線量は120 mSvと推定されています。

胎児期被ばくのもう1つの心配は、がんです。妊娠中にX線診断を受けた母親から生まれた子どもに、小児がんが1.4倍ほど多いことが英国のシュワート博士によって報告されています。しかし、原爆被爆者の調査では、小児がんの増加は認められていません。子宮内被ばくによって、大人のがんが増加する傾向は原爆被爆者に認められています。胎児期の被ばくが小児期の被ばくと比べて、とくに大人での発がんリスクが高いということはなさそうですが、結論を出すには今後の追跡調査の結果を待つことになります。また、妊娠のどの時期の被ばくのリスクが高いのかについても情報が求められています。

このような胎児や子どもの被ばくによる発がんリスクについての検討を、国際放射線防護委員会も始めており、放射線医学総合研究所でも、わが国で行なわれた先駆的なしっかりした動物実験データのうえに、新しいデータを積み上げて、子どもの放射線リスクについて提言をしていきたいと考えています。

しまだ よしや

放射線医学総合研究所 放射線安全研究センター

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1