

# 第3章

## 虎の巻

### 「低線量放射線の健康影響に関する一問一答」

本章では、実際に放射線に関する想定質問とその回答例をまとめた。実際にこんな難解な質問が出るのかと思われるかもしれないが、次のような実例を紹介したい。

航空機被ばくの宇宙線被ばく管理をめぐって、日本乗員組合連絡会議（日乗連）をはじめとするさまざまな活動の足跡をたどってみると、乗員たちが大変熱心に科学的情報の収集・共有に努力していることがわかる。第8回放射線安全規制検討会航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する検討ワーキンググループ（平成17年7月6日開催）では、航空機乗務員等の宇宙線被ばくに関する論点整理の説明を受けた日乗連が、以下の発言をしている（以下、検討ワーキンググループの議事概要より抜粋）。

本年6月に米科学アカデミーから低線量放射線のLNT仮説に関する論文（注：2005年6月に発表されたCardisの論文を指していると思われる。詳しくは第3章のQ8を参照のこと）が公表されており、その中では、「100mSv以下の低線量被ばくにおいて、LNT仮説を裏付ける結果が得られた」と結論付けられている。このことは、低線量放射線被ばくでは健康影響の検出は困難であるというこれまでの議論との矛盾を感じる

（会議席上で主査は「次回、米科学アカデミーの論文について、識者に説明をしていただく機会を設けたい」と応答している）

低線量放射線被ばくである職業被ばくの場合、安全性の科学的根

拠にはどうしてもある程度の不確実性を含んでいる（第2章参照）。そのため「知識偏重はかえって不安になるので、大丈夫だ、とだけ言ってほしい」という意見に遭遇することがある。あるいは放射線ホルミシス（=微量放射線被ばくは生物にとって有益であるという説）のように、不安解消に都合のいい情報に関心を示される事業者にお会いすることもある。これらの対応は、安心醸成に即効性があるように見えるが、長い目で見ると事業者/専門家への不信感といった副作用を生みかねないので、慎重に行っていただきたい。

また米国科学アカデミー-BEIR委員会報告書、あるいはフランス科学・医学アカデミー報告書に書かれている内容については、その分野の権威が言っていることだからと、多くの人はそのまま信じる傾向にあるが、しきい線量のない直線線量-反応関係（LNT）仮説の妥当性に関する見解が両者でまったく異なることは第2章で示したとおりである。科学的情報の中立性が担保されるよう、偏りない情報源から情報を収集することが重要である。

環境ホルモン、BSE、SARSなどが社会問題化する中で、多くの人々が「リスクゼロの社会はない」という事実を学んだ。「専門家が安全です、と判断すれば、それを一般の方が信じて安心する」という図式はもはや成り立たず、一人ひとりが、自分が安全かどうか、またリスクの大きさとベネフィット（職業被ばくの場合は、個人的収入や生きがい、社会的貢献など）をはかりにかけて、判断する時代である。「先生、放射線を浴びても大丈夫？」と質問された際には、中立的な立場で、科学的に正しい情報を、対象者の関心・不安や知識レベルに合わせた形で提供していただくことが理想的である。

1 低線量放射線全般に関する一問一答

Q 1 低線量とはどの程度の線量なのか

A 定義は複数あるが、これまでは広島・長崎の原爆被爆者の疫学研究結果や放射線の生物学的効果から、100～200mSv以下を指すことが多かった。

低線量の定義には複数あり、それらは大きく3つに分類できる。その第1は国際放射線防護委員会（ICRP）や米国科学アカデミー電離放射線の生物学的影響に関する委員会（BEIR委員会）などで放射線防護目的のために用いられている100～200mGy以下の領域である [ICRP 1991, NRC 2006]。これを低線量とする理由は、この線量域以下では原爆被爆者のリスクの統計的有意性を議論できないことによる。ただ、いまだに議論があるものの、胎児被ばくではさらに低い10mGy程度で統計的有意性を持ってがんリスクが上昇している [Doll and Wakeford 1997]

第2の定義は、放射線の生物効果の理論的考察からの低線量で、第1の経験的な観点から得られた100～200mGy以下とおおむね一致している。低LET放射線による生物効果の中で染色体異常誘発の線量-反応関係は、直線2次の式(1)で記述できる [Kiefer 1992]

$$E(D) = D + D^2 \cdot \dots \cdot (1)$$

この式の1次項と2次項の両者の寄与が等しくなる線量は以下の式(2)で記述できる。

$$D = D^2, D = / \cdot \dots \cdot (2)$$

この線量は高線量域と低線量域の境界であり、この線量以下では

後に述べる線量・線量率効果係数（DDREF）が適用される。両者が等しくなる線量を染色体異常誘発や突然変異誘発、さらに生存率などの指標で調べた結果をもとに求めると多くは200mGy程度で、経験的に決められた低線量の定義とたまたま一致している。

第3の低線量は、マイクロジメトリの考えに基づいたものである〔ICRU 1983〕。放射線の線量としては、単位重量あたりに与えられたエネルギーであるGy（J/Kg）が用いられ、これは大きな質量について平均化されたものであるため、いかなる低い数値をも取りうる。しかし微視的に見れば特定の部分に与えられるエネルギーは、そこを通過する電子が衝突して電離によるもので、これをその特定部分の質量で割ったものが微視的な線量となる。生物学的にもっとも重要な細胞核に与えられる最低の線量である素線量は、生物学的にはこれ以下がありえない最低の線量である。この値は放射線のLETに依存しており、<sup>60</sup>Coによる線では約1 mGy、線では約150mGy程度である〔原子力安全委員会低線量放射線影響分科会2004, Streffer 2004〕。ただ線の場合には、核当たり平均1ヒットを与えられる線量では、2つ以上のヒットを受ける細胞が約10%存在する。マイクロジメトリの立場ではこのような事象の確率が小さい領域を考慮して、低LET放射線における低線量を0.2mGyとしている。

## Q2 日常生活の中でどのくらいの線量を受けているのか

A 自然放射線による被ばくは、世界平均で2.4mSv/年、日本平均で1.5mSv/年である。このほかに診断による被ばくの割合が比較的大きい。

自然放射線は日本の全国平均で約1.5mSv/年 [原子力安全研究協会1992] といわれている。自然放射線の内訳は、空気中にあるラドンとその子孫核種による被ばく量が0.4mSv/年、宇宙からやってくる宇宙放射線による被ばく量が0.29mSv/年、食べ物に含まれる<sup>40</sup>Kからの被ばく量が約0.41mSv/年である。また<sup>40</sup>K、<sup>232</sup>Th、<sup>238</sup>Uなどを含む地表からの被ばく量は全国平均で約0.38mSv/年だが、地域差が大きく、たとえば花崗岩地帯からの放射線が多い西日本では1mSv/年、関東ローム層が花崗岩地帯の上を厚く覆って放射線をさえぎる東日本では0.2mSv/年程度である。

日本の人工放射線（全国平均）による被ばくは約2.3mSv/年だが、このほとんどが診断に用いられる医療放射線によるもので、原子力施設による一般公衆の被ばくはほとんどない（0.001mSv以下）。世界平均では、自然放射線による被ばくは2.4mSv/年、医療放射線（診断）による被ばくは0.4mSv/年なので [UNSCEAR 2000]、日本での放射線被ばくは、診断による被ばくが大きく、自然放射線、特にラドンとその子孫核種による被ばくが少ないのが特徴といえる。

Q3 しきい線量のない直線線量 - 反応関係 (LNT) 仮説とはどのような説なのか

A 放射線防護に利用されるモデルで、低線量放射線の健康影響がこれ以下の線量では影響が発生しないしきい線量がなく、線量とともに直線的に発生確率が増加すると仮定している。

LNT仮説は、英語のLinear No Threshold仮説の頭文字をとって呼ばれる。LNT仮説が生まれた背景は、リスクの概念が生まれてきたことと深く関係している。1952年には、原爆被爆者の疫学研究から放射線被ばくによって白血病の発症頻度が増加していることがわかってきた。白血病に罹患したのはしきい線量を超えて被ばくしたためであると考えられたが、このしきい線量を明示することは不確かさがあり困難であることを考慮して、ICRPは、白血病の発症頻度は蓄積線量に比例し、しきい線量はないとするもっとも控えめな仮定を導入した。放射線防護上はいかなる線量であってもリスクが存在するという控えめな仮定でもって、放射線利用の増大に伴う被ばくに対応していこうと考えた。

その後、放射線の物理的な相互作用を考えた場合、光子放射線であってもそれがはじき出した電子トラックは二重鎖切断やより複雑なクラスター化されたDNA損傷を引き起こすことができることが理論的にわかってきた。もし、放射線によって初期に生成されるDNAの損傷が突然変異につながる可能性は低くてもゼロであることを示すことができないことから、発がんにつながる可能性を考慮する必要があると考えられてきた。

一方、原爆被爆者を大規模で長期間にわたって追跡した疫学研究から、白血病の死亡率や罹患率は線量に対して直線二次モデルに従うが、全がんの大半を占める固形がんは線量に対して直線的に増加

傾向が示されてきた。

このような事実がLNT仮説を支持するものとして考えてきた。しかし、実際には、およそ100mSv以下の線量では、がんや白血病が被ばくしない集団に比べて統計的に増加していることを示しているわけではない。その1つの理由は、低い線量になると放射線によって増加する確率は小さくなり、被ばくに関係なく生じているベースラインの発がん率の変動に隠れてしまうからである。低線量での増加が本当にあるのか、それとも変動に隠れているだけなのかは、今のところ科学的にはわかっていない。

米国のNCRP報告でも、LNT仮説に対して、これを否定するだけの十分な証拠は存在しないが、ごく少ない線量からの健康影響の確率は小さいために、仮説の妥当性を証明することも否定することも困難であろうという見解を示している。

最新のICRP勧告(2007年)では、LNT仮説はLNTモデルと呼ばれており、現在も低線量における健康影響の放射線防護を考える上で、適切なモデルであるとしている。

LNTモデルは、被ばく線量と健康影響リスクとの直線的な関係から、単に直線的な外挿を意味するのみならず、反復被ばくの健康影響における線量の集積性を意味するものである。しかし、実際にこのような仕組みで健康影響が起きているというのではなく、実際の放射線防護を実施していく上で、控えめで合理的な考え方として現在国際的に受け入れられている。

## 2 放射線の健康影響研究；その1 疫学研究に関する一問一答

Q4 疫学で「低線量( < 100mSv )による健康影響がある」ということを示すためには、最低限どのくらいの調査者数が必要か

A 100mSv未満の低線量放射線への被ばくによる健康影響を疫学研究で明らかにするためには、最低数千人から数万人の対象者を調査する必要がある、この人数は被ばく線量( 予想されるリスク増加の程度 )に大きく依存する。

低線量放射線への被ばくによってがんなどの健康影響があることを疫学研究で示す、すなわち、統計学的に有意に検出することは、対象者数などの点で難しい。線量とリスクの間にLNTを仮定した場合、被ばくによって増加するがんリスクを統計学的に有意に検出するために必要な対象者数は、おおまかに被ばく線量の2乗の逆数に比例し、被ばく線量が半分になると約4倍になる。

ICRPのPublication 99ではこの統計学的検出力の問題について議論を行っている。仮に被ばくがない場合のがんの死亡リスクが10%で、被ばくによる過剰死亡リスクが1 Gy当たり10%である時、被ばく群と非被ばく群における死亡リスクの差を検出力80%、有意水準5%の片側検定で検出するために必要な調査対象者数は、100mGyの被ばくで約6400人、10mGyの被ばくで約62万人、1 mGyの被ばくで約6180万人と試算されている。予想される線量当たりのリスク増加が上記の半分である場合、リスク増加を検出するために必要となる対象者数は上記の約4倍になる。

このように、疫学研究で低線量放射線の影響を検出することには対象者数の点で限界が大きい。

Q5 放射線影響に関する主な疫学研究にはどのようなものがあるのか

A 原爆被爆者の疫学研究が代表的である。そのほかに医療従事者や原子力施設作業員などにおける職業被ばくに関する疫学研究や、一般人における自然放射線や医療被ばくなどの疫学研究がある。

現代の放射線被ばくを、職業被ばくと一般人の被ばくに分けて考えると、曝露の主なソースは以下のようなものであろう。

- 1) 職業被ばく：医療従事者、原子力施設従事者、核爆弾等の製作、実験
- 2) 一般人の被ばく：自然放射線、診断、治療、原子力施設、核爆弾の爆発

原子力作業員では繰り返し被ばくであり、その線量記録はほぼ完全と考えられる場合が少なくない。しかし医療被ばくの寄与が他の集団より大きい可能性がある。また、被ばくの時期も原子力作業員は成人期以降に限定される。対象者の追跡は、放射線作業に従事している期間は特に問題ないことが多いが、退職後は困難であることも少なくない。また、契約労働者の追跡は難しい場合がある。作業員は全国に居住し、比較的移動も多いため、全国的な腫瘍登録がなければがん罹患率の調査は困難である。原子力作業員の生活習慣が他の集団と異なる可能性にも留意が必要である。

医療被ばくのうち、外部被ばく（X線検査や放射線治療など）であれば、多くの場合に比較的高線量率放射線の繰り返し被ばくであるが、内部被ばく（核医学検査など）であれば低線量率の連続被ばくである。照射線量は正確に記録されていることが多いが、問題の臓器が実際に受けた線量の評価が困難であることが少なくない。また、放射線治療の原因となった疾病が特定のがんリスクと関連している