

## 患者の被ばくリスクの低減と消去

一般社団法人 日本低放射線協会 高橋希之

### 要旨：

ICRP は、これまで不可能とされてきた「被ばく後の、被ばくリスクの低減が可能である」との見解を ICRP publication131 において発表しました。これにより、CT を受けた患者の被ばくリスクの低減が可能であること、それを患者に対して実施することは正当であるということが社会に対して表明され、被ばくリスク低減への扉が開かれたこととなります。

被ばく相談の際に、「放射線の影響が心配ですか？もし心配なら、ご自分の力で、将来への影響を小さくし、さらに消してしまうことができます。私がお手伝いします。」とすることができるようになるのです。

これは、そのための「患者の被ばくリスクの低減」の具体的な実現の提案です。

検査被ばくによる患者のリスクを的確に低減することが可能となり、患者をリスクと不安から救うことができます。

この論理と方法の概要は以下のようです。

### 被ばくリスク低減の論理と方法

私たちの組織幹細胞には日常の突然変異が増え続けています。数十年かけて、数個～10 数個のがん関連遺伝子の突然変異が揃えば細胞はがんになります。放射線はその途中で突然変異を、最悪1個追加します。この追加のせいで、突然変異が揃うのが早まり、生きている間にその細胞ががんになることがあります。これが被ばくの発がん影響（リスク）です。

影響は将来にがんとして現れるので、その前に、被ばくによる突然変異と同じものを減らすことができれば、リスクは低減します。さらに、被ばくにより増えた分だけ減らすことができれば、リスクは消去されます。

したがって、被ばくリスクを低減する方法は、「被ばくした細胞で、被ばくによる突然変異と同じ突然変異を、被ばく後の日常生活で減らす」ことです。

この実現のために行うことは、被ばく後の日常生活で、「DNA 防御能力を最大に向上させるために必要な量の、ビタミン C、ビタミン E、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチン、ナイアシン、葉酸を、食品から摂取すること」です。

これにより、被ばく後に、被ばくリスクを確実に低減することが可能となります。

本提案では、この論理を説明し、具体的な実現の可能性を考察します。また、この方法を実現するための Web アプリケーションも合わせてご紹介します。

**背景：**

被ばく影響への患者の不安は、診療放射線技師会の長年の課題となっています。

現在、診療放射線技師の方々は、検査線量の低減に力を注ぎ、患者が自宅に持ち帰るリスクには被ばく相談で対応しています。

被ばく相談では日常のリスクとの比較でその小ささを説明しますが、多くの場合、患者には不安が残ります。もし患者に、そのリスクを小さくできる、さらには消去もできる、と告げることができればどうでしょうか。夢のような話ですが。

しかしこのたび、この夢のような話の実現が可能になりました。

私は以前、診療放射線技師の方々に被ばく後のリスク低減が生物学的に可能であることをお伝えし、多くの賛同をいただきましたが実現には至りませんでした。理由は、リスク低減は不可能であるという固定観念が放射線生物学および放射線防護の常識となっていたこと、そして低減効果を定量的に評価できなかったことです。

それが実現可能になった第一の理由は、ICRP が常識の固定観念を覆し、被ばく後のリスクの低減が可能であるとの見解を表明したことです。被ばくリスク評価における最大の権威であるICRPが認めたことで、この夢の話が現実のものになり始めました。

そしてもう一つの理由が、低減効果を定量的に評価するための論理とそれを実現するための Web システムを開発できたことです。

**本提案の趣旨：**

被ばくリスクが可能であるというのは、今では権威のある組織の公式の見解です。したがって、生物学的、社会的、いずれの観点からも被ばくリスクの低減の論理は安全に実施することができます。

CT 検査の被ばくリスクが確実になり、リスク低減は今後 CT 検査後の標準的なケアになるのではないかと考えていますが、日本診療放射線技師会そして診療放射線技師の方々は、ICRP 発表の何年も前から、独自にこの論理に賛同し注目して来られました。すなわち、診療放射線技師の方々は、被ばくリスク低減という新しい分野の最初の専門家になる資格がある、ということをお伝えしたいと思います。

本提案によるリスク低減は、被ばく後の、患者自身の日々の小さな努力により可能になります。すべて患者自身が実施することですが、実際には診療放射線技師の案内や指導、サポートなしには実現できません。患者のリスクと不安を生物学的な本当の意味で低減、払拭することで、これまでの被ばく相談に加えて、年間 3000 万人の CT 検査後の患者、子供たちを全面的に支えることが可能になると考えています。

そして何より、診療放射線技師の新しい独自の活躍の場を創り出すことを目指しています。

本提案では、ICRP の表明について解説し、次に、被ばくリスクの低減を実現するための論理とそのための web システムについて説明します。そして最後に、この提案を実際に病院において実現するための可能な方法を考察します。

**目次：**

1. リスク低減の論理の経緯 p4
2. ICRP 見解の詳細 p5
3. 被ばくリスク低減の論理（どうすれば低減できるか） p7
4. 被ばくリスク低減の具体的方法（何をすればいいのか） p10
5. 低減効果の定量方法（どのように効果を定量するか） p17
6. web アプリケーション p19
7. 病院での実現方法の試案 p25

(添付ファイル)

参考 1 ICRP publication 131 日本語訳本

参考 2 日本放射線技師会雑誌(2008)掲載の論説

## 1. リスク低減の論理の経緯

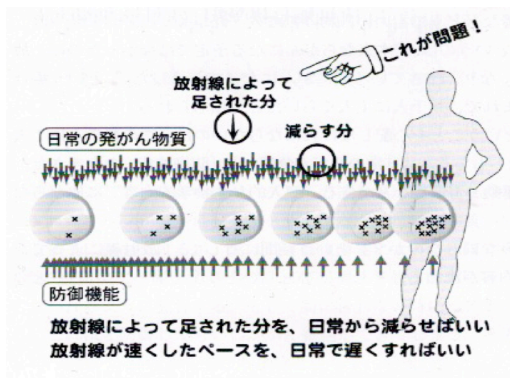


図 1-1

第 23 回放射線技師総合学術大会講演 (2007)

日本放射線公衆安全学会雑誌 (vol.4, 4-10, 2007) 掲載

私は、以前に日本放射線技師会（当時）や地域の放射線技師会で行った多くの講演や第 23 回放射線技師総合学術大会の大会テーマシンポジウム学術講演（日本放射線技師会雑誌 vol.54, no.661, 23-27, 2007）、日本放射線技師会雑誌（vol.55, no.671, 45-50, 2008）（vol.55, no.673, 54-61, 2008）、日本放射線公衆安全学会雑誌（vol.4, 4-10, 2007）、そしてご依頼により著した著書「何か心配ですか？医療被ばく」などで、「被ばくりスクの低減、消去が可能であること」の論理を述べ、多く賛同していただきました。（参考 2）

具体的には以下の論旨です。

- ① 放射線は日常の発がん物質の一つにすぎず、影響とは、「突然変異を、最悪で 1 個追加すること」
- ② 被ばく細胞ががん細胞になる（リスクが生じる）には、「被ばく後、被ばく細胞に、日常生活からの多数の突然変異の蓄積が必要」
- ③ したがって、「被ばく後の生活での突然変異の蓄積を少なくすれば、被ばくりスクが低減する。すなわち、生活しだいで帳消しにできる」

この時には、実現の方法を「がんになりにくい生活の実践」としていたため、後述するように、効果の定量的な評価ができませんでした。

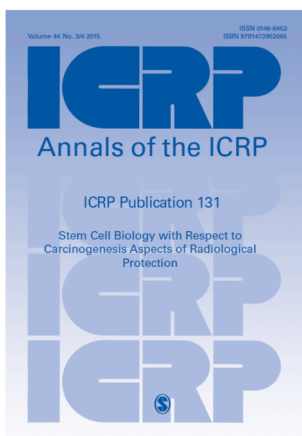
また、低線量リスクが明らかになるのはこの数年後 2012 年からで、線量管理の省令改正の施行が 2020 年であり、2007 年当時は国や社会も真剣にリスク低減を考える状況にありませんでした。何より、ICRP が見解を発表して、「被ばく後に、被ばくりスクを低減する」という不可能とされていたテーマの実現を正当化し、被ばくりスクの固定観念に大転換を与え、社会における実現を可能にするのは 8 年後の 2015 年ことで、この時点では被ばくりスク低減の実現は難しいことでした。

その後、論理を発展させ、被ばくりスクを確実に低減できる方法および定量評価システムを開発し、本提案に至ります。

## 2. ICRP 見解の詳細

ICRP の見解の内容について説明します。(参考1 日本語訳本)

かつてのがん研究では、細胞のがん化にはイニシエーション（開始）とプロモーション（促進）、プログレッション（進展）の段階があるとされ、それらの作用を持つ物質とその組み合わせが研究されました。その中で放射線はすべての作用を有することから、単独でがんを完成する「絶対的な変異原（発がん物質）absolute mutagen」だとされたのです。ここから、放射線がんは放射線だけで作



られるという数十年来の固定観念が確立され現在に至ります。この固定観念を覆すような「リスク低減」というテーマじたいがとんでもない話でした。

被ばくリスクの低減は科学的には合理的な論理ですが、社会で重要なのは、科学的正しさというより社会を説得できる力（社会的な正しさ）です。前進するには、この固定観念を覆すことのできるぐらいの社会的な力のある権威組織の声明か公式の文書のようなものが必要でした。そのようなところ、2015年のICRP publicationに、以下のように、被ばくリスクの低減が可能であるとの見解が発表されたのです。

（日本語訳本は理解しづらいため、以下の部分を改めて訳しました）

ICRP Publication 131, (2015)

“Stem Cell Biology with Respect to Carcinogenesis Aspects of Radiological Protection”

ICRP 報告書 131 「放射線防護における発がんの幹細胞生物学」

[パラグラフ (76) ]

「・・・これらの考察は、放射線の寄与が他の変異因子の寄与と比べて相対的に小さいことを示している。すると、(E) 放射線は発がんの主因ではない以上、これを「放射線誘発がん」と呼ぶことが適切なかどうか。むしろ「放射線関与がん」または「放射線関連がん」と呼ぶべきかもしれない。」

[パラグラフ (77) ]

「(F) RR モデル（高橋注：相対リスクモデル、固形がんの場合に当てはまる）は、放射線に被ばくした人の発がんリスクについて、(A)被ばく後に将来にわたって行える、興味深い実用的な応用が可能であることを示している。

(B)放射線は絶対的な変異原なので、被ばく後にリスクを低減することは不可能と考えられている。しかし、相対リスクモデルからは、被ばくリスクの大きさはバックグラウンド発生率（日常のがんリスク）に比例すると予測されるので、（被ばく後、将来にわたって）バックグラウンド発生率を低下させる行為は何であれ、被ばくによる過剰絶対リスク（EAR）（高橋注：「被ばくのせいで、何%の人が将来がんになる」という形で表現されるリスク）をも低下させることができる。「・・・これらが意味することは、(C) 禁煙や食習慣の改善などの、ヒトの健康を促進する行為は、日常のがん発生率のみならず、放射線によるリスクの増加も低下させる可能性があるということである。」

[パラグラフ (79) ]

「現在までに得られている事実からは、放射線の役割、・・・、などに関して、以下のような結論が得られる。・・・放射線の役割は、発がんプロセスに必要な突然変異のうちわずか1個か2個をもたらすことである。成人期の固形がんは比較的多くの突然変異が必要なため、(D) 放射線による1個の突然変異ができた細胞が完全な悪性化に至るには、(被ばく後に) 他の原因や作用による追加の突然変異が起こる必要がある。そのため、放射線被ばく後、そうなるまでには長い期間を要する。」

(\* (A)～(F)の符号と下線は、高橋による)

---

最初に、結論を「(A)被ばく後に将来にわたって行える、興味深い実用的な応用が可能である」と明言しています。

そして、このように表明するようになった理由は以下のものであると述べています。

「これまで「(B)放射線は絶対的な変異原なので、被ばく後にリスクを低減することは不可能」と考えていたが、「(E) 放射線は発がんの主因ではない」、そして「(D) 放射線による1個の突然変異ができた細胞が完全な悪性化に至るには、(その後) 他の原因や作用による追加の突然変異が起こる必要がある」ということ、被ばく影響の論理として認識するようになった。

その結果、(A)被ばく後に将来にわたって行える、興味深い実用的な応用、すなわち被ばく後の日常の行為によりリスク低減が可能である、という結論に至ったということでした。

上記の私の論旨と同じ内容です。

なお、「(F) RR モデル」(相対リスクモデル)がこのような内容を示していると書いてありますが、リスクモデルは単なるデータの統計モデルであり、このような被ばく影響の生物学的な仕組みはわかりません。近年の新しい生物学的事実の蓄積によりこの結論(上記(D))に至り、その観点で見ると、これまで数十年間も使い続けてきたリスクモデルに被ばくリスクの新しい扱い方、すなわち被ばく後のリスク低減の可能性が読み取れることがわかったということでしょう。

ここでICRPについて簡単に説明します。

ICRPは、様々なテーマで年2～3回、「原子放射線の影響に関する国連科学委員会(UNSCEAR)」や「米国放射線防護委員会(NCRP)」、そしてアメリカ科学アカデミーの発表する「電離放射線生物学的影響(BEIR)報告書」などから提供されたものを含め、網羅的に集めた最新の科学的事実を集約してICRP publicationとして発表します。これはその時点での最新知見のまとめであり、記載内容にはすべて根拠となる科学的事実があり、放射線の生体影響と被ばくリスクに関しては、学術的な信頼性が高いものです。

そして、15年ぐらいごとにそれらの知見をもとに放射線防護指針として「ICRP 勧告」を発表します。勧告は実用マニュアルですから、単なる科学的事実の公式化ではなく、様々な工夫を施して実用的に運用できるように作成されています。しかし、その根拠はICRP publicationなどに発表される科学的事実なのです。

ICRPは、被ばくリスクに関する標準を勧告し、各国政府がそれに従うような国際的な権威組織です。そして、ICRP publicationは、ICRPの科学的見解を表明する出版物であり、放射線リスク評価の標準、教科書として利用される、権威ある公式の文書です。したがって、このICRP Publication 131により、「被ばく後に被ばくリスクを低減する」というテーマは正当であり、被ばくリスクを小さくするために「被ばく後の日常生活を改善する」という方法論は科学的に合理的である、と認められた

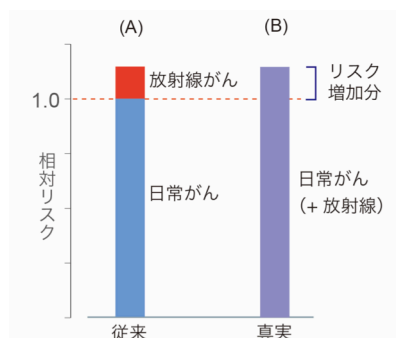
ことになります。

この見解の真の価値は、表明したのが ICRP だということです。放射線リスクに関することでは、ICRP の見解なら政府が従います。

ここが重要で、何年もかけて政府や社会を説得する必要がないのです。

これにより、社会における被ばくリスク低減の活動の正当性が保証され、誰もが自信を持って被ばく問題の解決に取り組むことができるのです。

図 2-1



整理すると、図 2-1 の (A) 「従来」の捉え方では、放射線がんは日常がんとは別に独自に発生すると考えられてきたため、リスク増加分は日常がんに乗せられる形です。一方、(B) 真実では、放射線は日常がんの発生に寄与しますが、できるのは日常がんです。放射線の作用は日常がんの中に組み込まれて、リスク増加分は日常がんそのものの増加です。

たばこの煙に含まれるベンツピレンや飲酒でのアセトアルデヒドなどは日常の代表的な発がん物質ですが、放射線はこれと全く同列の日常の発がん物質の一つに過ぎないということです。

これらのことから、「日常のがんリスクを低減すれば、被ばくリスクを低減できる」ということを、被ばくリスク低減のスタートとすることができます。しかし、これはしくみの概念であって、具体的に実現するための方法を開発しなければなりません。

### 3. 被ばくリスク低減の論理

ここで、被ばくリスク低減の前提となる、最新のがんの発生メカニズムとそれに対する放射線の作用、被ばくリスクの低減の論理を確認しておきましょう。

なお、以下の説明では、「突然変異」はがん関連遺伝子（がん遺伝子、がん抑制遺伝子）に発生する突然変異であって、がんの完成に寄与する突然変異（のひとつ）を意味します。

#### 3-1) がん発生のメカニズム

がん発生のメカニズムの最新の知見は以下のようです。

##### 1) 「がんの元になる細胞は組織幹細胞」

幹細胞とはそれぞれの組織の細胞を作り出す元の細胞です。体の組織の細胞は、長くても 2～3 年ぐらいの、それぞれ決まった寿命を持ちます。一方、幹細胞は数十年以上の寿命を持ち、組織細胞を作り続けます。このことががんの発生に決定的に重要なことであり、ほとんどのがんは幹細胞にしかできません。なぜなら、例えば固形がんの発生には特定の組み合わせの 10 個余りの突然変異が必要ですが、それが揃うには数十年かかり、その間細胞は生き続けなければならないからです。

##### 2) 「正常な幹細胞が、がん細胞そして悪性がんになるには、2～8 個ぐらいのがん関連遺伝子（がん遺伝子とがん抑制遺伝子）の突然変異が必要」

**突然変異の数** 一般にがんの発生に必要な突然変異の数は、がんの種類により 2～8 個とされています（白血病は 2～数個）。これはがんの発生に必要な機能を担うたんぱく質の数という意味です。がんの発生には、がん遺伝子が暴走し、がん抑制遺伝子が失活する必要があります。ヒト細胞では一つのたんぱく質に対して、同じ遺伝子が 2 個ずつあるため、がん抑制遺伝子は 2 個両方が突然変異により失活する必要がありますが、がん遺伝子は 1 個の暴走で十分です。がんに関与する遺伝子の多くががん抑制遺伝子です。そこで、ここでの説明では、通常の固形がんは 1～2 個のがん遺伝子と 4～6 個のがん抑制遺伝子に突然変異が発生してがんが完成するとして、必要な突然変異数を合計で 10～10 数個としています。

突然変異の数は単なる数ではありません。がんは 10 個余りのピースでできたジグソーパズルのようなもので、特定の突然変異を持つ特定の遺伝子が一つのピースです。そのような特定のピースが 10 個揃わなければなりません。たとえ 10 個のがん関連遺伝子に突然変異ができて、それぞれの細胞独自のパズルのピースとして揃い、はめ込むことができなければがんにはなりません。

### 3) 「すべての細胞は、常に突然変異が増加し、がんに向かっている」

そして、私たちの正常な細胞には日々の生活により突然変異が蓄積しつつあり、それは代の頃すではじまっていることが明らかになっています。

もちろん免疫によりがん細胞はほとんどが消去されますが、それでもあまりにも突然変異の発生が多いため、半数以上の人でいつかはジグソーパズルが完成した細胞ができてしまうのです。当然年齢が後になるほど突然変異が蓄積しますので、がんが完成する（がんになる）ことが多くなります。

このように、日常生活により、普通の人の幹細胞ではあるペースで突然変異が蓄積しつつありがんに向かっているのです。日常生活による影響というのは、喫煙、飲酒、食物、食品添加物、薬物、大気汚染物質、紫外線、自然放射線などの一般の発がん物質による損傷や活性酸素によるものです。

人によって、また個人の中では体の部位によって細胞の突然変異の蓄積ペースは違います。早く蓄積する人（喫煙者や大量飲酒者など）も、また早く蓄積する組織（消化器系、呼吸器系）もあり、生きていううちに体のどこかの 1 個の幹細胞ががんに発展すると、がんになったということになります。

私たちの人生はがんとの競争だと言えます。がんになるのが先か、それとも他の理由で人生を終えるのが先か、ということに過ぎません。これがすべての普通の人の普通の幹細胞の状況です。

そして、被ばくするのは、がんに向かっている膨大な数の幹細胞を持つ、このような普通の人々なのです。

## 3-2) 放射線の作用

重要な点は、「被ばくするのは、突然変異が増えてがんに向かっている私たちの普通の細胞である。」ということです。放射線のための細胞もなければ、放射線のための DNA も遺伝子もありません。

CT 検査により被ばくすると、放射線は間接作用や直接作用により、DNA に損傷を与えること

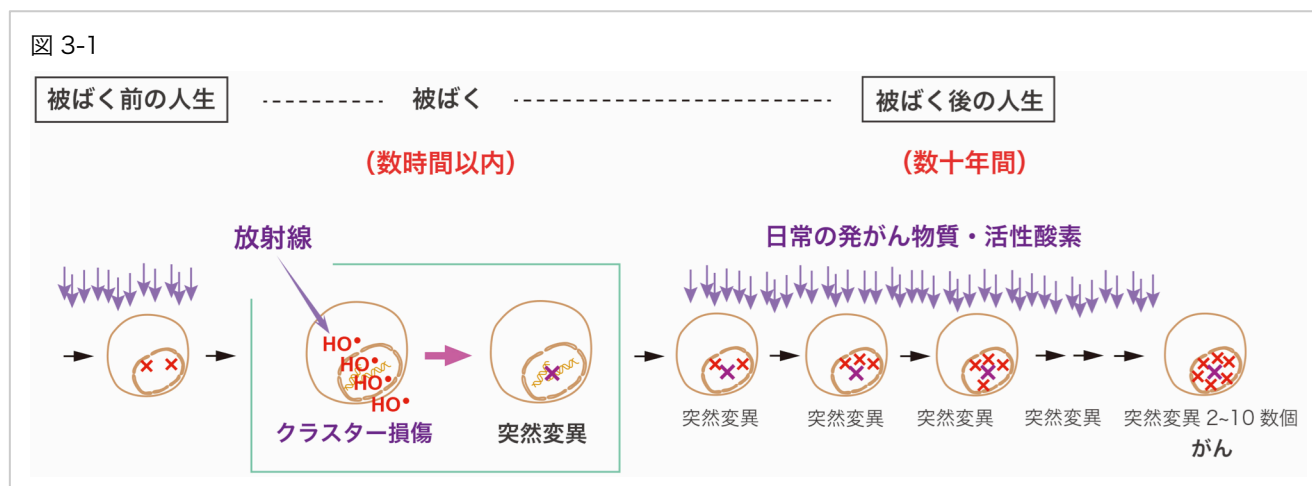


になるでしょう。ほとんどは修復されますが、ミスが起こって突然変異になってしまう場合もあるでしょう。

放射線は日常の発がん物質の一つに過ぎませんが、いろいろな特質があります。その一つが特有の DNA 損傷の発生です。放射線の飛跡に沿って密度高い電離が起こるため、DNA には、お互いに近い場所に複数の損傷（クラスター損傷）が発生します。この場合、修復にミスが起こりやすく、突然変異が発生しやすくなります。

放射線によるクラスター損傷の修復にミスが起こり、非常に小さい確率ですが、どこかの遺伝子に突然変異が最悪 1 個増えることがあります。さらにそれががん関連遺伝子である確率は小さいですが、起こらないわけではありません。また、それがいずれ生きている間にがんになるかもしれない幹細胞である確率も小さいですが、起こらないわけではありません。

図 3-1 は、被ばくの発がん影響の全体像です。



被ばくするのは、照射部分のすべての細胞であり、それまでの人生でいくつかの突然変異が蓄積している細胞です。被ばくした場合、あるがん関連遺伝子に突然変異が発生し、パズルのピースの 1 つが出来るのが最悪の影響ですが、その時点では何も起こりません。しかし、被ばくした細胞の中にはその後の何十年かの間に、日常生活により残りのピースが揃ってパズルが完成してしまう細胞が出てくるかもしれません。その時被ばくによる 1 ピースががんの完成に寄与することがわかります。これが、被ばく影響が出るということです。

被ばくは最悪 1 個の突然変異を加えるだけで、その他はすべて日常生活でできる突然変異であり、被ばく後の突然変異の追加がなければがんは完成しません。

最悪 1 個ですが、実際には確率的な数になります。つまり、突然変異はできるかできないかのどちらかであり、何回か被ばくをすると、そのうちの 1 回でできることがあるという意味です。小さな確率ですが、その 1 回が今日の CT 検査なのかもしれない、というところで不安が生じるのです。がんのような確率的影響の厄介なところです。

「被ばくだけではがんにはならない。その後の人生でがんに必要な突然変異が揃わなければなら

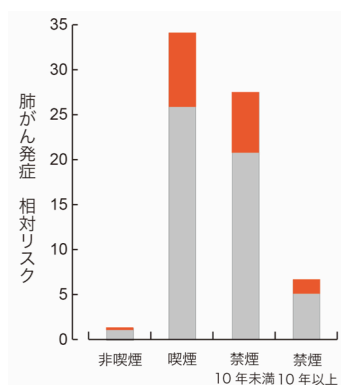
ない」のです。

これが、ICRP がようやく認めるようになった「影響が出るには、日常生活からの突然変異が必要」という被ばく影響のしくみです。

したがって、「被ばくの影響が出ないようにするには、被ばく後の生活で突然変異を追加させないこと」です。突然変異を完全に防ぐことはできませんが、後に述べるように、できにくくすること、できる量を減らすことは可能です。

被ばくしても、その後の生活での突然変異の追加を少なくすれば、その細胞は被ばくの影響が出にくくなり、被ばくリスクは低減します。さらに、被ばくによる増加分だけ少なくできれば、被ばくの影響は帳消しになります。すなわち、リスクを消去することもできるのです。

図 3-2



今述べた、突然変異の追加が少なくなると、被ばくリスクも低減することを示すデータを紹介します。

図 3-2 はラドンによる被ばくリスクに対する喫煙の影響です。

同じ線量の被ばくをした、非喫煙者、喫煙者、禁煙者（10年未満）、禁煙者（10年以上）の肺がんリスクおよび被ばくリスクを比較したものです。グレー部分が日常のリスク、オレンジ色が被ばくリスクです。禁煙の長さに応じて日常のリスクは低減し、同時にオレンジ色の被ばくリスクも低減します。同じ被ばくをしても、その後禁煙するならば、もちろん普通に日常のがんリスクは低下しますが、同時に被ばくリスクも低下しているのがわかります。

(Darby S et al. Scand J Work Environ Health 32 suppl 1:1-84, 2006)

この例は、被ばくリスクが日常がんのリスクの一部をなしているために、日常生活のがんリスク低減が被ばくリスク低減に結びつくことを示しています。そこで、被ばくリスクを低減するには、被ばく後の日常生活において、例えば、禁煙や緑黄色野菜・果物の摂取などの、日常のがんリスクを低減させるような行為を行えばいいこととなります。

では次に、日常のがんのリスクを低減させる行為を詳細に見てみましょう。

#### 4. 被ばくリスク低減の具体的方法

##### 4-1) 日常のがんリスクを低減する方法

下の表は、日常がんのリスクを低減するとされている生活のリストです。

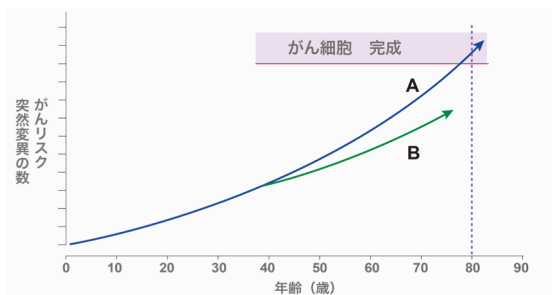
このリストは、私が以前考えていた「がんを防ぐ生活」であり、ICRP の言う「健康を促進する行為」です。

表 1

がんになりにくい生活習慣	効果が期待できる組織	効果のメカニズム
<ul style="list-style-type: none"> <li>・喫煙 しない（・副流煙を受けない）</li> <li>・過度の飲酒 をしない</li> <li>・運動不足 にならない</li> <li>・肥満（BMI&gt;30）・痩せ（BMI&lt;21） にならない</li> <li>・食生活               <ul style="list-style-type: none"> <li>・塩分過多 にならない</li> <li>・野菜果物不足 にならない</li> <li>・赤肉・加工肉の過多（&gt;500g/週）の摂取 をしない</li> <li>・熱い飲食物の摂取 をしない</li> <li>・サプリメント（bc,ve・・・）の毎日摂取 をしない</li> </ul> </li> </ul>	肺, 全身 食道, 肝臓, 大腸 .. 結腸 肺, 肝臓, 膵臓 ..  胃 口, 食道, 胃, 肺 .. 大腸 口, 食道 肺 ..	変異原↓ 変異原↓ 防御↑・変異原↓ (?)  変異原↓ 防御↑・変異原↓ 変異原↓ 変異原↓ 変異原↓

(国立がん研究センター)

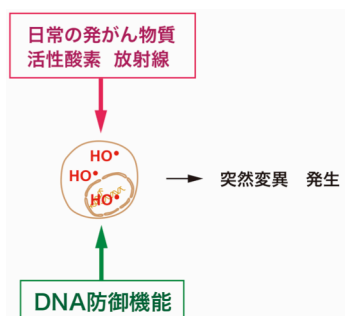
図 4-1



先に述べたように、がんリスクの本質は突然変異の増加であることから、「がんになりにくい」というのは「突然変異がでにくい」ということです。

図 4-1 の **A** はある人のがんリスクプロフィールであり、80 歳の頃には突然変異が揃ってがんが完成します。「がんになりにくい生活習慣」が目指しているのは、突然変異の発生を減らすことで、このプロフィールを **B** のように変更し、がんが完成しないようにすることです。

図 4-2



突然変異は、図 4-2 のように発がん物質と DNA 防御機能の力バランスで、発生のペースが決まります。上記のリストは、「効果のメカニズム」の欄に示すように、このいずれかの力に介入するための行為を示しています。ほとんどが変異原（発がん物質）を減らす方向です。

確かに、このリストは、結果として突然変異を減らす方向に作用するような行為のリストです。それぞれに効果があり、私たちの健康生活の指針となるものですが、私たちが探しているのは「CT 被ばくによってできた突然変異をその後の日常生活の中

中から減らす方法」です。これらは、その答えなのでしょう。

すぐに気づく最大の問題点は、

- ① これらは、がんになりやすくなる「悪い生活」リストです。特に悪い生活をしていない大半の平均的な成人には適用できる項目が少なく、子供の場合には該当する項目がほとんどありません。

その他、

- ② これらは、生涯にわたる生活習慣（行為）の結果であり、被ばく後に行った場合の効果の大きさがわかりません。
- ③ このリストでは、効果のある組織がそれぞれに決まっています。頭部、胸部、腹部などの範囲の CT 被ばくには、どう対応させればいいのかわかりません。

このリストは、現代人の悪い生活が日常のがんの原因であることから、そのような生活を改善するための一般的な生活指針であり、私たちの目的に沿わないのは当然なのかもしれません。

CTを受けた患者の方々にとって、被ばく後の日常生活でリスクを低減できる、というのは画期的なことであり、大きな救いになるでしょう。しかし、CT被ばくリスクの低減は、一般的ながんを防ぐ生活や健康を促進する行為で達成できないようです。

私たちの目的は、「確実に患者をリスクと不安から救うこと」です。CT検査を受けた子供の母親を不安から解放し、患者を不安とリスクから解放できなければなりません。健康法ではなく、この目的に沿った確実な効果が必要です。その方法に必要な条件は以下のようです。

- 1) 成人、子供にかかわらず、誰でもが実施できて、低減効果が得られること
- 2) 健全な「普通の人々」が実施できて、低減効果が得られること
- 3) 照射部位がどこであれ、低減効果が得られること
- 4) 放射線による作用そのものが、日常生活での確に低減できること。
- 5) 何をどれくらい実施すれば、どれくらいの効果があるのか、いつまで行えばいいのかかわかること。すなわち、定量できること。

これらの条件を満たして突然変異の低減効果が得られる方法を見つけ出さなければなりません。

#### 評価の指標の要件

上記の条件を、医療被ばくリスクの低減を実現するための方法の生物学的な要件として書き直すと、以下のようです。

- a) 普通の健全なすべての人々に低減効果があること
- b) 照射部位がどこでも低減効果があること
- c) クラスター損傷による突然変異を日常で低減できること
- d) 実施した行為の量に対する低減効果の量が定量できること
- e) 定量の精度を高めるため、被ばく以外の因子の混入をできるだけ排除できること
- f) 実施の効果を、一般平均と比較して、評価できること

いずれも低減効果を評価しなければならないので、定量的に評価できる指標がなければ始まりません。

#### 突然変異を指標とすること

ここで紹介する被ばくリスク低減方法では、がんリスクの指標として、がんの発生ではなく、「突然変異の発生」を用いることでこの問題を解決しました。

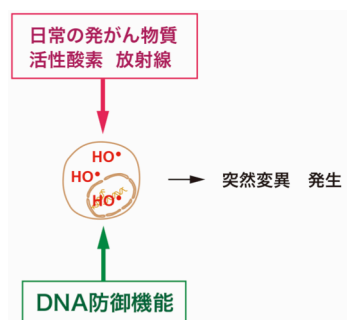
がんリスクの増加の本質は、突然変異の増加です。突然変異の発生を低減することで、被ばくにより増加したがんリスク（被ばくリスク）を低減することができます。すなわち、突然変異の発生と突然変異を低減することだけに注目すればよく、突然変異の段階で解決できるので

す。

CT 検査の被ばくにより運悪く突然変異ができたと仮定しましょう。その突然変異を取り消せばいいのですが、それは不可能です。しかし、もし被ばくによる突然変異と同等の突然変異を、被ばく後の生活でできる突然変異の中から減らすことができれば、がんへの寄与という意味では、被ばくの作用そのもの、すなわち被ばくリスク、を減らすことになります。

がんへの関与などが起こるはるか前に、日々の突然変異の発生を低減することで、被ばくにより増えたリスクを一般平均のレベルに戻します。遠い将来の結果を待つ必要はありません。

図 4-2



突然変異でリスクを評価する方法の大きな利点は、図 4-2 に示すように、突然変異の発生には、活性種の発生とそれに対する DNA 防御機能の作動という因子だけが関与しており、がんの発生に見られるような何十年もの間に作用する多数の不明瞭な因子がなく、物質科学的な明確さがあるということです。これは定量的な扱いを可能にする重要なポイントです。これにより、要件 e) が解決できます。

ここからは、日常のがんリスクを低減する方法ではなく、先の要件を満たして日常の突然変異を低減する方法、を見つけることになります。

#### 突然変異の発生を抑制すること

突然変異ができるかどうかは、変異側の作用と DNA 防御側の作用のバランスにより決まりますので、突然変異を低減するには「変異側の作用の低減」または「DNA 防御側の作用の向上」が必要です。しかし、変異側の「悪い」作用の低減では、先に述べたように、効果は悪い生活の対象者や体の特定の組織に限定されます。

一方、DNA 防御は、抗酸化機能、DNA 修復・維持機能、損傷細胞の排除機能で構成されますが、これらはすべての人が備える全身共通の機能なので、DNA 防御の向上により突然変異の発生を低減できれば、上記の要件 a), b) が解決できます。

#### 4-2) DNA 防御を向上させる

しかし、「普通に健全な」人々が DNA 防御能力をさらに高めることなどできるのでしょうか。DNA 防御能力は生活習慣や遺伝的特性により異なるため、人類の正常値というのではなく、一般平均やそれまでの自分との比較になりますが、そもそも被ばくリスクとは一般平均との比較であり、被ばくにより突然変異が一般平均より増えた部分がリスクです。したがって、その後の日常生活で「突然変異を一般平均より減らすことは、リスクを減らすこと」に他なりません。すなわち、防御能力を一般平均より高めることができれば、それが可能になります。

#### DNA 防御を向上させる具体的な方法

DNA 防御に影響する因子としてこれまでに研究対象となっているのは、栄養摂取と運動です。このうち、栄養摂取に関しては豊富なデータがあります。

食品に含まれる DNA 防御効果の高い栄養成分（DNA 防御成分）の摂取により DNA 防御機能が向上し、日常の突然変異の発生が抑制されるという数多くの基礎実験およびヒト調査データがあります。中でも食生活調査データは、試験とは異なり、人々の現実を反映しているため非常に有益です。

一方、運動はデータが少なくメカニズムも不明なため利用できません。

食生活調査データの中には、「一般平均より“はるかに健全な”人々（航空会社パイロット）でさえ、栄養摂取によりさらに DNA 防御機能が向上する」ことを示すデータがあります。このことは、“普通に健全な”私たちなら DNA 防御能力は向上させることが十分に可能であることを示しており、私たちにとって重要なデータです。詳細は後述します（図4-5）。

これで、食品からの特定の栄養摂取により、要件 a), b)を満たし、DNA 防御をさらに向上させて、日常の突然変異を低減することが可能だとわかりました。

### クラスター損傷の抑制

要件の c) のクラスター損傷の抑制についてですが、放射線被ばくでは、複雑なクラスター損傷による突然変異が発生します。これががんに寄与するとすれば、その影響を低減するためには、その後の日常生活で、単に突然変異を低減するのではなく、同様のクラスター損傷による突然変異を低減できなければなりません。

放射線の飛跡に沿って密度の高い電離が発生するのが放射線の特徴です。DNA のクラスター損傷とは、DNA 鎖で複数の損傷が近い位置（数 nm～数十 nm の距離）に同時に発生したものです。修復が難しくなり、突然変異が発生しやすくなります。

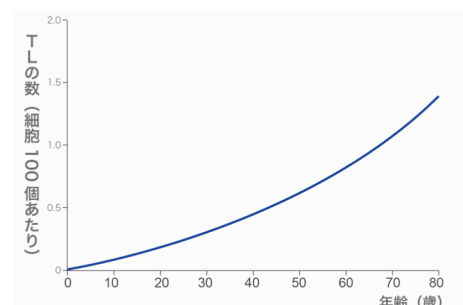
放射線による突然変異の中で、最も修復困難なタイプのクラスター損傷から発生する突然変異の一つは TL（転座）です。

転座（TL:translocation 相互転座）は、二つの DNA 鎖の一部が相互に置き換わったものです。近傍にある 2本の DNA 鎖が切断されるクラスター損傷が発生した際、誤って互いに相手方の染色体切断部位に結合修復した場合に発生します。DNA を凝縮させた状態（染色体）に色付けて検出します。図 4-3 では、赤色と黄色の一部が相互に置き換わっている一対の染色体が検出できます。これで TL 1 個と数えます。

図 4-3



図 4-4

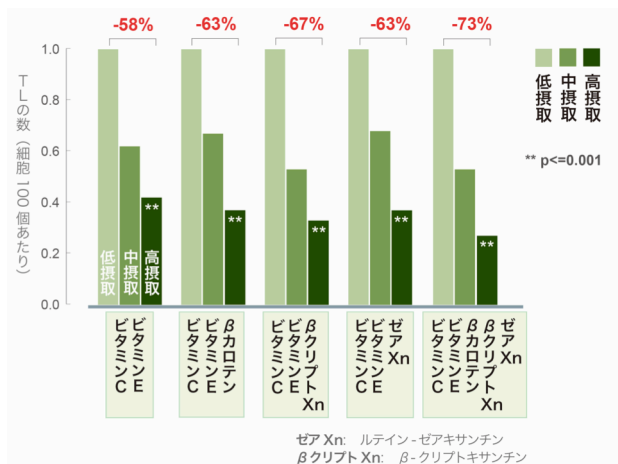


日常で発生する DNA 損傷の多くは単純な損傷ですが、図 4-4 のように、TL は日常ですべての人に検出でき、年齢とともに蓄積して行きます。量は少ないですが、日常生活でも DNA クラスター損傷、そしてその結果として TL が発生していることがわかります。

このタイプの突然変異を防いで低減できれば、被ばくによる影響のほぼ全てをカバーできると考えられます。すなわち、日常の TL 増加を低減することができれば、放射線による突然変異と同じタイプ、同じ危険度の突然変異を日常で低減することになり、要件 c) を満たすことができます。栄養摂取による突然変異の低減効果を測定する指標として TL は理想的と言えます。

では、どのような栄養摂取により、日常で発生する TL を低減できるのでしょうか。

図 4-5



栄養摂取の効果については、調査データから、特定の栄養成分の摂取により日常で発生する TL が低減することが明らかになっています。

図 4-5 は、いろいろな栄養成分の摂取量により TL がどれだけ低減できるかを示したデータの一例です (\*注)。ここでは、酸化成分の作用が示されています。

赤字は低摂取量に対する高摂取量の場合の低減率です。60~70%という大きな低減率が得られることがわかります。さらにこのデータは、厳しい管理のもとで一般平均に

比べてはるかに栄養状態が良く健康なパイロットのデータであり、そのような人々でもさらに防御能力をアップできることもまた示されているのです。低摂取の群が一般平均に近い摂取量です。

(\*注 Yong LC et al. Am. J. Clin. Nutr.90,1402-10,2009)

また、これらの成分を摂取し、その結果を TL を用いて評価する、という方法は、要件 c)、d) を解決できる方法となります。

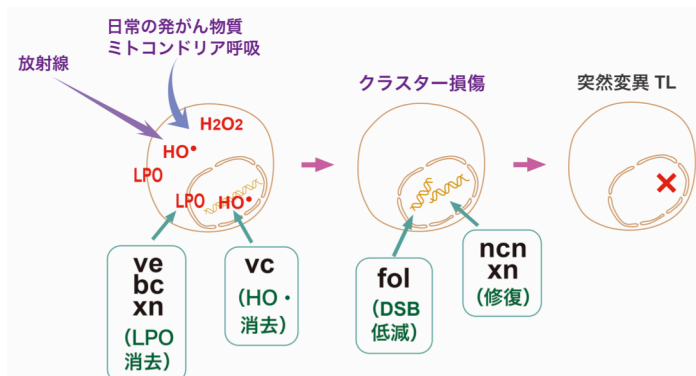
他データとも合わせて、ビタミン C(vc)、ビタミン E(ve)、ベータカロテン(bc)、ベータクリプトキサンチン(xn)、ナイアシン(ncn)、葉酸(fol) を、TL の発生の抑制効果の高い成分として特定することができました。これらを防御成分と呼びます。

これらの防御成分の摂取により、「被ばくにより増加した特有の突然変異と同等の突然変異を、被ばく後の日常で低減する」ことが可能であることがわかりました。さらに、文献データに基づき、利用者の性年齢に応じた防御成分の「DNA 防御に有効な摂取量範囲」を特定しました。この範囲の量を摂取することでリスク低減を確実にこなうことができます。

## 防御成分の作用

これらの成分の作用の詳細は以下のようです。

図 4-6



X線などの低LET放射線の生体作用は、水分子にぶつかり（エネルギーを与え）、電離分解することです。その結果、ヒドロキシルラジカル（ $HO\cdot$ ）などの活性種が発生し、それがDNAに損傷を与え、修復が不十分で突然変異が生じることがあります。

この過程において、以下のような2種類の防御があります。

- 1) 「抗酸化成分」による、ヒドロキシルラジカルや過酸化脂質（LPO）由来の活性酸素種の消去：DNAに対する「攻撃の段階を低減」します。
- 2) 「DNA修復成分」による、放射線特有のクラスター損傷に対する修復：「突然変異の発生の段階を低減」します。

ここで、ビタミンC（vc）はヒドロキシルラジカルの捕捉・消去、ビタミンE（ve）、ベータカロテン（bc）、ベータクリプトキサンチン（xn）は過酸化脂質（LPO）の生成抑制や過酸化脂質由来の活性種の消去を行います。ナイアシン（ncn）とベータクリプトキサンチン（xn）はクラスター損傷に対する修復（塩基除去修復と二本鎖切断修復）に効果があります。また、葉酸（fol）は二本鎖切断の発生の抑制に効果があります。（図4-6）

このように、これらの防御成分は放射線により発生するヒドロキシルラジカルとそしてそれにより生成する過酸化脂質から突然変異 TL の発生に至るまでのすべてのステップで防御的に作用します。

細胞には放射線の作用に対するこのような防御装置が完備されているのですが、これらは放射線のためではありません。通常の細胞では、ミトコンドリア呼吸のほか様々な原因により、ヒドロキシルラジカルや過酸化脂質が日常的に、被ばくとは桁違いに、大量に発生しています。これらの防御成分は、本来日常的に細胞を防御するために備わる機能成分であり、放射線は偶然にも同じヒドロキシルラジカルなどの活性種を発生するためにこの防御が役に立つのです。

以上まとめと、

被ばくリスクの低減方法は、「日常生活において、食品から防御成分 vc, ve, bc, xn, fol, ncn を、一般平均以上、摂取する」

低減効果の評価方法は、「TL を指標として一般平均との比較により、定量的に評価する」

これが結論です。



こうして得られたのは、要件を満たす、CT 被ばくリスクを低減するために特化した方法です。

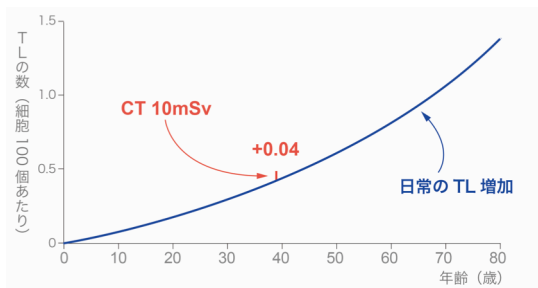
## 5. 低減効果の定量方法

低減方法は明らかになりましたが、それを実行する場合、「実行しているけれど、本当にリスクを低減できているのか、どれくらい低減できているのか」などの疑問が必ず生じます。効果の大きさが量として明確にわからないと、どんな論理も方法も気休め、健康法に過ぎません。定量が必要です。

TL を指標とした定量的な評価方法は以下のようです。

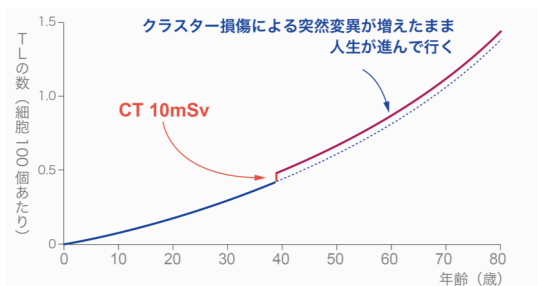
### 5-1) TL を用いた定量と追跡

図 5-1



TL は、被ばく線量の「生物学的ドシメトリー（線量計測法）」の技術として利用されるぐらいに、被ばく線量との間に明確な定量性があるため、被ばくの影響（被ばく線量）は TL の増加として数値で表すことができます。すなわち、被ばく線量を生体の損傷の量として扱うことが可能になるのです。これは、数ある突然変異の中でも、TL だけが有する特別な資質です。そして、損傷の発生はがんリスクの増加と直接関連していますから、被ばく線量をがんという数十年先の遠い将来の不明瞭な結果と結びつける必要はなく、明確な数値で表現出来る、被ばく後数時間以内の目の前の現象に直接結びつけることが可能になるのです。

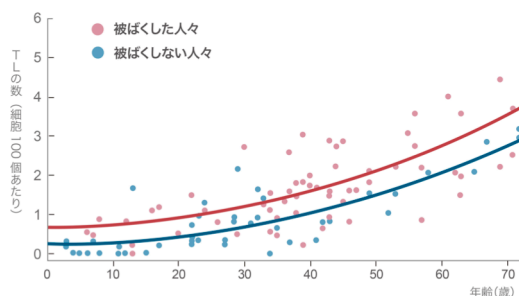
図 5-2



ここで、TL を用いた被ばくリスクの定量方法を述べます。

CTX線 10mSv の被ばくで、TL は 0.04 個（細胞 100 個あたり）増加することが明らかになっています。例えば 40 歳の時点で CT で 10mSv 受けた場合、図 5-1 のように、その時 TL が 0.04 個増加します。このように mSv を TL の個数として扱えるため、被ばく線量を日常の TL の増加にリアルタイムで組み込むことができるのです。

図 5-3



その患者の TL は、照射により 0.04 大きくなります（\*注）。そして、その後（被ばく後）は、これまで通りの日常の増加が続いて行きます。被ばくしても、私たちの生活は変わらないので、同じように増加して行き、図 5-2 の赤色線のように上に平行移動した形になるのです。

このような上へのシフトは、実際の被ばく者のデータでも示されています。

図 5-3 はチェルノブイリ事故などで被ばくした人々の TL の増加を表しています（\*注）。青色、赤色の線はいずれも、それぞれの年齢の人々の TL の平均値を表します。被ばくした人々の TL は、このように被ばくしない人々の TL より大きくなっており、被ばく後はこのように上にシフトした状態で人生を送ることになるという証拠です。この場合の増加幅は平均 200mSv に相当します。

一般には、検査後何もみませんので、図 5-2 のようにその後は上にシフトしたまま人生が進んで（TL が増加して）行くのですが、それは、リスク低減のために何かできることがあるとは知らなかったからにすぎません。

（\*注 TL は全身被ばくの場合の指標ですから、部分被ばくである CT 線量を実効線量に換算して全身への影響として TL と相関付けて、低減を評価することになります。詳細については、p21 参照）

（\*注 Vorobtsova I. et al. Mech. Aging Dev.122,1373-82,2001）

### リスクの低減と消去

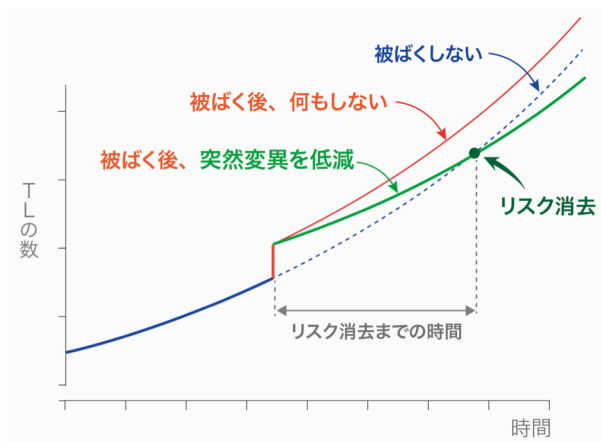
図 5-4 はこのリスク低減方法の全体像です。

「被ばく後、何もしない」（赤色線）場合には、一般平均より上にシフトしたまま、つまりリスクを持ったまま人生が進みます。これがこれまでの被ばくした人々の成り行きでした。

一方、「被ばく後、突然変異を低減」（緑色線）場合には、日常の突然変異（TL）の増加ペースが減少し、何もしない場合（赤色線）から下方に離れて行きます。リスクが少しずつ低減して行くのです。

そして、これを続けると、緑色線は被ばくをしない場合（青色点線）に交わるようになります。すなわち、TL（リスク）が被ばくをしない場合と同じになるということです。これがリスクの消去であり、「被ばくにより、突然変異（リスク）は一時的に高くなったが、その後元に戻った」ということです。さらに、

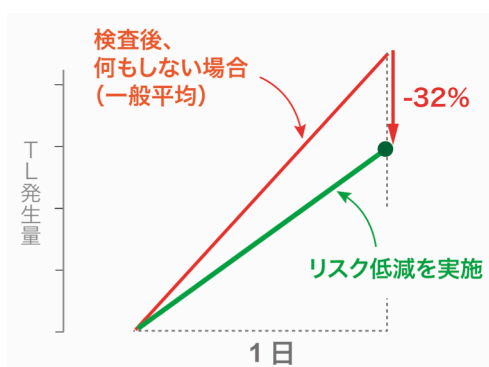
図 5-4



リスク消去までの時間も、緑色線の傾きから予測することが可能になります。

### 5-2) 日常の TL 低減の実施と評価

図 5-5

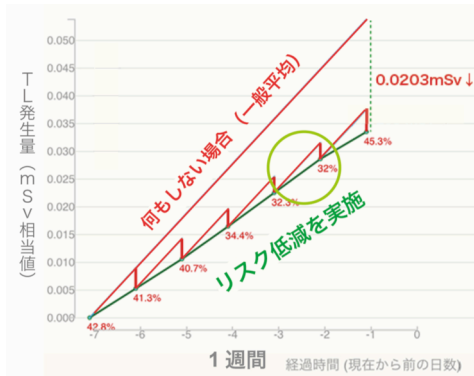


防御成分の摂取により日常の突然変異（TL）を低減するのですが、TL の増加は完全には防げないため、何もしない場合（一般平均）の増加ペースより小さくする、傾きを小さくするという事です。TL は日常的な一般平均の増加プロフィールが明確なので、常にこの一般平均との比較による増減の評価を行うことができます。これにより要件 f) の解決となります。

具体的な低減の定量的評価は以下のように行います。

図 5-5 は、1 日分の低減量の評価です。何もしない場合の 1 日の TL 増加ペース（赤色線）に対して、リスク低減を実施し、防御成分の摂取量から導出した低減率を作用させた場合（緑色線）の図です。何もしない場合より、低減率の分だけ低い（突然変異が少ない）位置にプロットされます（ここでは 32% の低減です）。これが、1 日分のプロットです。そして、翌日はこの低下したプロットの位置から同様に、何もしない場合の増加に対してその日の低減率を作用させた位置にプロットを行います。

図 5-6



このようにしてプロットを続けると、1 週間後には図 5-6 のようなプロットが得られます。上記 1 日分が図中の円で囲んだ部分に相当します。何もしない場合というのは、私たちの通常の日常であり一般平均の増加があります。

リスク低減を実施した場合には、プロット（緑色線）が次第に下の方に離れて行き、一般平均より日常の TL の発生が低減して行くことがわかります。リスクが低減しているのです。

なお、TL は mSv（被ばく線量）に換算することができますので、図 5-6 のように縦軸を mSv 単位で

表示することで、具体的な線量の低減として表示することができます。そして最終的に、低減量が被ばく線量に等しくなれば、被ばくリスクは消去されます。

これらの図表示により、日々の防御成分の摂取による毎日のリスク低減効果及び低減量を知ることができます。

### 5-3) Web アプリケーション

このような定量評価の論理を実用化した web アプリケーションが「リスク低減評価システム」です。利用者が行うことは、毎日の食事内容をスマートフォンや PC で入力するだけです。

利用方法の概要は以下のようです。

利用者が行うことは、毎日の食事内容を入力することだけです。様々な食品リスト、料理リストから選択できます。

マイページでは入力結果やこれまでの成果を様々な内容と形式でグラフ表示します。

防御成分	平均摂取量 (1日あたり)	防御成分スコア	防御効果スコア
ビタミンC (vc)	105 mg		61.5
ビタミンE (ve)	7.42 mg		38.8
βカロテン (bc)	3.51 mg		46.1
βクリプトxin (xn)	165 μg		27.4
葉酸 (fol)	334 μg		74.3
ナイアシン (ncn)	31.08 mg		34.4

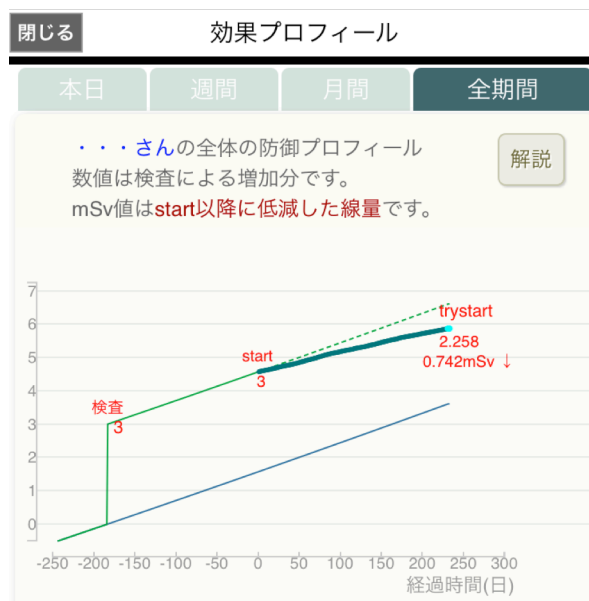
「現在の成果」の数値データ表示例です。様々なパラメータで現在までの成果が表示されます。

最近の低減ペースから、リスク消去までの予測時間も表示されます。

日々の効果の表示例です。被ばくリスクは一般平均との比較であり、低減の評価も一般平均に対して行われます。

日々の低減が1か月累積した結果です。過去1か月間の成果を把握しやすいように、1か月前を起点とした形で、一般平均との比較をしています。

図 5-7



このような毎日の評価を継続して行くと、図 5-7 に示すような全期間のプロフィールが得られます。この図は、検査直後ではなく、検査の 6 か月後からリスク低減の実施をスタートし、実際に評価システムを利用して、食事内容を毎日入力した場合の評価例です。いつからスタートしてもその時点からの低減プロフィールが描かれてゆきます。

この例では、3 mSv の検査被ばくが約 8 ヶ月後の現在には 0.742mSv 低減し、2.258mSv となっています。この低減ペースでは、リスク消去までの時間はあと約 2 年と計算されます。この場合、全期間の平均低減率は 40% であり、可能な最大低減率は 58% なので、さらにスピードアップすることが可能だとわかります。

被ばくリスク低減 Web システムを利用すると、

毎日の食事内容を入力するだけで、このような結果がそのつど表示されます。

毎日の摂取量、それによる低減効果、被ばく線量の低減量、そしてリスク消去の予測などが確認でき、リスク低減を実感することができると思います。

以上、低減効果の定量的な評価方法の概略を述べました。

### (補足) 実効線量への変換とリスクの完全消去

防御成分の摂取により全身の DNA 防御機能を高める方法なので、検査でどの部位に被ばくをしても対応できる、リスクの低減に関しては「確実に低減できる方法」です。

一方、リスクの消去に関しては、全身のリスクは確実に消去できます。しかし、組織によっては被ばく部位のリスクの消去には限界がある場合があります。

CT 検査はほとんどの場合部分被ばくですが、この方法では、被ばく線量は実効線量に換算し、実効線量分のリスクを低減、消去します。

例えば、成人胸部 CT では CTDIvol が 14mGy (組織吸収線量は 15~16mGy)、実効線量 8mSv の場合、8mSv のがんリスクを消去することができます。しかし、照射部位 (胸部) のリスクの低減は 8mGy 相当なので、半分しか低減できません。被ばく部位の組織のリスクを選択的に低減する方法はないため、これは仕方ありません。もっとも、2 倍の時間はかかりますが、実施を続けてこの差をさらに低減し、胸部のリスクも完全消去することは可能です。腹部の場合も同様です。

しかし、頭部の場合には、組織加重係数が小さいため、例えば、実効線量は 5 歳児で 3mSv 前後ですが、吸収線量は 50mGy 程度となり、実効線量のリスク 3mSv が完全に消去できた時点で頭部のリスクは 47mGy 相当が残っています。この量では完全消去は難しいです。この方法が及ばない点と言えるかもしれません。しかし、防御の向上で全身レベルのがんリスクの増加は消去されますので、一般的な意味での被ばくにより増加したがんリスクの消去はできています。

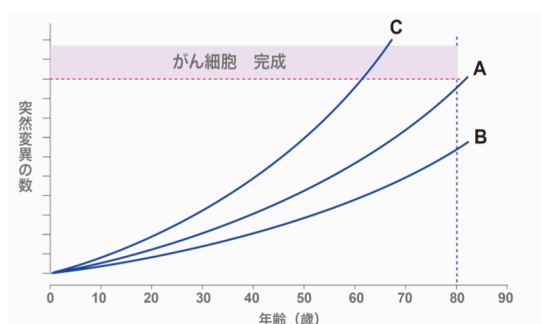
また、数値の上ではこのようになりますが、このリスク低減システムでは、防御成分のみならず、31 種類の標準的な栄養成分の摂取も最大の効果を得られるように管理しますので、単に突然変異の低減だけでなく、例えば免疫機能を始めとする様々な生体機能を良い状態に維持できるため、数値以上の様々な効果が伴うものと考えています。

### (補足) 誰に影響が出るのか

本提案ではリスクは早期に解決するため、将来の事を気にする必要はありませんが、患者に問われた時に「リスクは・・・%とか、・・・人に 1 人」などという残念な返答をしなくていいように確認しておきましょう。

子供が検査を受け、例えば、「1000 人に 1 人の可能性ですから、心配ありません。」と、くじ引きであるかのような返答を聞かされた時、聡明な母親はおそらく「でも、影響の出ない 999 人とその不運な 1 人とは、何が違うのだろう、うちの子がその 1 人にならない保証は？」と考えてしまうでしょう。

図 S-1



一般に「被ばくの影響は誰に出る？」と考えた時、例えば、健康状態の良くない人、がんになりやすい人、DNA 防御の弱い人などが考えられます。そこで、その不運な 1 人は、きっと健康上の問題があるのかもしれない、と考えるかもしれません。

しかし意外にも、影響が出るのは、特に問題のない

普通の平均的な人、というのが答えです。

ここで、影響が出るという意味は、単にがんになるというのではなく、被ばくしなければがんにならないで済んだのに、被ばくのせいでがんになる、という意味です。

図 S-2

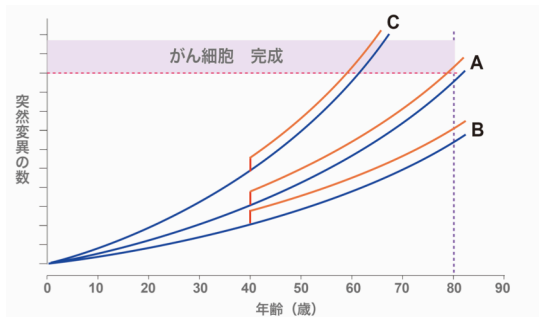
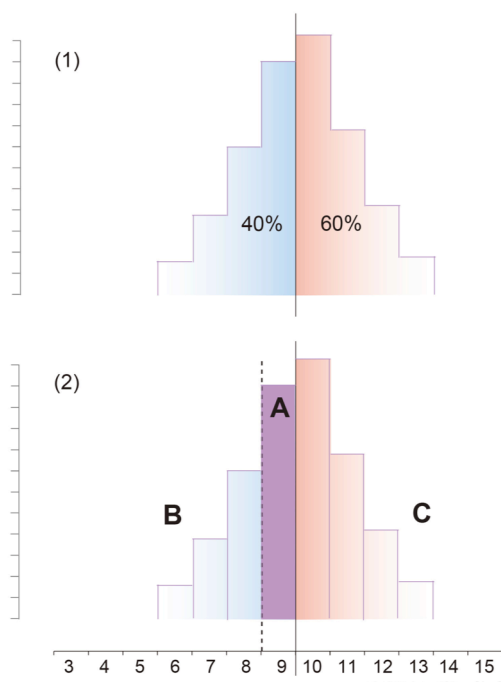


図 S-3



の追加なので、図 S-3(2)の9個の集団 A 中の誰かにその影響が出ることになります。すなわち、意外にも「一番普通で平均的な、被ばくしなければぎりぎりセーフの多くの人」の中の誰かに

図 S-4

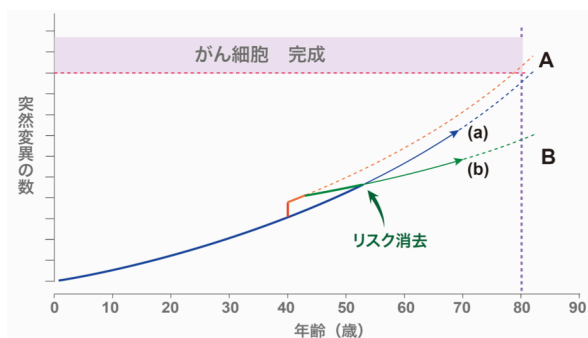


図 S-1 は、**A B C** の3人の生涯の突然変異の増加プロフィールです。10個になれば、がんが完成します。**C** は60歳の頃にすでがんになってしまいましたが、**B** は80歳を超えても余裕があります。Aは80歳時では、がんにはなっていませんが、余裕はありません。この中で、私たちが考える被ばく影響が出やすい人は、おそらく**C**です。

さて、この3人が40歳時に被ばくをすると、図 S-2 のようになります。この中で、「被ばくしなければがんにならなかったはずなのに、被ばくのせいでがんになる」という人は？

**C** は被ばくしなくてもがんになるので、被ばくの影響はありません。**B** は余裕があるので、被ばくしても影響にはなりません。被ばくの影響が出る人は**A**です。

では、**A** は特別な人でしょうか。

2017年には、男性65%、女性53%ががんになりました。がんになる突然変異数を10個として、80歳時点の突然変異の発生数の分布を推測すると、大まかには図 S-3(1)のようになるでしょう。縦軸は人数です。

これを見て分かるのは、私たちの多くは晩年にはがんになるかどうかの瀬戸際に居るとというのが現実のようです。

ここで、9個の人は、あと1個増えるとがんになります。そして、被ばく影響は最悪1個の突然変異

に影響が出るのです。

つまり、うちの子は健康に問題がない平均的な普通の子供なので滅多なことは起こらないだろう、とは言えないのです。もちろん、将来ぎりぎりセーフの位置になるかどうか誰にもわかりません。そこで、唯一の解決方法は、本提案のように被ばくリスクを消去しておくことです。それで被ばくの影響の心配は無くなり

ます。しかし、それは将来がんにならないという意味ではありません。

一般のがんリスクの低減は、本提案の範囲外ですが、被ばくであれ日常であれ、リスクは突然変異により生じることは共通ですから、本提案の方法は日常がんのリスクを低減する有効な方法でもあるのです。

さて、図 S-4 被ばくリスク消去の後、元の一般平均の生活に戻っても結構ですが、その場合(a)を進み、ぎりぎりセーフの位置に着くかもしれません。この位置は危険で、ちょっとしたことで簡単に1個増えてしまう可能性があります。何しろ生涯絶え間なく DNA への攻撃を受け続けるのですから。

一方、リスク低減の努力をその後も続けて(b)を進むなら、将来は **B** の位置に着けるかもしれません。このような方向に進むなら、将来の余裕も生まれ、またその間に上で述べた被ばくした組織そのもののリスクも除去できるでしょう。



## 7. **病院での実現方法の試案**

### 1) 診療放射線技師の役割と新しい可能性

#### 診療放射線技師の価値を示す機会

この被ばくリスクの低減・消去方法を実際におこなうのは被ばくした患者や相談者本人です。

そこで、まずこのリスク低減方法を患者（相談者）に伝える必要があります。そして、このしくみの理解や患者が自分で実施できるための手助けが必要になります。それを、ここでは仮に「被ばくリスク低減ケア」と呼びますが、これらのことが唯一可能なのは、被ばく相談で患者に接する診療放射線技師です。

現在の被ばく相談は、善意と責任感によるボランティア的な活動であり、労の多い割には社会的な認知と評価は得られていません。この認知と評価には社会（人々）と直接に接して、価値を実感されることが不可欠ですが、被ばく相談は、患者や相談者という社会と直接に接する機会であり、実は診療放射線技師の価値を示すことのできる貴重な機会ではないでしょうか。

また、被ばくリスクの低減は、医師のインフォームドコンセントの補足的な説明ではなく、診療放射線技師の独自の活動です。これにより被ばく相談は、医師のフォローではなく、診療放射線技師の専門的な活動として社会で認知され、独自の価値となります。

#### 被ばくリスク低減の専門家

被ばく相談でおこなうアドバイスや指導は、検査被ばくによる損傷と同じ損傷・突然変異を日常生活の中で低減するのが目的です。したがって、摂取するように薦める成分は、単なる抗酸化成分や DNA 修復に有効な成分ではなく、検査放射線により発生した DNA クラスタ損傷と同じタイプの損傷とそれから生じる突然変異を日常の中で低減する効果が示された食品や成分です。

例えば、緑の葉物やアブラナ科の野菜や柑橘類は、一般的な健康促進のためでなく、DNA クラスタ損傷に対する防御効果が示されている食品です。vc,ve,bc,xn の摂取は、一見ありふれた抗酸化成分ですが、これらはヒトの調査データにより日常で発生するクラスタ損傷からできる突然変異や染色体異常を抑制することが明らかになった成分なのです。また、ncn,xn は日常の通常の損傷とともにクラスタ損傷の修復機能を活性化することが示された成分であり、fol はクラスタ損傷の元となる DNA 二本鎖切断の発生を抑制する効果がある成分なのです。さらにこの6種類の成分は摂取量と防御効果の間に定量的な相関があることが示されているのです。この定量性がなければ低減効果の定量的な評価ができません。

このように、ここでアドバイスする食品や成分は CT 検査被ばくによる損傷の増加分を日常生活で低減することに特化したものなのです。

そして、リンパ球 TL を突然変異の指標として用いることで、環境の異なる様々な組織の幹細胞で被ばくにより増加した損傷を日常生活から定量的に低減することが可能になり、CT 検査のような部分被ばくの場合でもリンパ球 TL をマーカーとして被ばく組織の細胞のリスクを評価できるのです。

「被ばくリスク低減ケア」においては、すべてに新しい知見や捉え方と論理の特別な意味があります。したがって、「被ばくリスク低減ケア」をおこなう診療放射線技師は、最新の発がんメカニズムと低放射線の生物学的作用、そして DNA 防御機能に関する専門レベルの知識と理解を備え、このリスク低減がなぜ可能なのかをわかりやすく説明できる専門家である必要があります。「被ばくリスク低減」という新しい学術的な分野の専門家です。そして、それが可能なのは、医療の中では診療放射線技師だけな

のです。

医療はこれからも常に被ばくリスクの生じる場ですので、この新しい分野の専門家が必要です。それも、必要とする人々は膨大な数ですから相当数の専門家が必要です。

専門家として身につけた実力を発揮する場は常に目の前にありますので、努力は十分に報われるでしょう。全国に何千万人という人々が検査被ばく、特に CT による被ばくの影響に不安を抱いています。そして毎年 3000 万人ずつ増えています。子供も年 100 万人で、その母親は、必要な検査だったと思いつつも不安は消えません。これから将来にわたりこうした人々が日々生み出されて行きます。この人々を救うことができるのは診療放射線技師だけなのです。

## 2) 具体的な実現方法の案 --- 「被ばくリスク低減ケア案」

本提案の被ばくリスク低減方法は、

「被ばく後の生活で、防御成分（ビタミン C、ビタミン E、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチン、ナイアシン、葉酸）を、最大の DNA 防御能力を得るために必要な量、食品から摂取しましょう。」と患者にアドバイスすることです。

しかし、被ばく相談でこの内容を提案することはできないでしょう。理由は、現状では病院がリスクやリスク低減というテーマを受け入れることはないためです。そこで、病院で無理なくできる範囲でおこなう必要があります。

以下では、病院における相談員の基本的な進め方を考えてみました。

### 被ばく相談の進め方

被ばくリスクの低減のために実践することは食生活の改善であり、生活指導、栄養指導の形が自然ですが、現状の被ばく相談ではこれらの指導はありません。そこで、被ばく相談において、自然の流れで話が進んだ結果という形で「生活指導、栄養指導する機会を作ること」が最初のステップとなります。

通常の相談（誤解や疑問の解消、線量やリスクの大きさの説明など）の後で、可能な場合に限り、オプションとして生活指導または栄養指導を加えることとなります。具体的には、通常の相談の後、（「リスクはない」という病院の方針の場合）

「リスクはないと考えていいのですが、もし少しでも気がかりなら」

（「リスクは小さい」という病院の方針の場合）

「リスクは小さいので問題にならないのですが、もし少しでも気がかりなら」

などと、水を向けてはどうでしょうか。

そして、

「もし少しでも気がかりなら、（・・・）をしてください。これにより、被ばくリスクをさらに小さくすることが可能です。そうすれば、もっと将来の影響が出にくくなります。」

とアドバイスします。（・・・）には、以下の「アドバイス内容」のうちのいずれか、病院環境だけで可能なもの、を当てはめます。

### アドバイス内容

従来の許容される相談の文脈（がんになりにくい生活の勧め）から外れない範囲で、下記のように、アドバイスを段階的に分割しました。

- レベル1) 「突然変異ができてにくい生活、がんになりにくい生活をしてください」(常識レベル)
- レベル2-1) 「緑黄色野菜や果物をよく食べるようにしてください」(常識レベル)
- レベル2-2) 「野菜(緑の葉物、アブラナ科、高ビタミンC含有)や果物(柑橘類、高ビタミンC含有)をよく食べるようにしてください」
- レベル3) 「ビタミンC、ビタミンE、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチンを多く含む食品を食べるようにしてください」
- レベル4) 「ビタミンC、ビタミンE、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチンを、有効範囲の量を摂取するようにしてください。」
- レベル5) 「ビタミンC、ビタミンE、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチン、ナイアシン、葉酸を、有効範囲の量を摂取するようにしてください。」
- ここまでが、ICRPの見解の範囲または常識的な範囲-----
- レベル6) 「被ばくりスク低減評価 Web システムをご利用ください。」

#### アドバイス内容の全体像

DNA 防御のための、大まかな緩いアドバイスから、的確で効果的なアドバイスへと並べています。

レベル1)～レベル3)は、「何をすればいいのか」をアドバイスします。1日の摂取量範囲は示しません。内容自体は一般的な健康管理、栄養管理の勧めであり、病院での摩擦も小さいかと思えます。

レベル4)5)では、「何を、どれくらい摂取すればいいのか」を具体的にアドバイスします。相談者の性年齢に合わせた1日に必要な摂取量範囲を示すことができますが、これらは一般的な栄養管理の勧めは超えているでしょう。しかし、レベル5)までが「ICRPの見解の範囲」(パラグラフ(77)「禁煙や食習慣の改善などの、ヒトの健康を促進する行為」)と見ることができると思えます。

ICRPはがんリスクを低減できればいい、という程度のことを述べているにすぎないのですが、文字通りに解釈するとすれば、レベル4)5)の成分には、ヒトの健康を促進する効果がある(膨大なデータがあります)ので、これらの成分を含む食品を摂取するように食習慣を改善することは、まさに「食習慣の改善などの、ヒトの健康を促進する行為」に他なりません。したがって、レベル5)までは、「ICRPの見解の範囲」であると考えていいと思えます。

問題があるとすれば、レベル4)5)で相談者に応じた摂取量範囲を提示することです。ICRPの緩い大まかな表現を超えています。そこで、摂取量のアドバイスは、相談者からの要請があった場合に提示するようにした方がいいのかも知れません。

レベル6)では、被ばくりスク低減評価 Web システムを利用することで、日々の摂取量、防御効果、リスクの低減量など、利用者の知りたいことがすべてわかります。しかし、これは独自に開発されたものですから、ICRPの見解や常識の範囲外です。したがって、相談者が希望する場合だけ、これを案内することにすればいいと思えます。

### アドバイス内容の詳細な実施例

#### レベル1)

「被ばくリスクを低減するために、突然変異ができていくい生活を送るようにしてください。」とアドバイスします。これは常識的な「がんになりにくい生活＝突然変異ができていくい生活」のアドバイスです。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は5 mSv です。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。それは、突然変異ができていくい生活を送ることです。具体的には、あなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減し、緑黄色野菜と果物の十分な摂取、定期的な運動でDNA 防御を高めることができます。これらにより被ばくリスクを小さくすることが可能です。」

(質問と対処例)

「具体的にどうすればいいのですか？」→リスト参照(例えば、禁煙、純エタノール 23g/日未満、BMI25 以下、緑黄色野菜 150g/日以上、果物 150g/日以上、塩分 8g/日以下・・・)

「いつまで続けられればいいのですか？」→わかりません

「リスクの低減は確認できますか？」→できません

#### レベル2-1)

「被ばくリスクを低減するために、緑黄色野菜と果物を多く摂取してください。」とアドバイスします。

「がんになりにくい生活」の中の1項目である食生活(緑黄色野菜と果物の摂取)の部分に注目したという文脈です。緑黄色野菜と果物の抗がん作用はほぼ確立されていますので、「緑黄色野菜と果物の摂取」をアドバイスすることは、一般常識からも問題ないと思います。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は5 mSv です。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。緑黄色野菜と果物の十分な摂取でDNA 防御を高め、被ばくリスクを小さくすることが可能です。」

「(補足)さらにあなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減することも大切です。」

(質問と対処例)

「どれくらいの量を食べれば？」→緑黄色野菜 150g/日以上、果物 150g/日以上

「いつまで続けられればいいのですか？」→わかりません

「本当にリスクが低減できているかわかりますか？」→わかりません

#### レベル2-2)

「被ばくリスクを低減するために、緑黄色野菜と果物を多く摂取してください。」とアドバイスします。

そして、レベル2-1)の「緑黄色野菜と果物」をさらに具体的に表現します。これらはいずれも一般に体に良いものとして知られているものです。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は5 mSv です。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。野菜(特に、高ビタミンC含有野菜、緑の葉物、アブラナ科)と果物(特に、高ビタミンC含有果物、柑橘類)の十分な摂取でDNA 防御を高め、被ばくリスクを小さくすることが可能です。」

「(補足)さらにあなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減することも大切です。」

(質問と対処例)

「どんな野菜や果物を食べればいいのですか？」→リストを示す。

「どれくらいの量を食べれば？」→緑黄色野菜 150g/日以上、果物 150g/日以上

「いつまで続ければいいのですか？」→わかりません

「本当にリスクが低減できているかわかりますか？」→わかりません

レベル3)

「被ばくリスクを低減するために、ビタミン C (vc)、ビタミン E (ve)、ベータカロテン (bc)、ベータクリプトキサンチン (xn) を多く含む食品を摂取してください。」とアドバイスします。

緑黄色野菜と果物に含まれる抗酸化物質中でも、これらが特に DNA 防御に効果が高いことが示されています。抗酸化物質を摂取しましょうという程度の常識的な栄養指導です。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は 5 mSv です。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。

これらの抗酸化物質を多く含む食品の摂取で DNA 防御を高めることができます。これにより被ばくリスクを小さくすることが可能です。」

「(補足) さらにあなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減することも大切です。」

(質問と対処例)

「どれくらいの量を摂取すればいいのですか？」→摂取量の提示が可能ならレベル4) へ

「いつまで続ければいいのですか？」→わかりません

「どれくらい低減しているかわかりますか？」→わかりません

レベル4)

レベル3) に加えて、摂取量範囲を示します。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は 5 mSv です。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。

抗酸化物質、特にビタミン C、ビタミン E、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチンを多く含む食品を、あなたの場合 vc: ~ mg、ve: ~ mg、bc: ~  $\mu$ g、xn: ~  $\mu$ g/日、の範囲で摂取してください。これらにより DNA 防御を高め、被ばくリスクを小さくすることが可能です。」(\*個人の摂取量範囲は、専用アプリで算出します。)

「(補足) さらにあなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減することも大切です。」

(質問と対処例)

「成分が多いのはどんな食品？」→一般の食品成分表、食品成分ランキング表

「自分の実際の摂取量はどうすればわかる？」→食品成分表、食品成分アプリなどを使用

「いつまで続ければいいのですか？」→わかりません。

「どれくらい低減しているかわかりますか？」→わかりません。

以下では DNA 修復・維持成分を含めますが、これは一般常識の中にはありませんので、可能な場合だけ、以下のアドバイスを行います。

レベル5)

レベル4) に加えて、DNA 防御成分とその摂取量範囲を示します。

(アドバイス例)

「検査の被ばく線量は5 mSvです。自分の力でこのリスクを小さくすることができます。  
抗酸化物質のビタミンC、ビタミンE、ベータカロテン、ベータクリプトキサンチン、そしてDNA修復を向上させるナイアシン、葉酸、レチノール、カルシウムを多く含む食品を、あなたの場合、vc：～mg、ve：～mg、bc：～μg、xn：～μg、fol：～μg、ncn：～μg/日、の範囲で摂取してください。これらによりDNA防御を高め、被ばくリスクを小さくすることが可能です。」

「(補足) さらにあなたの場合、節酒、肥満の解消で発がん物質を低減することも大切です。」

(質問と対処例)

「多いのはどんな食品？」→一般の食品成分表に記載。食品成分ランキング表。

「自分の実際の摂取量はどうすればわかる？」→摂取量アプリなどを使用

「いつまで続けなければいいのですか？」→わかりません。

「実際にどれくらいリスクが低減できているかわかりますか？」→わかりません。

レベル6)

「被ばくリスク低減評価 Web システムを利用して、本格的に被ばくリスクの低減を実現できます。」とアドバイスします。

上記レベル5) まですべて「本当に低減できているか?」「いつまで続けなければいいのか?」という疑問に対して、わからないという返答になります。

現実の食生活での摂取量は日々変動しますので、実際の摂取量がわからないと実際の効果や成果を算出できません。そして、成果が見えないとモチベーションの維持は難しく、さらにゴールが見えないといずれうやむやになります。したがって、レベル5まで実施する人の多くは、遅かれ早かれこのシステムの利用を希望するようになると思われませんが、その場合、次のように対応します。

相談者の質問や要望に対して、リストやアプリ、システムを紹介することになる場合、はっきりと答えることができればいいですが、答えられない場合には、

1) 「日本低放射線協会ホームページに詳しい内容が掲載されています。」または、「協会ホームページに詳しい内容が掲載されているようですから、アクセスしてみてもは?」と答える。

2) (協会ホームページに言及できない場合)

「インターネットを検索してみてもは?」「インターネットで見つかるかもしれません。」「被ばくリスク低減評価システム」というキーワードで検索してみてもは?」と答える。

不十分ながらも、情報を提供し、相談者にはリスク低減のチャンスを与えることができます。

以上、アドバイスの実施例を示しました。

### 3) その他の可能性

#### 栄養指導を増やすために

現状では、被ばく相談を提供していない病院施設も多く、院内での周知もほとんどありません。また、相談はほとんどがメールにより行われます。そのため実際に利用する人は少ないと思われます。患者や相談者の不安とリスクを低減して救うという活躍をするには、敷居を低くして、より多くの患者に相談を利用してもらい、このリスク低減の情報を与える機会を増やす必要があります。その可能性の一つが、

「検査終了時の患者への声がけと案内」です。診療放射線技師が直接に患者に案内できるのは、検査終了時に患者に対面する場に限定されると思いますので、その時に一言簡単に声をかけます。

病院により、「被ばく」「影響」は言うに及ばず、「不安」「気がかりなこと」などの言葉も、患者に被ばく影響を意識させるので禁句という場合もあるでしょうから、以下のような表現のうち可能なものを選んで案内します。

- 1) 「相談をお受けしていますので、何なりとどうぞ。」
- 2) 「検査についてご質問ありませんか？相談をお受けしていますので、何なりとどうぞ。」
- 3) 「何か気になることや不安なことはありませんか？相談をお受けしていますので、どうぞ。」
- 4) 「検査内容や影響、何でも構いません。相談をお受けしていますので、何なりとどうぞ。」

#### 現実に行えること

被ばく相談は、病院にとって営業メリットがないため、避ける傾向にあります。相談員にとっても、労の多いボランティアになります。これまで被ばく相談は、誰にとっても本当のメリットがなかったせいです。患者にとっても、誤解や疑問の解消などで不安は小さくなりますが、リスクそのものには触れることができないため、実質的なメリットとは言えません。

被ばくリスクを確実に低減することができるのなら、患者はリスク及び不安が本当に軽減されるという大きなメリットがあります。このことは、担当する被ばく相談員の努力を实らせ、大きな評価が与えられます。それは同時に病院のメリットとなります。しかし、そのような良い循環が生まれるのは先のこと、現在は患者に伝える手段もほとんどありません。

もし可能なら、上述の声がけの際に、一言「被ばく影響が出ないようにできますよ。」と付け加えるだけでも違うでしょう。

しかし、被ばく相談はメールで行われます。病院ホームページに掲載の相談窓口が唯一の入り口ですが、掲載のない病院も多く、被ばく問題に後ろ向きの病院は多いようです。一般の患者にとって敷居が高いでしょう。たとえ声がけで患者に案内できたとしても、実際に病院ホームページに相談に訪れる患者はかなり少数でしょう。

そこで、病院の被ばく相談への案内とともに、「このサイトにリスク低減の詳しい情報があります。」と、一般サイト（日本低放射線協会サイト）への案内もおこなえば、サイトでは詳細をオンライン動画などで伝えることができますので、本当に実現したいと思う患者も増えるでしょう。そして病院の被ばく相談に訪れるようになるかも知れません。

そもそもリスク低減をメールのやり取りで説明するのは不可能に近いので、もしこのような案内が可能なら、これは現実性がある方法の一つだと思います。

こうして訪れた相談者の場合もメールによるやり取りになりますが、その場合相談内容はリスク低減に限定されるため、相談内容の詳細な特定は全て選択式で進めることができます。対する相談員の応答や可能なレベルに応じたアドバイスも、相談者の性年齢、被ばく部位、被ばく線量などの個人情報を入力するだけで作成できる雛形を準備できるでしょう。

IT 技術を利用することで、相談員が通常業務の合間に行う被ばく相談の負担を極力軽減できるシステムは構築可能です。