

事故後を生き抜くための放射線知識

独立行政法人放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター チームリーダー 今岡 達彦

1. はじめに

福島原発事故によって広範囲の放射能汚染が起これ、日本中が不安に巻き込まれている。放射線については高校理科で多少扱うものの、新聞、インターネット、週刊誌にあふれる情報の意味や正否を生徒が判断するには不十分だ。本稿では、放射線に関する基礎知識と健康への影響について解説したい。先生方の授業のヒントも提供できれば幸いである。

2. 事故に関係する主な放射性物質と放射線

今回の事故では、原子炉のウランが分裂してできる放射性ヨウ素、セシウム、ストロンチウムが主な問題だ。これらはまず雲のようなかたまりとなって2011年3月15日頃の放射線量の一時的な上昇をもたらした。その後、3月21日頃の雨によって降下し、地表に留まって各地の放射線量を高止まりさせた。

放射性物質は不安定な原子核を持っており、 α 線(陽子2個と中性子2個)、 β 線(電子)、 γ 線(電磁波)などの放射線を出しつつ、安定な原子核になっていく。たとえばヨウ素131の原子核(陽子53個と中性子78個)は β 線と γ 線を出して、安定なキセノン原子核(陽子54個と中性子77個)に変わる。セシウム134、137は β 線と γ 線を出してバリウムとなる。これらの γ 線が持つエネルギーは各原子核に特徴的なので、特殊な機械で γ 線を分析すると、放射性ヨウ素やセシウムがどれだけあるかわかる。ストロンチウム89、90は β 線を1回あるいは2回

表1 いろいろな放射性物質

原子核	ヨウ素131	セシウム134	セシウム137	ストロンチウム89	ストロンチウム90
出てくる放射線	β, γ	β, γ	β, γ	β	β
放射線の半減期	約8日	約2年	約30年	約51日	約29年
残留する臓器	甲状腺	全身	全身	骨	骨
経口摂取の実効線量係数(ICRP Publication 72より。単位: $\mu\text{Sv/Bq}$)					
乳児(0~1歳)	0.18	0.026	0.021	0.036	0.23
幼児(1~2歳)	0.18	0.016	0.012	0.018	0.073
子供(3~7歳)	0.10	0.013	0.0096	0.0089	0.047
小学生(8~12歳)	0.052	0.014	0.010	0.0058	0.060
中学生(13~17歳)	0.034	0.019	0.013	0.0040	0.080
成人(18歳~)	0.022	0.019	0.013	0.0026	0.028

出して安定になるが、 γ 線を出さないため、分析が難しい。ストロンチウムの検査結果が遅れて出てくるのは、そのためだ。

放射線は電荷が少なくエネルギーが大きいほど、ものを通り抜けやすい。 α 線は空気中では数cm、人体中では数十 μm までしか進めない。 β 線は空気中で数m、人体中では数mmまで進む。 γ 線は電荷がないのでかなり遠距離まで届く。

ちなみに、自然界に存在するカリウム40も β 線や γ 線を出す。「自然のものだから悪くない」と誤解してはいけない。理科室に塩化カリウムの試薬瓶があれば、性能のよいガイガーカウンターならわかるくらいの放射線が出ているだろう。

3. 放射能の単位と半減期

Bq は放射能の単位だ。放射線を出す変化が1秒当たりに1回起きるときの放射能を1 Bq という。塩化カリウム500gの試薬瓶中には約8,000 Bq の、体重60kgの人体には約4,000 Bq のカリウム40がある。

原子核からの放射線は確率論的に出てくる。クラス全員が先生とジャンケンして勝ち続ける人数と同じく、放射性物質も指数関数的に減る。半分になるまでの時間が半減期だ。ヨウ素131の半減期は約8日なので、100 Bq のヨウ素131を含む水道水を8日間保存すると50 Bq に減る。表1に主な放射性物質の半減期を挙げた。

4. 放射線の量の単位

1m, 1kg, 1 $^{\circ}\text{C}$ の大きさは誰でも感覚を持っているが、1 Sv , 1 mSv とはどれくらいなのか。

放射線が物質1kgに与えるエネルギーが1Jであることを1 Gy というが、体への影響は同じ1 Gy でも α 線の方が β 線や γ 線より強い。 α 線は物質中で急激に止まり、エネルギーも集中して与えられるためだ。その違いがわかるよう細工したのが「等価線量」で、 Sv で表す。たとえばある臓器に α 線、 β 線、 γ 線が各0.1 Gy ずつ吸収された場合、 α 線は20倍して2 Sv 、 β 線と γ 線はそのまま各0.1 Sv 、合計2.2 Sv という具合だ。

さらに、たとえば大腸と皮膚では、同じ等価線量を受けた場合でも、将来の致死ながんのリスクが違う。そこで大腸なら0.12倍、皮膚なら0.01倍などの係数を掛けて調整する。大腸に0.1 Sv 、皮膚に1 Sv を受けた場合なら、合計は $0.1 \times 0.12 + 1 \times 0.01 = 0.022\text{Sv}$ だ。こうして臓器の違いを考えて全身の影響を表すように細工したのが「実効線量」で、よく見聞きする Sv は多くがこれだ。

等価線量と実効線量はどちらも単位が Sv なので混同しやすい。実効線量は全身の被ばくを表すので、「甲状腺に50 mSv 」と言ったら等価線量だ。

自然界には、宇宙からやってくる放射線や、地球ができたときからの放射性物質などがあり、日本人は平均で年間1.5 mSv 、世界平均だと2.4 mSv を受けている。宇宙や大地から受ける量には地域差があり、岐阜県では神奈川県より年間0.4 mSv も多い。

5. 外部被ばく

体外で発生した放射線に当たることを外部被ばく、体内で発生した放射線に当たることを内部被ばくと呼ぶ。現在の外部被ばくのほとんどの原因は、土に付いたセシウムからの γ 線だ。各自治体が発表する空間線量率(単位時間当たりの線量)に滞在時間を掛ければ、外部被ばくの実効線量もだいたい予想できる。ただし、ここには大地などからの自然放射線も含まれている。事故前の空間線量率¹⁾の平均値などの情報があれば、それを差し引いてから計算したい。また、屋内では壁などにさえぎられるため線量が低い。低減を考慮した外部被ばくの推定の仕方を図1に示した。

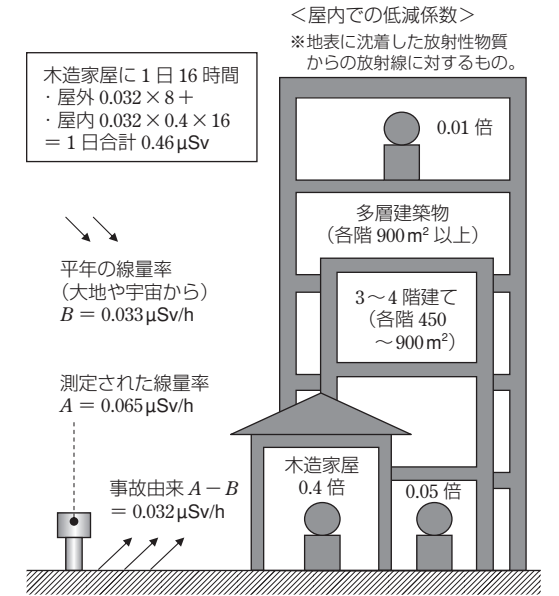


図1 事故由来の外部被ばく線量

外部被ばくを減らすには、放射線が多いとわかっている場所に不必要に行かないことだ。また、放射線の測定器が出回るようになってきているが、放射線を測るのは巻尺で長さを測るのとは異なり、性能のよい測定器と専門知識が必要だ。現状では個人で測定せざるを得ない面も否定しないが、数値に不確定要素があることを忘れずにおきたい。

6. 内部被ばく

放射性物質が農産物や飲料水を通して体内に入ると、内部被ばくの原因となる。吸い込んだ土ほこりや傷口からも多少入る可能性がある。口に入った場合、その一部が腸管から吸収されるが、ヨウ素なら甲状腺、セシウムなら全身の組織、ストロンチウムは骨といった具合に、元素ごとに残留しやすい臓器・組織がある(表1)。半減期の短いヨウ素131は1か月も経てばほぼなくなる。セシウムは体外排出により1年で約10分の1になる。骨に入るストロンチウムはごく一部だが、排出されにくい。いずれにしても、内部被ばくの量は時とともに減る。

このように体内での特殊な動きや時間変化のため、内部被ばくで受ける放射線の量を Sv で表したくても、簡単にはわからない。そこで体内の動きの研究が多く行われて、将来にわたって受ける放射線量も予想がつくようになった。たとえば大人がセシウム

137を1Bq口にすると、その後50年間の内部被ばくの累積量は0.013 μ Svである。この累積量を「預託実効線量」と呼ぶ。新聞などで「～mSvの内部被ばくが判明」などと言っているのはこれである。この量を体が一気に受けるのではないことに注意したい。なお、子供の場合は70歳までに受ける累積を預託実効線量とする。

現在、各自治体等が食品中の放射能濃度を検査している。上記の0.013を使うと、たとえば大人がセシウム137濃度50Bq/kgの肉0.5kgを食べた時の預託実効線量は0.013 μ Sv/Bq \times 50Bq/kg \times 0.5kg=0.325 μ Svだ。この0.013 μ Sv/Bqをセシウム137経口摂取の実効線量係数と呼ぶ。様々な物質の経口摂取に関する実効線量係数を、中高生を含めた年齢別に表1に示した。

厚生労働省のホームページに食品検査結果の一覧がある。自分の各品目の摂取量と、食材の何割がこれらの地域から出荷されたかをもとに、上記の実効線量係数を使って、内部被ばくの量を試算できるだろう。ストロンチウムの検査結果はほとんどないが、セシウムとストロンチウムの比率は似ていると考えられるため、直近に測定された数値の比率を使って試算してもよいだろう。

なお、食品、水、土壌などの放射能濃度の測定には、ゲルマニウム半導体検出器という装置がよく用いられるが、これは γ 線のエネルギーと量を分析して各原子核の量を判断するものである。ガイガーカウンターでは測定できない。

7. 人体へのいろいろな影響

病気を宣告して治療法を教えないのは残酷だ。同じように、外部被ばくの実効線量と内部被ばくの預託実効線量を合計すると、生徒たちが自分の被ばく量を試算できる。被ばく量を宣告されてその影響がわからなければ不安になる。

放射線は細胞のDNAに化学変化を起こすが、その変化が大きすぎると細胞は死んでしまう。これは細胞が活発に増えている部位(皮膚、毛根、精巣、腸管、骨髄、胎児の体など)で顕著だ。一定量以上の細胞が死ぬと、皮膚の腫れ、やけど、脱毛、不妊、腸や血液の障害、胎児の発達障害などが起こる。放射線が多いほど症状も重い。しかし一定量の細胞が残っていれば無症状だ。このように、一定量(=し

きい値)以上の放射線によって決まって生じる影響を「確定的影響」と呼ぶ。しきい値は、もっとも低い男性の一時不妊でも精巣での100mSvであり、100mSv以下では確定的影響は現れない。

実は細胞も無防備ではなく、DNAに生じた変化を修復できる。修復できた細胞は生き続けるが、まれには修復を誤ってDNA上の情報が変質する(突然変異)。突然変異は、被ばくした本人の将来のがん、あるいは将来できる子供の遺伝病の原因になる可能性がある。これはあくまで可能性で、何も起きない可能性もある。理論上はどんなに少ない放射線によっても低い確率で生じる可能性があり、放射線が多いほど確率が高い。このようなタイプの影響を「確率的影響」と呼ぶ。ただし放射線被ばくに伴ってその後生まれた子供の遺伝病が増えたという現象は、人間では確認されていない。

今回の原発事故では、復旧作業中に原発内で高線量被ばくされた一部の方を除き、確定的影響のしきい値を超える被ばくはないと思われる。気になるのは、少ない放射線でも起こりうる確率的影響、それも将来のがんリスクだ。

8. 放射線による将来のがんリスク

日本人のおよそ5人に1人ががんで亡くなる。すなわち、放射線とは関係なく、生涯がん死亡リスクはもともと約20%である。

放射線による将来のがんリスクを知るために大切なのが、広島や長崎の原爆を生き延びた10万人以上の統計データだ。放射線の量とがんリスクはほぼ正比例している。ほとんどのがんは「がん年齢」以降に発症し、普通のがんと区別できない。平均的な原爆被爆生存者の被ばく線量(約200mSv)だと、生涯がん死亡リスクは約2%増える。しかし100mSvで予想される1%の増加は、2万人以上の生涯を調べないと検出できないので、原爆被爆者中の人数では足りない。結局、100mSv以下のがんリスクについては「増加する」「増加しない」のどちらの証拠もないと言うしかない。

なお、広島・長崎の原爆による放射線被ばくのほとんどは爆発の瞬間に生じたとされ、今回のような長期の被ばくとは異なる。長期の被ばくについては、約40万人の原子力施設作業員調査の中途経過や動物実験データなどを総合して、多くとも瞬間的被ば

リスクの感じ方は人によって異なるから、ここでは放射線のリスクが大きいとか小さいとかはあえて言わない。もっといろいろな死亡リスクを調べたり、生徒一人ひとりに考えてもらったりしてもよいと思う。

10. おわりに

放射線はどんなに微量であってもリスクが存在すると仮定することから、「これ以下は安全」という絶対的な基準を示すことができない。そのため、「これ以下のリスクなら、他のリスクと比較して受け入れられる」「放射線の量を下げる負担がこれくらいまでなら、その負担を受け入れられる」という線引きをして、許容できる放射線の量を決めなければ

ならない。その線引きの感覚が個人によって違うことも、不安を感じる一つの要因だろう。

放射線の基礎知識から、種々のリスクとの比較まで解説した。ネットや週刊誌のデマに左右されず、正しい知識と論理をもとに自分で考え、正しいと思える行動を自分で考えられるのが理想だ。最後に参考になる情報源^{4), 5)}をいくつか挙げておく。

参考文献

- 1) <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/>
- 2) Smith (2007) BMC Public Health 7:49
- 3) Cologne & Preston (2000) Lancet 356:303-307
- 4) 『虎の巻 低線量放射線と健康影響』編著・放射線医学総合研究所 医療科学社
- 5) 原子力教育支援情報提供サイト「あとみん」
<http://www.atomin.go.jp/>

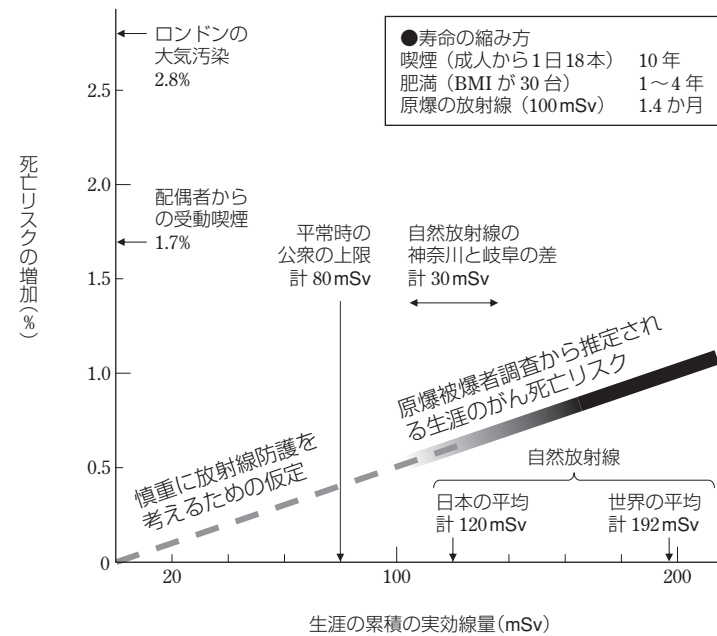


図2 いろいろな放射線の量とリスク

くの場合の半分、すなわち100mSvごとに0.5%の割合で生涯がん死亡リスクが増加すると考えられる(図2)。

子供の場合はどうだろうか。実は子供時代に原爆に被爆した人の生涯がんリスクは、まだ正確にはわからない。途中結果などをもとに、同じ被ばく線量でも胎児や乳幼児には2～3倍高いがんリスクを仮定すべきとされている。

9. 放射線のリスクといろいろなリスク

なじみの薄いもののリスクを感覚的に理解するのは簡単ではない。放射線のリスクを理解する方法の一つの方法として、なじみあるリスク因子と比較する方法が挙げられる。

図2は生涯の累積被ばく量とがん死亡リスクの関係を示した図だが、種々の放射線の生涯(80年と仮定)の累積量と大気汚染や受動喫煙の死亡リスク²⁾も入れてある。枠内では喫煙や肥満のリスク²⁾と放射線100mSvのリスク³⁾を寿命の縮み方で表して比較している。これらのリスクは多人数の統計データから求めた数値であって、必ずしも個人のリスクと考えるべきではないことに注意したい。また、事故による放射線のように強制的に受けさせられるリスクと喫煙のように自らの意思で受けるリスクは、単純には比較できないだろう。