

レポートに含まれた質問に対する回答

Q: 放射線による被ばくの影響は、同じ線量でも成人や子供、性別によって異なるのでしょうか？

A: 同じ線量でも子供の方が影響が大きいと考えられています。講義で紹介した「100mSvあたり0.5%のがん死亡率上昇」は名目リスク係数という係数で補正した「標準的な人」についての値です。子供の被ばくにリスクに関しては、個人的には田崎晴明さんの解説が参考になりました (<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/earlyage.html>)。

Q: 物質に入った放射線の光子線は物質内の電子と衝突して、最終的に電子線になると説明されたが、人体に悪影響を及ぼすのはこの電子線なのか疑問に思った。

A: 光子線は電荷を持たないため、直接衝突した分子にのみ影響を与えます（そしてごくまれにしか衝突しません）。これに対し、電子線は電荷を持つため、近くを通過した分子を次々に電離します。したがってγ線のような光子線による被ばくの場合でも、実際に体内で起こる電離の大部分は（γ線によって発生した）電子線によるものと考えられます。

Q: 人間一人一人にも放射能があるなら、毎日満員電車で長時間乗っている都市民の被ばく量は今回の被災地の住民よりも高いことは無いのか？

A: 空間中の1点に存在するある量の放射性同位体からある距離だけ離れた場合の被ばく量は「実効線量率定数」（K-40の場合 $0.0184 \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 / \text{MBq} \cdot \text{h}$ ※）という数値を使って求めることができます。人体中のカリウムは点状に存在してはおりませんし人体による遮蔽もあるため本来単純には計算できませんが、ここでは非常に粗く近似計算してみます。人体に含まれている約4000BqのK-40から0.5m離れた位置での被ばく量を上記の定数から計算すると約 $0.0003 \mu\text{Sv/h}$ となります。前後左右を囲まれたとして $0.0012 \mu\text{Sv/h}$ 、1mの距離にさらに8人いたとしても合計 $0.0018 \mu\text{Sv/h}$ です。したがって、満員電車に乗ることによる被ばく量増加は極めて小さいと推定されます。

※アイソトープ手帳 11版（日本アイソトープ協会 2011）

Q: 元素が壊変などして不安定なものから安定になるのは分かったが、安定なものはどうやっても不安定なものには戻れないのか？

A: 高エネルギー粒子の衝突、原子核と中性子の反応といった幾つかの条件で不安定化します。例えばがんの診療に用いられる PET 用の放射性薬剤は、酸素の安定同位体 (O-18) に加速した陽子を衝突させることで生成する、フッ素の放射性同位体 (F-18) を使用しています。今回の原発事故で放出された Cs-134 も、原子炉の中でセシウムの安定同位体 (Cs-133) が中性子を取り込んで不安定化したものです。

Q: シーベルトの式で放射線の当たった場所に依じた係数とあるが、この係数はどのようにして決めたものなのか、また、人体のどういう部位で大きな値を示すのか、また、人体に関係するということはその係数は個人差も大きくなっていくのか？

A1: 少し長いですが、日本アイソトープ協会のサイトで公開されている「放射性物質による内部被ばくについて」(<http://www.jrias.or.jp/disaster/pdf/20110909-103902.pdf>) から引用します。

各臓器・組織の相対損害は、原爆被爆者の寿命調査を中心としたがん罹患率のデータを土台に、それぞれのがんの致死率、寿命損失年数及び QOL (Quality of life) の損害に関する調整を行うことにより算出された。組織加重係数は、このような相対損害の算出値に基づいて選定された値ではあるが、相対損害の算出過程に用いられたデータに付随する不確かさの程度を考慮し、また線量制限の体系や放射線防護の実施が過度に複雑となることを避けるため、4つのカテゴリーにグループ化された。

なお、組織荷重係数は ICRP という組織によって勧告されています。組織荷重係数という考え方は 1977 年の勧告で初めて導入され、現在でも改定が重ねられています (現時点では 2007 年の勧告の数値が最新です)。

A2: 人体の部位としては赤色骨髄、肺、結腸、胃、乳房などが大きな値になっています。具体的な数値は前述の「放射性物質による内部被ばくについて」の p. 13 に表があります。

A3: この係数は公衆防護のために集団を代表する数値として設定されたものなので、全ての個人に同じ値を使用します。したがって特定個人の被ばくリスクを精密に検討する目的には向いていませんし、使用すべきでないとされています。

Q: 頻繁に分裂している器官の方が被ばくの影響をもらいやすいというのがあまりしっくりきません。新しくできる細胞が多い方がすぐ再生されそうな気がしますが、そもそも新しく作り出せないからということなのでしょうか。

A: 確定的影響については概ねその理解で良いかと思えます。多量の被ばくによって DNA が大きく損傷すると細胞を新しく作り出せなくなるため、常に細胞を更新することを前提として機能している器官（例えば血液や小腸）は被ばく後一定期間で機能を喪失します。さらに興味があれば「ベルゴニー・トリポンドーの法則」をキーワードに調べてみて下さい。

Q: 放射能という言葉の定義があいまいであったり、よく使われる言葉の定義が固まっていないのはなぜですか？

A: 個人的にも興味があり、歴史的経緯を調べてみようとしたのですが、適当な資料が見つかりませんでした。

Q: 鉛や厚い鉄を通過する中性子線を止める水が、なぜ中性子線を止めるのかと言うと、同じだけの体積をもった鉄の塊と水の塊のうち、前者に比べて後者の方が塊を構成する分子（原子）が多く、放射線がぶつかって電離作用を働く可能性が高くなるからと考えてよいのか？

中性子については反応が複雑で、講義で時間を割くことができませんでした（ここでもごく単純化した回答をさせていただきます）。中性子が原子核と衝突した場合の反応の一つに弾性衝突があります。弾性衝突の場合、質量の近い相手に衝突したときに大きくエネルギーを失います（ビリヤードを連想して下さい）。そして、大部分の水素の原子核は陽子1個、つまり中性子とほぼ同じ質量です。したがって、水を多量に含む水は中性子を止める能力が大きいということになります。

Q: 最後のがん死亡者地域別頻度の図について、がん死亡者の出身地に依拠しているのか最終的に亡くなったときの地に依拠しているのか、基準が気になった。

A: 講義で使用した図はアイソトープ協会主催の勉強会の配付資料から引用したのですが、

より詳細なデータががん研究振興財団のウェブサイトにあります (<http://www.fpcr.or.jp/pdf/statistics/fig19.pdf>)。このデータの引用を遡ると厚生労働省の人口動態統計にたどり着きますので、恐らく死亡時点の県ではないかと思われま

Q: 放射線の透過を防ぐ物質として鉛がよく挙げられるのは、密度が大きく、比較的安価であると言うことが理由だと思うのですが、そちらで間違いないでしょうか。

A: それらに加え、原子番号（低エネルギーの光子線を阻止するために重要）が高く、柔軟で加工しやすいことも理由です。ただし毒性が高い物質でもありますので、近年ではタングステンを練り込んだシートなどによる代替も試みられています。

Q: 放射線を防ぐ能力をどのような式で評価されているのかを教えてください。例えば、原子量に比例するのか、また密度に比例するのか、また密度に比例するのかなどです。

A: 低エネルギーの光子線の場合は原子量が非常に重要ですが、放射性 Cs の γ 線のように 600keV を越える光子線では原子量よりも密度への依存性が高まります。電子線の場合は概ね密度依存ですが、もともと透過性がそれほど高くなく、その一方で原子量が大きい物質に入射すると制動放射という現象によって X 線が生じてかえって防ぎにくくなるため、多少密度が低くても低原子量の物質が遮へい材として適しています。

Q: 核図表を初めて見たのですが、半減期のちがいはここから来るのでしょうか？安定体まで行きつくのに時間がかかるのか、それとも同じ β 壊変でも元素によって起こるまでの時間がちがうのでしょうか？

A: 核図表の上で安定同位体から離れるほど不安定な同位体で、半減期が短い傾向にあります（ただしマジックナンバーと呼ばれる例外が数箇所あります）。核図表と半減期に関しては理研の「元素誕生の謎にせまる」(<http://www.riken.jp/pr/videos/profile/20020331/>) が良い映像資料なので、興味があれば一度ご覧下さい。