

放射線環境学第3回講義 Q & A

廣瀬 農

※コメント、意見についても便宜上「Q」と表記しています。

1. 放射線に関して

2. 放射性同位体・原子力発電に関して

■放射線を出さない壊変はあるか？

Q： 今回の授業内容との関連は薄いですが、核の壊変は放射線を出さずに起こることもあるのでしょうか？

A： 基本的にありません。壊変によって核の構造が変化する場合、基本的にはエネルギーが放出され、それは何らかの放射線の形をとります（中にはニュートリノのように検出が難しいものもありますが）。

■デーモン・コアによる被ばく

Q： デーモン・コアによって被ばく、亡くなられた方がいらっしゃいましたが、あれだけ近いと、少量でも死はまぬがれなかったのでしょうか？（たしか数万 mSv とか聞いた記憶があります…）

A： デーモン・コア（原爆の研究に使用されていたプルトニウムの塊）に関わる事故で亡くなった方々は、単にプルトニウムの塊に近づいたわけではなく、核分裂関連実験の実験操作を誤ってプルトニウムの核分裂連鎖反応（「臨界」と呼びます）を目の前で起こしてしまい、核分裂による多量の中性子線・ γ 線を被ばくして亡くなっています。組織反応の説明の際に名前だけ紹介した「JCO 臨界事故」も、デーモン・コアと同様に目の前で臨界を起こしてしまった事故で、至近距離にいた作業員の方々が亡くなっています。

■ γ 線スペクトルの「対消滅」とは？

Q： 花崗岩の γ 線スペクトルの「対消滅」とはどういう意味ですか？

A： ^{40}K のように 1000keV を超える強い γ 線を出す同位体を測定する場合、同位体から出た γ 線が Ge 半導体検出器を囲む鉛遮へい体などに吸収され、そのエネルギーのうち 1022keV が電子と陽電子の質量に変換される「対生成」という現象が起こります。生成した電子・陽電子ともに周囲の物質との相互作用で運動エネルギーを使い果たすのですが、運動エネルギーが無くなった陽電子は周囲の電子と今度は「対消滅」し、511keV の 2 本の γ 線に変化します。この 2 本の γ 線の片方が Ge 半導体結晶に入射することがあり、これ

が511keVのピークとなって検出されています。

■ α 線放出と原子の電荷

Q： 前回の内容ですが、 α 線を放出した場合、陽子が2つ減って電氣的に不安定にはならないのでしょうか。

A： 前回のQ&Aでもお答えしましたが、 α 線を放出した原子は α 線の影響を直近で受けるため、電離を起こす（電子も放出する）ことが多いようです。

■Cs以外に影響のある核種は？

Q： Cs以外に放射能の高い元素として有名なものはありますか？

A： 核分裂で生じる著名な核種という意味であれば、短期的に影響の大きい ^{131}I 、 ^{137}Cs と同等の半減期を持つ ^{90}Sr などがあります。ただし福島原発事故の現時点での影響という観点からは ^{137}Cs が突出しています。

3. 放射線の人体影響に関して

■Svの意味

Q： Svは、1)細胞死/2)修復成功/3)誤った修復のうち3のリスク管理の目安を与えるもので、1については組織反応まで進行するかの目安となるしきい値が存在するということがわかったが1~3の各々の発生確率もそこに定められているのか、別扱いなのかが気になりました。

A： 質問の意図を正確に理解できたか自信がないのですが、しきい値の設定において1~3の発生確率が考慮されているのか？という意味でしょうか？そういう意味であれば、しきい値は発生確率から演繹的に決定されているのではなく、被ばく線量と障害発生データの決定されていると理解しています。（異なる意図で、さらに質問を希望される場合、遠慮なくメールでご連絡ください）

■ニュースで表示される線量

Q： 福島原発の事故により、震災以降放射線量が常に新聞の天気図の横に掲載されるようになりましたが、あれは実用量の計算結果なのでしょうか？

A： 各地のモニタリングポストの数値を使用している場合が多いと思いますので、実用量の一つである空気吸収線量であろうと推測します。

■実効線量の意味

Q： 実効線量は全身の被ばくリスクの総和ということで、それぞれの組織で値を出して、あとで合算するという考えであっていますか？

A： その通りです。実効線量 $=\Sigma$ （個々の組織の等価線量 \times 組織加重係数）という関係です。

■Svの概要

Q： Svという単位が放射線をあびた時のリスクを示した数値であることが分かり、そのリスクをどの程度におさめるかという基準はあいまいなのだと思った。簡略した理解としてはこれで大丈夫ですか。

A： 概ねそれで良いと思いますが、厳密に言えば「リスクそのものを示す」数値ではなく、「リスク管理のための」数値です。また、単に「あいまい」というよりは、「あいまいな部分もある」といった表現が実情に近いかもしれません。

■甲状腺や皮膚で等価線量を用いる理由

Q： 甲状腺や皮膚で等価線量を用いるのはなぜですか？

A： ^{131}I 等の放射性ヨウ素による内部被ばくは甲状腺に集中するため、甲状腺の等価線量で評価した方が因果関係が分かりやすくなります。皮膚はがん発生以外にも「放射線熱傷」などの組織反応について考えることが多く、これも皮膚のみの等価線量で評価する方が適切です。

■実効線量と等価線量が同じSvなのは疑問

Q： 実効線量と等価線量のように異なる数値は別々の単位を当てるべきではないか。

A： そのように思う反面、仕方ないと思うこともあります（単位数がいたずらに増えてしまうので）。放射線以外の分野でも同様の例はあり、例えば「1日の必要カロリーは？」と聞かれた場合、それが基礎代謝のことなのか推定エネルギー必要量のことなのかは、文脈から読み取る必要があります。

■組織加重係数や放射線の規制値の根拠を知りたい

Q： 特にSvの組織加重係数や放射線の規制値は、決め方を知りたい（類似意見複数）。クールビズの際のエアコン設定の推奨温度がある種「なんとなく」であったとも聞いたことがある。放射線はリスク等が計算しにくい上に倫理的要素も強いが、それならそれで数値に対するリスクを開示することで個々人の判断に任せる部分があってもよいのではないだろうかとも考えてしまう。

A： 組織加重係数の策定におけるもっとも重要なデータは原爆被爆者の追跡調査です。これに加え、医療被ばく患者、放射線業務従事者、核実験・天然核種からの環境被ばく等のデータ等も併用されています。参考までに、これらのデータから最終的な数値を策定するステップをICRP Publ. 103「国際放射線防護委員会の2007年勧告」（http://www.icrp.org/docs/PI03_Japanese.pdf）より抜粋したものを引用します。

Box A.1：組織加重システム策定のステップ

組織加重システムの策定は、主としてがんに関する相対放射線損害に基づいていた。策定の段階は順に以下のとおりであった：

- a) 放射線関連がんについて、生涯がん罹患リスク推定値を決定する：14の臓器又は組織に対して、男性と女性の生涯過剰がんリスクを過剰相対リスク（ERR）と過剰絶対リスク（EAR）の両モデルを用いて推定し、ついで、男女にわたって平均した。
- b) 線量・線量率効果係数（DDREF）を適用する：生涯リスク推定値は、DDREFを考慮して2倍だけ下方に調整された（白血病は別とする。この場合については、直線-二次のリスクモデルでDDREFが既に考慮されている）。
- c) リスク推定値を集団間で転換する：各がん部位についての放射線リスクを推定するため、ERRとEARによる生涯リスク推定値の加重を定め、ベースラインリスクの異なる集団間で一般化するために合理的な根拠を提供した（ERR：EARの加重0：100%は乳房と骨髄に、100：0%は甲状腺と皮膚に、30：70%は肺に、そして50：50%はその他すべてに割り当てられた）。
- d) 名目リスク係数：これらの重み付けされたリスク推定値は、7つの西欧人とアジア人の集団に適用され、平均されて、表A.4.1と表A.4.2に示されている名目リスク係数を提供した。
- e) 致死率の調整：過剰に起こる罹患がんに基づく個々のがん部位に関する生涯リスクは、代表的な国のがん生存率データから導かれたそれらの致死割合を乗じることによって致死がんリスクに変換された。
- f) QOLの調整：非致死がんに関連する罹病率と苦痛を考慮するために、更なる調整を適用した。
- g) 寿命損失年数の調整：がんのタイプによって年齢分布が異なるので、国のがんデータから数種類のタイプのがんの平均年齢を推定し、がんが発生したときの寿命損失年数の平均値に変換した。ついで、これまでの段階の結果に寿命損失年数の調整を適用した。
- h) 放射線損害：上記の計算結果から個々のがんのタイプに関連する放射線損害の推定値が得られた。これらは、合計して1になるように規格化されると、表A.4.1の相対放射線損害となる。
- i) 組織加重係数：表A.4.1の詳細な相対放射線損害は、それらの推定に関連する不確実性のゆえに不正確であるため、それらは相対損害をおおまかに反映するように4つのカテゴリーにグループ化された。詳細な放射線リスク計算のために、情報が不十分な臓器又は組織への放射線リスクを考慮して、未処理のグループである“残りの組織”も追加された。

また、「国際放射線防護委員会の2007年勧告」には基準値の根拠についても述べられています。例えば年間1mSvという数値については以下のような記述があります（日本語版p.57より引用）。

”1番目のバンドである1mSv以下は、個人が被ばくする被ばく状況—通常は計画被ばく状況—に適用され、個人には直接的な便益がないかもしれないが、その被ばく状況が社会の

役に立つことがあるかもしれない場合である。(中略) このバンドに対応する線量は、自然バックグラウンドをわずかに超える増加を示し、参考レベルの最大値よりも少なくとも 2 桁低く、したがって厳しい防護レベルを提供する。”

放射線加重係数策定の詳細については ICRP Publ.92「生物効果比 (RBE), 線質係数 (Q), 及び放射線加重係数 (wR)」(http://www.icrp.org/docs/P92_Japanese.pdf) を参照してください (概要だけであれば最初の 2 ページ程度に要約されています)。

なおこの両者に共通する要素として、係数の複雑さを実用可能な程度に留める目的で、ある程度の不確実性を許容して設定されていることが挙げられます。放射線加重係数は中性子を除いて 1,2,20 の 3 段階、組織加重係数も最も高い 0.12 からもっとも低い 0.01 までの 4 段階にまとめています。トランスサイエンスな決断をしている一例としても参考になるかと思います。

■組織加重係数の存在意義

Q: 放射線の被害を受けるときは全身のことが多いでしょうに、臓器・組織別にわけて係数を設定するのはどうしてだろうと思いました。

A: 原発事故等で環境全体が汚染されている時の外部被ばくについては確かにその通りかもしれませんが、しかし、内部被ばくの場合、特に ^{131}I のように特定の組織に蓄積される核種の影響を考慮する際はどうでしょうか？

■実効線量係数の算出について

Q: 実効線量係数を求めるのに、体内でどのように動くのかシミュレーションするとありますが、実際に放射性同位体を摂取してするのか、シミュレータ的なものがあるのか気になりました。

A: ICRP Publ.30(part I)を確認したところ、p.159-161に「セシウムの代謝データ」という一節があり、セシウムの体内動態パラメータの算出について述べられています。ここに引用されている原著論文のタイトルを見る限りでは、事故や核実験等で人が ^{137}Cs を摂取した場合の追跡調査と、ラットやビーグル犬による動物実験のデータの両方を参考にしているようです。

ちなみに、下記 URL でダウンロードできる PDF の p.173 からがセシウムの代謝データに関する記述です。

ICRP Publ.30 Part I「作業員による放射性核種の摂取の限度 Part I」

http://www.icrp.org/docs/P30-1_Japanese.pdf

体内動態モデルについての概要は以下の発表資料も参考になります。

栗原治「国際放射線防護委員会（ICRP）の放射性核種の体内摂取に伴う線量評価モデルについて」

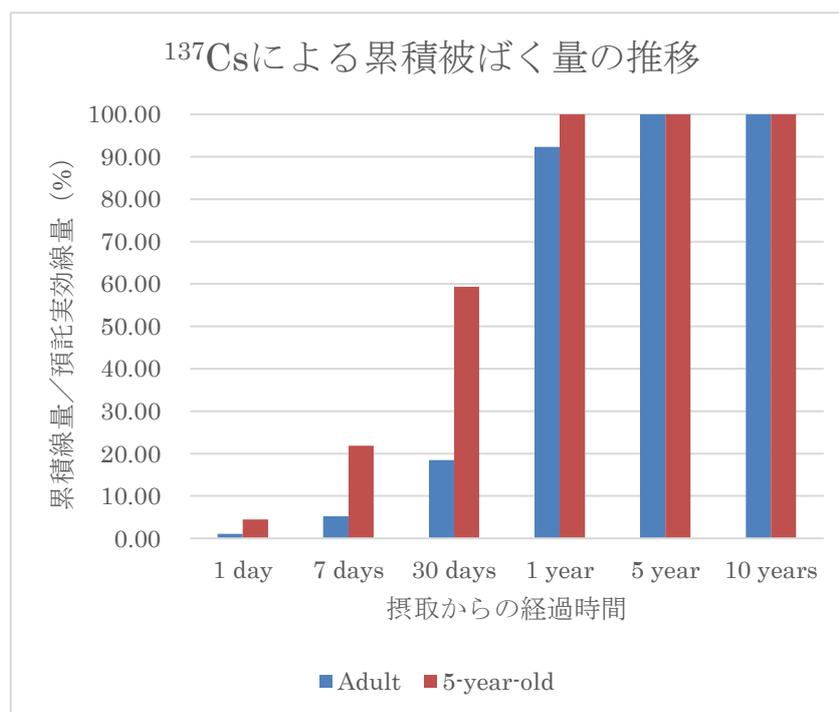
<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000001cyyt-att/2r9852000001cz7c.pdf>

■なぜ放射性 Cs の実効線量係数は子供の方が小さいのか

Q： 実効線量係数のスライドで、係数の値を見てみると、大体の傾向として子供の方が大人よりも影響あるように値が出ているのですが、セシウムの2種では5歳児の値が最小になっているのは何故なのか疑問です。セシウムに固有な理由があるのでしょうか。（類似質問あり）

A： 明確には断言できませんが、セシウムは比較的生体内の代謝が早く、幼児は大人と比較してさらに早いということが関係していると推測します。下図のグラフは ICRP が公開しているデータをもとに作成したもので、摂取後どの程度の時間経過で預託実効線量の全量に到達するか（＝それ以降は摂取の影響が無くなるか）を5歳児と大人で比較しています。これを見ると5歳児では30日後には累積線量が60%に到達しています。これは摂取後30日以降の被ばくは全被ばく量の40%にしかないということで、同時期に累積線量が20%までしか到達していない成人よりも体外への排出が速いことがわかります。

なお、このグラフの元データは、ICRP が公開しているプログラムで誰でも表示させることができます。入手法を追加資料4としてアップロードします



■全身被ばくにおける実効線量

Q： 大体の場合実効線量で表されているということは、全身における組織加重係数があるのでしょうか。きちんと聞いていたつもりではありますがその点少しわかりませんでした。

A： 外部被ばくのシミュレーションを行うことで、ある放射線が飛び交っている空間におけるそれぞれの組織の等価線量を推定し、その総和から実効線量を求めることが可能です。これによって放射線測定器の表示する数値と実効線量を紐づけます。

■動物実験によるリスク推定について

Q： 年間 20mSv 程度の発がんリスク等はラットなどで実験されていないのでしょうか。動物愛護の点から難しいかもしれませんが、取り組む価値はあると思います。

A 1： 多くの実験が行なわれており、その中でも最大規模の実験として 700 万匹という膨大なマウスを用いた「メガマウスプロジェクト」が知られています。例えば複数回に分割した方が総線量当たりの突然変異率が小さいという「線量率効果」などがこの実験から確認されています。

A 2： 低線量（＝突然変異の頻度が低い）条件で高精度なデータを得るには、膨大なマウスが必要という問題が有ります。講義の最後に紹介した Weinberg も、この問題をトランス・サイエンスの例として挙げています。該当部分を翻訳して引用します。

”高線量条件で行われた実験の結果からは、マウスの突然変異率を自然変異の 2 倍にするために必要な X 線の照射線量は 30 レントゲンである。したがって、放射線への応答が線形であるならば約 150mrem（＝1.5mSv）（正確には 170mrem）の被ばくは突然変異率を 0.5%上昇させるであろう。150mrem という数値は各種の機関が年間の許容線量として設定した値であるため、これは公共政策に置いて重要な数値である。

ところで、150mrem の被ばくが突然変異率を 0.5%上昇させることを 95%有意で示す実験はおよそ 80 億匹のマウスを必要とする。もちろん、この数は有意水準を下げれば減少する。60%ならば 1 億 9500 万匹である。いずれにせよ、この数値はめまいがするほど大きく、この問いに直接の実験で答えることは現実的に不可能である。”

■集中的な被ばくと複数回の分割被ばく

Q： 集中的に被爆した場合の方がリスクが大きいのはなぜですか？被ばくのリスクが放射線の量・種類・当たった場所で決まるのであれば、集中的でも長期的でも変わらないと思うのですが…

A： 細胞にはある程度の回復能力があります。詳しくは「線量率効果」で調べてみて下さい。また、前述の動物実験に関する Q & A にも少し記載があります。

■原爆被爆者追跡データの限界について

Q： 20mSv の被ばくの影響の部分で 10 万人分の追跡データがあるという話があったが、

それだけのデータの母数があれば回帰分析を行うこともできるのではないか？

A： 回帰分析自体は行われており、ある程度以上の被ばく量においてはリスクとの間に相関が認められています。しかし、100mGy 以下の低線量領域では統計的に有意な相関がありません（データ提供者の 8 割が 100mGy 以下であるにも関わらず）。低線量被ばくの影響が他の影響に紛れてしまうことが主な理由と考えられています。

■Sv、Gy、Bq 以外の放射線に関わる単位について

Q： Sv、Gy、Bq 以外に、よく使われる放射線に関する単位はないのでしょうか？

A： よく使われる単位は他に無いと考えて大丈夫です。これらよりも低い頻度で使用されるフルエンスやカーマ、古い単位である R（レントゲン）、rad（ラド）、rem（レム）、Ci（キュリー）などがありますが、出てきたときに調べるという対応で十分かと思います。

余談ですが、Ci は Bq 以前に使用されていた放射能の単位で、1Ci=37GBq です。このため、Bq で表記される放射線関連の規制値には 37 の倍数が散見されます。

■ICRP のリスク管理の方針について

Q： 同一の科学的事実から「がんという重大な結果につながる可能性が有るなら、少しの被ばくでも避けるべき」「他のリスクと同等ならば許容できる」という 2 つの意見があり得ること、どちらが正しいかは科学的には結論が出せないことを学びました。しかし ICRP はごく少量の被ばくのリスクの有無が不明なのであると見なして管理しているにもかかわらず、ここで被爆を避けるべきという意見に回らずどっちつかずの状態になっているのはなぜでしょうか？そこが気になりました。

A： ここが難しいところで、1 回聞いただけではなかなか理解できないところだと思います。もし何のデメリットも無く放射線被ばくをゼロ（もしくは平時の基準である 1mSv 以下）にできるのであれば良いのですが、事故等で広範囲が汚染された地域でそれを実行しようとするれば、社会的、経済的、さらには個人の健康に対して大きなリスクとコストの発生が避けられません。避難者を受け入れる自治体の負担は大きく、避難者は家計や健康に大きくダメージを受ける場合があります。このため、事故後の基準としては幅の有る値を提案するにとどめ、最終的な目標値は当事者がリスク間のバランスやリスクとコストのバランスを考慮した上で決めるべきであるという考えです。

■医療被ばくについて

Q： 医療検査は思ったよりも 1 回に被ばくする量が多く、健康がどうか調べるときに被ばくして、それが結局将来的に体に影響するかもしれないリスクもあるから、少し矛盾していると感じた。

A： 放射線を用いた検査に限らず、医療では常にメリットとデメリットの検討が行われ、メリットの方が大きいと判断した場合に処置が行われます。CT は確かに被ばく量が多い

のですが、手術で身体を開かずに体内の状態を把握できるというメリットも非常に大きいものがあります。

被ばく量を減らしつつ同等の検査結果を得るための装置改良や、無用な被ばくを避けるためのガイドラインの策定なども行われていますので、検査を受ける医療機関を選ぶ際に気にしてみると良いかもしれません。

■レントゲン検査による利益と不利益

Q： キノコとレントゲンの話を聞いて、レントゲンが想像以上に被ばくしているということを知りました。これは、被ばくによる人体への影響よりもレントゲンによる検査の利益の方が大きいという判断からなのでしょうか。

A： 原発事故等による被ばくには適用されないために割愛しましたが、計画的被ばくについては「防護の3つの基本原則」を守ることがICRPによって提案されています。「行為の正当化」「防護の最適化」「個人の線量限度」です。このうち「行為の正当化」とは「放射線被ばくを伴ういかなる行為も、その導入が正味でプラスの便益を生む」ことを求める原則です。レントゲン検査はこの原則を満たしていると判断される場合に実施されています。

■がん以外の健康被害

Q： 放射線被ばくが与える健康被害というのはがんだけなのか。

A： 講義では軽く触れただけですが、ある程度以上の被ばくを受けると各種の症状が現れます（組織反応）。脱毛や下血のように急性の症状もあれば、白内障のように晩発性の症状もあります。また、確率的影響としては、がん以外に遺伝的影響が考慮されています。

ATOMICA 放射線の遺伝的影響

https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-02-03-04.html

■キノコによる被ばく

Q： きのこの摂取で被爆する（ごく少量）という事実を知らなかったのですが、これはそれほど重要でない、という理由のほかに、きのこに対する風評被害を避けるためにあまり報道されていない、ということは考えられますか。

A： まず、講義で取り上げた10,000Bq/kgという例は、食品基準の100倍にあたります。現在流通しているキノコ、特に人工栽培しているものでは、基準値である100Bq/kg以上の数値が出ることはありません（全てのキノコが高いという誤解を与えたならば申し訳ありません）。

ただし、キノコは比較的セシウムを集めやすいことが知られています。このため、規制が行われていない県で採取した野生キノコが検査を経ずに販売され、調べてみたら高濃度だったというニュースがまれにあります。キノコは重要な林産物ですので、第4回以降の講義

でもトピックとして登場する予定です。

■作物の種類や栽培環境が放射性同位体含有量に与える影響

Q： 同じ環境で育てた場合でも作物の種類によって含む放射性同位体の量が変わるのか気になります。また、変わるとしたら作物の種類によってどれくらい違いがあるのでしょうか？

A： 第4回以降の講義において、まさにこの疑問が大きなテーマとなっています。ぜひその観点を持ってこの後の講義に臨んで下さい。

■農作物による実際の被ばく量

Q： 実際の福島原発事故の影響を受けた農作物が人体にどれくらいの影響があったのか気になった。

A： 第4回以降の講義では、実際の調査結果が紹介される予定です。もし自分で調べたい場合、「放射性セシウム」と「マーケットバスケット」をキーワードに探すと良いと思います。

■日常生活での被ばく量に対する意識

Q： 私たちが生活する中で、福島原発の除染などの仕事をしている人でなければ放射線量に神経をとがらせる必要はないという考え方でいいですか？

A： 神経をとがらせるかどうかの最終的な判断は各自で行うことになります。例えばレントゲン検査や航空被ばくについて特に気にしていない人であれば、50~200 μ Sv程度の被ばくは気にしなくて良いということになります。

余談ですが、除染作業などの職業被ばくについては年間20mSvが線量限度として設定されています。「いちえふ」というマンガでは、原発での作業と線量管理の様子が分かります。各種の電子書籍サイトで無料で40ページ程読むことができますので、興味があれば読んでみて下さい。

■ヨウ素と甲状腺がん

Q： 放射性物質の中でヨウ素が甲状腺のホルモンに使われるのがんになりやすく実際に被災地でも増えていると聞いたのですが本当でしょうか？

A： まず前半部分はその通りです。ヨウ素は甲状腺ホルモンの原料のため、甲状腺に集まります。原発事故で主に問題となる ^{131}I も人体に取り込まれた後は甲状腺に集まって来るため、甲状腺がんの発生率を上昇させます。原発事故対策で安定ヨウ素剤が配布されるのは、人体をヨウ素過剰の状態にすることで、摂取した ^{131}I が速やかに排出されるようにするためです。次に後半部分ですが、私個人としてはまだ検証が継続しているという認識です。この問題の難しさとしては、甲状腺がんに対する早期検査が一般的ではないという点があり

ます。胃がん、大腸がん、肺がん、乳がんなどについては早期発見のための検査が行われている一方で、甲状腺がんでは行われていません。このため、無症状の集団に対して検査をした場合にどの程度の発見率があるか？という対照データが乏しい状況です。福島県での検査によって多数の甲状腺がんが発見されているのは事実ですが、それが「検査すればこの程度はみつかる」のか、「原発事故によって増加している」のかの検証に時間がかかっているのだと認識しています。

■ 遺伝的影響

Q： 広島出身で被爆3世なのですが、私にも影響はまだ残っているのでしょうか。

A： 疫学的には数万人の被爆2世集団に対しての調査でも有意な遺伝的影響が確認されていません。また、UNSCEARがマウス実験をベースに多数の仮定を置いて算出した数値においても、第2世代の子孫に対する遺伝リスク増加率は1Gy(≒1Sv)の被ばくあたり、ベースラインリスクの0.16~0.43%と推定されています。仮にご先祖が1Sv(1000mSv)の被ばくを受けていたとしても、他の影響に紛れてしまう程度の影響しか残っていないと思われる。

参考：「ICRPの2007年勧告」表A.6.4. 倍加線量を1Gyと仮定したときの、低LET、低線量又は慢性照射への1世代被ばくによる、遺伝的リスクの現在の推定値(UNSCEAR, 2001)

4. その他

■ 講義内容の順序に関して

Q： 「科学的に答えられない質問」のところでSvが何の単位なのか気になったので、Svがリスクの単位であることだけは先に説明してもらった方がよかった。

A： 意見をありがとうございます。確かにその通りで、一言前置きしてから始めた方がすんなり理解できたと思いますので、次回の講義に活かします。

■ 高校までの放射線教育について

Q： 原発事故後の日本で、このレベルの知識は必須のように思えるのに、自分を含め高校までの教育であまり習ってきていないのはなぜなのだろうかと思った(単に核崩壊などの範囲が難しいのか、教えるひまがないのか、あえて排除してあるのか)。(類似意見複数)

A： まさしくそのような問題意識に基づいて講義計画を練っているのですが、有用だと思っていただけたなら嬉しいです。可能であれば今回得た知識を身の回りの方にも伝えて下さい(それが自身の学習をさらに深めることにもなります)。

ちなみに習ってこない理由のひとつは、今回の講義を構成する要素が高校理科では生物・化学・物理・地学に跨っており、しかも一部は社会にまではみ出ていることにあると思

います。例えば私の手元に平成 22 年版の物理 II の教科書があるのですが、壊変や核分裂については今回の講義よりも詳しいくらいに記載されている一方で、生物影響については 1.5 ページくらいしか記述がありません。解決策としては「総合的な学習の時間」の活用だと思うのですが、全ての学校で実施するのはなかなか難しいと思います。

■トランス・サイエンスについて

Q： トランス・サイエンスの内容についてより掘り下げてもらいたいと感じた。(時間的に厳しいと思いますが)

A： まさに時間的な問題で、紹介までが限界でした。もし興味があれば、下記 URL から Weinberg の原著を入手して読んでみて下さい。どんな局面でトランス・サイエンスな問いが出現するのか、対立の解決手段としてはどのような手続きが考えられるか、その中で科学者が果たすべき役割は何か？といったことが考察されていますので、目を通して損は無いと思います。

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01682418>