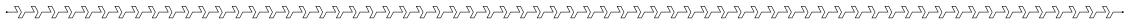




Photo Yasuhiro Kirano

Index

低線量・低線量率放射線影響の解明を阻むもの……………	福本 学	1
日本・ベラルーシ友好訪問団2016に参加して ～ ベラルーシ共和国・ゴメリ州での放射線教育 ～ ……	高村 泰広	7
水晶体被曝（3 mm線量当量）評価用測定器 「DOSIRIS」（ドジリス）の基本特性評価 ……………	千田 浩一	12
ガラスバッジWebサービスのご紹介 ……………		17
2017年製菓放射線研修会 （第19回製菓放射線コンファレンス総会）……………		18
〔サービス部門からのお願い〕 ご登録できない漢字について……………		19



低線量・低線量率放射線影響の 解明を阻むもの



福本 学*



I. はじめに



放射線の人体影響を語るとき、まず、放射線のリスク・ベネフィット、という言葉から始まります。毎日食べ物に入っている砂糖や塩でも、なければ生きていけないが多すぎれば糖尿病や高血圧となります。どのようなものでも、過ぎたるはなお及ばざるがごとし、です。放射線も同様で、医療ばかりでなく産業面でも現在の我々の生活に不可欠です。しかし幸いなことに、どこで放射線が使われているかを人々はあまり知らないため、「危ない放射線をそんなところで使うな」というような問題にはなっていません。豊洲の市場移転先の土壤でヒ素が検出されました。環境基準をはるかに下回るので心配ない、とテレビのコメンテーターは言って落ち着いています。しかし、そのような論調は、一般に放射線では受け入れられにくい雰囲気があります。そのようなプレッシャーから、所謂放射線生物学の専門家は、「放射線は身体に良くないと考えられています。ですから、可能な限り被ばくしないにこしたことはありません」と言う言葉になります。しかし、そのような議論の前に重要なこと、「線量」についてどれだけの人がわかまえているのか、日頃から疑問に感じています。

II. 吸収線量と放射線影響



放射線に被ばくすると、生物やヒトに悪い影響が起こると考えられています。しかし意外と、「放射線とは何ぞや」という問いに正確に答えられる人は少ないと思います。我々が一番問題にしている、人体への影響のある放射線は、物質を電離することができるエネルギーの流れである電離放射線のことです。ですから、細胞内の水を含めた物質が放射

線のエネルギーを吸収して、電離されて初めて放射線が生物影響を発揮すると考えられています。そこで単位重量当たりの物質がどれだけのエネルギーを吸収したかという、吸収線量を表す単位であるグレイ (Gy) が定義されました。「放射線影響」という言葉は有害な影響であるという暗黙の了解があり、ヒトへの有害な影響を与える放射線の尺度として吸収線量を勘案したシーベルト (Sv) という単位が考案されました。放射線影響は、影響が現れるのに必要な「しきい線量」のある確定的影響（あるいは組織影響）とないと考えられる確率的影響に分類されています。確定的影響は、ほぼ急性影響と同義で、細胞死によっておこるため、ある程度大きな線量や高LET放射線による影響が問題となります。確率的影響は遺伝子変異に起因する、ほぼ発がんと同義と考えられます。変異クローンが増殖して「がん」として発見される大きさになるまでに年単位の時間がかかるため、晩発性に起こると考えられています。放射線が一方で細胞死、他方で細胞不死化という両極端の影響を及ぼしていることとなります。

福島第一原子力発電所の放射能漏えい事故以来、低線量放射線の人体、生物、環境への影響について社会的に注目が集まっています。ヒトが全身にγ線あるいはX線を4 Gy急性被ばくすると、2か月以内に半数が死亡します¹⁾。放射線4 Gyに相当する、吸収したエネルギーは計算上、体温が0.001℃上昇するに過ぎない量です。そのような小さなエネルギーで細胞に大きな障害を与えるからには細胞内に標的があるはずだ、と考えることは自然です。そして標的は、細胞が生きて行くために必要な遺伝情報をコードしているDNAということになります。放射線被ばくに対して、細胞にはがん化と細胞死に向かう共通したひとつの経路があり、その共通経路に

* Manabu FUKUMOTO 東京医科大学 分子病理学分野／東北大学 加齢医学研究所 病態臓器構築研究分野

続いてどちらへ向かうかという分岐点とスイッチがあると考えるのは当然です。であれば、放射線によってDNA二本鎖切断が生じるまでが共通経路であり、修復がスイッチということになります。しきい線量以下では、修復が完全に元通りになるのであれば何の変化も起きない。修復時に変異が起り、複製で細胞増殖に有利な変異が固定すると不死化が起こる、すなわちがん化へ向かう。細胞生存に必要な遺伝子が修復されなければ細胞死が起こる。このように考えれば放射線の細胞影響を語る事ができて一件落着です(図1)。では、そのDNAが障害を受けるところから個体の死というような大きな影響を發揮するための過程をどう考えたら良いでしょう。放射線の生物影響は、放射線による物理的なエネルギーのやり取りから始まって、化学的な電子の動きと水分子の変化や生体分子の変化である生化学的作用、さらに細胞生物学的作用を経て個体としての変化へと経時的なカスケードによって影響が拡大する、と考えられています(図2)。電離放射線とは、物質をイオン化する性質を持つエネルギーの流れである、と定義できます。そうであれば、細胞へ影響を与えるために、放射線が直接DNAを電離する(直接作用)、あるいは細胞内外にある水を電離し、それによって発生したラジカルが間接的にDNAを障害する(間接作用)、というストーリーとなります。果たしてそうでしょうか? 少な目に見積もって通常、細胞1個に1日当たり2万個のDNA損傷が起こるとされています。また、胸部レントゲン写真から計

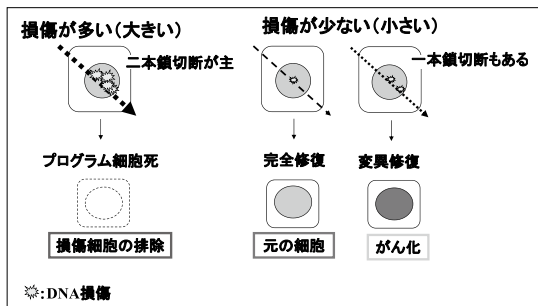


図1 放射線による細胞影響(従来の考え方)

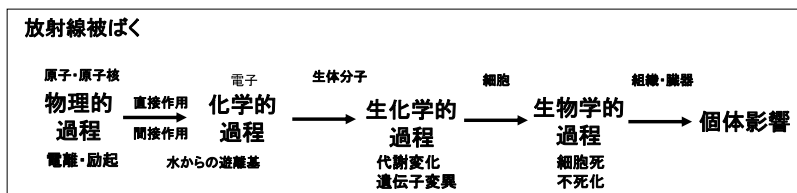


図2 放射線被ばくからの時間経過と生物影響

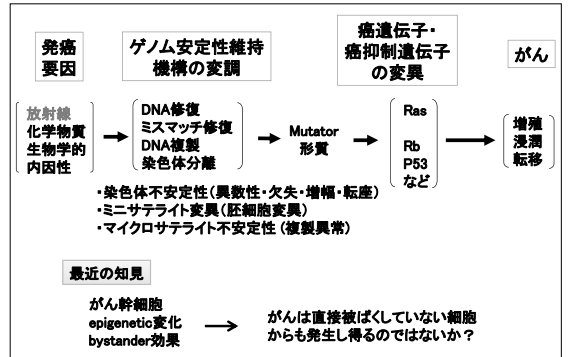


図3 発がんの分子過程

算するとDNA損傷数は400個/Svと言われています²⁾。これは、細胞が活着していることによって起こる内因性の損傷に比べて小さい数字です。しかし、1 Svの全身被ばくで急性放射線症のような人体影響が起こることを考えると、放射線の標的をDNAだけに限定するには無理があると考えの方が自然でしょう。放射線影響として発がんを挙げてみましょう。発がんの分子機構そのものが一筋縄ではいきません(図3)。まず、発がん要因が複数あるだけでも発がん機構が複雑なことは容易に推察できます。発がん機構を簡単に言えば、遺伝子の突然変異が起きやすくなる形質であるゲノム不安定性となり、ゲノム不安定性の標的としてのがん遺伝子やがん抑制遺伝子の突然変異が発がんにつながる、というストーリーになります。しかし近年、遺伝子変異を伴わないでメチル化やアセチル化の変化による遺伝子発現変化調節である、エピジェネティック修飾によって起こるがん化関連遺伝子の発現変化も発がんに寄与していることが明らかとなってきました³⁾。さらに複雑なことに、放射線の細胞影響として適応応答とバイスタンダー効果が知られています。適応応答は、あらかじめ低線量の放射線に被ばくしていると、細胞が放射線に対して身構えて、少し時間をおいてからの次の被ばくに対して一般的には耐性が生じている現象です⁴⁾。バイスタンダー効果はある細胞が被ばくすると、その近隣の細胞にも、細胞同士をつないでいるギャップジャンクションという構造を介して、あるいは被ばくした細胞から分泌される液性因子によって被ばく情報が伝わるという現象です⁵⁾。これらの知見は、直接被ばくしていない細胞が発がん化する可能性を否定

できない、という結論になります。

放射線のヒトへの影響の尺度としてシーベルト(Sv)という単位があります。Svは物理単位でもないので、れっきとした国際単位系(SI)のひとつであり、次元はGyと同じです。0.1Sv以下では、背景となる他の障害因子影響に隠れてしまうほどに小さいため放射線の影響がわからない、と一般的に言われています。「福島原発周囲では一般公衆の被ばくの線量限度である1mSv/年を超えないようにすべきだ」と声高に叫ぶ人がいます。そもそもSvは、放射線防護の目安を目的としてヒトの晩発影響を数値化するために導入された単位です。Svは物理量の単位でもなく、その定義が確定的影響を論ずる根拠になり得る単位でもありません。放射線による細胞の不死化と細胞死、不連続であるふたつの両極端の事象をSvという一つの単位で連続した数値で語れないことは自明です。Svと言う単位を使って放射線影響を議論すること自体が、純粋には科学的でないことを心得るべきです。動植物にみられた変化や異常が放射線に起因することを証明するために、放射性セシウム由来 γ 線の人体影響を目安とした空間線量率である毎時 \sim mSvを横軸に、動植物に起こった変化や異常の頻度を縦軸にプロットする。果たして一体何を論じているのでしょうか？ノーベル賞に輝いたニュートリノは放射線のひとつです。しかし、あまりにも透過性が高いためにエネルギーが人体に吸収されることなく突き抜けてしまい、我々になんの影響もない、と考えられています。すなわち、われわれの身体への吸収線量がゼロだから影響がないと言われていています。では、昆虫や草木とヒトで放射線の吸収線量は同じでしょうか？少なくとも γ 線は、薄い個体を突き抜けているはずで、小動物では影響はないことになります。ここでも、少なくとも β 線の影響を考慮することなくSvを横軸にして、線源に近い動植物への影響の度合いを縦軸に表すことが荒唐無稽であることは自明です。チェルノブイリや福島第一原発事故後にツバメに白斑が現れた、という報告があります。ツバメは地面から高いところを飛んでいるうえに、渡り鳥であるために継続的に福島にいるわけではありません。ツバメに白斑が見えたとしても福島第一原発事故に関わった変化でしょうか？汚染した餌を捕食したために内部被ばくがある可能性は否定できません。ならば個体をとらえて線量評価をするほかありません。

Svは一体何を表記しているのでしょうか。ちょっと考えても、実用量である周辺線量当量(環境モニ

タリング)、個人線量当量(個人モニタリング)、防護量である等価線量(各臓器の受ける影響)、実効線量(全身被ばくの影響)、預託実効線量(内部被ばく)を網羅している単位です。これだけ異なった概念の量を表現するのに、同じSvという単位を使用しています。しきい線量があるのかないのかが議論されているように、ヒトへの放射線影響が明確に定量化できていないのに、放射線防護を念頭に置いて、複数の異なった系の放射線量にも拘わらず、一つの単位で語ることが科学と相いれないことは一般の人ばかりか、所謂放射線生物学の専門家にも理解されていません⁶⁾。福島第一原発事故後に、当時警戒区域であった原発から20km圏内に設置された空間線量計を見る機会がありました。同一敷地内の二つの線量計は異なる線量率を表示していました。要するに表示された数字は、電離や励起による物理量に人が合理的と思う(思わせる)範囲でどうしても係数を変えることができるのです。

発がんが主ですが、確率的影響と言われている事象を放射線による生物影響であると厳密に判定するためには、線量・効果曲線が引けなければいけない、とされています。すなわち、吸収線量を横軸にプロットし、それに応じて縦軸の発症頻度が高まることが示されて、初めて放射線誘発がんであることが証明されます。しかし、この論には落とし穴があります。放射線以外で、容量依存性に発症頻度が高くなるのが厳密に検討されている発がん要因はあるのでしょうか？外部被ばくを考えてみましょう。同じ個体でも、放射線源に近い部分とその反対側では吸収線量は異なるはずで、さらに問題なのは、広島・長崎原爆被爆者の疫学データでは精々2Gyまでしか相対的発症リスクの直線性がみられません。なのに通常、発がんリスクは1Gy(Sv)当たりで表記されます。専門家以外が見たら、線量のもっとも高いところまで直線性が保たれていると誤解する人達もかなりいるのではないのでしょうか。しかし、0.1Gy以下の低線量の生物影響を論ずるならば、細胞や動物の大きさ、同一個体内の線源に近いか遠いかで吸収線量そのものが十分に厳密に計測できているかは不確実です。

どれくらいの割合で、放射線影響を解析している研究者が「吸収線量」を理解しているのでしょうか？「 \sim Gyの線量を培養細胞に照射した」という研究者がいます。この言葉がいかに間違っているか、おわかりになったと思います。不確実なことが多いのに厳密を求められるのであれば、線量・効

果曲線を引くにあたって、いっそ吸収線量をやめて照射線量を横軸にとって縦軸の生物影響を比較した方がより科学的ではないでしょうか。気温や粒子密度で照射線量は変わる、と言われるかもしれませんが、嘗ては重さや体積の単位も摂氏4度の水を基本にしていました。放射線では光子と粒子は違うし、二次電子の挙動も考えないといけないし、と物理学者は言うかも知れません。放射線物理学者と放射線生物学者が、線量・効果曲線の横軸である放射線量をどのように表記すべきか十分に議論しても良いのではないのでしょうか。物理の専門家に「物理の世界では一ケタ違わなかったらそれは大変に良い近似です」、と言われたことがあります。しかし生物影響は何分の一倍が勝負なので、なんとかならないであろうかと思つづく思います。確率的影響にしきい線量があるのかないのか、あるとすればどう表記すべきかが課題です。蛇足ながら、確定的影響は果たして確率的ではないのでしょうか。それを超えて被ばくしたヒトの1%に症状が現れれば、それがしきい線量であると定義されています⁷⁾。そのため、それ以下では明らかな影響が観察されない線量がしきい線量である、と言われています。要するに発症頻度が1%という確率を論じているのです。一方、100mGy以下の被ばくでは人体影響が分からない、ということは100mGyというしきい線量の存在を語っていることになります。確率的影響である発がんを論じている問題点と同じ穴のムジナということになります。不確実性を考慮する必要がしきい線量を生み出している、とも言えます。また、電離や励起にしきい線量が必要ですが、確率的な見方をすればしきいエネルギーはありません。物事をどの段階でみるかで確率的か確定的かに分かれるだけではないのでしょうか。確定的影響と確率的影響の分類そのものを見直してもよいのではないのでしょうか。すぐに見える急性影響か時間がかかる晩発影響かについてです。すなわち、潜伏期間にしきい値があるかないか、ということの視点が重要ではないのでしょうか。実際、低線量率長期内部被ばくであるトロトラスト症における肝がんを解析したところ、トロトラストの沈着量の多寡とは無関係に乗り越えることのできない20年という潜伏期間が存在します⁸⁾。繰り返しますが、0.1Gy以下の被ばくでは影響がわからない。ここまで来ると、確率的影響と言われている放射線発がんが集団の1%に起こる線量に何倍かの安全率を見込んだ数字を発がんに関するしきい線量とする方が納得できるのではない

でしょうか。情緒的議論ではなく、現実的な防護、規制を念頭に議論する必要があると思います。

Ⅲ. 低線量率放射線の生物影響

線量率効果はあるのか。言い換えると線量に集積効果はあるのかということです。異論はありますが、一般的に、低LET放射線では、単位時間当たりの吸収線量である線量率が小さければ、DNAの障害を受ける頻度が小さく、細胞に修復力があるので影響は少ないと考えられています。原爆被爆者の線量・発がんリスク関係は、直線しきい線量(値)なし(LNT)モデルがフィットすると言われています。一方、染色体異常、突然変異率や動物の発がんを指標とすると、被ばく影響は低線量域では直線・二次曲線(LQモデル)がよく当てはまると言われています。線量・線量率効果係数(DDREF: Dose and Dose Rate Effectiveness Factor)という言葉があります。高線量率でも低線量率被ばくでも、線量・効果関係がLNTモデルにフィットするという前提で、低線量率被ばくの場合に高線量率放射線と同じ効果を得るのに要する線量の比率がDDREFの定義です。要するに、高線量率・急性被ばくのLNTデータを低線量率のLNTモデルに(無理やり)当てはめた場合に、高線量率に比べて何倍影響が軽減しているか、ということになります⁹⁾(図4)。しかし、線量と線量率を同じ俎上に乗せるというのはSvと同様、話は簡単になるが科学的には曖昧さが増すことになります。DDREFの値ですが、ICRPは2に、BEIR VIIは1.5としています。なぜ異なるのか。図4の β や αL の値にもよりますが、 D_0 をいくつに見立てるかがDDREFの値の決定に大きく影響しています。ICRPは防護上、BEIR VIIは科学的に決めたと言われています。百歩譲ってDNAが放射線の第一義的な標的としましょう。その場合、低線量被ばくでは放射線によるDNA傷害の確率が低く、低線量率被ばくでは細胞のDNA修復能が発揮されと考えられます。これは、低線量効果と低線量率効果では背景となる機構が異なることになります。放射線治療では、線量・殺細胞効果は1標的のLQモデルがフィットすると言われています。すなわち細胞死も染色体異常(突然変異)も、低線量域では1ヒットで起こるが、高線量域では2ヒットの効果が大きくなると考えられています。細胞死と突然変異、二つの全く両端の事象を都合よくモデル化し、低線量効果と低線量率効果を

DDREFという一つの換算係数で収めようということは、防護の面からは単純化して結構ですが、科学の面からは矛盾しており、低線量と低線量率を明確に分けて議論すべきです。再度強調しておきますが、DDREFは低LET放射線にのみ適用される係数です。もうひとつ考慮すべきは適応応答です。DDREFに長期慢性被ばくや分割被ばくは考慮されていません。我々の結果でも10Gyを1回と、2Gyを5回の分割照射ではDNA二本鎖切断や細胞死の頻度が全く異なることが分かっています¹⁰⁾。

IV. 問題点

放射線の生物影響は、放射線以外の影響を受けるために低線量域の変化が検出しにくい。であれば要素還元主義の行きつくところ、すなわち色々な条件をそろえて単純化したモデルである培養細胞での放射線影響の解析となります。しかし、なにを指標にするか？主に細胞増殖や細胞死、そう、確定的影響です。知りたいのは確率的影響なのに。いやいや突然変異も染色体転座の頻度などで解析している、という意見もあるとは思いますが。しかし

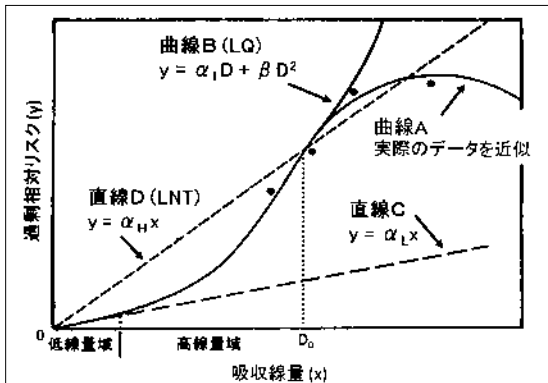


図4 線量・線量率係数(DDREF)の考え方

実験データをプロットすると、ある程度高線量になると死による発がんリスクの頭打ちがある(曲線A)。頭打ちよりも低い線量域では、放射線の発がん影響の過剰相対リスク(ERR)がLQモデルに従うとすると曲線Bとなり、

$$y = aLx + \beta x^2$$

で現せられる。ただし aL : 低線量域のリスク係数
頭打ちよりも低い線量域の高線量域におけるERRがLNTモデルに従うとすると直線Dであり、曲線Bとの交点では $x = D_0$ であるから

$$y = aHD_0 = aLD_0 + \beta D_0^2$$

となる。ただし aH : 高線量域のリスク係数

$$aH = aL + \beta D_0$$

DDREFの定義から、

$$DDREF = aH/aL = 1 + (\beta/aL)D_0$$

培養細胞では、突然変異であっても腫瘍ができるという厳密な意味でのがん化を観察しているわけではなく、また、放射線を照射してからの時間を考えると、急性影響をみていることとなります。ついでですが、細胞が細胞増殖の周期のどの期にあるかによって放射線感受性が異なることが知られています。しかし検定に使う細胞は正常細胞、不死化2n細胞、それともがん細胞かによって結果は違うし、観察すべき指標も異なります。放射線照射とp53など特定遺伝子変異との関係の報告は多くありますが、正常細胞となるとリンパ球か線維芽細胞での染色体異常や小核形成ばかりとなります。

放射線によってDNA傷害が生じ、修復カスケードの初期段階でATM遺伝子やDNA-PK遺伝子のリン酸化が起こることは知られています。しかしそれらの上流となる、放射線という物理的刺激を細胞のどこが受容体となって検知しているのでしょうか。放射線に被ばくしてからの生物影響を議論するとき、放射線を物理量のみで定義するのが間違いなのかも知れません。なにより、温熱でもDNA損傷が起こることが示唆されています¹¹⁾。細胞の何が放射線を検知しているのかを知るためには、動物や細胞のゲノム背景、放射線の線質、エネルギーを統一させて線量だけを、あるいは線量率だけを変化させて結果を解析することが望まれます。しかし問題は晩発影響を観察したい、です。その場合、培養よりも動物実験です。動物では加齢・老化によるゲノム変化が常に起こっています。しかも老化により一方通行の変化が起こっているのを、遺伝子異常の積み重ねが起こっていることを加味する必要があります。

V. おわりに

本稿では、低線量・低線量率放射線の生物影響を考える際に筆者が日ごろ感じていることを雑駁に述べました。放射線の人体影響について議論するとき、発言する側は、放射線影響科学を語っているのか、防護を語っているのかをまず、明らかにしなければいけません。科学的に検証し語るのであれば、可及的詳細に実験条件を記載すべきであり、確認したい条件だけを変化させ、議論はそこに集中させるべきです。防護について語るのであれば、どの部分がどの程度の仮定を含んでいるのか、どうしてそのような数字(係数)としたのかについて詳細な説明をすべきですが、最終的な決定におけ

る論理が見えていません。曖昧なことや仮定を不確か性という言葉でなんとなく科学的であるかのような議論に聞こえることも問題ではないでしょうか。

動物を使った厳密な放射線影響研究は、経済的な面から不可能です。既存の実験の方法と結果、実試料を用いてさらなる解析をしつつ、不足なデータを補う研究が必要です。現在、少なくとも3つの我が国の独自性を発揮した研究が進められています。まず、青森県の環境技術科学研究所のマウスへの低線量被ばく実験¹²⁾です。一定の期間における発がん頻度が高くなるものの、放射線被ばくだからこそこ起る腫瘍はみつかっていない。放射線によってがんが誘発されるのではなく、発がんまでの期間が短縮している、と考へても矛盾しない、と報告されており、現在もマウスを使って経世代影響も含めて解析中です。次が大阪大学医学系研究科のマウスへの放射性セシウム含有水の飲水実験¹³⁾です。通常の飲水マウスに比べて、放射性セシウム水を摂取した方がウレタンで誘発する肺がんの頻度は変わらないが、成長が遅くなると報告されています。そして筆者らの行っている福島原発被災動物線量評価事業¹⁴⁾です。骨髄や精巣のように増殖する細胞が多く、所謂放射線感受性の高い臓器では影響が観察されるものの、機能的な問題は起こっていない。すなわち、生体の補完作用が強いと考えられるが、さらに長期間の持続的被ばくによって、不可逆的な変化がおこるのか否かは不明である、と報告されています。不幸な出来事ではありますが、今現在、福島第一原発事故によって壮大な実験が行われていると言っても過言ではありません。可及的に条件を詳述し、生態と生物影響を解析することによってはじめて、低線量・低線量率放射線の影響が評価できることとなります。そのためには、福島原発周辺の生態や環境調査にあらゆる面からのアプローチと息の長い解析が必要であることは論をまたないのは確かです。しかし、事故が風化してきており、研究費も削減されて、低線量・低線量率放射線の生物影響解析が遠のきつつあうように感じています。

参考文献

- 1) エンドキサン錠50mg添付文 (http://database.japic.or.jp/pdf/newPINS/00053890.pdf)
- 2) A. Ciccia et al., The DNA damage response: Making it safe to play with knives. *Mol. Cell*, 40, 179-204 (2010).
- 3) M.Rodríguez-Paredes & M.Esteller, Cancer epigenetics reaches mainstream oncology. *Nature Med* 17:330-339, 2011. (doi:10. 1038/nm.2305)
- 4) G. Olivieri, et al., Adaptive response of human lymphocytes to concentrations of radioactive thymidine. *Sci.*, 223, 594-597 (1984).
- 5) H. Nagasawa & J.B. Little, Induction of sister chromatid exchanges by extremely low doses of alpha-particles. *Cancer Res* 52(22):6394-6396, 1992.
- 6) 福本 学. 放射線障害の病理学, その問題病理と臨床, 33[1], 10-16, 2015.
- 7) CH. Clement (ed), ICRP statement on tissue reaction and early and late effects of radiation in normal tissues and organs-Threshold doses for tissue reaction in a radiation protection context, *Ann ICRP* 41[1/2] (2012).
- 8) M. Fukumoto, Radiation pathology:From thorotrast to the future beyond radioresistance. *Pathology International*, 64: 251-262. doi:10. 1111 (2014).
- 9) Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation:BEIR VII Phase 2, 2006. (<http://www.nap.edu/catalog/11340/health-risks-from-exposure-to-low-levels-of-ionizing-radiation>)
- 10) Y. Kuwahara et al., Enhancement of autophagy is a potential modality for tumors refractory to radiotherapy. *Cell Death Dis.* 2011 Jun 30;2:e177, (2011).
- 11) K. Inoue, et al., Effect of an ATM kinase inhibitor on thermo-and/or radio-sensitization in non-proliferating normal human fibroblasts and osteosarcoma cells. *Thermal Med.*, 26(3), 97-107 (2010).
- 12) 公益財団法人 環境科学技術研究所ホームページ (研究報告). http://www.ies.or.jp/research_j/research201.html
- 13) H. Nakajima, et al., Fukushima simulation experiment: assessing the effects of chronic low-dose-rate internal 137 Cs radiation exposure on litter size, sex ratio, and biokinetics in mice. *J. Radiat. Res.*, 5[S1], i29-i35 (2015).
- 14) S. Takahashi, et al., A comprehensive dose evaluation project concerning animals affected by the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident: its set-up and progress. *J. Radiat. Res.*, 5 [S1], i36-i41 (2015).

著者プロフィール

学 歴

S 51.3.31 京都大学医学部 卒業

職 歴

H 3.5.1 京都大学医学部
病理学教室第一講座 助教授
H 10.4.1 東北大学加齢医学研究所
病態臓器構築研究分野 教授
H 26.1.1 日本放射線影響学会 会長
H 27.4.1 同 理事長
H 28.4.1 東北大学 名誉教授・客員教授
東京医科大学 特任教授

日本・ベラルーシ友好訪問団2016に参加して ～ベラルーシ共和国・ゴメリ州での放射線教育～



高村 泰広*

1. はじめに

ベラルーシ共和国は2011年の東日本大震災を契機に、日本の被災地の中学生・高校生を毎年自国に招待しています。独自の教育プログラムや健康プログラムにおけるベラルーシの子どもたちとの活動や、世界遺産・博物館の見学を通じて、相互理解を深めています。2016年はチェルノブイリ原発事故から30年が経過したということもあり、放射能汚染によって故郷を離れなければならないという、彼らがかつて経験したことと同じ境遇におかれている福島県浜通りの高校生を特別に招待したいということで、地元の高校生に活動の場を提供しているNPO法人ハッピーロードネットに打診があり、ハッピーロードネットが主催を任せられました。

参加者は、新地高校が3名、相馬東高校が2名、原町高校が2名、小高工業高校が2名、小高商業高校が1名、磐城高校が4名、平商業高校が1名、いわき総合高校が1名、磐城農業高校が3名と仙台の高校に通っている2名の高校生の計21名です。日程は、2016年7月20日～8月4日の16日間でした。20日に成田国際空港から出国し、21、22日はミンスク市内観光、23～30日はミンスクから北北西に約100km離れたところに位置する、国立子ども健康保養センター「ズブリヨノク」に滞在、7月31日～8月2日はゴメリ州に滞在、3日にミンスク第二空港から帰国しました(図1参照)。引率は、ハッピーロードネットから3名、福島民友新聞社から1名、磐城高校の桑折淳先生と私です。



図1 訪問先 ベラルーシ共和国

この訪問の最大の特徴は、ゴメリ州滞在時に、チェルノブイリ原発事故時に対応した第一人者や原発近くホイニキ地区のストレリチュエヴォ中等学校を訪問し生徒との意見交換をすることです。

2. 事前指導

2016年6月4日には、いわき市生涯学習プラザで参加生徒を対象にオリエンテーションを行いました。内容は、①ベラルーシ国立大学の古澤晃先生(このために来日いただきました)による、ベラルーシについての説明(図2参照)、②前年度、ベラルーシを訪問、ズブリヨノクに滞在し、実際に生徒引率した方による説明、③ズブリヨノク滞在中に行われる生徒交流事業での出し物について、班毎に分かれてのワークショップ、④相馬中央病院の森田知宏医師による放射線に関する講義(図3参照)、です。

古澤先生は、震災直後から日本からの視察

* Yasuhiro TAKAMURA 福島県立新地高等学校 教諭



図2 古澤晃先生による説明



図3 森田宏知医師による講義

団の通訳を頻繁に行っており、今回のベラルーシ訪問時も通訳をしていただきました。

次に、森田医師は、現在、相馬市を中心として放射線教育や震災後の住民健康相談に取り組んでいます。また、震災直後から福島で医療活動を行ってきた坪倉正治医師の大学・高校の後輩であり、2011年の東日本大震災時には大学5年生でありながら、坪倉医師と共に被災地における医療活動の支援をしていました。そして、医師としてゴメリ州へも訪問していて現地の情報にも精通しています。

専門家の講師から事前に講義を受けたことは、ベラルーシ訪問や事後指導に有効でした。

3. ベラルーシ共和国訪問

3-1 ミンスク・ズブリヨノク滞在

ミンスクでは、ミンスク州立小児病院での甲状腺の超音波検査(図4参照)や、この訪問の支援企業であるゲームストリーム社への表敬訪問(図5参照)を行いました。

ズブリヨノクでは、様々なプログラムを通し

て現地の子どもたちと交流しました。最も盛り上がっていたのは、夕方に行われるディスコでした。日本ではなかなか見受けられない光景でした。施設内の活動だけではなく、近くの博物館や世界文化遺産であるネスピシ城やミール城も見学しました。最終日には、移動式放射線測定車(ホールボディーカウンタ)で生徒一人一人が測定しました(図6参照)。この測定車は日本からの支援により寄贈されたとのこと。ズブリヨノクに滞在している子どもたちは、チェルノブイリ原発事故にはあ



図4 甲状腺検査



図5 支援企業での社長との写真撮影



図6 ホールボディーカウンタ

まり関心がないように感じました。これは、事故から30年が経過し、チェルノブイリから離れていることが考えられます。

3-2 ゴメリ州滞在

7月31日、ズブリヨノクから約7時間のバス移動で、ゴメリ州に入りました。ここでのプログラムは、それぞれ我々に必要な放射線教育に関する研修です。チェルノブイリ原発から約40kmのところまで行き、そこにある学校の生徒と意見交換するのですから、事前準備や事後報告にも力が入ります。ここからは、2班で活動することになりました。

その夜、ゴメリ州（ホイニキ地区）の住民の皆さんとの交流に備えて、どのような質問をすべきかミーティングを持ちました。私たちが現地を訪問して学ぶことに、どんな価値や意義があるのか、またどんな知見を持って帰国したいのか、様々な意見が出ました。事前に関係機関と連絡は取っているのですが、明日は夏休みの1日であると言うこともあり、どのような人たちが集まってくれるか、全く分からない状況でした。だからこそ、貴重な機会を活かすために、しっかり準備したと思っています。

8月1日は、記念すべき日だったと考えています。日本人の高校生としては、初めてゴメリ州ホイニキ地区に入ったとのことです（図7参照）。ホイニキ地区内ではパトカーが私たちのバスを先導してくれました。すれ違う全ての車が道を譲る様子を見て、まるで国賓級の扱いだっただことが印象に残っています。

ストレリチェヴォフ中等学校訪問時には、初

めに、軽食を取りながらのアイスブレイクがあり、放射線クラブ（エーデルワイス）に所属している生徒が、活動内容の説明と食材の放射線を測定する実演をしてくれました。日本の生徒は、現地の生徒が自ら、食材の放射線を測り、可食かどうか判断していることを知り、驚いたようでした。私たちも、子どもたちが食物の放射線を測り、可食かどうか判断するという話は、日本ではほとんど聞いたことがありません。子どもたちが、自ら判断するための機材や基準が整っていることは、今後、放射線に対する関心を失わないためにも大切なことであると考えました。質疑応答では、実際に測定装置の使い方を教わり、いくつかの食材を測定しました（図8参照）。

次に、2班に分かれて、生徒や地域の住民と質疑応答を行いました。チェルノブイリ原発事故についていつ知ったのか、30年経った今でも、放射線の対策で何かしていることがあるのか、この地区には事故前から住んでいるのかなど、活発な意見交換が行われました



図8 放射線測定装置を使用



図7 ホイニキ地区入口での集合写真



図9 生徒間意見交換会



図10 ポレーシエの境界門

(図9参照)。最後に、体育館で一緒にレクリエーションを楽しみました。この意見交換会を通じて生徒は、チェルノブイリ原発から約40km離れたこの町で、子どもたちは普通に生活していることを感じ取りました。

次の訪問先は、ポレーシエ放射線環境保護区の境界門です(図10参照)。ここは、ウクライナとの国境まで続く広大な保護区で、放射線量が高いために立ち入りが制限されている区域です。生徒たちは、この場所では言葉が少なくなっていて、門の向こうには厳しい現実があることを感じ取っていたようでした。

次に訪問したのはホイニキ地区郷土博物館です。原発事故当時は、軍が核戦争用に準備していた機材で事故対応に当たったこと、いくつかの村は高放射線のため廃村となったことなどを学びました(図11参照)。展示室の天



図11 ホイニキ地区郷土博物館の展示

井には、被災した村名が書かれており、その村名に赤で斜線が引かれているものが廃村になった村と説明を受けました。生徒たちは、ここでも厳しい現実に、ことばを失っていました。

ホテルに戻った私たちは、早速意見交換の内容をまとめ、簡単な報告会を開催し、情報を共有しました。子どもたちが共通して興味を持ったことは、ゴメリ州の子どもたちは、小学2年生の時にチェルノブイリ原発のことを習い、放射線について小学校5年生の時から学び、中学生から本格的に学び続けているということでした。また、既存の住民だけでなく、他国(他地区)から移住者も含めた復興対策をしており、原発事故後、移住者も多いということが分かりました。今後の福島復興を考える上で、貴重な考え方を学ぶことができました。

8月2日は、チェルノブイリ原発事故後の対応に尽力された方々と、懇談を行いました。ゴメリ州チェルノブイリ原発事故対策局の副局長であるリュドミラ・リシュク氏、ゴメリ大学生物学部長ビクトル・アヴェリン教授などから、当時の対応やゴメリ州の現状について話を聞きました(図12参照)。現地に放射線の研究施設を誘致し、現地で研究した成果をその場で活用できるしくみを整えたことなど、様々な実態を聞くことができました。30年前のベラルーシでも、様々な試行や失敗が行われていて、その経験が今に伝わっているということを知りました。なぜ、その貴重な経験が、今回の福島の事故で活かされなかったのか、そこに大きな疑問を持ったのは、私だけでなく生徒も同様でした。



図12 政府関係者・学識経験者との懇談

ミンスクへの帰路の途中、ゴメリ州ジロービン地区のプラレスカ保養施設に立ち寄り、滞在している生徒とわずかな間でしたが、交流を行いました。ここに滞在している生徒は、チェルノブイリ原発事故のことをしっかり学んでいました。やはり、原発事故の被災地に近いことが理由のようです。

ゴメリ州の立ち入りが制限されていない区域では、子どもたちも含めた人々が、普通に生活を送っていました。

しかし、30年経った今でも、放射線について無頓着なわけではなく、きちんと教育が施され、正しく理解した上で、生活する態勢がとられていることに感心しました。日本とベラルーシの間には、政治体制の違いや地理的条件の違い、宗教や文化などの考え方の違いがあるので、原発事故として一括りにできない事情はあります。生徒も、そのことはきちんと理解しています。

しかし、福島の事故後30年後を見据えたときに、ベラルーシから学べることは、まだまだあるのではないかと今回の訪問を経験して考えました。

4. さいごに

事後指導では、チェルノブイリ原発事故後、政府は、放射線関係の研究施設や産業を誘致したために、ゴメリ州の人口は増加したことから、福島県の社会制度を充実させ、福島に住みたい、福島で働きたい人を増やすことで、活性化が起こり、本当の意味での福島の復興が行われるのではないかと生徒から提案がありました。そして、ストレリチェヴォ中等学校のように、放射線測定器を各学校にでも設置し、週に1回でも地元の食材を測定する機会があれば、若い世代の放射能への関心を高い

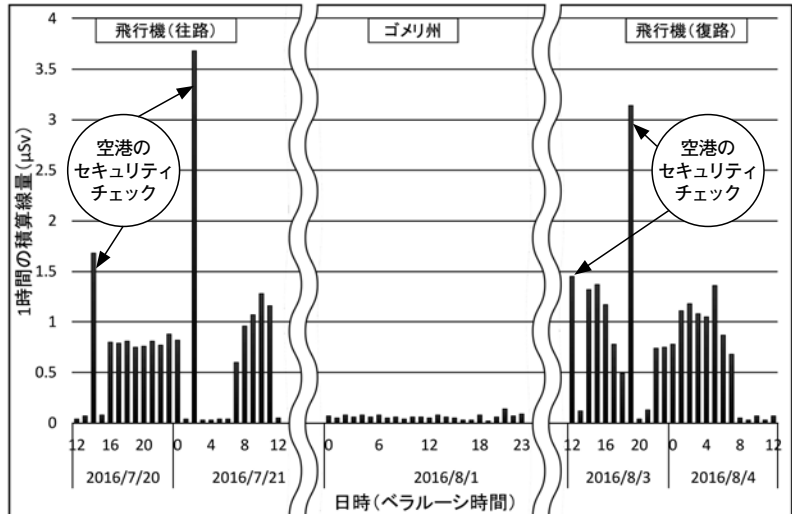


図13 D-シャトルの測定結果

まま維持することができるのではないかと提案がありました。

この訪問に関して、千代田テクノル様より個人線量のトレンドを取得できる線量計 (D-シャトル) を生徒分、お借りしました。ベラルーシと日本の違いが知りたかったからです。その結果、図13のようになりました。飛行機に乗っている時間の被曝量が高いことを示しており、ベラルーシ国内は平均0.077 $\mu\text{Sv/h}$ でした。このことから、ベラルーシ国内、特にゴメリ州ホイニキ地区でも問題なく生活できる線量であることが確認できました。

この場をお借りして、株式会社千代田テクノル様に御礼申し上げます。

著者プロフィール

1973年生まれ。福島県立相馬高等学校卒業。1998年、山形大学大学院理学研究科修了。専門は、天体・放射線物理学。福島県立双葉翔陽高校講師を経て、教諭として二本松工業高校、相馬高校 (2003~2011)、新地高校 (2012~) に勤務、理科・情報を担当。相馬高校では、「スーパーサイエンスハイスクール」(文部科学省) および「次世代人材育成事業」(科学技術振興機構) の企画・運営に携わる。新地高校では、2015年度より進路指導主事となり、上級学校への進学指導だけでなく、地元企業との関係構築を積極的にすすめ、就職支援指導を行っている。2011年の東日本大震災以降、相馬高校から始まった相馬地域の被災地における教育支援活動に関わり、現在は新地高校において地域復興のための人材育成を目指し、教育ネットワークづくりに尽力している。

水晶体被曝(3mm線量当量)評価用測定器 「DOSIRIS」(ドジリス)の基本特性評価



千田 浩一*

1. はじめに

近年Interventional radiology (IVR) 等に携わる放射線医療従事者において、放射線障害事例(白内障等の確定的影響)の報告が散見されている^[1-4]。さらに最近では「放射線白内障の閾値は今まで考えられていたものより低い」等の報告が多くある^[5-7]。このような背景のなか、ICRPでは水晶体等価線量限度の大幅な引き下げ(20mSv/年など)を勧告した^[8-11]。またEU諸国では、2018年度までにその新勧告を取入れることになっている。このように医療従事者の放射線防護、特に水晶体被曝評価の重要性は増大している^[12-15]。

DOSIRIS(ドジリス)はIRSN(フランス放射線防護原子力安全研究所)によって開発された水晶体線量計である。DOSIRISの検出部はLiFを主成分としたTLD線量計となっており、3mm線量当量を測定評価できるなど水晶体被曝評価において大いに期待されている線量計である^[16, 17]。DOSIRISは軽量でフィット感が比較的良く、ヘッドセットを使用して左右どちらかの水晶体近傍位置に検出部を配置させることで、より確からしい水晶体線量評価が可能になると考えられている(Fig. 1)。またDOSIRISは、防護メガネの内側にも配置することが可能であるため、防護メガネ装着時においても水晶体線量を測定できる。

筆者らはDOSIRISを用いた臨床検討(主にIVRスタッフ)を既に行っており重要な知見を得ている。その初期データの一部については英科学

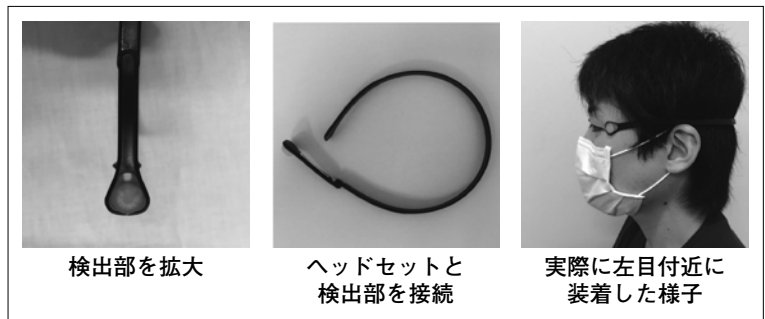


Fig. 1 DOSIRISの外観
左右どちらかの水晶体近傍の位置に装着できる

誌(Scientific Reports)の論文(電子版)をご参照願いたい^[18]。

一方DOSIRISの基本特性については、若干のカタログデータ等はあるものの、その詳細な基礎的検討はほとんど報告されていない。さらに臨床で用いられているX線エネルギー領域において、DOSIRISの基本特性は明らかになっていない。筆者らは臨床用X線装置を使用して、DOSIRISの様々な基本特性評価を行う機会を得たので、本稿ではその検討結果(再現性や角度依存性等々)の概要について紹介する。

2. DOSIRIS評価方法

DOSIRISに対するX線照射は、臨床で使用しているIVR用X線装置(東芝 Infinix Celeve I-8000F、Cアーム装置)で行い、基準線量計としてRadcal社の電離箱線量計(Model 9015、指頭型 6 mlチャンバ、校正済み、気温気圧補正実施)を用い、空気吸収線量をレファレンスとして評価することを基本とした。DOSIRISの線量読み取り(3mm線量当量)は千代田テクノル社で行った。なお

* Koichi CHIDA 東北大学 医学系研究科放射線検査学分野/災害科学国際研究所災害放射線医学分野 教授

数個のコントロール用DOSIRIS素子によりバックグラウンド (BG) を計測しそれを補正している。

DOSIRIS基本特性実験の幾何学的条件等は、原則として以下の通りである。

寝台の先端に発泡スチロールを取り付け、電離箱線量計の検出部 (指頭型 6 mlチャンバ) をビーム中心軸上に設置し、その近傍にDOSIRIS素子を配置した。電離箱線量計の検出部とDOSIRIS素子との距離は一定 (3.5cm) とし、1度の照射で4個のDOSIRIS素子を配置しX線照射した。なおこのX線照射野範囲での線量分布は小さく、X線強度分布の影響は問題ないと判断した。X線管と検出素子間の距離は発泡スチロールを含め、約93cm、受像部 (Flat panel detector : FPD) は出来るだけ離し (検出部とFPD間距離は約30cm以上)、FPDからの後方散乱線の影響を低減した。X線は、管電圧は原則として60kV (半価層は約4.0mmAl) の連続透視モードで照射し、管電流値と透視時間を変化させ、線量レベルをパラメータとした測定実験も行った (主に使用した線量レベルは、0.14mGy, 0.29mGy, 1.1mGy, 4.4mGy)。

一方、角度依存性の評価はDOSIRIS素子をCアーム装置アイソセンタに置き照射した。

DOSIRISの基本検討項目は、素子間のばらつき、再現性、線量依存性 (直線性)、エネルギー依存性、角度依存性、フランス-日本間の読取り精度比較、同一素子を用いての再現性などである。

3. 評価結果など

素子間のばらつき

各線量レベルにて同一条件下で照射したそれぞれ素子20個の読取り値のバラツキを変動係数で評価した。その結果、どの線量レベルにおいても、DOSIRIS素子間のばらつきは変動係数で5%程度以内であった。

素子の再現性

同一条件で素子20個の読取り値の再現性を変動係数で評価した。その結果の一例 (管電圧60kV、管電流2.0mA、透視時間60sec) をFig. 2に示す。横軸は測定回数、縦軸は変動係数の平均であり、変動係数は最大でも6%程度であった。なお他の線量レベルにおいても同様の結果を示した。

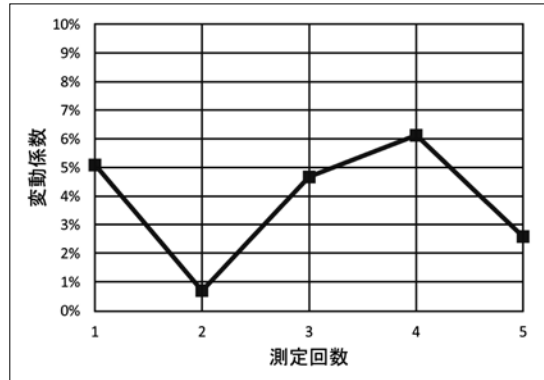


Fig. 2 再現性の一例 (60kV, 2.0mA, 1分照射)

線量直線性

各線量レベル (0.026mGyから4.4mGy) にてX線照射した結果、DOSIRISと電離箱線量計 (基準線量計) は良好な線量直線性があった ($R^2=1.0$)。

エネルギー依存性

管電圧を50kVから120kVまで変化させ、DOSIRISと電離箱線量計 (基準線量計) を比較した。その結果、80kVで正規化した場合、このエネルギー範囲では±5%程度以内であり、DOSIRISは電離箱線量計とほぼ同様の良好なエネルギー依存性を示した。

角度依存性

アイソセンタ軸上にDOSIRIS素子を配置して、Cアーム (X線管) を10度毎回転させX線入射方向を変化させて照射した。原則として正面方向 (0度) でのDOSIRIS測定値で正規化した。なお、DOSIRISのヘッドセット (柄の部分) に対して直交してX線を照射する方向の角度依存を「頭尾方向」、ヘッドセットと平行する方向の角度依存を「腹背方向」とそれぞれ表記した。Fig. 3は頭尾方向の結果であり、角度依存性は良好であった。Fig. 4に腹背方向の結果を示すが、ヘッドセット (柄の部分) の方向からX線が入射した場合 (270度方向の真横から照射) は、測定感度が55%程度に低下するものの、それ以外は良好な角度依存性であった。

フランス-日本間の読取り精度比較

当初 DOSIRIS は、フランス (IRSN) に空輸して読取りを行っていたが、現在は日本 (千代田テクノル社) で読取りが可能となった。そこ

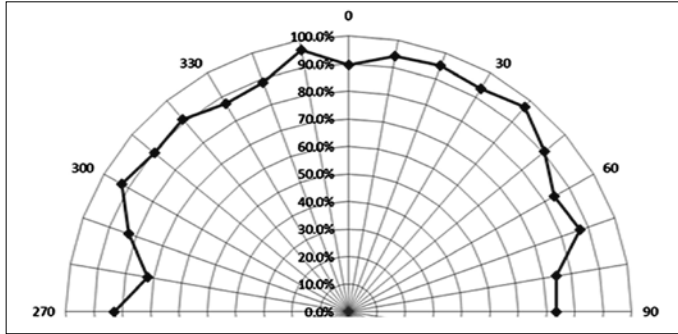


Fig. 3 角度依存性 頭尾方向(ヘッドセットに対して直交する方向)

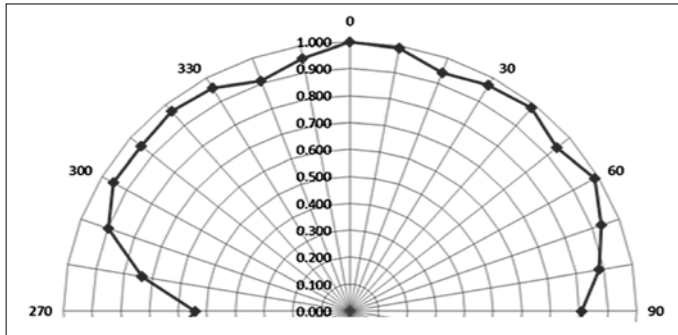


Fig. 4 角度依存性 腹背方向(ヘッドセットに対して平行方向)

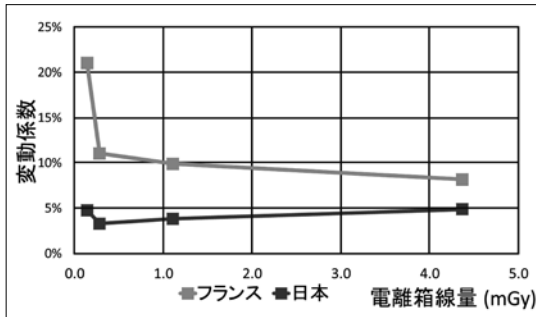


Fig. 5 素子間のばらつき(フランス vs. 日本)

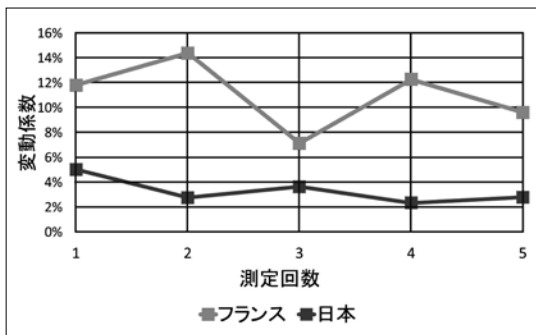


Fig. 6 再現性の一例 60kV 1.0mA 30s照射 (フランス vs. 日本)

で同一条件下において、試験的にフランス-日本間の読取り精度等を比較した。なおこの項目以外の測定値は、すべて日本の千代田テクノル社で読取りが行われたものを用いて評価している。

Fig. 5 は素子間のばらつきの比較したもので、横軸は線量(電離箱線量計)、縦軸は素子20個の変動係数である。フランスの方が低線量領域で変動係数が20%を超える結果となった。

Fig. 6 は再現性を比較した一例である(管電圧60kV、管電流1.0mA、透視時間30sec)が、フランスは変動係数が10%を越えるものもあったが、日本は6%程度に収まった。

同一素子を用いての再現性

通常DOSIRIS素子は適宜ランダムにその都度異なる素子(個体)が供給され、つまり毎回同一素子(個体)が提供されることはない(その確率は極めて少ない)。しかし、当検討では特別に同じ素子を用いて、つまり同一素子(個体)を使用して再現性を評価した。同一素子の再現性は、日を改めて同一条件下で6回測定を行い評価した。Fig. 7 はその再現性を比較した一例である(管電圧60kV、管電流2.0mA、透視時間60sec)。横軸は素子番号、縦軸は独立して6回測定したDOSIRIS測定値の変動係数である。DOSIRISの変動係数は最大で4%程度であった。この条件において同時に測定した電離箱線量計の線量(X

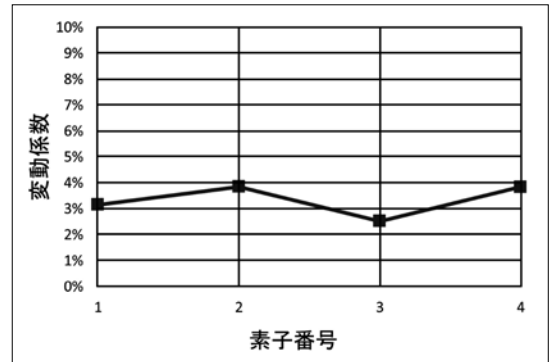


Fig. 7 同一素子再現性の一例 (60kV, 2.0mA, 1分照射)

線出力)の変動係数は1.7%程度であったため、X線出力等の不安定性も加味すると、同一素子における再現性は非常に良好であると言える。また、他の条件(線量レベル)における再現性も同様に非常に良好であった。

4. 考 察

DOSIRISの基礎的性能

様々な検討結果から、DOSIRISの基礎的特性は良好であることが分かった。一般にTLDはエネルギー依存性が悪いことが知られている。TLD素子の多くは、実効原子番号が比較的高い組成の物質で構成されているため、低エネルギー光子においては光電吸収が増し感度が著しく上昇し、結果としてエネルギー依存性が悪くなる。しかしDOSIRISで使用しているTLD素子は、LiFが主成分であり実効原子番号は低いため、エネルギー依存性は良好である。今回の評価結果においても、IVR等で使用されている診療用X線エネルギー領域において、DOSIRISのエネルギー依存性は±5%程度以内と良好であった。

TLD素子等のエネルギー依存を補正するために、一般には金属フィルタが使用されるが、金属フィルタを使用すると角度依存性が悪くなる^[19]。DOSIRISの角度依存性が良好である理由のひとつは、エネルギー依存補正用の金属フィルタを使用する必要が無いことであり、これはDOSIRISの有利な点である。IVRなどではX線管の角度方向は種々変化し、散乱線の方向も様々であり、したがって水晶体被曝評価用の線量測定器の角度依存性は重要な問題である。さらに頭部(含む水晶体)は体幹部に比べ可動範囲が広い。そのため、特にIVRスタッフの水晶体線量計としては、角度依存性が良好であることが最も必要な要件と一つであると考えられる。

フランス(IRSN)と日本(千代田テクノル社)のDOSIRIS測定精度を簡単に比較したところ、再現性やバラツキは全般的にフランスの方がやや劣る結果となった。コントロール素子を用いてBG減算は行っているが、DOSIRIS素子の空輪に伴う誤差等がフランスでの読取り精度の劣化の一因と思われる。なお現在、日本におけるDOSIRIS測定は、全て千代田テクノル社で読取りを行っているため、良好な測定精度は担保されている。

TLDの欠点としてFading(放射線照射後の時間経過に依存して蛍光量が低下する現象)の影響がある。本稿ではその詳細な検討結果は割愛するが、筆者らの評価経験等からすると、水晶体線量評価においてDOSIRISのFadingの影響は大きくはなく、実用上は問題ないレベルであると考える。

不均等被曝評価

放射線防護衣を着用した放射線医療従事者は、かなり不均等な被曝を受けている可能性があると思われるので、放射線防護衣の内側に装着した1個の個人線量計のみで線量評価を行うと、大きな誤差(過少評価)を生じる危険性がある。そのため放射線医療従事者は、複数個以上の個人線量計を装着することで、過小評価を防ぐ必要がある。放射線防護衣の内側に1個装着し、さらに放射線防護衣外側(頭頸部など)にも一つ個人線量計を装着して等価線量を評価し、実効線量はこれら2個の個人線量計の測定値(1cm線量当量)に対して、それぞれ重み付けを行い評価する^[20]。

頸部付近に装着した個人線量計によっても、水晶体線量を推定評価することは可能である。頸部位置の線量と水晶体線量はある程度相関があるからである。

ただし、より正確な水晶体被曝評価のためは、個人線量計を水晶体近傍に装着し、不均等被曝における職業被曝(水晶体等価線量)を評価することが望ましい。ICRP等では、水晶体近傍位置で測定した3mm線量当量によって水晶体線量を評価することを推奨している。

放射線医療従事者が受ける職業被曝は、通常は確率的影響を心配するレベルではないが、特にIVR従事者などは、白内障などの組織反応(確定的影響)の発生に注意を要する場合があり、外部被曝防護の3原則を常に意識しなければならない。天吊り防護板等の追加鉛防護具を用いることも、IVR術者被曝低減には重要である^[21]。そして個人線量計の適切な使用が必要である。

放射線医療従事者の多くは、放射線防護衣の内側に装着した1個の個人線量計による「均等」被曝管理が行われているのが現状である。まずは放射線医療従事者の不均等被曝管理の普及が喫緊の課題である。不均等被曝管理の徹底を行ったうえで、被曝状況に応じてDOSIRISによる水

晶体線量評価を加えることが必要であると考える。

5. おわりに

臨床用X線装置を使用して（診断領域X線エネルギーにおいて）、DOSIRISの様々な基本特性を評価した。素子間のばらつきは変動係数で5%程度、再現性は変動係数で最大でも6%程度であった。線量依存性やエネルギー依存性、そして角度依存性は良好であった。フランスと日本のDOSIRIS読取り精度を比較した結果、日本の方が優れていた。同一素子における再現性は、極めて良好であった。

DOSIRISの基礎的特性は優れていた。加えてDOSIRISは、3mm線量当量が測定可能で、防護メガネの内側にも取り付け可能という利点があることから、診療放射線業務等に携わる者の水晶体職業被曝用の測定器として非常に有用である。

謝 辞

本研究は仙台厚生病院の加賀勇次氏および芳賀喜裕氏らとの共同研究であります。測定実験に際し、当方のH27年とH28年の卒業研究学生の皆様（敬称略：佐藤文貴、鈴木智之、本田崇文、村上巧、石井浩生、上杉直人、加藤槇子、三戸麻莉菜、宮田恒平）の多大なる協力がありました。心から御礼申し上げます。

参考文献

- [1] ICRP, Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP publication 85. Ann ICRP. 2001 ; 30(2) : 7-67.
- [2] Chida K, Kato M, et al. Radiation dose and radiation protection for patients and physicians during interventional procedure. J Radiat Res. 2010 ; 51 (2) : 97-105
- [3] 千田浩一、【放射線障害-基礎・疫学から診療・安全対策まで-】放射線防護と安全対策 医療被ばく・職業被ばくの現状と対策、日本臨床70(3) 479-484(2012.03)
- [4] 千田浩一、IVR術者被曝の計測評価と防護、日本放射線技術学会雑誌64(8) 1009-1014(2008.08)
- [5] Vano E, et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. Radiology. 2008 ; 248(3) : 945-53.
- [6] Haskal ZJ, et al. Interventional Radiology Carries Occupational Risk for Cataracts. RSN News, June 2004, Volume 14, Number 6, 5-6.
- [7] Ainsbury EA, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. Radiat Res. 2009 ; 172(1) : 1-9.
- [8] ICRP Statement on Tissue Reactions, April 2011, <http://www.icrp.org/page.asp?id=123>
- [9] ICRP, 2012 ICRP Statement on Tissue Reactions / Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs, Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).
- [10] 大口裕之、眼の水晶体の線量限度変更と動向について、FBNews No.458、12-16、2015.2.1
- [11] 赤羽恵一、「水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書(Ⅱ)-水晶体、白内障、ICRPが勧告した新たな水晶体等価線量限度の概要-」、保健物理、49(3)、153-156(2014)
- [12] Chida K, et al. Clarifying and visualizing sources of staff-received scattered radiation in interventional procedures. AJR Am J Roentgenol. 2011;197 (5) : W900-3.
- [13] Chida K, et al. Occupational dose in interventional radiology procedures. AJR Am J Roentgenol. 2013 ; 200(1) : 138-41.
- [14] Chida K, Morishima Y, et al. Physician-received scatter radiation with angiography systems used for interventional radiology: comparison among many X-ray systems. Radiat Prot Dosimetry. 2012 ;149 (4) : 410-6.
- [15] Inaba Y, Chida K, et al. Fundamental study of a real-time occupational dosimetry system for interventional radiology staff. J Radiol Prot. 2014 ; 34 (3) : N65-71.
- [16] 眼の水晶体の線量測定用線量計：DOSIRISの紹介… FBNews No.472 13-15 2016.4.1
- [17] ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, April 2012, http://www.eurados.org/~media/Files/Eurados/documents/EURADOS_Report_201202.pdf
- [18] Haga Y, Chida K, et al. Occupational eye dose in interventional cardiology procedures, Scientific Reports, 7, 2017, DOI : 10.1038/s41598-017-00556-3.
- [19] Kato M, Chida K, et al. Fundamental study on the characteristics of a radiophotoluminescence glass dosimeter with no energy compensation filter for measuring patient entrance doses in cardiac interventional procedures. Radiat Prot Dosimetry. 2014 ; 162(3) : 224-9.
- [20] Chida K, et al. Effect of radiation monitoring method and formula differences on estimated physician dose during percutaneous coronary intervention. Acta Radiol. 2009;50(2):170-3.
- [21] Chida K, et al. Evaluation of additional lead shielding in protecting the physician from radiation during cardiac interventional procedures. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi. 61, 1632-1637(2005).

著者プロフィール

東北大学大学院医学系研究科博士後期課程修了（博士号取得）。東北大学医学部附属病院、東北大学医療技術短期大学部、東北大学医学部保健学科を経て、2009年に東北大学大学院医学系研究科保健学専攻教授（放射線検査学分野）。2012年に東北大学災害科学国際研究所教授（災害放射線医学分野）を兼任。（東北大学医学部保健学科の放射線取扱主任者。）

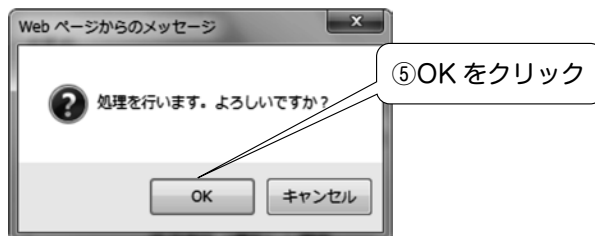
ガラスバッジ Web サービスのご紹介

日頃、弊社モニタリングサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。
 今回は、「ガラスバッジWebサービス」で行うご使用者の名義変更の操作方法を紹介いたします。

【ご使用者の名義変更方法】

“名義変更”画面で①「登録開始日」を選択し、②新たに登録するご使用者の漢字氏名、カナ氏名、性別、生年月日、職種を入力します。③「装着部位」を選択し、④「入力完了」ボタンをクリックします。

ポップアップ画面で、⑤「処理を行います。よろしいですか?」とメッセージが表示されますので、「OK」をクリックします。



以上で操作完了となります。

- ▶ 「入力完了」 ボタンをクリックする前に、入力したご使用者情報を再度ご確認ください。
- ▶ 「装着部位」は **A：頭、B：胸、C：腹、J：手、M：右手、H：左手** となります。
- ▶ 末端部用モニター（ガラスリング）をご使用の場合は、**J：手、M：右手、H：左手** から選択してください。
- ▶ 「ガラスバッジWebサービス」は、インターネット上で、お客様ご自身で画面操作していただきますので、FAXおよびTELで依頼いただくよりも早く、ご使用者の名義変更処理が可能です。

「ガラスバッジWebサービス」の登録料は無料です（通信料はお客様負担となります）。
登録のお申し込みは、最寄りの弊社営業所にて承っております。

《動作環境》

ブラウザ：Internet Explorer6.0 SP2 以上

（現在、Microsoft EdgeやGoogle Chrome等には対応しておりませんが、今後対応していく予定です）

※FBNews No.390～No.401およびNo.410～No.434に関連記事が掲載されております。弊社ホームページやお手元のバックナンバーをご参照ください。

【お問合せ窓口】 TEL：03-3816-5210（線量計測事業本部）
弊社ホームページ：<http://www.c-technol.co.jp>
e-mail:ctc-master@c-technol.co.jp

2017年製薬放射線研修会 （第19回製薬放射線コンファレンス総会）

会 期：平成29年6月22日（木）～6月23日（金）

会 場：桑山ビル3F 大会議室（名古屋市中村区名駅2-45-19）

主 催：製薬放射線コンファレンス（PRC）

◆1日目 [6月22日（木）10：30～17：45（受付開始10：00）]

・総会「PRC活動報告」

・研修会

講演1. 「放射線障害防止法関連の最近の動向（仮題）」原子力規制庁担当官

講演2. 「色素性乾皮症バリエーション群の責任遺伝子産物DNAポリメラーゼ・イータによるゲノム安定性制御」益谷央豪（名古屋大）

講演3. 「細胞画像情報を用いた非破壊評価の可能性」加藤竜司（名古屋大）

・座談会 ～今さら聞けないRI管理・運用について議論しよう（他社はどうしてる？）～

・交流会 クラフトビール KOYOEN KITTE名古屋店（桑山ビル向かい）18：00～20：00

◆2日目 [6月23日（金）]

・見学会 核融合科学研究所 他

【参加費】 事前登録：研修会のみ5,000円 研修会+見学会※7,000円

当日受付：研修会のみ6,000円 [交流会] 5,000円

※見学会参加者は事前の申込みに限ります。

【参加申込】 下記ウェブサイト内の研修会参加申込フォームからお申込み下さい。

製薬放射線コンファレンスホームページ <http://www.web-prc.com/>

サービス部門からのお願い

ご登録できない漢字について

平素より弊社モニタリングサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。ガラスバッジご使用者の登録の際に、お名前の漢字で、登録ができない場合がございます。弊社のシステムは、「JISコード第一水準漢字、第二水準漢字（一部の漢字を除く）」の対応となっております。そのため、第一、第二水準以外の漢字の場合、登録ができません。その場合は、登録が可能な漢字、またはひらがな、カタカナでの登録とさせていただきます。

何卒ご理解の程、よろしくお願い申し上げます。

◎問い合わせ先

【測定センター】フリーダイヤルTEL：0120-506-994

代表例	
登録できない文字	登録可能な文字
崎	⇒ 崎
高	⇒ 高
凜	⇒ 凜

編集後記

- 放射線被ばくによる人体影響の説明は専門家であっても難しい問題の一つですが、東日本大震災以降は更に公衆の理解が必要となっている感があります。
- 低線量・低線量率放射線影響では一般的に人体の細胞修復能力により影響は少ないと教えられてきました。福本学先生には影響解明を阻むものの要因について、様々な放射線影響の説明と共に科学的な検証の必要性について詳細な解説をいただきました。放射線の人体影響を語る時、発言する側受け取る側の双方が「曖昧」「仮定」「不確実性」などの言葉で科学的な検証を自ら逃れていないかなど、我々にとっても警鐘となる提示をいただいたように感じました。
- ベラルーシ共和国はポーランドとロシアに間に位置し、1990年にソビエト連邦から独立し国土の4割以上を森林が占める国です。高村泰広先生には高校生と共にチェルノブイリ原子力発電所から40kmに位置する同国ゴメリ州の生徒との意見交換会や現地での放射線教育などの体験についてレポートをいただきました。現地の生徒が自ら食品放射能測定をしていることなど興味深い内容でした。

福島の30年後はどうあるべきか高校生が考えてくれる良い機会になったのではないのでしょうか。

- IVRと呼ばれる血管内治療・手術には常時エックス線を照射した状態で施術を行う為、術者の被ばくが避けられません。水晶体線量の被ばく限度引き下げは国内への取り込みも必須なことから、現場の対応も急務です。千田浩一先生には弊社がフランスIRSNから導入したDOSIRISの基本特性評価のレポートをしていただきました。この測定器は私の所属する部門で読み取りさせていただきました。国内測定は空輪に伴う誤差が少ないことから好結果は予測されていたとはいえ、素子間のバラツキ・再現性などがフランス本国測定と比べて好成绩となり、ほっとしています。今後導入を検討している各施設様が参考になる資料となれば幸いです。
- 福島県出身で茨城県在住の私としても将来の福島の行く末は気になることです。これからも皆様のご協力により福島が今以上に元気になってくれるよう願っています。
(岩井 淳)

FBNews No.485

発行日／平成29年5月1日

発行人／山口和彦

編集委員／今井盟 根岸公一郎 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘
谷口和史 岩井淳 川口桃子 小口靖弘 高橋英典 高羽百合子 堀口亜由美

発行所／株式会社千代田テクノ

所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話／03-3816-5210 FAX／03-5803-4890

http://www.c-technol.co.jp/

印刷／株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体371円)