

福島県の各自治体での個人線量測定に用いるバックグラウンド

平成 29 年 12 月 22 日

日本保健物理学会

通常の個人線量測定では、測定対象となる被ばく環境でのバックグラウンドを被ばく源のない場所での測定値をバックグラウンドとして扱います。しかし、福島第一原子力発電所事故後、福島県において個人線量測定に用いるバックグラウンドの扱いについては下記のような疑問があります。線量評価上の様々な係数の扱いを含めて、個人線量測定の問題について以下に回答します。

質問：

福島県内の自治体で進められている線量計を用いた測定に基づく被ばく線量評価は、バックグラウンドの設定の仕方によっては、結果として追加線量が過小評価されているという疑問があります。福島における個人線量測定の方法およびその数値の解釈について説明してください。

(1) 個人線量測定の方法

福島県のいくつかの自治体では、東電福島第一原発事故（1F 事故）で放出された放射性セシウムによる「外部被ばく」による線量を評価する目的で、個人線量計を配布して一定の期間で線量測定が進められています。その結果は、「シーベルト (Sv)」という単位で与えられておりますが、放射線防護の分野ではこの単位を持つ「線量」が複数存在しております。そのため、線量計による測定や被ばく線量評価を理解する上での混乱のもとになっております。本回答をご理解頂くために必要な情報となりますので、最初に今回の質問に関係する「線量」を説明いたします。

放射線被ばくのうち、外部被ばくに対する防護を着実に遂行するため、国際的な専門機関が“防護量”及び“計測実用量”を次のように定義しております。何れの線量も単位はシーベルトです。

防護量：国際放射線防護委員会（ICRP）が被ばく（低線量被ばく）の防護の基準値と比較等を行うための被ばくの指標を表す量として、「実効線量」等を定義しております。

計測実用量：国際単位測定委員会（ICRU）が、実効線量を実測で合理的に評価する（過小評価しない）ため、サーベイメータや線量計等が測定する量として、防護量を近似して線量計を校正するために定義されております。そのため、実際にサーベイメータや線量計で表示あるいは測定される量は、この計測実用量となります。

さらに、空間中で線量を測定するサーベイメータ及び人体の表面で線量を測定する線量計という測定条件の違いを考慮して、サーベイメータ等が測定する「周辺線量当量」及び線量計が測定する「個人線量当量」が個別に定義されております。

これまで、線量計は放射線を取り扱う施設の作業員の被ばく管理に用いられてきました。作業員の多くの時間は放射線源に対面して作業すると推定され、実際の測定で線量計を体表面に装着しております。そのため、校正でも人体を代用する直方体形状を持つアクリル製の物体（この物体を「ファントム」と呼んでおります。）の表面に設置し、放射線を前面から照射します。この場合、ファントムに入射して跳ね返ってきた（通常「散乱した」といいます。）放射線も線量計が同時に検知する

ため、ファントムのない空間中に線量計を設置した条件と比較して測定値は高くなります。校正では、線量計がファントム表面に置かれた条件で個人線量当量を正しく測定できることを確認します。

(2) 線量計の測定結果に影響を与える放射線

福島県の自治体が進めている線量測定では、放射性セシウムから放出される γ 線を測定できる線量計が利用されています。一方、大地には γ 線を放出する元素が含まれており、線量計の測定結果にはこの γ 線による線量も含んでいます。この γ 線は、国連科学委員会 (UNSCEAR) では「大地 γ 線」としており、1F事故前も環境中に存在しておりましたので、その影響をバックグラウンドとして測定結果から差し引き、追加線量が評価されています。

1F事故の発生後に空間線量の測定結果に基づき、屋内外の1日の滞在時間や線量比を考慮して、年間で受ける外部被ばく線量が推定されてきました。このとき、屋内外の線量比は環境中に事故からの放射性核種が沈着している条件において、木造家屋で線量が屋外の0.4倍となるというデータが参照されました。この木造家屋の内部で線量が低減する理由として、その床下に事故からの放射性核種が存在しないことが大きな要因となっております。1F事故後、0.4という数値を遮蔽係数と表現している場合がありますが、木造家屋の γ 線に対する遮蔽能力だけでは、この数値ほど線量は低減しません。

1F事故の発生前を考えた場合、大地 γ 線のみが環境中に存在していました。また、大地 γ 線としては、日常生活では屋外に存在する放射性核種その他、建物の壁材等に含まれる自然放射性核種からも一定の被ばくを受けます。測定例は少ないですが、国内の木造家屋内と屋外の線量を比較した測定で、両者の比(屋内/屋外)として、おおよそ 1.0^2 もしくは 0.8^3 という結果が報告されています。逆にコンクリート建物内では、その建材に含まれる自然放射性核種の影響により木造家屋などの屋内よりも線量が高くなることを示唆するデータが得られています⁴⁾。国連科学委員会 (UNSCEAR) の報告書⁵⁾では、日本国内の大地 γ 線による屋内と屋外の線量比として、木造家屋内と屋外で線量に差がないというデータ²⁾が引用されています。

以上のように、事故で環境中へ放出された放射性核種が沈着していない環境(1F事故前のような状況)では、 γ 線による空間線量が屋内で0.4倍になるような差はないと考えられています。

(3) バックグラウンドとなる「大地 γ 線」による線量

原子力安全協会が平成23年に公表した「新版 生活環境放射線」によると、大地 γ 線による被ばく線量の平均値は実効線量として 0.33mSv と評価しています。この値は、全国の空気吸収線量の平均値 $0.0509\mu\text{Gy/h}$ から、時間から年への換算(24時間 \times 365日)、空気吸収線量から実効線量への換算係数 $0.748(\text{Sv/Gy})$ を乗じて導出されました。

$$0.0509\mu\text{Gy/h}\times 24(\text{d/h})\times 365(\text{d/y})\times 0.748(\text{Sv/Gy})\div 1000(\text{マイクロ}\Rightarrow\text{ミリ})=0.33(\text{mSv/y})$$

サーベイメータ等が測定する「周辺線量当量」について、空気吸収線量からの換算係数がICRPのPublication74で与えられています。主要な大地 γ 線のエネルギー範囲となる 500keV から 2.6MeV ($2,600\text{keV}$)では、換算係数は $1.13(\text{Sv/Gy})$ から $1.23(\text{Sv/Gy})$ の範囲で変動します(正確には空気カーマからの換算係数ですが、大地 γ 線のエネルギー範囲では、空気カーマと空気吸収線量はほぼ同じ値となります)。この換算係数を用いて、年間の平均線量を周辺線量当量で表した場合は $0.50(\text{mSv/y})$ から $0.54(\text{mSv/y})$ となります。

$$0.0509\mu\text{Gy/h}\times 24(\text{d/h})\times 365(\text{d/y})\times 1.13\sim 1.23(\text{Sv/Gy})\div 1000=0.50\sim 0.54(\text{mSv/y})$$

(4) 環境中の個人線量測定

放射線医学総合研究所及び日本原子力研究開発機構は、福島県内で人体に装着した線量計による実測値 (A) と空間中の線量である周辺線量当量 (B) の関係を調査しました⁶⁾。この調査では、1F 事故後のように環境中に放射性核種が分布している状況について、成人の場合は A/B が約 0.7 になると評価しています。また、計算シミュレーションによる解析でも同様の結果が得られています。さらに、福島県内の試験では上記の比 A/B については、体格により変動することも確認されました。その後に実施した実験的な検討等⁸⁾では、3 歳から 18 歳になるまでの者についての比 (A/B) は 0.8 程度となることも示唆されています。なお、実験や計算解析の何れの方法でも、放射性セシウムに対して、線量計による測定値は実効線量を過小評価しないことを示唆する結果が得られています。

1F 事故で放出された放射性セシウムと大地 γ 線の原因となる核種では、環境中の分布状況は異なっていますが、外部被ばく線量を線量計で測定する場合には人体が γ 線の遮蔽体となり、測定値は空間線量の測定結果よりも低くなる可能性があります。ただし、1 日の生活の中で睡眠や入浴などで線量計を人体に装着していない条件下で測定が進められた時間帯が一定の時間存在し、この間は空間中の線量を測定することになります。また、線量計を人体に装着することによる測定値への影響は、線量計の検出感度や検出下限を鑑みた場合、正確に見積もることが可能なほど大きいものではないと推測されます。そのため、空間中で設置した線量計による測定値をバックグラウンドとして設定して追加線量を導出したとしても、必ずしもバックグラウンドを過剰に差し引いたとは言えないと考えられます。

参考資料

- 1) 原子力安全協会：新版 生活環境放射線(平成 23 年)
- 2) S. Abe et.al., Radiat. Prot. Dosim. 7, p267-269, (1984).
- 3) 松田ら. 保健物理, 25, p385-390, (1990).
- 4) K. Saito et.al., Radiat. Prot. Dosim. 61, p61-67, (1997).
- 5) UNSCEAR (国連科学委員会)、UNSCEAR 2000 REPORT Vol. I
Sources and effects of ionizing radiation, Annex B, (2000.)
- 6) 放射線医学総合研究所及び日本原子力研究開発機構、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査
<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/pdf99/report.pdf?1>
- 7) D. Satoh et.al., J. Nucl. Sci. Tech. 54, p1018-1027 (2017)..
- 8) 放射線医学総合研究所及び日本原子力研究開発機構、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故に係る個人線量の特性に関する調査の追加調査－児童に対する個人線量の推計手法等に関する検討－ <http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/cat01/pdf/report201503.pdf>

以 上