

東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について（Ⅺ） ～各地の空間放射線を測定してみました！（3）～

技術士（衛生工学・建設・環境）・環境カウンセラー
第一種放射線取扱主任者、甲種危険物取扱者など

環境計画センター 専任理事 ^{かぎや}鍵谷 ^{つかさ}司

前回寄稿した「環境施設」No.130号、pp.73-83（2013.1）では、「東日本大震災で発生した災害廃棄物等の処理について（Ⅸ）～各地の空間放射線を測定してみた！（2）～」と題して次の内容について紹介した。

（1）エネルギー補償機能なしのNaIシンチレーションサーベイメータによる空間放射線の測定値は、機能付きよりも1.5～1.8倍も高かった。エネルギー補償機能について概略を解説した。また、公的機関の空間放射線モニタリングデータはより低いことを紹介した。
（2）同じ放射線測定器（エネルギー補償機能なし；HPI5000型）を用いて北海道、宮城県、京都、広島、長崎で空間放射線を測定して特徴をまとめた。北海道や東北の東日本は低く、関西から以西は高い傾向にあった。とくに原爆が投下された広島原爆ドーム付近及び長崎市松山町原爆公園で測定した結果、空間放射線はやや高いが、その範囲は狭く問題はなさそうであった。

（3）空間放射線の測定は、測定に用いる機器により大きく変動するので、異なる測定器で得られたデータを比較する場合は要注意である。なお、エネルギー補償機能のない機器でも、標準線源をセシウム137で校正しているので、事故由来の放射線量の測定値（Cs137）の誤差は小さい。

これまで空間線量率の測定に用いたシンチレーション式サーベイメータでは、エネルギー補償機能なしと機能付きは測定値に大きな差があることが分かった。今回は、前回に紹介

できなかった空間放射線が低いとされる車両内と中層マンション（7F）、高いといわれる地下室などにおける測定結果、さらにエネルギー補償機能なしの測定器と機能付き測定器で測定した結果を紹介する。用いた測定器は、前回と同じNaIシンチレーションサーベイメータ。

（1）閉鎖性空間における測定結果；

これまで様々な場所で空間放射線を測定した結果、高い場所としてはトンネル、地下室や花崗岩を使った建物、石垣、敷石の近傍であった。一方、低い場所は、花崗岩から成る基盤岩の深い地表、地下水を含む堆積層が厚い場所、玄武岩や砂岩などの多い東北地方などであった。

前回誌面の都合で紹介できなかった車内、地下室、コンクリートマンション等で測定した結果を紹介する。

①車内の放射線はどの程度低いのか？（ γ 線遮へい効果について）

車内は、鉄などの外壁で囲まれているので外部からの放射線（ γ 線）を遮へいすることが知られており、通常、1～2割程度低くなるとの報告がある。また、文部科学省放射線量等分布マップ拡大サイトでは、「放射線量等分布マップ（走行サーベイマップ）：車内に設置したNaI（TI）シンチレーション式サーベイメータと接続したKURAMAシステム（Kyoto Univ. Radiation Mapping System）」

を用いて、道路上（車内）における、時間あたりの地表面から高さ1mの空間線量率（ $\mu\text{Sv/h}$ ）を算出しています。マップ上に示す値は、「車内に設置したサーベイメータで計測した空間線量率について、測定車の構造による遮蔽効果やサーベイメータの設置高さ等を考慮した上で、車内及び車外で測定した空間線量率の補正係数として1.3を乗じて算出しています。」とある。つまり、車は外部からの放射線を遮へいするので、車内測定値に係数を乗じて外部測定値に換算している。

以下にNaIシンチレーションサーベイメータ（エネルギー補償機能なし）を用いて車外と車内の放射線を測定したので紹介する。

◇平成24年10月3日；京都市内川端一条バス停前（以下、単位は $\mu\text{Sv/h}$ ）

- ・京都バス車内；平均 0.0825
- ・降車後の同じ場所；平均 0.119

〈結果〉バス内は屋外の69.3%で、遮へいにより約3割低下。

◇平成24年10月10日；自宅（京都市岩倉）地下駐車場の車内；プリウス α

- ・HPI500型；車内；平均 0.143
- ・HPI5000型；車外；0.193～0.218；平均 0.206

〈結果〉自家用車内は屋外の69.4%で、遮へいにより約3割低下。



カルバートボックス型地下駐車場

【コメント】

車内の放射線は、外部からの放射線を2～3割遮へいすることが分かった。その結果、これまで、車内、バス、鉄道車内の測定値は屋外よりも2～3割程度低いことがわかった。屋外値を求めるのであれば、車内での測定値を1.2～1.3倍する必要がある。

②密閉、開放室内における測定値はどうなる？ （ラドンの影響はどの程度か？）

日本人の被ばく線量が年間1.48mSvのうち、ラドン及び娘核種による内部被ばく線量が0.4mSv（27%）と言われており、無視することはできない。

前回の寄稿では、自宅の地下室（コンクリート製）と木造の1階と2階の空間放射線が大きく異なり、2階では約半減することを報告した。仮に大地や地下コンクリートが γ 線の発生源であれば距離減衰あるいは気体である放射性ラドンが関係している可能性があると考えた。ここで、地下室を密閉した場合と開放した場合に室内の空間放射線を実測した。

平成24年10月7日から10日朝まで室内を密閉し、10日朝に測定した。その後、30分間にわたり窓とドアを開放して扇風機で換気した状態で同じ場所で測定した。測定方法は、測定開始から120秒間にわたって30秒ごとに測定値の最大と最小を5回記録し、これを単純平均した。

- ・地下室密閉状態での測定値；0.174～0.214 $\mu\text{Sv/h}$ （5回平均値；0.194 $\mu\text{Sv/h}$ ）
- ・30分間開放、換気後の測定値；0.169～0.206 $\mu\text{Sv/h}$ （5回平均値；0.184 $\mu\text{Sv/h}$ ）
- ・結論；換気により約95%に低下した。

【コメント】

測定値は誤差範囲内である可能性もあるが、測定値の最小値と最大値ともに低下していることからこの差分がラドンガスの寄与ではないかと推測できる。地下室は、床面が地下水を防水するために捨コンクリートで固め、その上に床面がある。このため、地下から上昇

するラドンガスは遮断されると考えられる。むしろ、コンクリートに含まれる放射性核種の壊変で生じたラドンガスの寄与ではないかと推測される。

③マンション（7F）の上層階は低いのか？

測定したマンションは、地上7階建て鉄筋コンクリート製ビルであり、2階から7階までマンション（昭和49年竣工）、1階と地階が近畿地方発明センタービルである。地階の周辺はドライエリアが廻らされている。なお、一部、エネルギー補償機能付きシンチレーションサーベイメータTSC-171Bを用いて同時に測定し、その割合を算出した。（単位： $\mu\text{Sv/h}$ ）
◇平成24年10月3日；10時半から11時半・快晴、7F住宅居間

○地下1階事務所（南側、半面が窓側）；平均；0.114

（TCS-171B測定器； $0.07\mu\text{Sv/h}$ であり、 $\text{HIP5000型/TSC-171B} = 1.63$ ）

○1階エントランス中央部（両側に部屋）；平均；0.135

○マンション6階通路（片面のみ部屋）；平均；0.147

○マンション6階居住台所（換気あり）；平均；0.178

【コメント】

これまでの知見に基づくと、高層階ほど空間放射線は低くなると言われているが、高い結果であった。仮に放射線の発生源が地盤を構成する基盤岩にあるとすると、地表よりも低い地下室が最も高くなり、高層ほど距離減衰、各階の床盤による遮へい、ラドンガスの遮へいなどで説明できるが、測定結果は全く反対であった。最も高い6階住宅が地下室よりも高かった。これは、放射線の発生源がコンクリートに含まれる砂利などの建材であることを示唆する。つまり、コンクリートの部屋数、配置などで変動することを示唆する。なお、コンクリートに含まれる放射性ウランなどは壊変して放射性ラドンを生じるので、



中高層マンション（7F）の外観

換気の程度で若干変動する可能性もあろう。

結果としては、鉄筋コンクリート製の高層マンションは地上から離れてはいるが、地表の空間放射線量とあまり変わらないのではないかと推測できる。なお、立地条件等で測定結果は変わることもありえよう。

④地下室の測定高さの影響はあるか？

近畿地方発明センタービルの地下1階の事務所は、周囲がドライエリアであり、2階から7階までマンション（写真上）である。地下室は14坪で、前が1.3m程度のドライエリアであり、天井までの高さは2.8mある。測定地点の高さを変えて空間放射線を測定した結果は次のとおりであった。測定方法は従前通りである。（単位： $\mu\text{Sv/h}$ ）

○床面（+0.0cm）；0.116～0.132（平均0.123）

○床面（+68cm）；0.110～0.118（平均0.114）

○床面（+156cm）；0.115～0.124（平均0.121）

○床面（+275cm）；0.144～0.150（平均0.147）

【コメント】

結果は、壁に近い床と天井付近が高く、離れた地点では低い傾向が認められた。建材のコンクリートに含まれているウラン等の放射性物質から放出される γ 線は、距離減衰を考えると中央部で最も低くなると考えるとつじつまがあう。

(2) エネルギー補償機能有無サーベイメータの測定値の比較

①測定器の概要

下記にエネルギー補償機能なし（これまで用いたHPI 5000型）と補償機能付き（アロカTCS-171B）のNaIシンチレーションサーベイメータを写真に示す。写真の下段はエネルギー補償機能のないHPI-5000型、上段はエネルギー補償機能付きアロカTCS-171B。それぞれの特性は「環境施設」130号.p.76（2012.冬）の表-1に掲載した。精度はいずれも $\pm 15\%$ で、検出器はNaI（TI）の大きさが直径1インチ（25.6mm）、長さ1インチ（25.6mm）。なお、 γ 線を検知するNaI（TI）結晶が大きくなるとより低線量を測定でき、精度も向上する。

②エネルギー補償機能別測定器による空間放射線の測定結果について

NaIシンチレーションサーベイメータHPI 5000型は、セシウム137で校正されているので、Cs137から放出される γ 線については $\pm 15\%$ の精度で測定できるとされている。しかしながら、低エネルギーの γ 線に対する精度は低下する。一方、エネルギー補償機能付きのアロカTCS-171B型は、 γ 線のエネルギー変動に対して「1cm線量当量対応型」に校正できるように係数が調整されており、様々な

エネルギーの γ 線をやや高い精度で検出することができる。前回にエネルギー補償機能なしでの測定値はエネルギー補償機能付きのそれよりも1.5～1.8（平均；1.65）程度か過大であることを紹介した。今回は測定値について紹介する。

【測定事例-1】公的機関（エネルギー補償機能付き）における測定について

平成24年10月3日に京都府空間放射線のモニタリングを行っている京都府保健環境研究所（伏見区村上町）を訪ねて放射線モニターの近傍で測定した。研究所の屋上（測定中心；16.9m）にも同じモニタリング設備が設置されており、二重にチェックできる体制にある。（設置されている測定機器）

○測定器；日立アロカメディカル(株)製エネルギー補償型

- ・検出器；NaI（TI） $\phi 2$ インチ（ $\phi 50.8\text{mm} \times 50.8\text{mm}$ ）
- ・エネルギー範囲；線量率；50keV～3Mev（3Mev以上のエネルギーは全て3Mev）
- ・誤差； $\pm 10\%$
- ・公開測定値；リアルタイム公開値は2分間測定値の5個平均、すなわち10分間平均
- ・監視結果報告書；10分間平均値の6個の平均。すなわち1時間平均値

○測定結果；10月3日（水）13：00～14：00



上段；アロカTCS-171B（エネルギー補償機能付き）
下段；HPI-5000型（エネルギー補償機能なし）



京都府保健環境研究所中庭及び屋上に設置された放射線モニタリング

の1分間値の60回の範囲と平均

0.0508～0.0564 ($0.0535\mu\text{Gy/h}$) ※ $1\mu\text{Gy/h}$ を $1\mu\text{Sv/hr}$ としている。

NaIシンチレーションサーベイメータのエネルギー補償機能なし(HPI 5000型)と機能付き(TCS-171B型)を持参してモニターポストの横に並べて測定した結果は次の通りであった。

○測定時の条件；快晴、気温； 27.9°C 、湿度；55% 1、測定時間は13；16分

○立地条件；京都府保健環境研究所が立地する京都市伏見区村上町は京都盆地の南で基盤岩の深さが約200mで、厚い堆積層と豊富な地下水が特徴。地表面は砂利敷きで幅数mの場内道路を挟んで地上4階の鉄筋コンクリート建屋が近接する。

○測定結果；

①京都府保健環境研究所（エネルギー補償機能付き）；13；18の1分間値；0.0526

②HPI 5000型（エネルギー補償機能なし）；0.110～0.129 ($\mu\text{Sv/hr}$)（平均；0.120）

③TCS-171B型（エネルギー補償機能付き）；0.08 ($\mu\text{Sv/hr}$)

④比率（エネルギー補償機能なし/補償機能付きTCS）；1.50

⑤比率（エネルギー補償機能なし/補償機能付き京都府モニタ）；2.24

【コメント】

いずれもNaIシンチレーション式であるが、エネルギー補償機能なしと機能付きサーベイメータの実測値は次のとおりである。

補償機能なしサーベイメータ＞補償機能付きサーベイメータ＞補償機能付きモニター
比率；2.24 1.50 1.00

自然由来の γ 線を測定した場合には同じ検出式であっても測定器により測定値に大きな差があることが分かった。なお、サーベイメータのSvは1cm線量当量、モニタリングポストは空気吸収線量GyをSvにそのまま読み替えた値であり、校正方法や評価方法が異なることに留意する必要がある。モニタリングポ

ストとの比較は参考程度としていただきたい。

【測定事例-2】花崗岩石垣前（京都市岩倉地区宅）の空間放射線の測定結果

○測定時の条件；平成24年10月5日、快晴、測定時間は8；49分から30秒ごと5回測定した。結果は5回の範囲と平均値を示した。

○立地条件；京都市岩倉地区の住宅前花崗岩の石垣前で30cm地点、20cmの高さに測定器を二台置いて測定した。なお、地面は石タイル張。このあたり比叡山の麓であり、基盤岩の深さは50～100m程度で岩倉盆地として知られ、地下水位が高い。

○測定結果；

HPI 5000型（エネルギー補償機能なし）；平均； $0.194\mu\text{Sv/h}$

TCS-171B型（エネルギー補償機能付き）；平均 $0.116\mu\text{Sv/h}$

比率（エネルギー補償機能なし/補償機能付き）；1.62

【コメント】

岩倉地区は基盤岩が比較的浅く、花崗岩であることから放射線が高いことが知られている。花崗岩には放射性ウランの含有量が多いと言われているが、直接分析をしていないので不明。

測定事例-1の伏見区での実測値と比較してエネルギー補償機能の有無による比率がやや高いことがわかる（1.62）。



住宅前の花崗岩の石垣

【測定事例-3】地下駐車場（京都市岩倉地区） における空間放射線の測定結果

○測定時の条件；平成24年10月5日、快晴。
測定時間は8：59分から30秒ごと5回測定した。結果は5回の範囲と平均値を示した。

○立地条件；京都市岩倉地区の地下駐車場。
4面張りのコンクリート製カルバートボックス（幅が2.5m、高さ2m、奥行きが12mの中央部で高さ60cmに設置して測定。

○測定結果；
HPI 5000型（エネルギー補償機能なし）；
平均；0.195 μ Sv/h

TCS-171B型（エネルギー補償機能付き）；
平均0.118 μ Sv/h

比率（エネルギー補償機能なし/補償機能付き）；1.65

【コメント】

建材のコンクリートは材料の産地にもよりますが、放射性ウランが含まれているといわれている。いわば、全方向から放射線が入射するので、測定値は高いと考えられる。

測定事例-2の駐車場前の花崗岩石垣前と比較してエネルギー補償機能の有無による比率はほぼ同じであった（1.65）。

【まとめ】

感度の高いNaIシンチレーションサーベイメータであるエネルギー補償機能のないHPI 5000型と補償機能付き（TCS-171B型）の二台の γ 線測定器の測定値を同時に読み取り、比較した結果、前者はほぼ6割程度高く表示されることが分かった。

補償機能付き測定値が正しい数値であるとする、機能なし測定器の測定値の信頼性はかなり低いことになる。また、たとえエネルギー補償機能付きサーベイメータで測定してもより精度の高い検出器を有する設置型モニター測定値と比べるとさらに信頼性は劣る。それぞれの測定器の使う目的をきちんと把握しなければ、測定の意味があいまいになる。

このような特徴を有する測定器の正しい使

用目的は、日常における空間放射線量を把握することであり、放射能漏出事故があればすぐに把握できるような使い方ではないだろうか？

なお、食品の放射線汚染の程度はこのような γ 線だけの測定では把握できないし、当然、自然界の空間放射線を遮断して行わなければならない。

【おわりにあたって】

これまで、全国で空間放射線の測定を行った結果、公的機関で公表されている測定値と比較すると、私の実測したデータは常に2倍程度大きかった。原発事故以来、空間放射線が社会的に大きな関心を集める中で、除染基準や被ばくの影響が空間放射線の数値で判断されるのでどうしても厳密にとらまえてしまう。空間放射線はそれ自体が大きく変動することが分かっているながらも、さらに測定機器の構造によって実測値が大きく変動するとなると測定値自体が意味を失うことになる。

本来、サーベイメータは携帯型の簡易測定器ではあるので、おおよその放射線量を把握する程度のものである。これにより基準値を超えたとか、対策が必要であるなどと判断するために使ってはならないことになる。なお、エネルギー補償機能の付いていないサーベイメータであってもセシウム137で校正しているので、原発事故由来に伴う追加被ばく線量の測定には有効であろう。

これまで空間放射線を実測し、結果がつじつまが合うように説明したが、最も大きく変動する理由は、シンチレーションサーベイメータのエネルギー特性にあり、 γ 線のエネルギーが、校正したセシウム137より低いためではないかとの疑念がある。

次回、シンチレーションサーベイメータの測定原理並びにエネルギー補償機能について解説し、なぜ測定器によりこのような差が生じるかについて解説したい。