

低減係数に寄与する BG 及び測定点高さの相違による影響について

先の論文「福島第一原発事故に伴う各種建屋による低減係数の調査」[1]は、「防災指針」に示す低減係数（例：木造住宅=0.4 86 例、高層建築物=0.01 22 例）に対して、実測した平屋あるいは 2 階構造の木造住宅は 1.7 倍の 0.7、高層建築物は 10 倍の 0.1 という結果を報告した。これら低減係数の評価に当ってはいくつかの課題もあった。それは、低線量地域の調査結果が、BG の影響が含まれており、信頼性に懸念すべき事項があったことも事実である。これに対して、福島県内の線量率の異なる地域にある集会所を対象とした調査の報告[2]があり、これらのデータを統計、分析して、その問題は大きな要因ではないことを検証した(別途資料作成[3])。

その後、日本原子力研究開発機構の高原省吾氏が福島県内住民の被ばく線量評価の一部の中で、当該“低減係数”の実測結果 0.3 を報告[4]されたことを知った。電話にて話合いをした後、上記[1]に実際の測定図面も一部添付し（参考までに福島駅前の地下道及び信夫山歩道トンネルの実測報告も同封）、コメントを求めたが、“コメントを控えたい”旨の返信[5]があった

今回、低減係数の調査結果について、新たなデータも含めて改めて下記の課題に関して再検討を試みた。それは、(1)BG0.05 を考慮した場合の変動幅、すなわち、低減係数への影響の程度は？(2) 福島県内集会所及び、(3) 学校等モニタリング調査結果から各測定点の低減係数を求め、その影響の程度についての再分析、及び (4) [1]に関する測定点は、0.5m と 1.0m について実施したが、木造建屋の低減係数の算出には 0.5m 値を採用した。この高さの相違による変動幅?の 4 点である。

1 BG0.05 を考慮した場合の変動幅

実測値が低い場合、BG の寄与がどのくらい生じているのか、その実態を分析した。論文[1]に関わる低減係数の調査時に実測した線量率の分布を[資料－1]に示す。BG0.03~0.05 $\mu\text{Sv/h}$ を含み、建屋外は 0.11~0.25、建屋内は 0.08~0.18 $\mu\text{Sv/h}$ であった。

低減係数が BG による影響について、すなわち、BG=0.05 と推定し、低減係数を求めた線量率比が BG0.05 を含む場合の過大評価した割合（=過大係数）を相対的に求めた[資料－2]。その結果、建屋外線量率が小さい程、影響が過大であることが明らかで、特に 0.1 $\mu\text{Sv/h}$ 以下で大きい。

次に、実測値から評価した各低減係数について、BG の影響の程度を確認した。実測した最低線量率は、建屋外は 0.11 $\mu\text{Sv/h}$ 、建屋内は 0.08 $\mu\text{Sv/h}$ であり、それらから求めた過大係数は、1.3 以上は 25%（83 例中 21 例）、1.2 以上では 41%（83 例中 34 例）である。こ

の結果、低線量率範囲において求めた低減係数には、係数を高める傾向あったことを確認した【資料-3】。

2 環境放射線モニタリング調査（集会所）：低減係数

別途資料作成【3】は、第1回及び第2回の福島県環境放射線モニタリング調査に基づいて0.25 μ Sv/h で区分した低線量及び高線量区域別の結果を求めた。今回、新たに入手した第3回の同モニタリング調査の結果【6】を追加して、以下のとおりまとめた。

2-1 第3回の調査時の選択地域

(1) 県北：福島市、伊達市 県南：棚倉町会津：会津若松市、磐梯町、猪苗代町 南会津：只見町、南会津町

(2) 線量率区分 第3回の調査結果から建屋外線量率分布を図に示した【資料-4.1、4.2】。

その結果、高線量区域として福島市、伊達市、低線量区域は棚倉町、会津若松市、磐梯町、猪苗代町、只見町、南会津町に区分けし、低減係数を統計解析した。

* 【別途資料作成【3】にまとめた第1回、第2回の調査の地域と第3回の調査時の選択区域は同じでも、対象施設は異なる】

2-2 第1.2.3回モニタリング調査から得た低減係数

詳細な統計結果は【資料-5】に示し、要点は下表に示す。

(1) 第1回モニタリング調査 実施時期：H23年10月1日～11月25日

①高線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μ Sv/h)
福島市 伊達市	0.67±0.20	127	—

②低線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μ Sv/h)
会津坂下町・三島町・浅川町 ・磐梯町・只見町	0.71±0.13	95	—

(2) 第2回モニタリング調査 実施時期：H24年8月8日～8月20日

①高線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μ Sv/h)
福島市 伊達市	0.61±0.18	111	0.07～1.90

②低線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μ Sv/h)
会津坂下町・三島町・浅川町 ・磐梯町・只見町	0.77±0.15	111	0.07～0.20

(3) 第2回モニタリング調査 実施時期：H24年8月8日～10月1日【6】

①高線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μ Sv/h)

伊達市 福島市	0.62±0.20	149	—
---------	------------------	-----	---

②低線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μSv/h)
棚倉町・会津若松市・磐梯町 ・猪苗代町・只見町・南会津町	0.74±0.15	365	—

(4) 第3回モニタリング調査 実施時期：H25年2月5日～3月29日[6]

①高線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μSv/h)
伊達市 福島市	0.62±0.21	165	0.13~0.78

②低線量区域

地域	低減係数	件数	線量範囲 (μSv/h)
棚倉町・会津若松市・磐梯町 ・猪苗代町・只見町・南会津町	0.81±0.17	389	0.11~0.26

第1回モニタリング調査時期 H23年10月と第3回モニタリング調査時期 H25年2月間まで、16ヶ月の間隔もあり、係数に及ぼす環境の多くの変化要因があったと考えられる。第1回モニタリング調査と同時期に調査した土壌中の核種の割合は、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}=0.7\pm 0.3$ 、第2回モニタリング調査以降は放射性ヨウ素の存在はない。

2-3 集会所モニタリング調査結果に基づく低減係数は、高線量区域 0.61~0.67 低線量区域 0.71~0.81 で、低線量区域は高線量区域の値と比較して約 10~30%高い傾向が認められた。しかし、統計結果を総合して見ると、**高線量区域間及び低線量区域間、さらに、両区域間における有意差は認められない。**

なお、同第4回の調査[7]は進行中である。また、第2回モニタリング調査結果について、当該 2-3 の件数と 2-1 で記した建屋外線量率分布図[資料-1]に示した数値と異なるのは、低減係数の評価は集会所の内外の両方の測定値が得られたケースのみで求めているためである。

2-5 モニタリング調査の集会所及び学校等の測定点について検証、考察する。

集会所におけるモニタリング調査における測定点は、集会所屋外は施設の出入口前で舗装されている場所である。この位置が集会所の屋外と言えるか？新たな学校等のモニタリング調査結果を用いて検討した。また、学校等屋外地点は、正門（敷地内）、昇降口前、校庭・園庭の3ヶ所である。ここで、集会所の施設の出入口前=昇降口前であるか？

学校等の調査は、定期的の行われており、その中から H23年9月と H25年7月で、測定数の多い地域を選択し、各学校の昇降口前/校庭・園庭等5点の平均値を求めた。その結果（平均値の比）、H23年5市：0.83~1.23、H25年3市2町 0.79~1.06 で、個々には最少 0.5、最大 3.0 と大きな差が認められたが、全体的にみると有意な差はない。よって、前省で低減係数を求めるに当たり、集会所の施設の出入口前の線量値

を当施設外（屋外）としても問題ないことを確認した【資料－6】。

* 集会所施設の出入口前及び昇降口前における測定方法は、“その測定点から屋外に向かって測定”であることを確認した。【私信：原子力班モニタリングチーム】

3 測定点 0.5m と 1.0m の相違による変動

測定点の高さによる変動について検証した。

3-1 学校等

福島環境放射線モニタリング調査時の測定点の高さは、0.5m及び1.0mであり【8】【9】、両値からその比を求めると次表のとおりである。統計結果の相関図は【資料－7.1、7.2】参照。

測定日	校舎外 0.5m/1.0m線量率比	校舎外平均線量 率 (μSv/h)	線量率範囲 (μSv/h)	例数
H23.4.14	1.1±0.04	3.55±0.63	2.6～5.6	50
H23.5.12	1.1±0.05	2.73±0.81	0.7～3.7	56

校舎外の0.5m/1.0m線量率は、校庭の四方と中央部の計5点の平均値。

3-2 集会所

集会所の測定点の高さの相違による0.5m/1.0m線量率比について、学校等と同様にその比を集計した。詳細な統計結果は、【資料－8】参照、それらの要約を下表に示す。

(3)第2回モニタリング調査 実施時期：H24年8月8日～10月1日【6】

①高線量区域 0.5m/1.0m線量率比

地域	屋外	件数	屋内	件数
伊達市 福島市	0.99±0.08	169	0.91±0.07	143

②低線量区域 0.5m/1.0m線量率比

地域	屋外	件数	屋内	件数
棚倉町・会津若松市・磐梯町 ・猪苗代町・只見町・南会津町	1.03±0.10	417	0.97±0.10	371

(4) 第3回モニタリング調査 実施時期：H25年2月5日～3月29日【6】

①高線量区域 0.5m/1.0m線量率比

地域	屋外	件数	屋内	件数
伊達市 福島市	0.99±0.10	170	0.90±0.07	159

②低線量区域 0.5m/1.0m線量率比

地域	屋外	件数	屋内	件数
棚倉町・会津若松市・磐梯町 ・猪苗代町・只見町・南会津町	1.05±0.11	423	1.01±0.11	387

0.5m/1.0m線量率比は、屋外が屋内より大きい傾向があったが、高線量区域と低線量区域間の差もなく、0.5mと1.0mの各線量率に相違はない。

3-3 汚染面積に依存する測定値の高さ別線量率

測定点の高さ別線量率の変化は、汚染表面密度や面積に依存する。次のような仮定のもとに近似式を用いて評価した【10】。半径 R (m) の円内に、 $^{134+137}\text{Cs}$ の表面密度を一定とし、中心の高さ h (m) での γ 線量率を計算した。その結果を【資料-9】に示す。

その結果、 $h=1\text{m}$ における線量率の寄与は、半径 $R=2\text{m}$ で 20%、 8m で 50% であり、90% の指示するためには 70m の範囲を要する。

3-4 線量計の指示範囲の割合

前項と同じ近似式から、 $^{134+137}\text{Cs}$ の表面密度 $=1\text{Bq/cm}^2$ と仮定し、高さ別の線量率を求めた。その結果を【資料-10】に示す。あくまでも理論的な相関関係であるが、汚染面積の広がり、 R が大きいほど線量率も大きくなり、 $R=20\text{m}$ における値は測定高さ $0.5\text{m} : 1.3$ 、 $1.0\text{m} : 1.0$ 、 $2.0\text{m} : 0.8\mu\text{Sv/h}$ で、高さによる値は小さくなる。

高さ方向の線量率への寄与は、周辺の汚染面積が広いほど、その依存度は大きい。学校及び集会所周辺の環境は、比較的高い樹木に覆われている例が多く、汚染源は複雑で特定することは難しい。

*文献【10】に関する検討資料は、別に作成した「原子力 作成資料 No.9 参照」

4 他の実測例

インターネット経由で新たに大熊町木造建屋の情報【11】を得た。その要約を【資料-11】に示す。特定の民家を対象として、家屋敷地 14 点、家屋 1F と 2F それぞれ 18 点について、H23 年 8 月～H25 年 3 月まで 7 回測定した。その結果は、1F : 0.61 2F : 0.66 と示している。各回の幾何平均値から求めた線量率比 (=低減係数) は、0.62～0.71 の範囲にあった。

*論文【1】の中では 1F と 2F について区別していないが、改めて計算すると、1F : 0.67 \pm 0.13 (66 例) 2F : 0.77 \pm 0.11 (17 例) 茨城県内のみ、1F には平屋を含む
*論文【1】の低減係数の計算は、正規分布と仮定して平均値 \pm 標準偏差を求めたが、情報【11】の線量率比 (=低減係数) の算出は、木造建屋内外の測定値の幾何平均値及び幾何標準偏差を計算している。この算出法の相違についても課題となった。これについては、別付録としてまとめた。

5 結論

- (1) 木造建屋の低減係数は、 0.68 ± 0.13 (86 例) と報告した【1】。この値に対する検証は、線量率の高低に依存する影響の程度を理論と実測値と合わせて試みた。福島における第 1 回～第 3 回の多くの環境放射線モニタリング調査 (集会所) 結果を利用して求めた低減係数を検討した。低線量区域は高線量区域の値と比較して約 10～30% 高い傾向が認められた。しかし、統計結果を総合して見ると、高線量区域間及び低線量区域間、さらに、両区域間における有意差は認められない。
- (2) 低線量区域においては BG の影響も関与し、建屋の構造及び複雑な環境状況を勘案すると、木造建屋の低減係数は、0.6～0.7 であると結論する。

(3) 0.5m/1.0m線量率比は、屋外が屋内より大きい傾向があった。理論的には、高さ方向の線量率への寄与は、周辺の汚染面積が広いほど、その依存度は大きいが学校及び集会所周辺の環境は、比較的高い樹木に覆われている例が多く、汚染源は複雑である。

実測結果から、高線量区域又は低線量区域間の差もなく、0.5mと1.0mの各線量率に相違はない判断する。

参考文献

- [1] 泉 幸男、千田 徹、加藤義春 Isotope News 2012年10月号 No.702
- [2] 原子力災害対策本部・福島県災害対策本部 福島県環境放射線モニタリング調査（集会所）第1回：H23.10.11~11.25、第2回：H24.8.8~9.6
- [3] 資料 ISOTOPE NEWS 投稿論文の検証 ⇒ 本再検討資料に差換え
- [4] 高原省吾 福島県内における住民の被ばく線量評価 平成24年度安全研究センター成果報告会日本原子力研究開発機構安全研究センターリスク評価・防災研究グループ2013年1月16日
- [5] 送付資料及び返信文
- [6] 原子力災害対策本部・福島県災害対策本部 福島県環境放射線モニタリング調査（集会所第3回）平成25年2月4日
- [7] 原子力災害対策本部・福島県災害対策本部 福島県環境放射線モニタリング調査（集会所第4回）実施計画 平成25年9月19日
- [8] ・文部科学省 校庭等の空間線量率 $3.8\mu\text{Sv/h}$ の学校の児童生徒等の生活パターンから推定される児童生徒等が受ける実際の積算線量の試算について 平成23年5月12日
*参考資料：福島県内の学校の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方について 23文科ス第134号 平成23年4月19日
- [9] ・文部科学省 福島県内学校等空間線量率モニタリングの実施結果について（その2）及び測定結果から見られる傾向について 平成23年5月12日
- [10] 田崎晴明 地表のセシウムによる γ 線の空間線量率 2012年5月
- [11] (株)日環研 木梨他 “xls-hashimotoのExcel学”大熊町一時立入時モニタリング結果 警戒区域内放置家屋（大熊町）の線量率および汚染密度の経年変化 その1 学会発表予定