

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

投稿

泉 幸男*, 千田 徹*, 加藤 義春**
Izumi Yukio Chida Tooru Kato Yoshiharu

1. はじめに

原子力安全委員会は、原子力災害時において、放出された放射性物質から施設周辺住民の被ばく線量の低減のために行うべき措置として、“原子力施設等の防災対策について”¹⁾(以下「防災指針」という)を示し、予測線量に応じて“屋内退避及び避難等に関する指標”を示している。この指標の参考資料として、防災指針の付属資料8に“沈着した放射性物質のガンマ線による被ばくの低減係数”をIAEA²⁾がまとめたものを例示している。その一部を表1に示す。これらの係数を我が国の原子力災害時に適用するに当たっては、日本固有の建屋の種類、構造、材料の相違、さらに事故後の時間経過に伴う放射性同位元素の存在割合等、検討すべき課題があると考えられる。

このたびの東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故に伴い、(1)文部科学省は、初期の段階において、児童生徒等が受ける年間積算線量20 mSv相当とし、木造家屋内に滞在する時間

帯を考慮した線量の試算に、この低減係数0.40を用いて校庭等の空間線量率3.8 μ Sv/hを算出^{3,4)}している。さらに、(2)環境省は、放射性物質汚染対処特措法により、長期目標として、追加線量が年間1 mSvとすると、汚染状況重点調査区域を指定する線量率0.23 μ Sv/hの決定⁵⁾にもこの低減係数0.40を採用している。

筆者らは、福島第一原発の事故から約1年経過した環境下において、年間積算線量20 mSv及び追加線量が年間1 mSvの線量評価に対応する情報として、建屋の種類、構造別の建屋内外の線量率を実測して低減係数を調査したので、報告する。

2. 測定方法

使用した測定器は、(株)堀場製作所製 PA-1000 Radiを用いた。主な仕様は表2のとおりである。

主な測定対象建屋は、木造(平屋、2階建て)、軽量鉄骨及び鉄筋コンクリート構造の一般住宅及び軽量鉄骨構造の集会所、コンビニエンスストア、鉄筋コンクリート構造のコミュニティセンター、大型店舗、ホテル、マンション等である。一般住宅で木造建屋の多くは一戸造りであるが、鉄筋コンクリート構造のケースは一棟に複数戸の構成である。これら一般住宅建屋外の測定点は、周辺における高い樹木等の高線量率の影響が少ない平坦地を選び、高さは地表0.5 mである。建屋内の測定点は、一般住宅では比較的居住時間が長く、南側に面する部屋

表1 沈着した放射性物質のガンマ線による被ばくの低減係数(防災指針 抜粋)

| 場 所 | 低減係数 |
|---|------|
| 平屋あるいは2階建ての木造家屋 | 0.40 |
| 平屋あるいは2階建てのブロック煉瓦造りの家屋 | 0.20 |
| 各階が約450~900 m ² の面積の3~4階建て建物1階及び2階 | 0.05 |
| 各階面積が約900 m ² 以上の多層建築物上層 | 0.01 |

表2 検出器の主な仕様

| | |
|---------|--------------------------|
| 検出器 | CsI(Tℓ) |
| 感度 | 1 μSv/h に対し 1,000 cpm 以上 |
| 相対指示誤差 | ±10% |
| 指示値変動 | 係数 0.1% 以下 |
| エネルギー範囲 | 150 keV 以上 |
| エネルギー特性 | 0.5~3* (150~1,250) keV |
| 有効測定範囲 | 0.001~9.999 μSv/h |
| 表示間隔 | 60 秒の積算値を 10 秒ごと表示 |

* : (¹³⁷Cs に対する相対感度)

の中央とし、高さはいずれも床面 0.5 m、ホテル、マンションも部屋の中央部の同じ高さである。一般住宅以外の比較的大きな建屋の集会所、コンビニエンスストア、コミュニティセンター、大型店舗、マンションにおける建屋外の測定点は、高さ地表 1.0 m で、建屋内は、当施設内全体を網羅できるような位置を選び、ホテル、デパート等は主にエレベーターホールで高さは床面 1 m である。

測定期間は平成 24 年 1 月 4 日~3 月 16 日、測定場所は茨城県内と福島県内である。各自治体が 3 月中旬に公表した各地の線量率及び実測線量率を表 3、4 に示す。

3. 測定結果

建屋外を測定した線量率は、福島県内（福島駅周辺）が比較的高く（0.75~1.56 μSv/h）、茨城県内は低かった（0.09~0.25 μSv/h）。各地の測定点のバックグラウンド（BG）に相違があることから、測定値は BG を含む値で措置した。

測定対象である建屋の種類、構造は、多種多様であり、部屋中央でも各部屋の大きさ、形状、部屋数並びに測定件数についても一様ではない。特に建屋外の線量率の寄与が大きいと考えられる窓の位置、大きさについても同一ではない。

なお、Radi を用いた測定値は、小数点以下 3

表3 茨城県発表値と実測線量率（測定高さ：1.0 m）

| 測定場所 | 公表線量 (μSv/h) | 実測線量率 (μSv/h) | 備考 |
|--------|-----------------|------------------|---------------------|
| 日立市 | 0.107 | 0.20~0.22 | 平成 24 年 3 月 14 日 |
| 東海村 | 0.085 | 0.09~0.25 | |
| ひたちなか市 | 0.156 | 0.20~0.25 | |
| 土浦市 | 0.165 | 0.21~0.25 | |
| つくば市 | 0.121 | 0.09~0.16 | |
| 美浦村 | 0.095 | 0.17~0.22 | |

表4 福島県発表値と実測線量率（測定高さ：1.0 m）

| 測定場所 | 公表線量 (μSv/h) | 実測線量率 (μSv/h) | 備考 |
|----------|-----------------|------------------|---------------------|
| いわき市田人支所 | 0.21 | 0.30~0.31 | 平成 24 年 3 月 13 日 |
| 福島駅東 | 0.51 | 0.94~1.56 | 平成 24 年 3 月 22 日 |
| 福島駅西 | 0.66 | 0.75~0.87 | |

桁であるが、四捨五入して下 2 桁で表示した。測定値は正規分布であると仮定して、平均値及び標準偏差を求め表 5 に示した。また、それらの測定結果から各件数ごとに建屋外線量率に対する建屋内線量率の線量率相対比、すなわち低減係数（建屋内線量率/建屋外線量率）を求め、それらの平均値と標準偏差を計算して、同じ表 5 に示した。

建屋の種類、構造別の線量率測定結果及びそれらの結果から求めた低減係数に関する要点は、次のとおりである。

茨城県内における木造（平屋、2 階建て）、軽量鉄骨及び鉄筋コンクリート構造の一般住宅における部屋中央部の低減係数は、それぞれの建屋の 1 階と 2 階間における有意な差は認められない。また、一般住宅の 1 階と 2 階を合計した部屋中央部の低減係数は、木造 0.36~1.00（86 件 0.68±0.13）、軽量鉄骨 0.54~0.69（8 件 0.60±0.05）及び鉄筋コンクリート 0.59~1.00（26 件 0.71±0.11）であり、木造、軽量鉄骨及

表5 建屋の種類，構造別実測線量率及び低減係数

| 県名 | 建屋の種類，構造 | | | 実測線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) | | 低減係数 | 件数 |
|----------------------|---------------|----------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | 屋外 | 屋内 | | |
| 茨城県 | 一般住宅 | 木造平屋 | | 0.16 ± 0.04 | 0.10 ± 0.01 | 0.64 ± 0.12 | 16 |
| | | | 1F | 0.17 ± 0.05 | 0.11 ± 0.02 | 0.67 ± 0.13 | 53 |
| | | 2F | 0.10 ± 0.02 | | 0.77 ± 0.11 | 17 | |
| | | 軽量鉄骨 | 1F | 0.12 ± 0.01 | 0.07 ± 0.01 | 0.57 ± 0.04 | 5 |
| | | | 2F | | 0.08 ± 0.01 | 0.65 ± 0.03 | 3 |
| | | 鉄筋コンクリート | 1F | 0.16 ± 0.02 | 0.14 ± 0.02 | 0.80 ± 0.08 | 13 |
| | 2F | | 0.12 ± 0.02 | | 0.76 ± 0.14 | 13 | |
| | 集会所 コンビニ* | 軽量鉄骨 | 1F | 0.11 ± 0.02 | 0.07 ± 0.01 | 0.69 ± 0.14 | 17 |
| | コミセン* | | 1F | 0.13 | 0.12 ± 0.01 | 0.88 ± 0.11 | 8 |
| | 大型店舗 展示館 他 | 鉄筋コンクリート | 1F | 0.12 ± 0.03 | 0.08 ± 0.01 | 0.72 ± 0.06 | 9 |
| | | | 2F | | 0.09 ± 0.01 | 0.73 ± 0.07 | 9 |
| | 福島県 | 一般住宅 | 木造平屋 | 1F | 0.39 ± 0.09 | 0.17 ± 0.03 | 0.51 ± 0.03 |
| コンビニ* | | 軽量鉄骨 | 1F | 0.94 | 0.13 | 0.14 | 1 |
| ホテル マンション | | 鉄筋コンクリート | 3, 5, 7F | 0.75 ± 0.16 | 0.09 ± 0.01 | 0.12 ± 0.01 | 3 |
| ホテル デパート センター* | | | 1, 2F | 0.75 ± 0.38 | 0.07 ± 0.01 | 0.09 ± 0.03 | 8 |
| | | | 3~12F** | 0.78 ± 0.20 | 0.07 ± 0.01 | 0.09 ± 0.03 | 11 |

*略称 コンビニ：コンビニエンスストア，コミセン：コミュニティセンター，センター：福祉センター

**各建屋の階層は3~12階であるが，測定対象の階層は同じではない。

び鉄筋コンクリートの種類，構造間の低減係数についても有意な差が認められなかった。

福島市内の鉄筋コンクリート構造の高層ホテル，マンション等の建屋内線量率は，建屋外線量率より明らかに低い値であった。3，5，7階だての建屋の階層が異なる部屋中央部を対象とした低減係数は0.12，高層建築物の建屋内部のエレベーターホール等では，1，2階が0.09，3~12階（測定対象の階層は同じではない）においても同じ0.09であった。

その他の建屋について，茨城県内の軽量鉄骨構造の集会所，コンビニエンスストア，店舗及び鉄筋コンクリート構造のコミュニティセンタ

ー，レストラン，大型店舗に関する低減係数の特徴は，表5に示した一般住宅とほぼ同様に高い値であった。一方，福島市内の木造の一般住宅における低減係数は，比較的高い値であった。

4. 考 察

今回の調査において得た茨城県内の木造建屋86件の低減係数の0.68は，防災指針の低減係数0.40に対して1.7倍と大きい値である。文部科学省は，暫定的な目安20 mSvを超えることはないとして線量率3.8 $\mu\text{Sv/h}$ を定めた。また，環境省の放射性物質汚染対処特措法に基づく特

別地域内除染実施計画は、策定されて除染等の実施の段階に進んでいる。この計画における指定地域の指定には、低減係数 0.4 を用いて年間の追加線量 1 mSv を考慮した判断基準 0.23 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ を提示している。前記の両者の場合において、仮に今回の実測線量率から求めた低減係数 0.68 を適用すると、現行の低減係数を用いた場合の被ばく線量は、過小評価になる。また、暫定的な目安線量 20 mSv を維持するとすれば、定めた線量率 3.8 から 2.9 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ に、一方の年間の追加線量 1 mSv については、0.23 から 0.18 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ と変わり、両方とも約 20% を超える低い値に変更する必要がある、見直しが必要であると考えられる。

茨城県内鉄筋コンクリート構造の一般住宅（1棟4世帯等の複合住宅）の低減係数は、予想以上に大きい値を示した。これは、窓や掃出し戸の開口面積が広いこと、それに約1年が経過した現在、開口部等の解放により、建屋内外の雰囲気に差が少なくなっている状況によると考えられる。高い低減係数を示した部屋の南方位面の開口面積は、採光を考慮して約30%である。さらに、低減係数約0.9を示したあるコミュニティセンターは、4面のうち、1~2方位面の部屋周囲の開口面積は約40~60%と大きく、開口面積の大小が低減係数に影響していたと考えられる。

福島市内の高層建物である鉄筋コンクリート造りのホテル等の低減係数について比較する。防災指針に示す低減係数は、階層を区分して0.05又は0.01を示しているが、測定した22件の低減係数は、階層面積（測定対象の建物面積は、900 m^2 以上はデパートと福祉センター各1件、ホテル3件であり、その他のマンション1件は900 m^2 以下）による差はなく、2又は10倍に当たる0.10であった。この種の建物は、開口面積は小さいため、建屋外環境の高い線量率の寄与は少なかったことが考えられる。

原子力災害時において、公共施設が避難施設として指定されている例が多い。学校や集会所

の開口面積は、一般に広く、南方位位だけでは40%を超えている例が多い。3月末に福島市が公表した市内幼稚園、小中学校の屋内屋外の線量比は、24件 0.61 \pm 0.15であった（屋外線量 0.11~0.27 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ：除染後）。

建屋内外の詳細な低減係数を得るための評価には、開口部等の大小のほかに、事故後の時間経過に伴う放射性同位元素の存在割合等も検討要因である。福島第一原発事故発生初期は、希ガス、ヨウ素の存在が多く、 $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ 比は12.5と試算⁶⁾されている。その後、約1年経過した現状ではヨウ素の存在は無視でき、 ^{134}Cs と ^{137}Cs が顕著な環境下にあり、その割合 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は1.4と推測でき、線量率への寄与は ^{134}Cs が ^{137}Cs を上回っている。すなわち、今回の事故後に対応した基準線量に基づく線量率の決定は、低減係数を左右する放射性同位元素の存在する割合、エネルギーの変化等も重要な要因であると考えられる。

5. おわりに

福島第一原発の事故に伴う建屋の種類、構造別の低減係数の調査は、一般住宅の他、集会所、ホテル、店舗等を含めて対象とした。

一般住宅における木造、軽量鉄骨及び鉄筋コンクリート構造における低減係数（部屋中央部）は、木造0.68、軽量鉄骨0.60及び鉄筋コンクリート0.71であった。木造建屋のみに限定すれば86件の0.68は、防災指針に示す木造家屋の低減係数0.40に対して1.7倍と大きい値であった。鉄筋コンクリート構造26件の0.71は、防災指針によるブロック煉瓦造り家屋の低減係数0.20に該当するとすれば3.5倍の差があった。さらに、防災指針は、多層建築物に対して面積区分に応じて、階層別の値を0.05と0.01を示している。今回の測定結果では、測定階層は同じではないが、建築物の面積や階層間の差はなく、22件の低減係数0.10は、防災指針に示す低減係数の2又は10倍であった。

すべてのケースにおいて、実測した低減係数

は、防災指針に示す低減係数より大きな値であり、現行の低減係数を用いた場合は、該当する被ばく線量の過小評価につながる。また、暫定的な目安 20 mSv を維持するとすれば、指定した線量率は、3.8 から 2.9 $\mu\text{Sv/h}$ に、また年間の追加線量 1 mSv では、0.23 から 0.18 $\mu\text{Sv/h}$ となり、両者とも約 20% を超える低い値に変更する必要があり、見直しが必要であると考ええる。

一般住宅の低減係数の再検討に関連して、多くの自治体が原子力災害時においては、集会所、コミュニティセンター、学校等の公共施設を避難施設に指定している現状である。しかし、これらの施設の低減係数は大きく被ばく低減化の期待が小さい等の課題がある。本稿が低減係数の修正の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会，原子力施設等の防災対策について，平成 22 年 8 月一部改訂
- 2) IAEA, TECDOC-225 (1979)
- 3) 文部科学省ホームページ，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，平成 23 年 4 月 19 日
- 4) 文部科学省ホームページ，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
- 5) 環境省報道発表資料，放射性物質汚染対処特措法に基づく汚染廃棄物対策地域，除染特別地域及び汚染状況重点調査地域の指定について（お知らせ），平成 23 年 12 月 19 日
- 6) 原子力安全委員会ホームページ，福島原子力第一発電所から大気中への放射性核種（ヨウ素 131，セシウム 137）の放出総量の推定的試算値について，平成 23 年 4 月 12 日

（*旧 日本原子力研究所保健物理部，

**旧 日本原子力研究所物質科学研究部）