郡山市に立地する木造住宅の空間放射線量率に関する調査研究

A RESEARCH STUDY ON THE SPATIAL RADIATION AIR DOSE RATE AT A WOODEN HOUSE IN KORIYAMA

一條佑介 — * 1 小林 光 — * 2
野崎淳夫 — * 3 成田泰章 — * 4
吉野 博 — * 5

Yusuke ICHIJO — * 1 Hikaru KOBAYASHI — * 2
Atsuo NOZAKI — * 3 Yasunori NARITA — * 4
Hiroshi YOSHINO — * 5

キーワード：
放射線量率, 除染, 木造住宅, 低減率, 郡山市

Keywords:
Radiation dose rate, Decontamination, Wooden house, Reduction factor, Koriyama city

This study explored the changes of space radiation dose rate both indoor and outdoor associated with a decontamination operation for a wooden house in a low dose area. As a result, the maximum space radiation dose rate measured at 1 m height from the floor inside the house before the decontamination operation was 0.19 $\mu\text{Sv/h}$. The maximum space radiation dose rate after the decontamination operation was 0.12 $\mu\text{Sv/h}$. Furthermore, the results of a comparison of the space radiation dose rate between pre- and post-decontamination operation indicate a decrease in the rate at most measurement points, and the average reduction rate of the space radiation dose rate in the post-decontamination operation condition was around 20%.

1. はじめに

1.1 研究背景

放射能汚染が生じた際の建物による空間放射線量率低減については、国際原子力機関(IAEA)の報告書や原子力安全委員会の報告書等の中で、幾つかの種類の建物に対するデータが示されている^{1)~3)}。

しかし、上記データは欧米の建物に対する研究結果に基づくものであり、これらの数値が日本の建物に直接対応するとは限らない。

住宅内の空間放射線量率は、部材や建材等の内部構造に依存するため、日本の住宅内外における空間放射線量率を明らかにすることが重要であり、その資料に基づいて適切な放射線対策技術を確立する必要がある。

外部被ばく線量を低減させるためには、距離、時間、遮蔽の要素が放射線防護の上で基本であるが、これは放射線源が点線源的である場合に限られる。点線源であれば、距離が離れば逆二乗の法則に従って線量は減少し、点であるが故に線源側を遮蔽することが容易で、被爆する時間を減らすことができる。一方、今回の事故のような面的な汚染は線源が面的であり、距離減衰は期待できず、例えば生活圏内が薄く広く汚染されれば、時間の効果も期待しにくい。その結果、対策としては生活空間の側の「除染」と「遮蔽」が基本となる。

被災地には事故由来の放射能が未だ残留しており、発災後数年を経た現在、考慮すべきは、半減期 30 年のセシウム 137 と半減期 2 年の 134 による β 線と γ 線である。透過力の強い γ 線に対しては、建築材料の密度が高いほど遮蔽能力が大きいは広く知られており、建物構造部材の材質及び厚さと遮蔽は密接な関係にある。ヒトは建物内で過ごす時間が長いこと、建物周囲の放射能と建物構造により、住宅

内外の空間放射線量率の関係がどのようなものかを把握することは重要である。

ところで、総務省統計局が実施した調査⁴⁾によると、福島県の住宅総数は 686,000 戸であり、木造は 224,800 戸(32.8%)、防火木造は 296,200 戸(43.2%)、鉄筋コンクリート造が 99,700 戸(14.5%)、鉄骨造が 59,200 戸(8.63%)となっており、木造が約 8 割となっている。

これまでに放射性物質汚染の実態調査や遮蔽、低減係数に関する研究が行われており、糸長ら^{5,6)}は福島県相馬郡飯舘村の 5 地区 5 軒の住宅内放射線量を測定し、放射性物質汚染の実態調査を行っている。

丸山ら⁷⁾は放射線分野で広く利用されているモンテカルロ計算を用いて、各種建築材料(断熱材、内装下地材、外装材など)の密度、元素組成、放射線遮蔽性能(実効線量透過率)を取りまとめている。

また、古田ら⁸⁾は代表的な建物の構造等が内部の空間放射線量率低減に与える影響について解析した。木造家屋とコンクリート造の建物では傾向が異なり、木造家屋では建物の面積が、そしてコンクリート造の建物では部屋ごとの窓の有無が、建物内部の線量低減に大きく影響することを報告している。

さらに、吉田ら⁹⁾は宮城県丸森町南端部に位置する川平、筆甫、耕野地域の各 3, 1, 3 軒の木造家屋計 7 軒の住家内で 2mm 厚の遮蔽材 3 種類の空間放射線量率低減効果を調査し、波高分布を unfolding して入射 γ 線のエネルギー・スペクトルを取得し、放射性セシウムからの散乱線/直接線(S/U)の空間放射線量率比を評価しており、いずれの遮蔽材でも S/U 比が大きいほど遮蔽効果が大きく、最大 27%まで空間放射線量率を低減させることを明らかにしている。

1.2 研究目的

¹⁾ 東北文化学園大学 講師・博士(生活環境情報)
(〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見 6-45-1)

²⁾ 東北大学 准教授・博士(工学)

³⁾ 東北文化学園大学大学院 教授・工博

⁴⁾ 暮らしの科学研究所 部長・修士(理学)

⁵⁾ 東北大学 名誉教授・工博

¹⁾ Lector, Tohoku Bunka Gakuen Univ., Dr. Human Environment and Information

²⁾ Assoc. Prof., Tohoku Univ., Dr. Eng.

³⁾ Prof., Graduate School of Tohoku Bunka Gakuen Univ., Dr. Eng.

⁴⁾ Manager, Life Science Research Laboratory, M. Sc.

⁵⁾ Emeritus Prof., Tohoku Univ., Dr. Eng.

これまでに筆者ら¹⁰⁾は、原発から約10km離れた除染特別地域(郡山市)の木造住宅を対象に測定を実施し、除染作業に伴う屋内外の空間放射線量率の変化を求め、高線量地域の外部環境汚染と屋内空間線量率との関係などを検討した。

本報では、低線量地域とされており、いわき市に次いで福島県で2番目に人口の多い郡山市に着目した。低線量地域においても周辺に比して高線量を示す箇所があることから、特に子どもの生活環境を中心とした放射線対策を優先的に行うことが適切である。郡山市は、福島県中通り中部に位置する市であり、東京電力福島第一原子力発電所から約60kmの距離にある。事故直後(2011年3月31日)の同市合同庁舎では空間放射線量率が $2.33\mu\text{Sv/h}$ であったが、2018年1月現在では $0.07\mu\text{Sv/h}$ である。これは、郡山市が策定した「郡山市ふるさと再生除染実施計画」¹¹⁾に基づいた除染作業が実施されたことや自然減衰などにより、空間放射線量率が減少したためと考えられる。

上記のように、除染作業は進んでいるが、低線量地域における除染作業前後の詳細な屋内放射線量率の実態を明らかにした資料はほぼ皆無である。そこで、本研究は、郡山市の木造住宅を対象に除染作業に伴う住宅内外の空間放射線量率の変化を求め、建築環境工学的立場から見た低線量地域の放射線対策技術を構築するための基礎的資料を得るものである。

2. 測定概要

測定は2015年5月21日(除染作業前)と2015年7月13日(除染作業後)に行った。低線量地域での空間放射線量率分布を捉えることを意図して住宅内外を1mのグリッド分割した詳細な測定を行った。

2.1 測定方法

空間放射線量率の測定には、NaIシンチレーション式サーベイメータ(日立アロカメディカル社製、型番:TCS-172B)を用いた。また、各点での測定回数は1回とし、測定器の有効数字は2桁である。

2.2 測定対象

測定対象の住宅は、第1種中高層住居専用地域にあり、木造軸組構法2階建て、地盤面から1階床高まで600mm、1階天井高2,400mm、1階天井から2階床まで500mm、2階床から2階軒桁までの高さ2,750mm、軒高6,250mmであり、北下がりの片流れ屋根である。また敷地周囲の環境として、西側と南側には道路を挟み住宅、東側に更地、北側に砂利敷きの駐車場がある。

図1, 2に示す住宅内の99地点および住宅周辺の110地点で空間放射線量率の測定を行った。空間放射線量率は、1) 住宅内: 床面から1cm, 1m, 2mの高さ、2) 住宅周辺: 地盤面から1m及び2mの高さ、でそれぞれの測定を行った。なお、総測定点数は517点である。

3. 測定結果

3.1 除染作業前

屋外における地盤面から1mの空間放射線量率を図1に示す。測定値は 0.12 から $0.33\mu\text{Sv/h}$ に分布し、屋外での平均値は $0.15\mu\text{Sv/h}$ であった。また、屋内における床面から1mの空間放射線量率を図2に示す。測定値は 0.07 から $0.19\mu\text{Sv/h}$ に分布し、屋内での平均値は $0.09\mu\text{Sv/h}$ であった。屋内での最大値 ($0.19\mu\text{Sv/h}$) を示した場所に1日24時間、365日滞在すると仮定すると、年間の追加放射線被ばく線量は 1.31mSv (バックグラウンド $0.04\mu\text{Sv/h}$ を除く) となり、国際放射線防護委員会による年間の追加被ばく放射線量の管理目標値である 1mSv ^{注1)} の、約1.3倍の値となる。

図1 除染作業前における住宅外の空間放射線量率(地盤面から1m)

図2 除染作業前における住宅内の空間放射線量率(左: 1階床面から1mの測定点、右: 2階床面から1mの測定点)

図3に屋内における上下方向の空間放射線量率分布を示す。平均値は、1階では床上1cmで $0.08\mu\text{Sv/h}$ 、床上1mで $0.09\mu\text{Sv/h}$ 、床上2mで $0.11\mu\text{Sv/h}$ であり、2階では床上1cmで $0.09\mu\text{Sv/h}$ 、床上1mで $0.10\mu\text{Sv/h}$ 、床上2mで $0.11\mu\text{Sv/h}$ であった。1階と比較して2階の空間放射線量率が高く、各階の上下方向では1、2階共に床上2m値が高く、床面に近づくに従って低下する傾向を示した。1、2階の上下方向、各階の空間放射線量率の差異については、震災後4年が経過（調査時：2015年5月）し、放射性物質が土壌の中まで浸透したと推察され、これにより土壌中での遮蔽長さの違いから、地表面から放射される γ 線はランベルト面（等輝度面）的になっていると考えられ、影響を受けやすい2階のほうが1階よりも、床上2mのほうが床面よりも放射線量率が高くなったものと考えられる。

また、高さ方向のみで放射線量率を比較すると、1階床上2m位置の方が2階床上1cm及び1mよりも高くなっている。これは、2階床上1cm及び1mの空間放射線量は、1階の壁と2階の床による2種類の遮蔽により低くなったものと推察される。

図3 除染作業前における住宅内の空間放射線量率
(左：1階上下分布、右：2階上下分布)

3.2 除染作業後

除染作業は行政から委託を受けた業者が実施した。除染方法として、雨樋の堆積物の除去・拭き取り、庭木常緑樹の剪定、吸引式高圧洗浄機による住宅外周のコンクリート・モルタル面の洗浄、庭の

落ち葉、表土、砂利の除去等が行われた。

屋外における地面から1mの空間放射線量率を図4に示す。測定値は 0.09 から $0.26\mu\text{Sv/h}$ に分布し、屋外での平均値は $0.15\mu\text{Sv/h}$ であった。また、屋内における床面から1mの空間放射線量率を図5に示す。測定値は 0.06 から $0.12\mu\text{Sv/h}$ に分布し、屋内での平均値は $0.08\mu\text{Sv/h}$ であった。除染作業前後で比較した結果、ほぼ全ての測定点で低下していた。屋内での最大値（ $0.12\mu\text{Sv/h}$ ）を示した場所に1日24時間、365日滞在すると仮定すると年間の追加被ばく放射線量は 0.70mSv （バックグラウンド $0.04\mu\text{Sv/h}$ を除く）となり、国際放射線防護委員会による年間の追加被ばく放射線量の管理目標値である 1mSv （注1）を下回る。

図4 除染作業後における住宅外の空間放射線量率(地盤面から1m)

次に、図6に示すように屋内における上下方向の空間放射線量率の平均値は、1階では床上1cmで $0.07\mu\text{Sv/h}$ 、床上1mで $0.08\mu\text{Sv/h}$ 、床上2mで $0.08\mu\text{Sv/h}$ であり、2階では床上1cmで $0.08\mu\text{Sv/h}$ 、床上1mで $0.08\mu\text{Sv/h}$ 、床上2mで $0.09\mu\text{Sv/h}$ であった。除染作業前と

図5 除染作業後における住宅内の空間放射線量率（左：1階床面から1mの測定点、右：2階床面から1mの測定点）

同様に1階と比較して2階の空間放射線量率が高く、各階の上下方向では1, 2階共に床上2m値が高く、床面に近づくに従って低下する傾向を示したが、上下方向の差異はあまり明確ではない。対象住宅外周の除染が実施されたことで、除染前に比べて線源が遠方になったことから、高所のほうは放射線量率が高くなったものの、その差は小さくなったと考えられる。

図6 除染作業後における住宅内の空間放射線量率
(左：1階上下分布、右：2階上下分布)

また、除染作業後における空間放射線量率の低下率^{注2)}を算出した結果を図7に示す。屋内の1階床上1mでは平均11.0%、2階床上1mでは16.0%、屋外の地上1mは26.1%であった。

さらに、屋内外の床上1m及び地上1mにおける空間放射線量率の平均値から低減率^{注3)}を算出した。除染作業前において、1階の室内と室外全測定点の平均空間放射線量率は、それぞれ0.09、0.21 μ Sv/hであり、低減率は0.43となった。また2階では、それぞれ0.10、0.21 μ Sv/hであり、低減率は0.48となった。除染作業後において、1階の室内と室外全測定点の平均空間放射線量率は、それぞれ0.08、0.15 μ Sv/hであり、低減率は0.53となった。また2階では、それぞれ0.08、0.15 μ Sv/hであり、低減率は0.53となった。

国際原子力機関(IAEA)によると1階、2階建ての木造住宅での低

減率は0.4(代表的な範囲：0.2~0.5)^{1), 2)}であり、吉田ら⁹⁾は福島県飯館村や南相馬市小高などの避難指示区域で木造家屋の低減率について、2013年まで調査した69軒で得られた522個のデータから低減率の頻度分布を取得している。その中央値は0.43で、IAEAが示す基準の数値0.4とほぼ同じだったが、低減率の頻度分布は異なり、大きい方に広がっており、IAEAが示す代表的範囲の0.2-0.5では全体の66.5%しかカバーしていないことを報告している。

高線量地域(福島県浪江町)の住宅での実測調査¹⁰⁾では、除染作業前の空間放射線量率は、天井付近(天井下1cm)が最も値が高く、床面に近づくに従って低下する傾向を示したが、低線量地域(福島県郡山市)の住宅を対象とした調査では、上下方向の分布は同様な傾向は示すものの、あまり顕著な差ではなかった。平面的には1, 2階ともに西側より東側の値が高い傾向を示した。この理由として、測定対象住宅の東側隣地との間に法面があり、調査当時は東側隣地の除染は未実施であったため、その法面の汚染等が原因と考えられる。また、高線量地域(福島県浪江町)の住宅での実測調査¹⁰⁾では、除染作業前の低減率の平均は約0.4であったが、除染作業後では約0.8に増大した。本調査では除染作業前後の低減率に差異が生じなかったが、空間線量率で評価する低減率は、建築の遮蔽性能以外に外壁に入射する放射線源存在位置から決定される方向性も作用すると考えられ、その評価には、放射線源位置や強度の変化の検討が必要になると考えられる。

4. まとめ

1) 除染作業前の空間放射線量率を測定した結果、屋内における床面から1mでは、0.07から0.19 μ Sv/hに分布し、平均値は0.09 μ Sv/hであった。屋内での最大値(0.19 μ Sv/h)を示した場所に1日24時間、365日滞在すると仮定すると年間の追加被ばく放射線量は1.31 mSv(バックグラウンド0.04 μ Sv/hを除く)となり、国際放射線防護委員会による年間の追加被ばく放射線量の管理目標値である1 mSv^{注1)}の約1.3倍の値となる。

2) 除染作業後の空間放射線量率を測定した結果、屋内における床面から1mでは、0.06から0.12 μ Sv/hに分布し、平均値は0.08 μ Sv/hであった。屋内での最大値(0.12 μ Sv/h)を示した場所に1日24時間、365日滞在すると仮定すると年間の追加被ばく放射線量は0.70

※単位：%

図7 除染作業後における住宅内の空間放射線量率の低下率(左：1階床面から1m、右：2階床面から1m)

mSv（バックグラウンド 0.04 μ Sv/h を除く）に達する。

- 3) 住宅内の放射線量率を高さ方向で比較すると、除染作業前後ともに高所のほうが放射線量率は高くなる傾向を示した。
- 4) 除染作業前後の比較により、住宅や周辺環境の空間放射線量率は、ほぼ全ての点で低下しており、除染作業後における空間放射線量率の低下率を算出すると、屋内の1階床上1mでは平均11.0%、2階床上1mでは16.0%、屋外の地上1mは26.1%であった。
- 5) 本実測での低減率は、除染作業前の1階では0.43、2階では0.48であり、除染作業後の1階では0.53、2階では0.53であった。
- 6) 本調査では、除染作業前後の低減率に差異が生じなかったが、空間線量率で評価する低減率は、建築の遮蔽性能以外に外壁に入射する放射線源存在位置から決定される方向性も作用すると考えられ、その評価には、放射線源位置や強度の変化の検討が必要になると考えられる。

謝辞

本調査では、特定非営利活動法人 室内環境技術研究会、国際航業株式会社には多大なるご協力を頂きました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

注

注1) 「放射線量が1時間当たり0.23マイクロシーベルト」の考え方（出典：環境省ホームページ、<https://www.env.go.jp/press/press.php?serial=14879>）

注2) 低下率 = $1 - (\text{除染後の空間放射線量率} / \text{除染前の空間放射線量率})$

注3) 低減率 = $\text{屋内の空間放射線量率} / \text{屋外の空間放射線量率}$

引用文献

- 1) IAEA: Planning for Off-site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities, IAEA-TECDOC-225, 1979.
- 2) IAEA: Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, 2000.
- 3) 環境省総合環境政策局:「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料(平成28年度版)」第2章 放射線による被ばく, p.51, 2017.4
- 4) 総務省統計局: 住宅・土地統計調査, <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/> (最終閲覧日: 2018年10月3日)
- 5) 糸長浩司: 福島県飯館村住宅内放射線量調査報告, 東日本大震災による住宅内放射能汚染の実態と除染対策に関するシンポジウム資料, 日本建築学会, pp.31-37, 2014.2
- 6) 糸長浩司他: 原発事故放射能被害農村・飯館村内の住宅内の放射能汚染状況と対策, 2014年度日本建築学会大会(近畿)学術講演梗概集, pp.43-44, 2014.9
- 7) 別府克俊, 丸山一平: セシウム-137から生ずるガンマ線に対する各種建築材料の遮蔽データベース, 日本建築学会構造系論文集, 第79巻 第702号, pp.1089-1095, 2014.8
- 8) 古田琢哉, 高橋史明: 環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析, JAEA-Research 2014-003, pp.1-100, 2014.3
- 9) 吉田浩子他: 福島第一原発事故後の住家の空間線量率低減を目的とした遮蔽材の効果, Radioisotopes, Vol.62(4), pp.203-210, 2013.4
- 10) 野崎淳夫, 小林 光, 一條佑介, 成田泰章, 吉野 博他: 原発近傍に立地する木造住宅の空間放射線量率に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 環境工学II, pp.843-844, 2015.9
- 11) 郡山市生活環境部原子力災害総合対策課: 郡山市ふるさと再生除染実施計画, <https://www.city.koriyama.fukushima.jp/186000/shinsai/jisshikekaku.html> (最終閲覧日: 2018年10月3日)

[2018年10月3日原稿受理 2019年1月4日採用決定]