

放射線の健康影響に係る研究調査事業 令和4年度研究報告書

研究課題名	人工被覆面の放射能深度分布調査及び空間線量率への影響に関する研究
令和4年度研究期間	令和4年4月1日～令和5年2月28日
研究期間	令和2年度 ～ 令和4年度（3年目）

	氏名	所属機関・職名
主任研究者	小林 光	東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻・教授
分担研究者		
若手研究者		

キーワード	人工被覆面、放射能深度分布、放射線測定、放射線解析、 γ 線境界条件
-------	---

本年度研究成果
<p>I 研究背景</p> <p>福島第一原子力発電所事故被災地の住民の帰還では、残存する放射性物質に起因する放射線に留意して、生活の場である建物を再建する必要がある。発災後一定期間を経た被災地の建築空間の放射線量率分布は、主に建物周囲の地表面に沈着、浸透したセシウム137（以降Cs-137）由来のγ線によって形成される。建物周りの地表面のほとんどが土壌露出面、透水性・不透水性アスファルト舗装面、コンクリート舗装面の何れかであることから、これら地表面ごとの放射線源としての特性の把握が望まれる。この特性はCs-137の地中の深度分布に応じて決まる。これまで土壌露出面については多くの調査、研究があり、時間と共に地中へ浸透するCs-137の深度分布を指数関数で表現可能であることが示されている^{1,2)}。その一方で人工被覆面のデータはごく少なく³⁾、人工被覆面の放射能深度分布調査及び空間線量率への影響に関する研究が必要であると考えられた。</p> <p>II 目的</p> <p>本研究では人工被覆面の放射線源としての特性を把握するため、放射能深度分布調査を中心とした以下の4課題を目的とした（〔課題①〕避難指示区域における人工被覆面へのセシウムの沈着状況調査、〔課題②〕人工被覆種別ごとのCs-137深度分布の傾向分析及び地上への影響評価、〔課題③〕試験体を用いたCs-137深度に関するウェザリング影響評価、〔課題④〕空間線量率予測のための実用的γ線境界モデルの検討）。また、その成果となる人工被覆面の放射能沈着実態データを学術論文として公開することで基礎資料の充実に貢献する他、成果を用いた建築空間の放射線解析、建築的対策案の効果試算結果の公開などを通じて、安心な復興の一助となることを目的とした。</p> <p>III 研究方法</p> <p>〔課題①〕福島県内の避難指示区域にて、3種の人工被覆面（不透水性アスファルト舗装、透水性ア</p>

スファルト舗装、コンクリート面)のコア試料を採取し、採取した試料を地表面側より薄く切削して深度毎に得た切削粉をGe半導体検出器にて分析することで、Cs-137濃度の深度分布を調査した。

〔課題②〕人工被覆面のCs-137深度分布を分析すると共に、地上への影響を把握する為、コア試料採取地における放射線測定結果と深度分布を比較検討した。

〔課題③〕人工被覆面に沈着したCs-137が濃度勾配に応じた拡散と雨水の移流で地中に輸送される状況を確認するため、採取したコア試料を恒温恒湿槽内に保管し、湿潤(注水の繰返し)と乾燥(注水無)の2条件で1年間保管した後に、課題①と同じ方法で深度分布を得て比較した。

〔課題④〕課題①で得たCs-137深度分布を用いた放射線解析で建物周りの垂直境界面(敷地境界等)及び水平境界面(地表面)を通過する γ 線を整理し、放射線解析に用いる γ 線境界条件を作成した。

IV 研究結果、考察及び今後の研究方針

〔課題①②〕各コアのCs-137深度分布を人工被覆種別ごとに評価した結果、コンクリートと不透水性アスファルトは採取地によらず地表面から3mm以内にはほぼ全てのCs-137が沈着していることが明らかになった。深度分布は指数関数で近似可能と考えられる。一方、透水性アスファルトは指数的に濃度が減衰した後に一度増加し、再度減少するS字型の分布傾向を示した。地表面付近は不透水性アスファルト同様の分布であり、それ以深の透水層では、移流による移行が継続していると考えられる。地上での放射線測定と深度分布の比較に於いては、何れの被覆もCs-137が地表近くに存在するため、有意な差を見出すことが出来なかった。〔課題③〕コア16個を湿潤条件8、乾燥条件8に分け、湿潤は降雨再現を意図した週2回の注水を行った。その結果(図1)、コンクリートと不透水性アスファルトでは条件間で差異が認められないのに対し、透水性アスファルトでは湿潤条件でS字型カーブの地中ピークが深くなる傾向が確認された。このことから、不透水性アスファルト及びコンクリートにおいて、雨水による移行はほぼ生じず、現在確認される深度分布は発災後早期に形成されたと推定される。透水性アスファルトは発災後早期は不透水性と同様な深度分布であったものが、以後の移流により徐々にS字分布を形成したと推定された。〔課題④〕土壌面を含む4種の地表面種別ごとに、水平及び垂直境界面を通過する γ 線のフルエンスの角度分布をエネルギー階級別に整理した。水平境界面については発災後一定期間を経過して地中へのCs-137の移行が進んだ土壌面の場合、散乱線の割合が高く、放射方向はランベルト面的特性となる一方、人工被覆面は何れもCs-137の深度が浅く、直接線の割合が高く、放射方向は等方的な特性を示した。垂直境界面では、特に人工被覆面の場合、水平に近い角度の γ 線が卓越する。即ち地面の汚染量が同等であれば、土壌の場合よりも人工被覆の方が、建物の外壁に入射する γ 線が多くなることが示された。これらの整理に基づき人工被覆毎に γ 線境界条件モデルを作成して木造2階建て建物内の線量率を評価し、可用性を確認した。

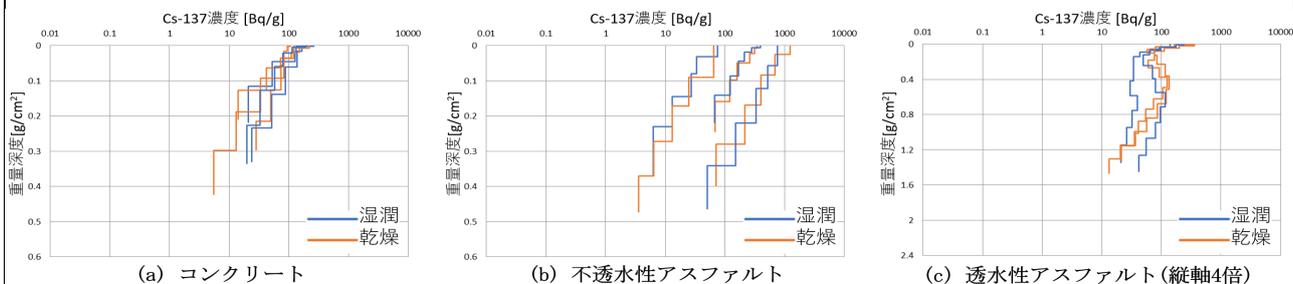


図1. 課題③による乾燥・湿潤条件間の比較

V 結論

人工被覆面のCs-137深度分布について、Cs-137は復興期(発災後約10年)においてもその表層のご

く浅い範囲に大部分が存在することを確認した。Cs-137 深度分布の経時変化について透水性アスファルトでは降水に起因して変化が生じる可能性を確認した。これらを踏まえた解析用 γ 線境界モデルの開発を通じ、人工被覆面が放射する γ 線は土壌面に比べて水平方向に強い指向性を持つことを確認した。本研究から得られた知見の復旧・復興作業への適用に関して①緩和策としての Cs-137 の効率の良い除去、②適応策としての、水平方向の γ 線に配慮した遮蔽対策を提案する。また、今後、人工被覆面の水平の指向性や透水性アスファルトの特性が建築内外の γ 線の空間線量率にどう影響するかを計算し、効果的な除染のあり方などの提案を検討する。

提案①Cs-137 の効率の良い除去

汚染された人工被覆面全てを更新できない場合でも、不透水アスファルト、コンクリートでは表層を 5 mm 程度削り取ることで相当量の Cs-137 の除去が期待できる。廃棄物発生量を抑え、削り過ぎないことで舗装面を継続使用できる可能性もある。透水アスファルトでも表層 5 mm で多くの除去が期待できるが、地中の Cs-137 の除去のためには 15 mm 程度の除去で効果が期待できる。

提案②水平方向の γ 線に配慮した遮蔽対策

建物周辺の人工被覆面が放射する水平方向の γ 線が懸念される場合は、簡易なコンクリート塀や築山等を建築周辺に築造することで建物の低層部分の線量率を下げる簡易な適応策が可能になる。

引用文献

1. International Commission on Radiation Units and Measurements : Gamma-ray spectrometry in the environment, ICRU Report 53, 1994.
2. 日本原子力研究開発機構. 福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の第二次分布状況等に関する調査研究 成果報告書. 平成 23 年度原子力規制庁委託事業, 2013 ; 第 2 編 ; 2_3-16 <https://fukushima.jaea.go.jp/fukushima/try/pdf/pdf05/02-03.pdf>. Accessed 1 May 2023.
3. K. Yoshimura, T. Watanabe, H. Kurikami. Vertical and horizontal distributions of ¹³⁷Cs on paved surfaces affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environment Radioactivity*. 2020; 217: Article 106213