

放射線の健康影響に係る研究調査事業 令和 2 年度～令和 4 年度実施総括報告書

研究課題名	市街地の空間線量率の経時変化に対する人為的な影響に関する研究
研究期間	令和 2 年度 ～ 令和 4 年度（3 年間）

	氏名	所属機関・職名
主任研究者	吉村 和也	日本原子力研究開発機構・研究主幹
分担研究者		
若手研究者		

1. 研究の概要

<p>本研究は市街地における空間線量率の減少傾向に対する人間活動の影響について、除染とその他の活動を分けて定量的に評価することを目的とした。本研究では、空間線量率や Cs-137 沈着量、人間活動の一つである交通量の現地観測とシミュレーション解析を併せた試験的アプローチに加え、原子力規制庁の走行サーベイデータと人間活動の指標となる社会環境データの関係につき機械学習を用いて解析する統計的アプローチを用いた。現地観測により、除染活動による空間線量率の低減効果の他、除染がなされていなくても人間活動のある地域で空間線量率、Cs-137 沈着量共に速やかに減少することが確認された。また除染以外の人間活動の一例として観測した交通量は、Cs-137 沈着量の減少量との間に有意な負の相関を示した。以上の結果から、車両通行などといった除染以外の人間活動によっても、空間線量率と Cs-137 沈着量の低減が促進されることが示された。走行サーベイデータを用い機械学習により求めた空間線量率の環境半減期は、人間活動量を示す社会環境データ（夜間灯火量、及び流動人口）と有意に負の相関を示した。以上の結果は、人間活動による空間線量率の低減効果が観測地域のみならず普遍的であることを示す。人間活動の影響を定量的に評価するため、市街地における空間線量率の詳細なシミュレーションが可能な 3D-Air Dose Rate Evaluation System (3D-ADRES) を構築し、現地観測結果をパラメータとしてシミュレーションした結果、観測地域と同等の人間活動量により市街地の空間線量率の減衰が 10 年間で 0.5～24%促進されることが示された。また本事業により、3D-ADRES を含む空間線量率のシミュレーションの精緻化・高度化に有用な、流動人口を変数とした環境半減期を表す二重対数モデルを導出した。</p>
--

2. 研究期間内に実施した内容

年目／実施年度	実施した内容
1 年目	大熊町、富岡町の市街地を対象に、歩行サーベイによる空間線量率分布の評価、可搬型ゲルマニウム検出器による Cs-137 沈着量の In-situ 測定、交通量調査を実施した。併せて当該地域における過去のモニタリングデータを整備し、空間線量率、Cs-137 沈着量の経時変化を解析した。これにより空間線量率の減少は除染が無くても市街地で農用地より約 17%早いこと、除染により市街地や農用地の空間線量
令和 2 年度	

	<p>率は約 50%低減したことを示した¹⁾。また空間線量率の主要な線源となる Cs-137 の沈着量観測結果から、空間線量率の減少は放射性セシウムの舗装面における水平方向への流失、および土壌面における下方浸透が寄与していること、舗装面での流失が市街地における空間線量率の速やかな減少に寄与していることが示唆された²⁾。</p> <p>人間活動の影響をより定量的に評価するため、市街地における空間線量率をシミュレートする 3D-ADRES を構築する必要がある。初年度は、3D-ADRES に必要な環境モデルの作成に用いる地理空間情報データを整備するとともに、このデータをモデル内に組み込むプログラムを高度化した。</p> <p>空間線量率の減少傾向を広域で評価するため、これまでに文部科学省・原子力規制庁が蓄積してきた膨大なモニタリングデータセットの活用を検討した。様々なモニタリング手法により取得されたデータについて、時空間的な範囲、頻度、品質などのデータ特性について分析を行い、解析対象とするモニタリングデータセットを走行サーベイデータに選定した。走行サーベイデータには異常値やデータの欠落が含まれるため、機械学習を用いてデータのクレンジング・補完を実施しデータ品質を整えた。また、この広域での空間線量率の減少傾向と、人間活動の関係を評価するため、人間活動量を示す指標となる社会環境データとして人口、夜間灯火量、電気使用量、土地被覆・植生データを調査し取得した。</p>
2 年目	<p>大熊町、富岡町の市街地を対象に、歩行サーベイによる空間線量率分布の評価、可搬型ゲルマニウム検出器による Cs-137 沈着量の In-situ 測定、交通量調査を継続して実施した。市街地における空間線量率、および Cs-137 沈着量の減少速度を求め、避難区域や交通量との関係を解析した。この結果、特定復興再生拠点の空間線量率は除染の影響により減少が早いことが示された。また除染の影響を受けていない居住区域と帰還困難区域では、人間活動のある居住区域で空間線量率、Cs-137 沈着量ともに帰還困難区域よりも速やかに減少する可能性が示された。人間活動量を表す一つの指標である交通量は、Cs-137 沈着量とやや弱いながら負の相関を示した。</p>
令和 3 年度	<p>前年度に整備したデータとプログラムを用い、3D-ADRES を構築³⁾するとともに、観測結果を用いてモデルの精度検証を行った。その結果、3D-ADRES はある程度の精度で市街地の空間線量率を再現できることを確認したが、3D-ADRES における線源モデル（市街地を再現した環境モデル内に線源を分布させるモデル）に改善の余地があることが示唆された。</p> <p>初年度にデータのクレンジング・補完を行った走行サーベイデータについて、機械学習を用い広域を対象とした空間線量率の減少傾向を分析した結果、空間線量率の減少傾向は環境半減期の異なる 3 成分で表されること、地点毎の減少はその中でも環境半減期の短い成分で特徴づけられる可能性が示された。得られた環境半減期は、市街地で短く、広域でも空間線量率の低減に人間活動が寄与している可能性が示された。また人間活動量の指標となる社会環境データとしてエアロゾルデータを調査、取得したほか、初年度の社会環境データと併せ Geographic Information System に適したデータフォーマットとして整備した。</p>

3年目	大熊町、富岡町の市街地を対象に、歩行サーベイによる空間線量率分布の評価、
令和4年度	<p>可搬型ゲルマニウム検出器による Cs-137 沈着量の In-situ 測定、交通量調査を継続して実施した。3年間のデータセットを用いた解析により、空間線量率、Cs-137 沈着量共に、人間活動のある居住区域で帰還困難区域よりも有意に早い減少速度が確認された。また除染以外の人間活動の一つとして交通量の影響を評価した結果、Cs-137 沈着量の減少量と交通量の間に関連が認められた。以上の結果から、車両通行などといった除染以外の人間活動によっても、空間線量率と Cs-137 沈着量の低減が促進されることが示された。</p> <p>観測により得られた Cs-137 沈着量の減少速度をパラメータとし、市街環境における空間線量率の減少をシミュレーションした。その結果、観測地域と同等の人間活動がある場合、市街地の空間線量率の減衰が 2022 年から 2032 年の 10 年間で 0.5～24%促進されることが、地表の舗装率が高いほど人間活動の影響が大きい事が示された。</p> <p>走行サーベイデータについて、継続して機械学習により減少傾向を解析した結果、空間線量率の減少は 90%以上の地点で環境半減期が異なる 3 成分で表され、環境半減期の最も短い成分が、地点間の減少傾向の差に寄与していることが明らかとなった。この短半減期と人間活動量を示す社会環境データのうち、夜間灯火量、及び流動人口は有意に負の相関を示し、人間活動による空間線量率の低減効果が普遍的であることが確認された。また得られた相関関係から、流動人口を変数とした環境半減期を表す二重対数式を求め、空間線量率の推定モデルの精緻化・高度化に有効なモデルを導出した。</p>

3. 研究終了時に得られた結果・結論

① 研究結果・結論（総括）・成果など

現地観測結果から、市街地の環境回復に舗装面の放射性セシウムの低減が寄与すること、その低減に除染の他、車両通行などの人間活動が寄与し、市街地における空間線量率の減少を促進することが示された。また文部科学省・原子力規制庁により広域で継続的に取得されてきた走行サーベイデータの減少傾向と、夜間灯火量や流動人口といった社会環境データとの解析結果により、空間線量率の低減に人間活動が影響することは、現地観測を行った地域のみならず、福島県の広域でも普遍的に認められることが示された。

観測結果より得たパラメータを用い、空間線量率の 2022-2032 年における減少傾向と地表の舗装率（地表における舗装面の割合）をシミュレーションし、一般的に市街地といわれる環境下（舗装率 30～100%）では、人間活動により空間線量率の低減が 0.5～24%促進されることが示された。この低減効果は、人間活動量の地域差により変動するが、この人間活動量を表す指標として流動人口を変数とした環境半減期を表す二重対数モデルを導出した。これにより流動人口を指標としてシミュレーションパラメータを設定し、空間線量率の低減をシミュレーションすることが可能となった。

以上のように、本研究では人間活動が空間線量率の低減に寄与するメカニズムの一部を示すとともに、その低減効果が広域でも普遍的である事を示した。また人間活動による空間線量率の低減効果の定量化、モデル化を行った。得られた成果の一部は、国際誌や学会等で外部発表されたほか、観測結果について大熊町が運営するオンラインサイトにて一般に公開し、住民とのリスクコミュニケーション

ンに活用された。

② 計画・目標通り実施できなかった事項とその理由

本研究における当初の計画は概ね実施し、目標を達成できた。最終年度は、研究経費削減のため予定していた現地観測の回数、及び取得・解析する社会環境データ数を減じたが、本研究の目標を概ね達成するに足る解析は実施できたと考える。ただし、空間線量率や Cs-137 沈着量の減少傾向、空間線量率の環境半減期と社会環境データとの関係について、より統計学的に有意な成果を得るには、今後も継続した調査、人間活動を表す指標となる新たな社会環境データの検討が必要である。

③ 当初の計画で予定した成果以外（以上）に得られた事項

シミュレーションモデル（3D-ADRES）は当初、空間線量率の推定精度に課題があったが、本事業内で改良することで、計画以上に精緻化・高度化がなされた。また、人間活動を表す社会環境データについて調査を進める中で、当初予定していなかった流動人口などのデータの存在、各種データの特性（空間解像度や画像データ内の数値情報、データを提供している機関など）について新たな、今後の様々な解析にも応用できる情報が得られた。情報発信としては、本事業で協力いただいた大熊町と関係を構築し、大熊町の要望を聞きつつ町が運営するオンラインサイトにて成果を公開することができた。

4. 研究成果の活用方策の提案

本研究をさらに発展させる新たな研究や事業化の提案

本事業で得た空間線量率の予測モデルは、帰還困難区域における避難指示解除での合意形成や住民とのリスクコミュニケーションに貢献できるものである。今後、このような環境保健行政に本事業の成果を効果的に資するためには、情報の発信方法について自治体と協力して検討できる事業が有用である。併せて、発信する情報の精度を上げる研究として、人間活動を考慮した空間線量率等の予測モデルの精度検証と更なる精緻化、空間線量率の環境半減期の決定要因の解明が必要である。

引用文献

1. Yoshimura K, Nakama S, Fujiwara K. Radiation Monitoring in the Residential Environment: Time Dependencies of Air Dose Rate and ^{137}Cs Inventory. *J. Radiat. Prot. Res.*, 2022; 47: 30-38.
2. Yoshimura K, Air dose rates and cesium-137 in urban areas—deposition, migration, and time dependencies after nuclear power plant accidents. *J. Nucl. Sci. Technol.*, 2021; 59: 25-33.
3. 金敏植, Alex Malins, 町田昌彦, 他. 環境中での空間線量率 3次元分布計算システム (3D-ADRES) の研究開発の現状と今後の展望 —福島復興に向けた市街地・森林等の環境中空間線量率分布の推定—. *RIST NEWS*, 2021 ; 67 : 3-15.