

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 | 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 |
| 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 | 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 | | |

| | |
|-------|--|
| キーワード | 空間線量率、Cs-137 沈着量、経時変化、人間活動、シミュレーション、機械学習 |
|-------|--|

| 本年度研究成果 |
|---|
| <p>I 研究背景</p> <p>空間線量率の減少傾向は、放射線防護や住民とのリスクコミュニケーションに有用な情報である。従来の研究により、空間線量率は市街地で他の環境よりも早く減少することが報告されている¹⁻³⁾。また空間線量率は、市街地の主要な被覆要素である舗装面で、草地や土壌などの非舗装面よりも速やかに減少することがヨーロッパ⁴⁻⁶⁾や福島県⁷⁻⁸⁾で示されている。以上の情報は、被ばく線量の推定モデルにおいて重要なパラメータとなる^{9,10)}。主要な線源となる放射性セシウムは、舗装面で非舗装面よりも速やかに減少し、市街地における速やかな環境回復に寄与していることが示唆されている¹¹⁻¹²⁾。このような市街地や舗装面における放射性セシウム、空間線量率の低減要因として人間活動の影響が示唆されているが^{2-3,13)}、これを直接的に評価した研究は除染による低減効果を除きなされていない。</p> <p>II 目的</p> <p>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区別したうえで定量的に評価することを目的とした。</p> <p>III 研究方法</p> <p>本研究では、試験的アプローチとして空間線量率や放射性セシウムの減少と人間活動の関係について、現地観測を基に評価するとともに、観測結果をパラメータとしたシミュレーション解析により人間活動による空間線量率の低減効果を評価した。併せて統計的アプローチとして、原子力規制庁が広域で継続的に取得している空間線量率のモニタリングデータを用い、その変化傾向と人間活動を表す社会環境データの関係について評価した。</p> <p>試験的アプローチでは、大熊町、及び富岡町内で除染の影響を受けておらず、人間活動量が異なる帰還困難区域、及び居住区域を対象に、空間線量率と舗装面上の Cs-137 沈着量、交通量を観測した</p> |

12)。シミュレーションは昨年度までに開発した 3D-Air Dose Rate Evaluation System (3D-ADRES)、及び Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) により実施した。統計的アプローチでは、走行サーベイデータ (約 117 万データ) を用い、機械学習 (LASSO) により空間線量率の環境半減期を求めた。人間活動を表す夜間灯火量、流動人口を用い、空間線量率の環境半減期との関係を解析した。

IV 研究結果、考察及び今後の研究方針

空間線量率、及び舗装面の Cs-137 沈着量は、共に人間活動のある居住区域で、人間活動のない帰還困難区域よりも早く減少し、その減少速度は帰還困難区域の約 2.5 倍であった。また人間活動を表す指標の一つである交通量は、Cs-137 沈着量の減少量と有意な負の相関を示した。以上の結果から、車両通行による道路の摩耗などといった除染以外の人間活動により、Cs-137 沈着量の低減が促進され、空間線量率の減少に寄与することが示された。一方で、車両通行に伴う路面の摩耗は、放射性浮遊塵の再浮遊による内部被ばく線量の増大に寄与する可能性がある。実際、人間活動のある日中には、大気中の放射能濃度が 2 倍ほどになる¹⁴⁾。しかし大気浮遊塵に由来する内部被ばく線量は、外部被ばく線量の 1%未満であり¹⁵⁾、車両通行に伴う再浮遊の内部被ばくへの影響は限定的である。

土壌面における放射性セシウムの沈着量の減少は放射性崩壊に従うこと¹⁶⁾、舗装面における放射性セシウムの下方浸透は生じないこと¹⁷⁾を考慮した場合、空間線量率の低減は線源となる放射性セシウムの放射性崩壊、舗装面における沈着量の減少、及び土壌面における下方浸透に起因する。そこで放射性セシウムの放射性崩壊に加え、本研究で居住区域、及び帰還困難区域それぞれで得た舗装面における Cs-137 沈着量の減少速度 (それぞれ人間活動が「ある」場合と「ない」場合を想定)、並びに土壌面における下方浸透速度¹⁸⁾を考慮し、2022 年から 10 年後の空間線量率の減少率と舗装率の関係をシミュレートした (図 1)。人間活動がある場合とない場合の減少率の差は、舗装面における放射性セシウムの減少を反映し、舗装率が大きくなるほど顕著であった。一般的に、低層住宅地や商業・業務用地における道路面と土壌面の比は、30~100%である¹⁹⁾。この比を舗装率とした場合、上記 10 年間での空間線量率の減少は、人間活動により約 0.5~24%促進されると推定された。人間活動の程度は地域により異なるため、後述するようその程度を示す指標を用いることで、より実際的な人間活動の影響を定量的に評価できると考えられる。

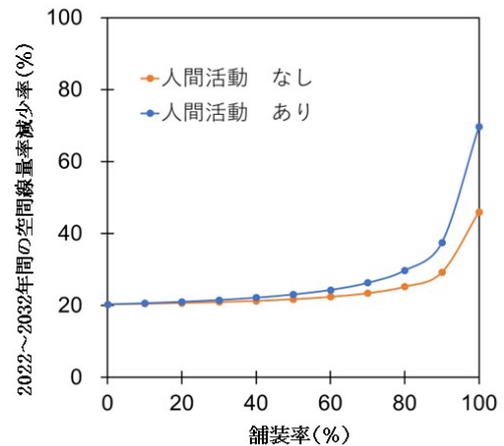


図 1 空間線量率の減少率と舗装率

広域での走行サーベイデータと機械学習を用いた解析により、空間線量率の減少は多くの地点で環境半減期が異なる 3 成分で表され、特に最も環境半減期の短い成分が、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 (夜間灯火量、及び流動人口) は有意に負の相関を示し、人間活動により普遍的に空間線量率が低減してい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、上述のよう人間活動の程度に応じた、環境半減期の推定に有効なモデルを導出した。

今後は本研究で得られたモデルの妥当性を検証すると共に、これまでに本事業の観測結果を公開してきた自治体のオンラインコンテンツに、土地利用と空間線量率の関係マップや、空間線量率の予測といった成果を反映させることで、有用な情報発信を行うことが望ましいと考える。

V 結論

除染以外の人間活動により、空間線量率の低減が促進されることが現地での観測データ、及び膨大なモニタリングデータの双方から示された。シミュレーションとモニタリングデータの統計解析により、人間活動による空間線量率の低減効果を定量的に示すとともに、流動人口を変数とした環境半減期の推定に有用なモデルを導出した。

引用文献

1. Kinase S, Takahashi T, Sato S et al. Development of prediction models for radioactive caesium distribution within the 80-km radius of the Fukushima Daiichi nuclear power plant, *Radiat. Prot. Dosimetry.*, 2014; 160: 318–321.
2. Saito K, Mikami S, Andoh M et al. Temporal Change in Radiological Environments on Temporal Change in Radiological Environments in Fukushima, *J. Radiat. Prot. Res.*, 2019; 44: 128–148.
3. Andoh M, Mikami S, Tsuda S et al. Decreasing trend of ambient dose equivalent rates over a wide area in eastern Japan until 2016 evaluated by car-borne surveys using KURAMA systems, *J. Environ. Radioact.*, 2018; 192: 385–398.
4. Golikov V, Balonov M, Erkin V et al. Model validation for external doses due to environmental contaminations by the chernobyl accident, *Health Phys.*, 1999; 77: 654–661.
5. Golikov V, Balonov M, Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident, *Radiat. Environ. Biophys.*, 2002; 41: 185–193.
6. Saito K, Jacob P. Gamma Ray Fields in the Air Due to Sources in the Ground, *Radiat. Prot. Dosimetry.*, 1995; 58: 29–45.
7. Nakama S, Yoshimura K, Fujiwara K et al. Temporal decrease in air dose rate in the sub-urban area affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident during four years after decontamination works, *J. Environ. Radioact.*, 2019; 208–209: 106013.
8. Yoshimura K, Saegusa J, Sanada Y. Initial decrease in the ambient dose equivalent rate after the Fukushima accident and its difference from Chernobyl, *Sci. Rep.*, 2020; 10: 1–9.
9. WHO. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, 2012.
10. UNSCEAR. Annex, A. Levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident after the 2011 great east-Japan earthquake and tsunami in UNSCEAR 2013 Report: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 2013.
11. 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.
12. Yoshimura K, Nakama S, Fujiwara K. Radiation Monitoring in the Residential Environment: Time Dependencies of Air Dose Rate and ¹³⁷Cs Inventory. *J. Radiat. Prot. Res.*, 2022; 47: 30-38.
13. Andersson KG, Roed J, Fogh CL. Weathering of radiocaesium contamination on urban streets, walls and roofs, *J. Environ. Radioact.*, 2002; 62: 49–60.
14. 日本原子力研究開発機構, 令和 2 年度 特定復興再生拠点区域における大気放射能濃度調査事業 委託業務成果報告書. 2021.
15. 日本原子力研究開発機構, 特定復興再生拠点区域におけるモニタリング及び被ばく評価手法の検討. JAEA-Research. 2019; DOI:10.11484/jaea-research-2018-016
16. Mikami S, Tanaka H, Matsuda H, et al. The deposition densities of radiocesium and the air dose rates in undisturbed fields around the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant; their temporal changes for five years after the accident, *J. Environ. Radioact.*, 2019; 210: 1–12.
17. Yoshimura K, Watanabe T, Kurikami H. Vertical and horizontal distributions of ¹³⁷Cs on paved surfaces

affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, J. Environ. Radioact., 2020; 217: 106213.

18. 日本原子力研究開発機構, 令和3年度東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の分布データの集約事業 成果報告書. 2022. <https://radioactivity.nra.go.jp/ja/list/646/list-1.html>
19. 古米弘明, 都市域の雨天時汚濁負荷流出解析の現状と課題, 水環境学会誌, 2002; 25: 524-528.