

福島第一原発事故によって土壌等に付着した放射性物質からの被ばく低減法に関する報告*

日本放射線安全管理学会 放射性ヨウ素・セシウム
安全対策アドホック委員会 土壌分析班

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東日本大震災の津波により、福島第一原子力発電所の原子炉は壊滅的な被害を受け、損傷した原子炉から77万テラベクレルもの放射性物質が放出した。これらの一部は福島県内外の広い地域にわたって降下して土地や建物を汚染し、避難せざるを得ない地域を生じさせたばかりでなく大きな社会的不安を引き起こした。

日本放射線安全管理学会ではこの未曾有の事故に対処すべく、事故の起きた直後に放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会を立ち上げ、飲料水や野菜など対象別に複数の班を結成した。その中で土壌分析班は“汚染された土地をできるだけ早く暮らせる土地に戻す”ことを目標に汚染除去、被ばく低減のための実験、解析、調査などを行っている。地面などに付着したセシウムは除去しなければ長期間にわたって住民を被ばくし続け、再飛散、地下水や河川への浸み出し、野菜や果物、家畜などの取り込みの問題も引き起こす。したがって、できる限り速やかに除去する必要がある。

本稿ではこれまでに土壌分析班が行ってきた活動を紹介する。詳細は学会ホームページに“汚染された土壌中の放射性物質の

除去に関する中間報告”として掲載されているのでご覧いただきたい。なお、最初の成果は佐瀬氏（徳島大）による「個人住宅を対象とするホットスポット発見/除染マニュアル」の作成であるが、これは既に2011年10月号（71ページ）で紹介されているので本稿では割愛する。

2. 放射性セシウムの深度分布

福島県内の幾つかの地点から土壌コア試料を採取してきた。それを上から1cmずつ分画してγ線測定を行い、 ^{137}Cs の深度分布を得た。図1にその結果を示す。縦軸を対数にすると、

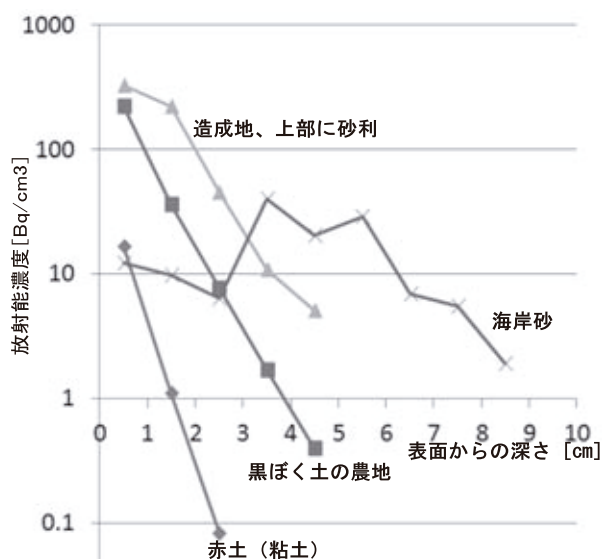


図1 土質による深さ分布の違い

* 本稿は、東日本大震災に係る日本放射線安全管理学会の活動を紹介するものです。

海岸砂を除いてほぼ直線になることから指数関数的に減少していることが分かった。3 cm 以内に 97% 存在すること、グラフの傾きから今回の測定では赤土（粘土）が最も吸着しやすいことも分かった。海岸砂は浸透しやすいため深い方へ移動し、セシウムの降下が一過性であったため、表面付近ではむしろ減少している。

3. 土壌から液体への放射性セシウムの移行

土壌から何らかの液体へ放射性セシウムを移行できれば、その液体を集約・濃縮することにより放射性セシウムを回収することができる。そこで、カリウムイオン、アンモニウムイオン、セシウムイオンを含む溶液、さらに水や食用酢も被検体に加え、濃度、温度、時間を変えて浸漬し、放射性セシウムの移行率を調べた。その結果を表 1 に示す。数値は、左欄に示す溶液に放射性セシウムを含む黒土を室温及び 90℃ で 100 時間浸漬したときの移行率である。この中では、 K_2SO_4 飽和溶液に 90℃ で 100 時間浸漬した場合が 49.7% で最もよく除去されている。

さらに、KI（40%）溶液に室温で 1～2 日浸

表 1 土壌から溶液への放射性セシウムの移行
放射能除去率で示す（%）

溶液	室温		90℃	
	^{134}Cs	^{137}Cs	^{134}Cs	^{137}Cs
K_2SO_4 肥料（飽和）	33.5	33.8	43.2	49.7
KI（33%）	24.3	24.3	39.9	39.9
NH_4F （33%）	26.3	26.3	41.6	44.9
CsI（10%）	20.1	24.9	21.6	20.9
食用酢	14.2	21.0	26.9	23.4
水	0.0	0.0	6.4	10.6

初期濃度 ^{134}Cs ：57.5 Bq/g ^{137}Cs ：60.9 Bq/g
各溶液に 100 時間浸漬

漬する操作を続けると放射性セシウムは次第に溶液へ移行し、10.5 日後には 58～66% が KI 溶液に移行した。これが現在のところ我々のグループで得た最も高い移行率である。しかし、10 日以上掛けても 1/3 以上が土壌に残留するということは、いかに放射性セシウムが土壌と固く結合しているかということを示しているともいえる。

4. 汚染土壌の埋設

放射性セシウムは土壌表面の 3 cm 以内に局在すること、土壌と固く結合していることから、表土を剥離することも有効な除去法として考えられる。しかし、剥離した土壌の処分が問題となる。ここでは、よく用いられる手法である埋設によってどの程度放射線を遮へいできるかどうかを検討した。

まず、放射性セシウムからの γ 線が土壌により減衰する割合（減衰率）を実測し、実験室での埋設試験及び実際の埋設を想定したシミュレーションにより、埋設による遮へい効果を求めた。シミュレーションの結果を図 2 に示す。この図より被覆厚さが 20 cm でも 97%、30 cm あれば 99% 以上遮へいされることが分かる。

この結果を元に、実際に郡山市内の公園で埋設試験を行った。作業前の空間線量は地上高 1 m で 2.6 $\mu Sv/h$ 、地表面から 1 cm で 4 $\mu Sv/h$ であった。1 m 四方にわたって 3 cm の厚さで地表面を取り除いた。その結果地表面 1 cm の高さで 1.7 $\mu Sv/h$ となった。地表面を取り除いた中央に 0.4 m 四方で深さ 0.5 m の穴を掘り、剥ぎ取った土壌をポリエチレン袋に入れて穴の中に入れ、その上を掘り出した深部の非汚染土壌により 24 cm の厚さで覆った。地表面 1 cm の高さでの空間線量は 1.7 $\mu Sv/h$ で変化がなかった。この空間線量は周囲からの放射線によるもので、地表面からは検知できるほど漏れ出てい

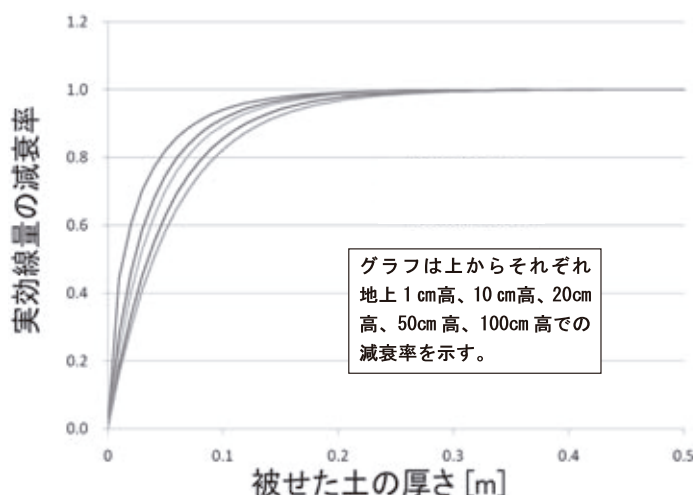


図2 被覆土壌の厚さと遮へい効果

表2 周囲からの影響も含めたときの空間線量の減衰

地上高	除去なし	1 m 四方	5 m 四方	10 m 四方	20 m 四方
100 cm	100	94	53	32	14
50 cm	113	95	44	27	13
1 cm	185	68	38	25	13

表中の数値は汚染土壌を除去しないときの地上高 100 cm での線量を 100 としたときの相対値。

例えば、1 m 四方とは 1 m 四方の汚染土壌を除去したことを示す

ないことが確認された。

周囲からの放射線による影響は大きく、地上 1 m の高さでは $2.3 \mu\text{Sv/h}$ であり、除去前と比較して 10% 程度しか減少していない。この現象をシミュレーションによって確かめてみた。結果を表 2 に示す。除去しないときの 1 m の高さでの空間線量を 100 として相対値で表示してある。この表から、たとえ 20 m 四方の汚染土壌を除去しても、周囲からの影響で除去前の線量に対して 14% は残存してしまうことが分かる。除染は地域ぐるみで広い範囲にわたって行う必要があることを示している。

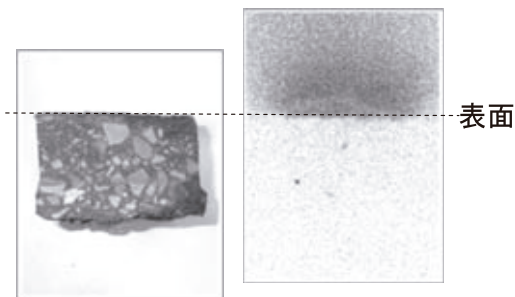
5. アスファルト舗装面の除染

都市部の住民にとっては、アスファルト舗装面の上が屋外で最も多く存在する場所である。したがって、アスファルト舗装面の除染は重要な課題である。我々は郡山市の舗装面を 10 cm 角のブロックに切断したものを入手し、様々な除去法を試みた。

始めにイメージングプレートによる断面観察を行った。図 3 にその結果を示すが、明らかに表面のごく近傍に局在していることが分かる。

次に一般に手に入る様々な洗剤やブラシを用いて除染を試みた。結果を表 3 に示す。流水中にかざすだけではほとんど効果がないが、流水中で柔らかい洗車用ブラシで擦るだけで放射性セシウムを 56% 除去できた。これは舗装路の表面に付着している砂や土に少なくとも半分程度の放射性セシウムが存在することを示す。さらに、ココナッツ椰子繊維製の硬いブラ

シ（亀の子タワシ）で擦ることで 80% 以上が除去され、洗剤との併用で 90% 近くまで達した。このとき砂や土とともにアスファルト自体も削り取られることが観察された。最も除染効果が高かったのは、ステンレスワイヤ製のブラシで洗剤の有無に関わらず 95% 程度の除去率が得られた。ブラッシングはいずれも舗装面の表面積 10 cm^2 に対して 1 分間という比較的長い時間を掛けている。これらのことから、舗装路面の除染は表面をある程度削り取るくらいに擦ることが効果的であることが分かった。ただし、削った厚さは 1 mm にも達しておらず、本



舗装路片の断面 断面の IP 像

図3 舗装路片断面の IP による観察

表3 種々の舗装路面除染法による除去率

除染法	除去率
流水のみ (30 秒×5 回)	2.3%
洗車用ブラシ (流水中, 10 秒×1 回)	56%
亀の子タワシのみ (流水中, 30 秒×5 回)	83%
洗剤塗布後亀の子タワシ (流水中, 30 秒×5 回)	89%
洗剤浸漬後ワイヤブラシ (流水中, 60 秒×1 回)	94%
ワイヤブラシのみ (流水中, 60 秒×1 回)	95%

表4 郡山市内駐車場における除染テスト結果

除染法	除去率
水無しでワイヤブラシ, 掃除機で吸引	−4.2%
塩素系洗剤+高圧洗浄	70.6%
高圧洗浄	71.5%
アルカリ系洗剤+流水+デッキブラシ	39.8%
塩素系洗剤+流水+デッキブラシ	41.5%
流水+ワイヤブラシ	44.9%
オレンジ系洗剤+流水+ワイヤブラシ	73.6%

格的に削り取ることまではなくてよい。

さらに、実際の現場において実証テストを行った。場所は郡山市内の駐車場で、2 m 四方に区画した8か所において様々な方法で除染し

た。結果を表4に示す。高圧洗浄、ワイヤブラシによる除染が70%以上の効果を上げたものの、どちらも2 m 四方に20分掛けて丁寧に行ったが90%には達しなかった。実験室におけるテストほど長い時間を掛けることができなかったためと考えられる。

6. 屋根瓦の除染

住宅の屋根瓦も降雨や埃、塵などの付着による放射性セシウム汚染が深刻な問題となっている。そこで郡山市内の屋根瓦を入手して除染方法を検討した。瓦は10個の3 cm 角ブロックに切断して実験に供した。除染方法としては台所用洗剤及び硝酸系などの除染剤を用いた。洗剤の場合は30分間浸漬した後ナイロントワシ (Scotch Brite) で1分間擦る動作を2度行って1回の作業とした。除染剤の場合はA, B, Cの3種類を用い、A, Bの混合液を塗布して30分間放置してからナイロントワシで1分間擦り、液を除去してから更にCを塗布して30分間放置し、ナイロントワシで1分間擦るという作業を行った。結果を図4に示す。この図から分かるように、洗剤及び除染剤を用いた方法の除染効率はほぼ同一であった。泡状除染剤を用いた方法は汚染水の発生が少ない。いずれの方法でも1回目の除染で1/3の汚染度に減少するが、複数回除染しても効果は少なかった。洗剤を用いた除染で残る固着した汚染は、今回用いた除染剤で4.7~8.7%除染できる。

7. インターロッキングブロックの除染

インターロッキングブロックは、歩道や公共の広場などで表面に敷き詰められるブロックである。このブロックの除染を試みた。用いたブロックは郡山市内で入手したもので表面の大きさが10 cm×20 cm、表面汚染がGM 計数管 (アロカ (株) 製 TGS136) で1,100~5,400 cpm のも

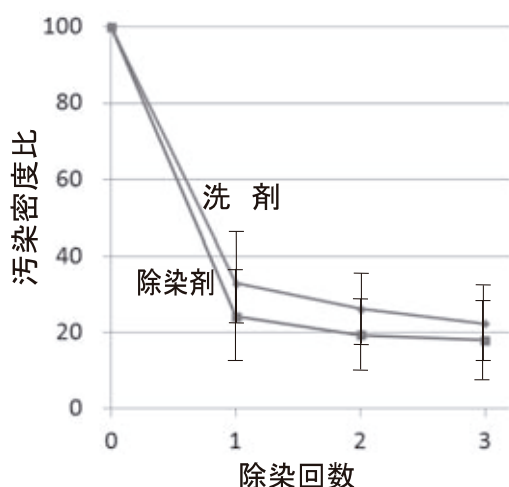


図4 屋根瓦の除染結果

の4個である。試料の1つは流水中で手の平で30秒間擦っただけで85%除去され、更に洗車用ブラシで30秒間擦ったところ96%まで除去された。ほかの3個は、流水中で手の平で擦っただけでは0~12%にとどまった。そのうちの1個はオレンジ洗剤+洗車用ブラシ60秒で74%、次のブロックはワイヤブラシ60秒で91%、3番目のブロックはオレンジ洗剤+ワイヤブラシ60秒で86%の除去率が得られた。これらの

結果をみると、やはりワイヤブラシで擦ることが効果的であることが分かる。また、洗剤の効果はみられなかった。インターロッキングブロックの場合も放射性セシウムは表面に局在していることが推測される。

8. 今後の予定

アスファルト、コンクリート、瓦屋根、スレート屋根など、土壌以外への固着メカニズムの解明を進めていきたい。また、2012年1月からの放射性物質汚染対処特措法の施行に伴って除染作業が本格化しつつある。学会としても、より実践的で安全な除染方法の提案を行っていただければよいと考えている。

*

土壌分析班のメンバー (五十音順) ◎班長, ○副班長

奥野功一 (ハザマ技術研究所), ○佐瀬卓也 (徳島大学), ◎実吉敬二 (東京工業大学), 末木啓介 (筑波大学), 富田悟 (東京工業大学), 桧垣正吾 (東京大学), 廣田昌大 (東京大学), 松倉千昭 (筑波大学), 三好弘一 (徳島大学), 森一幸 ((株) イング), 矢永誠人 (静岡大学)

「掲示板」2012 開催情報, 募集中

2012年6月以降に開催される, アイソトープ・放射線関係の学会, 研究会, 講演会等について情報を募集しています。本誌の読者が広く興味をお持ちになりそうな催しを掲載させていただきます。

開催日, 会場, 連絡先(ホームページがある場合はそのURLも含む)がお決まりでしたら, ご一報ください。掲示板カレンダーに掲載し, その後ご希望の場合, 掲示板コーナー内にくわしい内容をご紹介します。

- 掲載: 無料
- 締切: 掲載希望月の前々月25日
- 原則として, 電子データ(txtファイル, Wordファイルなど)にて情報をお寄せください。

アイソトープ・放射線に関心をお持ちの多彩な読者へのPRコーナーとしてお役立てください。

連絡先: 日本アイソトープ協会 出版課 Isotope News 編集係

☎ 03-5395-8082 FAX 03-5395-8053 E-mail enews@jrias.or.jp