

日本大学工学部キャンパスの除染と 放射性物質汚染土壌除染処理システム

平山 和雄

2011年3月11日の東日本大震災で福島第一原子力発電所の事故が発生し、放射性物質が空气中に拡散した。放射性物質の中で、 ^{134}Cs と ^{137}Cs は土壌、樹木、アスファルト、コンクリートなどのさまざまな地表面に沈着し、その一部は雨などにより河川や下水に移動したものの、セシウムは結合力が強固なために、放射性セシウムは依然としてその“場”にとどまっている。その“場”からは放射性セシウムの壊変で生じるガンマ線とベータ線が放出されており、高い空間放射線量が持続しているため、日常生活や健康の管理に大きな影響を及ぼしている。

日本の自然放射線量は年間1.5 mSv程度であり、国際放射線防護委員会(ICRP)は原子力事故収束後の追加被曝線量の平常値を年間1ミリシーベルト(mSv)以下としており、この値を環境中の空間放射線量で表すと毎時0.23マイクロシーベルト(μSv)になる。したがって、安心して安全な環境の目安として、空間放射線量をこの値以下にする必要があり、放射性物質の除染に対してさまざまな方法が提案されている。

ここでは、実際に放射能汚染を経験した立場から、放射能汚染の実態と除染を行うのに必要な除染方法と除染状況を紹介します。地表面の放射性セシウムを除染するための技術と問題点を解説する。

放射性物質の汚染状況

空間放射線量の変化¹⁻⁴⁾ 日本大学工学部では2011年4月7日からキャンパス内の7地点の空間放射線量の測定を開始した。測定結果は、時系列で日本大学工学部のホームページ(<http://www.ce.nihon-u.ac.jp/>)に掲載されており、これらのデータから除染の推移を読み取ることができる。

キャンパス内の空間放射線量の経時変化を調べた結果を図1に示す。測定地点はいずれも屋外であり、ハットNE前と70号館前の地表面はインターロッキングブロックで覆われており、正門付近はインターロッキングブロックとアスファルトになっている。

事故直後の空間放射線量は1~1.2 $\mu\text{Sv/h}$ 前後であったが、半年ほど経過した2011年10月では0.6 $\mu\text{Sv/h}$ 以下になっている。地表面の放射性セシウムは、土壌表面では吸着されてその場にとどまるので、アスファルト表面と比較すると放射線量の低減の割合は小さい。

除染の第一段階として、日本大学工学部では、放射性

セシウムの高地から低地への移動を考慮して、まず初めに2011年7月に建造物と道路について高圧水による洗浄を行った。その結果、高圧水洗浄による除染の効果が表れ、学生食堂のあるハットNE(東側)では、0.4 $\mu\text{Sv/h}$ 以下に低下した。しかし、0.23 $\mu\text{Sv/h}$ にするのは困難であった。

土壌中の放射能濃度¹⁻⁵⁾ 放射性セシウムは大気に拡散後、雨などによって地表面に降下し、その多くがさまざまな地表面に沈着した。土壌や植物などには特に沈着しやすく、いったん吸着されると簡単には取り除けないのが特徴である。

土壌に沈着した放射性セシウムの移動を調べるために、土壌表面から深さ方向における空間放射線量と放射能汚染密度を測定した結果をそれぞれ図2と図3に示す。

キャンパス内の3地点いずれの土壌でも、表面を削り取るにつれて各値とも減少している。この傾向は芝生でも同様であり、地表面から5 cmの深さまでのところに、放射性セシウムが多く存在していることがわかる。

次に、キャンパス内の3地点における土壌中の放射性セシウムの濃度を調べた結果を図4に示す。

いずれの地点でも土壌表面から1 cmまでの土に放射性セシウムが多く含まれており、それより深い土では急激に放射能が減少している。

以上の結果から、土壌地表面からの放射線量は、地表面から3~5 cmまでの土を除去すれば、大幅に低減できることが判明した。

これらの結果をもとにして、2012年1月からグラウンドの表土除去による除染を行った。図1に示すように

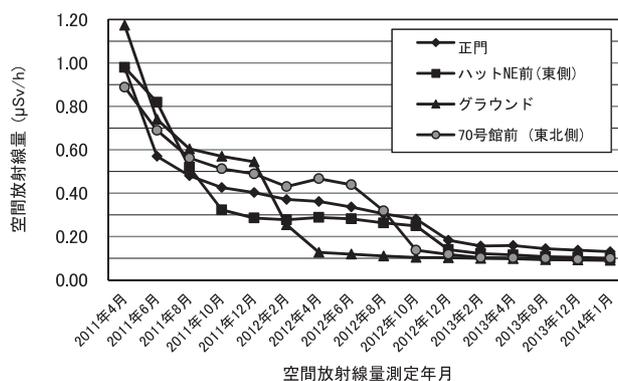


図1. 日本大学工学部キャンパス内の空間放射線量の経時変化

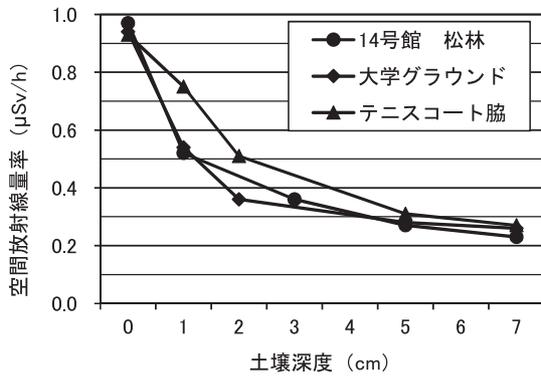


図2. 土壤深度による空間放射線量の変化

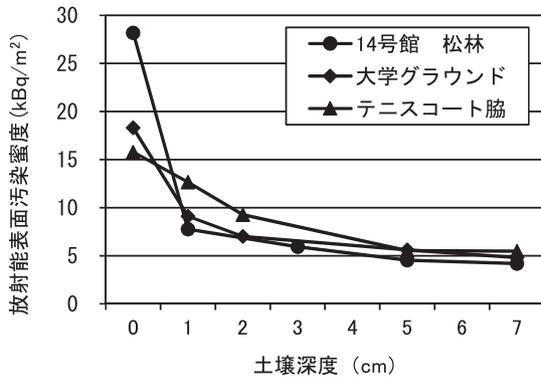


図3. 土壤深度別の表面放射能汚染密度

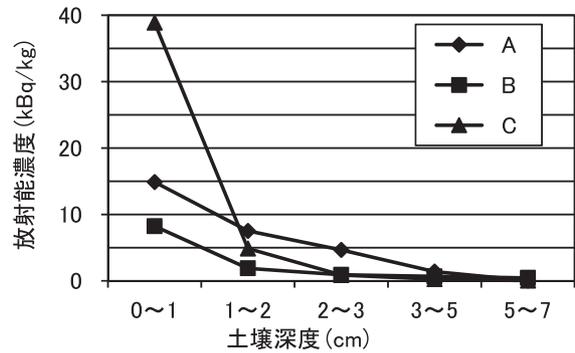


図4. 土壤深度別の放射能濃度

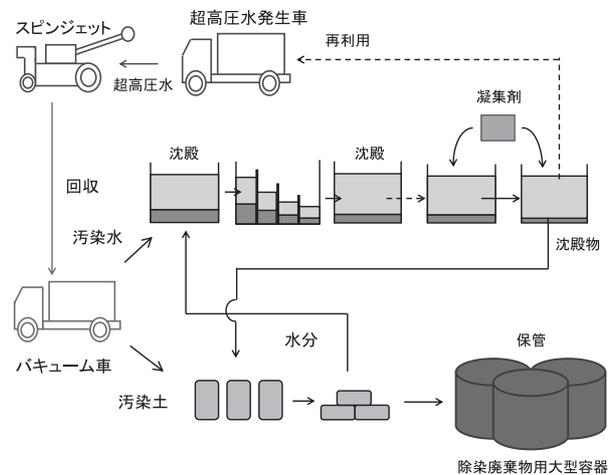


図5. 超高压水による除染システム

2011年12月に約0.5 μSv/hの値であった空間放射線量は2012年4月には0.1 μSv/h程度に急激に減少した。2014年1月現在で0.09 μSv/hになっており、表土除去による効果の大きいことが改めて確認された。

次に、アスファルト、コンクリート、インターロッキングブロックの表面に沈着したセシウムを高圧水で削り取ることによる除染を検討した³⁻⁵⁾。図5に超高压水による除染システムを示す。

超高压水発生車から送られた水は、スピンジェット型の密閉型装置で表面を剥離し、放射性物質を含む表面付着物を削り取る。剥離後の懸濁水はすべてバキュームで吸引し、沈殿分離層に送られる。その後、凝集剤を加えて上澄み液と沈殿に分離する。回収した水は再利用される。なお、凝集沈降させた後の上澄み水に含まれる放射性セシウムの濃度は0.5 Bq/kg未満であり、排水しても問題ないレベルまで処理されている。

洗浄時の水压を変化させたときの表面の放射能と空間線量を測定した結果を表1に示す。

高圧洗浄における吐出水圧は5 MPa程度であるのに対して、超高压水の圧力は100 MPaである。高圧洗浄では難しかったアスファルトなどの除染は、超高压水では表面を薄く削り取るので、表面に沈着しているセシウムを効果的に除去できることになる。除染前が0.4 μSv/h前

表1. 高圧水による地面の除染

除染方法	場所	表面密度 (cpm)		地上1 m空間線量 (μSv/h)	
		除染前	除染後	除染前	除染後
高圧洗浄	正門前	138	124	0.39	0.36
	正門前	140	109	0.39	0.23
超高压洗浄	ハットNE 周辺	214	108	0.42	0.14
	情報棟周辺	622	88	0.48	0.21
	本館北側	318	112	0.34	0.17

後であったものが、超高压洗浄で除染すると0.23 μSv/h以下になっており、除染基準を満たしている。

次に、インターロッキングブロックを超高压洗浄したときの表面の剥離状況を図6に示す。

洗浄の前後で表面の色が大きく変化しており、表面に沈着している放射性セシウムが表面の汚れと一緒に削り取られていることがわかる。2012年12月に超高压水による洗浄を実施したところ、キャンパス内の多くの場所で空間放射線量が0.2 μSv/h未満に低減した。



図6. 超高圧水による除染

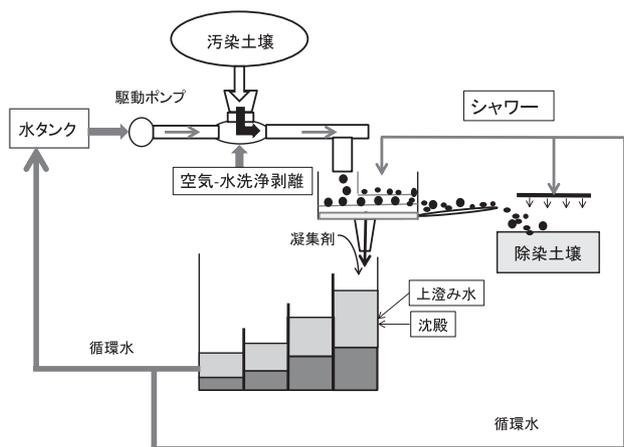


図7. 土壌分級による除染システム

以上、これまでに示した日本大学工学部の除染結果は、放射能汚染からの除染プロセスの一つのモデルになるものと考えられる。

分級による土壌除染

放射セシウムは地表面から5 cmの深さまでに90%以上が存在していることから、表土の除去が効果的であることを前述した。これは、地表に降り注いだ放射性セシウムが土壌表面から地中に移動する過程で粘土質土壌に捕捉されるためである。

ここで紹介する土壌の除染方法^{2,5)}は、放射能汚染土壌を処理するのに特殊エジェクターを使用して迅速簡便に土壌成分を土粒子の粒径ごとに分離するものである。特殊エジェクターは高圧水流を導水管に送り、このとき空気を吸い込むことで空気伴走高圧ジェット水流が発生し、砂礫に付着している粘土質やシルトを剥離するものである。土壌分級による高速除染システムを図7に示す。

水タンクから駆動ポンプで高圧水（ジェット水）を発生させ、途中で空気を吸い込みながら導水管に送られる。導水管の上部から汚染土壌を投入すると瞬間的に砂礫と

表2. 分級後の土壌の回収率と除染率

特殊エジェクター圧力 (MPa)	土壌 回収率 (%)	仕込み土壌放射能 (Bq/kg)	回収土壌放射能 (Bq/kg)	除染率 (%)
0.8	75.2	5370	580	89.2
5	48.1	5190	208	96.0
10	42.5	4110	439	89.3

懸濁水に分けられ、粘土質とシルトは懸濁水に取り込まれる。振動ふるいで砂礫と懸濁水を分離し、砂礫はシャワーで洗浄後回収する。懸濁水はサイクロンで分離し、粘土質を含む懸濁水のみを汚水槽に回収する。懸濁水は凝集沈降させて粘土質を分離して回収する。この処理過程は図5の超高圧水による処理システムと同じになる。

特殊エジェクターの水流の吸い込み圧力を0.8 MPa, 5 MPa, 10 MPaの3段階で変化させ、ホッパーで土壌を高速水流中に投入した。吸い込み流量は160～360 L/分の間であり、処理時間は3分以内であった。分級による土壌表面の剥離効果を検討した結果を表2に示す。

特殊エジェクターとサイクロン分離を用いると、土壌に付着している粘土質の剥離を簡便に行うことが可能になり、粒径が1 mm以上の砂礫質の土壌の回収率は、土質によって異なるが、40～75%の範囲であった。回収した土壌の放射性セシウムの放射能は除染前に比べて大きく低下しており、除染率は89～96%の範囲であった。回収土壌の放射能レベルは最大で600 Bq/kg以下であることから、除染した土壌は元の土地に戻すことが可能である。

表面を除去した汚染土壌に対して本法を応用すれば、粘土質のみを中間貯蔵施設に保管すればよいので、汚染土壌の減容化法として今後の利用が期待される。

謝 辞

本解説で述べた研究を行うに当たって、その一部は平成24から26年度文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「福島県発の災害に強く自立共生が可能な住環境の創成に関する研究 (S1203003)」と平成25年度日本大学学術研究助成金「総合研究」[「河川・湖沼における放射性物質による魚類・飲料水に関する環境リスク評価」]の研究費によって支援された。厚く謝意を表す。

文 献

- 1) 平山和雄ら：第1回環境放射能除染学会要旨集, p. 99 (2012).
- 2) 郡川正裕ら：平成24年度化学系学協会東北大会講演予稿集, 2P031 (2012).
- 3) 平山和雄ら：第2回環境放射能除染学会要旨集, p. 127 (2013).
- 4) 郡川正裕ら：日本分析化学会第62年会講演予稿集, Y11382 (2013).
- 5) 平山和雄：設計工学, **48**, 551 (2013).