

浅代かき強制排水による水田土壤中の放射性物質 除染法の有効性に関する事前検討

奥島修二¹・塩野隆弘¹・石田 聡¹・吉本周平¹・白谷栄作¹
濱田康治¹・人見忠良¹・樽屋啓之¹・今泉眞之¹・中 達雄¹

Preliminary study on decontaminating paddy soil contaminated with radioactive materials by using water agitation and soil removal

Shuji OKUSHIMA¹, Takahiro SHIONO¹, Satoshi ISHIDA¹, Shuhei YOSHIMOTO¹, Eisaku SHIRATANI¹,
Koji HAMADA¹, Tadayoshi HITOMI¹, Hiroyuki TARUYA¹, Masayuki IMAIZUMI¹ and Tatsuo NAKA¹

Abstract : A decontamination method is urgently needed for agricultural lands contaminated with radioactive cesium during the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in March 2011. As an experimental site, we selected a paddy field in Iitate Village, which is in the planned evacuation zone. Preliminary testing showed that 95 % of the radioactive cesium exists within the top 2.5 cm of uncultivated agricultural soil. The cesium was primarily adsorbed with finer fractions of the soil, such as soil particles or aggregates smaller than 0.02 mm Stokes diameter. On the basis of these results, we proposed an experimental method of paddy decontamination by puddling a thin layer of topsoil under flooded conditions and draining the suspended soil particles. We carried out a test on the method using a plastic container (38.0 cm × 53.0 cm × 26.5 cm) before using the method on the paddy field. The process reduced the concentration of radioactive cesium. An important advantage of the technique is that it generates less waste than the method of removal of top soil.

Key Words : paddy decontamination, radioactive cesium, waste soil, volume reduction.

1. はじめに

東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により放射性物質が飛散し、東日本の広範囲の地域で放射能汚染が生じた。特に、原子力発電所から半径30 km 圏内およびその周辺市町村では地表1 m の高さの空間線量率が1.0 ~ 19.0 $\mu\text{Sv hr}^{-1}$ 以上である地点が多く存在することが報告されている(文部科学省, 2011a)。この放射性物質の拡散により農地等における土壤の放射能汚染が大きな問題となっている。原子力災害対策本部は、水田土壤中の放射性セシウム (^{134}Cs と

^{137}Cs の合計) 濃度が5,000 Bq kg^{-1} を超えた場合に稲の作付制限を行うという考え方を示し、これにより福島第一原子力発電所から半径20 km 圏内に加えて2011年4月22日に計画的避難区域及び緊急時避難準備区域に指定された地区では2011年度の稲作を中止した。こうした地区での稲作再開のためには、土壤に付着した放射性セシウムの除去が喫緊の課題であり、実際に現地に適用できる除去技術の早急な確立が求められている。

土壤に降下した放射性セシウム (^{134}Cs と ^{137}Cs の合計値) は、表層付近に多く存在することが報告されている(結田ら, 2002; 塩澤ら, 2011)。このため、水田圃場の除染には放射性セシウム濃度が高い表層土壤を剥ぎ取ることが最も有効な方法の1つであると考えられる。しかしながら、剥ぎ取りにより発生する莫大な量の排土の処分方法は確定しておらず、排土の処分に対する懸念がある。このため、現時点では、少ない排土量でかつ高い放射能濃度低減効果が得られる効率的な水田圃場の除染方法が求められている。

チェルノブイリ原発事故等により土壤に降下した放射性セシウムは、粘土画分に多く存在するという特性が報告されている(Spezzano, 2005; Korobova, et al., 2007; Tsukada et al., 2008)。この特性を考慮すると、放射能汚染された未耕起の水田圃場では、湛水させた後に表層土壤を攪拌して細粒土粒子を水中に浮遊させ濁水を強制排水(浅代かき強制排水)し、放射性セシウム濃度が高い細粒土粒子を選択的に排出することにより、水田圃場における効率的な除染に寄与できる可能性がある。

農林水産省は、2011年6月より、主に、福島県飯館村で東京電力福島第一原子力発電所事故により降下した放射性物質の様々な除染技術開発を行っている。開発結果の概要は、農林水産省(2011a,b)から公表されている。ここでは、筆者らが担当した浅代かき強制排水による水田圃場の除染技術の開発に関する取り組みのうち、本方法の有効性について事前検討するために行った、土壤に含まれる放射性セシウムの分布実態およびコンテナを用いた除染実験の詳細について述べる。

¹National Institute for Rural Engineering, NARO, 2-1-6 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609 Japan.

Corresponding author: 奥島修二, ¹独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構農村工学研究所

2012年3月16日受稿, 2012年6月26日受理

土壤の物理性 121号, 43-48 (2012)

2. 対象圃場

対象水田圃場は、福島県飯館村伊丹沢地区に位置し東京電力福島第一原子力発電所から北西方向に 39 km の地点の傾斜地水田である。圃場周辺における地表 1 m の空間線量率は $3.8 \sim 9.5 \mu\text{Sv hr}^{-1}$ (文部科学省, 2011a) で、土壌に降下した放射性セシウム濃度は $1,000 \sim 3,000 \text{ kBq m}^{-2}$ であった (文部科学省, 2011b)。対象圃場は 2011 年 4 月 22 日に計画的避難区域内となり、前年の稲刈り終了後に耕起等は行われず、また原発事故発生後に耕起や稲作は行われていない。2011 年 6 月 13 日時点では、圃場面には稲株と土壌が存在し、稲ワラによる被覆はなかった。土壌情報閲覧システム (高田, 2011) によれば、対象圃場の土壌は中粗粒灰色低地土灰褐色系に分類される。

3. 試験方法

3.1 放射性セシウムの分布調査

対象圃場の放射性物質の分布実態を明らかにするため直径 10 cm、深さ 4 m のオーガーボーリング調査を実施した。オーガーボーリング孔は、調査後下部 2 m をスクリーン加工した塩ビ管を挿入し、地下水モニタリング孔とした。

土壌特性を調べるために用いた試料は、2011 年 6 月 13 日に対象圃場にて深さ 2.5 ~ 5.0 cm の土壌を採取し風乾後 2 mm ふるいを通過させたものである。圃場での試料採取では、メジャーと水糸等により採取位置を確認しながら、深さ 0 ~ 2.5 cm の土壌を取り除き、採取土壌をナイフで切り出してビニール袋に詰めた。乾燥密度の測定には、100 mL 円筒を用いて深さ 0 ~ 5.1 cm の土壌を採取した不攪乱試料を用いた。粒径組成、真比重、pH (H_2O)、有機物含有量および陽イオン交換容量は、それぞれ JISA1204、JISA1202、ガラス電極法、重クロム酸法および Schollenberger 法により測定した。

土壌の深度別放射性物質濃度の測定用試料は、2011 年 6 月 13 日に対象圃場において深さ 0 ~ 30 cm の土壌を 9 層に分割して採取した。層の厚さは深さ 0 ~ 15 cm は 2.5 cm、15 cm 以深は 5.0 cm である。圃場での試料採取は、はじめに縦 50 cm 横 50 cm 深さ 40 cm の作業穴を掘り、穴の側面にあたる部分にメジャーと水糸等で採取深さを確認し、穴の側面部の土壌を上部の層から順にナイフで切り出してビニール袋に詰めた。ナイフは、コンタミネーションの影響を避けるため、一層を切り出すごとに汚れをふき取った。なお、0 ~ 2.5 cm の層の試料には稲株を含んでいない。採取した各層ごとの土壌は、風乾後にビニール袋に入れてよく混合し、土壌の一部 (40 ~ 132 g) を取り出して放射性物質濃度測定用の試料とした。試料の放射性物質濃度 (^{131}I 、 ^{134}Cs および ^{137}Cs) の分析は、九州環境管理協会 (福岡県福岡市) に委託し、ゲルマニウム半導体検出器 (ORTEC 社 CMX30P) を用いて測定し、スペクトルの解析は「ガンマスタジオ」(SEIKO EG&G) により行った。分析に供

した試料は約 100 g、測定時間は 1,000 秒である。解析ソフトにより計算した各試料の ^{134}Cs と ^{137}Cs 測定の測定誤差 (標準偏差) と検出下限値 (文部科学省, 1992) は、Table 2 に示されているので、以下の記述では放射性セシウム濃度のみを記述する。

土壌の粒径別放射性物質濃度の測定用試料は、上述の試料のうち深さ 0 ~ 2.5 cm と 2.5 ~ 5.0 cm の土壌を対象とした。これらの試料を 4 つの画分 (微細粒画分、細粒画分、中粒画分および粗粒画分) に分画し、 105°C で 24 時間乾燥後に各画分の放射性物質濃度を測定した。ここで、微細粒画分、細粒画分および中粒画分は、水分散により作成された土粒子または団粒のうちそれぞれ 0.002 mm 以下、0.002 ~ 0.02 mm および 0.02 ~ 0.2 mm のストークス径をもつもの、粗粒画分は 0.2 mm フルイに残留したものとする。粒径の分画は、沈定法とふるい分けにより行った。なお、分画作業での試料の前処理は、浅代かき強制排水による除染方法を想定し、有機物分解および分散剤投入や超音波分散等処理は行わず、容器に試料と蒸留水を入れた後に攪拌機による攪拌のみ実施した。このほか、各粒径画分の質量割合をピペット法とふるい分け法により求めた。使用した試料は深さ 2.5 ~ 5.0 cm の土壌で、前処理は分画作業での処理と同様である。

3.2 コンテナを用いた実験

コンテナを用いて浅代かき強制排水を模擬した実験を行い、本方法の有効性について検討した。

実験に用いた試料は、対象圃場で採取した深さ 0 ~ 5 cm の土壌である。採取日は 2011 年 8 月 2 日である。

はじめに、コンテナ (長さ 38.0 cm、幅 53.0 cm、高さ 26.5 cm) に試料を 5 cm 厚で充填し、土壌表面から水深 10 cm となるよう給水し、攪拌機で 3 分間土壌と水を攪拌した。次に、5 分間の静置後に濁水をポンプでバケツに排水した。排水終了後、バケツにポリ塩化アルミニウム水溶液 (PAC) を投入し攪拌後静置して濁水を沈殿土と上澄み液に分離した。バケツ内の上澄み液か

Table 1 対象水田の土壌特性.

乾燥密度 (Mg m^{-3})	1.03
粒径組成* (%)	
粗砂	25.8
細砂	32.1
シルト	28.3
粘土	13.8
土性*	L
真比重	2.64
pH (H_2O)	6.1
有機物含量 (%)	6.6
陽イオン交換容量 ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	21.9

* 国際土壌学会法による

Table 2 放射性セシウム濃度分析結果.

		分析値 (Bq kg ⁻¹)				誤差 (Bq kg ⁻¹)			検出限界 (Bq kg ⁻¹)			
		I-131	Cs-134	Cs-137	Cs-total	I-131	Cs-134	Cs-137	I-131	Cs-134	Cs-137	
1) 深度別濃度分布 (採取日: 2011/6/13. 採取した土壌からそれぞれ3試料を取り出して測定)												
○試料 1	地表面から 0.0-2.5 cm	不検出	33,200	34,900	68,100	不検出	203	209	136	144	100	
	2.5-5.0 cm	不検出	728	801	1,530	不検出	26	29	25	27	29	
	5.0-7.5 cm	不検出	412	421	833	不検出	18	19	16	19	19	
	7.5-10.0 cm	不検出	111	104	215	不検出	11	11	15	17	16	
	10.0-12.5 cm	不検出	122	135	257	不検出	11	11	13	17	13	
	12.5-15.0 cm	不検出	120	162	282	不検出	11	13	14	19	16	
	15.0-20.0 cm	不検出	54	58	112	不検出	7	8	11	12	15	
	20.0-25.0 cm	不検出	169	231	400	不検出	12	14	15	18	16	
	25.0-30.0 cm	不検出	8	11	19	不検出	2	4	7	8	9	
	○試料 2	地表面から 0.0-2.5 cm	不検出	29,800	31,800	61,600	不検出	205	214	152	159	142
		2.5-5.0 cm	不検出	912	907	1,820	不検出	39	39	32	40	34
		5.0-7.5 cm	不検出	324	339	663	不検出	22	21	25	31	24
		7.5-10.0 cm	不検出	206	250	456	不検出	18	20	24	27	16
		10.0-12.5 cm	不検出	101	116	217	不検出	12	14	16	18	23
		12.5-15.0 cm	不検出	139	177	316	不検出	14	16	21	18	19
15.0-20.0 cm		不検出	50	53	103	不検出	8	8	15	20	14	
20.0-25.0 cm		不検出	181	184	365	不検出	17	17	20	26	24	
25.0-30.0 cm		不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	15	15	15	
○試料 3		地表面から 0.0-2.5 cm	不検出	29,200	31,200	60,400	不検出	218	224	156	175	152
		2.5-5.0 cm	不検出	997	1,090	2,090	不検出	43	46	42	42	37
		5.0-7.5 cm	不検出	343	367	710	不検出	25	25	30	33	29
		7.5-10.0 cm	不検出	159	257	416	不検出	20	22	25	40	28
		10.0-12.5 cm	不検出	150	166	316	不検出	19	18	20	39	30
		12.5-15.0 cm	不検出	161	189	350	不検出	18	19	23	30	26
	15.0-20.0 cm	不検出	49	49	98	不検出	10	10	19	25	21	
	20.0-25.0 cm	不検出	188	195	383	不検出	20	21	25	36	30	
	25.0-30.0 cm	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	不検出	27	23	15	
	2) 画分別濃度分布 (採取日: 2011/6/13. 採取した土壌からそれぞれ3試料を取り出して測定)											
	○試料 1	0.0-2.5 cm										
		微細粒画分 (≦ 0.002mm)	不検出	91,700	94,800	187,000	不検出	772	776	539	589	470
		細粒画分 (0.002-0.02mm)	不検出	51,700	55,100	107,000	不検出	401	401	296	317	216
		中粒画分 (0.02-0.2mm)	不検出	33,100	35,900	69,000	不検出	287	298	213	240	185
		粗粒画分 (0.2-2mm)	不検出	11,900	12,700	24,600	不検出	159	160	121	128	112
2.5-5.0 cm												
微細粒画分 (≦ 0.002mm)		不検出	7,870	8,390	16,300	不検出	194	198	150	182	152	
細粒画分 (0.002-0.02mm)		不検出	3,140	3,340	6,480	不検出	99	98	75	107	79	
中粒画分 (0.02-0.2mm)		不検出	1,340	1,560	2,900	不検出	67	71	66	71	59	
粗粒画分 (0.2-2mm)		不検出	463	514	977	不検出	33	35	34	39	38	
○試料 2		0.0-2.5 cm										
		微細粒画分 (≦ 0.002mm)	不検出	92,000	95,700	188,000	不検出	696	679	452	583	426
	細粒画分 (0.002-0.02mm)	不検出	53,500	58,600	112,000	不検出	413	435	275	309	272	
	中粒画分 (0.02-0.2mm)	不検出	31,700	32,500	64,200	不検出	245	242	171	197	153	
	粗粒画分 (0.2-2mm)	不検出	10,900	12,000	22,900	不検出	134	142	102	103	89	
	2.5-5.0 cm											
	微細粒画分 (≦ 0.002mm)	不検出	7,060	7,500	14,600	不検出	166	164	119	144	116	
	細粒画分 (0.002-0.02mm)	不検出	3,280	3,490	6,770	不検出	106	109	89	99	89	
	中粒画分 (0.02-0.2mm)	不検出	1,400	1,570	2,970	不検出	63	65	52	68	58	
	粗粒画分 (0.2-2mm)	不検出	509	550	1,060	不検出	32	32	32	43	34	
	○試料 3	0.0-2.5 cm										
		微細粒画分 (≦ 0.002mm)	不検出	93,500	99,500	193,000	不検出	732	742	508	599	446
細粒画分 (0.002-0.02mm)		不検出	57,300	60,100	117,000	不検出	494	492	325	388	321	
中粒画分 (0.02-0.2mm)		不検出	36,200	39,500	75,700	不検出	281	293	205	211	158	
粗粒画分 (0.2-2mm)		不検出	11,000	11,600	22,600	不検出	163	162	113	138	109	
2.5-5.0 cm												
微細粒画分 (≦ 0.002mm)		不検出	6,980	7,520	14,500	不検出	168	173	126	142	125	
細粒画分 (0.002-0.02mm)		不検出	3,800	4,110	7,910	不検出	110	111	81	110	91	
中粒画分 (0.02-0.2mm)		不検出	1,740	1,820	3,560	不検出	67	66	51	70	50	
粗粒画分 (0.2-2mm)		不検出	575	524	1,100	不検出	40	38	39	50	49	
3) コンテナ試験の結果 (採取日: 2011/8/2. 実験前については試験土壌から各回3試料を取り出して測定)												
○1回目		実験前										
	コンテナ内 試料1	不検出	27,400	30,200	57,600	不検出	214	230	154	172	156	
	コンテナ内 試料2	不検出	14,100	15,800	29,900	不検出	127	139	99	102	93	
	コンテナ内 試料3	不検出	7,850	8,890	16,700	不検出	120	133	104	92	91	
	実験後											
	コンテナ内	不検出	7,520	8,430	16,000	不検出	113	124	92	95	81	
○2回目	実験前											
	コンテナ内 試料1	不検出	9,630	10,900	20,500	不検出	113	123	86	93	81	
	コンテナ内 試料2	不検出	8,340	9,150	17,500	不検出	103	108	76	87	73	
	コンテナ内 試料3	不検出	5,970	6,890	12,900	不検出	98	108	83	76	75	
	実験後											
	コンテナ内	不検出	7,230	8,130	15,400	不検出	105	115	86	92	75	

* 放射能濃度の測定値は、全て、減衰補正および含水率補正を適用して採取日における乾土濃度に換算した。

らは放射性セシウムが検出されなかった (検出下限値 6 または 7 Bq L⁻¹)。上澄み液の分析は、2L の試料を九州

1,000 秒測定した。なお、実験は 2 反復で行った。

実験では、実験前後のコンテナ内の土壌、バケツ内の 沈殿土およびバケツ内の上澄み液に含まれる放射性物質

(^{131}I , ^{134}Cs および ^{137}Cs) 濃度を測定した. 分析方法は, 3.1 と同じである. また, 実験前のコンテナ内の土壌とコンテナから排出された PAC 投入前の濁水に含まれる土の粒径組成を調べた. 粒径組成はピペット法とふるい分け法により測定した. ピペット法での試料の前処理は, 浅代かき強制排水を想定して, 有機物の分解および分散剤による分散処理は行わず, 攪拌機による攪拌のみ実施した.

4. 試験結果と考察

4.1 放射性セシウムの分布実態

対象水田の土層は, 0~0.6 m: 黒褐色シルト, 0.6~1.1 m: 黒褐色粘土, 1.1~1.5 m: 青灰色粘土, 1.5~2.1 m: 雲母片含暗灰色シルト, 2.1~2.3 m: 青灰色粘土, 2.3~3.0 m: 雲母片含青灰色シルト, 3.0~3.4 m: 灰色粘土, 3.4~3.8 m: 雲母片含青灰色シルトであった. 2011 年 6 月 23 日の地下水面は GL-2.4 m であった. 地下水位は日雨量 5 mm 以上の降雨に反応して上下するが, ハイドログラフには近傍工場のポンプ揚水による 1 週間毎の細かい水位変化が記録されていることから, 試験圃場の土壌は半被圧帯水層として機能していると推察される.

対象水田の土壌特性を Table 1 に示す. 対象土壌の深度別放射性物質濃度の測定結果 (Table 2) によれば, 対象土壌に含まれる放射性物質は ^{134}Cs と ^{137}Cs で, ^{131}I は検出されなかった. 土壌の深度別放射性セシウム濃度を Fig. 1 に示す. 放射性セシウム濃度は, 19~63,400 Bq kg^{-1} の範囲であった. 深さ 0~2.5 cm の土壌では最大値 63,400 Bq kg^{-1} を示し, 深さ 2.5 cm より深い土壌では 1,810 Bq kg^{-1} 以下であった.

深さ 0~15 cm の土壌についてみると, 深さ方向の土壌の乾燥密度が一定と仮定すれば, 放射性セシウム濃度は平均で 11,100 Bq kg^{-1} となり, 深さ 0~2.5 cm には全体の 95%, 深さ 0~5.0 cm には全体の 97% の放射性セシウムが存在することになる. このことから, 対象圃場における土壌の放射性セシウムは, 偏在し, 表層

に多く含まれることが明らかとなった. 塩澤ら (2011) は, 福島第一原子力発電所事故で放射性物質が多量に降下してから約 2 カ月後に耕起されていない水田における深さ 15 cm までの放射性セシウムの鉛直濃度分布を測定し, 放射性セシウムの 96% が 0~5 cm にとどまっていたことを報告しており, 今回の調査でも同様の分布傾向であった.

土壌の粒径画分の質量割合と放射性セシウム濃度の測定結果を Table 3 に示す. 質量割合は中粒画分が 45.2% で最も大きく, 2 番目が細粒画分で, 微細粒画分が 4.8% で最も小さい. また, 深さ 0~2.5 cm の放射性セシウム濃度は, 微細粒画分が 189,000 Bq kg^{-1} で最も大きく, 粒径が大きい画分ほど濃度は小さくなる. また, 深度 2.5~5.0 cm でも同様の傾向である.

上述の測定結果を踏まえて, 対象圃場における浅代かき強制排水と表土剥ぎの除染効果について試算し比較し

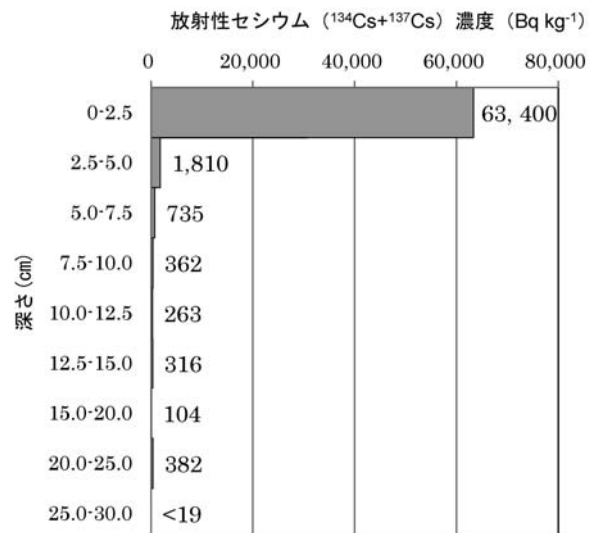


Fig. 1 土壌の深度別放射性セシウム濃度 (3 試料 (Table 2) の平均値).

Table 3 土壌の画分別の質量割合と放射性セシウム濃度.

粒径画分	質量割合 (%)**	$^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ (Bq kg^{-1})	
		深さ 0-2.5 cm	深さ 2.5-5.0 cm
微細粒画分 (≤ 0.002 mm ***)	4.8	189,000	15,100
細粒画分 (0.002-0.02 mm ***)	29.6	112,000	7,050
中粒画分 (0.02-0.2 mm ***)	45.2	69,600	3,110
粗粒画分 (0.2-2 mm ***)	20.4	23,300	1,040

**試料は対象水田の深さ 2.5~5 cm の土壌を使用.

***水分散後の土粒子または団粒のストークス粒径.

****ふるい分けによる粒径.

てみる。試算の対象は深さ0～15 cmまでの土壌とし、浅代かき強制排水では表層5 cmまでの土壌のうち微細粒と細粒画分を選択的に除去し、表土剥ぎでは表層5 cmまでの土を排除することとした。浅代かき強制排水と表土剥ぎにおける除染前の深さ方向の放射性セシウム濃度は、Fig. 1に示す濃度分布とした。また、深さ0～2.5 cmと2.5～5.0 cmの各粒径画分の間には、Table 3に示す質量割合および放射性セシウム濃度割合の関係が成立していると仮定した。除染後の土壌の放射性セシウム濃度は、除染後の地表面を深さ0 cmとした場合の深さ0～15 cmの放射性セシウム濃度として算定した。また、深さ方向の土壌の乾燥密度は一定と仮定した。

その結果、深さ0～15 cmの土壌の平均の放射性セシウム濃度は、除染前が11,100 Bq kg⁻¹で、除染後は浅代かき強制排水の場合5,280 Bq kg⁻¹、表土剥ぎの場合313 Bq kg⁻¹となり、放射性セシウム濃度はそれぞれ52%および97%低下すると算出された。一方、排土量は浅代かき強制排水の場合17t 10a⁻¹、表土剥ぎの場合50t 10a⁻¹で、浅代かき強制排水の排土量は表土剥ぎによる排土量の34%に相当すると算出された。このことから、浅代かき強制排水による除染方法は、少ない排土量で水田圃場の放射性セシウム濃度をある程度のレベルまで低下できる可能性が示唆された。

4.2 コンテナを用いた実験

実験前後のコンテナ内の土壌、バケツ内の沈殿土およびバケツ内の上澄み液に含まれる放射性セシウム濃度をTable 4に示す。コンテナ内土壌の放射性セシウム濃度

Table 4 放射性セシウム (¹³⁴Cs+¹³⁷Cs) 濃度の測定結果。

コンテナ内土壌 (実験前)	25,900 Bq kg ⁻¹
コンテナ内土壌 (実験後)	15,700 Bq kg ⁻¹
バケツ内沈殿土	50,600 Bq kg ⁻¹
バケツ内上澄み液	不検出*

*検出下限値6または7 Bq L⁻¹。

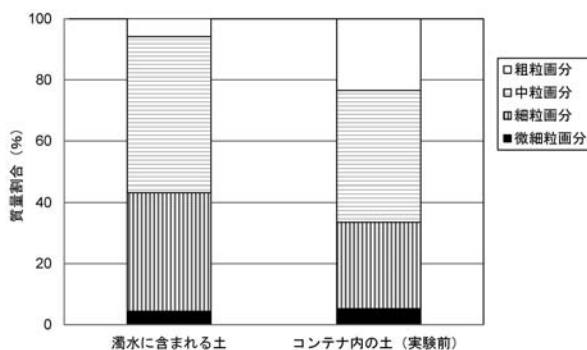


Fig. 2 濁水に含まれる土とコンテナ内の土 (実験前) の各画分の質量割合 (数値は2連の測定結果の平均値)。

は、実験前が25,900 Bq kg⁻¹、実験後が15,700 Bq kg⁻¹であり、土壌に含まれる放射性セシウム濃度は39%低下した。

バケツ内の沈殿土の放射性セシウム濃度は50,600 Bq kg⁻¹であった。この値は実験前のコンテナ内土壌の放射性セシウム濃度(25,900 Bq kg⁻¹)よりも高く、実験では放射性セシウム濃度が相対的に高い土粒子または団粒が選択的にバケツに排出されたと推察される。

このことは、実験前にコンテナに充填された土とバケツに排出された濁水に含まれる土の各画分の質量割合(Fig. 2)からも裏付けられる。濁水に含まれる土は、コンテナに充填された土に比べて、中粒画分および細粒画分の質量割合が大きく、この結果は濁水に含まれる土には、コンテナに充填された土に比べて細粒の土が多く含まれていたことを示している。前節において、粒径が小さい画分は、粒径が大きい画分に比べて放射性セシウム濃度が高いことが明らかとなっている。よって、本実験では放射性セシウム濃度の高い細粒画分が選択的に多くバケツへ排出されたことにより、実験後のコンテナ内の土壌の放射性セシウム濃度が低下したと推察される。

バケツに排出された濁水の体積と土砂濃度により求めた排出土量と実験前にコンテナに充填された土量に基づいて計算すると、コンテナからバケツへ排出された土の排出率は22%である。本実験では、コンテナ内に充填した5 cm厚の土壌のうち22%の量の土を排除することにより、実験後のコンテナ内における土壌の放射性セシウム濃度が39%低下したことになる。

一方、排出された土の放射性セシウム濃度及び排出土量から算定される実験後のコンテナ内における土壌の放射性セシウム濃度の低減率は21%であった。これは結果として測定用試料が均一化されておらず測定値のバラツキに繋がって低減率に違いが生じたものと推察される。

以上の結果から、コンテナ実験では、浅代かき強制排水により少ない排土量で土の放射性セシウム濃度を低減させるという効率的な除染の可能性が確認された。この後に圃場での実証試験が実施された(農林水産省, 2011a, b)。詳細は別稿で報告する予定である。

5. おわりに

本研究では、東京電力福島第一原子力発電所事故により放射性物質が降下した水田を対象に、浅代かき強制排水により少ない排土量で圃場の放射性セシウム濃度を低下させる効率的な除染方法の有効性を検討するため、圃場における放射性セシウムの分布実態を把握するとともに、コンテナを用いた浅代かき強制排水の除染実験を行った。

対象圃場における土壌の放射性セシウムは偏在し、表層に多く含まれることが明らかとなった。また、放射性セシウム濃度は細かな粒径画分ほど高い値を示した。これらのことから、圃場の表層土壌のうち放射性セシウム濃度が高い細粒画分を選択的に取り除く浅代かき強制排水

による除染方法の有効性が示唆された。さらに、コンテナを用いた実験では、浅代かき強制排水によって少ない排土量で圃場の放射性セシウム濃度を低下させる効率的な除染が行える可能性を確認した。

本手法の実証試験の概要は、農林水産省 (2011a) として公表されている。本手法は放射性セシウム濃度が $5,000 \sim 10,000 \text{ Bq kg}^{-1}$ の農地で推奨される除染技術の一つとして示されており、現地での活用が期待される。

他方、フォールアウト後に耕耘された水田の除染では、放射性セシウムが表層にとどまっていることを前提とした表土剥ぎ取り等の手法の適用は困難である。このような農地に対する有効な除染方法は未だ提示されていない。今回提示した、浅代かき強制排水の手法は、土壌を攪拌し細粒分を排出する除染技術であることから、代かき深度を深くすることにより、このような水田への適用が期待される。

謝辞

本研究は、平成 23 年度科学技術戦略推進費「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」の一部として実施された。本研究は、飯館村役場、農村工学研究所農村技術支援チームならびに関係各位の協力により実施された。ここに記して謝意を表します。

引用文献

Korobova, E.M., Chizhikova, N.P., Linnik, V.G. (2007): Distribution of ^{137}Cs in the particle-size fractions and in the profiles of alluvial soils on floodplains of the Iput and its tributary Buldynka Rivers (Bryansk oblast), *Eurasian Soil Science*, 40 (4): 367-379.

文部科学省 (1992): 放射能測定法シリーズ 7: ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー, 362p.

文部科学省 (2011a): 8月2日公表の「文部科学省による放射線量等分布マップ (線量測定マップ) の作成について」の修正について, http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5045/24/5600_081218.pdf (2012月5月18日アクセス)

文部科学省 (2011b): 文部科学省による放射線量等分布マップ (放射性セシウムの土壌濃度マップ) の作成結果を踏まえた航空機モニタリング結果 (土壌濃度マップ) の訂正について, http://radioactivity.mext.go.jp/old/ja/1940/2011/08/1940_0830_1.pdf (2012月5月18日アクセス)

農林水産省 (2011a): 平成 24 年 3 月 2 日プレスリリース「農地土壌の放射性物質除去技術 (除染技術) 作業の手引き」について, <http://www.saffrc.go.jp/docs/press/120302.htm> (2012月5月13日アクセス)

農林水産省農林水産技術会議事務局 (2011b): 平成 23 年 9 月 14 日プレスリリース「農地土壌の放射性物質除去技術 (除染技術) について」, <http://www.saffrc.go.jp/docs/press/110914.htm> (2012月5月13日アクセス)

塩澤昌, 田野井慶太郎, 根本圭介, 吉田修一郎, 西田和弘, 橋本健, 桜井健太, 中西友子, 二瓶直登, 小野勇治 (2011): 福島県の水田土壌における放射性セシウムの深度別濃度と移流速度, *RADIOISOTOPES*, 60: 323-328.

Spezzano, P. (2005): Distribution of pre- and post-Chernobyl radiocaesium with particle size fractions of soils, *Journal of Environmental Radioactivity*, 83: 117-127.

高田裕介 (2011) 土壌情報閲覧システムの構築と利用, *農林水産技術研究ジャーナル*, 34 (7): 16-20.

Tsukada, H., Takeda, A., Hisamatsu S., Inaba J. (2008): Concentration and specific activity of fallout ^{137}Cs in extracted and particle-size fractions of cultivated soils, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99: 875-881.

結田康一, 駒村美佐子, 木方展治, 藤原英司, 栗島克明 (2002): 原子力施設事故等に伴う農作物・土壌の緊急放射能調査—チェルノブイリ原発事故と東海村臨界事故への対応を中心に—, *日本土壌肥科学雑誌*, 73 (2): 203-210.

要 旨

東京電力福島第一原子力発電所の事故により放射性セシウムが飛散した農地等における土壌の放射能汚染が深刻化している。本研究では、計画的避難区域である福島県飯館村の水田を対象として選定した。浅代かき強制排水の除染実験の前に、現地圃場における放射性セシウムの分布実態を調査した。その結果、放射性セシウムは表層 2.5 cm の土に 95 % の放射性セシウムが分布しており、ストークス径が 0.02 mm 以下の細粒分の土に主に吸着していることを明らかにした。この結果に基づき、コンテナを用いた浅代かき強制排水の除染実験を行った。その結果、浅代かき強制排水の除染は少ない排土量で圃場の放射性セシウム濃度を低下させる除染法となる可能性が示された。

キーワード: 除染, 放射性セシウム, 処分土, 減容化, 土壌攪拌