

## 川渡フィールドセンター草地・飼料畑における 放射性セシウム汚染の実態と耕起除染の効果

小倉 振一郎<sup>1</sup>・渋谷 暁一<sup>2</sup>・遊佐 良一<sup>2</sup>・千葉 孝<sup>2</sup>・遊佐 健司<sup>2</sup>・狩野 広<sup>2</sup>・佐藤 衆介<sup>3</sup>・齋藤 雅典<sup>4</sup>

The effect of plowing on reduction of radioactive cesium pollution in pastures and forage crop fields at Kawatabi Field Science Center, Tohoku University

Shin-ichiro OGURA<sup>1</sup>, Kyoichi SHIBUYA<sup>2</sup>, Ryoichi YUSA<sup>2</sup>, Takashi CHIBA<sup>2</sup>, Kenji YUSA<sup>2</sup>, Hiroshi KARINO<sup>2</sup>, Shusuke SATO<sup>3</sup>, and Masanori SAITO<sup>4</sup>

キーワード：耕起，除染，トウモロコシ，放射性セシウム，牧草地

### はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴い発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故は、東日本の広い範囲に放射能汚染をもたらした。これにより、広大な農地が放射能汚染を受け、農業に深刻な影響を与えた。東京電力福島第一原子力発電所から約150 km離れた東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター（以下、川渡フィールドセンター）においても、全域が放射性セシウム（Cs）汚染を受け（文部科学省2011）、その対策を余儀なくされた。

厚生労働省は2011年3月17日、食品衛生法に基づき、原子力安全委員会が定めた指標値を食品中の放射性Csの暫定規制値（乳200 Bq/kg, 肉500 Bq/kg）として定めた（厚生労働省2011）。これを受け、農林水産省（2011a）は2011年4月14日、粗飼料中の放射性物質の暫定許容値として乳用牛（経産牛および初回交配以降の牛）および肥育牛（出荷前短くても15か月程度以降の牛）に給与される粗飼料については300 Bq/kg 現物以下、上記以外の牛に給与される粗飼料については5,000 Bq/kg 以下と定めた。2011年8月1日には、畜産飼料に含まれる放射性Csの含量を300 Bq/kg 以下（粗飼料は水分含有量8割ベース、その他飼料は製品重量）とする暫定許容値を設定した（農林水産省2011b）。さらに2012年2月3日には、牛および馬用飼料中の放射性Csの最大許容値が100 Bq/kg（粗飼料は水分を80%含むとし、その他の飼料は製品の現物重量ベースで算出）と改められた（農林水産省2012）。2012年3月、こうした国の動きに対応し宮城県は県内ほぼ全域での牧草利用・放牧の自粛を要請した。したがって、牧草利用のため

には、草地の除染すなわちプラウ耕またはロータリ耕による草地更新の実施が必要となり（宮城県2012a）、除染更新後に生産された粗飼料中放射性Cs含量のモニタリング（宮城県2012b）、および放牧の自粛が要請された（農林水産省2011a；大崎市2011）。

原発事故や核実験等の影響により拡散した放射性Csは、雨や雪によって地表に降下した後、リター層や土壌表層に集積することが、森林（Koarashiら2012；Tanakaら2012；Nakanishiら2014）および草地（Ramzaevら2013；Oguraら2014）で明らかになっている。その後、降雨や融雪等の影響で水平および垂直方向に移動することはあるものの（ArapisとKarandinos2004）、その程度はきわめて小さい（HölggeとMaly2000；Koarashiら2012；Tanakaら2012；Ramzaevら2013；Nakanishiら2014）。従って、汚染された農地の除染方法として、汚染された土壌表層の除去、プラウ反転耕による汚染土壌の深層への移動、ロータリ耕による汚染土壌の希釈が有効である（JamesとMenzel1973；IAEA1999）。川渡フィールドセンターにおいても、放射性物質による農作物への影響をできる限り減らし、生産物が国の暫定許容値未満となるようにするため、宮城県（2012a）の方針に則り草地および飼料畑をプラウ耕およびロータリ耕により除染更新した。川渡フィールドセンターの歴史の中で、このような大規模な更新作業は過去に例が無く、同センターの教育、研究、生産業務に多大な影響を及ぼすため、各圃場における一連の作業経緯と除染効果を記録として取りまとめることは、将来各圃場の履歴を辿る上で大きな意義がある。

本稿では、東日本大震災後に川渡フィールドセンターで

<sup>1</sup> 東北大学大学院農学研究科陸圏生態学分野

<sup>2</sup> 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター技術部

<sup>3</sup> 現在、帝京科学大学生命環境学部アニマルサイエンス学科

<sup>4</sup> 東北大学大学院農学研究科附属複合生態フィールド教育研究センター栽培植物環境科学分野

表1 各圃場の除染更新作業スケジュールと耕起方法

圃場 番号	面積 (ha)	実施者 <sup>1)</sup>	実施年	除草剤散布	刈り払い	土壌改良資材散布	堆肥散布	耕起			除石	砕土	整地	施肥	播種	鎮圧
								実施日	方法	耕起深 (cm)						
飼料用トウモロコシ <sup>2)</sup>																
2-2	1.0	FSC	2011-2012	5月16日			12月8日	4月25日	ロータリ	15			5月8日	5月14日	5月14日	5月14日
3	1.2	FSC	2011-2012	5月16日			4月8日	4月20日	ロータリ	15			5月8日	5月14日	5月14日	5月14日
10-2	3.0	FSC	2011-2012	5月21日			12月8日	4月25日	ロータリ	15			5月14日	5月17日	5月17日	5月17日
21-1	1.6	FSC	2011-2012	5月22日			12月8日	5月7日	ロータリ	15			5月9日	5月21日	5月21日	5月21日
イタリアンライグラス <sup>3)</sup>																
13-3	2.0	FSC	2012	4月25日			5月8日	5月10日	5月14日	ブラウ	20	5月23日	5月24日	5月24日	5月29日	5月29日
18-1	2.0	FSC	2012	4月25日			5月8日	5月10日	5月16日	ブラウ	20	5月23日	5月24日	5月24日	5月30日	5月30日
20-1・2	4.3	FSC	2012	5月5日			5月8日	5月10日	5月17日	ブラウ	20	5月24日	5月25日	5月24日	5月30日	5月30日
20-3	2.0	FSC	2012	5月7日			5月8日	5月10日	5月23日	ブラウ	20	5月25日	5月29日	5月24日	5月30日	5月30日
その他の牧草 <sup>3)</sup>																
5-2	3.0		未除染													
6-1	0.7	公社	2014	7月23日	8月12日	9月2日	8月14日	8月22日	ブラウ	20	8月23日	9月3日	9月3日	9月3日	9月9日	9月9日
6-2	1.5		未除染										9月4日			
7-1	1.2	公社	2014	7月23日	8月12日	9月2日	8月14日	8月22日	ブラウ	20	8月23日	9月3日	9月5日	9月3日	9月9日	9月9日
7-2	1.0	公社	2014	7月23日	8月12日	9月2日	8月14日	8月22日	ブラウ	20	8月23日	9月3日	9月6日	9月3日	9月9日	9月9日
8	1.5	FSC	2012	7月13日	7月13日	7月24日	7月25日	7月25日	ブラウ	20		8月16日	8月30日	8月28日	8月30日	8月30日
9-1	1.8	FSC	2012	7月18日	7月18日	7月24日	7月26日	7月31日	ブラウ	20	7月27日	8月21日	9月4日	8月28日	9月6日	9月11日
9-2	1.4	FSC	2015	8月19日	10月23日		10月23日	10月27日	ロータリ	15					11月5日	
10-1	3.0	FSC	2012	7月18日	8月21日	8月1日	7月26日	8月3日	ブラウ	20	7月27日	8月17日		8月30日	9月7日	9月7日
10-2	3.0	FSC	2013	7月17日	8月21日	4月23日	4月1日	8月29日	ロータリ	15			9月12日	9月10日	9月21日	9月21日
11	1.5	FSC	2012	7月19日	7月10日	8月3日	7月30日	8月7日	ブラウ	20	8月28日	9月4日	9月5日	8月30日	9月11日	9月11日
12-1	1.0	FSC	2012	7月23日	7月13日	8月3日	7月30日	8月27日	ブラウ	20						
12-2	1.3		未除染													
12-3	1.0	FSC	2012	ブルドーザによる表土剥離のみ												
13-1・2	5.4	FSC	2012	7月19日	7月16日	8月2日	7月25日	8月20日	ブラウ	20	8月28日	8月27日	9月10日	9月4日	10月10日	10月10日
13-3	2.0	FSC			9月19日			9月18日	ロータリ	15			10月10日	10月9日	10月10日	10月10日
14-1	1.5	公社	2013	7月9日	7月31日	8月19日	8月12日	8月15日	ブラウ	20		8月18日	8月24日	8月19日	8月25日	8月25日
14-2	3.4	公社	2013	7月10日	8月1日	8月19日	8月12日	8月15日	ブラウ	20		8月18日	8月24日	8月19日	8月29日	8月30日
15	2.0	公社	2013	7月16日	8月2日	8月19日	8月13日	8月16日	ブラウ	20		8月18日	8月24日	8月19日	8月29日	8月30日
16	0.9	FSC	2013	7月10日	8月7日	8月22日	9月3日	9月6日	ロータリ	15			9月11日	9月11日	9月19日	9月19日
17	1.0		未除染													
18-1	2.0	FSC	2012		9月12日			9月20日	ロータリ	15			10月10日	10月9日	10月10日	10月10日
18-1 窪	1.3	FSC	2013	7月10日	8月6日	8月27日	4月1日	8月29日	ブラウ	20		9月10日	9月14日	9月10日	9月20日	9月20日
18-2	4.3	FSC	2013	7月10日	8月6日	8月27日	4月1日	8月29日	ブラウ	20		9月10日	9月12日	9月13日	9月20日	9月21日
19	0.9	FSC	2013	7月17日	8月7日	8月22日	9月2日	9月2日	ロータリ	15			9月11日	9月10日	9月19日	9月19日
20-1・2	3.8	FSC	2013	7月18日	8月6日			8月29日	ロータリ	15			9月9日	9月9日	9月19日	9月19日
20-3	2.0	FSC	2012		9月19日			9月20日	ロータリ	15			10月10日	10月9日	10月10日	10月1日
21-1	4.5	FSC	2013	7月16日	8月7日	4月23日	4月1日	8月29日	ロータリ	15			9月11日	9月10日	9月20日	9月20日
21-2	3.0	FSC	2014	7月24日	7月3日	9月11日	8月27日	9月4日	ブラウ	20		9月11日	9月12日	9月10日	9月12日	9月12日
22	0.7	FSC	2013	7月17日	8月7日	8月22日	9月4日	9月6日	ロータリ	15			9月11日	9月10日	9月20日	9月20日
23	0.7	FSC	2011	7月15日		9月7日	9月8日	9月13日	ロータリ	15			9月13日	9月15日	9月15日	9月15日
24	0.9		未除染													
3号水田横	0.5	FSC	2014	7月30日	7月9日	9月11日	8月27日	9月3日	ロータリ	15			9月16日	9月11日	9月18日	9月18日
A棟前	0.7	FSC	2014	7月25日	7月9日	9月11日	8月27日	9月3日	ロータリ	15			9月17日	9月11日	9月18日	9月18日

1) FSC:川渡フィールドセンター, 公社:宮城県農業公社。

2) 堆肥散布は2011年, その他の作業は2012年に実施。また2013年以降は2号, 3号および9-1号圃場に作付け。

3) イタリアンライグラスを播種した4圃場(13-3, 18-1, 20-1・2, 20-3)は, 2012-2013年にかけてさらに草地更新を実施し, 永年牧草を播種。

実施した除染更新作業の経緯ならびに除染更新による飼料中放射性Cs含量の変化について、耕地内草地および飼料畑の状況を取りまとめた。

### 除染更新作業の経緯

本稿で対象とした圃場は、川渡フィールドセンターの耕地内草地および飼料畑の計 66.6 ha である (表 1)。2011 年から 2015 年にかけて実施した除染更新作業を記録した。2011 年に反転耕起作業を行ったのは、23 号圃場 (牧草見本圃, 0.7 ha) のみであったが、翌年に飼料用トウモロコシの作付けを行うため、4 圃場 (6.8 ha) で 2011 年に牛糞完熟堆肥を施用した。2012 年 4-5 月には、それら 4 圃場で

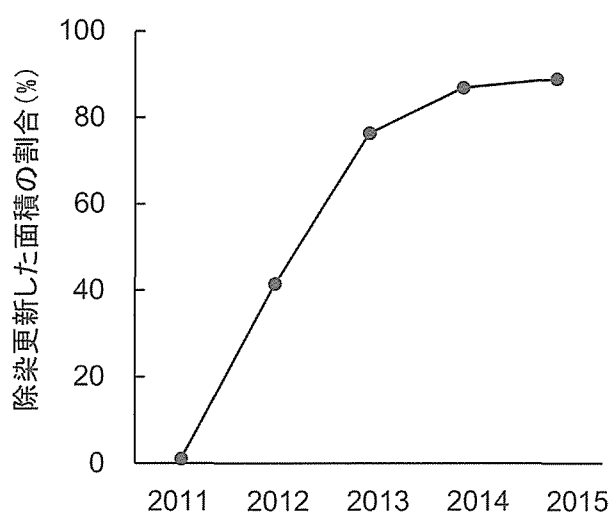


図 1 草地および飼料畑の総面積 (66.6 ha) に対する除染更新面積の割合

ロータリ耕を行い、飼料用トウモロコシを作付けした。またその作業と並行しながら、別の 4 圃場 (10.3 ha) でイタリアンライグラス草地の造成作業を行った。18-1, 20-1・2, 20-3 圃場ではプラウ耕を行ったが、13-3 圃場はロータリ耕とした。これらの草地では、2012 年 7 月にイタリアンライグラスを収穫した後、再び更新作業を行い、同年秋に永年牧草を播種した。また、飼料用トウモロコシを作付した 10-2 号圃場は 2013 年に採草地として再び更新し、9-1 号圃場を 2013 年に飼料用トウモロコシ圃場として造成した。

上記イタリアンライグラス圃場を含む草地では、2012 年から 2015 年にかけて除染更新作業を行った。多くの圃場では川渡フィールドセンター技術部が作業を行ったが、岩や礫が多く長年草地更新が行われていない圃場 (6 圃場, 9.7 ha) については、2013-2014 年に宮城県農業公社に委託して除染更新作業を行った。除石作業は 7 圃場 (14.5 ha) で行った。それらはいずれも川渡フィールドセンターの東側に位置する圃場であった。

除染更新作業は 2011 年には 0.7 ha (1.1%) であったが、2012 年には計 27.6 ha (41.5%), 2013 年には計 50.9 ha (76.4%) が完了し、2015 年までに総面積の 89.0% が作業を完了した (図 1)。

2016 年末の時点で除染更新作業が行われていないのは 5 圃場 (7.3 ha, 11.0%) である。いずれも立地条件は悪く、以前から生産性が低かったか、もしくは耕起が困難な圃場である。震災後に家畜飼養規模が縮小し、それにより川渡フィールドセンターにおける粗飼料の要求量が減少したため、当面作付けを再開する見通しは無い。また、震災前に肉牛舎の運動場として利用されていた 12-3 号圃場は、震

表 2 飼料畑の更新作業に用いた農薬、資材および種子量 (2012 年, トウモロコシ)

圃場	面積 (ha)	ラッソー乳剤 (ℓ)	ゲザノンフロアブル乳剤 (ℓ)	高度化成 15-15-15 (kg)	被服尿素 LP70 (kg)	牛糞完熟堆肥 (t)	播種量 <sup>1)</sup> (kg)
2-2	1.0	5	1.7	325	625	20	28
3	1.2	6	2.0	375	750	24	34
10-2	3.0	15	5.1	950	1,875	60	84
21-1	1.6	8	2.7	500	1,000	32	45
計	6.8	34	11.5	2,150	4,250	136	191

1) デントコーンの種子粉衣にキヒゲン使用。

表 3 草地の更新作業に用いた農薬、資材および種子量 (2012 年, イタリアンライグラス)

圃場	面積 (ha)	ラウンドアップ (ℓ)	化成 777 (kg)	重過石 (kg)	熔燐 (kg)	苦土石灰 (kg)	牛糞完熟堆肥 (t)	播種量 (kg)
13-3	2.0	20	900	900	2,500	4,000	40	90
18-1	2.0	20	900	900	2,500	4,000	40	90
20-1・2	4.4	44	1,950	1,950	5,450	8,700	87	196
20-3	2.0	20	900	900	2,500	4,000	10	90
計	10.4	104	4,650	4,650	12,950	20,700	177	466

表4 草地の更新作業に用いた農薬、資材および種子量(2012-2015年)

圃場	面積 (ha)	ラウンドアップ (ℓ)	化成777 (kg)	重過石 (kg)	熔燐 (kg)	苦土石灰 (kg)	牛糞 完熟堆肥 (t)	播種量								
								オーチャード グラス (kg)	トールフェスク (kg)	ベレニアル ライグラス (kg)	シロクローバ (kg)	リードカナリー グラス (kg)	ケンタッキー ブルーグラス (kg)	レッドトップ (kg)	センチピード グラス (kg)	
2012年																
8	1.5	15	440	440	720	2,900	29	29	22	-	-	-	-	-	-	-
9-1	1.8	18	540	540	900	3,580	36	36	27	-	-	-	-	-	-	-
10-1	3.0	30	900	900	1,500	6,000	60	60	45	-	-	-	-	-	-	-
11	2.0	15	460	460	760	3,000	30	40	30	-	-	-	-	-	-	-
12-1	1.0	32	300	300	520	2,060	21	20	15	-	-	-	-	-	-	-
13-1	3.2	32	960	960	1,600	6,400	64	64	48	-	-	-	-	-	-	-
13-2	2.2	22	640	640	1,080	4,320	43	43	32	-	-	-	-	-	-	-
13-3	2.0	0	600	0	0	0	0	40	30	-	-	-	-	-	-	-
18-1	2.0	0	600	0	0	0	0	40	30	-	-	-	-	-	-	-
20-3	2.0	0	600	0	0	0	0	40	30	-	-	-	-	-	-	-
計	20.6	164	6,040	4,240	7,080	28,260	283	412	309	0	0	0	0	0	0	0
2013年 フィールドセンター更新草地																
10-2	3.0	30	900	900	1,500	6,000	60	60	45	-	-	-	-	-	-	-
16	0.9	9	260	260	440	1,740	17	17	13	-	-	-	-	-	-	-
18-1 上	1.3	13	400	400	640	2,560	26	26	19	-	-	-	-	-	-	-
18-2	4.3	43	1,300	1,300	2,180	8,680	87	87	65	-	-	-	-	-	-	-
19	0.9	9	280	280	460	1,860	19	19	14	-	-	-	-	-	-	-
20-1・2	4.4	44	1,300	0	0	0	87	-	-	131	22	-	-	-	-	-
21-1	1.6	16	480	480	800	3,200	32	32	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0.7	7	200	200	320	1,300	13	-	-	-	-	23	-	-	-	-
計	17.0	171	5,120	3,820	6,340	25,340	341	241	156	131	22	23	0	0	0	0
2013年 宮城県農業公社更新草地																
14-1	1.5	15	460	460	760	3,000	30	-	-	-	8	-	30	30	-	-
14-2	3.4	34	1,020	1,020	1,700	6,800	68	-	-	-	17	-	68	68	-	-
15号	2.0	20	600	600	1,000	4,000	40	40	30	-	-	-	-	-	-	-
計	6.9	69	2,080	2,080	3,460	13,800	138	40	30	0	25	0	98	98	0	0
2014年 フィールドセンター更新草地																
21-2	3.0	30	900	900	1,500	6,000	60	60	45	-	-	-	-	-	-	-
A棟前	0.7	7	220	220	360	1,400	14	-	-	-	-	-	-	-	-	14
3号水田横	0.5	5	160	160	260	1,040	10	10	8	-	-	-	-	-	-	-
計	4.2	42	1,280	1,280	2,120	8,440	84	70	53	0	0	0	0	0	0	14
2014年 宮城県農業公社更新草地																
6	0.7	7	200	200	340	1,320	13	13	10	-	-	-	-	-	-	-
7-1	1.2	12	340	340	580	2,300	23	23	17	-	-	-	-	-	-	-
7-2	1.0	10	300	300	500	2,000	20	20	17	-	-	-	-	-	-	-
計	2.8	28	840	840	1,420	5,620	56	56	44	0	0	0	0	0	0	0
2015年 フィールドセンター更新草地																
9-2	1.4	14	-	-	-	-	27	27	21	-	-	-	-	-	-	-

23号圃場は牧草見本圃として14草種を小区画に分けて管理しており、草種別に管理方法が異なるため、ここには記載していない。

災後も牛群の運動場として利用するため、ブルドーザで表土の剥離を行った。

表 2-4 に、除染更新に用いた資材量を圃場別に示した。除草剤、肥料および土壌改良資材はいずれの圃場においても面積当たり使用量は同じである。すなわち、飼料用トウモロコシ作付圃場ではラッソー乳剤を 5 l/ha、ゲザノンフロアブル乳剤を 1.7 l/ha、高度化成 15-15-15 を 250 kg/ha、被服尿素 LP70 を 250 kg/ha、牛糞完熟堆肥を 20 t/ha それぞれ使用し、牧草地ではラウンドアップを 10 l/ha、化成 777 を 300 kg/ha、重過石を 300 kg/ha、熔燐を 500 kg/ha、苦土石灰を 2 t/ha、牛糞完熟堆肥を 20 t/ha それぞれ使用した。

播種草種は圃場の用途に応じて異なった (表 4)。北山放牧地が当面利用できないことを考慮し、震災前に採草地として利用していた圃場を震災後に放牧地として利用することとし、草地を整備した。採草地として利用する圃場は、1 圃場を除きオーチャードグラスとトールフェスクの混播とした。22 号圃場は肥沃な表土が浅く土壌水分が多いためリードカナリーグラスを播種した。一方、放牧草地については、幅広い教育研究ニーズに対応できるよう異なる草種から成る草地を造成することとした。20-1・2 号圃場は搾乳牛舎から近いこと、乳牛用放牧草地として利用することを想定し、ペレニアルライグラスとシロクロバの混播とした。14-1 号および 14-2 号圃場はケンタッキーブルーグラス、レッドトップ、シロクロバの混播とした。また震災前には乳用育成牛と綿羊の展示用放牧地として利用していた機械庫 A 棟前放牧地は、センチピードグラスを播種した。各草種の播種量は表 4 のとおりである。

## 飼料中放射性 Cs 含量

川渡フィールドセンターで放射性 Cs 含量の測定に用いた飼料は、圃場で生育している状態の植物体地上部、またはロールサイレージをサンプルとして用いた。生育植物のサンプルは、植物体地上部を圃場で直接ハサミで刈取ることにより採取した。サイレージのサンプルについては、電動ドリルを用いて同一サイレージから最低 3 か所、異なる場所から飼料を採取し、混和して 1 サンプルとした。飼料中放射性 Cs の測定は、2011-2014 年には川渡フィールドセンター所有のガンマカウンター (WIZARD2® 2480, PerkinElmer, Waltham, USA) により測定した。ガンマカウンターによる測定時間は、1 サンプルあたり 10-60 分間とした。本調査では、Cs134 と Cs137 の合計値を放射性セシウム量とした。2015-2016 年には、前述と同様に処理した乾燥試料を東北大学農学部・放射性同位元素実験棟・日尾彰宏氏に分析を依頼した。分析は Ge 半導体検出器 (SEG-EMS, セイコー・イージーアンドジー株式会社) により、サンプルはいずれも U-8 容器に充填し、2000 秒で測定された。

牧草中放射性 Cs 含量の測定結果を表 5 に示す。なお、

はじめに述べたように、牛および馬用粗飼料中放射性 Cs の最大許容値は 100 Bq/kg (水分を 80% 含むとする)、すなわち 500 Bq/kg DM である (農林水産省 2012)。

2011 年には、二番草に含まれる放射性 Cs 含量を圃場において生育状態で採取して測定した。放射性 Cs 含量が 500 Bq/kg DM を下回った圃場は 4 圃場 (12-2 号, 12-3 号, 13-3 号および 20-3 号) であり、242-492 Bq/kg DM であった。それ以外の圃場では 621-6,284 Bq/kg DM と高い値を示した。2012 年春には、ブルドーザで表土剥離を行った 12-3 号圃場では飼料中放射性 Cs 含量は 157 Bq/kg DM と低かった。未除染圃場のうち、13-3 号と 20-3 号では 302-314 Bq/kg DM と比較的的低かったものの、それ以外の圃場では 663-3,447 Bq/kg DM と高い値を示した。

除染更新によりイタリアンライグラスを作付した 4 圃場では、夏の収穫物中の放射性 Cs 含量は 87-198 Bq/kg DM と大きく低下しており、除染更新の効果が認められた。除染更新の効果は 2013 年以降も認められ、2012 年秋に除染更新を行った 9-1 号と 13-1・2 号圃場では、2013 年一番草中の放射性 Cs 含量が 29-100 Bq/kg DM と低かった。また、未除染圃場においても 2012 年にくらべ放射性 Cs 含量は低下しており、190-768 Bq/kg DM であった。2014 年には、多くの圃場で生産が再開されたが、いずれも放射性 Cs 含量が低く、8-283 Bq/kg DM であった。未除染の 5-2 号圃場のハルガヤも、93 Bq/kg DM と低い値であった。飼料中放射性 Cs 含量は 2015 年以降も低く、家畜に給与しても問題の無い値を示している。

飼料用トウモロコシに含まれる放射性 Cs 含量は、2012 年の生草サンプルで 11-18 Bq/kg DM、2012 年と 2015 年サイレージで 2-16 Bq/kg DM といずれも低い値であった。

## おわりに

川渡フィールドセンター耕地内草地および飼料畑は扇状地に位置し、圃場によっては作土層に礫を多く含む。作業前には、それらが除染更新に大きな影響を及ぼす可能性が指摘されていたが、これまで除染更新を実施したすべての圃場でプラウ耕およびロータリ耕による飼料中放射性 Cs 低減効果が認められた。また本稿では言及しなかったが、土壌中カリウム (K) 濃度の増加は植物の放射性 Cs の取り込みを抑制することが知られているため (Belli ら 1995; Sanchez ら 1999; Rigol ら 2002), K 追肥量および K 含量の高い牛糞堆肥の施用量を増やすことにより植物体の Cs 吸収量を抑制させた対策もまた有効である。川渡フィールドセンターでは、これらの取り組みを行ったことにより、国が定めた許容限界値を大きく下回る飼料を生産できる状況となった。反転耕により土中深い層へ移動した放射性 Cs は、時間の経過とともに影響が低下すると考えられるが、一方で植物の生長に伴い根が汚染土壌層に達するほどに伸長した場合には、飼料中放射性 Cs 含量が上昇する恐れが

表5 牧草中放射性セシウム (Cs) 含量の変化

圃場	2011 (平成 23) <sup>1)</sup>		2012 (平成 24) <sup>2)</sup>		2013 (平成 25) <sup>3)</sup>		2014 (平成 26)			2015 (平成 27) <sup>2)</sup>		2016 (平成 28) <sup>4)</sup>							
	二番草		一番草		一番草		一番草		二番草		三番草		一番草						
	飼料 <sup>5)</sup>	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料 <sup>5)</sup>	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料	放射性 Cs (Bq/kg DM)	飼料	放射性 Cs (Bq/kg DM)					
5-2	ハル, 生	931	ハル, 生	996	ハル, 生	190	ハル, 生	93											
6-1	RC, 生	3,323									OG, サ	9		OG, サ	10				
7-1	RC, 生	4,115	OG, サ	1,808							OG, サ	14	OG, サ	29	OG, サ	9			
7-2	RC, 生	1,892									OG, サ	15	OG, サ	28	OG, サ	ND			
8							OG, サ	28			OG, サ	13	OG, サ	12	OG, サ	ND			
9-1	OG, 生	5,823	OG, 生	3,447	OG, 生	29	OG, サ	56			OG, サ	28	OG, サ	75	OG, サ	37			
9-2																			
10-1	OG, 生	621					OG, サ	51	OG, サ	283	OG, サ	15							
10-2							OG, サ	32	OG, サ	18			OG, サ	53	OG, サ	3	OG, サ	7	
11	RT, 生	2,775					OG, サ	28	OG, サ	70			OG, サ	53	OG, サ	51	OG, サ	38	
12-1							OG, サ	131	OG, サ	198			OG, サ	80	OG, サ	130	OG, サ	19	
12-2	OG, 生	242																	
12-3	不明, 生	339	不明, 生	157															
13-1・2	OG, 生	2,162	OG, 生	1,196	OG, 生	100	OG, サ	31									OG, サ	14	
13-3	OG, 生	492	OG, 生	314	IT, 生	93	OG, サ	107	OG, サ	41			OG, サ	16	OG, サ		OG, サ	6	
14-1	OG, 生	2,663	OG, サ	1,808			OG, サ	23					OG, サ	22					
14-2	RT, 生	6,284	OG, 生	2,638			OG, 生	768	OG, サ	44			OG, サ	39					
15	OG, 生	2,218					OG, サ	24	OG, サ	41			OG, サ	32	OG, サ	27	OG, サ	14	
16	OG, 生	1,363					OG, サ	51	OG, サ	48			OG, サ	7	OG, サ	44	OG, サ	5	
17			OG, 生	874															
18-1	OG, 生	1,894	OG, 生	663	IT, 生	115	OG, サ	21	OG, サ	27			OG, サ	40	OG, サ	28	OG, サ	7	
18-2	OG, 生	1,560	OG, 生	1,220			OG, 生	202	OG, サ	151	OG, サ	33		OG, サ	73	OG, サ	190	OG, サ	12
19							OG, サ	16	OG, サ	38			OG, サ	9	OG, サ	25	OG, サ	6	
20-1・2	OG, 生	2,332	OG, 生	1,080	IT, 生	198	OG, サ	58											
20-3	OG, 生	255	OG, 生	302	IT, 生	87	OG, サ	27	OG, サ	25			OG, サ	15	OG, サ	22			
21-1									OG, サ	44	OG, サ	11	OG, サ	4	OG, サ	2			
21-2	OG, 生	612	OG, 生	797									OG, サ	6	OG, サ	3			
22	RC, 生	1,135	RC, 生	3,106			RC, 生	465	RC, サ	50	RC, サ	8		RC, サ	15			RC, サ	8

破線で示した箇所は除染更新前であることを意味する。また ND は検出限界値以下であることを意味する。

1) 2011 年は二番草のみ測定した。

2) 2012 年と 2015 年には三番草は測定していない。

3) 2013 年に測定したのは一番草のみで、二番草と三番草は測定していない。

4) 2016 年産飼料で測定済みは一番草のみ。

5) ハル:ハルガヤ, RC:リードカナリーグラス, OG:オーチャードグラス, RT:レッドトップ, IT:イタリアンライグラス, 不明:植物種不明, 生:圃場で生育している状態で採取, サ:ロールサイレージを採取。

ある。また、Hoshino ら (2014) が川渡フィールドセンター内で実施した調査によれば、礫が多い圃場では反転耕起が不十分で表層に放射性 Cs 濃度の高い汚染土壌が残っている場所が点在する。従って、今後も飼料中放射性 Cs 含量の測定を継続し、安全性を確認して家畜に給与する必要がある。川渡フィールドセンターのみならず、岩や礫を多く含む各地の圃場では、同様の懸念があると考えられる。

圃場の放射能汚染の影響により、川渡フィールドセンターをはじめ宮城県内の汚染地域では現在も搾乳牛の放牧の自粛が求められている。さらに、同センター北山放牧地については、100 ha を超える広大な面積のため、また 2015 年大雨による道路崩落などもあいまって 2016 年末をもってしても、草地更新作業を開始できないでいる。当センターが誇ってきた、土地利用型で高福祉な家畜生産に関する教育研究を推進する上で、放牧の再開は不可欠である。同様に、放牧を中心とした家畜生産を営んできた生産現場にとって、放牧自粛の影響は極めて深刻である。1 日も早い放牧再開に向け、安全性の調査が必要である。

## 要約

2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、川渡フィールドセンター全域が放射能汚染を受けた。国が定めた牛および馬用飼料中の放射性 Cs の最大許容値（水分を 80% 含むと仮定して 100 Bq/kg、乾物では 500 Bq/kg）を実現し、安全な粗飼料を生産するため、2011 年からプラウ耕またはロータリ耕により耕地内草地・飼料畑の除染更新作業を行い、生産された粗飼料中放射性 Cs 含量のモニタリングを実施した。2016 年までに全圃場（66.6 ha）の 89.0% を更新した。更新前の牧草中放射性 Cs 含量は 302-3,447 Bq/kg DM と高かったが、更新後には 2-283 Bq/kg DM と最大許容値を大きく下回った。飼料用トウモロコシでも、更新後には 2-18 Bq/kg DM ときわめて低かった。以上より、プラウ耕またはロータリ耕による除染更新がきわめて有効であることが確認された。

## 引用文献

Arapis GD, Karandinos MG (2004) Migration of  $^{137}\text{Cs}$  in the soil of sloping semi-natural ecosystems in northern Greece. *J Environ Radioactiv* 77: 133-142

Belli M, Sansone U, Ardiani R, Feoli E, Scimone M, Menegon S, Parente G (1995) The effect of fertilizer application on  $^{137}\text{Cs}$  uptake by different plant species and vegetation types. *J Environ Radioactiv* 27: 75-89

Hölgge Z and Maly M (2000) Vertical distribution and migration rates of  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  in the grassland soil in three location of central Bohemia. *J Environ Radioactiv* 47: 135-147

Hoshino T, Uno T, Tajima R, Ito T, Saito M (2014) Vertical

distribution of radiocesium in pasture soils after pasture renovation. *Journal of Integrated Field Science* 12: 80

International Atomic Energy Agency (IAEA) (1999) Technologies for remediation of radioactively contaminated sites. IAEA TECDOC-1086, 1-101

James PE, Menzel RG (1973) Research on removing radioactive fallout from farmland. Agricultural Research Servicer, United States Department of Agriculture, Washington DC, United State. p 1-37

Koarashi J, Atarashi-Andoh M, Matsunaga T, Sato T, Nagao S, Nagai H (2012) Factors affecting vertical distribution of Fukushima accident-derived radiocesium in soil under different land-use conditions. *Science of the Total Environment* 431: 392-401

厚生労働省 (2011) 放射能汚染された食品の取り扱いについて. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r9852000001559v.pdf> [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

宮城県 (2012a) 農産物の放射性物質濃度の低減対策. <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/66655.pdf> [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

宮城県 (2012b) 飼料の暫定許容値見直しによる牧草の利用自粛について. <http://www.pref.miyagi.jp/uploaded/attachment/66809.pdf> [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

文部科学省 (2011) 放射性物質の分布状況等調査による航空機モニタリング. <http://emdb.jaea.go.jp/emdb/portals/b224/> [最終アクセス日: 2015 年 12 月 4 日]

Nakanishi T, Matsunaga T, Koarashi J, Atarashi-Andoh M (2014)  $^{137}\text{Cs}$  vertical migration in a deciduous forest soil following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *J Environ Radioactiv* 128: 9-14

農林水産省 (2011a) 原子力発電所事故を踏まえた粗飼料中の放射性物質の暫定許容値の設定等について. <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/tss/tss/housya/0414-0456.pdf> [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

農林水産省 (2011b) 放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について. <http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/shizai.html> [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

農林水産省 (2012) 放射性セシウムを含む肥料・土壌改良資材・培土及び飼料の暫定許容値の設定について. [http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/110801\\_tsuchi\\_tokekomi.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/pdf/110801_tsuchi_tokekomi.pdf) [最終アクセス日: 2016 年 12 月 27 日]

Ogura S, Suzuki T, Saito M (2014) Distribution of radioactive cesium in soil and its uptake by herbaceous plants in temperate pastures with different management after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station accident. *Soil Science and Plant Nutrition* 60, 790-800

- 大崎市 (2011) 県内の牧草の放射能測定結果及び今後の対応について (通知). [http://www.city.osaki.miyagi.jp/index.cfm/26,1231,c,html/1231/20110518\\_bokusou\\_bunsho.pdf](http://www.city.osaki.miyagi.jp/index.cfm/26,1231,c,html/1231/20110518_bokusou_bunsho.pdf) [最終アクセス日: 2016年12月27日]
- Ramzaev V, Barkovsky A, Goncharova Y, Gromov A, Kaduka M, Romanovich I (2013) Radiocesium fallout in the grasslands on Sakhalin, Kunashir and Shikotan Islands due to Fukushima accident: the radioactive contamination of soil and plant in 2011. *J Environ Radioactiv* 118: 128-142
- Rigol A, Vidal M, Rauret G (2002) An overview of the effect of organic matter on soil-radiocaesium interaction: implications in root uptake. *J. Environ. Radioactiv.* 58: 191-216
- Sanchez AL, Wright SM, Smolders E, Naylor C, Stevense PA, Kennedy VH, Dodd BA, Singleton DL, Barnett CL (1999) High plant uptake of radiocesium from organic soils due to Cs mobility and low soil K content. *Environ Sci Technol* 33: 2752-2757
- Tanaka K, Takahashi Y, Sakaguchi A, Umeo M, Hayakawa S, Tanida H, Saito T, Kanai Y (2012) vertical profiles in iodine-131 and cesium-137 in soils in Fukushima Prefecture related to the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident. *Geochemical Journal* 46: 73-76