

畜産物等放射性セシウム(Cs)低減技術の開発

(平成24年度～26年度公共牧場実態調査)

齋藤栄、齋藤憲夫、関口奈都美、佐田竜一、上野源一

要 約

公共牧場等の永年牧草地については、放射性セシウム(Cs)が高濃度で残存しやすいことから、平成24年度、県内の代表的な公共牧場(4牧場)における汚染実態を(独)農研機構畜草研との共同で調査したところ、牧場内の調査地点・調査時期により牧草中放射性Cs値の違いは大きなものであった。牧場内の地形(高地・低地、尾根部・沢部)を比較すると、沢部において高い値が確認された。

また、平成25～26年度、公共牧場の一部においては傾斜や石礫等の影響によりトラクターによる草地除染作業の困難な草地があることから、そのような草地について加里肥料や土壌改良材の表面散布による効果を調査したところ、加里20kg/10a/年施用区から牧草中放射性Cs値の低下が確認され、30、40kg/10a/年施用区においてより一層の低下が確認され、30と40kg/10a/年施用区においては差が確認されなかった。

試験I-1 県内公共4牧場放射性Cs実態調査 (平成24年度)

目 的

平成23年3月の福島原発事故の影響により、公共牧場の永年牧草地においては、放射性セシウム(Cs)が高濃度で残存していることが推察されることから、平成24年度、県内の代表的な公共牧場(4牧場)における汚染実態を調査する。

調査方法

- (1) 調査場所：県内公共4牧場
 - ① OF牧場 (那須町、事故後未更新草地)
 - ② O 牧場 (日光市、 ")
 - ③ NM牧場 (那須町、 ")
 - ④ D 牧場 (塩谷町、 ")
- (2) 調査時期
 - ① 5月24日、② 7月18日、③ 9月25日
- (3) 調査項目
 - ① 牧草及び土壌中放射性Cs
 - ② 放射性Cs値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定。

結 果

(1) OF牧場(那須町)においては、地形(高地①～低地③)、(尾根部④⑥・沢部⑤⑦)による違いと、調査時期(5・7・9月)による違いを調査した。

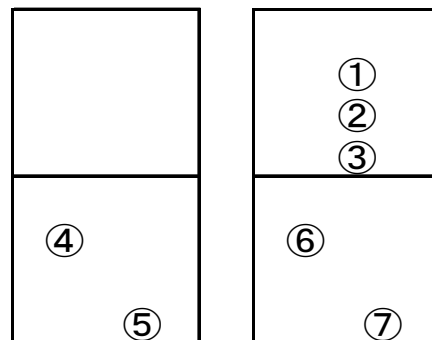
地形(高地①～低地③)については、5月調査値は、調査地点による牧草の放射性Cs値のバラツキが見られたが、7、9月調査値においては、草種毎にほぼ一定の値となり地形の高低による傾向は見られなかった。

尾根部④⑥・沢部⑤⑦)については、5月調査においては尾根部において放射性Csが高く沢部において低い傾向が見られたが、7、9月調査においては逆に沢部が高い結果となった。特に沢部⑤地点(576Bq/kg、7/18)、⑦地点(987Bq/kg、9/25)においては極端に高い値が確認された。

このことは、牧草中放射性Cs値は、地形(尾根部・沢部)以外に時期・季節、専優草種の変化などの要因が影響するものと考えられた。

結果1 OF牧場(那須町)

牧場地形図 (高地)



(低地)

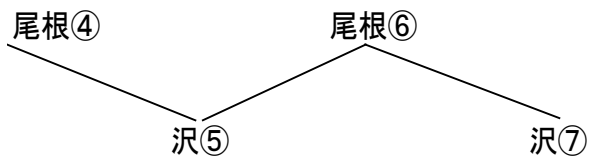
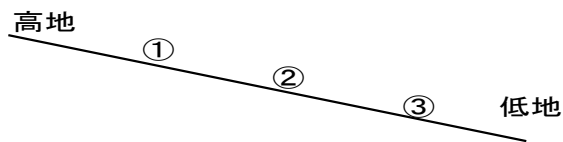


表1 牧草放射性 Cs

(Bq/kg 水分 80%補正值)			
	5月24日	7月18日	9月25日
①OR	86		128
KB		133	49
②OR	261		137
KB		107	43
③OR	140		
KB		109	39
④OR	187		
KB		296	
⑤OR	104		
KB		576	
⑥OR	122		134
KB		62	74
⑦OR	62		
KB		154	987

OR:オーチャードグラス、KB:ケンタッキーブルーグラス

(2) O牧場(日光市)においては、ほぼ平坦な同一牧区内3カ所を調査したが、6月調査値では3カ所ともほぼ同様な値となり、7月調査においても3カ所中2カ所がほぼ同一な値であった。

結果2 O牧場(日光市)

表2 牧草放射性 Cs

(Bq/kg 水分 80%補正值)			
	6月22日	7月25日	9月27日
①OR	750		更新済
KB		1213	
②OR	699		更新済
KB		864	
③OR	764		更新済
KB		810	

OR:オーチャードグラス、KB:ケンタッキーブルーグラス

(3) NM牧場(那須町)、D牧場(塩谷町)においては、高低差の大きな牧区における地形(高地①~低地③)の影響について調査したが、両牧場共に地形の高低差による違いは明確なものではなかった。

牧場地形図



表3 牧草放射性 Cs 値 (NM牧場、那須町)

(Bq/kg 水分 80%補正值)			
	6月7日	7月18日	9月25日
①OR	64		30
TI		68	
②OR	40		66
TI		51	
③OR	93		45
TI		86	

OR:オーチャードグラス、TI:チモシー

表4 牧草放射性 Cs 値 (D牧場、塩谷町)

(Bq/kg 水分 80%補正值)		
	6月14日	7月25日
① OR	51	
TI		28
② OR	43	
TI		23
③ OR	85	
TI		35

OR:オーチャードグラス、TI:チモシー

考 察

原発事故発生後2年目の県内4公共牧場内更新前永年牧草地を調査したところ、調査地点により値の違いは大きく、放射性Csの分布は不均一であった。

また、牧場内の地形(高地・低地)を比較した場合に、値に大きな違いは見られなかったが、牧場内の地形(尾根部・沢部)を比較すると、沢部において高い値が確認された。

5月調査値と7月調査値を比較すると、牧草がオーチャードからケンタッキーに植生が変化した牧場では放射性Csが上昇した地点が多く、一方、オーチャードからチモシーに変化した牧場では放射性Cs値に変

化は見られないか、または低下した。

これらの結果から牧草中放射性 Cs 値は、地形（尾根部・沢部）以外に時期・季節、専優草種の変化、草の生長などの要因が影響することが考えられた。

試験 I-2 深耕による吸収抑制の検証（平成 24 年度）

材料及び方法

- (1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場（表層多腐植質黒ボク土）
- (2) 供試作物 飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラス、オーチャードグラスを播種
- (3) 施肥量 化成肥料N-P-K各10kg/10a、堆肥2t/10a、苦土石灰100kg/10a、ヨリソ 50kg/10a
- (4) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結果

- (1) 深耕(プラウ耕)により土壤中放射性 Cs が、深耕前約 2,000Bq/kg から深耕後 400~600Bq/kg 程度に低下したことにより、飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラス、オーチャードグラスの放射性 Cs 値も給与可能な低いレベルとなった。
- (2) イタリアンライグラス、オーチャードグラスの放射性 Cs は、ともに 2 番草で上昇する傾向が見られた。

表2 深耕後の植物体及び土壤中の放射性 Cs 値
(牧草:Bq/kg 水分 80%補正值、土壌:Bq/kg 乾土)

草種	放射性Cs (Bq/kg)	
	植物体	土壌
トウモロコシ	黄熟期 4.9	413
イタリアンライグラス	1番草 1.3	589
	2番草 8.6	
オーチャードグラス	1番草 11	401
	2番草 33	
	3番草 25	

※ 土壌中放射性 Cs400~600Bq/kg 乾土

試験 I-3 再深耕による影響の検証（平成 25 年度）

材料及び方法

- (1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場（表層多腐植質黒ボク土）
- (2) 供試作物 イタリアンライグラス(品種好んぱ)

1 番草

(3) 施肥量 化成肥料N-P-K各10kg/10a、堆肥2t/10a、苦土石灰100kg/10a、ヨリソ 50kg/10a

(4) 耕起履歴

ア 再プラウ耕区

H23IT+(プラウ耕)+H24CO+(プラウ耕) +H25IT(調査)

イ プラウ耕+ロータリー耕区

H23IT+(プラウ耕)+H24CO+(ロータリー耕)+H25CO+(調査)

※ CO:トウモロコシ、IT:イタリアンライグラス

(5) 調査項目

土壌中（深度別、更新方法別等）：放射性 Cs、pH、K₂O
植物体（更新方法別等）：放射性 Cs

結果

- (1) 一度の深耕(プラウ耕)により土壌表面から土壌 10~30cm 層に埋められた放射性 Cs は、再度深耕することにより、土壌 0~30cm 層にほぼ均一に混和される。
- (2) 草丈 50、100cm 時のイタリアンライグラスの放射性 Cs は、耕区による差は小さく、再プラウ耕による牧草への影響は小さなものであった。

表3 再プラウ耕とプラウ・ロータリー耕後の放射性 Cs の比較
(牧草:Bq/kg 水分 80%補正值、土壌:Bq/kg 乾土)

	プラウ+プラウ耕区	プラウ+ロータリー耕区
牧草 草丈 50cm (4/22)	5.2 (4.1~ 6.3)	3.0 (2.4~ 3.5)
" 100cm (5/10)	3.4 (2.9~ 3.8)	2.2 (1.7~ 2.6)
土壌/乾土 (0~10cm深)	934 (781~1,090)	640 (243~1,167)
" (10~20cm深)	966 (554~1,346)	2,126 (1,369~2,613)
" (20~30cm深)	1,036 (322~2,358)	2,420 (1,328~3,520)

考察

これらの結果から、放射性セシウム(Cs)に汚染された土壌表層をプラウにより深耕(反転耕)またはロータリーにより耕起することは、放射性 Cs の吸収抑制にとって有効であることが確認された。

平成 23 年春の事故当初、当センターほ場の土壌中放射性 Cs は 3,560Bq/kg(乾土)であったが、プラウ耕、ロータリー耕により飼料用トウモロコシへの吸収は大きく抑制された。再プラウ耕により土壌表層に高濃度に降った放射性 Cs が下層に埋却したことや、耕起により土壌粒子への吸着が促進されたことなどが考えられた。

平成 24 年には、深耕(プラウ耕)したことにより、土壌中放射性 Cs が 400~600Bq/kg 程度に低下し、飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラス、オーチャ

ードグラスの放射性 Cs も給与可能な低いレベルとなった。しかしながら、イタリアンライグラス、オーチャードグラスともに放射性 Cs が2番草で上昇する傾向が見られた。土壌中カリ成分の減少、高温多湿の夏期による有機物の分解の促進による有機物に付着した放射性 Cs の放出等が想定されるが、その要因究明については今後の課題である。

平成25年は、再プラウ耕した場合の牧草への影響について調査したが、結果として一度の深耕(プラウ耕)により土壌表面から土壌10~30cm層に埋められた放射性 Cs は、再度プラウ耕することにより、土壌0~30cm層にほぼ均一に混和されることが確認され、再プラウ耕による牧草への影響は小さなものであることがわかった。

これらの結果から、プラウにより深耕またはロータリーにより耕起することや再プラウ耕することは、放射性 Cs の吸収抑制にとって有効であることが確認された。

試験Ⅱ 飼料作物における資材施用による吸収抑制技術の開発

目 的

飼料作物への放射性セシウム(Cs)の吸収移行抑制効果が期待できる資材(加里、石灰、大谷石、ゼオライト)の有効性を検証するとともに適正な施用量について検討する。

試験Ⅱ-1 資材施用による吸収抑制の検証(平成24年度)

材料及び方法

- (1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)
- (2) 供試作物 オーチャードグラス
- (3) 試験区
 - (ア)加里(0、10、20 kg/10a)
 - (イ)石灰(、 、 ")
 - (ウ)大谷石(1、3t/10a)
 - (エ)ゼオライト(1t/10a)
 - (オ)化成肥料(N-P-K 各10 kg/10a)
 - (カ)無肥料区
- (4) 施肥方法 表面散布
- (5) 調査項目 収量、放射性Cs、交換性K₂O(土壌)
- (6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結 果

(1) オーチャードグラス(未更新草地)において、加里表面施用(10~20kg/10a区)でCs吸収抑制効果が確認された。

(2) また、石灰、大谷石、ゼオライトは、値のバラツキが大きく、明確な効果は確認されなかった。

表1 加里資材施用によるオーチャードグラスへの放射性Cs吸収抑制効果

加里資材施用量	放射性Cs濃度(Bq/kg)			
	1番草	2番草	3番草	土壌
0kg/10a	292	431	494	
10kg/10a	132	199	177	2,244
20kg/10a	31	32	44	

未更新草地への表面施肥

植物体放射性Cs濃度は水分80%換算

試験Ⅱ-2 資材施用による吸収抑制の検証(平成25年度)

材料及び方法

- (1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)
- (2) 供試作物 オーチャードグラス
- (3) 試験区 加里(0、10、20、30、40 kg/10a)
- (4) 施肥方法 プラウ耕後に施肥
- (5) 調査項目 収量、放射性Cs、交換性K₂O(土壌)
- (6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定

結 果

オーチャードグラス草地更新時の加里施用による効果は、20kg/10a施用区から効果が見られ、30kg/10a施用区で更なる効果が見られ、30kg/10aと40kg/10a施用区に差は見られなかった。

表2 草地更新時の加里資材施用による放射性Cs吸収抑制効果

加里資材施用量	放射性Cs濃度(Bq/kg)		土壤中交換性加里含量(mg/100乾土)
	植物体	土壌	
0kg/10a	88.0		4.9
10kg/10a	79.4		5.1
20kg/10a	43.5	1,852	5.1
30kg/10a	22.9		9.0
40kg/10a	25.6		9.8

加里資材は草地更新時に表層施肥
植物体放射性Cs濃度は水分80%換算
土壌中加里含量は採草時の値

考察

飼料作物への放射性Csの吸収移行抑制効果が期待できると考えられた資材(加里、石灰、大谷石、ゼオライト)の有効性を検証したが、オーチャードグラス草地未更新草地においては加里施用(10~20kg/10a)で大きな抑制効果が確認されたものの石灰、大谷石、ゼオライトでは値のバラツキが大きく、明確な効果は確認されなかった。このことは施用量不足、土壌pHが施用前から適性レベル(pH5.8~6.0)であったことなどの影響が考えられた。

また、オーチャードグラス草地更新時の加里施用による効果は、20kg/10a 施用区から効果が見られ、30kg/10a 施用区で更なる効果が見られ、30kg/10a と40kg/10a 施用区に差は見られなかったことから、県内公共牧場等の主力牧草であるオーチャードグラス草地における加里施用については、追肥時に10~20kg/10a、更新時に30kg/10a 施用が有効と考えられた。

試験Ⅲ 放射性Cs低減に向けたロール・ール調製時の土壌混入低減試験

目的

牧草の収穫(ロール・ール調製)時に土壌が混入し、放射性Csが高まることが懸念され、農家は不安を感じながらの作業となっていることから、収穫作業方法の違いによる土壌混入抑制抑効果を検討する。

試験Ⅲ-1 ロール・ール調製時の土壌混入低減試験(平成24年度)

材料及び方法

(1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多

腐植質黒ボク土)

- (2) 供試作物 イタリアンライグラス(1番草)
- (3) 試験規模 4ha
- (4) 試験区

- ア 刈取 高(10~15cm)・反転・集草 高(5~10cm)区
- イ 〃 高(〃)・ 〃 低(2~5cm)区
- ウ 〃 低(5~10cm)・ 〃 高(5~10cm)区
- エ 〃 低(〃)・ 〃 低(2~5cm)区

- (5) 調査項目 牧草及びロール・ール:放射性Cs
- (6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結果

(1) 収穫・調製作業機の高さ設定の異なる4区の牧草中放射性Csを測定したところ、収穫前2.3Bq/kg、収穫後1.8~2.6Bq/kgであり、差はなかった。

(2) イタリアンライグラスについて、収穫・調製作業を行う際、収穫・調製機械の刈取り歯部・ピックアップ爪部が地面に接しない高さに設定されていれば、収穫後の放射性Csの値には影響しないことが確認された。

表1 収穫作業による影響

	収穫調整*		放射性Cs (Bq/kg)	
			収穫前	収穫後
イタリアンライグラス 1番草	刈取-高	調製-高	2.3** (1.5**~5.7)	2.4** (1.9**~3.0)
	刈取-高	調製-低		1.8** (1.7**~1.8**)
	刈取-低	調製-高		2.6 (2.2~3.0)
	刈取-低	調製-低		2.3 (2.0~2.6)

*刈取-高:10~15cm、刈取-低:5~10cm、調製-高:爪高5~10cm、調製-低:爪高2~5cm
**検出限界以下について検出下限値を用いて算出

試験Ⅲ-2 ロール・ール調製時の土壌混入低減試験(平成25年度)

材料及び方法

- (1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)
- (2) 供試作物 オーチャードグラス(品種 まきば太郎)(更新後2年目、1番草)
- (3) 試験規模 4ha
- (4) 試験区
 - ア 刈取 高(5~12cm)、反転・集草・梱包 高(0~5cm)区
 - イ 刈取 高(〃)、反転・集草・梱包 低(5~

10cm)区

(5) 調査項目 土壤中：放射性Cs、材料草及びロールベール：放射性Cs

(6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結果

(1) 反転・集草・梱包作業における作業前・後を比較すると、放射性Csはやや上昇したが、作業時の作業機(ピックアップ爪)の高さの違いは小さなものであった。

(2) 一方、山際、日陰、枕地(低地)、湿地における牧草の放射性Csは大きく上昇した。

表1 収穫作業前・後の放射性Cs値の比較

(牧草: Bq/kg、水分80%換算、土壤: Bq/kg乾土)

作業条件		土壤/乾土	牧草	
			収穫作業前	収穫作業後
牧草の刈取高 (5~12cm)	反転・集草・梱包一低 (0~5cm)	434 (366~727)	4.7 (2.7~6.6)	7.4 (4.0~12.7)
	〃 一高 (5~10cm)			6.4 (2.8~9.4)
	山際、日陰、 枕地(低地)、湿地			32.4

考察

これらの結果から、収穫・調製作業時には収穫・調製機械の刈取り歯部、ピックアップ爪部が地面に接しない高さに設定することが必要で、作業前・後を比較すると、放射性Csは変わらないかやや上昇する程度であり、作業時の作業機(ピックアップ爪)高さによる土壤混入やそれともなう放射性Csの上昇は大きなものではなかった。

しかし、山際、日陰、枕地(低地)、湿地等牧草や土壤が湿っている条件では牧草の放射性Csが大きく上昇したことから、これら条件不利地での収穫には注意を要する。

試験Ⅳ 同一牧草地内における林地近接部と中央部の牧草中放射性Csに関する試験

目的

同一牧草地内であっても牧草中放射性Cs値に違いがあることが懸念されていることから、林地近接部と中央部の違いについて調査した。

試験Ⅳ-1 同一牧草地内における林地近接部と中央部の牧草中放射性Csに関する試験(平成24年度)

材料及び方法

(1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)

(2) 供試作物 イタリアンライグラス(1番草)

(3) 試験規模 4ha

(4) 試験区

(5) 調査項目 牧草及びロールベール：放射性Cs

(6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結果

同一牧草地内であっても中央部で2.3Bq/kgであったが、林地近接部では31.9Bq/kgと高い値であった。

表1 ほ場の位置による影響

		放射性Cs(Bq/kg)	
		植物体	土壤
イタリアンライグラス 1番草	中央部	2.3 (1.4~3.2)	937 (722~1,345)
	林地近接部	31.9 (26.3~40.6)	1113 (1,030~1,240)

試験Ⅳ-2 同一牧草地内における林地近接部と中央部の牧草中放射性Csに関する試験(平成25年度)

材料及び方法

(1) 実施場所 畜産酪農研究センターほ場(表層多腐植質黒ボク土)

(2) 供試作物 イタリアンライグラス(品種 好刈)

(3) 施肥量 N-P-K 各 10kg/10a、苦土石灰 100kg/10a、ヨリソ 50kg/10a

(4) 播種日 平成24年10月25日

(5) 調査項目 土壤中：放射性Cs、交換性K₂O 牧草：放射性Cs

(6) 放射性セシウム値については、ゲルマニウム半導体検出器で測定した。

結果

林地近接部と中央部を比較すると、林地近接部の牧草中放射性Csは中央部より生育初期から収穫期にかけて高い値で推移し、土壤表面の落葉や土壤表面1cmの放射性Csも中央部に比べ高い値であった。

また、イタリアンライグラスの生長が進むにつれて放射性Csは低下する傾向が見られたことから、草丈120cm時において、牧草基部と葉部を測定したところ、

葉部の放射性 Cs は高い値であった。

表2 林地近接部と中央部における放射性 Cs 値の比較

(牧草: Bq/kg、水分80%換算、土壌: Bq/kg乾土)

		林地近接部	中央部
牧草 草丈	30cm	45.0 (31.3~ 58.9)	16.3 (12.1~ 19.8)
	60cm	31.5 (18.4~ 31.2)	12.3 (9.5~ 17.7)
	90cm	18.9 (16.7~ 22.2)	9.7 (7.8~ 13.4)
	120cm	17.3 (14.5~ 21.4)	8.6 (6.1~ 12.2)
土壌/乾土	(表面1cm)	2,260	1,257
	(20cm深)	1,132 (879~ 1,416)	921 (694~ 1,169)
土壌中交換性K20量 (mg/乾土100g)		12.4 (9.4~ 14.1)	13.6 (13.2~ 13.8)
落葉の有無		有 広葉樹(サクラ) (3,650/乾土)	無

表3 林地近接部と中央部における放射性 Cs の比較

(Bq/kg、水分80%補正值)

	茎部	葉部
イタリアンライグラス(草丈120cm)	13.5	30

考 察

これらの結果から、林地近接部と草地中央部を比較すると、林地近接部の牧草中放射性 Cs は生育初期から収穫期まで中央部より高い値で推移することがわかった。また、土壌表面の落葉や土壌表面1cmの放射性 Cs も中央部に比べ高い値であった。

林地近接部においては、放射性 Cs の高い落葉が枯葉または腐葉土の状態に堆積しており、その影響等により牧草自体の放射性 Cs が高まることが考えられた。

農家での実際の収穫作業においては、更に土壌や落葉等の混入が考えられることから、より放射性 Cs が上がることが懸念され、充分注意する必要がある。

また、イタリアンライグラスの生長につれて放射性 Cs は低下する傾向が見られ、草丈120cm時における牧草茎部と葉部を測定したところ、葉部の放射性 Cs は茎部の倍以上の高い値であった。イタリアンライグラスは生長により茎部割合が大きく増加することから、このことが生長による放射性 Cs 低下要因の一因と推察され、牧草の利用においては、可能な限り生長を確保し収穫適期で収穫することが重要である。

参考文献

- 1) 農林水産省 (2014)、牧草地における放射性物質移行低減対策の手引き (東北～北関東地方版)