

カリおよび苦土石灰施用が牧草への放射性セシウム移行の抑制に及ぼす影響

片倉 真沙美・遠藤 幸洋¹・吉田 安宏¹・武藤 健司²

Effect of Fertilizing Potassium and Magnesium Lime
on Suppression of Radioactive Cesium Transfer from Soil to Grass.

Masami KATAKURA, Yukihiro ENDO¹, Yasuhiro YOSHIDA¹ and Kenji MUTO²

Abstract

We tried to reduce radiocesium transfer from soil to Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) by using potassium and magnesium lime fertilization. The grass was cultivated for 4 months in a permanent meadow in the Livestock Research Centre in Arai, Fukushima, which was contaminated by radiocesium from the Fukushima accident. The soil in the meadow was deep-plowed after the accident and had radiocesium concentration of 315 Bq/kg-dry in average. The regular cultivation practice in Fukushima Prefecture was applied to the meadow excluding potassium and magnesium lime fertilization. The grass was harvested three times during the experiment according to the regular cultivation practice.

Radiocesium concentrations in grass samples collected from potassium-fertilized meadow tended to be lower than those from the control meadow without potassium fertilization, suggesting that potassium fertilization could suppress the transfer of radiocesium from soil to the grass. On the other hand, we could not detect the reducing effect on the transfer by magnesium lime fertilization. Regrowth grasses had generally higher radiocesium concentration than the first-harvested grass regardless of the potassium and magnesium lime fertilization. Further investigation on additional fertilization of potassium after harvesting grass is required to suppress effectively radiocesium transfer to regrowth grasses.

Key Words : Italian ryegrass, radioactive cesium, potassium, magnesia,

キーワード : イタリアンライグラス、放射性セシウム、カリ、苦土石灰

1 緒言

東京電力福島第一原子力発電所事故により、大量の放射性セシウム（以下放射性Cs）が放出され、草地、飼料畑を始め農林地等が広く汚染された。このため、本県では畜産業も自給飼料の生産自粛が要請されるなど甚大な損害を被った。農林水産省は2012年2月に牛へ給与する飼料の暫定許容値を100Bq/kg（水分80%

換算）と設定した。この暫定許容値に適合する飼料を生産・利用するためには、まず本県の草地・飼料畑の利用制限地域においては除染を行うことが条件であり、その上で緊急時環境放射線モニタリングを実施し、暫定許容値以下であることを確認する必要がある。ほ場に降下した放射性Csは土壌表面に高濃度で存在しており、遠藤ら¹⁾の試験結果から、反転耕またはロータリー深耕することにより放射性Csの牧草への移行

受理日 平成28年2月25日

¹ 県中農林事務所

² 県北農林事務所安達農業普及所

が抑制されることが明らかとなった。一方で、IAEA⁴⁾は牧草の移行係数は食用農作物に比べて高い傾向であると報告しており、除染した牧草地でも放射性Csの移行抑制対策が不可欠であると考えられる。

移行抑制対策については、土壌の交換性カリ含量が増加すると土壌から植物体への放射性Csの移行が低下する傾向があると報告されている^{5) 8)}。また、土壌pHの上昇が土壌中の固定態として存在する放射性Csの割合を増加させるとした知見も報告されている⁹⁾。しかし、これらのカリ増加や土壌pHの上昇による放射性Cs移行抑制が牧草に対して有効であるかは明らかにされていない。また、牧草は生育期間が長く、再生草も利用するためそれに対応した移行抑制対策が必要である。本研究では除染後の牧草地における牧草の放射性Csの移行抑制対策として、単年生牧草のイタリアンライグラスを用いてカリ及び苦土石灰施用の効果を検証した。

2 試験方法

(1) 試験ほ場

試験は、福島市荒井の福島県農業総合センター畜産研究所内の原発事故以前から永年生牧草地として利用していたほ場（黒ボク土）で実施した。

(2) 試験区の構成

試験区は、基肥のカリ施用量を0 kg/aおよび2 kg/aの2水準、苦土石灰施用量を0 kg/a、10kg/aおよび20kg/aの3水準を組み合わせ、それぞれカリ0+苦

土石灰0区、カリ0+苦土石灰10区、カリ0+苦土石灰20区、カリ2+苦土石灰0区、カリ2+苦土石灰10区、およびカリ2+苦土石灰20区の6試験区を設けた。両水準の0kg/aを対照として比較した。さらに、カリを2kg/a施用した3区については一番草収穫後に0.6kg/a、二番草収穫後に0.3kg/aの追肥を行った。なお、カリ資材は塩化カリを用いた。試験区は1区1a、反復なしとした。

(3) 供試牧草および耕種概要

供試牧草はイタリアンライグラス（品種：ワセアオバ）を用いた。2012年4月6日にプラウによる反転耕（30cm深）を行った後ロータリー耕（10cm深）により表面を整地した。所内産の堆肥（放射性Cs濃度291Bq/kg（現物））を500kg/a（K₂Oで2kg/aとなる）散布し、再びロータリー耕により土壌と混和した。堆肥の含有成分を表1に示す。基肥を表2のとおり施肥し、2012年4月13日に1区あたり300gを播種した。2012年6月11日（一番草）、7月10日（二番草）、8月8日（三番草）に収穫し、一、二番草収穫後に追肥を行った。

(4) 試料の採取および調製

牧草は各区から1か所当たり2m²を3か所ずつ、地面からの高さ5cmで刈り取った。収穫した牧草は、重量を測定後、約2cmに細断し70℃で48時間通風乾燥した。乾燥後、成分分析に用いる試料のみ粉碎機で粉碎した。土壌は直径5cm（採取面積約20cm²）のプラスチック製の内筒付き土壌採取器（藤原製作所ハンド

表1 供試堆肥の含有成分（現物中）

	水分 (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	放射性Cs (Bq/kg)
供試堆肥	77.0	0.4	0.3	0.4	291

注 堆肥原料は牛ふん、イナワラ

表2 施肥内容

		(kg/a)					
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	苦土石灰	堆肥	
基肥	カリ0	苦土石灰0	1	1.5	0	0	500
		苦土石灰10	1	1.5	0	10	500
		苦土石灰20	1	1.5	0	20	500
	カリ2	苦土石灰0	1	1.5	2	0	500
		苦土石灰10	1	1.5	2	10	500
		苦土石灰20	1	1.5	2	20	500
追肥 ^{※1}	一番草後	1.1	0.8	0.6 ^{※2}	-	-	
	二番草後	0.6	0.4	0.3 ^{※2}	-	-	

※1 追肥量は福島県施肥基準（平成18年3月）に従って施肥した。

※2 カリ2区のみ施用した。

サンプラーHS-30S)を用いて耕起前後、二番草収穫後および三番草収穫後に採取した。耕起前後は、試験区割りをする前には場全体から5地点採取し、混合して試料とした。牧草収穫後の土壌採取は刈り取った3地点の直下から円筒容器3本分を採取し、区ごとに混合した。採取深度は0~15cmとした。土壌は、風乾後2mmのふるいを通してルートマットや石は除去し、成分分析試料とした。

放射性物質測定用の牧草は通風乾燥したものを粉砕せずに、土壌は未風乾のものをよく混合し測定に用いた。

(5) 試料分析

牧草および土壌中放射性Cs濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) の測定は、試料を2 Lマリネリ容器に充填し、Ge半導体検出器 (ATOMTEX社 AT1320A) を用いて1800秒間行った。また、測定値は各試料の採取日に減衰補正した。土壌中交換性陽イオンは1 M酢酸アンモニウム (pH 7) を用いたバッチ法²⁾により抽出し、抽出液中の陽イオン濃度を原子吸光法で測定した。牧草

のミネラル成分は硝酸-過塩素酸により湿式灰化し⁶⁾、原子吸光法で測定した。

3 試験結果

(1) 土壌の放射性Cs濃度

土壌の放射性Cs濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) は試験区毎にばらついていた。同一試験区から採取した二番草収穫後および三番草収穫後を測定したところ、カリ0+苦土石灰20区、カリ2+苦土石灰10区、カリ2+苦土石灰20区では2回の測定結果に2倍以上の濃度差があった。一方でカリ0+苦土石灰10区、カリ2+苦土石灰0区では2回の測定結果がほぼ同値となった (図1)。カリを施用した3つの区 (カリ2+苦土石灰0区、カリ2+苦土石灰10区、およびカリ2+苦土石灰20区) とカリを施用しなかった3つの区 (カリ0+苦土石灰0区、カリ0+苦土石灰10区、カリ0+苦土石灰20区) 間の土壌の放射性Cs濃度を比較したところ、5%水準で有意な差は認められなかった。

(2) イタリアンライグラスの放射性Cs濃度

番草毎に、カリを施用した3つの区とカリを施用しなかった3つの区を比較すると、前者で放射性Cs濃度 ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) が低くなる傾向にあった (図2)。また、ほとんどの区において番草を経るごとに放射性Cs濃度が高くなる傾向にあった。

カリを施用しなかった3つの区間に苦土石灰施用による放射性Cs濃度の差は明確ではなかった。カリを施用した3つの区では一番草から三番草までカリ2+苦土石灰10区が他の2区より放射性Cs濃度が高い傾向にあった。カリ2+苦土石灰10区の土壌中放射性Cs濃度がカリ2の3つの区の中で高かったことから、

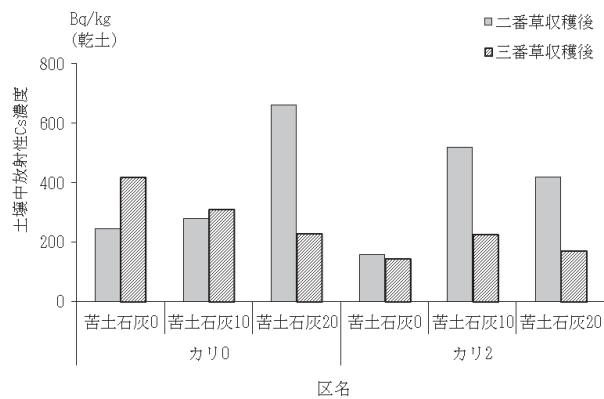


図1 土壌の放射性Cs濃度 (0-15cm深)

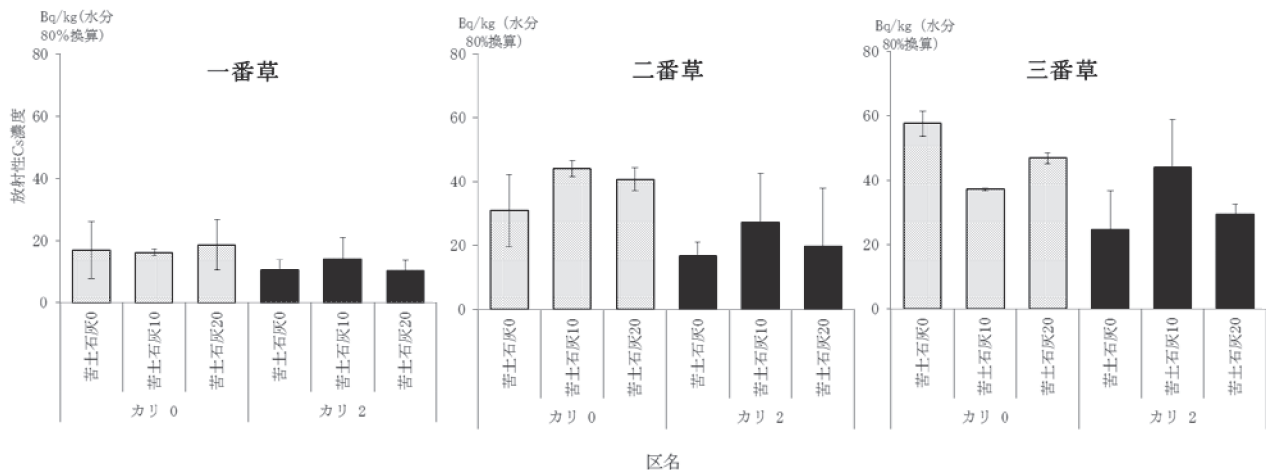


図2 番草毎の放射性セシウム濃度

移行率を求めて影響を調査したが、一定の傾向は見られなかった（データ省略）。

(3) 土壌中交換性カリ含量およびpH (H₂O)

各区の土壌中交換性カリ含量は施肥前に比べ、二番草収穫後に高い傾向にあり、特にカリを施用した3つの区でその傾向は顕著であった。三番草収穫後ではカリを施用した3つの区はカリ含量が低下し、カリを施用しなかった3つの区とはほぼ同程度のカリ含量となった（表3）。二番草収穫後土壌のpH (H₂O) は苦土石灰の施用量が増えるに伴わずかに上昇する傾向が見られたが、三番草収穫後ではその傾向は不明瞭であった。

表3 土壌交換性陽イオン含量およびpH (0-15cm深)

区名	交換性陽イオン			pH(H ₂ O)	
	K ₂ O	CaO	MgO		
施肥前	5	204	32	5.9	
二番草 収穫後	苦土石灰0	8	235	35	5.8
	カリ0 苦土石灰10	10	274	53	6.0
	苦土石灰20	8	252	44	6.0
	カリ2 苦土石灰0	14	245	33	5.8
	苦土石灰10	15	235	38	5.9
	苦土石灰20	24	230	40	6.0
三番草 収穫後	苦土石灰0	6	181	31	5.6
	カリ0 苦土石灰10	8	196	38	5.4
	苦土石灰20	13	227	32	5.0
	カリ2 苦土石灰0	10	208	29	5.9
	苦土石灰10	7	215	37	5.8
	苦土石灰20	7	229	44	5.5

(4) イタリアンライグラスのミネラル成分

イタリアンライグラスのカリウム濃度およびテタニー比はカリを施用した3つの区で、カリを施用しなかった3つの区に比べ高くなる傾向にあった（表4）。イタリアンライグラスのカルシウム、マグネシウム濃度に一定の傾向は見られなかった。また、カリを施用しなかったカリ0+苦土石灰0区、カリ0+苦土石灰10区、カリ0+苦土石灰20区の年間カリウム吸収量はそれぞれ3.32、3.87、3.42kg/aであった。また、カリを施用したカリ2+苦土石灰0区、カリ2+苦土石灰10区、カリ2+苦土石灰20区の年間カリウム吸収量はそれぞれ、4.74、3.98、4.45kg/aであった（表5）。

4 考 察

試験ほ場の土壌中放射性Cs濃度は各区間に大きなばらつきが見られた。また、同一試験区内でも二番草収穫後および三番草収穫後の2回の測定結果が大きく異なる区が存在した。このことは放射性Csがほ場に降下した時点での濃度差であったことに加え、反転耕を行った際に均一に耕耘できなかったためと考えられる。

イタリアンライグラスのほほすべての番草においてカリを施用した区がカリを施用しなかった区より放射性Cs濃度が低い傾向にあったことから、カリの施用は放射性Cs移行抑制効果があることが示唆された。

牧草の放射性Cs濃度が番草を経るごとに上昇することについて吉田ら¹⁰⁾は、オーチャードグラスは放射性Csの移行抑制にはカリ施用が効果的であるが、

表4 イタリアンライグラスのミネラル濃度とテタニー比

区名	一番草				二番草				三番草				
	K	Ca	Mg	テタニー比*	K	Ca	Mg	テタニー比*	K	Ca	Mg	テタニー比*	
	% (DM)			K/(Ca+Mg)当量	% (DM)			K/(Ca+Mg)当量	% (DM)			K/(Ca+Mg)当量	
カリ0	苦土石灰0	3.88	0.36	0.15	3.3	4.56	0.55	0.26	2.4	2.74	0.21	0.34	1.8
	苦土石灰10	4.39	0.38	0.16	3.5	4.66	0.45	0.26	2.7	3.43	0.20	0.22	3.2
	苦土石灰20	4.30	0.40	0.17	3.2	4.42	0.53	0.26	2.4	3.54	0.23	0.35	2.3
カリ2	苦土石灰0	5.91	0.37	0.18	4.6	6.10	0.45	0.35	3.1	5.04	0.17	0.34	3.5
	苦土石灰10	5.86	0.34	0.16	5.0	6.35	0.40	0.24	4.0	5.43	0.17	0.31	4.1
	苦土石灰20	6.01	0.34	0.18	4.9	6.27	0.35	0.25	4.2	5.47	0.19	0.27	4.5

※2.2以上でグラステタニー発症の危険がある。

表5 イタリアンライグラスのカリウム吸収量

区名	一番草			二番草			三番草			合計 カリウム吸収量 kg/a	
	①K	②乾物収量	カリウム吸収量 (①×②/100)	①K	②乾物収量	カリウム吸収量 (①×②/100)	①K	②乾物収量	カリウム吸収量 (①×②/100)		
	% (DM)	kg/a	kg/a	% (DM)	kg/a	kg/a	% (DM)	kg/a	kg/a		
カリ0	苦土石灰0	3.88	42.4	1.65	4.56	27.6	1.26	2.74	15.2	0.42	3.32
	苦土石灰10	4.39	40.4	1.77	4.66	34.4	1.60	3.43	14.4	0.49	3.87
	苦土石灰20	4.30	33.5	1.44	4.42	33.7	1.49	3.54	14.0	0.50	3.42
カリ2	苦土石灰0	5.91	36.6	2.16	6.10	33.2	2.03	5.04	10.9	0.55	4.74
	苦土石灰10	5.86	28.4	1.66	6.35	25.9	1.65	5.43	12.3	0.67	3.98
	苦土石灰20	6.01	32.6	1.96	6.27	26.4	1.66	5.47	15.3	0.84	4.45

番草ごとにその抑制効果が異なり、番草を経るごとに土壤中交換性カリ含量を高める必要があると報告している。本試験ではイタリアンライグラスの放射性Cs濃度が番草を経るごとに上昇し、土壤の交換性カリ含量は二番草収穫後よりも三番草収穫後で低下している傾向が見られたことから、オーチャードグラスと同様に番草を経るごとに移行抑制効果が得られる交換性カリ含量が異なる可能性があり、番草を経るごとに放射性Cs濃度が上昇したことの要因と推察する。二番草収穫後に比べ、三番草収穫後で土壤の交換性カリ含量が低下した要因として、カリの追肥量を福島県施肥基準³⁾に従い、一番草後に0.6kg/a、二番草後に0.3kg/aと番草を経るごとに施用量を減らしたことが考えられる(表2)。野村⁷⁾が報告しているように、イネ科牧草は施肥量以上のカリウムを吸収する。本試験においてもカリを施用しなかった3つの区は堆肥由来のカリ成分(2kg/a)以上のカリウムを吸収しており、また、カリを施用した3つの区のカリウム吸収量は3.98~4.74kg/aとほぼ施用した量のカリウムを吸収しており、三番草収穫後には土壤の交換性カリ含量が施肥前の水準近くまで低下していた(表3、表5)。このことから二番草、三番草の放射性Cs濃度の上昇を抑えるために本試験の施用量では不十分であったと推察する。再生草の放射性Cs移行抑制対策としては、牧草による収奪を考慮し土壤交換性カリ含量が低下しない施肥量を確保する必要がある。

津村ら⁹⁾の報告によれば、土壤pH上昇により土壤中の放射性Csが植物に吸収されにくい固定態として存在する割合が増加するとしている。二番草収穫後の土壤では苦土石灰施用によるpHの上昇傾向が見られたが、苦土石灰を20kg/a施用した区でも上昇幅は0.2程度であり、期待した固定態放射性Cs増加による移行抑制効果が得られるほどのpH上昇効果はなかった。カリを施用した3つの区間の放射性Cs濃度を比較すると一番草から三番草を通じてカリ2+苦土石灰10区が高い傾向にあった。カリを施用しなかった3つの区にはそのような傾向が見られないことから、苦土石灰の効果ではなく各試験区の土壤中の放射性Cs濃度を反映したものと考えられる。

以上のことから、イタリアンライグラスの放射性Cs移行抑制には生育期間を通してカリ施用が有効であることが示唆されたが、カリの追肥量にはさらなる検討が必要である。また、苦土石灰施用に伴うpH上昇はわずかであり、今回の施用量では苦土石灰施用による移行抑制効果は不明瞭であった。

5 摘要

単年生牧草であるイタリアンライグラスの放射性Cs移行抑制対策としてカリ施用(基肥2kg/a、0kg/a)および苦土石灰施用(20kg/a、10kg/a、0kg/a)の効果を検証した。

- (1) すべての番草でカリを施用した区で放射性Cs濃度が低い傾向があった。
- (2) ほぼすべての区に共通して、番草を経るごとに放射性Cs濃度が上昇する傾向であった。これは牧草による土壤中カリの収奪量が多く、放射性Cs移行抑制に必要な土壤中交換性カリ含量が不足していたためと考えられた。
- (3) 各番草において苦土石灰施用による放射性Cs移行抑制効果は今回の施用量では確認できなかった。

謝辞

本研究は平成24年度家畜排せつ物堆肥活用による農地地力回復等技術開発事業の委託研究によって行われ、多大なる御協力をいただいた一般財団法人畜産環境整備機構の皆様へ深謝いたします。試験区の整備やほ場管理に御協力いただいた、当所主任動物管理員兼農場管理員酒井将次氏、富塚秋次氏、山岸伸憲氏に深謝いたします。

引用文献

- 1) 遠藤幸洋・松澤保・吉田安宏・片倉真沙美・武藤健司・塚田祥文. 2013. 牧草地の耕うんによる放射性セシウムの吸収抑制. 福島県農業総合センター研究報告 放射性物質対策特集号.106-109.
- 2) 土壤環境分析法編集委員会編. 1997. 土壤環境分析法. 博友社. 東京. 218-219.
- 3) 福島県農林水産部. 福島県施肥基準 平成18年3月. 146.
- 4) IAEA. 1982. Safety Series No. 57 Generic models and parameters for assessing the environmental transfer of radionuclides from routine releases. 61-65.
- 5) 原田久富美・菅野勉・須永義人・川地太兵・森田聡一郎・佐藤節郎・増山秀人・佐田竜一・九石寛之・前田綾子. 2012. 堆肥の継続的な施用は飼料用トウモロコシの放射性セシウム低減に有効. 農業及び土壤の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨

- 集. 158.
- 6) 日本草地学会編. 2004. 草地科学実験・調査法. 社団法人畜産技術協会. 101-102.
 - 7) 野村忠弘. 1990. 牧草の収量向上と無機組成改善のための施肥管理方式に関する研究. 青森県畜産試験場報告16号. 1-108.
 - 8) Tsukada, H. Hasegawa, H. Hisamatsu, S and Yamasaki, S. 2002. Transfer of ^{137}Cs and stable Cs from paddy soil to polished rice in Aomori, Japan. J. Environ. Radioact. 59. 351-363.
 - 9) 津村昭人・駒村美佐子・小林宏信. 1984. 土壤及び土壤-植物系における放射性ストロンチウムとセシウムの挙動に関する研究. 農業技術研究所報告B. 36. 57-113.
 - 10) 吉田安宏・片倉真沙美・遠藤幸洋・武藤健司. 2013. 更新草地でのオーチャードグラスの放射性セシウムの動向. 福島県農業総合センター研究報告 放射性物質対策特集号. 103-105.