

草地更新による放射性セシウムの低減効果とミネラルバランスの解明

齋藤憲夫、市川佳奈¹⁾、柳田知夏²⁾、三原一起、前田綾子¹⁾、沖杉美穂³⁾、

1) 現 畜産振興課、2) 現 那須農業振興事務所、3) 現 芳賀農業振興事務所

要 約

放射性セシウムが牧草へ移行することの抑制対策について検討するため、原子力発電所の事故後に更新された回数が異なる草地について、加里の施肥水準を変えて調査を実施した。更新回数を1回から2回に増やすことは、土壤中交換性加里含量が十分でない場合に、土壤から牧草への放射性セシウムの移行係数を低下させる。一方、牧草中のカリウム含量やテタニー比は、更新回数による差はみられず加里の施肥量によって増加することから、草地の更新回数を2回にすることで、放射性物質対策を行いながら牧草のミネラルバランスを適正に保つことが容易になると考えられる。

目 的

平成23年の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（以下、事故）により、多量の放射性セシウム（以下、RCs）が大気中へ放出され、東日本の広範囲に降下した¹⁾。農地に降下したRCsは、一部葉表面に付着した以外の大部分はウェザリング効果により土壤に移行し²⁾、栃木県の農畜産業に対して大きな混乱と被害を引き起こした。

畜産における飼料分野では、畜産物への移行を阻止するため暫定許容値が設定され、現在も草地の一部で放牧利用に制限がかけられているほか、栃木県北地域の一部では給与前の牧草のRCs濃度検査を継続するなど、その影響が続いている。

特に永年牧草であるオーチャードグラスでは、RCsの植物体への移行が高いことが顕著である。牧草へのRCs移行を抑制するための方策の一つとして、牧草根圏の土壤中RCsを希釈するため表土と下層土を反転させる「天地返し」やロータリ又はハロー耕があり、耕起が可能な牧草地において利用の再開が図られている³⁾。

もう一つとしては加里質肥料の施肥がある。塩化カリなどの表面散布により牧草中RCs濃度が低下する効果は様々な試験で確認され、土壤が一定程度の交換性加里含量を有していると作物吸収の際に競合して放射性セシウムの吸収を抑制するためと考えられており⁴⁾⁵⁾、耕起しても牧草中RCs濃度が高い草地や傾斜や石礫等により耕起が困難な草地で実施されている⁶⁾。しかし、加里質肥料の過剰な施肥によって牧草中カリウム濃度が上昇することで、グラステタニーや乳熱など家畜への影響が懸念されており⁶⁾、施肥量の削減が求められている。

そこで本研究では、更新回数の異なる草地で加里質肥料の施肥水準を変えた試験を行い、オーチャードグラス

へのRCs移行の抑制効果などについて検討する。

材料及び方法

1 調査場所

栃木県畜産酪農研究センター（以下、センター）ほ場（表層腐植質黒ボク土）に試験地を設置し、2017（平成29）年から2023（令和5）年にかけてオーチャードグラスの中生種である「まきばたろう」を栽培し、試験を実施した。

なお、試験地の土壤分類は普通黒ボク土であった。

2 試験区

事故後にボトムプラウ及びディスクハローを用いて実施した草地更新が、①2017年に1回のみ行った草地（更新1回区）と②2014年及び2017年に2回行った草地（更新2回区）の2区画を設けた。なお、①更新1回区の2017年以前と②更新2回区の2014年以前は、事故後の牧草の栽培や耕起を行っていない。

それぞれの区画に、3月に実施する早春施肥の際に加里成分の施肥水準として下記の3区を設けた。

K0区：加里成分の施肥を行わない

K20区：土壤中の交換性加里含量（以下、土K₂O）が20mg/100g風乾土になるよう塩化カリの施肥量を調整

K40区：土K₂Oが40mg/100g風乾土になるよう塩化カリの施肥量を調整

上述以外の施肥は、全ての試験区において共通とした。

早春施肥では、窒素成分として5kg/10aの硫酸を、りん酸成分として5kg/10aの過りん酸石灰を施肥した。また、土壤のpHが低下したため、2023年の早春施肥

では、苦土炭カルを 100kg/10a、熔成りん肥を 50kg/10a 施肥した。

一番草収穫後（5 月）及び二番草収穫後（6 月）には、窒素成分及びりん酸成分、加里成分として 5-5-5kg/10a の化成オール 14 を追肥した。

なお、各試験区の面積は 30m²（10m×3m）とし、更新回数（①及び②）ごとに 3 水準×3 反復のラテン方格で配置した。

3 調査項目

各年次について 4 番草まで収穫を行い、収穫した牧草と、収穫直後（追肥前）に採取した土壌について、下記の項目について分析を実施した。

(1) 牧草

乾物収量、RCs 濃度（以下、草 RCs）、カリウム含量（以下、草 K）、カルシウム含量、マグネシウム含量

(2) 土壌

RCs 濃度（以下、土 RCs）、土 K₂O、交換性石灰含量（以下、土 CaO）、交換性苦土含量（以下、土 MgO）

また、分析値から土壌中から牧草への RCs の移行係数（以下、移行係数）及び牧草中のテタニー比を算出した。なお、テタニー比は、カリウム当量／（カルシウム当量＋マグネシウム当量）により求めた。

4 調査方法

調査は、牧草については 1 試験区あたり 1 m²（1 × 1 m）を 2 点、土壌については深さ 0～15cm を 5 点、ランダムな地点でサンプリングした。

RCs 濃度は、セシウム 137（以下、Cs137）のみの測定とした。

牧草中のミネラル含量は湿式灰化後に、土壌中交換性塩基含量は酢酸アンモニウムによる抽出後に、原子吸光光度法により測定した。

結果及び考察

1 試験に関連する要因の確認

(1) 乾物収量

試験区ごとの乾物収量の推移は表 1 のとおりであった。各年次で 1 番草が最も収量が多く、2 番草以降は減少傾向であった。また、同条件で K0 区及び K20 区、K40 区を比較すると、2018 年の更新 1 回区を除き、K40 区で 1 番草の収量が多い傾向にあり、K0 区の収量が最も少ないことが多かった。このことから、K0 区及び K20 区では、加里の施肥水準が不足していたことが示唆された。

また、更新 1 回区と更新 2 回区では明確な差異がみられなかった。

年次別にみると、2020 年以降は収量が低い傾向であり、これは裸地の増加など草地の経年化が進んでいると考えられた。

表 1 牧草の乾物収量の推移

単位：kg/10a

年次 番草	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
2018年	1,432	1,302	1,431	1,292	1,262	1,343
1	714	553	657	515	430	544
2	259	270	300	294	272	264
3	224	248	233	244	265	249
4	235	230	241	240	294	285
2019年	1,565	1,715	1,860	1,643	1,721	1,643
1	684	805	941	775	781	760
2	296	319	329	341	340	317
3	246	277	249	267	261	248
4	338	315	341	260	338	318
2020年	1,030	1,107	1,169	1,093	1,071	1,122
1	393	494	556	453	426	458
2	240	244	249	260	239	252
3	214	190	203	212	208	231
4	184	178	161	167	198	180
2021年	1,016	1,056	1,056	918	1,019	1,143
1	450	482	499	318	447	504
2	264	255	253	228	224	270
3	245	233	222	212	196	203
4	57	87	82	160	152	166
2022年	950	1,119	1,067	1,112	1,239	1,263
1	436	538	521	593	670	719
2	246	271	273	229	252	232
3	193	202	206	206	240	229
4	74	107	66	84	78	83
2023年	1,081	1,250	1,385	1,203	1,137	1,227
1	423	527	596	495	473	524
2	288	309	339	260	265	273
3	275	300	322	309	284	299
4	96	114	128	139	114	131

(2) 土壌中交換性加里含量（土 K₂O）

加里の施肥水準別（K0 区及び K20 区、K40 区）における、土 K₂O の推移は図 1-1 から図 1-3 のとおりで、更新 1 回区と更新 2 回区の間ではすべての収穫時で有意な差は認められなかった。

加里の施肥水準が高いほど土 K₂O は高く推移した。特に K40 区では 2020 年以降は 15mg/100g 風乾土以上を維持してしており、K0 区及び K20 区と比較して多くの収穫時に有意差が認められるとともに、年次が進むにつれてやや上昇傾向にあった。

K20 区は 2022 年以降の 1 番草から 3 番草で K0 区より高かったものの有意な差は認められず、4 番草収穫時には K0 区と同様に 10mg/100g 風乾土を下回っていることがほとんどであった。

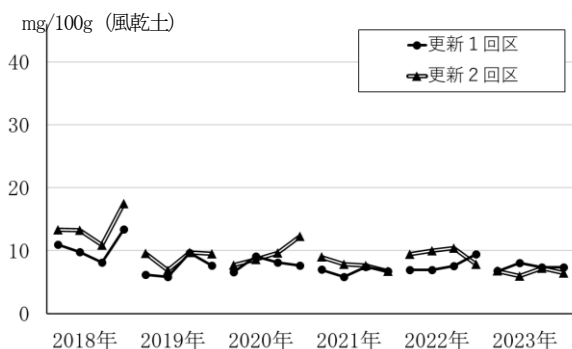


図 1-1 K0 区における土壤中交換性加里含量の推移

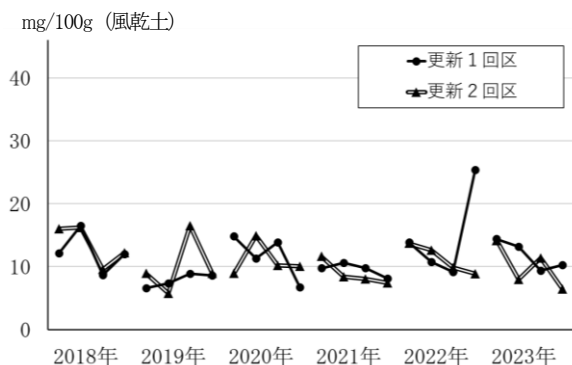


図 1-2 K20 区における土壤中交換性加里含量の推移

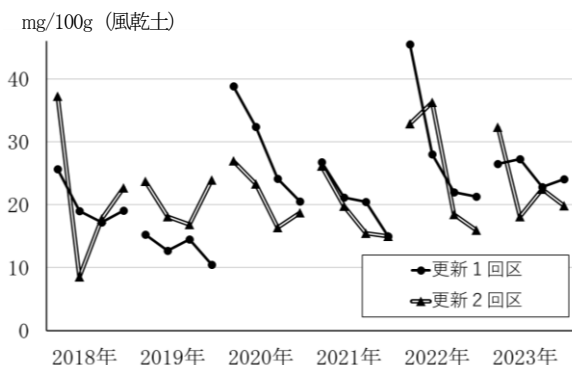


図 1-3 K40 区における土壤中交換性加里含量の推移

(3) 土壤中 RCs 濃度 (土 RCs)

採取した土壌サンプルの風乾土の平均値は 805Bq/kg、標準偏差は 226Bq/kg でありバラツキが非常に大きかった。

試験区別に集計した場合の変動係数は全試験区の平均値が約 25%であり、同じ試験区画内のバラツキも大きかった。

しかし、平均値と標準誤差から算出される 95%信頼区間を算出したところ、試験区画間で有意な差が認められた。また、更新 1 回区では試験区画でのバラツキが大きかった (図 2)。

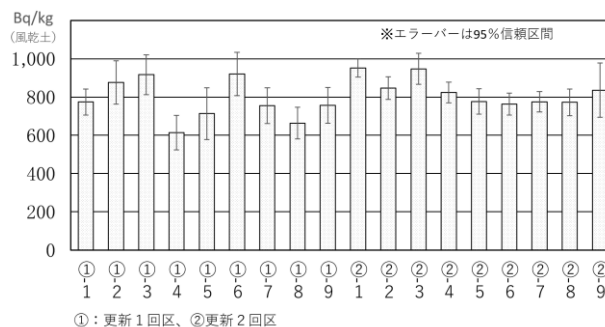


図 2 各試験区別の土壤中 RCs 濃度

セシウムは土壤中に留まる性質が強いと言われており、年次別の全サンプルの土 RCs の平均値などは表 2 のとおりで、2018 年と 2023 年を比較しても 17% 程度しか低減していなかった。

このことから、移行係数を求める際に本来は牧草収穫と同時に採取した土 RCs を用いるところを、本試験では Cs137 の半減期 30 年を用いた減衰補正を行ってから各試験区の平均値を使用し、移行係数を算出する際は年次ごとに逆の減衰補正を行った値を使用することとした。すなわち、放射性崩壊によって別の核種に変化する以外に低減効果がないと仮定した。

表 2 年次別の土壤中 RCs 濃度

年次	Bq/kg (風乾土)		
	平均値	標準偏差	対2018年比
2018年	895	296	—
2019年	839	220	0.94
2020年	773	203	0.86
2021年	835	229	0.93
2022年	746	175	0.83
2023年	739	177	0.83

なお、半減期を 30 年で計算すると 2023 年の対 2018 年比は 0.89 となることから、牧草等による持ち出しや雨水による流亡などがあったことが考えられたが、土 RCs のバラツキが大きく定量化が難しかったため、本試験では土 RCs の補正としては考慮しないこととした。

(4) 土壤中交換性石灰含量 (土 CaO) 及び土壤中交換性苦土含量 (土 MgO)

試験区ごとの土 CaO 及び土 MgO の推移は表 3 及び表 4 のとおりであった。

土 CaO において、更新 1 回区と更新 2 回区で顕著な差は認められなかった。

ただし、K0 区で K20 区や K40 区より高い傾向がみられ、牧草の収量と逆の傾向であったことから、

施肥牧草の生育のため消費されたものと思われた。
また、2018 年から 2023 年にかけて徐々に低下して
いく傾向がみられた。

表 3 土壌中交換性石灰含量の推移

mg/100g風乾土						
年次 番草	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
2018年						
1	246	190	153	243	167	169
2	206	177	160	155	116	95
3	249	174	156	208	158	168
4	193	112	113	146	125	94
2019年						
1	171	163	182	148	133	128
2	145	154	154	149	128	183
3	161	162	170	157	132	144
4	171	169	178	162	137	163
2020年						
1	169	149	161	148	126	141
2	160	159	162	157	130	149
3	146	148	162	145	117	129
4	151	119	117	94	77	84
2021年						
1	131	109	125	135	98	111
2	125	163	140	139	94	122
3	144	157	151	119	112	111
4	128	126	139	109	91	102
2022年						
1	134	133	119	165	95	134
2	123	123	124	115	104	103
3	111	120	121	83	111	98
4	107	91	112	93	83	100
2023年						
1	142	118	132	119	109	118
2	133	132	118	117	132	114
3	165	140	134	153	140	141
4	153	149	137	140	117	118

土 MgO は、2019 年以降は更新 1 回の K0 区が最も
高いことが多く、2018 年から 2022 年にかけて徐々
に低下していく傾向がみられた。しかし、牧草の生
育に影響を与えるほど低い値の試験区はなかったた
め、本試験の目的からみて問題ないと考えられた。

土 MgO は 2023 年に全試験区で上昇したが、2023
年の早春に施肥した苦土炭カルの影響と考えられた。

表 4 土壌中交換性苦土含量の推移

mg/100g風乾土						
年次 番草	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
2018年						
1	30	34	33	23	27	33
2	25	23	29	17	21	18
3	27	28	26	27	24	20
4	29	16	18	18	16	16
2019年						
1	32	27	26	21	18	17
2	19	24	22	19	16	23
3	19	17	19	16	13	14
4	19	19	20	17	15	18
2020年						
1	21	15	15	14	13	13
2	18	15	15	17	12	14
3	16	14	16	15	12	11
4	15	14	12	13	12	12
2021年						
1	14	10	12	13	11	11
2	11	15	11	12	9	10
3	13	13	12	11	9	8
4	12	10	12	9	7	8
2022年						
1	13	12	11	15	9	13
2	14	12	12	10	11	9
3	14	13	14	10	14	13
4	13	12	13	11	8	11
2023年						
1	23	22	23	22	21	19
2	27	22	21	23	24	21
3	29	21	22	25	33	29
4	24	30	24	23	20	24

2 牧草への RCs の移行

(1) 牧草中 RCs 濃度（草 RCs）

加里の施肥水準別に、草 RCs について平均値の推
移を図に示すと以下のとおりであった。

K0 区における比較では、全ての収穫時で更新 1 回
区が更新 2 回区を上回っていた。年次別の傾向では
年次が進むほど草 RCs が高くなる傾向がみられた
（図 3-1）。



図 3-1 K0 区における牧草中 RCs 濃度の推移

K20 区における比較でも、全ての収穫時で更新 1 回区が更新 2 回区を上回っていた、年次別の傾向では K0 区ほどの上昇傾向はみられなかった (図 3-2)。

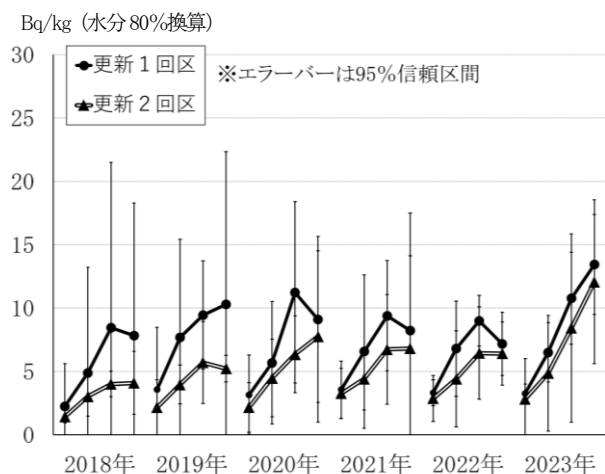


図 3-2 K20 区における牧草中 RCs 濃度の推移

K40 区における比較では、2018 年及び 2019 年の更新 1 回区において、同じ収穫時の更新 2 回区より高い傾向がみられ、2020～2023 年には更新 1 回区と更新 2 回区で顕著な差はみられなかった。年次別の傾向では、2018 年及び 2019 年と比較して 2020～2023 年が低い傾向がみられた (図 3-3)。

このことと 1 の(2)の結果を併せて考えると、カリウムがセシウムの吸収を抑制するようになる土 K_2O の水準は、本試験の条件下では土 15～20mg/100g 風乾土程度と考えられた。

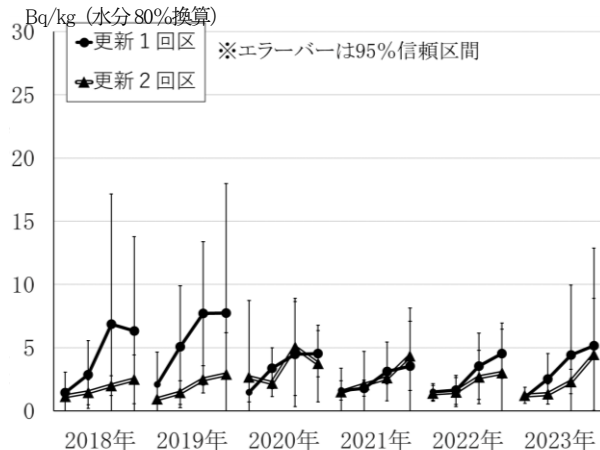


図 3-3 K40 区における牧草中 RCs 濃度の推移

1 番草から 4 番草の傾向をみると、すべての試験区の同年次において 1 番草の草 RCs が最も低く、3 番草か 4 番草の草 RCs が最も高かった。

また、同じ収穫時のほとんどの比較において更新 1 回区は更新 2 回区より高く、加里の施肥水準が高いほど草 RCs が低い傾向にあったものの、図 3 のエラーバーから見てとれるとおり有意な差は認められなかった。

そこで、2018 年から 2023 年の試験期間全体の番草ごとに、試験区について平均値を求め、Tukey の多重検定をおこなった (表 5)。

1 番草から 4 番草を通じて更新 1 回の K0 区で顕著に高く、1 番草から 3 番草までの比較において他の試験区のすべてと比較して有意差が認められた。

更新 2 回の K40 区では、2 番草以降は最も低かったが、更新 1 回の K40 区と比較すると有意差は認められなかった。ただし、更新 1 回の K20 区すべて並びに更新 2 回の K20 区の 2 番草及び 3 番草と比較すると有意差が認められた。

また、更新 2 回の K0 区と更新 1 回の K20 区はほぼ同水準であった。更新 2 回の K20 区は更新 1 回の K40 区より若干高い程度であるが有意差は認められなかった。

表5 試験区・番草別の牧草中RCs濃度

番草	Bq/kg(水分80%換算)					
	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
1	5.1 a	3.2 b	1.5 c	3.4 b	2.4 bc	1.5 c
2	9.5 a	6.4 b	2.9 cd	6.3 b	4.2 bc	1.7 d
3	14.4 a	9.7 b	5.0 cd	9.7 b	6.3 c	2.9 d
4	12.4 a	9.3 ab	5.3 c	8.5 b	7.1 bc	3.5 c

※ 異符号の試験区間に危険率5%で有意差あり

(2) 牧草へのRCsの移行係数(移行係数)

移行係数も、草RCsとほぼ同様に推移したため、平均値を求めて危険率5%のTukeyの多重検定をおこなったが、草RCsとほぼ同じ結果であった(表6)。

加里の施肥水準ごとにみると、K0区では更新1回区と更新2回区で、1番草から4番草のすべてで有意差が認められた。K20区では、2番草及び3番草で更新1回区と更新2回区の間有意差が認められた。K40区では更新1回区と更新2回区の間有意差が認められなかった。

表6 試験区・番草別のRCsの移行係数

番草	牧草(水分80%換算)/土壤(風乾土)					
	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
1	.007 a	.004 b	.002 c	.004 b	.003 bc	.002 c
2	.013 a	.009 b	.003 cd	.008 b	.005 c	.002 d
3	.019 a	.013 b	.006 de	.012 bc	.008 cd	.003 e
4	.017 a	.013 ab	.006 c	.010 b	.009 bc	.004 c

※ 異符号の試験区間に危険率5%で有意差あり

(3) 移行係数と土K₂Oの関係

収穫した牧草サンプルとその収穫時に採取した土壌サンプルについて、それぞれ対応した移行係数と土K₂Oをグラフ上にプロットしたところ、土K₂Oが同程度の場合には、更新1回区は更新2回区と比較して移行係数が高い傾向がみられた。特に土K₂Oが低い場合において、移行係数が顕著に高くなる傾向がみられた(図4)。

牧草の放射性物質対策は、常に一定以下の草RCsであることが重要であるため、事故後に耕起(更新)を1回しかしていないほ場であれば、加里を増肥する・しないにかかわらず、再更新(耕起)することが有効であると考えられた。

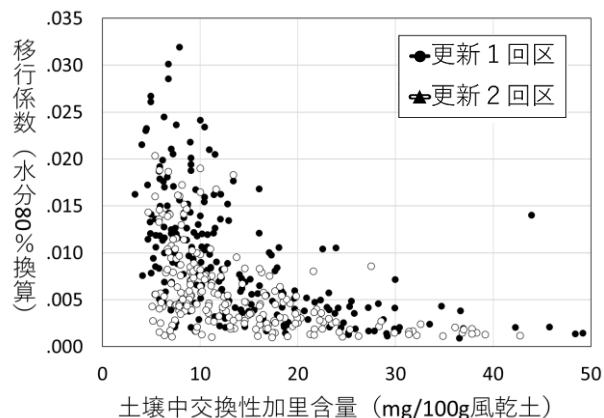


図4 RCsの移行係数と土壌中交換性加里含量の分布

2 牧草中のミネラルバランス

(1) 牧草中カリウム含量(以下、草K)

加里の施肥水準別の草Kの推移は以下のとおりであった。

K0区では2018年から2020年までは更新2回区が高い傾向であり、2021年から2023年は同程度であった(図5-1)。

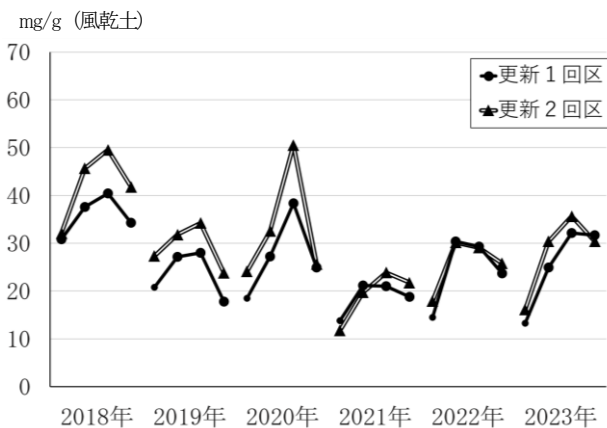


図5-1 K0区における牧草中カリウム含量の推移

K20区では2018年は更新2回区が高い傾向であり、それ以降は同程度であった(図5-2)。

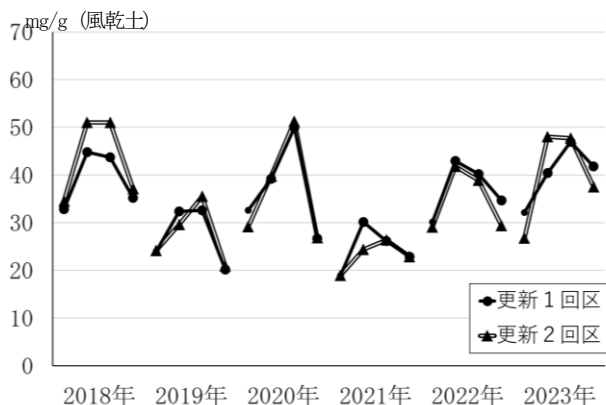


図5-2 K20 区における牧草中カリウム含量の推移

K40 区では全期間を通じて土草 K は同程度であった (図5-3)。

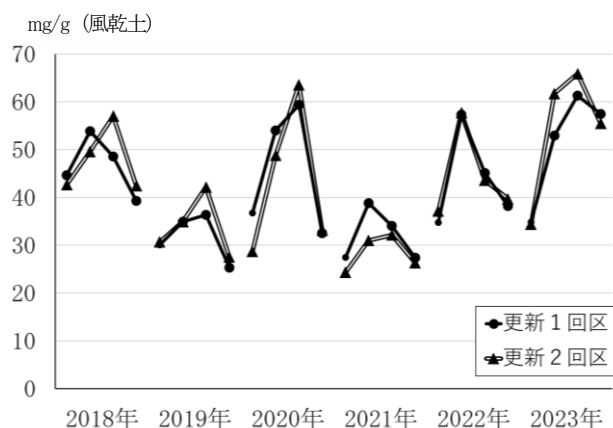


図5-3 K40 区における牧草中カリウム含量の推移

年次の推移をみると、2019 年及び 2021 年が低い傾向であり、収穫時では 2 番草及び 3 番草が高い傾向にあるなど、草 K の相対的な高低は更新 1 回区と更新 2 回区との比較で大きな差異はみられず相似していた。

試験期間をまとめて平均値を求め、危険率 5% の Tukey の多重検定をおこなった結果を表 7 に示した。

1 番草から 4 番草までを通じて、K0 区について更新 1 回区と更新 2 回区を比較すると、すべての収穫時で更新 2 回区が高かったが有意差は認められなかった。K20 区及び K40 区においても差はみられなかった。そのため、草 K については更新 1 回と 2 回で与える影響に差はないものと考えられた。

なお、すべての収穫時において K0 区より K20 区のほうが高く、K20 区より K40 区のほうが高かった。K0 区と K40 区を比較すると、更新 2 回の K0 区と K40 区の比較を除くすべての組合せで有意差が認められた。また、更新 1 回の 1 番草と 2 番草では K0 区と K20 区の間にも有意差が認められた。

表 7 試験区・番草別の牧草中カリウム含量

番草	mg/g (風乾物)					
	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
1	18.6 a	28.4 bc	34.7 c	21.5 ab	27.1 bc	33.0 c
2	28.1 a	38.3 bc	48.6 d	31.7 ab	39.1 bc	47.3 cd
3	31.5 a	39.9 ab	47.5 bc	37.1 ab	41.8 ab	50.7 c
4	25.2 a	30.2 ab	36.7 b	28.2 ab	29.1 ab	37.4 b

※ 異符号の試験区間に危険率5%で有意差あり

(2) 牧草のテタニー比

加里の施肥水準別に、テタニー比の平均値の推移を図に示すと図6のとおりであった。

2019 年及び 2020 年では 1 番草で高いこと、2022 年及び 2023 年の K20 区及び K40 区で他の年次より高いことなど、草 K とは異なる傾向もみられたが、更新 1 回区と更新 2 回区の間に相対的な高低の大きな差異はみられず相似であった。

なお、2018 年において、1 番草では更新 1 回区より更新 2 回区でテタニー比が高く、2 番草では更新 1 回区でテタニー比が高い結果となったが、原因は不明であった。

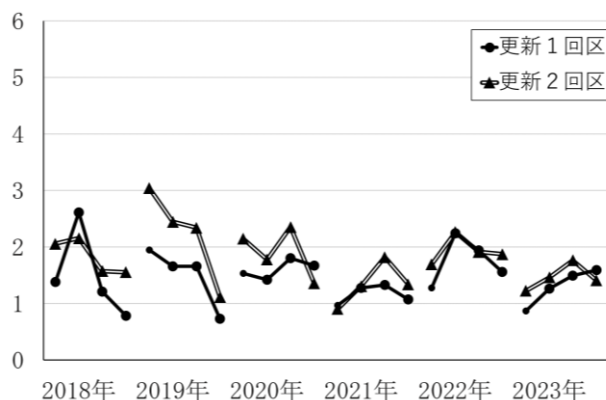


図6-1 K0 区における牧草のテタニー比の推移

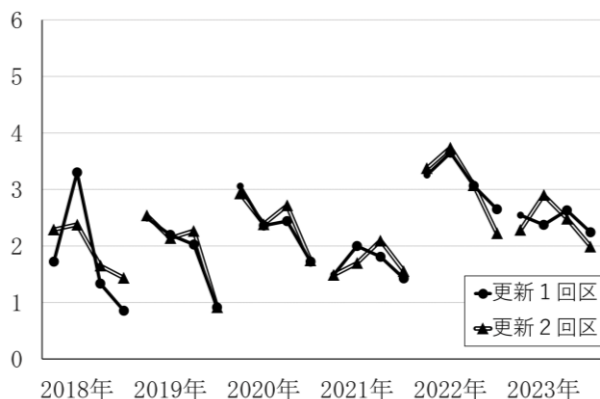


図6-2 K20 区における牧草のテタニー比の推移

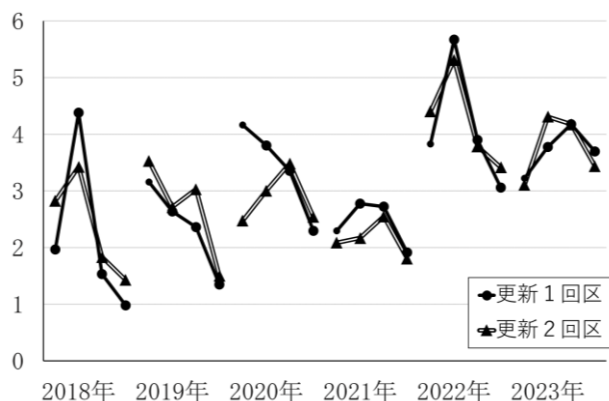


図 6-3 K40 区における牧草のテタニー比の推移

試験期間全体の番草ごとに、試験区について平均値を求め、Tukey の多重検定をおこなった結果を表 8 に示した。

草 K と同様に、加里の施肥水準が同じ場合にはすべての収穫時において、更新 1 回と 2 回で有意な差が認められなかった。

また、すべての収穫時において K0 区より K20 区のほうが高く、K20 区より K40 区のほうが高かった。K0 区と K40 区では、すべての比較において有意差が認められた。

早春施肥時に加里を施肥した K20 区及び K40 区では、K20 区の 4 番草を除き、放牧利用時の指標となる 2.2 を超過した。また、K40 区では 1 番草から 3 番草にかけて 3.0 を超過した。

なお、K0 区において、更新 1 回区と更新 2 回区を比較すると、すべての収穫時で更新 2 回区が高かったが有意差は認められなかった。

表 8 試験区・番草別の牧草のテタニー比

番草	更新1回区			更新2回区		
	K0	K20	K40	K0	K20	K40
1	1.33 a	2.43 bc	3.11 c	1.84 ab	2.48 bc	3.07 c
2	1.75 a	2.65 ab	3.84 d	1.90 a	2.54 ab	3.49 cd
3	1.57 a	2.22 ab	3.01 cd	1.96 ab	2.38 bc	3.14 d
4	1.23 a	1.64 ab	2.22 b	1.44 a	1.65 ab	2.36 b

※ 異符号の試験区間に危険率5%で有意差あり

(3) 移行係数とテタニー比の関係

収穫した牧草サンプルごとに、移行係数とそれに対応するテタニー比をグラフ上にプロットしたところ、移行係数と土 K₂O との関係と同様に、テタニー比が同程度の場合には、更新 1 回区は更新 2 回区と比較して移行係数が高い傾向であった (図 7)。

また、テタニー比が 2.2 を超過するとグラステタニーのリスクが高まるといわれているが⁹⁾、2.2 以下

の分布をみると、更新 1 回区の最大値が 0.025 程度、更新 2 回区が 0.020 程度であった。

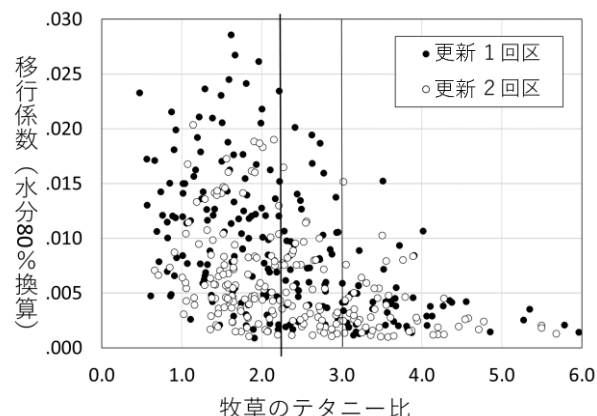


図 7 RCs の移行係数と土壤中交換性加里含量の分布

まとめ

本試験の条件下で長期的にみると、早春施肥時に土 K₂O が 20mg/100g 風乾土になるように調整し、1 番草及び 2 番草の収穫後に標準的な追肥を行った場合、土 K₂O の維持はできないと考えられる。一方、早春施肥の際 40mg/100g 風乾土に調整しておけば、標準的な追肥で牧草によるカリウムの持ち出しをまかなうことができると考えられる。

事故後の更新回数が 1 回のほ場と 2 回のほ場を比較すると、加里の施肥水準が同じであれば、土 K₂O などの土壤中交換性塩基含量に対する影響に違いはみられなかった。一方、草 RCs 及び移行係数に対しては影響が認められ、特に更新を 2 回行ったほ場では、早春施肥の際に加里が無施肥であっても更新 1 回のほ場で土 K₂O を 20mg/100g 風乾土に調整したほ場と同程度であり、早春の加里無施肥の場合と比較しても移行係数が約 7 割低下した。このことから、事故後の更新を 1 回しか行っていないほ場で草 RCs が飼料の暫定基準値を超過する可能性がある場合には、毎年加里質肥料を増肥するのではなく、2 回目の更新を行うことで標準施肥のみの栽培が可能になる場合があると考えられる。

草 K やテタニー比に対する影響をみると、更新回数による違いはみられず、加里を増肥すれば確実に上昇した。草 RCs が特に高くなる 2 番草及び 3 番草の放射性物質対策として加里の増肥が必要なほ場において、更新回数を 2 回に増やすことで同程度の加里施肥 (早春に 20mg/100g 風乾土に調整した場合) でも移行係数の低下が認められる場合があるため、加里の施肥量を減らせる可能性が考えられるが、その場合はテタニー比が 2.2 を超過する可能性は高いので注意が必要である。特に放牧利用時などでは苦土炭カルの施肥や、カ

リウム含量の低い濃厚飼料を補助飼料と給与することを検討するべきと考えられる。なお、早春に土 K₂O を 40mg/100g 風乾土に調整する場合、更新 1 回と 2 回では明確な差は認められなかったので留意する必要がある。

また、更新回数が 1 回から 2 回になることで、土 RCs の場所ごとのバラツキが小さくなるため、上述のような計画的な加里の増肥をする場合、その施肥計画や草 RCs の確認・管理が容易になると考えられる。

以上のようなケース以外でも、更新回数を 2 回にすることは、全般的に分布でみると同程度の土 K₂O やテクニニー比であっても移行係数が特に高くなる可能性が減ると考えられる。

これらのことから、事故後に実施された更新回数が 1 回しか実施していない場合、2 回目の更新を実施する

ことで、同程度の加里施肥であっても移行係数を低く抑えることができるため、牧草のミネラルバランスを適正に保ちやすくなると考えられる。

謝辞

本研究は、農林水産省（平成 30 年度～令和 2 年度）食料生産地域再生のための先端技術展開事業のうち現地実証研究委託事業のうち、「原発事故からの復興のための放射性物質対策に関する実証研究」及び農林水産省（令和 3 年度～令和 4 年度）・福島国際研究教育機構(F-REI)（令和 5 年度～令和 6 年度）の農林水産業分野の先端技術展開事業のうち、「特定復興再生拠点区域等の円滑な営農再開に向けた技術実証」(JPFR24060105)により実施した。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構. 2011. 放射線量等分布マップ
- 2) International Atomic Energy Agency. 2006. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Chi.3. Vienna.
- 3) 栃木県. 2013. 牧草地除染マニュアル 第 3 版.
<http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/c08/documents/bokusoutijyosen.pdf>
- 4) 斎藤栄、斎藤憲夫、酒向奈都美、佐田竜一、上野源一. 2017. 畜産物等放射性セシウム低減技術の開発（平成 24 年度～平成 26 年度公共牧場実態調査）. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告 第 4 号、36-38.
- 5) 斎藤憲夫、増山秀人、上野源一、斎藤栄、九石寛之、佐田竜一、酒向奈都美. 2017. 畜産物等放射性セシウム低減技術の開発（飼料作物の草種及び土壌条件の違いによる吸収移行調査）. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告 第 4 号、31-35.
- 6) 岩手県農業研究センター、宮城県畜産試験場、福島県農業総合センター、栃木県畜産酪農研究センター、農研機構畜産研究部門. 2019. 草地における放射性物質対策のためのカリ施肥